

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 «rappresenta una vera superficie»	Height Field Range Scan	Triangle Mesh	Polygonal Mesh Quad Mesh Quad dominant Mesh	Subdivision surfaces Parametric Surfaces
	non-manifold «non rappresenta una sup»	Set di Range Scan	Point Cloud		
VOLUMETRICI	(3-manifold)	Voxelized Volume Volumetric Textures	Tetra Mesh	Hexa Mesh	Implicit models (es. CSG)

2

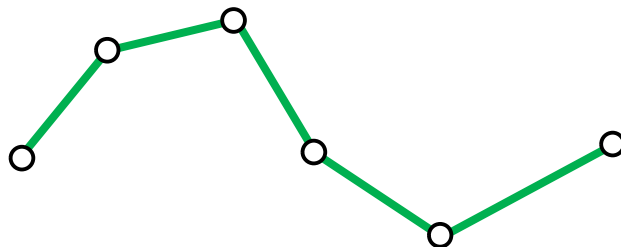
Suddivisione di una curva (in 2D o 3D)

- ✓ 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

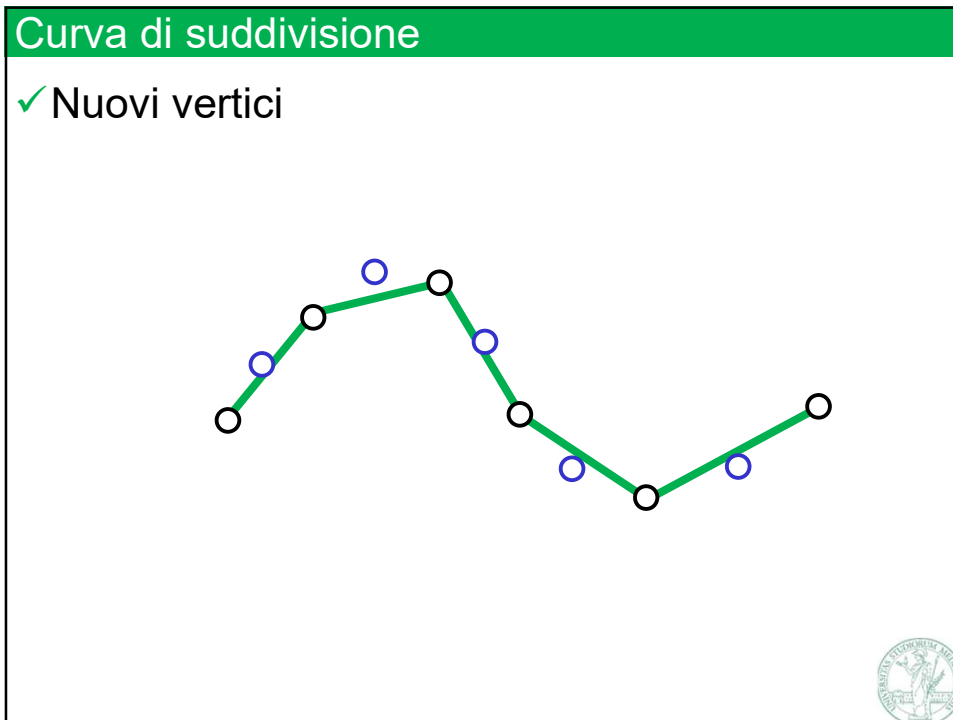
3

Curva di suddivisione

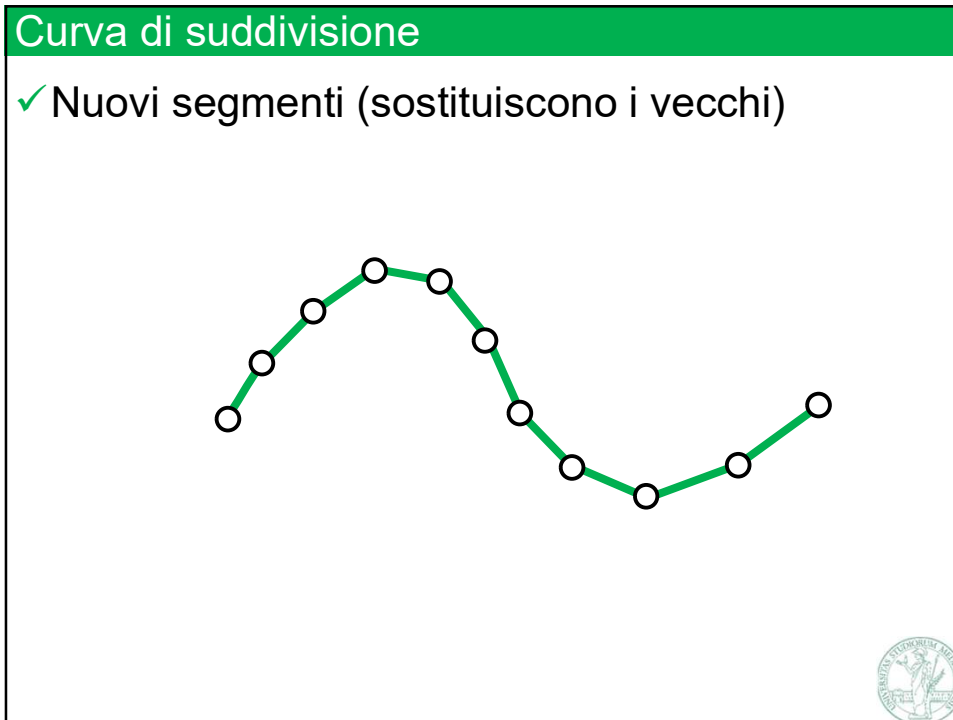
- ✓ Linea spezzata iniziale



5




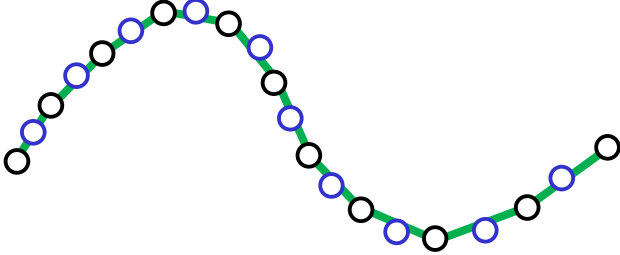
6



7

Curva di suddivisione


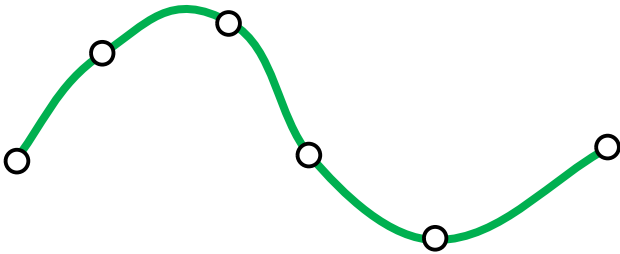
✓ Nuovo passo di suddivisione



8

Curva di suddivisione

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



9

Schemi di suddivisione per curve

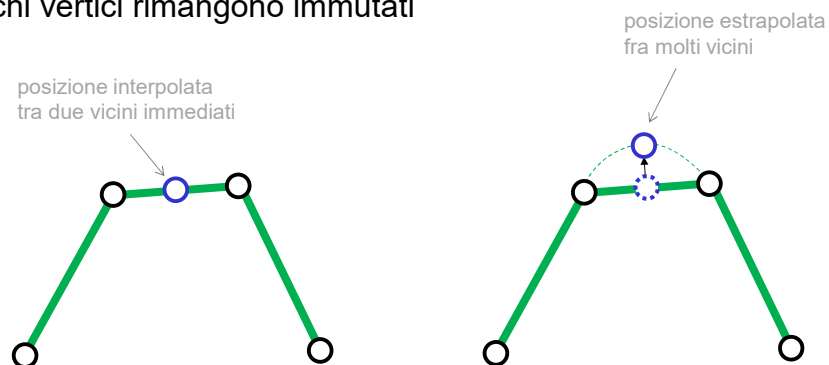
- ✓ Esistono molti schemi di suddivisione per curve
- ✓ Ad ogni passaggio, i vertici pre-esistenti...
 - ⇒ ...vengono lasciati inalterati.
Allora lo schema è detto «interpolativo»,
(perché la curva limite passa attraverso, cioè interpola,
i vertici di partenza)
 - ⇒ ...oppure, vengono spostati in una 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»
- ✓ Un dato «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



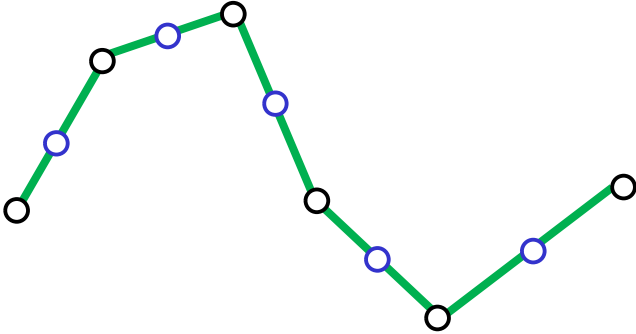
The diagram shows a green line with five vertices connected by four segments. The vertices are represented by small white circles with black outlines. The line starts at a low point on the left, goes up to a peak, then down to a valley, and finally up to a medium point on the right.



12


Schema approssimativo: idea

✓ Aggiungere i nuovi vertici (interpolando)



The diagram shows the same green 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 four segments.

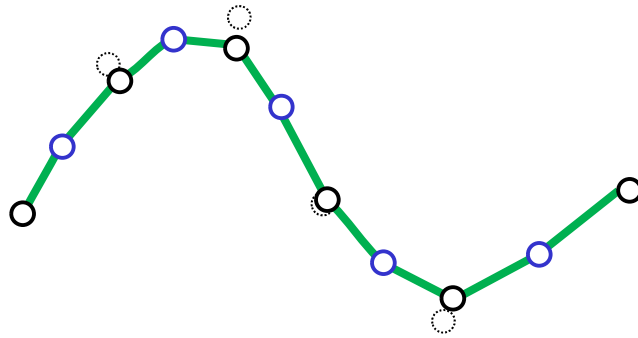
Nota: ogni segmento viene suddiviso
ma la geometria non viene cambiata



13

Schema approssimativo: idea

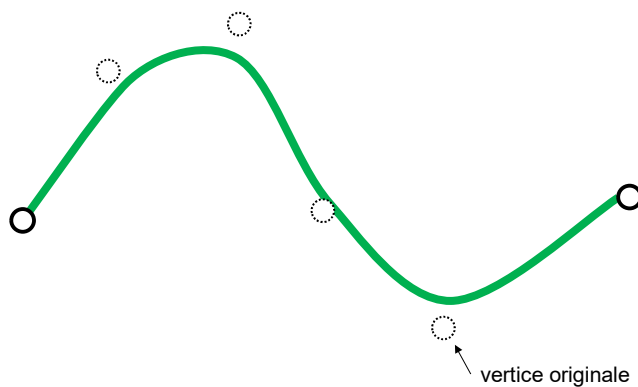
- ✓ Smooth: spostare i vecchi vertici verso la media dei loro vicini



14

Schema approssimativo: idea

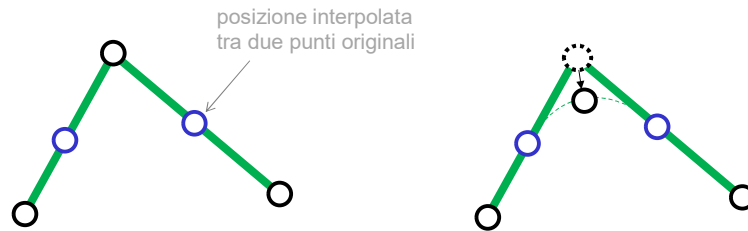
- ✓ Ripetere fino a raggiungimento curva limite



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



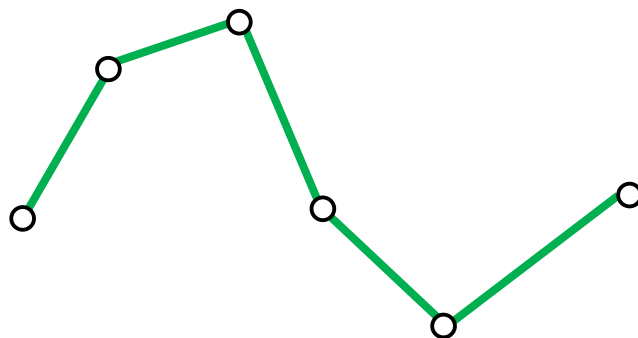
- ✓ La curva finale NON passa per i vertici originali



17

Curve subdivision: esempio di schema duale

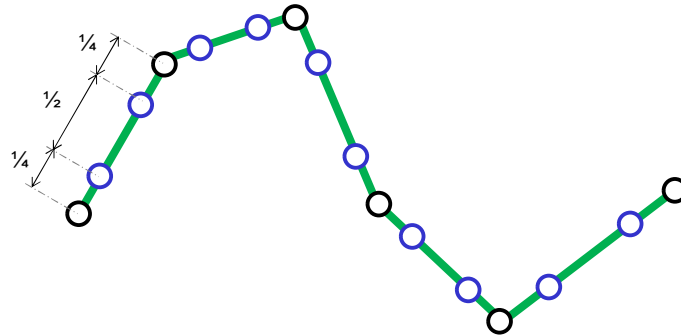
- ✓ Linea spezzata base



18

Curve subdivision: esempio di schema duale

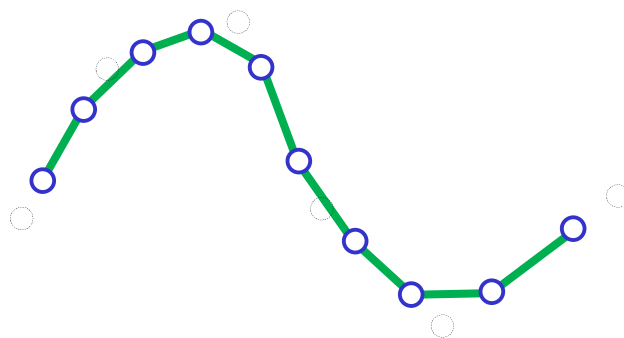
✓ Introdurre due nuovi vertici per segmento



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/o nuovi vertici con nuove facce)
 - ⇒ come ottenere la nuova **geometria** (e attributi) dei vertici (come interpolazione/estrapolazione dei vecchi)



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
Sono tri-mesh? Sono quad-mesh?
Sono mesh poligonali generiche?
 - ⇒ Caratteristiche della superficie limite, in termini di smoothness (continuità di normale e/o di 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

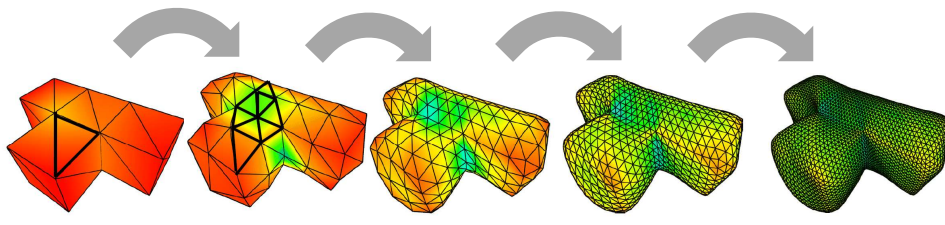
Schemi di suddivisione per mesh: differenze

✓ 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

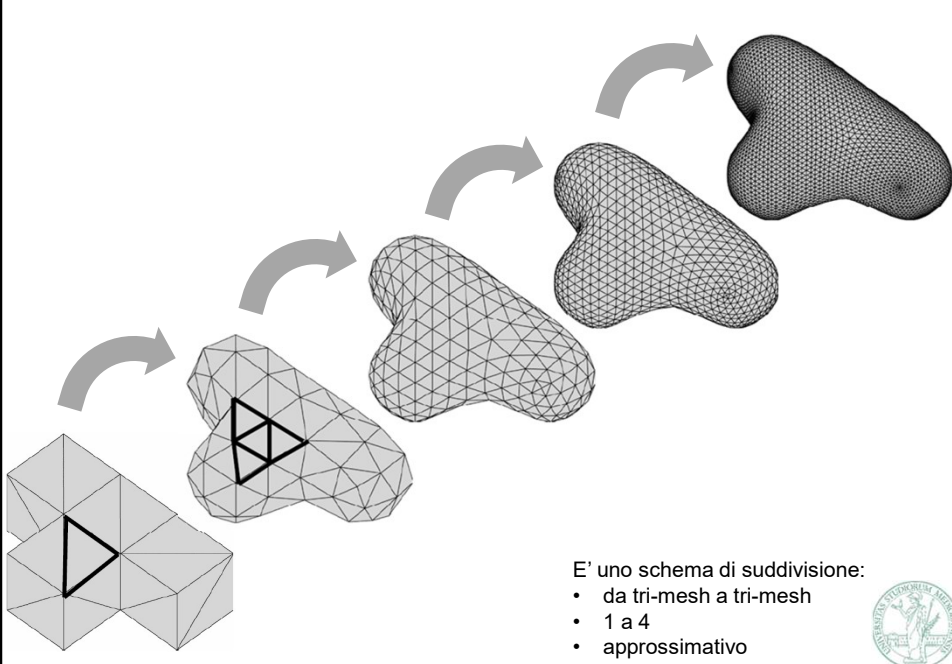
Proprietà degli Schemi di suddivisione 1:4

- ✓ **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, chiusura:** sempre mantenute (se valide nella mesh di partenza)
- ✓ Anche gli altri schemi di suddivisione hanno queste proprietà



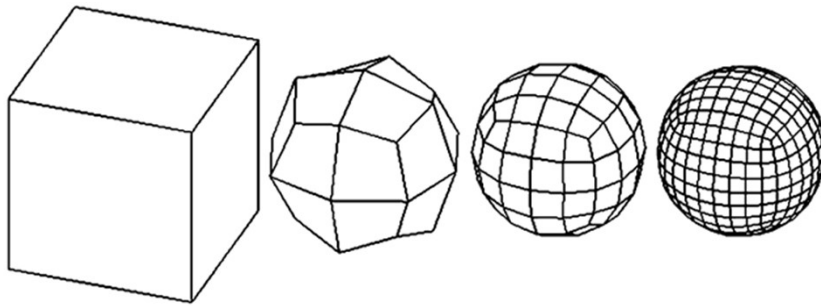
30

Esempio: suddivisione Loop



39

Esempio: suddivisione Catmull-Clark



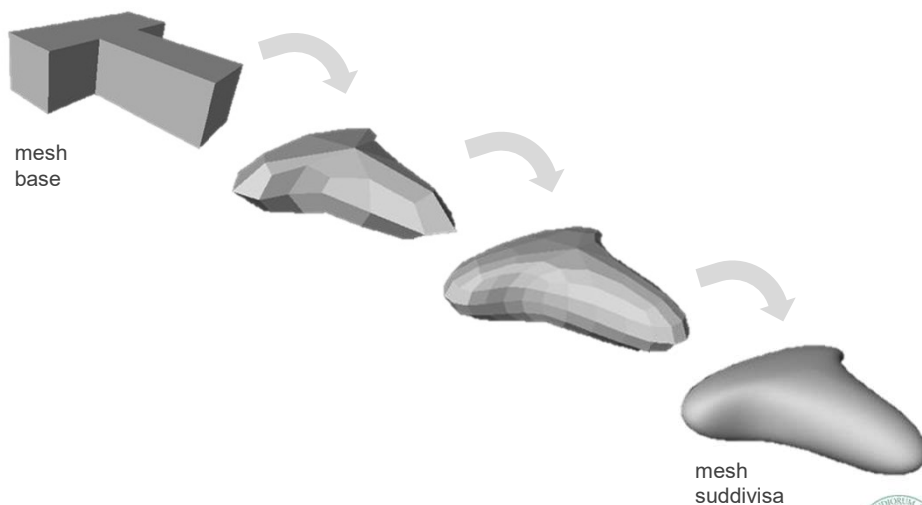
E' uno schema di suddivisione (molto popolare):

- da mesh poligonale a pure-quad mesh
- tipo dello schema: approssimativo

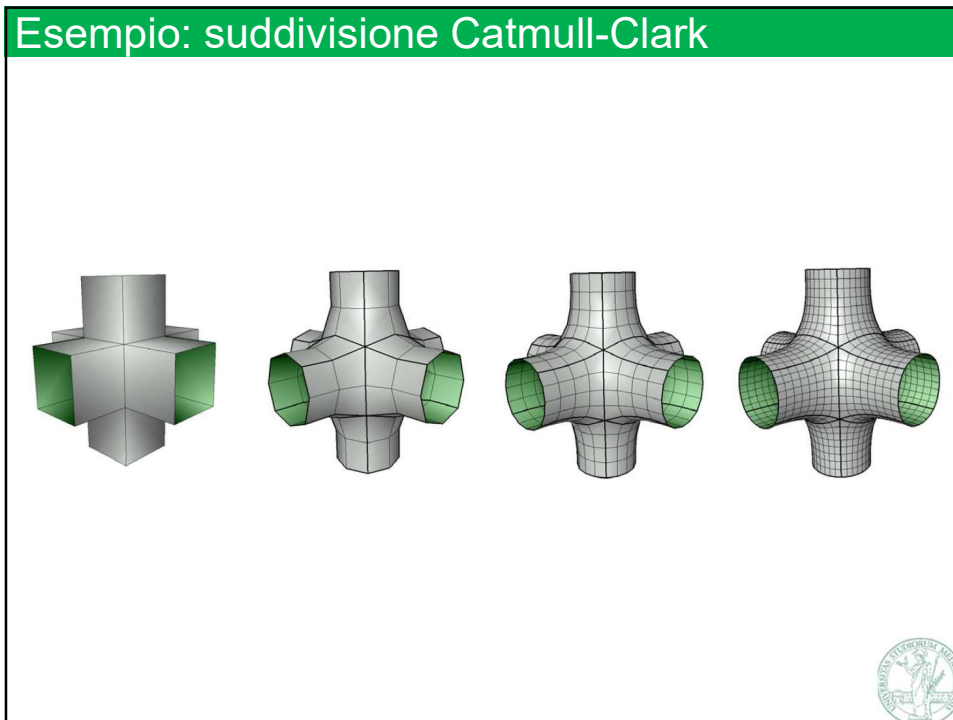


42

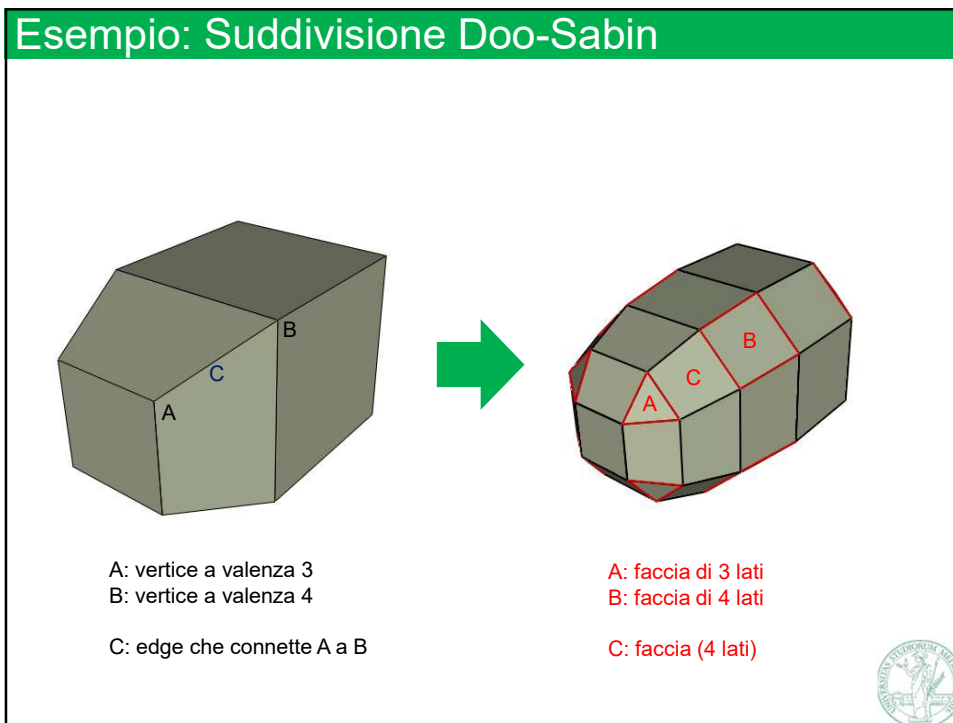
Esempio: suddivisione Catmull-Clark



43

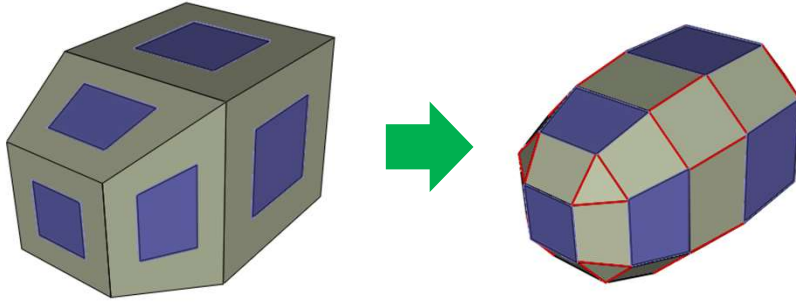


44



47

Esempio: Suddivisione Doo-Sabin



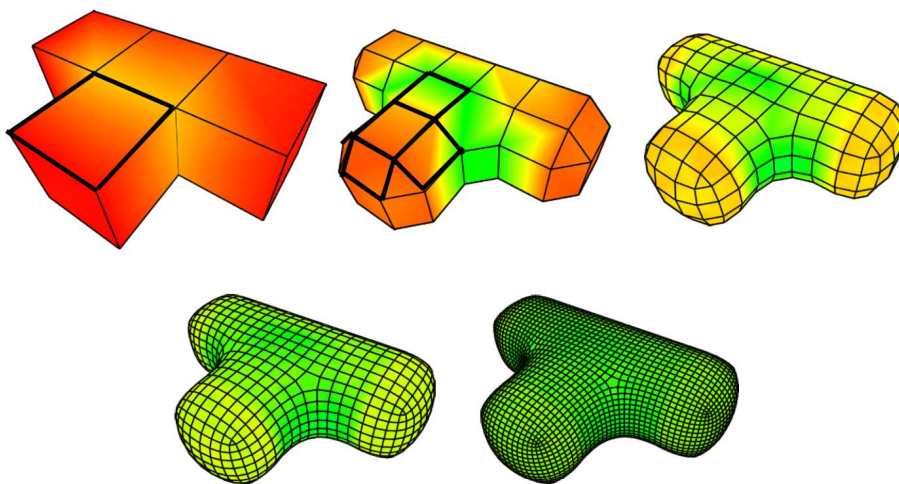
E' uno schema di suddivisione:

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

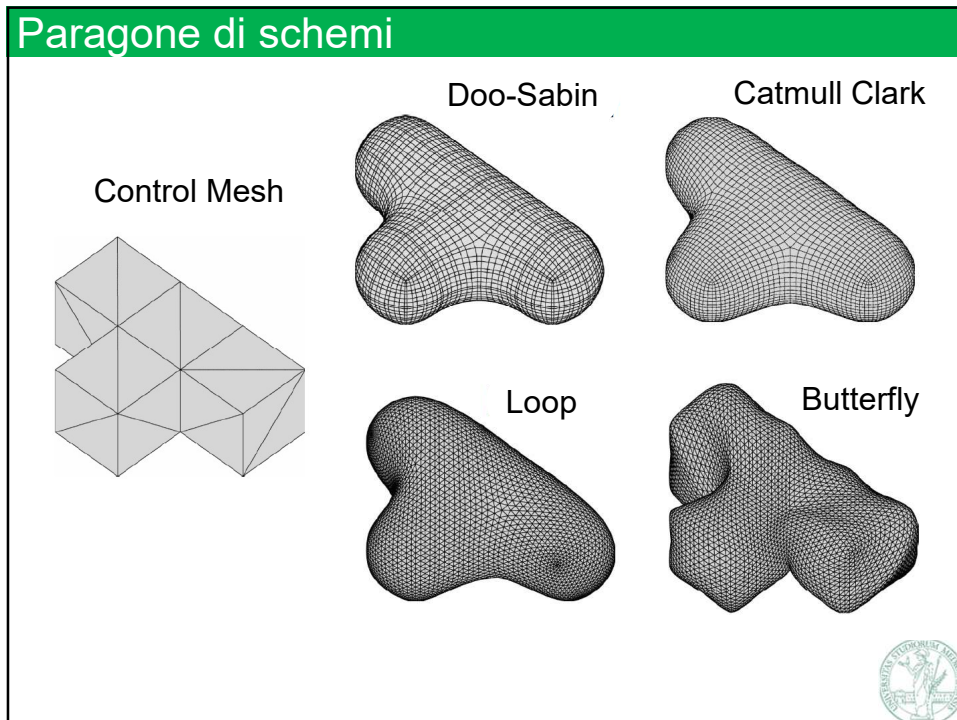


48

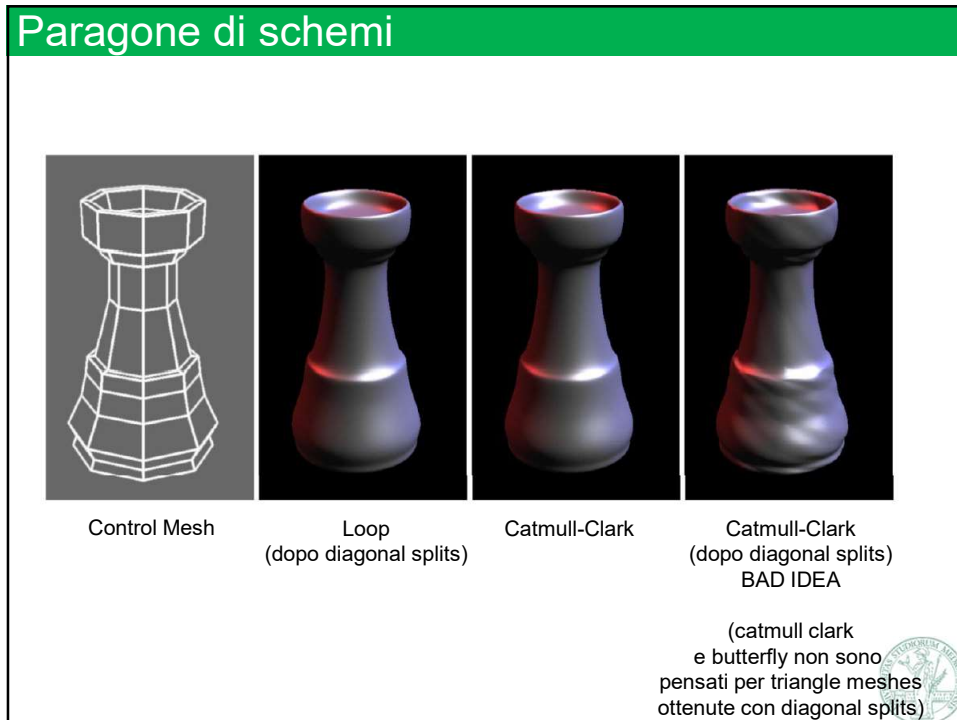
Esempio: Suddivisione Doo-Sabin



49



51



52

Due modi di usare uno schema di suddivisione

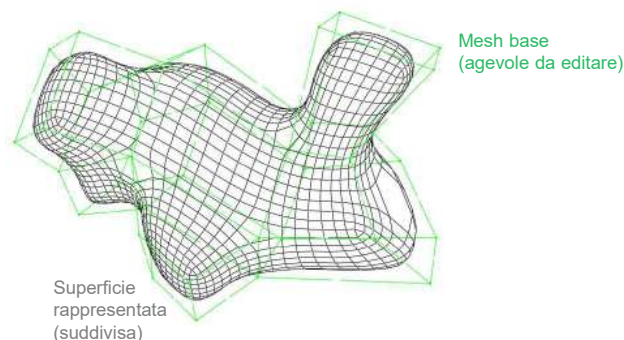
- ✓ Come modo per rappresentare superfici curve
 - ⇒ La mesh poligonale iniziale, detta **control mesh**, o **base mesh** serve come rappresentazione della **limit surface**
 - ⇒ Come fase del rendering, la base mesh viene suddivisa (per n passi) e mandata a schermo (come mesh poligonale)
 - ⇒ Il modellatore 3D 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



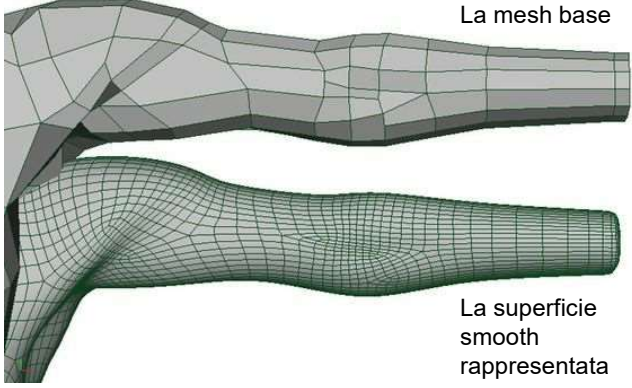
(Doo-Sabin)



54


Superfici di suddivisione

✓ Come rappresentazione di superfici smooth



La mesh base

La superficie smooth rappresentata



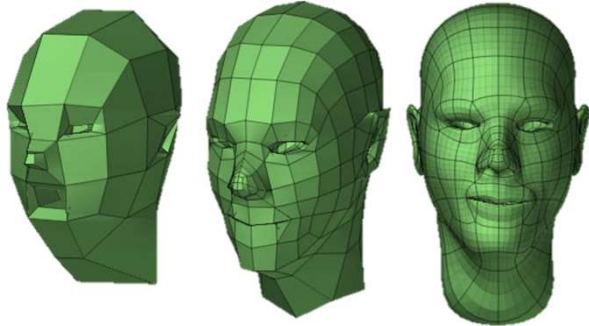
The image shows two wireframe models of a hand. The top model, labeled 'La mesh base', is a low-poly mesh with large, flat faces. The bottom model, labeled 'La superficie smooth rappresentata', is a subdivided surface that is much smoother and more rounded. A small circular logo of the Politecnico di Milano is in the bottom right corner.

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)



The image shows three stages of a head model. From left to right: a low-poly mesh, a subdivided mesh, and a smoothed surface. A small circular logo of the Politecnico di Milano is in the bottom right corner.

56