

M. Fontana - F. Giannini - M. Meirana

Caratteristiche di forma nella progettazione estetica

Rapporto Tecnico IMA 5/98

INDICE

1	Introduzione	2
1.1	Obiettivi	2
1.2	Idee generali	2
2	Feature estetiche.....	3
2.1	Requisiti preliminari	3
2.2	Modellazione di curve e superfici	4
2.3	Linee-guida e linee di carattere	4
2.4	Feature strutturali e feature di dettaglio	5
2.5	Caratteristiche della modellazione per feature nello styling	7
2.6	Necessità di un modello	7
3	Feature di dettaglio.....	8
3.1	Deformazione ed eliminazione di parti	8
3.2	Estrusioni, intrusioni e tagli	9
3.3	Feature semplici: uno schema generale	14
3.4	Feature composte	14
4	Tipi elementari di feature semplici	15
4.1	Classificazione	15
4.2	Quadro generale	22
5	Definizione di parametri geometrici	24
5.1	Parametri essenziali.....	24
5.1.1	Linea di carattere	24
5.1.2	Ampiezza dell'area di influenza	26
5.1.3	Profondità	27
5.1.4	Condizioni di raccordo	28
5.2	Parametri di controllo della forma	28
5.2.1	Passaggio per punti.....	29
5.2.2	Profili verticali e curve di livello.....	29
5.2.3	Leggi di curvatura e pendenza.....	30
6	Rappresentazione delle feature mediante classi.....	31
6.1	Schema di rappresentazione.....	31
6.2	Classi di feature di dettaglio.....	33
7	Un'applicazione	43
8	Ringraziamenti	45
9	Riferimenti bibliografici	45

1 Introduzione

1.1 Obiettivi

Con questo documento si intende approfondire la nozione di *caratteristica di forma (feature)*, nel contesto della modellazione geometrica feature-based per la progettazione estetica.

La progettazione di prodotti costituiti da superfici complesse viene attualmente eseguita utilizzando sistemi CAD che rappresentano curve e superfici sotto forma di NURBS la cui creazione avviene mediante entità matematiche di basso livello che risultano poco intuitive e richiedono l'intervento di progettisti specializzati aventi familiarità con il linguaggio matematico. In analogia con l'approccio feature-based utilizzato dal CAD meccanico, si vogliono identificare entità familiari agli stilisti e cercare di definirle attraverso parametri di alto livello.

In particolare si studieranno le feature cosiddette "di dettaglio" utilizzate per la caratterizzazione estetica e/o funzionale di superfici free-form già definite e si propone una loro classificazione formale sulla base dei parametri (informazioni geometriche e topologiche) che servono ad identificarle, intervenendo sui quali è possibile la modifica delle feature di dettaglio secondo le esigenze dell'attività di styling.

Il documento è organizzato nel seguente modo.

Nel capitolo 2, dopo aver introdotto il concetto di feature nell'ambito della progettazione estetica, vengono distinti due tipi di feature: *feature strutturali* e *feature di dettaglio*. Vengono quindi messe in evidenza le caratteristiche fondamentali di quest'ultime e la necessità di un modello.

Nel capitolo 3 viene proposta una classificazione generale delle feature di dettaglio basata sulle operazioni di deformazione e di eliminazione di parti della superficie da caratterizzare.

Nel capitolo 4 sono date le definizioni specifiche dei tipi elementari di feature identificate e sono mostrati alcuni esempi.

Il capitolo 5 è dedicato alla descrizione di parametri geometrici essenziali e di caratterizzazione della forma che vengono utilizzati ai fini della classificazione formale delle feature di dettaglio.

La definizione formale di ogni generica classe di feature viene infine descritta nel capitolo 6 sulla base dell'appartenenza, del nome, dei parametri essenziali e caratterizzanti e dei vincoli da rispettare. Nel capitolo 7 si conclude con un'applicazione basata sull'implementazione di un macrooperatore costruito per generare particolari feature di dettaglio.

1.2 Idee generali

Nell'ambito della modellazione geometrica *feature-based* ai fini della progettazione di prodotti industriali, è necessario porre attenzione all'identificazione e classificazione delle cosiddette *caratteristiche di forma (feature)* del prodotto. Con questo termine intendiamo forme stereotipe ricorrenti localizzate nel complesso della geometria globale del prodotto che, in base a *dove* sono dislocate e a *come* si presentano, conferiscono al prodotto stesso una precisa impronta e caratterizzazione in base ad un preciso significato o funzionalità in un dato contesto applicativo.

In particolare le feature possono essere utilizzate per modellare un oggetto o le sue caratteristiche, quindi possono essere considerate entità di modellazione di alto livello per permettere una più veloce creazione e modifica del modello geometrico.

Come noto, il concetto di feature è nato e si è affermato in ambiente meccanico, per la progettazione mediante sistemi CAD di prodotti industriali [1]. In questo contesto sono stati definiti diversi tipi di

feature intese come elementi stereotipi di modellazione e come entità associate a parti del prodotto aventi significato funzionale. Il concetto di feature meccanica, cioè, nasce sulla base di una precisa *funzione* che una parte ha nell'oggetto e lega *funzionalmente* le entità geometriche che la costituiscono. In Fig. 1 riportiamo alcune tipologie di feature di forma utilizzate nella progettazione meccanica.



Fig. 1: Feature di forma meccaniche

Nel tentativo di definire un concetto di feature utile per la *progettazione estetica*, si vogliono rappresentare parti di un oggetto a cui associare non tanto una funzionalità, ma una valenza estetica.

E' evidente che i tipi di feature e di classificazioni definite per il CAD meccanico non si prestano ad un utilizzo diretto nell'ambito della progettazione estetica. In questo caso infatti l'attività dello stilista deve poter avvenire secondo una libertà di espressione e creatività nel design delle forme che tenga conto di gusti soggettivi, impatti esteriori ed impressioni visive, mode, ecc. che non si possono realizzare con il solo ausilio delle rigide tipologie di forma suggerite dalle feature meccaniche. Quello che però può essere recuperato è una metodologia di modellazione.

In entrambi i contesti (progettazione meccanica e progettazione estetica) ciò che caratterizza una feature rispetto ad un'altra è in ogni caso un insieme di proprietà/entità geometriche e topologiche che ne definiscono univocamente forma ed aspetto, nonché livello di interazione con il resto della geometria dell'oggetto. Una ben precisa caratteristica di forma è ciò che rende "diversi" (sottolineiamo diversi *funzionalmente* nella progettazione meccanica, ed *estheticamente* nell'attività di styling) due oggetti inizialmente costruiti a partire da una medesima geometria globale (ad esempio una stessa superficie o una medesima forma solida di sostegno).

2 Feature estetiche

2.1 Requisiti preliminari

La nostra attenzione è da ora in poi rivolta alle caratteristiche di forma nell'ambito della progettazione estetica. A tal fine, richiediamo ad una feature estetica, per definirla come tale, che sia un'entità di modellazione con i seguenti requisiti preliminari:

- che sia parte costituente della geometria complessiva del prodotto;
- che abbia proprietà topologiche e geometriche predicibili in modo univoco, in grado di renderla riproducibile;
- che dia un particolare taglio ed impronta estetica al prodotto su cui viene applicata.

2.2 Modellazione di curve e superfici

Le superfici complesse nei sistemi CAD/CAS vengono rappresentate per *interpolazione* o *approssimazione* generalmente mediante superfici polinomiali o razionali. In letteratura matematica si possono trovare molte tipologie distinte di funzioni base per la rappresentazione di superfici complesse, la cui scelta viene effettuata sulla base delle particolari proprietà geometriche che si richiedono di volta in volta per le superfici. Nel nostro caso, pensiamo in particolare a superfici free-form che vengono approssimate mediante le classiche *superfici di Bezier* o *superfici B-Spline* non razionali e razionali (le cosiddette *NURBS*, i.e. *NonUniform Rational B-Splines*), e similmente per le curve. Introducendo il concetto di feature si vuole permettere che la definizione e modifica di insiemi di superfici ad alto livello avvenga evitando la manipolazione diretta dei punti di controllo, dei nodi e dei pesi che definiscono le singole superfici a basso livello, cioè a livello matematico.

2.3 Linee-guida e linee di carattere

Nello studio delle caratteristiche di forma ricorrenti, ai fini di una loro classificazione nell'ambito della progettazione estetica si presenta la difficoltà iniziale di determinare criteri e definizioni oggettive in grado di descrivere forme nate da idee soggettive secondo la libertà di creazione del progettista. Di fronte al problema di arrivare ad una descrizione il più possibile oggettiva delle entità di modellazione utilizzate per la progettazione estetica si è analizzata l'attività degli stilisti e le fasi di progettazione che portano alla definizione estetica di un oggetto.

Ci si è chiesti in particolare: da quali idee comuni partono gli stilisti quando delinano le forme? quale motivo o criterio di base viene utilizzato? Osservando come il progettista definisce l'aspetto iniziale delle forme durante il disegno (si pensi alle bozze e agli schizzi preliminari), è emerso che la definizione della forma trae generalmente le sue origini a partire da alcune linee essenziali che ne guidano l'andamento (le chiameremo *linee-guida*) che possono essere utilizzate come parametri di definizione (insieme ad altri) della feature. Tra le linee-guida mettiamo in particolare evidenza certe curve speciali, a cui diamo il nome di *linee di carattere*, che danno un ben preciso impatto visivo (un ben preciso carattere estetico) alla superficie.

Ciò che distingue una linea di carattere da altre curve che possono essere individuate su una superficie è nel ruolo speciale che le si può attribuire secondo un doppio punto di vista:

- estetico: la linea di carattere suggerisce nell'impressione visiva un'immediata caratterizzazione estetica della feature, e quindi della superficie;
- operativo: la feature è generata/costruita a partire dalla linea di carattere che ne costituisce pertanto il primo parametro di definizione.

Illustriamo in Fig. 2 alcuni esempi di linee di carattere definite su di una bozza di disegno per la realizzazione di un modello di autoveicolo

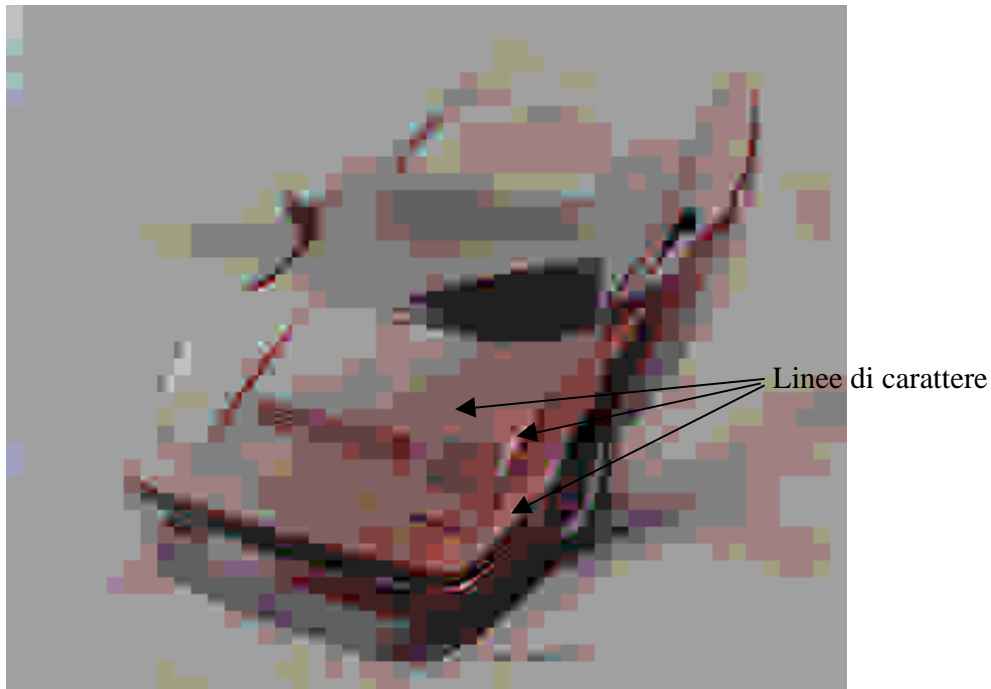


Fig.2: Bozza di disegno di un prototipo di autoveicolo (Pininfarina)

In determinate circostanze, sulla base della forma che vuole delineare lo stilista può definire a priori anziché delle linee-guida delle aree o dei volumi messi già in evidenza a livello di bozze mediante chiaroscuri, marcature, ecc. Ci pare tuttavia che nella genesi dei disegni preliminari ci sia una più forte tendenza ad esprimere caratterizzazioni di forma mediante linee anziché mediante aree o volumi: per tale ragione si preferisce nel presente lavoro mettere in particolare evidenza le nozioni di linee-guida ed in particolare di linea di carattere.

2.4 Feature strutturali e feature di dettaglio

Considerando le feature di forma come entità di modellazione nell'ambito della progettazione estetica, è possibile fare una prima classificazione di due tipologie differenti che tiene in considerazione le diverse fasi dell'attività degli stilisti:

1. le **feature strutturali**, definite e costruite nella fase preliminare del processo di progettazione e utilizzate come entità portanti nella definizione delle superfici del prodotto con un importante impatto estetico. Esse sono costituite da curve che corrispondono a *sezioni*, *profili* e *linee di carattere* (con riferimento alle definizioni proposte in [8]) che vengono utilizzate per definire uno stile nella fase iniziale di "schizzo" manuale e successivamente per la definizione delle superfici nella fase di creazione del modello CAD/CAS;
2. le **feature di dettaglio**, create in una fase successiva rispetto alla definizione iniziale delle superfici portanti del prodotto. Vengono applicate ad una superficie per aggiungere dei dettagli e delle rifiniture estetiche in corrispondenza di una linea di carattere.

Le feature del primo tipo sono entità create *a priori* nel processo di costruzione delle superfici. Infatti le sezioni, i profili e le linee di carattere strutturali sono una semplificazione delle superfici di cui sono sostegno. E' la stessa idea delle bozze preliminari con cui gli stilisti rendono un'idea di forma e di oggetto a partire da linee-guida che costituiscono gli elementi strutturali di sostegno della forma (cfr. paragrafo precedente): si pensi, ad esempio, alla bozza di un prototipo di carrozzeria di automobile. Tali entità sono fondamentali per una prima valutazione estetica del progetto ma possono giocare un ruolo fondamentale anche per la manipolazione del modello creato con l'ausilio di una valida struttura dati che sia in grado di mantenere le informazioni e le relazioni tra le parti costitutive la struttura (più avanti ritorneremo su questo punto).

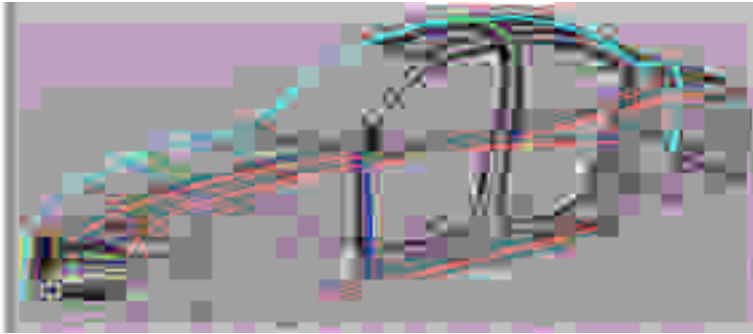


Fig. 3: Progetto del modello di autoveicolo Nautilus (Pininfarina)

Come esempi di feature strutturali, in Fig. 3 sono evidenziate alcune linee (sezioni, profili, linee di carattere strutturali) che caratterizzano l'aspetto di forma della carrozzeria progettata per il modello di automobile Nautilus prodotto da Pininfarina.

Nel presente lavoro non verranno trattate le feature strutturali.

Vengono prese in considerazione invece le feature di dettaglio. Questa seconda tipologia nasce da un approccio di modellazione *a posteriori*. Si parte cioè da una superficie free-form e su di essa le feature vengono generate come caratterizzazioni o rifiniture estetiche.

È fondamentale osservare che noi consideriamo solo feature di forma. Alla luce di questo identifichiamo allora una feature di dettaglio come un intervento di modifica locale di una superficie primaria, consistente in una variazione più o meno pronunciata che rende in senso estetico e matematico "diversa" la superficie risultante rispetto alla superficie primaria.

Mentre si può parlare di feature strutturali 1D e 2D, le feature di dettaglio sono direttamente entità 2D. Possiamo definirle in ogni caso come superfici più o meno estese (quindi 2 gradi di libertà effettivi, in cui possiamo far rientrare anche il caso reale di una curva fisica impressa sulla superficie, comunque dotata di un lieve spessore trasversale), definita comunque a partire da una linea di carattere associata alla feature.

L'interpretazione intuitiva di feature di dettaglio come modifica locale della superficie primaria, comporta matematicamente una ridefinizione almeno locale della rappresentazione parametrica della superficie ed anche una possibile (ma non necessaria) eventuale variazione locale del grado di continuità attuale rispetto al grado di continuità della superficie primaria. Si pensi – e si vedano a tal riguardo le definizioni successive - alle feature di dettaglio che comportano tagli e/o buchi e successivi innalzamenti/abbassamenti dei lembi di superfici adiacenti con conseguente perdita delle condizioni di continuità G^0 , e casi del genere (cfr. Cap 5, a proposito della continuità geometrica). Questo livello matematico-formale suggerisce un possibile approccio, che è quello di vedere la generazione di una

feature come un operatore che associa alla superficie originaria una nuova superficie che è una variazione, almeno locale, della prima (ref. [11], [12], [13]).

2.5 Caratteristiche della modellazione per feature nello styling

Nel seguito ci occuperemo delle feature estetiche di dettaglio, secondo l'idea precedentemente descritta di interventi localizzati di modellazione. A tal fine, mettiamo in evidenza una serie di caratteristiche e requisiti specifici della modellazione per feature nello styling.

1. Le feature sono entità di modellazione di alto livello. E' possibile cioè creare/modificare un insieme di più superfici come un'unica entità. Operativamente questo comporta la realizzazione di *macrooperatori* che riassumono sequenze ordinate di operazioni elementari comuni, e che una volta memorizzati possono essere riprodotti per modellare feature della stessa tipologia.
2. L'approccio di definizione delle feature a posteriori, rispetto alla definizione delle superfici di base, facilita il *riutilizzo di informazioni* e di modelli. Una stessa superficie può infatti essere caratterizzata con dettagli diversi utilizzando sempre la stessa superficie iniziale.
3. Le feature possono essere istanziate scegliendo la tipologia da una *libreria di feature* predefinite.
4. Si ammette una libreria "aperta" che permetta di aggiungere alla lista delle feature preesistenti anche nuove feature, le cosiddette *user-defined features*, costruite secondo le idee di styling di chi progetta.
5. E' possibile generare le cosiddette *pattern features*, ovvero più istanze dello stesso tipo di feature distribuite in modo regolare.

2.6 Necessità di un modello

Dal punto di vista operativo dobbiamo pensare alle feature estetiche di forma come a classi di primitive implicitamente definite da un set discreto di *parametri*, eventualmente soggetti a vincoli. Assegnando dei valori a tali parametri è possibile derivare la rappresentazione esplicita mediante specifiche entità/relazioni geometriche/topologiche caratterizzanti la particolare istanza di feature e il tipo di interazione con il resto dell'oggetto. In un'ottica di creazione computer-aided della caratteristica di forma sulla geometria preesistente del prodotto, l'utente deve specificare come dati di input i valori della lista di parametri caratterizzante il tipo-feature che si vuole costruire e successivamente il sistema applica automaticamente una sequenza ordinata di operazioni automatiche che generano la caratteristica di forma richiesta.

Si ha quindi la necessità di un modello che richiede una valida *struttura dati* alla base in grado di gestire il sistema complessivo delle informazioni e delle relazioni, sia quelle acquisite in input sia quelle generate in itinere, che riguardano le superfici dell'oggetto, le relazioni tra le parti della geometria, le feature come singole entità di modellazione, nonché le operazioni stesse per generare feature sulle superfici dell'oggetto considerato.

La realizzazione di un sistema CAD basato sulle feature richiede accanto alla struttura dati anche un *interfaccia grafica* che permetta di lavorare con entità di livello sufficientemente evoluto, in modo che lo stilista non debba ricorrere alla manipolazione diretta delle entità elementari di basso livello.

Riguardo alla struttura dati, essa è tanto più valida quanto più è in grado di realizzare i seguenti obiettivi:

- Mantenere il raggruppamento delle superfici appartenenti alla stessa feature e la loro dipendenza dai parametri di creazione al fine di permetterne modifiche a posteriori.
- Tenere la traccia “storica” delle operazioni effettuate sia per la creazione della forma base del prodotto che per la generazione della feature. Ciò serve al fine di poter effettuare una modifica di una feature creata in una certa fase del processo di modellazione per prevedere l’aggiornamento delle feature create successivamente.
- Permettere l’eventuale modifica in itinere dell’oggetto e delle sue feature e la loro riproduzione in altre posizioni senza ripetere ex-novo il processo di creazione (*riutilizzo delle informazioni*).
- Mantenere le relazioni esistenti tra la superficie dell’oggetto e le feature, e tra le feature stesse. L’obiettivo è conoscere e saper prevedere il modo in cui una eventuale modifica su una superficie o su una feature si riflette sulla zona circostante, in base ad *informazioni relazionali di tipo boundary* che legano le varie parti costituenti l’oggetto.
- Conoscere i vincoli a cui le feature devono sottostare in base al modo in cui esse devono interagire con il resto dell’oggetto, secondo l’idea che è propria della modellazione di forme *constraint-based*.
- Prevedere la possibilità di rappresentare user-defined feature e pattern feature.

Sottolineiamo che la creazione di una valida struttura dati è un problema tuttora aperto e complesso, e costituisce sicuramente un problema centrale nel contesto della modellazione di forme feature-based sia dal punto di vista generale sia nell’ottica particolare della progettazione estetica.

3 Feature di dettaglio

3.1 Deformazione ed eliminazione di parti

La nostra attenzione è d’ora in poi rivolta alle feature di dettaglio che interpretiamo come modifiche locali di una preesistente superficie, detta *superficie primaria*. L’obiettivo è fornire una classificazione di base delle feature semplici a partire dalle quali è possibile costruire feature di dettaglio di forma più complessa. Si tratta di arrivare a definizioni che rappresentino in modo sufficientemente esaustivo i tre possibili tipi di operazioni fisiche che possono essere fatte su un tratto locale di superficie:

- aggiungere una parte,
- sostituire una parte,
- togliere una parte.

Queste operazioni sono associate naturalmente alla duplice idea di *deformazione* e di *eliminazione* di una parte di superficie.

Precisiamo i due concetti. In entrambi i casi a partire da una fissata superficie (*superficie primaria*) viene generata una nuova superficie (*superficie caratterizzata*). Ciò che concettualmente cambia è nel fatto che l'operazione di deformazione trasforma punti in punti, e si può vedere pertanto come una legge funzionale, mentre nell'operazione di eliminazione vengono sottratti punti. E' evidente che l'insieme dei punti eliminati deve costituire ciò che topologicamente è chiamato un insieme denso, cioè i punti non sono isolati, di fatto una porzione di superficie. Si veda a tal riguardo lo schema suggerito dalla Fig. 4.

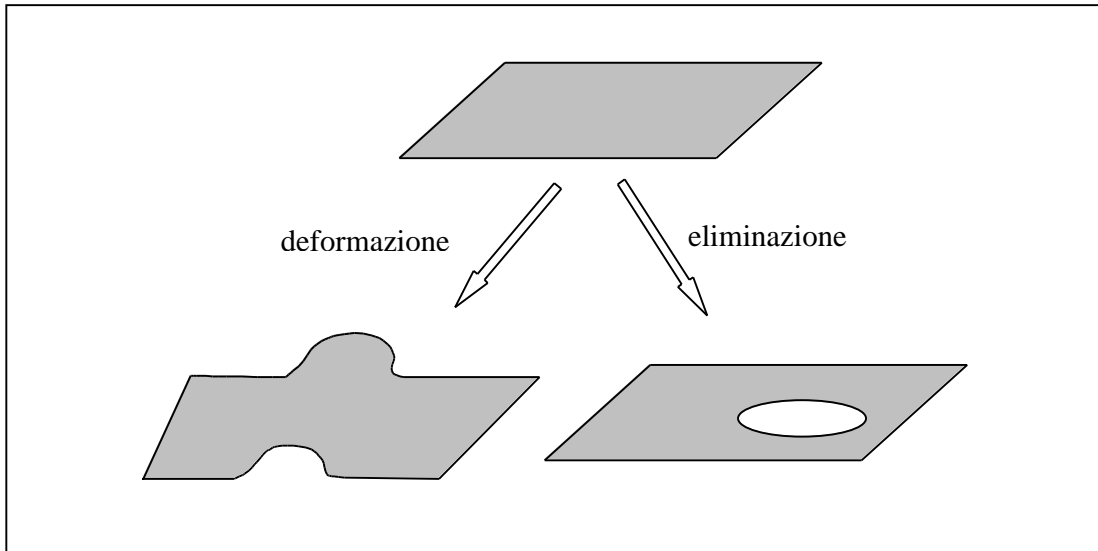


Fig. 4: Operazioni di deformazione ed eliminazione applicate ad una superficie

Più avanti si intende approfondire la nozione di deformazione, vista come legge di trasformazione della superficie primaria nella superficie caratterizzata (cfr. Cap. 6).

3.2 Estrusioni, intrusioni e tagli

Si intende a questo punto arrivare ad una definizione formale delle feature elementari di dettaglio semplici che sia coerente con questa idea di naturale distinzione tra operazione di deformazione ed operazione di eliminazione. A tale scopo, ricordiamo dalla geometria vettoriale elementare che:

Due vettori dello spazio sono concordi quando il loro prodotto scalare è positivo e discordi quando è negativo.

Si consideri a questo punto una superficie primaria (e l'eventuale linea di carattere) a partire dalla quale deve essere costruita la feature. Chiamiamo *area o zona di influenza* della feature la porzione della superficie che risulta modificata (per deformazione o per eliminazione) rispetto alla configurazione originaria per effetto della presenza della feature, e *perimetro di influenza* la corrispondente frontiera. Questa idea di deformazione ed eliminazione viene rappresentata mediante le seguenti tre classi elementari di feature di dettaglio semplici:

1. estrusioni,
2. intrusioni,
3. tagli.

Al concetto di estrusione o intrusione su di una superficie vogliamo associare l'idea di una deformazione localizzata della superficie 'verso l'alto' (direzione concorde al versore normale alla superficie) o 'verso il basso' rispettivamente (direzione discorde), ed entrambe non comportano alcuna rimozione fisica del materiale costituente la superficie, mentre la nozione di taglio è associata naturalmente all'idea di eliminazione, cioè rimozione effettiva di parte della superficie.

Più precisamente (cfr. Fig. 5):

1. Una estrusione o protuberanza (extrusion o protusion feature) è la superficie S' risultante da una deformazione di una parte della superficie primaria S con la seguente proprietà: per ogni punto P , detto P' il punto trasformato di P mediante tale deformazione, il vettore orientato $\overrightarrow{PP'}$ risulta concorde al versore normale \mathbf{n} alla superficie S in P .
2. Una intrusione o depressione (intrusion o depression feature) è la superficie S' risultante da una deformazione di una parte della superficie primaria S con la seguente proprietà: per ogni punto P , detto P' il punto trasformato di P mediante tale deformazione, il vettore orientato $\overrightarrow{PP'}$ risulta discorde al versore normale \mathbf{n} alla superficie S in P .

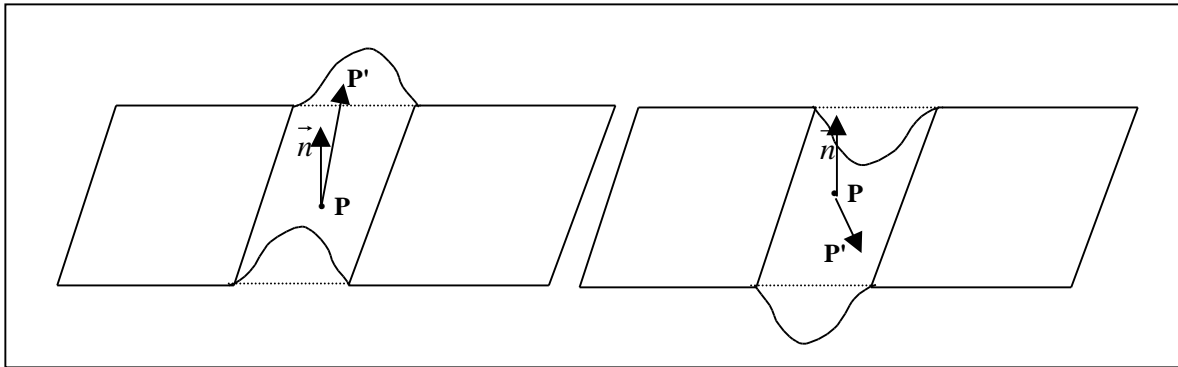


Fig. 5: Definizione di estrusione ed intrusione

Le definizioni di estrusione ed intrusione sono state date senza far riferimento all'eventuale presenza di una linea di carattere. In quest'ultimo caso, in particolare, possiamo mettere in evidenza una proprietà di convessità e concavità locale attorno alla linea di carattere. A tal fine precisiamo alcuni concetti di geometria differenziale:

Data una superficie ed una curva in essa contenuta, per ogni punto P della curva si definisce piano trasversale in P il piano passante per P che sia perpendicolare al versore tangente alla curva nel punto medesimo.

Tale piano (esistente e univocamente determinato per ogni punto, poiché consideriamo curve regolari) contiene i versori normale e binormale (cfr. Appendice) della curva nel punto considerato, ed è perpendicolare al suo piano osculatore. Inoltre:

Data una superficie ed una curva in essa contenuta, per ogni punto P della curva si definisce profilo trasversale in P la curva (piana) passante per P ottenuta come sezione della superficie con il piano trasversale in P .

Valgono allora le seguenti proprietà di concavità locale:

- 1^ℓ. In una estrusione, in cui risulta ben definita una linea di carattere, per ogni punto della linea il corrispondente profilo trasversale presenta una concavità nella direzione discorde alla normale

della superficie nel punto, in almeno in un intorno bilaterale se il profilo è connesso, in almeno un intorno unilaterale se è sconnesso.

- 2^{el}. In una intrusione in cui risulta ben definita una linea di carattere per ogni punto della linea il corrispondente profilo trasversale presenta una concavità nella direzione concorde alla normale della superficie nel punto, in almeno in un intorno bilaterale se il profilo è connesso, in almeno un intorno unilaterale se è sconnesso.

Illustriamo in Fig. 6 il comportamento locale dei profili trasversali associati ad un generico punto della linea di carattere, rispettivamente nel caso di un tratto risultante connesso (a), o sconnesso (b), nel caso di una estrusione associata ad una linea di carattere.

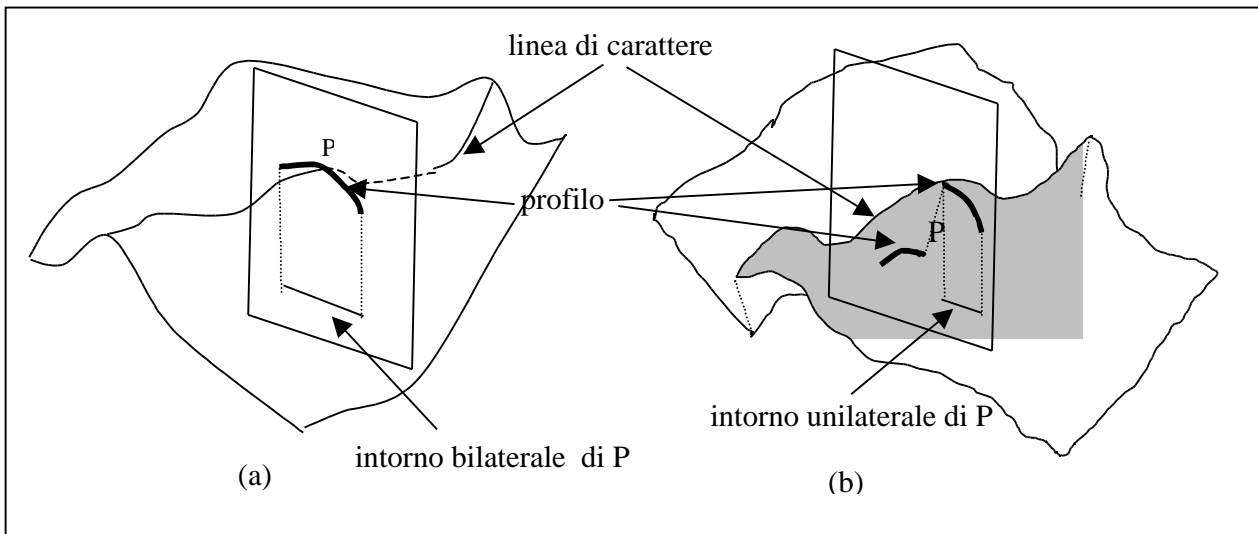


Fig. 6: Profili trasversali in presenza di estrusione semplice

La definizione generale data per le protuberanze e le depressioni (come si può notare anche dall'aspetto dei profili trasversali in Fig. 6, nel caso particolare di estrusioni ed intrusioni definite mediante linee di carattere) permette di considerare sia *deformazioni senza strappo*, sia *deformazioni con strappo*.

Nel primo caso nel perimetro della superficie deformata è rispettata almeno la condizione di continuità (ciò che più avanti chiameremo condizione G^0), e la superficie caratterizzata risulta ancora semplicemente connessa se lo era la superficie primaria (o, come si dice, resta invariato il *genere topologico*). Intuitivamente associamo l'idea visiva di deformazione 'senza salto'.

Nel secondo caso, invece, vi è discontinuità su un tratto del perimetro di deformazione (cioè quel tratto è caratterizzato dalla cosiddetta continuità geometrica G^{-1}) a seguito del quale la superficie caratterizzata è risultante comunque non semplicemente connessa (ovvero aumenta il genere topologico della superficie caratterizzata rispetto alla superficie primaria). E qui associamo l'idea intuitiva di 'salto'.

Si sottolinea il comportamento *locale* della concavità di ogni profilo trasversale poiché al di fuori dell'intorno - unilaterale o bilaterale, a seconda che la deformazione avvenga con strappo o senza strappo - la concavità può cambiare verso. Si pensi a raccordi con la parte di superficie invariata in cui si chiede continuità di curvatura (cfr. Cap. 5, a proposito della continuità geometrica). Nel caso specifico, poi, delle deformazioni con strappo il controllo della concavità viene fatto solo su un intorno unilaterale, destro o sinistro, perché dall'altra parte rispetto allo strappo non è avvenuta deformazione.

In Fig. 7 illustriamo una feature di dettaglio che rientra a tutti gli effetti nella tipologia delle deformazioni con strappo.

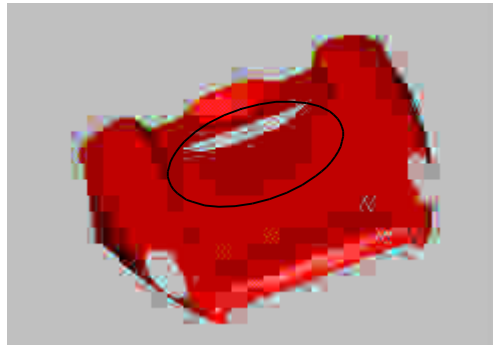


Fig. 7: Esempio di deformazione con strappo

Si segnala una tipologia particolare di feature di dettaglio per deformazione ottenute mediante traslazione di una parte della superficie [6], a meno di un raccordo tra la superficie rimasta invariata e la parte traslata, precisamente:

Si definisce feature per displacement una particolare intrusione o estrusione in cui una parte della superficie deformata è ottenuta dal puro spostamento rigido di una parte della superficie primaria internamente all'area di influenza lungo una direzione costante non tangente ad essa (si dice anche che viene praticato un offset di una parte della superficie lungo tale direzione).

Se il displacement è di tipo estrusivo esso viene anche denominato anche displacement per sollevamento (raising displacement), se è di tipo intrusivo si parlerà di displacement per abbassamento (lowering displacement). Si illustra in Fig. 8 un esempio di feature per displacement ottenuta mediante sollevamento.

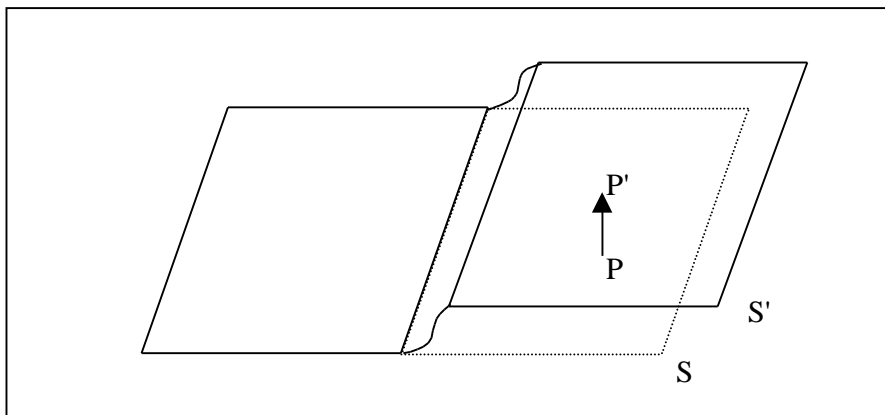


Fig. 8: Rappresentazione di una estrusione per displacement.

Se S ed S' sono rispettivamente la superficie primaria e la superficie caratterizzata da un'intrusione od estrusione per displacement, in un'area A_D (detta area del displacement) contenuta nell'area di influenza A S il generico punto P' trasformato di P si può ottenere come $P' = P + h\mathbf{v}$, dove \mathbf{v} è il versore-direzione costante di offset e h è uno scalare fissato, positivo o negativo a seconda che si abbia una estrusione o intrusione.

Nelle feature per displacement risultano ben individuate linee di carattere, che ben separano la superficie di displacement da eventuali superfici di raccordo con il tratto di superficie rimasto invariato. Si possono poi costruire intrusioni ed estrusioni mediante spostamenti rigidi consistenti in rotazioni o, più in generale in rototraslazioni di parti, accompagnate da superfici di raccordo nella transizione dalla parte invariata alla parte spostata.

Dopo le tipologie semplici di deformazione, e' possibile ora formalizzare l'idea visiva di eliminazione di una parte:

3. Un taglio (*cut*) è una modifica di una superficie primaria S che dà luogo ad una superficie $S' = S - S_T$, dove S_T è una superficie connessa il cui sostegno è strettamente contenuto in S .

Un'analisi per profili trasversali mette in evidenza che:

3_ℓ. In un taglio per ogni punto del perimetro di influenza il corrispondente profilo trasversale è una curva della quale il punto è un estremo.

Nel capitolo successivo verranno descritti vari tipi di tagli in base alle proprietà di connessione caratterizzanti la superficie tagliata.

Riportiamo in Fig. 9 una casistica di vari tipi di tagli che si possono praticare ad una superficie.

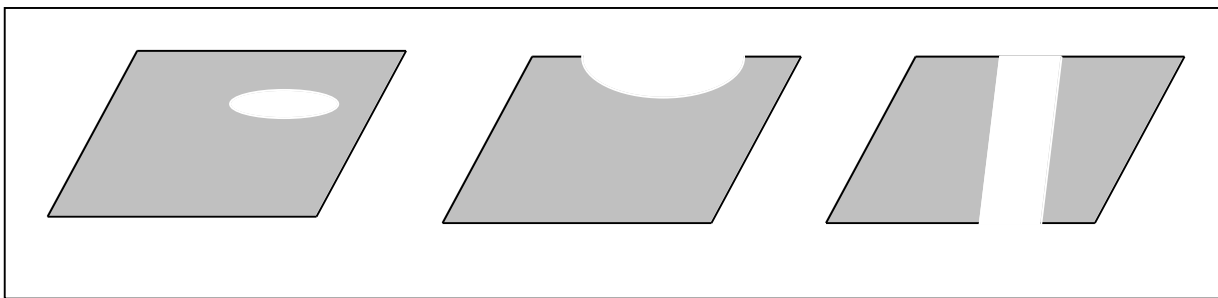


Fig. 9: Esempi di tagli

Ai fini estetici, si possono poi imporre condizioni che addolciscono la superficie lungo il profilo del taglio, le quali specificano dalla parte esterna al taglio quale sia il verso di concavità locale dei profili normali alla linea di carattere. Si pensi al caso in cui l'effetto è un rialzamento/abbassamento dolce dei lembi della superficie non elisa (ad esempio la parte di carrozzeria laterale immediatamente circondante la ruota di un autoveicolo). Si può parlare in tal caso di taglio rifinito e di taglio netto, ma quando non sia diversamente specificato faremo semplicemente riferimento alla nozione di taglio senza imporre a priori condizioni di incurvamento sulla frontiera.

Il taglio rifinito prevede una più approfondita analisi, che sarà oggetto di lavoro futuro, in cui saranno considerati criteri estetici collegati anche agli effetti ottici dovuti a particolari curvature della superficie.

3.3 Feature semplici: uno schema generale

Riportiamo in Fig. 10 lo schema generale riassuntivo della classificazione delle feature di dettaglio semplici appena proposte, distinguendo le feature ottenute per deformazione da quelle per eliminazione.



Fig. 10: *Classificazione generale delle feature di dettaglio*

3.4 Feature composte

Nel paragrafo precedente sono state considerate le feature semplici. E' possibile definire altre feature come composizioni strutturate di feature elementari in modo tale da poter riutilizzare anche i risultati di operazioni di modellazione complesse.

Precisamente, l'utente può definire una *feature di dettaglio composta* come il risultato della generazione sequenziale di un certo numero di feature semplici (intrusioni ed estrusioni con o senza strappo, tagli).

Rientrano a tutti gli effetti in questa tipologia anche i già menzionati *pattern-features*, che sono forme ottenute da più istanze di feature dello stesso tipo legate tra loro mediante relazioni predefinite, che possano essere identificate come unica entità. Si pensi a distribuzioni di feature semplici, ad esempio sequenze di piccole cavità della stessa forma su una superficie distribuite secondo un andamento prefissato.

Ai fini della definizione di una feature composta è irrilevante che le feature componenti siano sufficientemente 'vicine'. Le aree di influenza delle rispettive feature semplici componenti infatti possono essere o non essere disgiunte. In ogni caso l'area di influenza della feature composta risultante è evidentemente l'unione delle aree di influenza delle singole feature semplici componenti.

In Fig. 11 riportiamo alcuni esempi di feature di dettaglio composte, mentre in Fig. 12 rappresentiamo una tipologia di pattern-feature costituita da una sequenza di feature rappresentate da tagli praticati su intrusioni ad arco di forma similare.



Fig. 11: Esempi di feature composte



Fig. 12: Un esempio di pattern-feature

4 Tipi elementari di feature semplici

4.1 Classificazione

La nostra attenzione è da ora in poi rivolta alle feature di dettaglio definite a partire da linee di carattere. Si propone una classificazione dei tipi elementari di intrusione, estrusione e taglio che viene definita in base alle caratteristiche della zona di influenza e al tipo di linea di carattere. Nel caso delle feature di deformazione si danno definizioni teoriche in cui non si fa riferimento al grado di continuità geometrica con cui si presenta il raccordo tra superficie deformata caratterizzante la feature e superficie invariata, cioè non si specifica ancora quanto "dolcemente" si manifesta la deformazione sulla superficie. Il problema del raccordo tra le parti sulla base della continuità geometrica desiderata ai fini estetici verrà trattato nel Cap. 5.

La classificazione dei tipi elementari è la seguente:

Feature step-like (Fig. 13)

E' una intrusione od estrusione la cui la zona di influenza giace prevalentemente da una parte rispetto alla linea di carattere. E' evidente il carattere fortemente asimmetrico della deformazione rispetto alla linea stessa. Ad eccezione del caso particolare di deformazione con strappo in cui la linea di carattere può essere vista come ramo del perimetro di influenza, precisiamo che questa negli altri casi non separa esattamente la zona di deformazione dalla zona della superficie rimasta invariata, perché si prevede un lieve coinvolgimento dell'area di influenza anche dall'altra parte al fine di ottenere un raccordo sufficientemente morbido tra le parti (non sono di fatto esistenti i cosiddetti "spigoli vivi") secondo un grado di continuità geometrica da precisare.

Visivamente si pensi ad una feature step-like come ad un gradino ('sufficientemente' dolce o spigoloso) che si presenta su una superficie.

Che vi sia una depressione o una protuberanza dipende rispettivamente dall'abbassamento o dall'innalzamento rispetto alla forma base, e parleremo allora di feature step-like intrusive o estrusive.

Step-like per displacement: In particolare (cfr. paragrafo 3.2) si possono creare feature step-like per displacement (con o senza strappo). A seconda che vi sia estrusione o intrusione si hanno rispettivamente feature step-like a sollevamento (step-like raising) o step-like ad abbassamento (step-like lowering). Nella zona adiacente alla parte di perimetro di influenza non interessata da strappi si deve inoltre considerare una superficie di raccordo tra parte invariata e superficie di offset. Nella transizione tra superficie di raccordo e superficie di offset, in base alle intenzioni dello stilista e all'evidenza estetica, emergere una linea-guida che viene generalmente considerata la linea di carattere associata allo step per displacement. La parte superiore delle curve delimitanti eventuali strappi è a sua volta da riguardarsi come linea-guida.

In Fig. 13 sono mostrati alcuni esempi di feature step-like. A seconda della forma base scelta come superficie primaria, la caratterizzazione sarà considerata una protuberanza o una depressione.

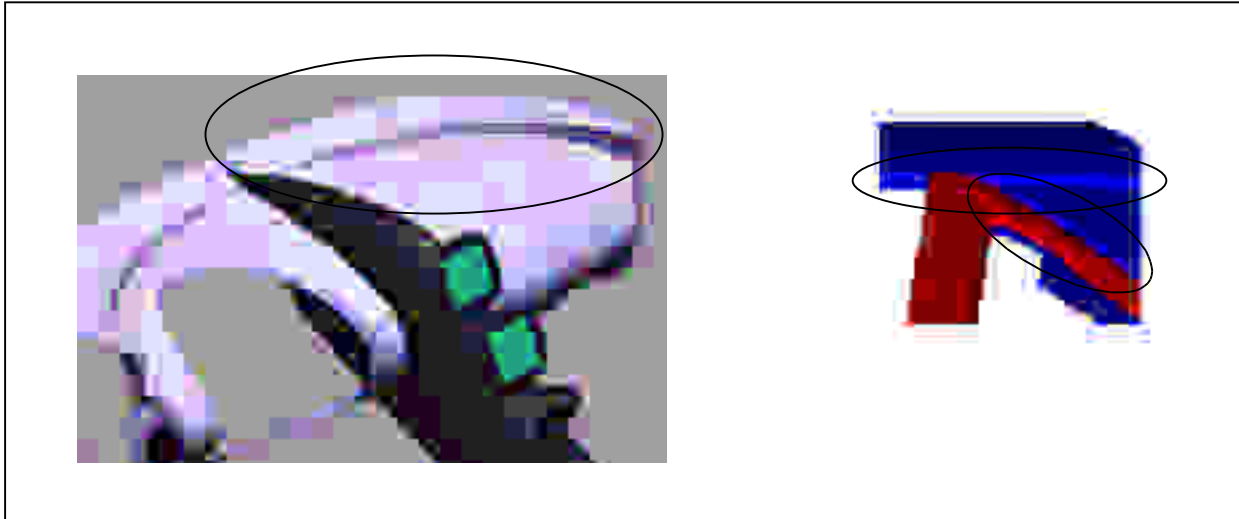


Fig. 13: Esempi di feature step-like

Individuiamo poi le seguenti intrusioni elementari:

Feature slot-like (Fig. 14)

E' una depressione la cui area di influenza è localizzata da entrambe le parti rispetto alla linea di carattere aperta o chiusa. Il perimetro di influenza concatena la linea di carattere ad esso interna e l'area di influenza può intersecare o no la frontiera della superficie.

Il termine è giustificato dal fatto che una feature slot-like si presenta come una scanalatura guidata dalla linea di carattere stessa.

La zona di influenza può essere più o meno ampia e in tale zona la variazione di curvatura può essere più o meno dolce. Una variazione netta di curvatura può mettere in evidenza ulteriori linee-guida.

In Fig. 14 si può notare l'importanza della scelta della zona di influenza associata ad una linea di carattere e della curvatura per esprimere l'incidenza della linea sulla superficie.

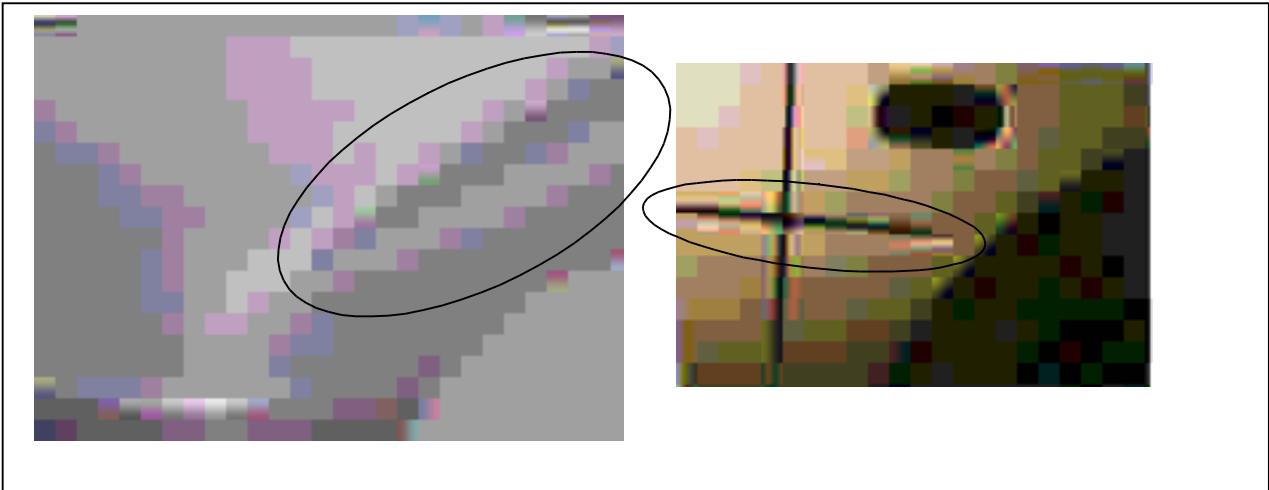


Fig. 14: Esempi di feature slot-like

Non rientrano in questa categoria feature per displacement semplici: dettagli a forma di scanalatura ottenuti per displacement verranno considerati non come slot-like ma come feature composte da due step-like, il primo per displacement ad abbassamento, ed il secondo per displacement a sollevamento di una parte della superficie abbassata avente area di influenza interna all'area di influenza associata al primo step.

Feature pocket-like (Fig. 15)

E' una depressione interna ad una linea chiusa.

La linea di carattere è sufficientemente vicina al perimetro di influenza della feature, ma non è esattamente coincidente con esso. In vista del raccordo continuo si può prevedere una leggera influenza della parte di superficie immediatamente esterna alla linea di carattere che definisce la pocket-like feature).

Il nome suggerisce l'idea visiva di una tasca, di una concavità formata nella superficie.

Si potrebbe osservare che una pocket-like feature associata ad una linea di carattere stretta e lunga può presentarsi "esteriormente" simile ad una slot-like feature. La differenza starebbe evidentemente nella scelta della linea di carattere e quindi nella tecnica operativa adottata per generare l'una o l'altra. Ciò che a livello operativo determinerà la scelta di costruzione di una feature come pocket-like o come slot-like sarà l'aspetto estetico di forma che si vuole associare alla superficie di raccordo, nel primo caso

con deformazione distribuita uniformemente all'interno della linea chiusa, nel secondo caso con deformazione più pronunciata attorno alla linea di carattere aperta.

Pocket-like per displacement: Si possono poi considerare tipologie per displacement (con o senza strappo), in cui una parte interna al perimetro di influenza viene abbassata mediante una traslazione rigida, e che possiamo denominare pocket-like ad abbassamento (pocket-like lowering) o abbassamento interno (in contrapposizione agli abbassamenti per displacement di tipo step che intersecano la frontiera della superficie). In questo caso è sicuramente messa in evidenza una linea guida la cui proiezione sulla superficie primaria corrisponde al perimetro dell'area di displacement a meno degli eventuali arrotondamenti imposti per un raccordo dolce tra superficie di displacement e superficie di transizione. Essa viene generalmente identificata come linea di carattere della feature pocket-like per displacement. Anche i tratti superiori di curve delimitanti eventuali strappi sono da riguardarsi come linee-guida.

Si vedano in Fig. 15 alcuni esempi di feature pocket-like.

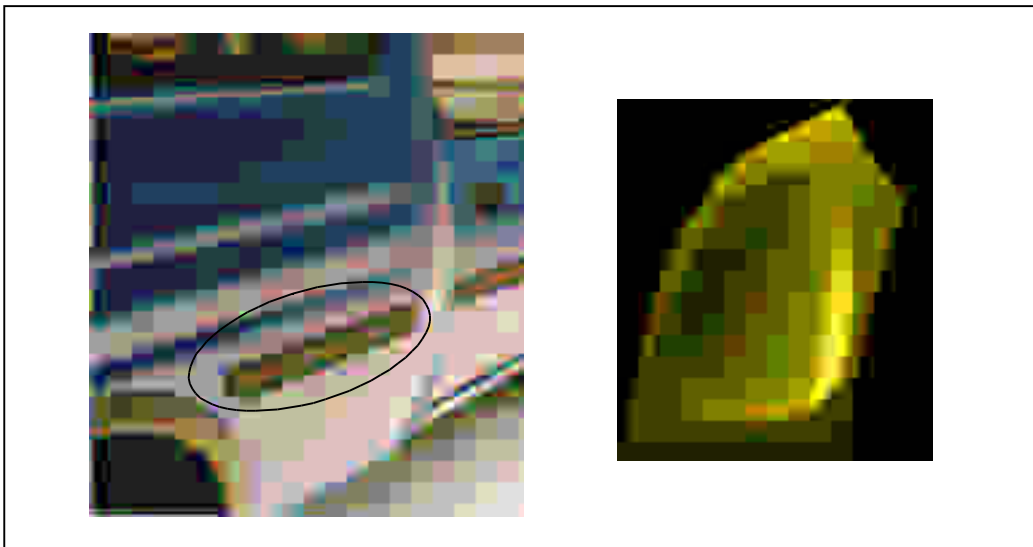


Fig. 15: Esempi di feature pocket-like

In modo complementare, con considerazioni analoghe, si possono poi definire ulteriori feature di dettaglio a livello di estrusione.

Feature rib-like (Fig. 16).

E' una protuberanza la cui zona di influenza è localizzata intorno alla linea di carattere da entrambe le parti. Si presenta come una nervatura la cui forma è guidata dalla linea di carattere che la definisce.

In modo analogo alle feature intrusive di tipo slot-like, non consideriamo tipi per displacement in quanto eventuali dettagli a nervatura ottenibili per displacement si possono derivare dalla composizione di uno step ad innalzamento con un successivo step ad abbassamento.

Si veda l'esempio di feature rib-like mostrato in Fig. 16.

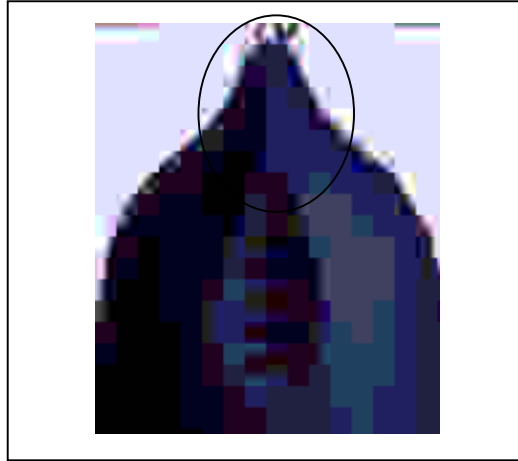


Fig. 16: Esempio di feature rib-like

Feature boss-like (Fig. 17)

E' una protuberanza interna ad una linea di carattere chiusa. La superficie racchiusa dalla linea di carattere dà il contributo principale all'area di influenza, ed il raccordo avrà un certo livello di continuità geometrica.

Si presenta esternamente come una convessità più o meno estesa sulla superficie di supporto. Si veda ad esempio la Fig. 17.

Anche al livello delle estrusioni, possiamo notare la somiglianza di particolari boss-like feature allungate e strette con rib-like feature. La differenza sta nel modo in cui vengono costruite a partire rispettivamente da una linea di carattere chiusa (e particolarmente lunga e stretta) e una linea aperta, e la scelta operativa è giustificata dalla forma che si richiede alla superficie costituente la feature.

Boss-like per displacement: Analogamente alle feature pocket-like, ma a livello estrusivo, si possono poi considerare feature boss-like per displacement (con strappo o senza strappo) ottenute dal sollevamento rigido di una parte della superficie interna al perimetro di influenza, che chiamiamo boss-like per sollevamento (boss-like lowering) o sollevamento interno. E' messa in evidenza una linea guida (che secondo le intenzioni dello stilista è generalmente assunta come linea di carattere) interna al perimetro di influenza separante la superficie sollevata dalla superficie di transizione. Sono poi ancora da considerarsi linee-guida le parti superiori di eventuali tratti con strappo.

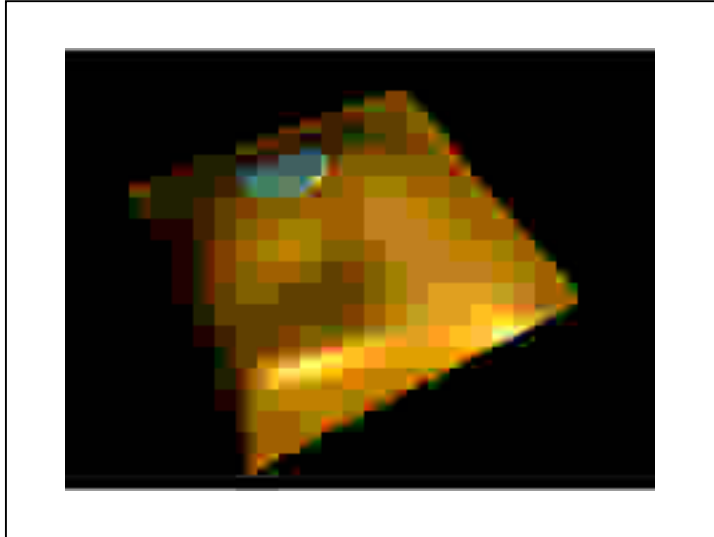


Fig. 17: Esempio di feature boss-like

Vengono ora classificati i tagli elementari.

Senza ledere la generalità, un taglio viene applicato ad una superficie che può essere sempre vista in un intorno opportuno (cioè localmente) semplicemente connessa. Sono possibili allora tre casi:

- a) il taglio mantiene sia la connessione locale che la semplice connessione locale,
- b) il taglio rompe la semplice connessione, ma lascia la connessione locale,
- c) il taglio rompe la connessione locale (e quindi la semplice connessione).

Sulla base di questa distinzione possiamo allora individuare tre tipi di tagli elementari:

Hollow-like cut

E' un taglio intersecante la frontiera che non determina sconnessione (situazione a)). Si presenta come un'incavatura, un rientro sulla frontiera della superficie. La parte eliminata è comunque un tratto di superficie semplicemente connesso. Quando il taglio sia netto possiamo identificare il perimetro di influenza, cioè il contorno del taglio, come la sua linea di carattere (quindi aperta). Quando vi sia rifinitura l'incavatura imposta al lembo di superficie adiacente al taglio può far emergere un'ulteriore linea-guida.

L'incavatura a semicerchio praticata alla parte di carrozzeria sovrastante la ruota in un'autovettura è un classico esempio di taglio hollow-like, come mostrato in Fig. 18.

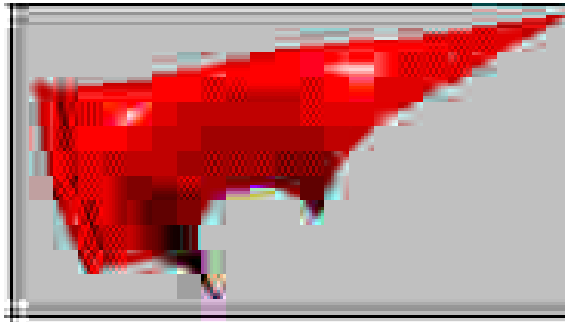


Fig. 18: Esempio di taglio hollow-like.

Hole-like cut

E' un taglio interno che rende la superficie non più localmente semplicemente connessa (situazione b)). La parte eliminata è un tratto semplicemente connesso topologicamente equivalente ad un buco. Ad un taglio hole-like netto viene associata come linea di carattere il contorno del taglio (perimetro di influenza), e quindi una linea chiusa non intersecante la frontiera. In caso di rifinitura possono emergere anche in questo caso ulteriori linee guida che evidenziano eventuali incurvature adiacenti al taglio.

Mostriamo in Fig. 19 esempi di taglio hole-like.

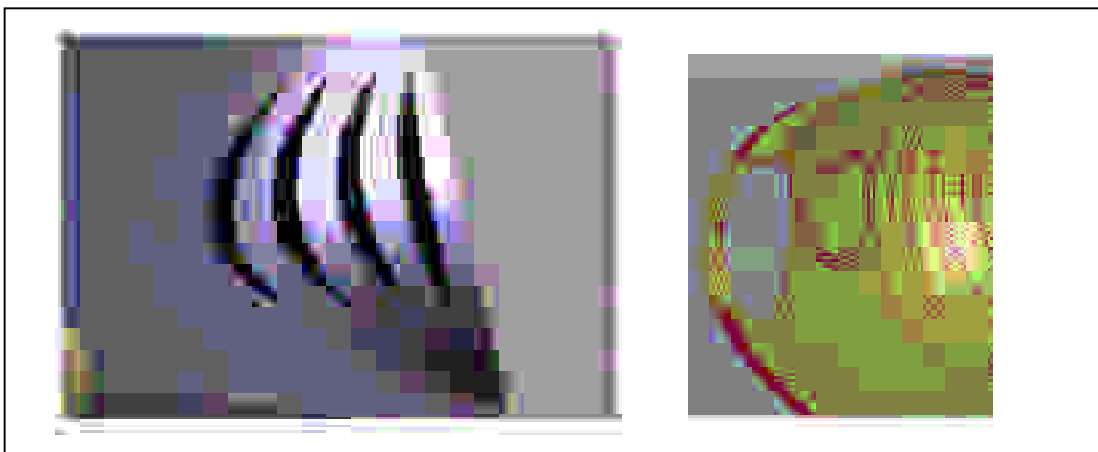


Fig.19: Esempi di taglio hole-like

Gap-like cut

E' un taglio interno che rende la superficie non più localmente connessa (situazione c)), cioè determina sconnessione tra parti.

In base alle caratteristiche di semplice connessione della parte tagliata possiamo distinguere due tipi di separazioni: i *gap lineari*, in cui è eliminata una parte semplicemente connessa (necessariamente intersecanti la frontiera della superficie a cui vengono applicati), ed i *gap ad anello*, in cui la parte eliminata è una corona a topologia circolare non semplicemente connessa (questi ultimi possono o no intersecare la frontiera della superficie).

In un gap netto, analogamente agli altri tipi di tagli, è ancora naturale associare la linea di carattere con il perimetro di influenza, cioè il bordo del taglio. In tal caso la linea di carattere è composta da due tratti sconnessi tra loro che possono essere:

- aperti e intersecanti la frontiera (gap lineare);
- chiusi e non intersecanti la frontiera (gap ad anello interno), in cui un tratto è interno all'altro;
- uno chiuso ed uno aperto, quest'ultimo intersecante la frontiera (gap ad anello sulla frontiera).

In caso di rifiniture possono poi emergere ulteriori linee-guida che accompagnano la linea di carattere del taglio.

In Fig. 20 sono mostrati alcuni tipi di tagli gap-like lineari e ad anello.

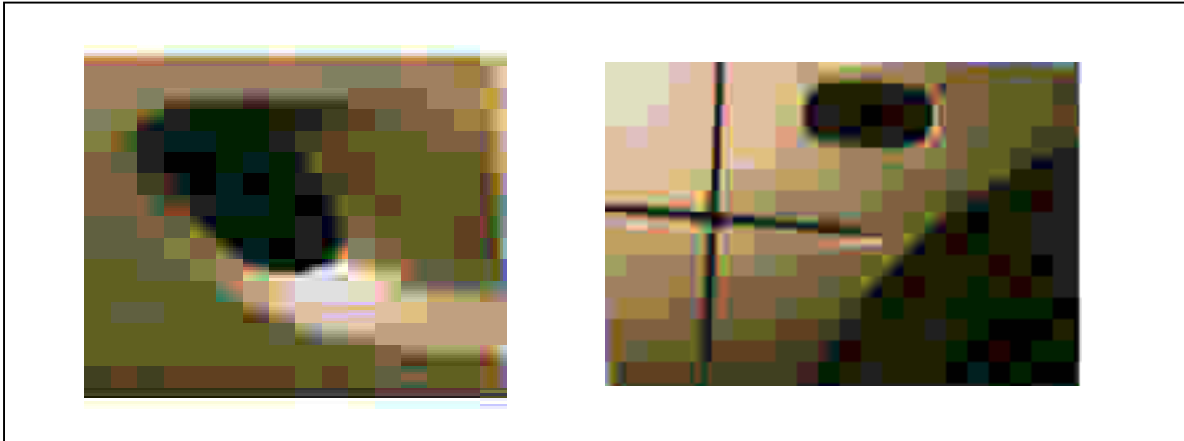


Fig. 20: Esempi di tagli gap-like lineari e ad anello

4.2 Quadro generale

Nelle tabelle che seguono diamo una rappresentazione schematica della classificazione appena proposta dei tipi elementari di feature per intrusione, estrusione e taglio.

In Fig. 21 sono evidenziate le estrusioni ed intrusioni elementari in base alle caratteristiche della linea di carattere e, tra queste, sono messe in evidenza le tipologie semplici ottenute mediante displacement.

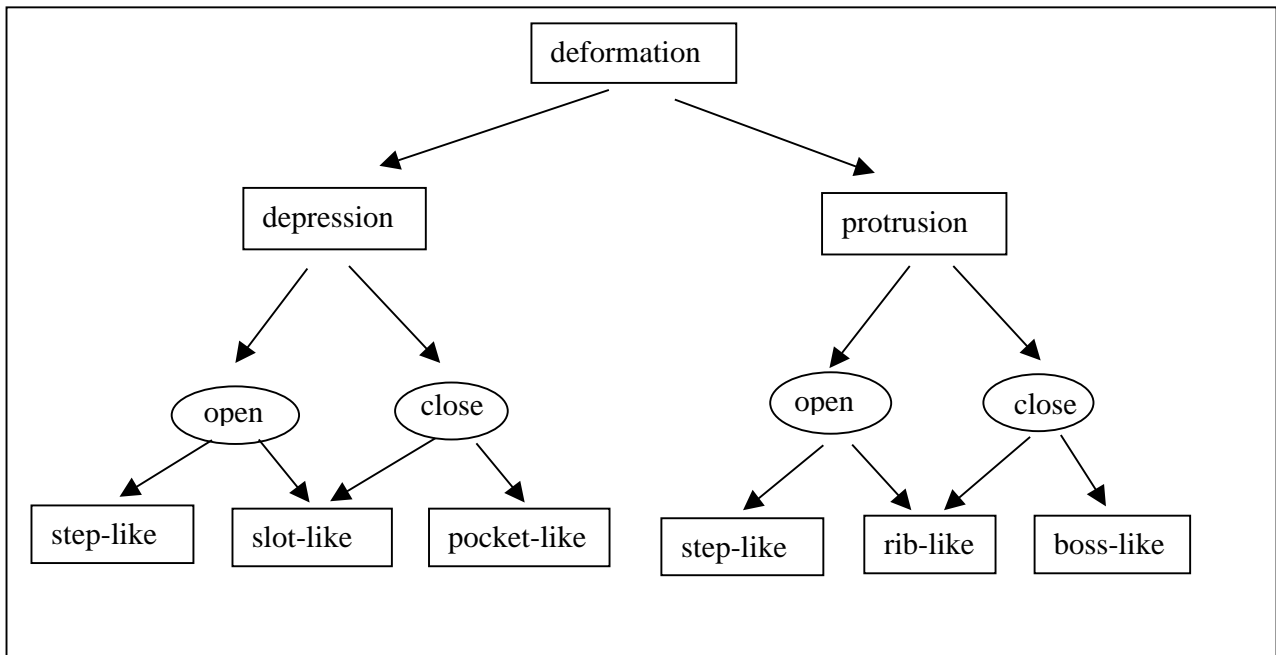


Fig. 21: *Classificazione delle feature elementari ottenute per deformazione*

In Fig. 22 sono elencati i tipi elementari di taglio in base alle proprietà di connessione della regione eliminata e alla posizione di questa rispetto alla frontiera della superficie primaria.

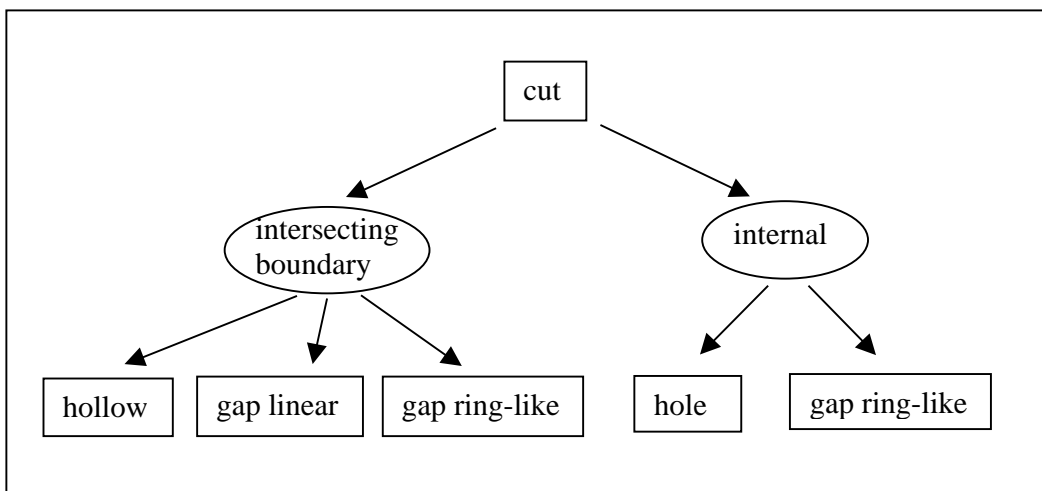


Fig. 22: *Classificazione delle feature elementari ottenute per eliminazione*

5 Definizione di parametri geometrici

In questo capitolo descriviamo alcuni parametri geometrici preliminari che ci serviranno ai fini della definizione formale delle classi di feature di dettaglio appena descritte. L'obiettivo è definire l'elenco delle informazioni che occorre conoscere per la determinazione completa della forma della feature di dettaglio. La lista di informazioni e di parametri deve ovviamente poter essere implementabile per costruire feature mediante modellazione di superfici al calcolatore. Vediamo di porre in evidenza le informazioni di base.

5.1 Parametri essenziali

5.1.1 Linea di carattere

E' individuata da una curva su una superficie, e può essere aperta o chiusa. Al variare della forma della linea si possono determinare infinite caratterizzazioni per una data superficie primaria.

Secondo il punto di vista da noi seguito, la linea di carattere viene trattata come *parametro di definizione* fondamentale della feature. Utilizziamo cioè la linea di carattere come un'informazione fissata a partire dalla quale, insieme ad ulteriori parametri caratterizzanti, viene stabilita la legge di deformazione da cui risulterà la forma finale della feature. Un approccio distinto, altrettanto valido ma che non sarà seguito nel presente documento, è quello di interpretare la linea di carattere (laddove esista) come il *risultato* di un macrooperatore di deformazione.

In base alla prima scelta, mettiamo in evidenza come può essere definita da un punto di vista operativo una linea di carattere.

Si consideri a tal riguardo una superficie primaria S definita rispetto ad un fissato sistema di riferimento $Oxyz$, ed una curva c_0 (che possiamo chiamare linea base di carattere) la cui posizione è nota rispetto alla superficie. La curva può appartenere o non appartenere alla superficie. L'eventuale proiezione p della curva sulla superficie, se questa già non appartiene alla superficie (per cui $p \neq c_0$, dove i è la funzione identica), ci permette in un caso o nell'altro di individuare comunque una curva $c_1 = p(c_0)$ sulla superficie che chiamiamo infine linea di carattere primaria.

Vogliamo ammettere in effetti la possibilità di partire progettualmente da una linea anche non appartenente alla superficie, per considerare il caso in cui sono definite linee di carattere come curve originate a partire da linee preesistenti altrove. Si pensi al caso in cui lo stilista per ragioni di uniformità di stile vuole riprodurre la stessa forma di sagoma, lo stesso andamento da una superficie ad un'altra, ovvero da una parte dell'oggetto all'altra, o a linee simili in stile che caratterizzano la marca e/o il modello del prodotto (ad esempio il cosiddetto "logo" che caratterizza la casa automobilistica di appartenenza di un veicolo).

Individuata dunque per definizione diretta o per proiezione una linea di carattere primaria (ed è più propriamente quest'ultima che assumiamo come parametro di definizione della legge di deformazione), chiamiamo infine linea di carattere la linea primaria trasformata per effetto della deformazione sulla superficie, cioè la curva immagine $c_1 = \{P : P = \varphi_1(P_1), P_1 \in c_0\}$, dove $\varphi_1 : S \rightarrow R^3$ rappresenta la legge di deformazione (cfr. Cap. 6) in cui $\varphi_1(S) = S'$ sarà la superficie caratterizzata. Per brevità di terminologia si era già di fatto chiamato (e chiameremo da ora in poi ancora) come linea di carattere anche la stessa linea primaria. Il contesto è sufficiente a precisare se ci si riferisce alla linea sulla superficie primaria o alla linea trasformata appartenente alla superficie caratterizzata.

In Fig. 23 rappresentiamo le relazioni tra linea base di carattere, linea di carattere primaria, e linea di carattere.

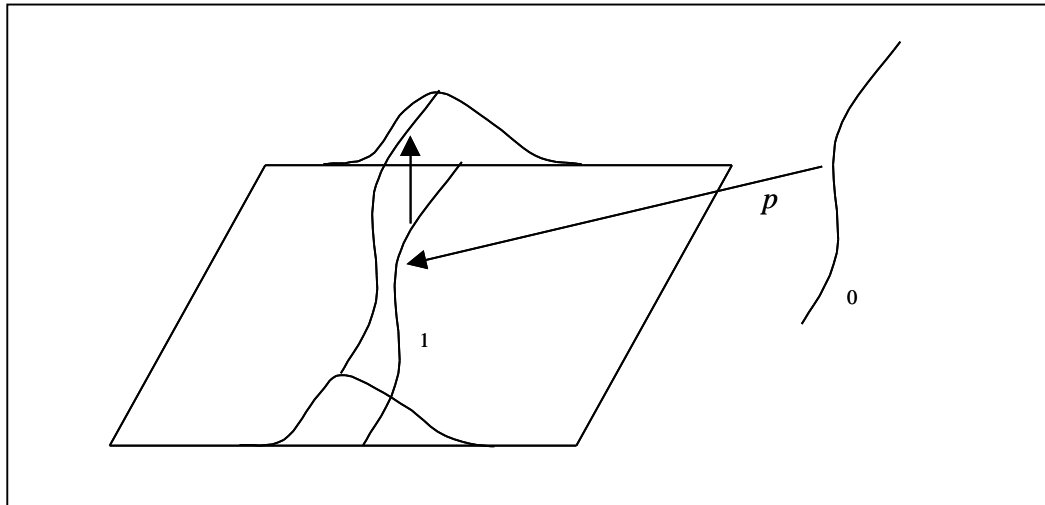


Fig. 23: Rappresentazione delle linee di carattere $0, 1$ e p

Una linea di carattere può essere innanzitutto una linea *aperta* o *chiusa*. In particolare, se le feature intersecano la frontiera della superficie di supporto allora esse si possono ottenere in corrispondenza ad una linea di carattere aperta, se le feature sono interne esse sono individuate mediante una linea di carattere che può essere aperta o chiusa.

Linee-guida: Oltre alla linea di carattere fondamentale, per caratterizzare l'andamento di forma di alcuni tipi di feature può talvolta essere necessario specificare delle ulteriori curve speciali appartenenti alla superficie che si intende ottenere, che abbiamo chiamato linee-guida. Si pensi al caso di certe feature ottenute per displacement di parti di superfici, in cui la linea di carattere mette in evidenza la transizione tra la superficie traslata e la superficie di raccordo ed è individuabile una ulteriore linea guida definita dallo stilista per evidenziare il passaggio dalla superficie di raccordo alla superficie invariata. Operativamente le eventuali linee-guida possono essere date come parametri mediante tecniche di costruzione analoghe a quelle appena descritte per la definizione della linea di carattere (che interpretiamo come linea-guida fondamentale) a partire da linee sulla superficie primaria eventualmente derivate per proiezione da prestabilite linee-guida di base.

Sottolineiamo infine che non si deve confondere la nozione di linea di carattere associata alla feature (e del resto di linea-guida in genere) con il perimetro di influenza. A volte le due definizioni possono coincidere: si pensi, ad esempio, al caso di un taglio netto consistente nell'eliminazione tout-court della parte di superficie interna ad una prefissata linea chiusa. Generalmente però le due linee sono concetti ben distinti. Pensiamo ad una protuberanza interna che manifesta il suo valore massimo di sporgenza lungo una linea - la linea di carattere, appunto - dotata di uno spessore trasversale (cfr. Cap. 4). In questo caso il contorno dell'area di influenza è una linea chiusa concatenante (circondante) la linea di carattere.

5.1.2 Ampiezza dell'area di influenza

Come si è detto la presenza di una linea di carattere su una superficie ne influenza la forma in una regione più o meno ampia che abbiamo chiamato area o zona di influenza.

L'ampiezza della zona di influenza si può assegnare in diversi modi:

- Direttamente tramite l'assegnazione di curve che costituiscono il perimetro di influenza (ad esempio, una curva B , o due curve $B_{,1}$ e $B_{,2}$ sconnesse o no tra loro nel caso di feature slot-like/rib-like).
- Tramite una coppia di numeri reali (per ampiezza costante) o una coppia di funzioni (per ampiezza non costante) che stabiliscono la misura dell'influenza localizzata attorno alla linea di carattere da una parte e dall'altra (si pensi alle slot-like e alle rib-like) per tenere conto dell'eventuale non simmetria della feature. Possiamo rappresentare allora tali funzioni nella forma $f_1(s)$ ed $f_2(s)$, rappresentanti le distanze \overline{PP} (costanti o non costanti) dei punti P giacenti sul perimetro di influenza da una parte e dall'altra rispetto alla linea di carattere dai rispettivi punti-proiezione P su f_1 (lungo fissata direzione di proiezione) assumenti il valore s dell'ascissa curvilinea di f_1 . In caso di influenza simmetrica attorno alla linea di carattere è sufficiente un solo valore numerico o una sola funzione che definisce la semiampiezza rispettivamente costante o non costante lungo la curva.

Mostriamo in Fig. 24 i parametri sopra descritti per determinare l'ampiezza della zona di influenza.

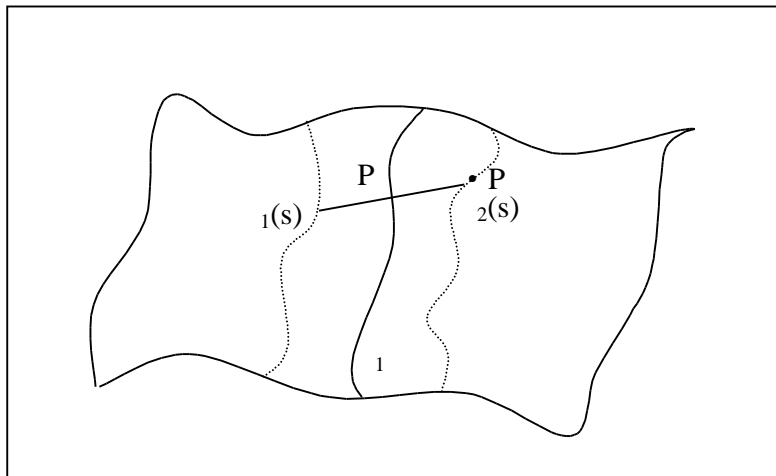


Fig. 24: Parametri dell'ampiezza della zona di influenza

Se l'ampiezza viene assegnata mediante valori numerici o funzioni essa deve assumere valori positivi. Nel caso particolare in cui la zona di influenza si estende a tutta la superficie è consigliabile creare direttamente una nuova superficie primaria.

Se la zona di influenza interseca parti di frontiera della superficie è necessario tenere conto delle conseguenze prodotte dalle feature anche sulle superfici adiacenti (ad esempio possono esistere vincoli di continuità da mantenere che possono comportare un ritocco anche delle superfici adiacenti).

5.1.3 Profondità

Dobbiamo poter essere in grado di rendere quantitativamente il livello di incidenza e di impressione sulla superficie da parte della feature, questo può essere fatto attraverso un parametro che ne esprime la profondità. Possiamo vedere matematicamente la *profondità come il vettore proiezione del generico punto appartenente alla linea di carattere (primaria) sulla superficie originaria nel corrispondente punto sulla superficie caratterizzata.*

In quanto vettore, la profondità può essere assegnata tramite:

- una direzione orientata che stabilisce se la linea di carattere rappresenta una depressione o una protuberanza (se la direzione è concorde con la normale alla superficie allora si ha una protuberanza, altrimenti una depressione);
- un valore intensivo, che indica quanto profondamente la linea di carattere incide sulla superficie.

Possiamo assegnare profondità che variano in valore intensivo e in direzione (o entrambi) lungo la linea di carattere. In tal caso, dato un verso di percorrenza alla curva, la profondità può essere espressa come una funzione vettoriale $\mathbf{h}(s)$ definita per ogni punto della linea primaria di carattere Γ di ascissa curvilinea s . Si tiene conto che la variazione di profondità deve mantenere una certa continuità per evitare la presenza di forme indesiderate o non sufficientemente regolari.

Secondo un approccio diverso, anziché assegnare una funzione vettoriale continua di profondità sui punti della linea di carattere primaria, si potrebbe dare un insieme discreto di vettori applicati (P_i, \mathbf{h}_i) , per $i = 1, 2, \dots, n$, dove ogni punto P_i appartiene alla superficie primaria internamente all'area di influenza. Su questa idea si basa una funzione di deformazione, detta FdF, attualmente oggetto di studio presso il centro di ricerca della società Matra DataVision – Parigi (ref. [17] e [18]). Il vantaggio di questo approccio discreto è nella dipendenza dall'area di influenza ma non da una linea di carattere (quindi utilizzabile anche per feature più generali non definite a partire da una linea di carattere), ma dal punto di vista operativo vi è lo svantaggio di uno scarso controllo della forma della feature lontano dai punti di applicazione dei vettori profondità (con la necessità di imporre ulteriori parametri di controllo).

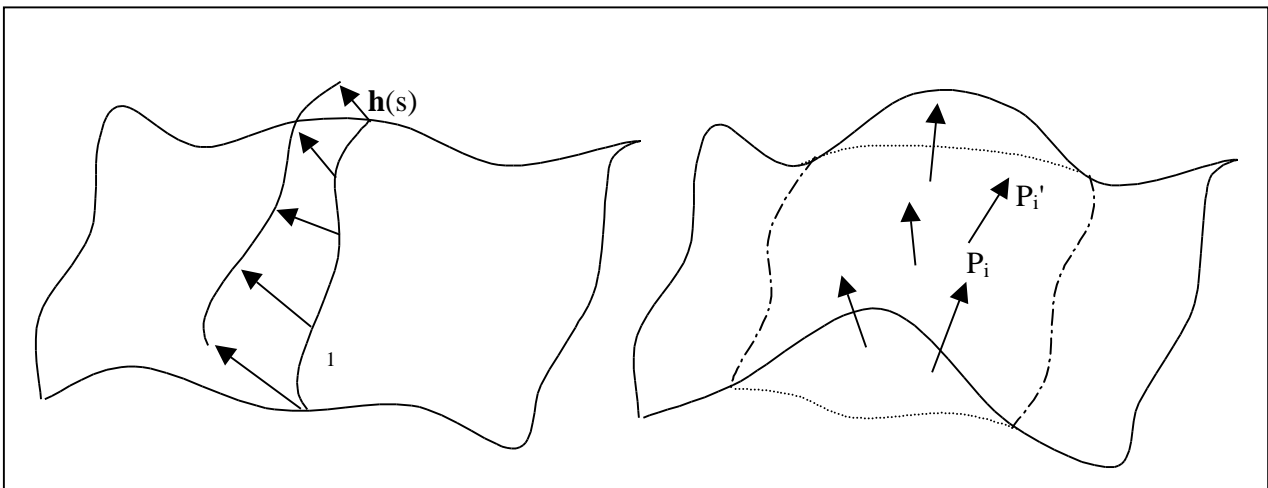


Fig. 25: Profondità della linea di carattere

In Fig. 25 vengono rappresentati rispettivamente la funzione vettoriale continua $\mathbf{h}(s)$ ed il sistema discreto di vettori (P_i, \mathbf{h}_i) in base ai due approcci.

5.1.4 Condizioni di raccordo

In fase di progettazione lo stilista deve poter stabilire il grado di dolcezza con cui la parte di superficie modificata viene raccordata con la parte di superficie rimasta invariata. Le condizioni di raccordo vengono espresse mediante le cosiddette condizioni di continuità geometrica G^n sul perimetro di influenza [2]. Ricordiamo infatti che:

due superfici sono unite con continuità geometrica G^n lungo una certa curva se vi è continuità analitica C^n in almeno un intorno superficiale della curva rispetto ad un'opportuna parametrizzazione della superficie-unione.

Per maggiori approfondimenti a proposito della nozione di continuità geometrica si rimanda all'Appendice. Vediamo invece il significato dal punto di vista operativo.

In pratica viene richiesto un tipo di raccordo di tipo G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 . Una continuità G^{-1} su un tratto del perimetro di influenza è associata visivamente all'idea di discontinuità sul tratto: si pensi al caso di una deformazione con strappo. La continuità G^0 esprime il semplice collegamento spigoloso tra le parti adiacenti il tratto. Mettiamo in evidenza però che fisicamente è difficile realizzare un raccordo tra superfici che dia luogo a spigoli vivi perché il congiungimento tra parti si presenta comunque con un arrotondamento più o meno lieve. La continuità G^1 esprime un raccordo dolce con continuità di tangente. Infine la continuità G^2 richiede anche continuità di curvatura.

Riportiamo in Fig. 26 la rappresentazione visiva di alcuni tipi di continuità geometrica.

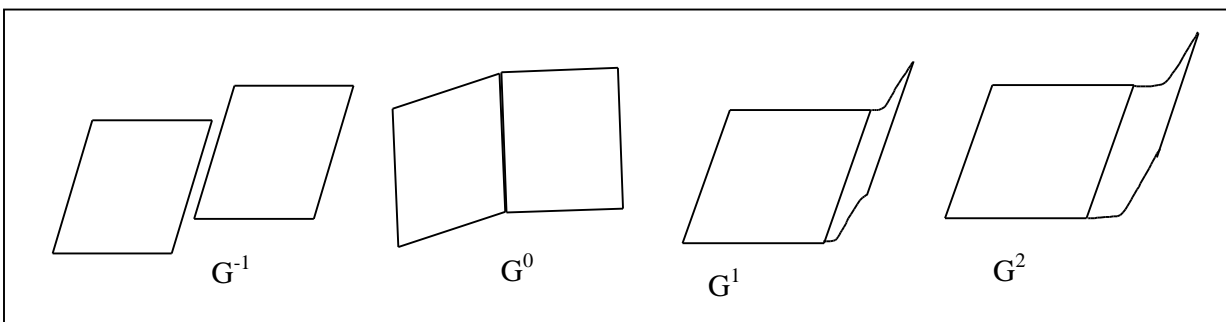


Fig. 26: Esempi dei più comuni tipi di continuità geometrica

5.2 Parametri di controllo della forma

Le informazioni appena viste danno la struttura portante per individuare molte possibili superfici locali rappresentanti la feature di dettaglio. Ad esempio definiscono senz'altro alcune linee che possiamo chiamare linee strutturali di sostegno della feature, la quale può essere ottenuta come superficie locale generata mediante procedimenti di interpolazione a partire da queste curve ben definite.

A questo punto lo stilista può avere la necessità di specificare nuovi parametri geometrici in grado di caratterizzare ulteriormente la superficie modificata per un più diretto controllo della forma della feature. Ne proponiamo alcuni.

5.2.1 Passaggio per punti

Nella maggior parte delle interfacce grafiche per la manipolazione di superfici free-form (si pensi al sistema CAS, denominato Alias, utilizzato nel design delle carrozzerie dei veicoli progettati da Pininfarina) è effettivamente importante poter ancora manipolare direttamente punti approssimanti o interpolanti le superfici. Se pure questo tipo di informazione può apparire di basso livello, secondo l'idea già ricordata di una progettazione estetica mirata alla modellazione di superfici indipendentemente dalle unità matematiche costitutive elementari (si pensi ai punti di controllo che definiscono le superfici NURBS), è utile che lo stilista abbia la possibilità di imporre il passaggio della superficie-feature per un set finito di punti Q_i , per $i=1,2,\dots,m$.

Questo genere di informazione risulta equivalente all'assegnazione del sistema discreto di vettori profondità (cfr. paragrafo precedente). Occorre verificare naturalmente che i punti proiettati giacciono internamente all'area di influenza e che vi sia compatibilità con le informazioni date relativamente alle profondità se tali proiezioni coinvolgono i medesimi punti.

5.2.2 Profili verticali e curve di livello

Pensando invece ad entità di più alto livello, lo stilista può avere la necessità di predefinire un set finito di curve piane di sezione della forma-feature. Ad esempio può essere assegnata in input una famiglia di n curve piane, per $i = 1, 2, \dots, n$, di prefissata rappresentazione parametrica $(X_i(t), Y_i(t))$, per $a_i \leq t \leq b_i$ su prefissati piani $\pi_i = (XY)_i$ di localizzazione nota rispetto alla superficie e quindi alla linea di carattere. I piani sono individuati quando sono assegnati i parametri P_i, \mathbf{n}_i indicanti un punto del piano ed il corrispondente versore normale, valori assegnati in modo che i piani intersechino la zona di influenza. Un altro approccio potrebbe essere di predefinire delle curve-sezioni su piani liberi, e in tal caso occorre stabilire un criterio di proiezione delle curve piane libere sulla superficie.

In pratica si assegnano curve-sezione su piani verticali paralleli (che chiameremo profili verticali paralleli) che stabiliscono la 'dorsatura' attorno alla linea di carattere. E' evidente che devono essere rispettati i vincoli di compatibilità con i parametri precedentemente usati. I profili devono intersecare la linea di carattere e devono rispettare il vincolo di continuità geometrica imposto sul/sui punto/i del perimetro di influenza lungo la retta orizzontale direttrice del corrispondente piano sezione.

Un'altra possibilità è assegnare profili trasversali (cfr. definizione del Cap. 3) relativi ad n punti P_i della linea di carattere, un altro modo di rappresentare la dorsatura per sezioni piane verticali, ma in generale non parallele, ed anche in questo caso occorre verificare la compatibilità della forma di ogni curva con le condizioni di continuità geometrica.

Similmente all'approccio usato in topografia, specialmente nel caso di protrusioni ed estrusioni di forma più complessa, si potrebbe altrimenti lavorare per sezioni orizzontali ad assegnate quote h_i , cioè definire una famiglia di curve di livello che esprimono il luogo dei punti di pari quota rispetto al piano orizzontale del sistema di riferimento della superficie. In questo caso bisogna assegnare curve chiuse o aperte che siano disgiunte tra loro, e disgiunte dalla proiezione del perimetro di influenza sul medesimo piano orizzontale.

Anzichè per curve di livello sul piano orizzontale, lo stilista tende comunque a preferire una definizione di profili verticali paralleli o profili trasversali, per avere una maggiore immediatezza visiva 3D della forma della feature che intende costruire attorno alla sua linea di carattere.

In Fig. 27 rappresentiamo i tre tipi di sezioni piane sopra descritte.

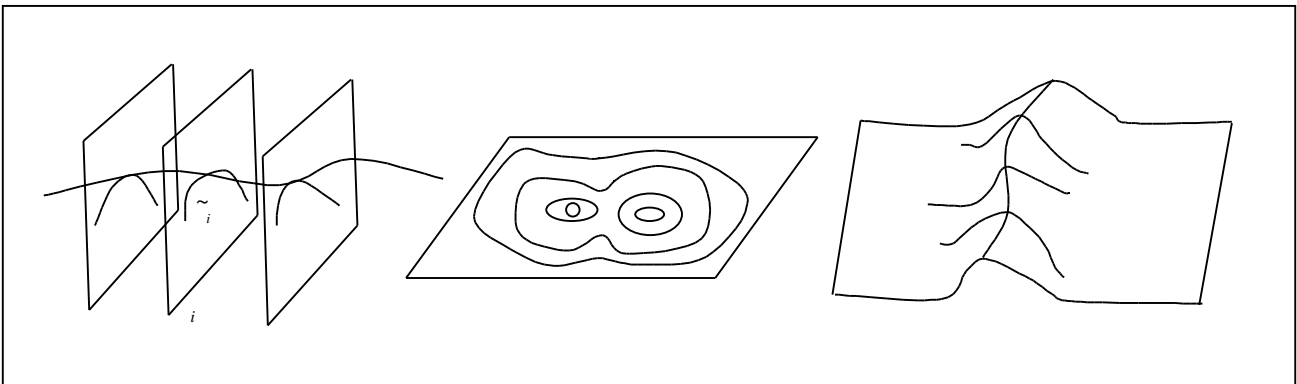


Fig. 27: *Profili verticali paralleli, curve di livello e profili trasversali*

Una volta assegnate queste curve, insieme con la linea di carattere, la superficie-feature viene ottenuta come superficie (ad esempio una superficie NURBS) approssimante o interpolante tali linee compatibilmente con gli altri parametri di definizione della feature.

Questo gruppo di informazioni ha il vantaggio che permette un forte controllo della forma finale risultante, in quanto dà informazioni di tipo globale (perché globale è l'informazione di conoscenza dell'andamento di una curva), ma presenta lo svantaggio che bisogna verificare che siano rispettate le sopra menzionate condizioni di compatibilità.

5.2.3 Leggi di curvatura e pendenza

Lo stilista potrebbe decidere di prestabilire quale sia il livello di incurvamento della superficie-feature lungo predefinite direzioni. Considerato il ruolo privilegiato della linea di carattere, potrebbe ad esempio interessare l'incurvamento dorsale attorno ad essa. Precisiamo i concetti (cfr. Appendice, a proposito della nozione di *curvatura*).

Data una curva appartenente ad una superficie, definiamo curvatura trasversale in un suo punto P , la curvatura k in P del corrispondente profilo trasversale. Chiamiamo quindi vettore curvatura trasversale il vettore $\mathbf{k} = k\mathbf{n}$, la cui intensità è la curvatura trasversale, e la cui direzione è il versore normale del profilo trasversale in P (allo stesso modo in cui può essere definito in generale un vettore curvatura per una curva qualsiasi in ogni suo punto).

Conoscere il vettore curvatura trasversale equivale allora a conoscere la sua curvatura insieme con il suo vettore tangente \mathbf{t} o, il che è lo stesso, il raggio ed il centro C di curvatura, e quindi il cerchio osculatore del profilo trasversale in P .

Se quindi noi consideriamo l'ascissa curvilinea s della linea di carattere l'utente può definire una funzione scalare di curvatura $k(s)$ trasversale, o addirittura assegnare la funzione vettoriale $\mathbf{k}(s)$ (legge di curvatura trasversale), o equivalentemente le funzioni $\mathbf{n}(s)$ e $\mathbf{t}(s)$ (quest'ultima possiamo definirla legge di pendenza trasversale).

Diamo una rappresentazione in Fig. 28 delle leggi di curvatura e pendenza sopra descritte.

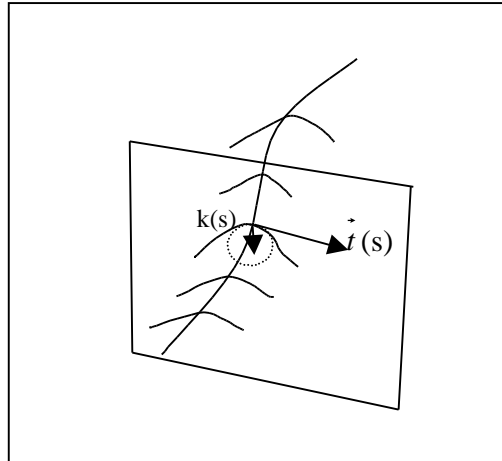


Fig. 28: Leggi di curvatura e pendenza trasversale

Allo stesso modo in cui è definita la legge di curvatura trasversale scalare o vettoriale e/o la legge di pendenza trasversale, si potrebbero dare le leggi di curvatura e/o pendenza dei profili verticali lungo una certa direzione.

In un caso o nell'altro è evidente che questo gruppo di parametri dà informazioni sulla superficie-feature di tipo locale (perché locali sono le nozioni di curvatura, vettore tangente, ecc.), con il vantaggio di lasciare ancora gradi di libertà di forma per il resto della feature (nel rispetto degli altri parametri assegnati). Inoltre tale carattere locale permette di evitare controlli di compatibilità con i parametri essenziali precedentemente assegnati, tranne l'eventuale verifica della consistenza con la forma dei profili qualora siano assegnati lungo la medesima direzione di piano verticale rispetto alla quale sono date le leggi di curvatura e/o pendenza. Uno svantaggio invece è rappresentato dalla difficoltà operativa di prestabilire leggi di curvatura e/o pendenza in una forma adatta per l'implementazione al calcolatore.

I parametri proposti rappresentano una tra tante possibili scelte, e si è cercato di rappresentarli secondo una forma matematica. E' chiaro però che a questo livello non è stata fatta alcuna menzione alla traduzione in termini operativi (=implementabili) dei suddetti parametri concettuali. Ciò costituirà soggetto per i successivi sviluppi del presente lavoro.

Una volta definiti questi parametri come possibili informazioni da utilizzare ai fini della costruzione della feature, siamo in grado nel capitolo seguente di presentare una classificazione formale delle feature in base al tipo, alle relazioni gerarchiche, ai parametri di definizione e di ulteriore caratterizzazione, ai vincoli e alle condizioni di compatibilità da rispettare.

6 Rappresentazione delle feature mediante classi

6.1 Schema di rappresentazione

Coerentemente con le ref. [11] e [12], si è detto viene associata ad una feature di dettaglio l'idea di una deformazione che opera trasformando una superficie free-form originaria (superficie primaria) in una

superficie modificata (superficie caratterizzata). Le modifiche sono localizzate nella zona di influenza, e altrove la superficie resta invariata (cfr. Fig. 29).

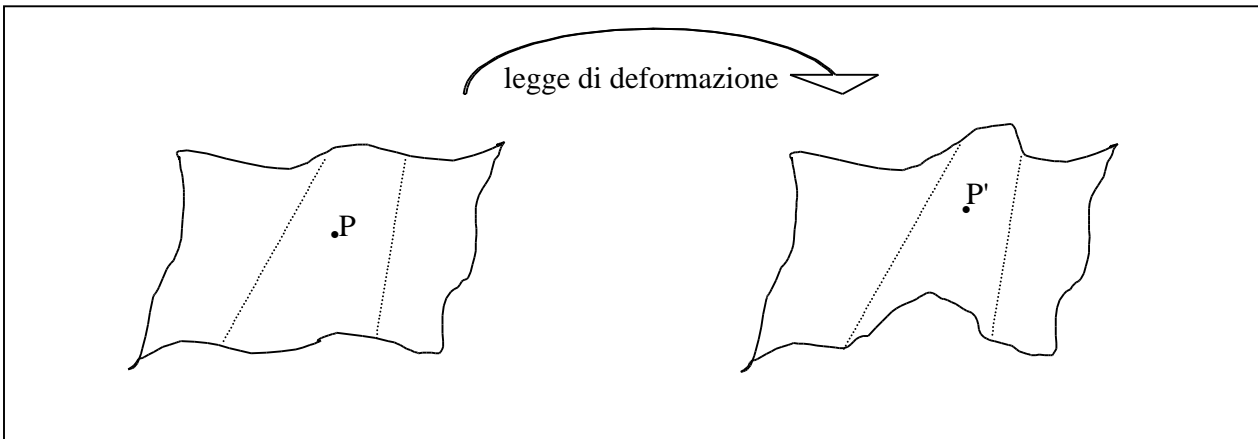


Fig. 29: Feature di dettaglio vista come legge di deformazione

Limitandoci all'area di influenza in cui la modifica avviene effettivamente diventa allora fondamentale definire con quale legge (funzione) ogni punto P dell'area di influenza (*dominio*) viene trasformato nel corrispondente punto P' della superficie caratterizzata, cioè definire appunto la *legge di deformazione*.

Operativamente interpretiamo la legge di deformazione come relazione funzionale di specifici parametri che a loro volta possono essere interpretati come funzioni (si pensi alla linea di carattere, al vettore profondità, alla/e funzione/i di ampiezza, a prestabilite leggi di curvatura, ecc.) che vengono precisati in base agli specifici tipi di feature di dettaglio che si intende costruire.

Si sottolinea che nel presente lavoro si pone particolare attenzione alle feature che sono definite a partire da una linea di carattere.

In base allo schema di rappresentazione per classi che viene presentato, secondo un'ottica object-oriented in cui una classe è un'entità a cui vengono associati attributi e metodi, identifichiamo la generica feature di dettaglio come la classe astratta i cui parametri generali sono informazioni identificanti il dominio, la legge di deformazione stessa (virtualmente una legge qualsiasi), e le relazioni di connessione (attachment). Rispetto a questa classe generale, le altre classi sono intese come classi derivate, cioè istanze particolari della classe astratta.

Sulla base di questa premessa, ogni classe-feature viene definita secondo il seguente schema:

Derivazione: classe generale da cui la feature è derivata come classe particolare

Nome: termine di identificazione della feature

Definizione: breve descrizione della forma della feature

Parametri: entità geometriche e topologiche necessarie per definire una determinata forma. (Se la classe è derivata tali parametri sono da considerarsi ulteriormente a quelli indicati per la classe superiore a cui questa appartiene).

Vincoli: restrizioni che è necessario imporre sui parametri

6.2 Classi di feature di dettaglio

DETAIL FEATURE

Derivazione: - (classe generale)

Nome: Feature di dettaglio

Definizione: Superficie rappresentante una caratteristica di forma di dettaglio ottenuta come modifica locale di una superficie free-form

Parametri:

- Superficie primaria
- Curva rappresentante la linea base di carattere
- Area di influenza
- Posizione del sistema di riferimento della linea base di carattere e dell'area di influenza rispetto a quello della superficie
- Legge di proiezione della linea e dell'area sulla superficie primaria
- *Legge di deformazione*
- *Relazioni di connessione (attachment)* tra parte caratterizzata e parte invariata della superficie

Vincoli:

- Superficie primaria non involuppati
- Superficie primaria connessa
- Area di influenza contenuta nella superficie primaria
- Linea di carattere non involuppati
- Linea di carattere contenuta nell'area di influenza

TYPE INTRUSION

Derivazione: Detail Feature

Nome: Intrusione o depressione

Definizione: Forma di dettaglio ottenuta da una deformazione della superficie primaria avente per ogni punto dell'area di influenza direzione discorde rispetto al versore normale alla superficie

Parametri:

- Vettore profondità
- Condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sul perimetro di influenza

Vincoli:

- Area di influenza connessa
- Profondità in direzione discorde con il versore normale alla superficie
- Vettore profondità definito su punti appartenenti all'area di influenza
- *Se il vettore profondità è definito su almeno un punto appartenente al perimetro di influenza:* compatibilità con le condizioni di continuità geometrica sul perimetro

Ipotesi: passaggio per punti

Parametri:

- Coordinate di punti nello spazio

Vincoli:

- Proiezione dei punti appartenente all'area di influenza
- Compatibilità con i valori del vettore profondità
- *Se qualche proiezione appartiene al perimetro di influenza:* compatibilità con le condizioni di continuità geometrica sul perimetro

- Quota dei punti minore o uguale alla quota delle proiezioni sulla superficie primaria

TYPE PROTRUSION

Derivazione: Detail Feature

Nome: Protrusione, protuberanza od estrusione

Definizione: Forma di dettaglio ottenuta da una deformazione della superficie primaria avente per ogni punto dell'area di influenza direzione concorde con il versore normale alla superficie

Parametri:

- Vettore profondità
- Condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sul perimetro di influenza

Vincoli:

- Area di influenza connessa
- Profondità in direzione concorde con il versore normale alla superficie
- Vettore profondità definito su punti appartenenti all'area di influenza
- *Se il vettore profondità è definito su almeno un punto appartenente al perimetro di influenza:* compatibilità con le condizioni di continuità geometrica sul perimetro

Ipotesi: *passaggio per punti*

Parametri:

- Coordinate di punti nello spazio

Vincoli:

- Proiezione dei punti appartenente all'area di influenza
- Compatibilità con i valori del vettore profondità
- *Se qualche proiezione appartiene al perimetro di influenza:* compatibilità con le condizioni di continuità geometrica sul perimetro
- Quota dei punti maggiore o uguale alla quota delle proiezioni sulla superficie primaria

TYPE CUT

Derivazione: Detail Feature

Nome: Taglio

Definizione: Eliminazione di una parte di superficie

Parametri:

- Vettore profondità (vettore nullo: taglio netto; vettore non nullo: taglio ad incurvamento)

Vincoli:

- (nessuno)

DISPLACEMENT INTRUSION

Derivazione: Intrusion

Nome: Displacement intrusivo, o abbassamento

Definizione: Superficie rappresentante una depressione in cui una parte è ottenuta mediante traslazione rigida di una parte della superficie primaria lungo una fissata direzione non tangente alla superficie

Parametri:

- Condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sulla frontiera della superficie di displacement

Vincoli:

- Area di displacement connessa
- Area di displacement contenuta nell'area di influenza
- Superficie di displacement ottenuta per pura traslazione rigida in direzione non tangente
- Compatibilità con vettore profondità costante per i punti di applicazione appartenenti all'area di displacement

DISPLACEMENT PROTRUSION

Derivazione: Protrusion

Nome: Displacement estrusivo, o sollevamento

Definizione: Superficie rappresentante una estrusione in cui una parte è ottenuta mediante traslazione rigida di una parte della superficie primaria lungo una fissata direzione non tangente alla superficie

Parametri:

- Condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sulla frontiera della superficie di displacement

Vincoli:

- Area di displacement connessa
- Area di displacement contenuta nell'area di influenza
- Superficie di displacement ottenuta per pura traslazione rigida in direzione non tangente
- Compatibilità con vettore profondità costante per i punti di applicazione appartenenti all'area di displacement

SLOT-LIKE FEATURE

Derivazione: Intrusion

Nome: Slot-like

Definizione: Superficie rappresentante una depressione in un intorno di una linea di carattere, tale che nel dominio sull'area di influenza ogni profilo trasversale alla linea per ogni suo punto presenta in un intorno del punto una concavità verso la direzione concorde al versore normale alla superficie (verso l'alto), ed esiste al massimo un punto di inflessione a destra e/o uno a sinistra dell'intorno.

Vincoli:

- Area di influenza connessa
- Area di influenza localizzata in un intorno della linea di carattere
- Forma dei profili trasversali: concavità verso l'alto in un intorno del punto della linea di carattere, con al più un'inflessione a destra e/o una a sinistra del punto

Ipotesi: assegnazione di profili

Parametri:

- Curve rappresentanti profili assegnati lungo piani di prefissate direzioni concordi (o coincidenti) con la normale alla superficie

Vincoli:

- Profili assegnati definiti sull'area di influenza
- Profili assegnati intersecanti la linea di carattere

- Forma dei profili assegnati: concavità verso l'alto in un intorno del punto della linea di carattere, con al più un'inflexione a destra e/o una a sinistra del punto
- Forma dei profili assegnati: *se la parte deformata non presenta tratti costanti*, uno ed un solo valore minimo locale e globale internamente alla zona di concavità verso l'alto
- Compatibilità con le condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sul perimetro di influenza

Ipotesi: assegnazione della legge di curvatura attorno alla linea di carattere

Parametri:

Legge di curvatura di profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere data sul punto-intersezione con la linea

Vincoli:

- *Se la curvatura è data in forma vettoriale:* versore normale della terna di Frenet sul punto della linea di carattere concorde con la normale alla superficie nel punto

Ipotesi: assegnazione della legge di pendenza attorno alla linea di carattere

Parametri:

- Legge descrivente la tangente assegnata ai profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere, data sul punto-intersezione con la linea

Vincoli:

- (nessuno)

POCKET-LIKE FEATURE

Derivazione: Intrusion

Nome: Pocket-like

Definizione: Superficie rappresentante una *depressione interna* ad una linea *chiusa*, tale che nel dominio sull'area di influenza ogni profilo trasversale a tale linea presenta internamente una concavità verso la direzione *concorde* al versore normale alla superficie (verso l'alto), ed esiste al massimo un punto di inflessione a sinistra e/o uno solo a destra rispetto ad essa.

Vincoli:

- Area di influenza interna, non intersecante la frontiera della superficie
- Linea di carattere chiusa
- Zona di influenza semplicemente connessa
- Profili trasversali non intersecanti la frontiera della superficie primaria
- Forma dei profili trasversali: concavità interna verso l'alto, con al più un'inflexione a destra e/o una a sinistra

Ipotesi: assegnazione di profili

Parametri:

- Curve rappresentanti profili assegnati lungo piani di prefissate direzioni concordi (o coincidenti) con la normale alla superficie

Vincoli:

- Profili assegnati definiti sull'area di influenza
- Profili assegnati intersecanti la linea di carattere
- Profili assegnati non intersecanti la frontiera della superficie

- Forma dei profili assegnati: concavità interna verso l'alto, con al più un'inflexione a destra e/o una a sinistra
- Forma dei profili assegnati: *se la parte deformata non presenta tratti costanti*, uno ed un solo valore minimo locale e globale internamente alla zona di concavità verso l'alto
- Compatibilità con le condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sul perimetro di influenza

Ipotesi: assegnazione della legge di curvatura attorno alla linea di carattere

Parametri:

Legge di curvatura di profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere data sui punti-intersezione con la linea (possono esistere più intersezioni)

Vincoli:

- *Se la curvatura è data in forma vettoriale*: versore normale della terna di Frenet sul punto della linea di carattere concorde con la normale alla superficie nel punto

Ipotesi: assegnazione della legge di pendenza attorno alla linea di carattere

Parametri:

- Legge descrivente la tangente assegnata ai profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere, data sui punti-intersezione con la linea

Vincoli:

- (nessuno)

RIB-LIKE FEATURE

Derivazione: Protrusion

Nome: Rib-like

Definizione: Superficie rappresentante una protrusione in un intorno di una linea di carattere, tale che nel dominio sull'area di influenza ogni profilo trasversale alla linea per ogni suo punto presenta in un intorno del punto una concavità verso la direzione discorde al versore normale alla superficie (verso il basso), ed esiste al massimo un punto di inflessione a destra e/o uno a sinistra dell'intorno.

Vincoli:

- Area di influenza localizzata in un intorno della linea di carattere
- Forma dei profili trasversali: concavità verso il basso in un intorno del punto della linea di carattere, con al più un'inflexione a destra e/o una a sinistra del punto

Ipotesi: assegnazione di profili

Parametri:

- Curve rappresentanti profili assegnati lungo piani di prefissate direzioni concordi (o coincidenti) con la normale alla superficie

Vincoli:

- Profili assegnati definiti sull'area di influenza
- Profili assegnati intersecanti la linea di carattere
- Forma dei profili assegnati: concavità verso il basso in un intorno del punto della linea di carattere, con al più un'inflexione a destra e/o una a sinistra del punto
- Forma dei profili assegnati: *se la parte deformata non presenta tratti costanti*, uno ed un solo valore massimo locale e globale internamente alla zona di concavità verso il basso

- Compatibilità con le condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sul perimetro di influenza

Ipotesi: assegnazione della legge di curvatura attorno alla linea di carattere

Parametri:

Legge di curvatura di profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere data sul punto-intersezione con la linea

Vincoli:

- *Se la curvatura è data in forma vettoriale:* versore normale della terna di Frenet sul punto della linea di carattere discorde con la normale alla superficie nel punto

Ipotesi: assegnazione della legge di pendenza attorno alla linea di carattere

Parametri:

- Legge descrivente la tangente assegnata ai profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere, data sul punto-intersezione con la linea

Vincoli:

- (nessuno)

BOSS-LIKE FEATURE

Derivazione: Protrusion

Nome: Boss-like

Definizione: Superficie rappresentante una *protrusione interna* ad una linea *chiusa*, tale che nel dominio sull'area di influenza ogni profilo trasversale a tale linea presenta internamente una concavità verso la direzione *discorde* al versore normale alla superficie (verso il basso), ed esiste al massimo un punto di inflessione a sinistra e/o uno solo a destra rispetto ad essa.

Vincoli:

- Linea di carattere chiusa
- Zona di influenza non intersecante la frontiera della superficie
- Zona di influenza semplicemente connessa
- Profili trasversali non intersecanti la frontiera della superficie
- Forma dei profili trasversali: concavità interna verso il basso, con al più un'inflessione a destra e/o una a sinistra

Ipotesi: assegnazione di profili

Parametri:

- Curve rappresentanti profili assegnati lungo piani di prefissate direzioni concordi (o coincidenti) con la normale alla superficie

Vincoli:

- Profili assegnati definiti sull'area di influenza
- Profili assegnati intersecanti la linea di carattere
- Profili assegnati non intersecanti la frontiera della superficie
- Forma dei profili assegnati: concavità interna verso il basso, con al più un'inflessione a destra e/o una a sinistra
- Forma dei profili assegnati: *se la parte deformata non presenta tratti costanti*, uno ed un solo valore massimo locale e globale internamente alla zona di concavità verso il basso

- Compatibilità con le condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sul perimetro di influenza

Ipotesi: assegnazione della legge di curvatura attorno alla linea di carattere

Parametri:

Legge di curvatura di profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere data sui punti-intersezione con la linea (possono esistere più intersezioni)

Vincoli:

- Se la curvatura è data in forma vettoriale: versore normale della terna di Frenet sul punto della linea di carattere discorde con la normale alla superficie nel punto

Ipotesi: assegnazione della legge di pendenza attorno alla linea di carattere

Parametri:

- Legge descrivente la tangente assegnata ai profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere, data sui punti-intersezione con la linea

Vincoli:

- (nessuno)

STEP-LIKE DEPRESSION FEATURE

Derivazione: Depression

Nome: Step-like ad intrusione

Definizione: Superficie rappresentante una *intrusione* intersecante la frontiera della superficie situata da una parte rispetto ad una linea aperta, tale che nel dominio sull'area di influenza ogni profilo trasversale a tale linea presenta internamente una concavità verso la direzione *concorde* al versore normale alla superficie (verso l'alto), ed esiste al massimo un punto di inflessione a sinistra rispetto ad essa.

Vincoli:

- Linea di carattere aperta
- Area di influenza semplicemente connessa
- Area di influenza intersecante la frontiera della superficie
- Area di influenza fortemente "asimmetrica" rispetto alla linea di carattere (i.e. influenza dominante da una parte)
- Mantenimento di condizioni di adiacenza con eventuali superfici adiacenti
- Profili trasversali intersecanti la frontiera della superficie
- Forma dei profili trasversali: concavità interna verso l'alto, con al più un'inflessione a sinistra rispetto ad essa

Ipotesi: assegnazione di profili

Parametri:

- Curve rappresentanti profili assegnati lungo piani di prefissate direzioni concordi (o coincidenti) con la normale alla superficie

Vincoli:

- Profili assegnati definiti sull'area di influenza
- Profili assegnati intersecanti la linea di carattere

- Forma dei profili assegnati: concavità verso l'alto, con al più un'inflessione a sinistra rispetto ad essa
- Forma dei profili assegnati: *se la parte deformata non presenta tratti costanti*, uno ed un solo valore minimo locale e globale nella zona di concavità verso l'alto
- Compatibilità con le condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sul perimetro di influenza

Ipotesi: assegnazione della legge di curvatura attorno alla linea di carattere

Parametri:

Legge di curvatura di profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere data sul punto-intersezione con la linea

Vincoli:

- *Se la curvatura è data in forma vettoriale*: versore normale della terna di Frenet sul punto della linea di carattere concorde con la normale alla superficie nel punto

Ipotesi: assegnazione della legge di pendenza attorno alla linea di carattere

Parametri:

- Legge descrivente la tangente assegnata ai profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere, data sul punto-intersezione con la linea

Vincoli:

- (nessuno)

STEP-LIKE PROTRUSION FEATURE

Derivazione: Protrusion

Nome: Step-like ad estrusione

Definizione: Superficie rappresentante una *estrusione* intersecante la frontiera della superficie situata da una parte rispetto ad una linea aperta, tale che nel dominio sull'area di influenza ogni profilo trasversale a tale linea presenta internamente una concavità verso la direzione *discorde* al versore normale alla superficie (verso il basso), ed esiste al massimo un punto di inflessione a sinistra rispetto ad essa.

Vincoli:

- Linea di carattere aperta
- Area di influenza semplicemente connessa
- Area di influenza intersecante la frontiera della superficie
- Area di influenza fortemente "asimmetrica" rispetto alla linea di carattere (i.e. influenza dominante da una parte)
- Mantenimento di condizioni di adiacenza con eventuali superfici adiacenti
- Profili trasversali intersecanti la frontiera della superficie
- Forma dei profili trasversali: concavità interna verso il basso, con al più un'inflessione a sinistra rispetto ad essa

Ipotesi: assegnazione di profili

Parametri:

- Curve rappresentanti profili assegnati lungo piani di prefissate direzioni concordi (o coincidenti) con la normale alla superficie

Vincoli:

- Profili assegnati definiti sull'area di influenza
- Profili assegnati intersecanti la linea di carattere
- Forma dei profili assegnati: concavità verso il basso, con al più un'inflessione a sinistra rispetto ad essa
- Forma dei profili assegnati: *se la parte deformata non presenta tratti costanti*, uno ed un solo valore massimo locale e globale nella zona di concavità verso il basso
- Compatibilità con le condizioni di continuità geometrica G^{-1}, G^0, G^1 o G^2 sul perimetro di influenza

Ipotesi: assegnazione della legge di curvatura attorno alla linea di carattere**Parametri:**

Legge di curvatura di profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere data sul punto-intersezione con la linea

Vincoli:

- *Se la curvatura è data in forma vettoriale*: vettore normale della terna di Frenet sul punto della linea di carattere concorde con la normale alla superficie nel punto

Ipotesi: assegnazione della legge di pendenza attorno alla linea di carattere**Parametri:**

- Legge descrivente la tangente assegnata ai profili lungo prefissate direzioni non tangenti alla linea di carattere, data sul punto-intersezione con la linea

Vincoli:

- (nessuno)

HOLLOW-LIKE FEATURE

Derivazione: Cut

Nome: Taglio hollow-like, o incavatura

Definizione: Eliminazione di una parte di superficie intersecante la frontiera che conserva il grado di connessione

Parametri:

Vincoli:

- Linea di carattere aperta
- Area di influenza e linea di carattere intersecante la frontiera della superficie
- Linea di carattere costituente parte del perimetro di influenza
- Area di influenza semplicemente connessa
- Conservazione del grado di connessione della superficie
- Compatibilità con le condizioni di raccordo con le superfici adiacenti

HOLE-LIKE FEATURE

Derivazione: Cut

Nome: Taglio hole-like, o buco

Definizione: Eliminazione di una parte interna di superficie

Parametri:

- (nessuno)

Vincoli:

- Linea di carattere chiusa
- Area di influenza e linea di carattere non intersecante la frontiera della superficie
- Perimetro di influenza coincidente con la linea di carattere
- Area di influenza semplicemente connessa

GAP FEATURE

Derivazione: Cut

Nome: Taglio gap-like, o separazione

Definizione: Eliminazione di una parte di superficie che dà luogo a due superfici totalmente separate

Parametri:

- (nessuno)

Vincoli:

- Ottenimento di due superfici non sconnesse
- Linea di carattere costituente parte del perimetro di influenza
- Linea di carattere costituita da due tratti sconnessi

LINEAR GAP FEATURE

Derivazione: Gap

Nome: Taglio gap lineare, o separazione lineare

Definizione: Eliminazione di una parte semplicemente connessa di superficie che dà luogo a due superfici totalmente separate

Parametri: -

Vincoli:

- Area di influenza semplicemente connessa
- Area di influenza intersecante la frontiera della superficie
- Linea di carattere costituita da due tratti aperti
- Compatibilità di raccordo con le superfici adiacenti

RING-LIKE GAP FEATURE

Derivazione: Gap

Nome: Taglio gap ad anello o separazione ad anello

Definizione: Eliminazione di una parte non semplicemente connessa di superficie che dà luogo a due superfici totalmente separate

Parametri: -

Vincoli:

- Linea di carattere costituita da almeno un tratto chiuso ed interno
- Area di influenza non semplicemente connessa
- *Se area di influenza interna:* linea di carattere costituita da due tratti chiusi, uno interno all'altro
- *Se area di influenza intersecante la frontiera:* compatibilità di raccordo con le superfici adiacenti

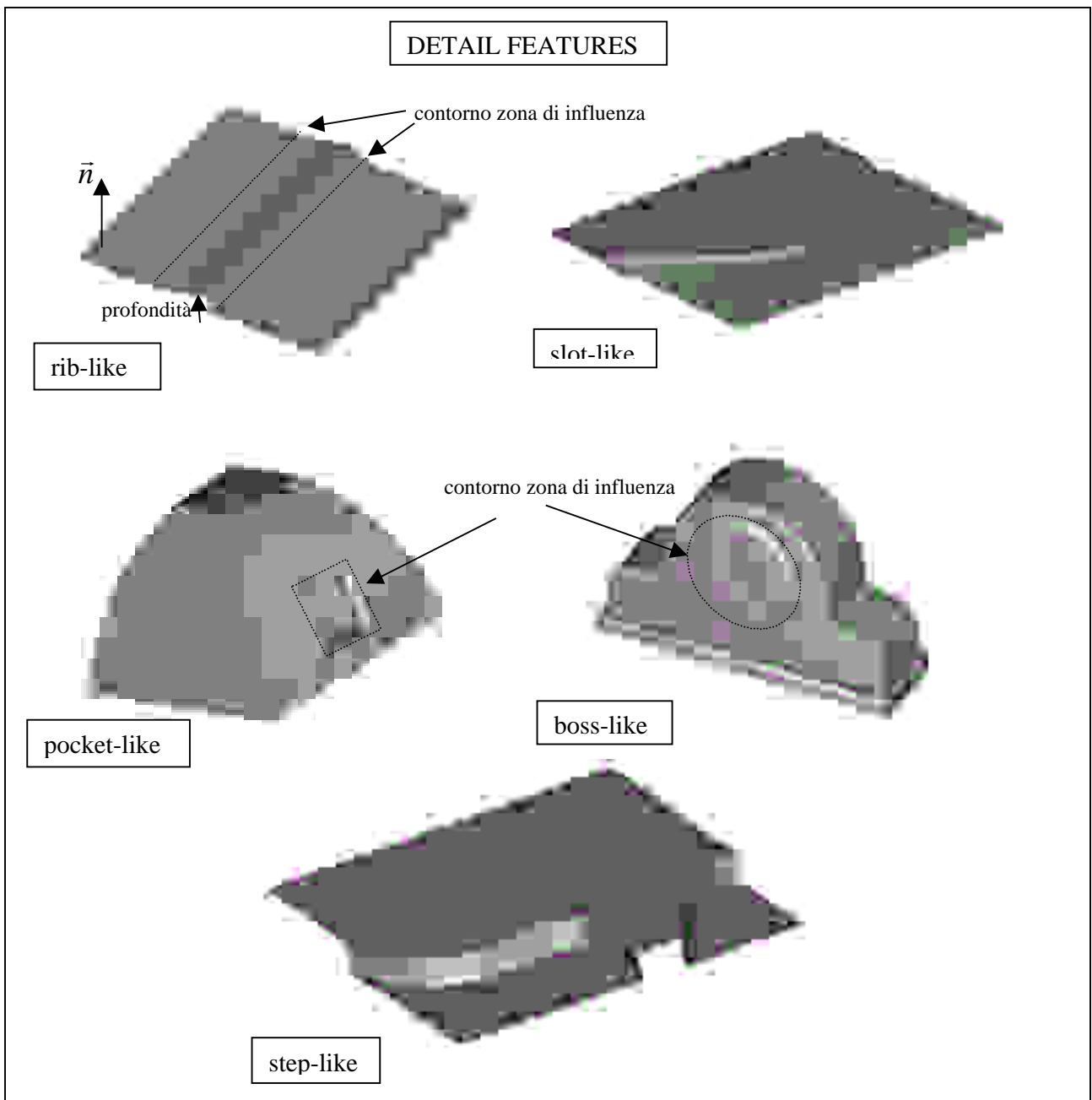


Fig. 30: Alcuni parametri caratterizzanti i tipi feature

7 Un'applicazione

A partire dalle caratteristiche di forma identificate si vogliono implementare macro-operatori che permettano di generarle in modo automatico tramite la sola specificazione dei parametri che le definiscono.

Seguendo questa filosofia è stato implementato un macro-operatore che pur ricoprendo una limitata tipologia di feature suggerisce possibilità di generalizzazioni a classi di feature più estese. Tale macro-

operatore è stato implementato sfruttando le funzionalità del modellatore geometrico Acis, un software grafico per la modellazione geometrica solida che pertanto non presenta funzionalità specifiche per la progettazione in senso estetico di superfici free-form.

Sono state considerate solo feature di dettaglio da applicare ad una preesistente superficie, originanti particolari tipi di slot-like e rib-like. I tipi considerati si raccordano con la superficie primaria solo con continuità geometrica G^0 e presentano caratteristiche particolari, ad esempio l'assegnazione di profondità e ampiezza come valori numerici costanti.

L'insieme dei parametri di input considerati è un insieme minimale costituito esclusivamente dalla superficie primaria, dalla linea di carattere da applicare, da una profondità e dall'ampiezza della zona di influenza.

In particolare la profondità è considerata come un vettore di direzione concorde o discorde con il versore normale alla superficie e valore intensivo positivo, mentre l'ampiezza è assegnata tramite un numero reale che stabilisce la distanza costante della frontiera della zona di influenza dalla linea di carattere.

Per ottenere queste caratteristiche di forma è stata identificata la sequenze di operazioni in grado di produrre l'effetto desiderato.

In Fig. 31 si possono vedere alcuni esempi di applicazione del macro-operatore ad una particolare forma base. Diverse caratterizzazioni sono state ottenute applicando lo stesso operatore ma assegnando differenti parametri di input.

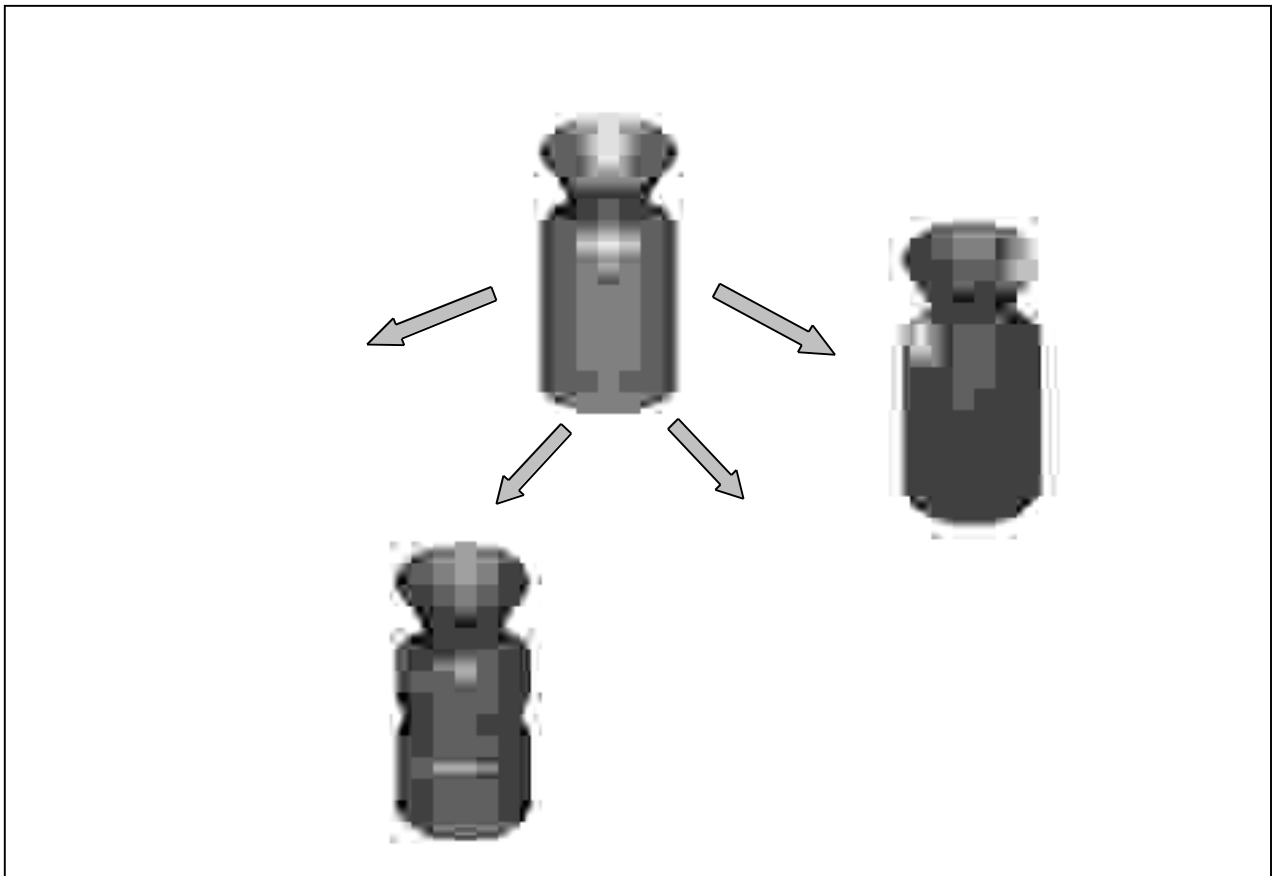


Fig. 31: Esempi di caratterizzazioni

8 Ringraziamenti

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

Gli autori ringraziano la Dott.ssa B. Falcidieno e I partners del progetto per le importanti discussioni sull'argomento.

9 Riferimenti bibliografici

- [1] J.J.Shah, M.Mantyla, '*Parametric and feature-based CAD/CAM*', Wiley-Interscience
- [2] G.Farin, '*Curves and surfaces for computer aided geometric design – A practical guide*', Academic Press, Inc.
- [3] L.Piegl, W.Tiller, '*The NURBS book*', Springer
- [4] T.De Martino, F.Giannini, B.Falcidieno, '*Features and Styling*', FIORES Technical Report, July 1997
- [5] T.De Martino, F.Giannini, '*Mathematical problems related to feature definition/instantiation*', FIORES Technical Report, July 1997
- [6] T.De Martino, F.Giannini,, '*Feature-based description of the test-cases*', FIORES Technical Report, November 1997
- [7] T.De Martino, F.Giannini, '*Integration of the free form feature concept into the final FIORES prototype*', FIORES Technical Report, February 1998
- [8] M.Mata Dumenjo, P.Brunet, '*Dictionary of terms*', FIORES technical Report, November 1998
- [9] M.Meirana, '*Metodi matematici per la caratterizzazione di superfici nella progettazione estetica*', Tesi di laurea, Università di Genova, 1997
- [10] T.De Martino, M. Meirana, '*Caratterizzazione estetica di superfici free-form*', Rapporto tecnico IMA n. 12/97, CNR di Genova, 1997
- [11] J.C.Cavendish, '*A procedural feature-based approach for designing functional surfaces*',
- [12] J.C. Cavendish, S.P.Marin, '*Feature-based surface design and machining*', IEEE Computer Graphics and Applications, 1992
- [13] G.Wyvill,D McRobie, C.Haig, '*Free form modeling with history*',
- [14] T. Varay, R.R. Martin, J. Cox, '*Reverse engineering of geometric models – an introduction*', Computer Aided Design, Vol.29, 255-268, 1997
- [15] M.Hoffmann, R. Joan-Arinyo, '*On user-defined features*', Computer Aided Design, Vol.30, 321-332, 1998
- [16] C.Sacchi, '*Feature based shaping of parametric surfaces through variable distance offsetting*', KAEMaRT Technical Report KTR-1/95
- [17] G.Durand, A. Leutier, A. Massabo, '*On aesthetic preserving algorithm for accuracy incompatible modelers data exchange*', Rapporto tecnico Matra DataVision, IDMNE 96
- [18] P. Bosinco, G.Durand, J. Goussard, A: Lieutier, A.Massabo, '*Complex shape modifications*', Rapporto tecnico Matra DataVision, IDMNE 98

