

1

Una (imprefetta) 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	Triangle Mesh	Polygonal Mesh Quad Mesh Quad dominant Mesh	Subdivision surfaces Parametric Surfaces
	non-manifold <i>«non rappresenta una sup»</i>	Set di Range Scan	Point Cloud		
VOLUMETRICI	(3-manifold)	Voxelized Volume Volumetric Textures	Tetra Mesh	Hexa Mesh	Implicit models (es. CSG)

2

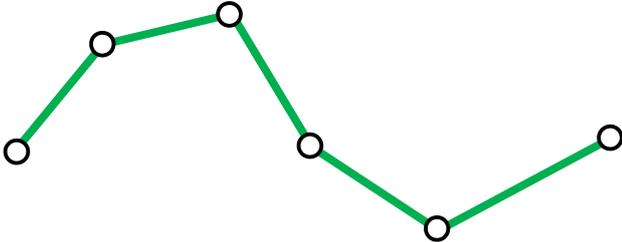
Suddivisione di una curva (in 2D o 3D)

- ✓ Osservazione: una linea curva può essere approssimata da una linea spezzata
 - ⇒ Una successione di vertici (2D oppure 3D) connessi da segmenti *dritti*
 - ⇒ La sua risoluzione è il numero di segmenti (oppure vertici) usati
 - ⇒ (così una tri-mesh è un insieme di vertici 3D connessi da facce *piatte*)
- ✓ Suddividere (*subdivide*) una data linea spezzata C: procedimento automatico per ottenere una versione più hi-res di C, sostituendo ad ogni segmento di C un certo numero di segmenti più piccoli
- ✓ Esistono molti procedimenti diversi
- ✓ Uno dato *schema di suddivisione* prescrive:
 - ⇒ come ottenere la nuova **connettività**, cioè quali nuovi vertici aggiungere, come connettere vecchi e nuovi vertici con nuovi segmenti, se mantenere oppure scartare i vertici originali, etc
 - ⇒ Come ottenere la nuova **geometria**, cioè una formula per ottenere le posizioni dei vertici nella nuova curva
 - ⇒ Si può applicare anche agli attributi originali per ottenere i nuovi attributi

3

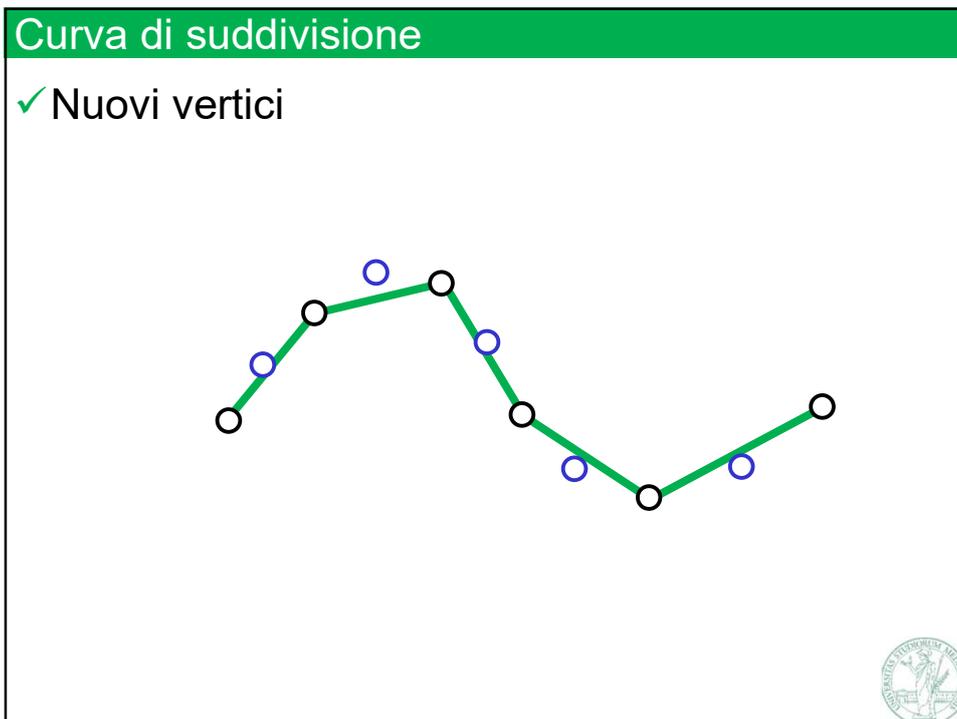
Curva di suddivisione

- ✓ Linea spezzata iniziale

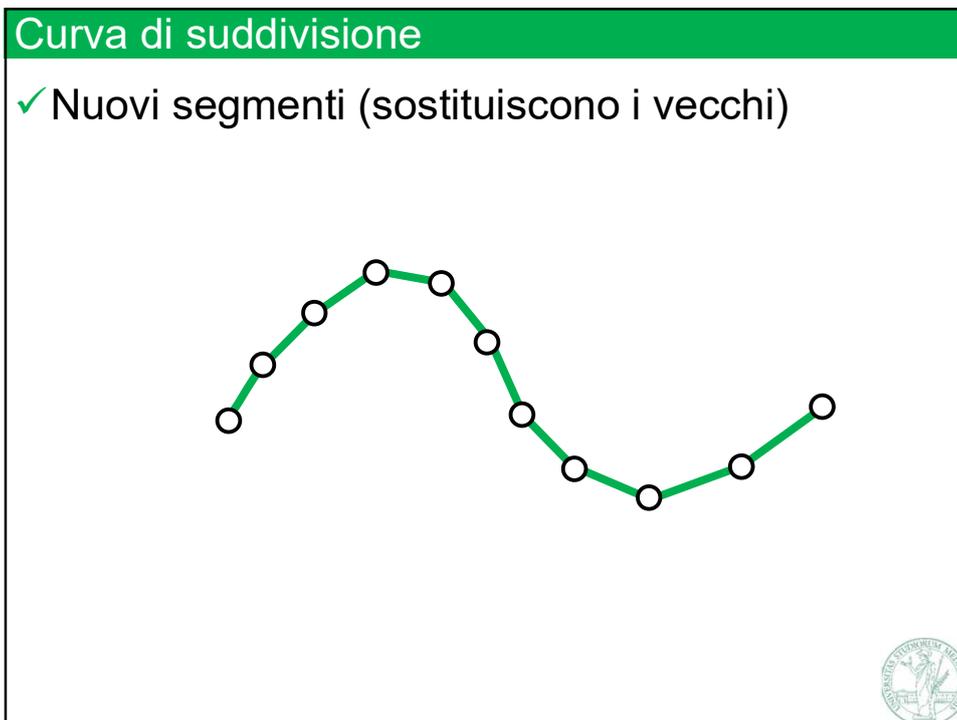


The diagram shows a piecewise linear curve in 2D. It consists of five vertices, represented by small white circles with black outlines, connected by four straight line segments. The curve starts at a low point on the left, rises to a peak, falls to a trough, and then rises again to a point higher than the start. The segments are colored green.

5



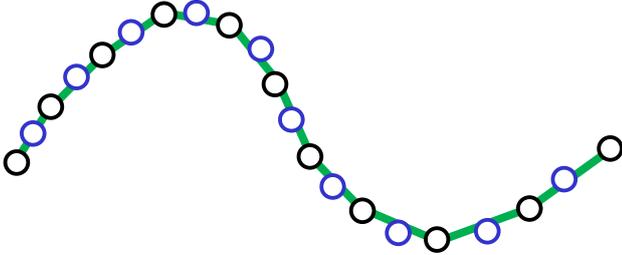
6



7

Curva di suddivisione

✓ Nuovo passo di suddivisione

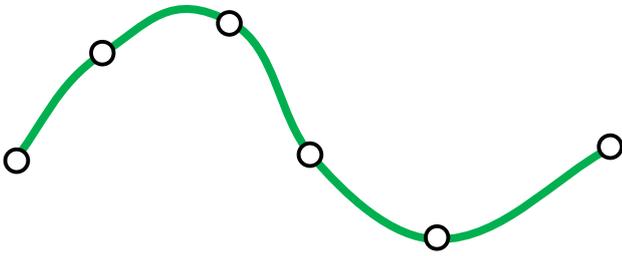


The diagram shows a sequence of 15 control points connected by a green curve. The points are arranged in a wave-like pattern. The first 10 points are black, and the last 5 points are blue. The curve is smooth and passes through all points. A small circular logo is visible in the bottom right corner of the slide.

8

Curva di suddivisione

✓ Etc.. fino ad arrivare alla *curva limite*



The diagram shows a sequence of 6 control points connected by a green curve. The points are arranged in a wave-like pattern. The curve is smooth and passes through all points. A small circular logo is visible in the bottom right corner of the slide.

9

Schemi di suddivisione per curve

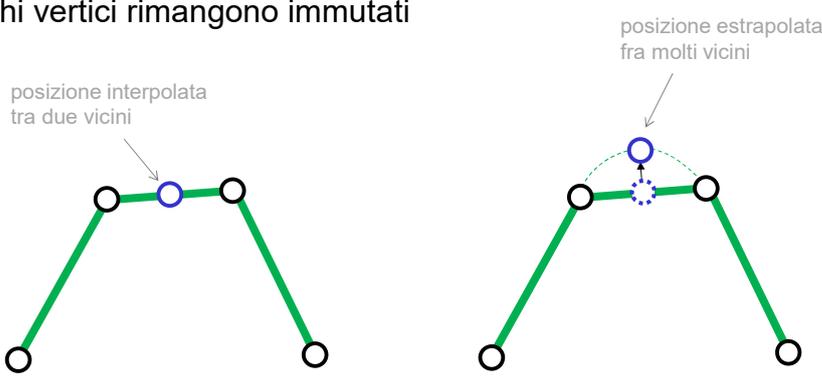
- ✓ Esistono molti schemi di suddivisione per curve
- ✓ Ad ogni passaggio, i vertici pre-esistenti...
 - ⇒ ...vengono lasciati inalterati.
Allora lo schema è detto «interpolativo»,
(perché la curva limite passa attraverso, cioè interpola, i vertici di partenza)
 - ⇒ ...oppure, vengono spostati in una nuova posizione.
Allora lo schema è detto «approssimativo» (perché la curva limite si avvicina, cioè approssima, i vertici di partenza)
 - ⇒ ...oppure, vengono rimossi.
Allora lo schema è detto «duale» – vedi dopo
- ✓ Uno schema di suddivisione prescrive:
 - ⇒ Quanti nuovi vertici creare e dove posizionarli
(come una certa funzione dei vertici vicini)
 - ⇒ Se mantenere i vecchi vertici (oppure scartarli);
e se sì: se riposizionarli (oppure lasciarli alla loro posizione attuale)
e se sì: dove riposizionarli
(come funzione dei vertici vicini)



10

Schema interpolativo per curve: idea intuitiva

- ✓ Ad ogni passo di suddivisione, si aggiungono nuovi vertici fra i vertici del passo precedente
- ✓ I vecchi vertici rimangono immutati



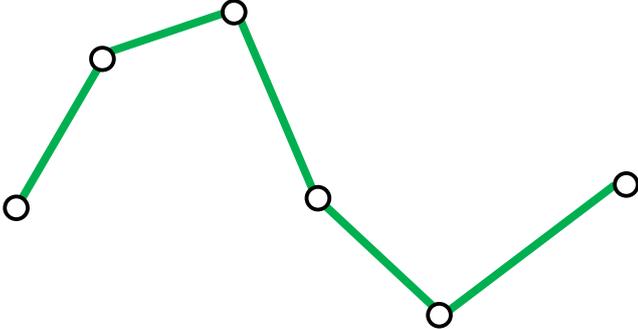
- ✓ Al fine ottenere una curva smooth, le nuove pos saranno non solo *interpolate* fra i vicini immediati, ma anche allontanate (quindi *estrapolate*) da quelli più lontani



11

Schema approssimativo: idea

✓ Init: linea spezzata



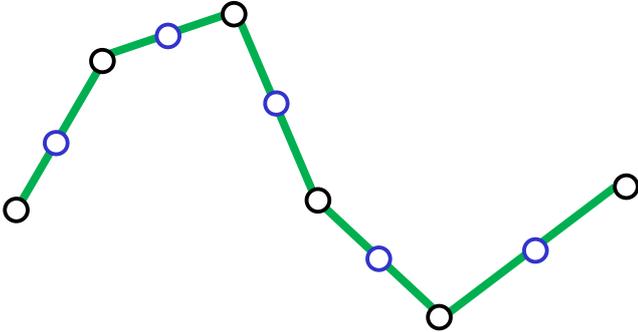
The diagram shows a green broken line with five vertices. The vertices are represented by small white circles with black outlines. The line starts at a low point on the left, goes up to a peak, then down to a valley, and finally up to a point on the right. The segments are connected by straight lines.



12

Schema approssimativo: idea

✓ Aggiungere i nuovi vertici (interpolando)



The diagram shows the same green broken line as in slide 12, but with additional blue vertices added to each segment. There are now 10 vertices in total: 5 white and 5 blue. The blue vertices are placed at the midpoint of each of the original segments.

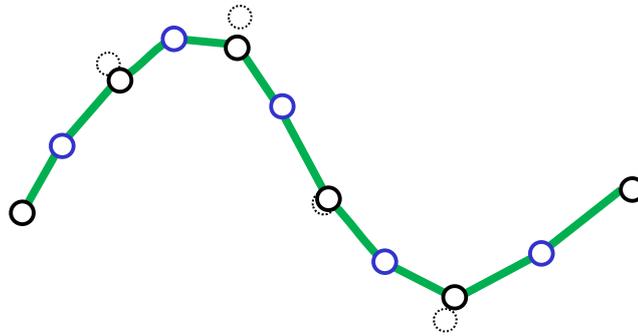
Nota: ogni segmento viene suddiviso
ma la geometria non viene cambiata



13

Schema approssimativo: idea

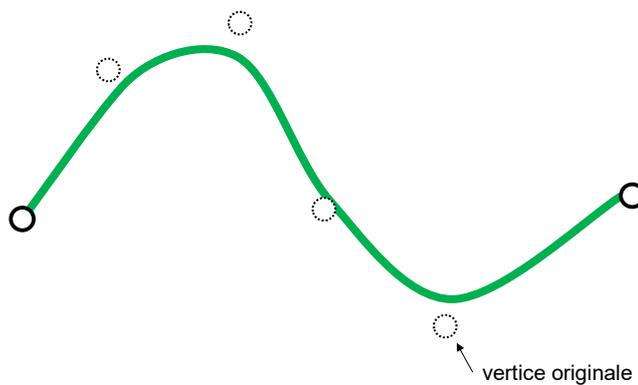
- ✓ Smooth: spostare i *vecchi* vertici verso la media dei loro vicini



14

Schema approssimativo: idea

- ✓ Ripetere fino a raggiungimento curva limite



15

Schema aprossimativo: idea

- ✓ Ad ogni passo di suddivisione, si aggiungono nuovi vertici *in posizioni interpolate* fra i vertici del passo precedente
- ✓ Al fine di ottenere la smoothness, si spostano i vecchi vertici verso una interpolazione dei loro vicini

✓ La curva finale NON passa per i vertici originali

17

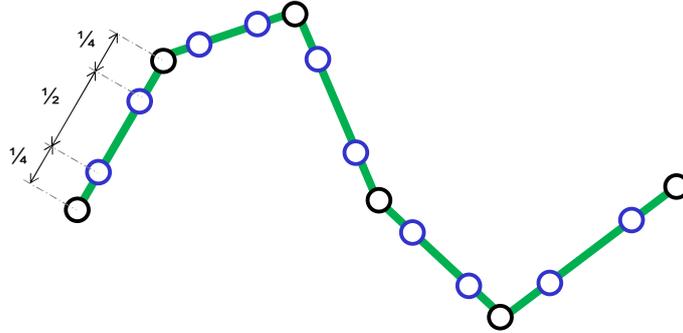
Curve subdivision: esempio di schema duale

- ✓ Linea spezzata base

18

Curve subdivision: esempio di schema duale

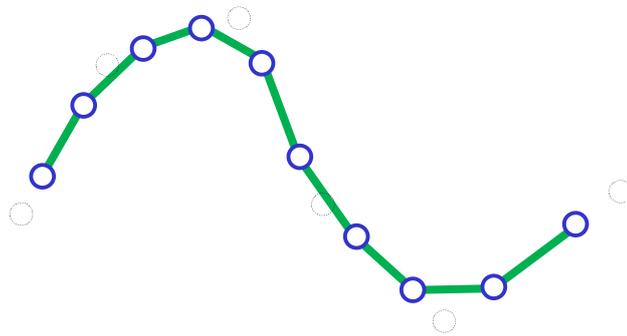
✓ Introdurre due nuovi vertici per segmento



19

Curve subdivision: esempio di schema duale

✓ Rimuovere i vertici precedenti



21

Curve subdivision: esempio di schema duale

✓ Esempio con curva chiusa



22

Suddivisione di una mesh

- ✓ Quanto visto per le curve si estende facilmente alle mesh poligonali
- ✓ Suddividere (*subdivide*) una mesh M : un procedimento automatico per ottenere una versione più ad hi-res di M , suddividendo ogni poligono di M in poligoni più piccoli
- ✓ Esistono molti schemi di suddivisione diversi
- ✓ Uno dato schema prescrive:
 - ⇒ come ottenere la nuova **connettività** (quali nuovi vertici aggiungere, come connettere vecchi e nuovi vertici con nuove facce)
 - ⇒ come ottenere la nuova **geometria** (e attributi)



23

Subdivision surface

- ✓ Iterando il processo di suddivisione, si converge verso una «superficie limite»
- ✓ Differenze principali fra schemi:
 - ⇒ Interpolativi VS Approssimativi VS Duali (come visto per le curve)
 - ⇒ Poligonalità della mesh richiesta in input, e prodotta in output
Tri-mesh? Quad-mesh?
Mesh poligonale in generale?
 - ⇒ Caratteristiche della superficie limite, in termini di smoothness (continuità di normale e/o curvatura)



24

Schemi di suddivisione per triangle meshes

- ✓ Molti schemi di suddivisione per tri-mesh sono “da 1 a 4”:
suddividono ogni faccia triangolare in 4 sottofacce



25

Alcuni schemi di suddivisione comuni per mesh

- ✓ Catmull-Clark
- ✓ Doo-Sabin
- ✓ Loop
- ✓ sqrt(3)
- ✓ Kobbelt
- ✓ Butterfly

recente aumento di popolarità (GPU friendliness)



26

Classificazione di 4 schemi di suddivisione comuni

	per tri-Mesh	Per mesh poligonali generiche
Interpolativi	Butterfly	
Approssimativi	Loop	Catmull-Clark (produce sempre pure quad-mesh)
Duali		Doo-Sabin (produce mesh poligonali)

(non è una lista esaustiva)



27

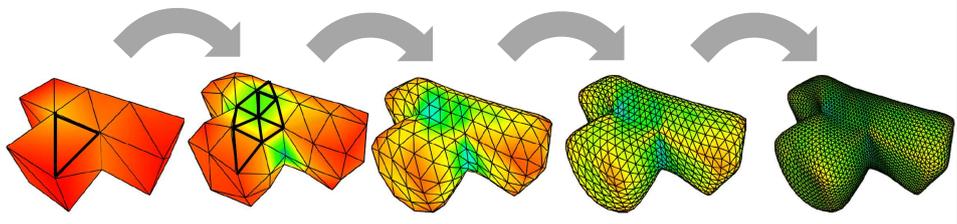
Schemi di suddivisione per mesh: differenze

✓ Operano da:	✓ Ottenendo:
⇒ tri-mesh, o	⇒ tri-mesh, o
⇒ polygonal mesh, o	⇒ polygonal mesh, o
⇒ pure-quad mesh	⇒ pure-quad mesh
✓ Connettività:	
⇒ quali nuovi vertici produrre?	
⇒ come connetterli con nuove facce ed edge?	
✓ Geometria:	
⇒ come ottenere le coordinate (e gli attributi) dei nuovi vertici (a partire dai vertici originali?)	
⇒ solo per schemi approssimativi: dove spostare i vertici originali?	



28

Esempio: suddivisione "butterfly"



E' uno schema di suddivisione:

- da tri-mesh a tri-mesh
- 1 a 4
- interpolativo



29

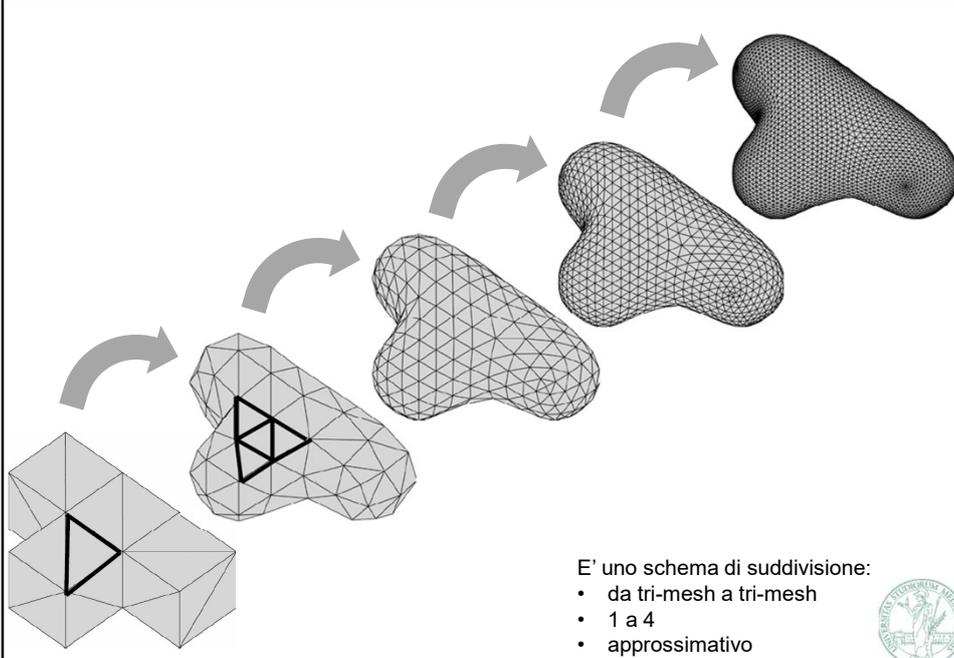
Proprietà degli Schemi di suddivisione 1:4

- ✓ **Risoluzione:** in un passo di suddivisione:
 - ⇒ il numero di facce viene moltiplicato per un fattore 4, quindi
 - ⇒ tutte le misure di risoluzione (num. vertici, num. edge) sono necessariamente moltiplicate per 4
- ✓ **Regolarità:** In un passo di suddivisione:
 - ⇒ I vertici regolari rimangono tali
 - ⇒ I vertici irregolari rimangono tali
 - ⇒ Tutti i vertici interni aggiunti sono regolari! (verificare)
 - ⇒ Quindi: qualsiasi mesh, quando suddivisa, diventa almeno semi-regolare ☺
- ✓ **Two-manifoldness, orientabilità, chisura:** sempre mantenute
- ✓ Anche gli altri schemi di suddivisione hanno simili proprietà



30

Esempio: suddivisione Loop



- E' uno schema di suddivisione:
- da tri-mesh a tri-mesh
 - 1 a 4
 - approssimativo



39

Esempio: suddivisione Catmull-Clark

The diagram illustrates the Catmull-Clark subdivision process in four stages:

- A simple wireframe cube.
- A cube with its faces subdivided into smaller polygons.
- A sphere-like shape formed by the subdivision of the cube's faces.
- A smooth sphere with a fine grid of quadrangles.

E' uno schema di suddivisione (molto popolare):

- da mesh poligonale a pure-quad mesh
- approssimativo



42

Esempio: suddivisione Catmull-Clark

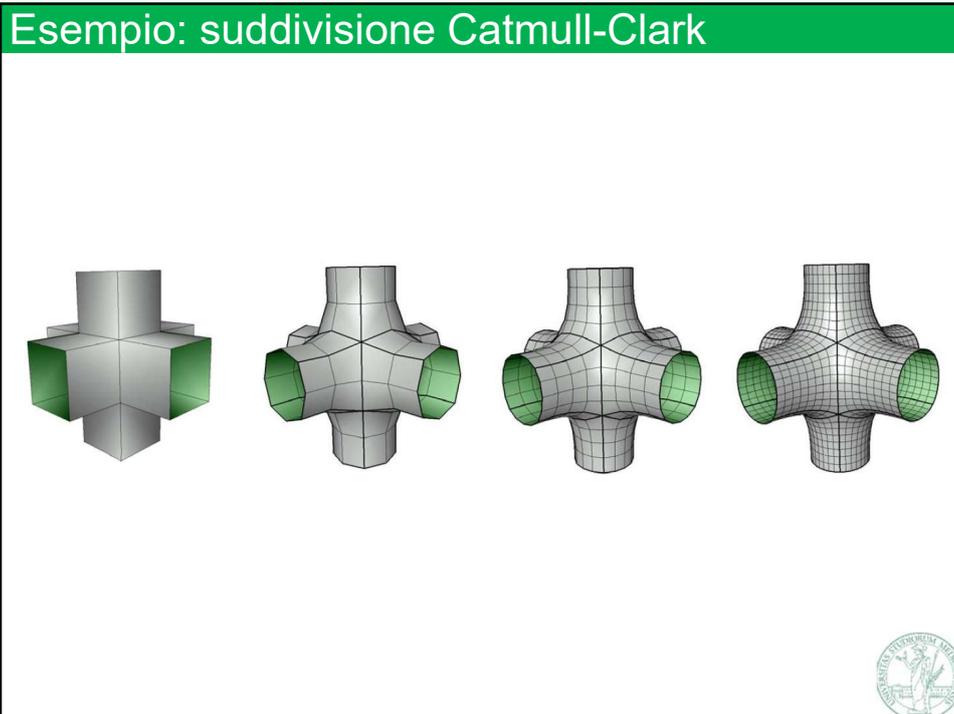
The diagram shows the subdivision of a complex mesh into a smooth surface in four stages:

- A base mesh labeled "mesh base", which is a simple L-shaped block.
- The first subdivision step, resulting in a mesh with more polygons.
- The second subdivision step, resulting in a mesh with even more polygons.
- The final subdivision step, resulting in a smooth surface labeled "mesh suddivisa".

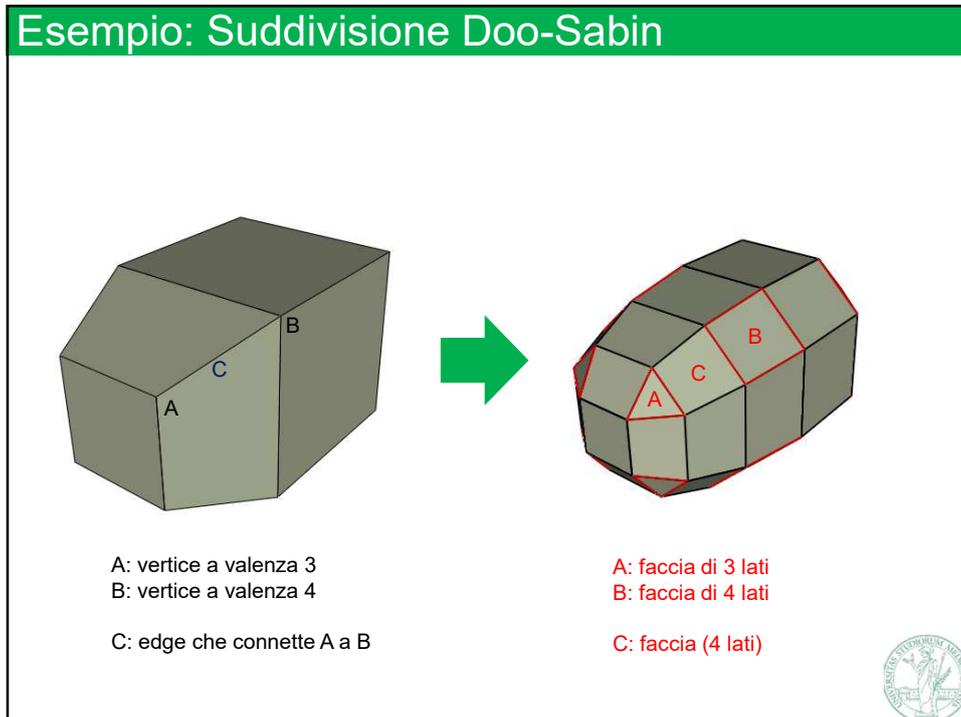
 Curved arrows indicate the progression from one stage to the next.



43

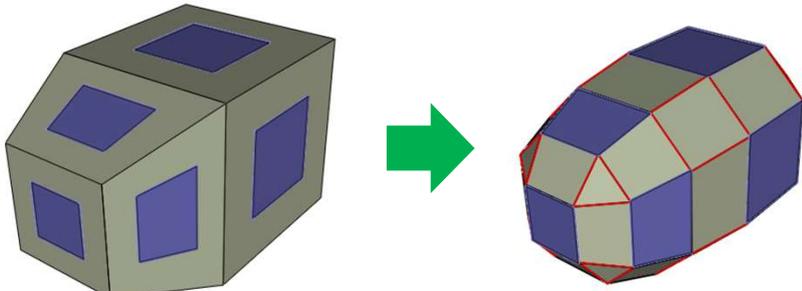


44



47

Esempio: Suddivisione Doo-Sabin



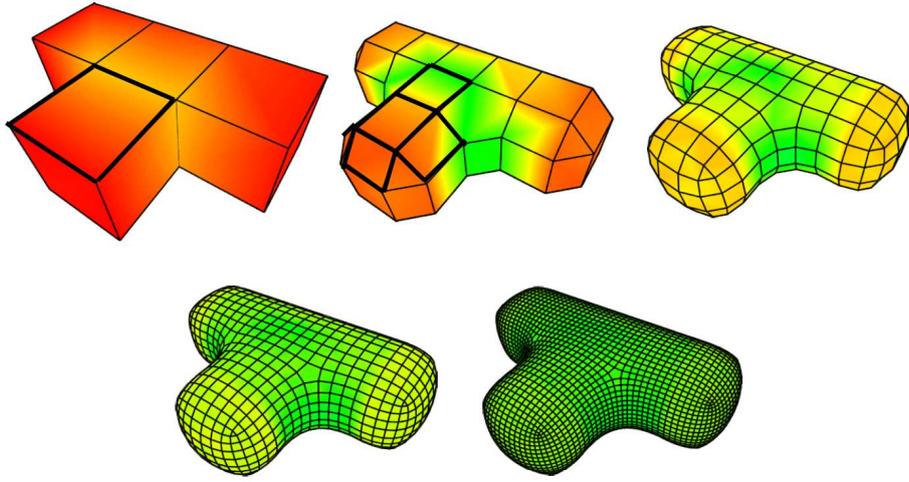
E' uno schema di suddivisione:

- da mesh poligonale (generica) a mesh poligonale (generica)
- duale.

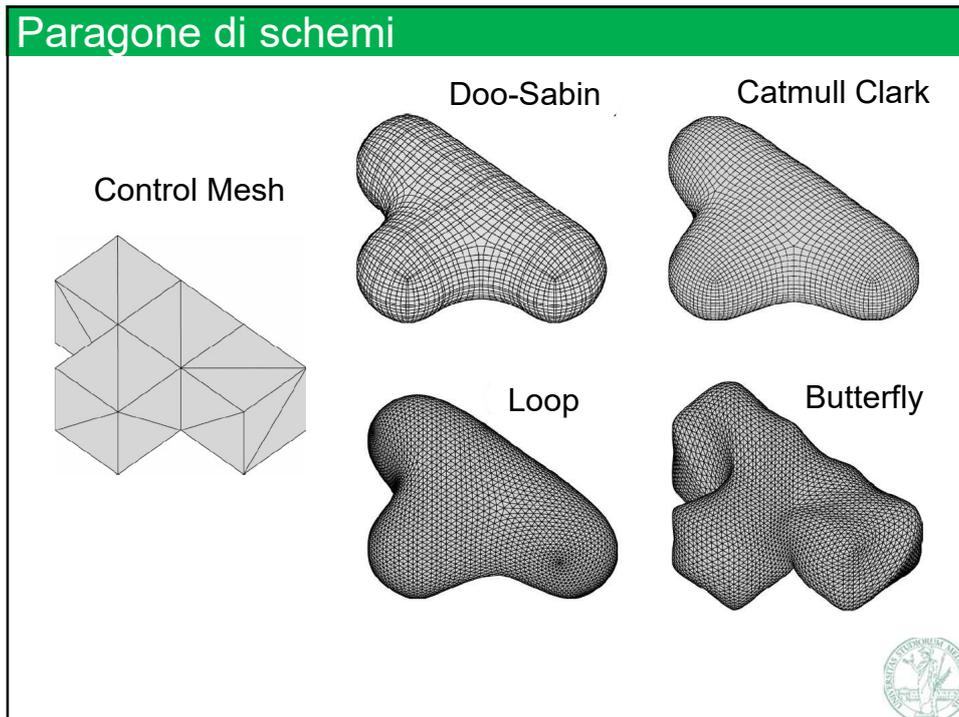


48

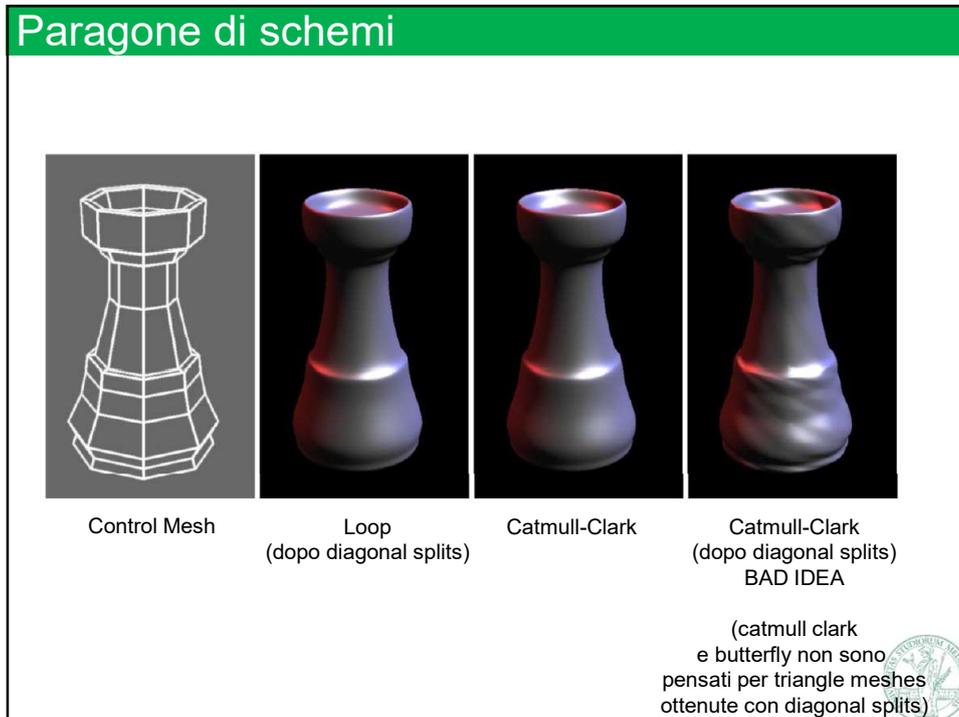
Esempio: Suddivisione Doo-Sabin



49



51



52

Due modi di usare uno schema di suddivisione

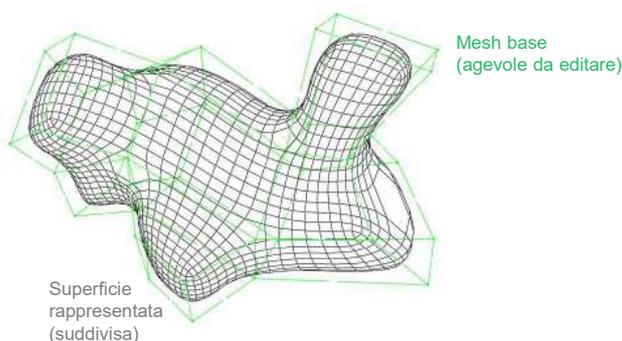
- ✓ Come modo per rappresentare superfici curve
 - ⇒ La mesh poligonale iniziale, detta **control mesh**, o **base mesh** serve come rappresentazione della **limit surface**
 - ⇒ Come fase del rendering, la base mesh viene suddivisa (per n passi) e mandata a schermo (come mesh poligonale)
 - ⇒ Il modellatore manipola la control mesh come sostituto della limit surface
- ✓ Come strategia per costruire mesh poligonali hi-res
 - ⇒ Modellazione low-poly di una mesh iniziale
 - ⇒ il modellatore richiede un passo di suddivisione ogni volta che voglia incrementare la risoluzione
 - ⇒ la mesh risultante può essere modificata e/o suddivisa ulteriormente
 - ⇒ nota: la mesh iniziale può essere poi scartata



53

Superfici di suddivisione

- ✓ Come rappresentazione di superfici smooth



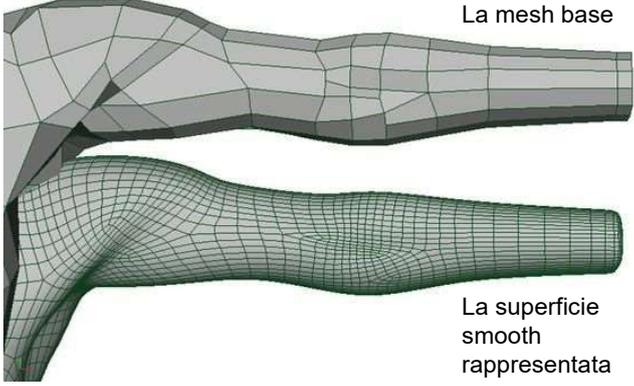
(Doo-Sabin)



54

Superfici di suddivisione

✓ Come rappresentazione di superfici smooth



La mesh base

La superficie smooth rappresentata

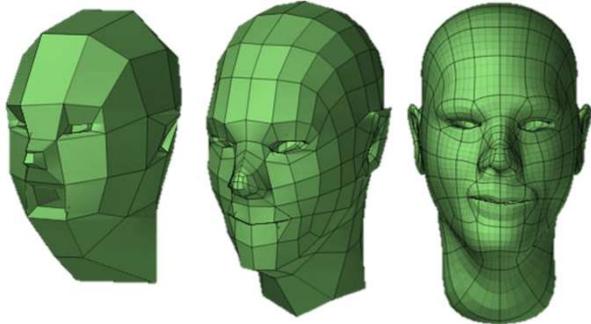


55

Sup. di suddivisione come strategia per la modellazione

Processo iterativo:

- 1- Modellare "mesh" (low poly editing)
- 2- Suddivisione
- 3- Ritocco!
- 4- Goto 2



(Catmull-Clark)



56