

24

Suddivisione di una mesh

- ✓ Quanto visto per le curve si estende facilmente alle mesh poligonali
- ✓ Suddividere (*subdivide*) una mesh M : un semplice 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 (attraverso interpolazione/estrapolazione dei vecchi)



25

Subdivision surface

- ✓ Iterando il processo di suddivisione, si converge verso una «superficie limite»
- ✓ Differenze principali fra schemi di suddivisione:
 - ⇒ 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)



26

Schemi di suddivisione per triangle meshes

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



27

Alcuni schemi di suddivisione comuni per mesh

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

Molto utilizzato.
Dunque vediamo
questo da piu'
vicino



28

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)



29

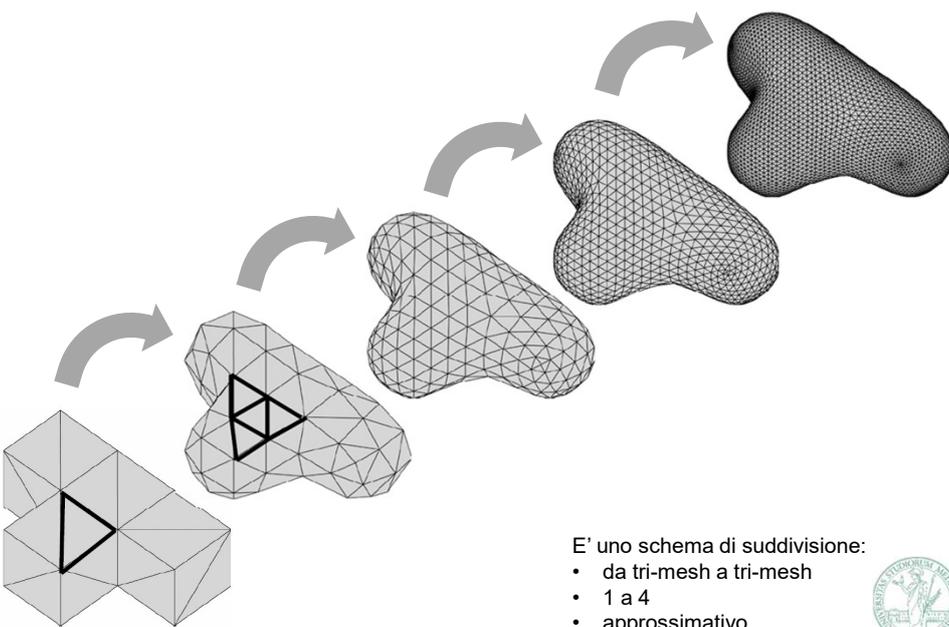
Schemi di suddivisione per mesh: differenze

✓ Operano da:	✓ Ottenengo:
⇒ 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?	



30

Esempio: suddivisione Loop



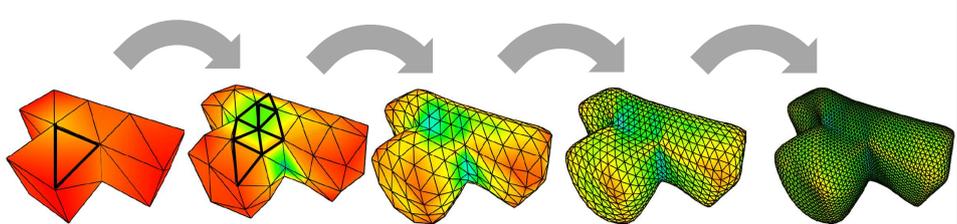
E' uno schema di suddivisione:

- da tri-mesh a tri-mesh
- 1 a 4
- approssimativo



31

Esempio: suddivisione "butterfly"



E' uno schema di suddivisione:

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



32

Proprietà comuni a molti Schemi di suddivisione

- ✓ **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)



33

Schema "Loop" e "butterfly": caratteristiche

✓ Regolarità

- ⇒ I vertici regolari rimangono tali
- ⇒ I vertici irregolari rimangono tali
- ⇒ Tutti i vertici aggiunti sono regolari!
- ⇒ Quindi:
qualsiasi mesh suddivisa diventa in fretta molto regolare (semi-regolare) 😊

- ⇒ Questa conclusione vale anche per tutti gli altri schemi di suddivisione



42

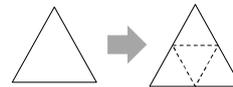
Schema Loop e Butterfly: incremento risoluzione

✓ Mesh iniziale:

- ⇒ V vertici ($\sim n$)
 - ⇒ F facce ($\sim 2n$)
 - ⇒ E edge ($\sim 3n$)
- } una mesh di triangoli con n vertici ha in media
2n facce
3n edge

✓ Dopo un passo:

- ⇒ (V + E) vertici ($= \sim 4n$)
- ⇒ (4F) facce ($= \sim 8n$)
- ⇒ (2E + 3F) edge ($= \sim 12n$)



✓ Ogni passo: risoluzione x4

- ⇒ La stessa conclusione vale per la maggior parte degli schemi di suddivisione



43

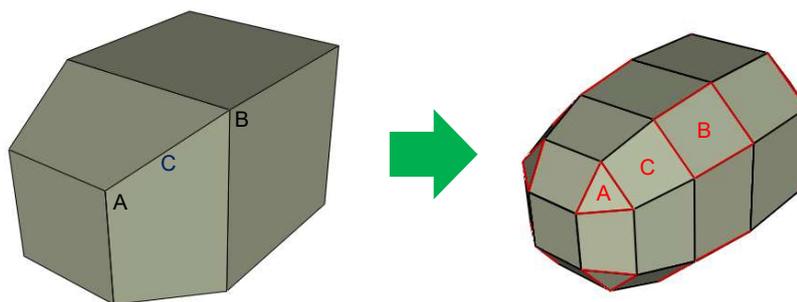
Schema Doo-Sabin

- ✓ Uno schema duale per mesh poligonali generiche (qualsiasi numero di lati per faccia)
- ✓ Sostituisce la mesh originale M con una che ha:
 - ⇒ n nuovi vertici dentro ogni faccia a n lati di M
 - ⇒ 1 faccia per ogni vertice, edge, faccia di M
- ✓ Smoothness:
 - ⇒ G1 quasi ovunque



44

Esempio: Suddivisione Doo-Sabin



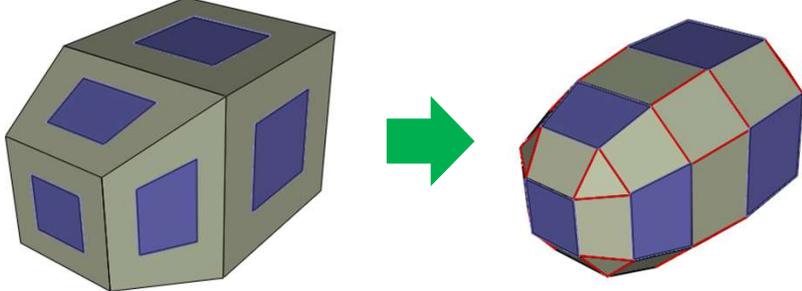
A: vertice a valenza 3
B: vertice a valenza 4
C: edge che connette A a B

A: faccia di 3 lati
B: faccia di 4 lati
C: faccia (4 lati)



45

Esempio: Suddivisione Doo-Sabin



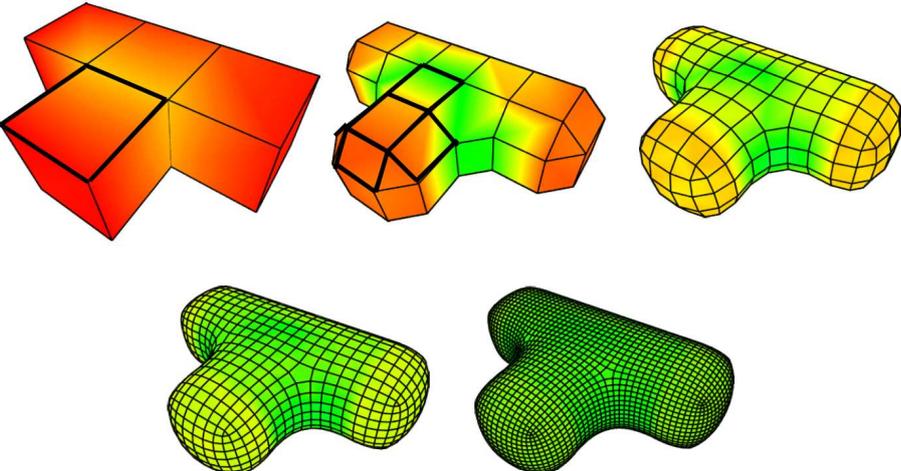
E' uno schema di suddivisione:

- da mesh poligonale (generica) a mesh poligonale (generica)
- duale.
- (anche qui, la risoluzione tende a quadruplicare ad ogni passo)



46

Esempio: Suddivisione Doo-Sabin



47

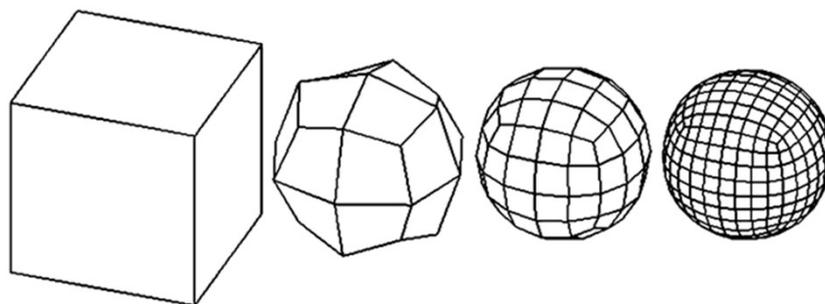
Schema Catmull-Clark

- ✓ Uno schema approssimativo per quad mesh (pure quad mesh, o quad dominant mesh)
 - ⇒ Ma applicabile a mesh poligonali di qualsiasi tipo
- ✓ Molto utilizzato, per le buone proprietà, (per es, rende qualsiasi mesh pure quad) per la capacità di lavorare su quad mesh, e anche a causa di algoritmi di rendering su GPU
 - ⇒ la suddivisione fatta «al volo», al livello necessario, direttamente su GPU in fase di rendering
 - ⇒ (cioè: la GPU memorizza la base mesh ma manda a schermo la mesh suddivisa)
 - ⇒ approccio detto «Dynamic Hardware Tessellation»



48

Esempio: suddivisione Catmull-Clark



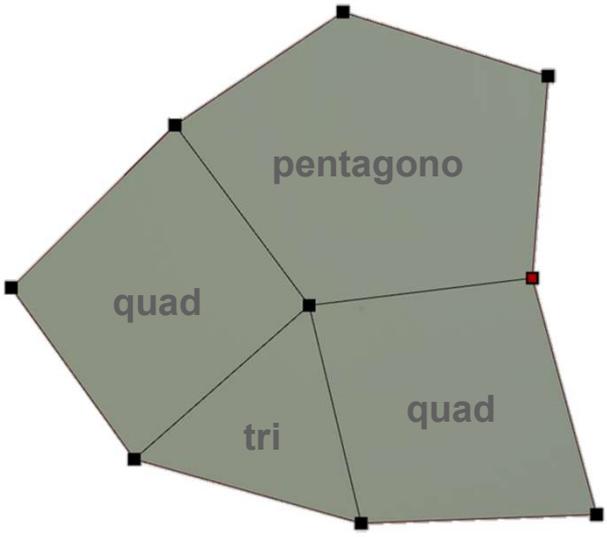
- E' uno schema di suddivisione:
- da mesh poligonale a pure-quad mesh
 - approssimativo
 - incrementa la risoluzione di un fattore 4 (anche in questo caso)



49

Schema Catmull-Clark: connettività (esempio)

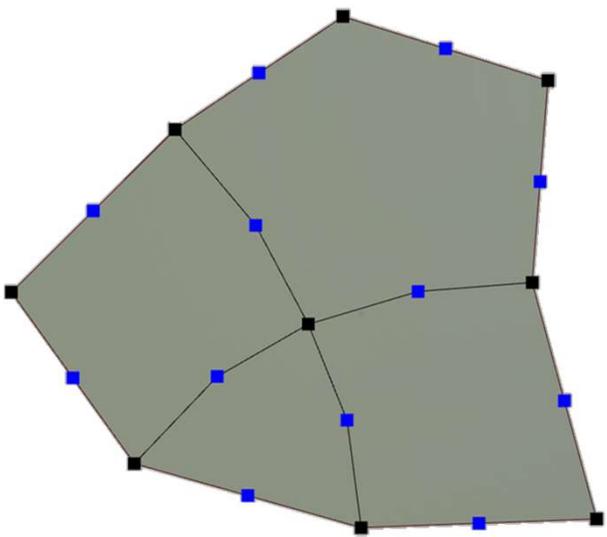
✓ Base mesh (qualsiasi numero di lati per faccia)



50

Schema Catmull-Clark: connettività

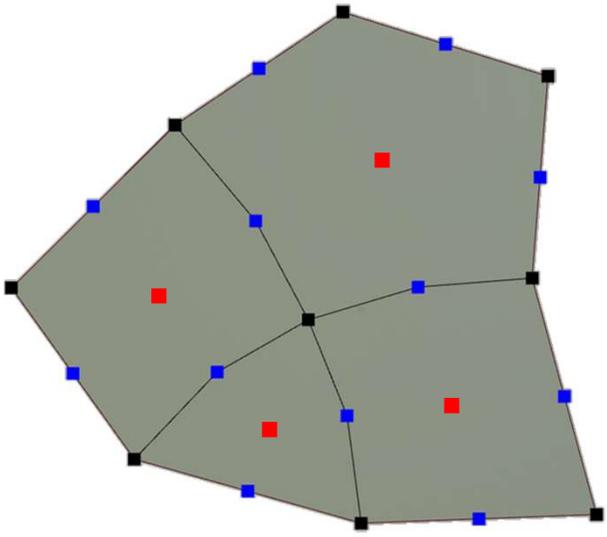
✓ Un nuovo vertice su spezza ogni edge esistente in due...



51

Schema Catmull-Clark: connettività

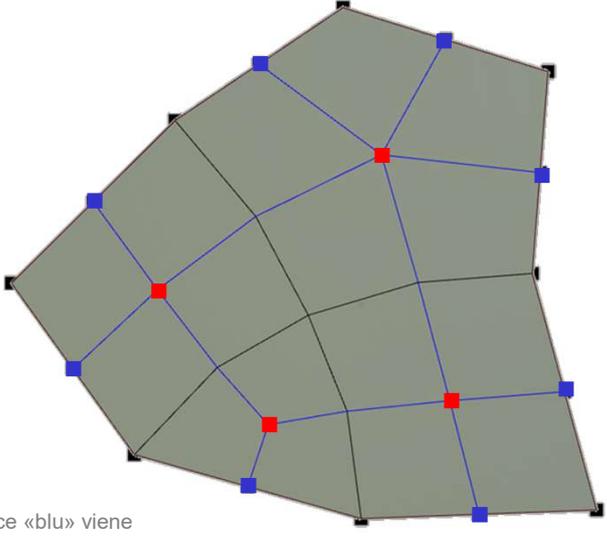
✓ ...e un nuovo vertice viene creato dentro ad ogni faccia esistente



52

Schema Catmull-Clark: connettività

✓ ...i nuovi vertici vengono connessi da nuovi edge (spezzando le facce)



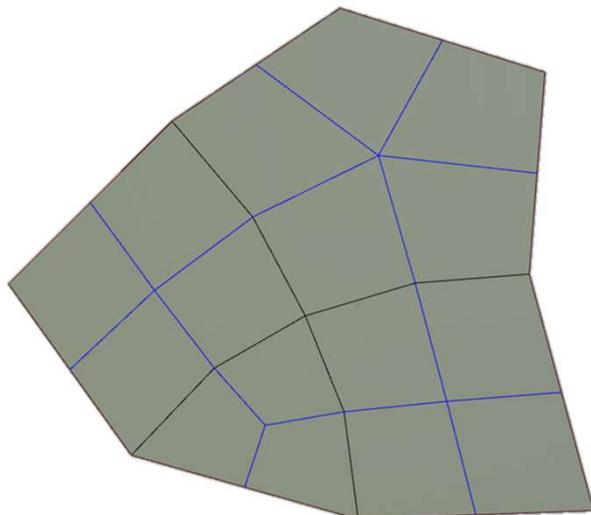
Nota: ogni vertice «blu» viene connesso con uno «rosso»



53

Schema Catmull-Clark: connettività

✓ Risultato (dopo un passo): una **pure quad** mesh

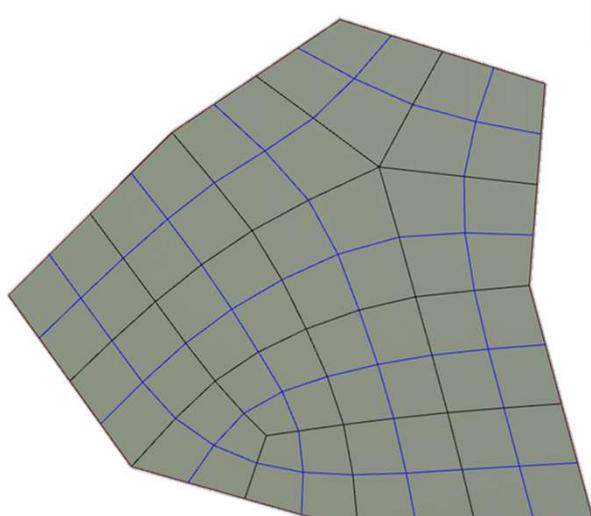
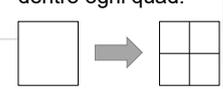


54

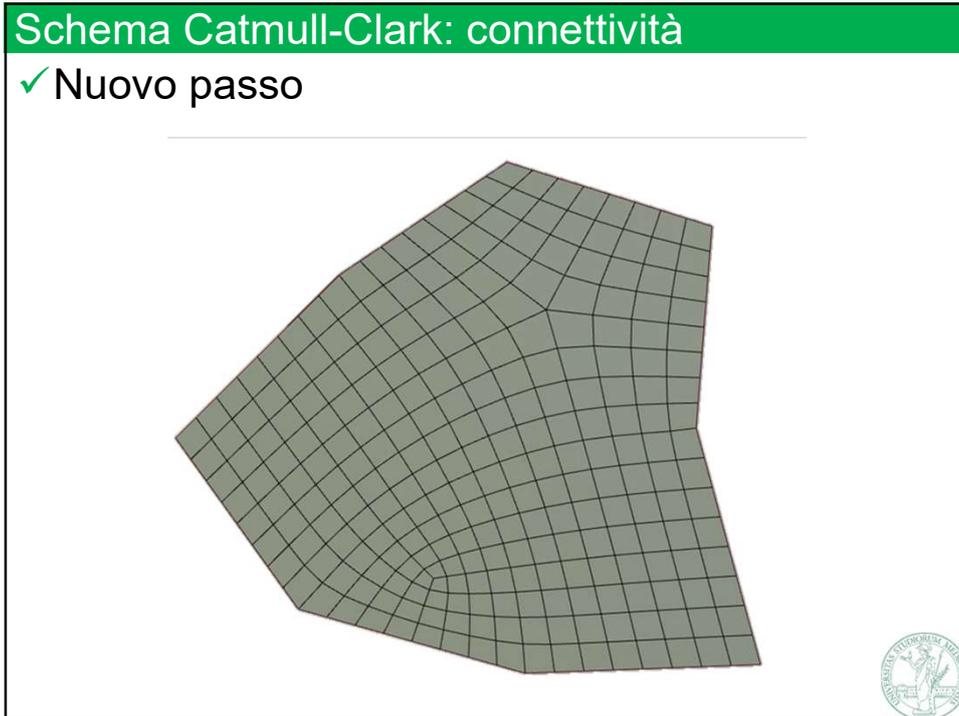
Schema Catmull-Clark: connettività

✓ Nuovo passo

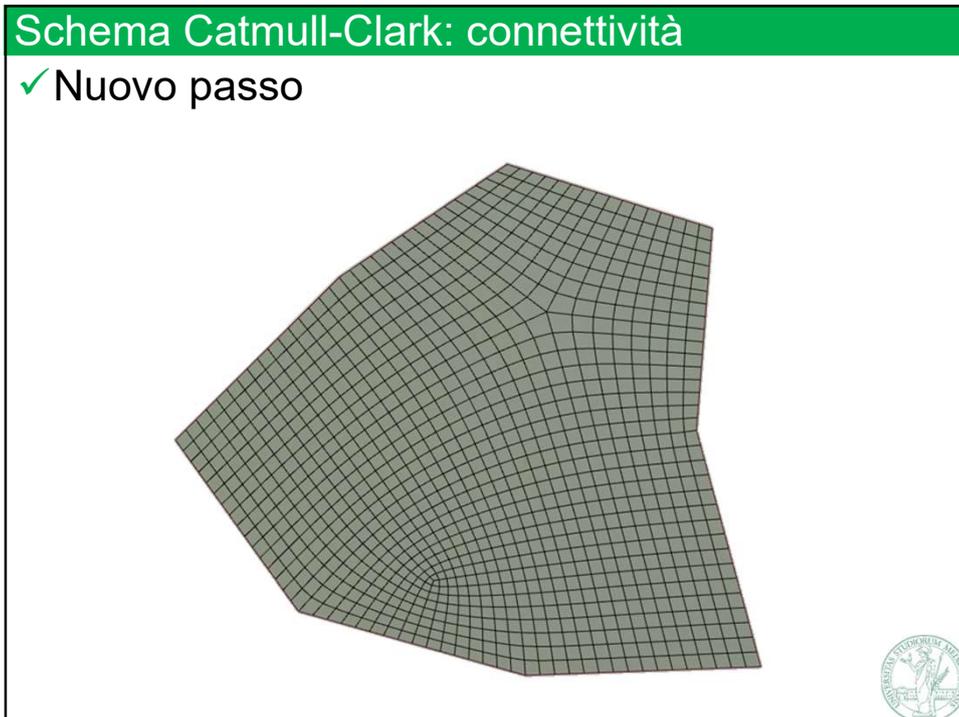
In pratica, dentro ogni quad:



55



56



57

Schema Catmull-Clark: geometria

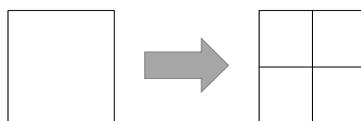
- ✓ E' uno schema **approssimativo**
 - ⇒ I nuovi vertici (sia quelli costruiti sugli edge che quelli costruiti nelle facce) vengono posizionati in interpolazioni dei vertici vicini
 - ⇒ I vecchi vertici sono poi spostati in certe interpolazioni dei vertici vicini (in funzione anche della loro valenza)
- ✓ Le formule per le posizioni, che non vediamo, sono studiate in modo che la superficie limite abbia buone proprietà geometriche di smoothness
 - ⇒ La sup è quasi ovunque G2 (vedi lezione successiva)



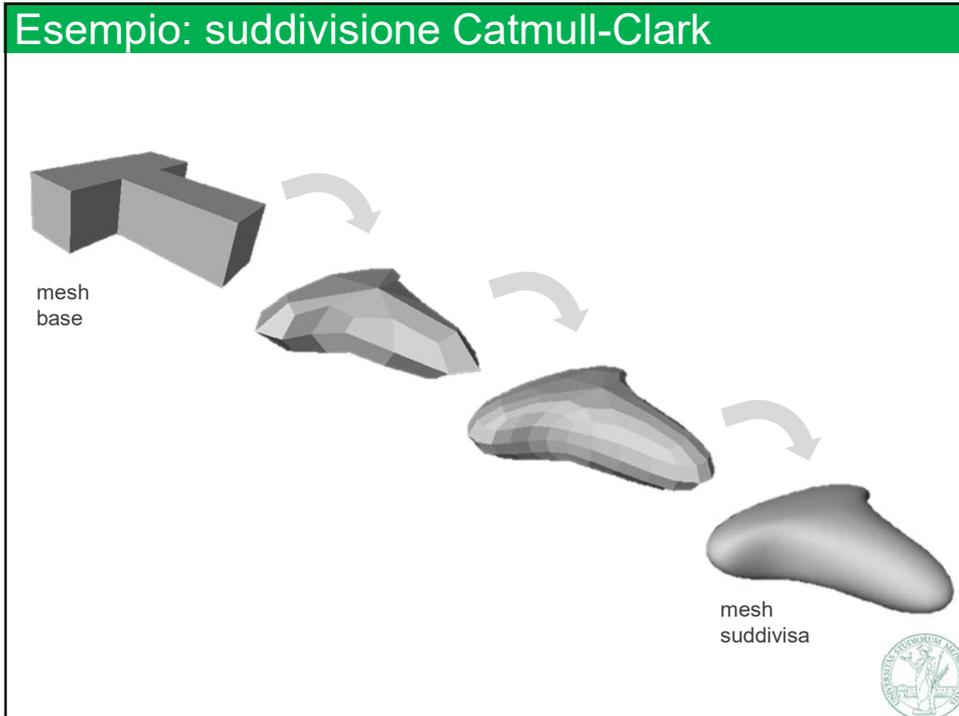
58

Schema Catmull-Clark: proprietà

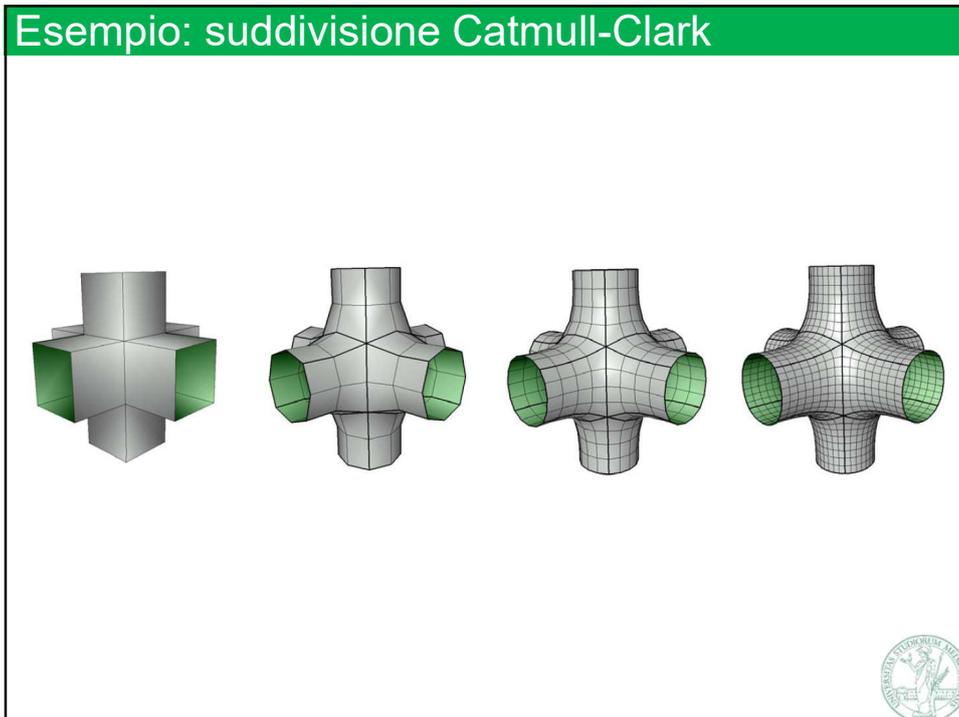
- ✓ Uno schema approssimativo per mesh poligonali
 - ⇒ adatto a mesh quaddominant-o pure quad
- ✓ Regolarità:
 - ⇒ I vertici regolari / irregolari rimangono tali dopo il passo di suddivisione
 - ⇒ I nuovi vertici aggiunti sugli edge: sempre regolari
 - ⇒ I nuovi vertici aggiunti nelle facce: regolari se quad, irregolari su altri poligoni
 - ⇒ Già dopo il primo passo, la nuova è formata solo da quadrilateri: è una **pure-quad** (se non lo era già)
 - ⇒ Dopo molti passi, si ottiene una **pure-quad** mesh molto regolare (semiregolare) – avrò solo «pagato» ogni poligono inizialmente non quad con un nuovo vertice irregolare.
- ✓ Risoluzione: in media quadruplica (anche in questo schema)



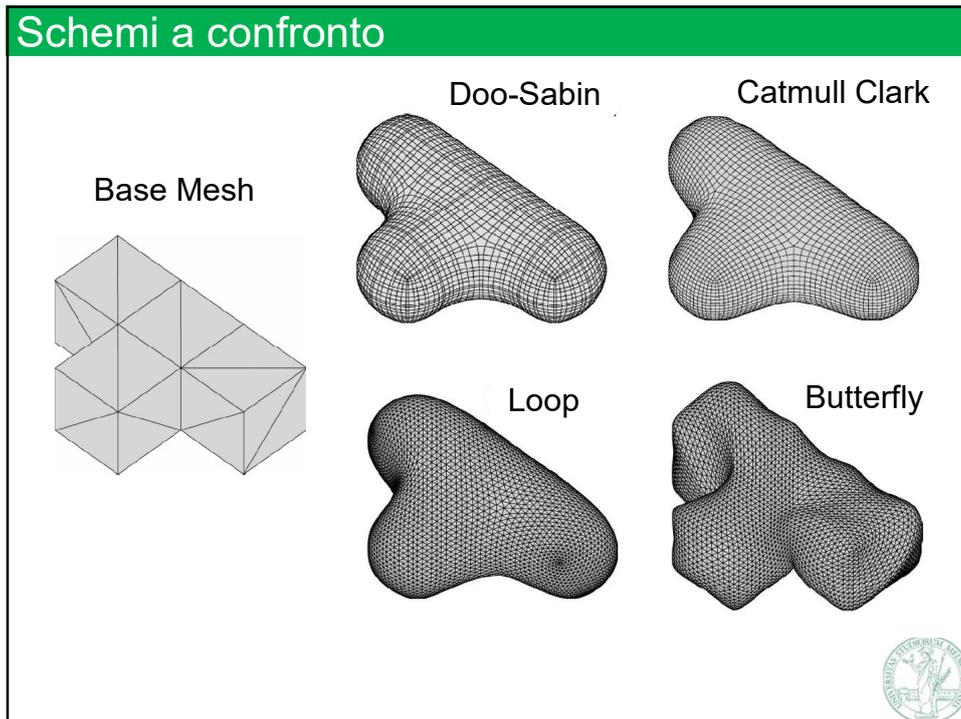
59



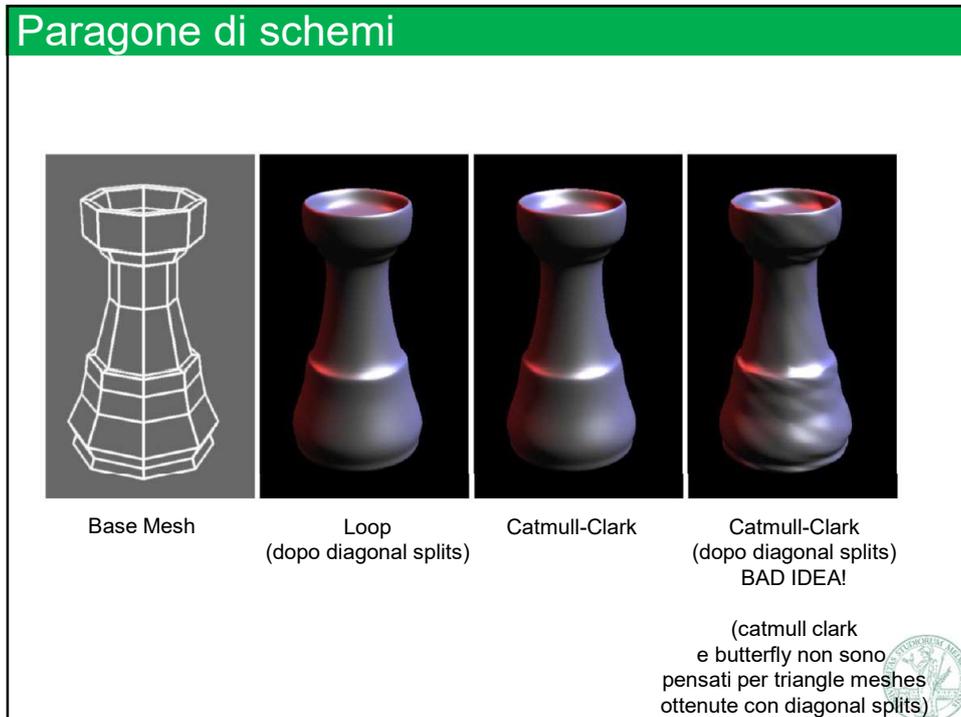
61



62



63



64

Due modi di usare uno schema di suddivisione

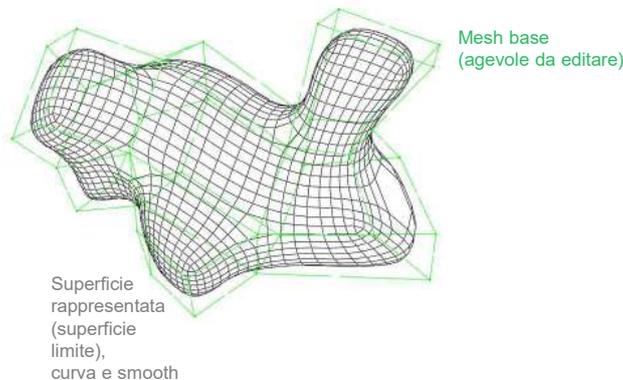
- ✓ Uno: per rappresentare superfici curve
 - ⇒ La mesh poligonale iniziale, detta **control mesh**, o **base mesh** serve come rappresentazione della **limit surface**
 - ⇒ come parte del rendering, la base mesh viene suddivisa (per n passi) e mandata a schermo (come mesh poligonale)
 - ⇒ il modellatore 3D manipola la control mesh come *sostituto* della **limit surface** (che è una sup curva)
- ✓ Due: 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 (per editare dettagli più minuti)
 - ⇒ la mesh risultante può essere ancora modificata e/o suddivisa ulteriormente
 - ⇒ nota: la mesh iniziale può essere poi scartata



65

Superfici di suddivisione

- ✓ Come rappresentazione di superfici smooth



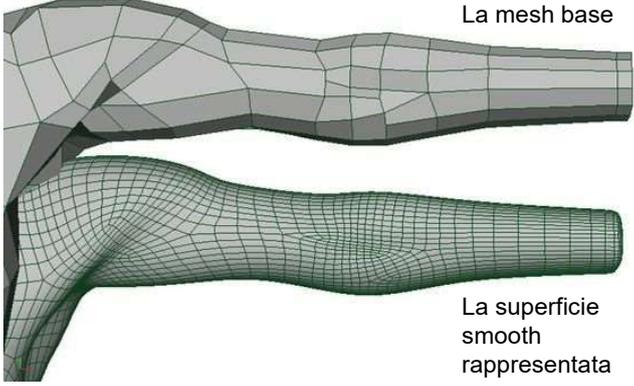
(Doo-Sabin)



66

Superfici di suddivisione

✓ Come rappresentazione di superfici smooth



La mesh base

La superficie smooth rappresentata

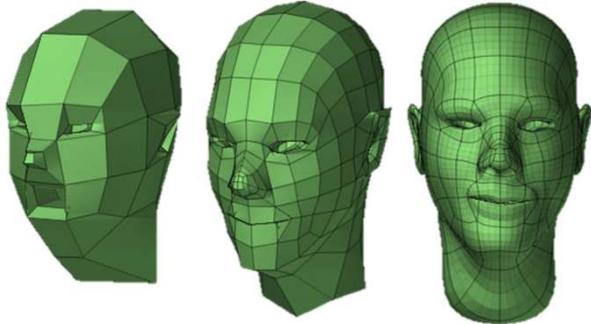


67

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)



68