

## Note sull'Esercizio 1

- ✓ Ho un («half») edge per ogni coppia di indici consecutivi in ogni faccia (l'ordine CONTA)
  - ⇒ compreso: da ultimo vertice a primo vertice
- ✓ Edge two manifold se:
  - compare in max due facce,
- ✓ Due facce che condividono un edge sono orientate consistentemente se:
  - l'edge appare flipped nei due casi (es: 1-5 vs 5-1)
- ✓ Edge di bordo se:
  - appare in esattamente una faccia
- ✓ Mesh two-manifold richiede: tutti gli edge sono two-manifold
- ✓ Mesh chiusa se: non ci sono edge di bordo
- ✓ Mesh ben orientata se: tutti gli edge interni (= non di bordo) appaiono flipped nelle due facce in cui appaiono
- ✓ NOTA: dipende solo dalla connettività. Non dalla geometria.



60

Marco Tarini - Computer Graphics 2020/2021  
Università degli Studi di Milano

## 3D Models: Polygonal Representations - Part 2



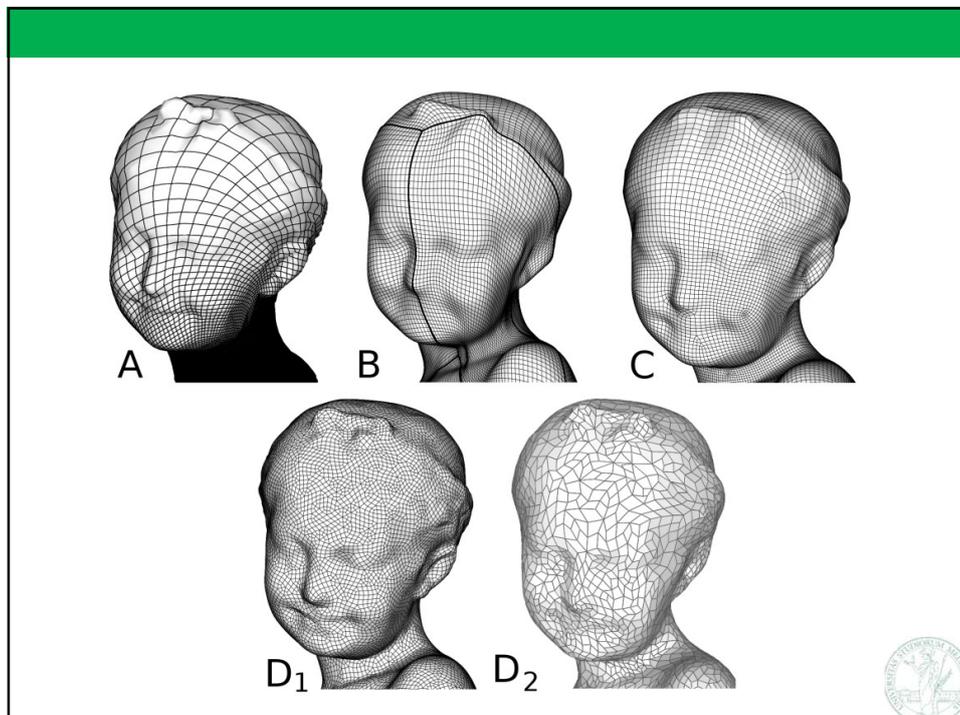
61

## Regolarità di una mesh (definizioni)

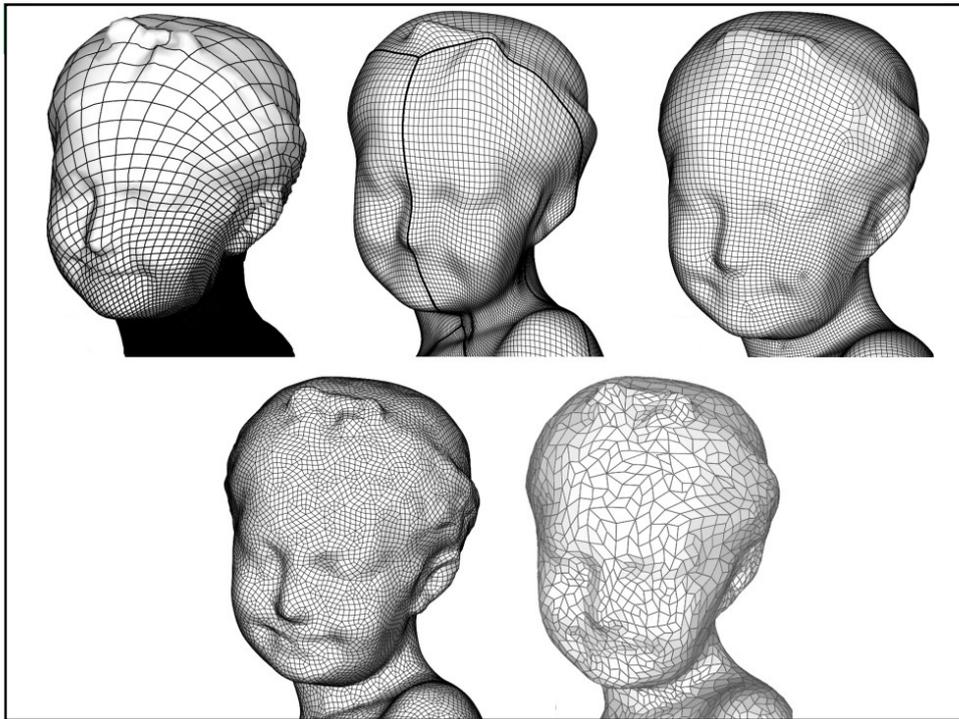
- ✓ «Valenza» di un vertice
  - ⇒ numero di facce (o di edge) adiacenti ad quel vertice
- ✓ «Vertice regolare» (per vertici interni):  
un vertice di valenza:
  - ⇒ 4, per quad mesh
  - ⇒ 6, per tri mesh
  - ⇒ 3 per hexagonal mesh)
- ✓ Le tri-mesh e le quad-mesh (pure o dominant) hanno un grado maggiore o minore di «regolarità»
  - ⇒ Quanti dei loro vertici sono «regolari»?
  - Tutti = mesh (perfettamente) regolare. O «structured»
  - Quasi tutti = mesh semi-regolare.
  - Pochi (per es 2/3 o la metà) = mesh irregolare
- ✓ Quad mesh regolare = è un grigliato



62



63

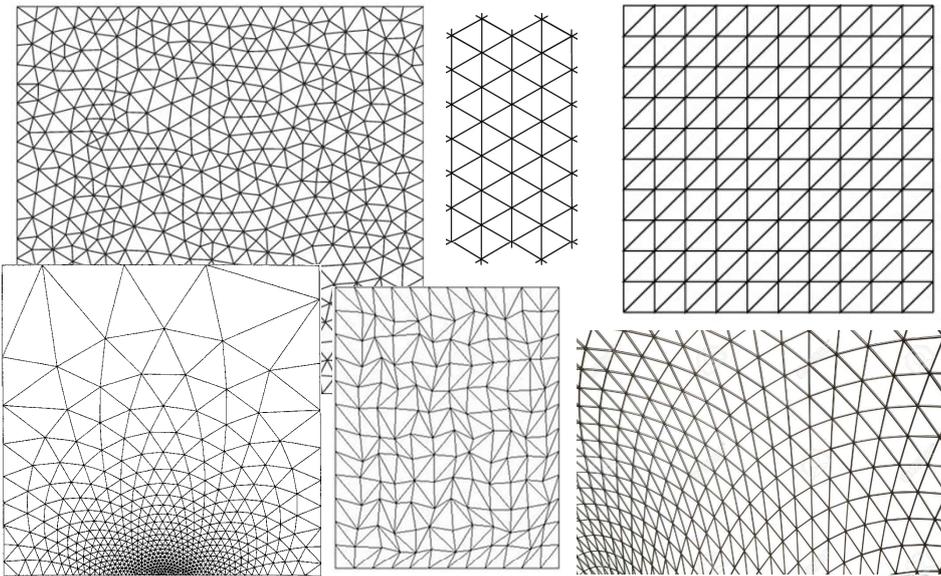


64

Una (imperfetta) categorizzazione dei tipi di modelli digitali 3D					
		ELEMENTI DISCRETI			CONTINUI
		regolari «a griglia»	semi-regolari o irregolari		
			elementi simpliciali	elementi non simpliciali	
SUPERFICIALI	2-manifold <i>«rappresenta una vera superficie»</i>	Height Field Range Scan (Geometry Images)	Triangle Mesh	Polygonal Mesh Quad-Mesh Quad dominant Mesh	Subdivision surface Parametric Surface (es. B-splines)
	non-manifold <i>«non rappresenta una sup»</i>	Set di Range Scan	Point Cloud		
VOLUMETRICI	(3-manifold)	Voxels Solid Textures	Tetra Mesh	Hexa Mesh	Implicit model (es. CSG)

65

### Regular VS irregular Triangular mesh



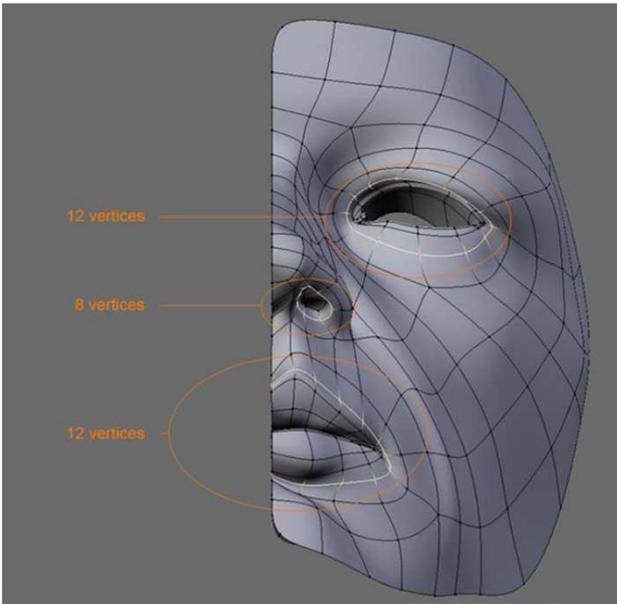
Esercizio: trova i vertici irregolari. Quali mesh sono (semi?) regolari?  
Ripeti con altre mesh trovate in questi lucidi



66

### Mesh (Semi) regolare

- ✓ E' fornita di "edge-loops" e "edge-flows"
- ✓ rendono la mesh molto più semplice da editare
- ✓ (per un modellatore umano)



67

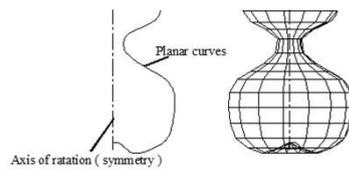
## Pure quad-mesh

✓ Generalmente, più difficili da costruire

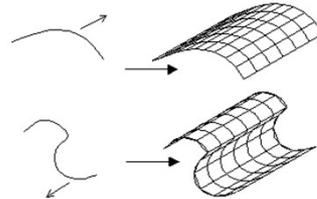
⇒ Esistono un numero minore di tecniche per produrle

⇒ Alcune eccezioni:

⇒ superfici  
«di rivoluzione»



⇒ per es, superfici  
«di spazzata»

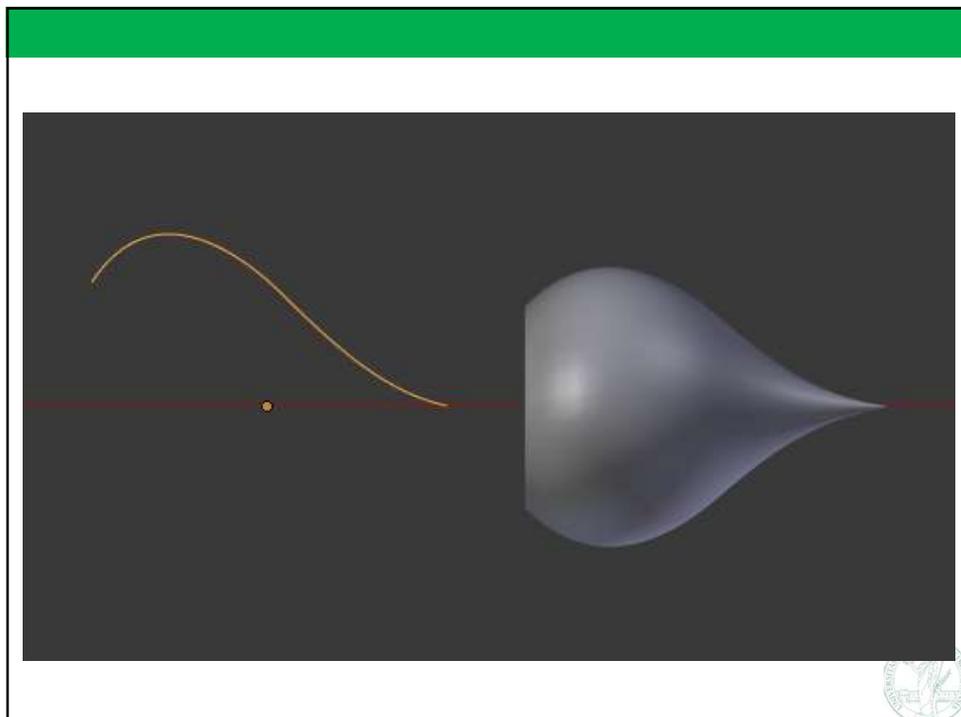


✓ Richieste da alcuni algoritmi

⇒ es, di suddivisione (vedi poi)



68



69

### Alcuni vantaggi delle mesh (semi) regolari

- ✓ Mesh quad-dominant semi-regolari:
  - ⇒ **flessibilità**  
(rispetto alle mesh pure-quad:  
facile ottenere la forma voluta)
  - ⇒ **editabilità**  
(rispetto alle mesh irregolari:  
presenza di «edge loops» o «edge flows»)
  - ⇒ grigliati regolari: sono intuitivi e utili
  - ⇒ sono **comprimibili** (con algoritmi di compressione)
  - ⇒ **minore errore geometrico** a parità di risoluzione  
(di solito)
  - ⇒ soprattutto per le quad mesh: gli edge sono allinea



70

### Mesh regolari o irregolari - note

- ✓ Mesh irregolari : maggiore adattività della risoluzione
  - ⇒ Confronta l'esempio di mesh con risoluzione adattiva
- ✓ Alcuni metodi per generare mesh producono tipicamente mesh di triangoli irregolari, per es
  - ⇒ Front advancing methods
  - ⇒ La maggior parte dei metodi di acquisizione 3D (scanning)
  - ⇒ Mesh sculpting
  - ⇒ Direct "low poly editing"
- ✓ Altri metodi per generare mesh producono tipicamente mesh regolari, spesso di quad
  - ⇒ Mesh che sono superfici di risoluzione o "spazzate"
  - ⇒ CAD modelling
- ✓ Nota: diagonal split su una mesh di quad (semi-)regolare ottiene una tri-mesh (semi-)regolare (provare)
  - ⇒ A condizione che... (provare)

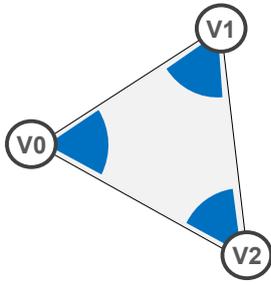


71

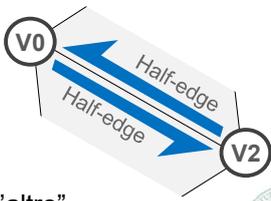
### Altra terminologia sulle mesh

✓ **Elementi su una mesh (oltre a Vertice, Edge, Faccia):**

- ⇒ **“Wedge”**: ciascuno degli  $n$  corners di una faccia
  - Letteralmente: un cuneo, come un fermaporta 
  - Esempi:
    - “in una mesh indicizzata memorizzo solo un indice di vertice per ogni **wedge** di ogni faccia della mesh”
    - “in una zuppa di triangoli, memorizzo le coordinate di ogni **wedge**”



- ⇒ **“Half-edge”**: un edge orientato.
  - Detti così perchè due half-edge costituiscono un edge
  - Esempi:
    - “In una mesh two-manifold, un edge condiviso da due facce è costituito da due **half-edge** che sono uno l'opposto dell'altro”

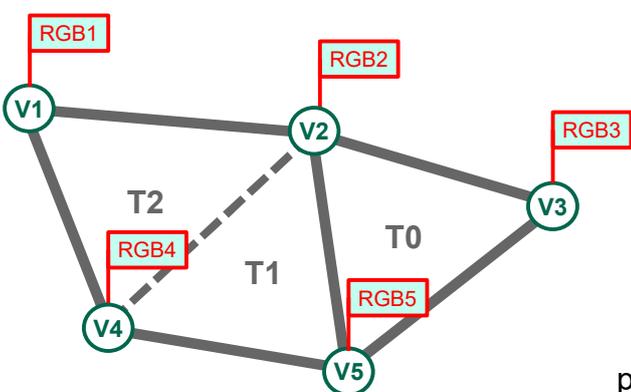


✓ Una faccia di  $n$  lati ha  $n$  wedge e  $n$  half-edge

72

### Mesh: attributi per vertice (mesh simpliciale)

- ✓ L'interpolazione degli attributi definiti sui vertici è definita (in modo semplice) solo dentro a facce *triangolari*
  - ⇒ stiamo per vedere come
- ✓ Quindi, per prima cosa, gli altri poligoni devono essere suddivisi in triangoli



per vertice 

73

## Mesh: attributi

- ✓ Modellano quantità che variano sulla superficie
- ✓ Esempi:
  - ⇒ Colore («diffusivo»)
    - tipicamente espresso come RGB
    - Parte della descrizione del materiale
  - ⇒ Vettore «Normale»
    - quale orientamento ha la superficie in quel punto?
  - ⇒ Le cose più varie, dipendenti dall'applicazione:
    - per es: temperatura e pressione alla superficie (in una simulazione fisica)
    - per es: «coefficiente di vulnerabilità» (in un gioco)
    - per es: qualità della ricostruzione, in un modello di un oggetto reale (quanto è accurata la superficie qui?)



74

## Mesh: attributi

- ✓ Possono essere:
  - ⇒ scalari (es: temperatura, qualità...),
  - ⇒ vettori (es: colore, normale...)
- ✓ memorizzati per vertice
  - ⇒ è caso più comune
  - ⇒ come definire il valore in tutti i gli altri punti della sup? INTERPOLAZIONE LINEARE (see next)
- ✓ oppure memorizzati per faccia
  - ⇒ vengono considerati costanti su quella faccia
  - ⇒ quindi discontinuità C0 fra le facce
    - in corrispondenza cioè degli edge
  - ⇒ caso più raro



75

## Interpolazione attributi per vertice nella mesh

- ✓ All'interno del poligono, gli attributi definiti sui vertici (di qualsiasi natura) vengono *interpolati*
  - ⇒ cioè: ogni punto sulla mesh ha, implicitamente, un attributo che è una *interpolazione* degli attributi assegnati ai vertici del poligono a cui appartiene
    - interpolazione = combinazione lineare (convessa)  
= comb. lineare con pesi non neg a somma 1
- ✓ come definire i pesi dell'interpolazione?
  - ⇒ passo 0: dividere ogni poligono in triangoli inserendo edges
    - procedimento automatico, fatto dietro le quinte
    - es: 1 quad diventa 2 tri, con diagonal split
    - nota: la scelta degli edge inseriti influenza il risultato finale
    - in MeshLab, i nuovi edge vengono "faux edges", it: edge "finti", per distinguerli dagli edge originalmente presenti nell mesh



76

## Interpolazione attributi dentro un triangolo

- Caso analogo (ma più semplice): interpolazione attributi in **un segmento**
- ✓ osservazione: un segmento di estremi  $V_0$  e  $V_1$  è composto da tutte e sole le interpolazioni lineari di  $V_0$  e  $V_1$
  - ✓ cioè, per ogni P nel segmento (estremi inclusi), ho
$$P = a_0 \cdot V_0 + a_1 \cdot V_1$$
per due "pesi" scalari, opportunamente scelti,  $a_0$  e  $a_1$ 
    - non negativi:  $a_0, a_1 \geq 0$
    - a somma 1:  $a_0 + a_1 = 1$
    - e quindi anche  $a_0, a_1 \leq 1$
  - ✓ dato P, esistono unici  $(a_0, a_1)$ , e viceversa
  - ✓  $(a_0, a_1)$  sono dette le coordinate baricentriche di P nel segmento  $V_0, V_1$
  - ✓ se definiamo un attributo colore  $(r,g,b)_0$  in  $V_0$  e un attributo colore  $(r,g,b)_1$  su  $V_1$ , allora a P assegniamo il colore:
$$a_0 \cdot (r,g,b)_0 + a_1 \cdot (r,g,b)_1$$
  - ✓ nota: sfruttiamo l'abilità di interpolare qualsiasi attributo (colore, normale, temperatura, etc)

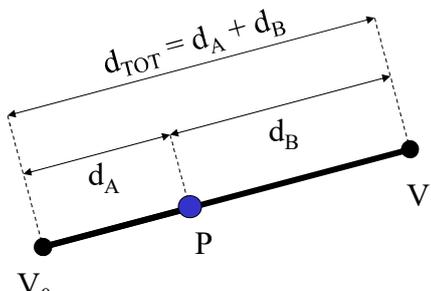


77

### Interpolazione attributi dentro un triangolo

Caso analogo (ma più semplice): interpolazione attributi su di **un segmento**

- ✓ come troviamo le coordinate baricentriche di P nel segmento  $V_0, V_1$ ?



$$a_0 = d_B / d_{TOT}$$

$$a_1 = d_A / d_{TOT}$$


78

### Interpolazione attributi dentro un triangolo

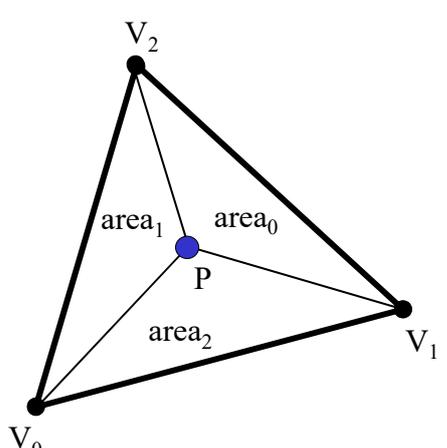
- ✓ osservazione: un triangolo di vertici  $V_0, V_1$  e  $V_2$  è composto da tutte e sole le interpolazioni lineari di  $V_0, V_1$  e  $V_2$
- ✓ cioè, per ogni P nel triangolo (bordi inclusi), ho
 
$$P = a_0 \cdot V_0 + a_1 \cdot V_1 + a_2 \cdot V_2$$
 per tre "pesi" scalari, opportunamente scelti,  $a_0, a_1$  e  $a_2$   
 non negativi:  $a_0, a_1, a_2 \geq 0$   
 a somma 1:  $a_0 + a_1 + a_2 = 1$  e quindi  $a_0, a_1, a_2 \leq 1$
- ✓ dato P, esistono unici  $(a_0, a_1, a_2)$ , e viceversa
- ✓  $(a_0, a_1, a_2)$  sono dette le coordinate baricentriche di P nel tri  $V_0, V_1, V_2$
- ✓ se definiamo gli attributi colore  $(r, g, b)_0$  in  $V_0$   $(r, g, b)_1$  in  $V_1$   $(r, g, b)_2$  in  $V_2$  allora a P assegniamo il colore:
 
$$a_0 \cdot (r, g, b)_0 + a_1 \cdot (r, g, b)_1 + a_2 \cdot (r, g, b)_2$$



79

### Interpolazione attributi dentro un triangolo

✓ come troviamo le coordinate baricentriche di P nel triangolo  $V_0, V_1, V_2$  ?

$$\text{area}_{\text{TOT}} = \text{area}_0 + \text{area}_1 + \text{area}_2$$


$a_0 = \text{area}_0 / \text{area}_{\text{TOT}}$   
 $a_1 = \text{area}_1 / \text{area}_{\text{TOT}}$   
 $a_2 = \text{area}_2 / \text{area}_{\text{TOT}}$



80

### Attributi per faccia: normali

Nel caso in cui l'attributo è la normale

✓ per faccia:

- ⇒ normale costante per faccia
- ⇒ facce (dall'aspetto) piatto
- ⇒ discontinuità C0 sugli edge:  
edge sono «spigoli taglienti»,  
detti edge di crease, o «hard» edges

✓ per vertice

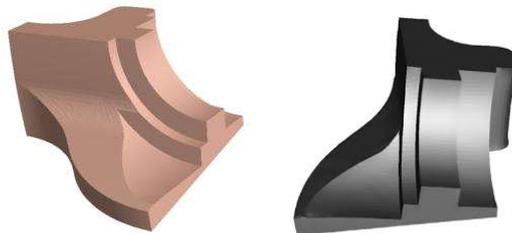
- ⇒ normale che varia sulla faccia
- ⇒ facce (dall'aspetto) curvo
- ⇒ continuità C0: → aspetto «smooth» (liscio),
- ⇒ (ma non continuità C1)



81

## Normali di una superficie: osservazioni

- ✓ Normali costanti = superficie piatta
- ✓ Normali che variano con continuità = superficie curva
- ✓ Normali che variano con discontinuità = superficie con un *crease*
  - ⇒ Il crease è costituito dai punti dove la normale è discontinua



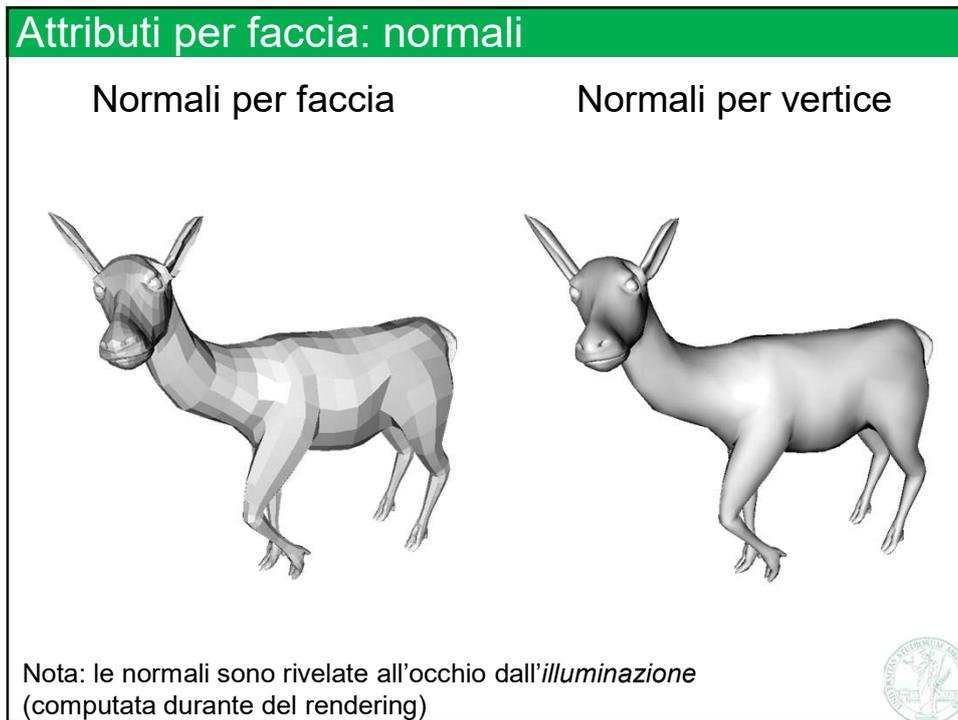
82

## Normali come attributi per vertice di una mesh

- ✓ Normali definite per faccia:
  - ⇒ Le normali sono costanti sulle facce:
  - ⇒ Le facce appaiono piatte
  - ⇒ coerentemente col modello digitale, ma a differenza (spesso) dell'oggetto 3D che si intendeva rappresentare!
  - ⇒ Appaiono crease su ogni edge della mesh
- ✓ Normali definite per vertice:
  - ⇒ Le normali variano sulle facce (vengono interpolate dentro le facce, come qualsiasi altro attributo)
  - ⇒ Le facce appaiono in generale curve
  - ⇒ Come ottengo una faccia che appaia piatta?  
Uso una stessa normale come attributo dei tre vertici di un triangolo
  - ⇒ Come ottengo un crease (una discontinuità di normale)? (vedi next)
- ✓ Nota: le normali risultano visibili all'osservatore attraverso l'illuminazione del modello digitale
  - ⇒ Il calcolo dell'illuminazione è un task del rendering (2nda metà del corso)



83



84

### Attributi per vertice con discontinuità

- ✓ Gli attributi definiti per vertice (interpolati dentro le facce) sono per costruzione continui (C0) fra faccia e la faccia adiacente
  - ⇒ i valori dell'attributo sull'edge infatti è interpolato solo fra gli attributi definiti nei vertici agli estremi di quell'edge, e sono quindi condivisi dalle due facce adiacenti
- ✓ Volendo, posso introdurre delle discontinuità (C0) di attributo introducendo duplicazioni di vertici
  - ⇒ La mesh avrà due vertici geometricamente coincidenti (stessa posizione) con attributi associati differenti
  - ⇒ Facce adiacenti useranno una oppure l'altra di questa coppia di vertice
  - ⇒ Questa configurazione si chiama un «seam» (letteralmente: cucitura) o «vertex seam»



85