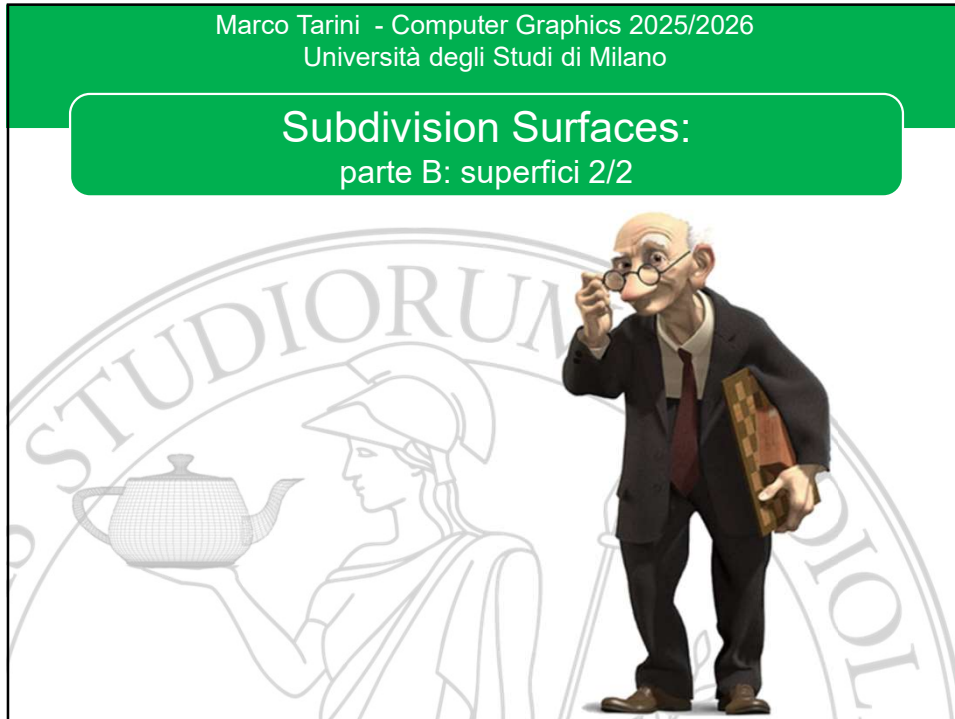


Marco Tarini - Computer Graphics 2025/2026  
Università degli Studi di Milano



## Subdivision Surfaces: parte B: superfici 2/2



37

### Schema di suddivisione "Loop"

- ✓ By Charles Loop (1987)
  - ⇒ uno schema approssimativo per triangle mesh
- ✓ Connettività:
  - ⇒ esattamente come butterfly
  - ⇒ schema da 1 ==> 4 per triangle meshes



38

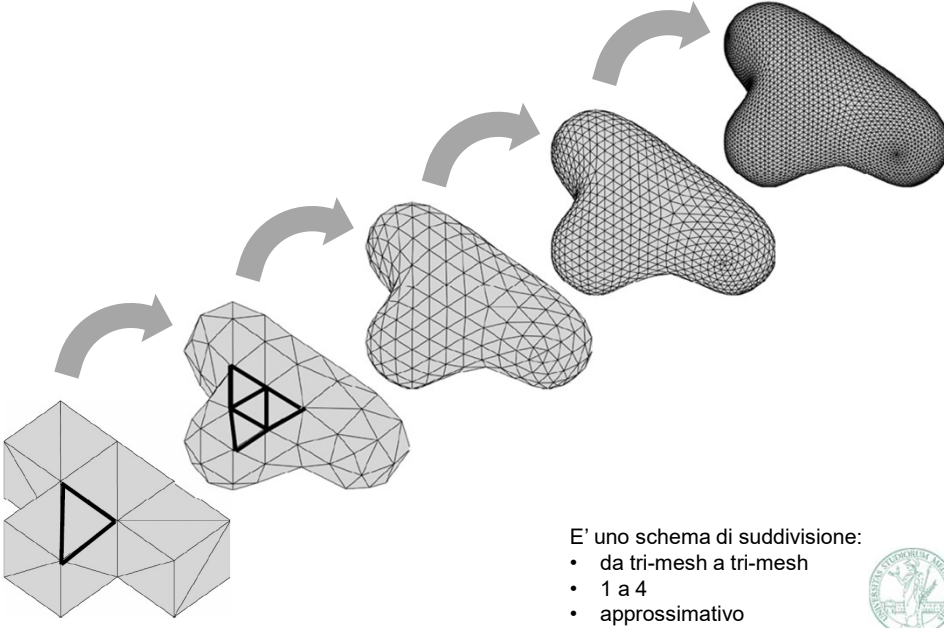
### Schema di suddivisione "loop"

- ✓ Come il Butterfly, anche lo schema **Loop** è pensato per tri-mesh (solo triangoli)
  - ⇒ Stesso principio 1=>4
  - ⇒ Stessa "ricetta" per la connettività 
- ✓ Lo schema Loop è però **approssimativo**
  - ⇒ I nuovi vertici sono creati in **interpolazioni** (e, nel caso specifico, a metà dell'edge)
  - ⇒ I vecchi vertici **vengono spostati** su interpolazioni dei vicini (non vediamo la formula per farlo)
  - ⇒ Conseguenza: nello schema loop, la **superficie limite** NON attraversa i vertici di controllo
  - ⇒ (cioè i vertici della mesh low-res di partenza)




39

### Esempio: suddivisione Loop



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



40

### Proprietà degli Schemi di suddivisione

- ✓ **Risoluzione:** in un passo di suddivisione:
  - ⇒ il numero di facce viene moltiplicato per un fattore 4
  - ⇒ la risoluzione (num. vertici, num. edge) **quadruplica**
  - ⇒ nota: questa proprietà non si applica a tutti gli schemi di suddivisione esistenti, ma vale per tutti quelli che vediamo
- ✓ **Regolarità:** in un passo di suddivisione:
  - ⇒ I vertici regolari rimangono tali
  - ⇒ I vertici irregolari rimangono tali
  - ⇒ Tutti i vertici interni aggiunti sono regolari!  
(verificare per Loop / Butterfly)
  - ⇒ Quindi: qualsiasi mesh, quando suddivisa, diventa almeno semi-regolare 😊
- ✓ **Two-manifoldness, orientabilità, chiusura:** sempre mantenute (se valide nella mesh di partenza)



41

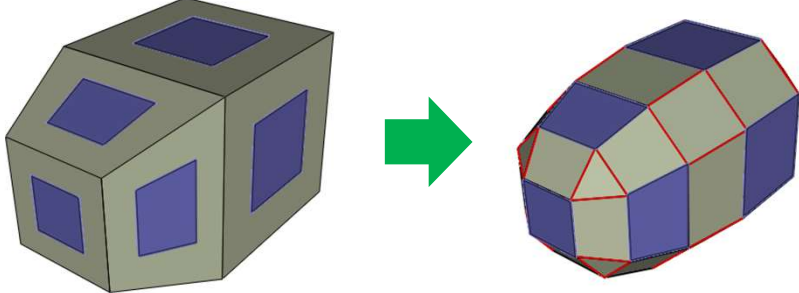
### Schema di suddivisione Doo-Sabin

- ✓ 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  $M$




49

### Esempio: Suddivisione Doo-Sabin



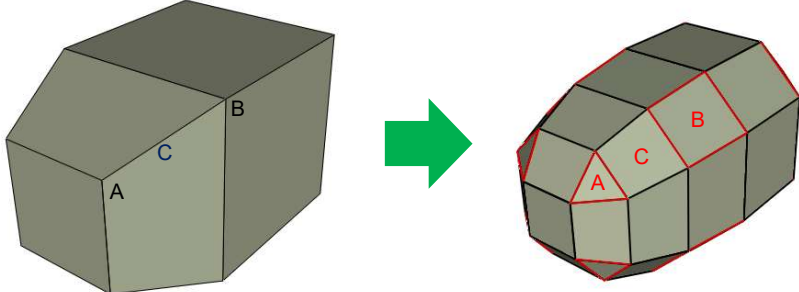
E' uno schema di suddivisione:

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




50

### Esempio: Suddivisione Doo-Sabin

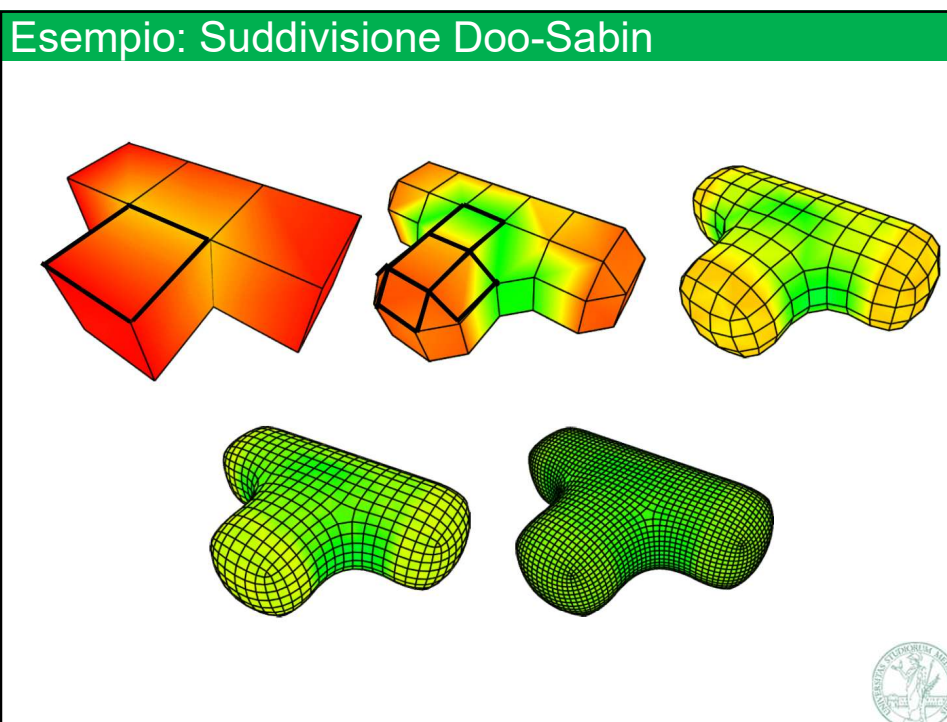


A: vertice a valenza 3  
B: vertice a valenza 4  
C: edge che connette A a B

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



51



52

### Schema di suddivisione Catmull-Clark

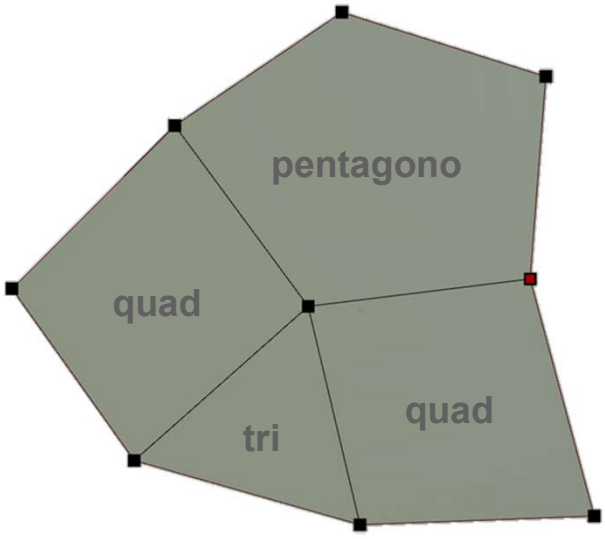
- ✓ Uno schema approssimativo per quad mesh (pure quad mesh, o quad dominant mesh)
  - ⇒ Ma applicabile a mesh poligonali di qualsiasi tipo
- ✓ Molto utilizzato, per le buone proprietà, (per es, rende qualsiasi mesh pure-quad dopo il primo passo) per la capacità di lavorare su quad mesh, e anche a causa 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»

A small circular logo is visible in the bottom right corner of the slide area.

53

### Schema Catmull-Clark: connettività (esempio)

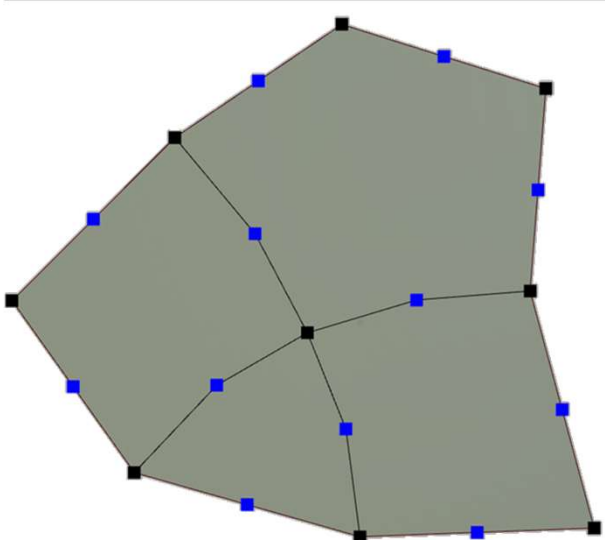
✓ Base mesh (qualsiasi numero di lati per faccia)



54

### Schema Catmull-Clark: connettività


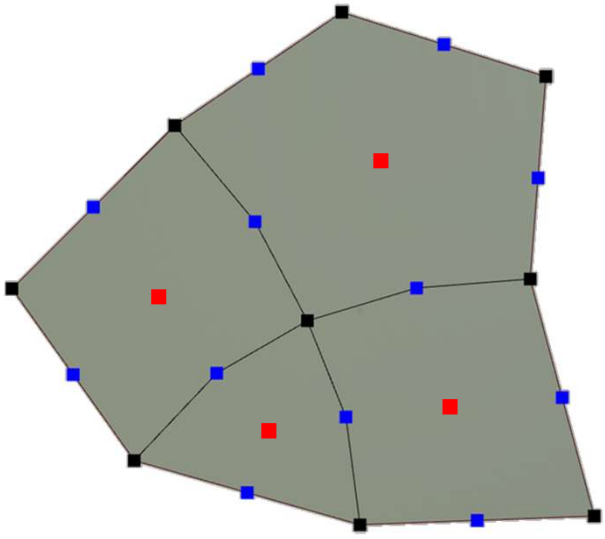
✓ Un nuovo vertice su spezza ogni edge esistente in due...



55

### Schema Catmull-Clark: connettività

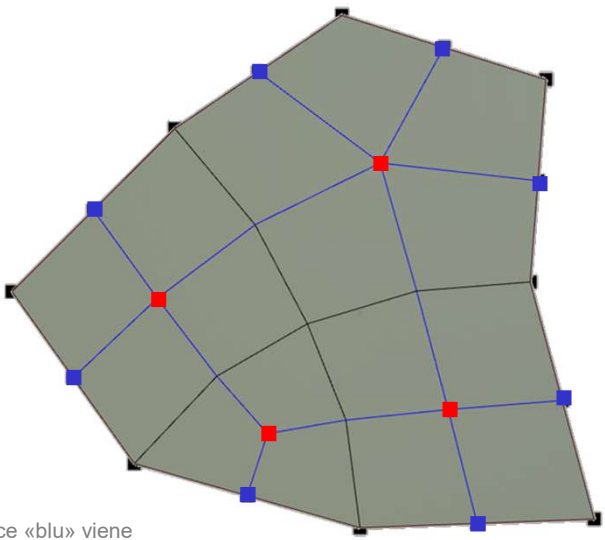
✓ ...e un nuovo vertice viene creato dentro ad ogni faccia esistente




56

### Schema Catmull-Clark: connettività

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




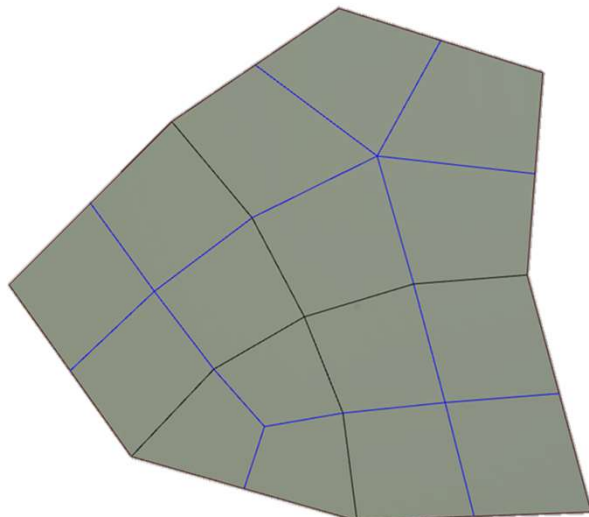
Nota: ogni vertice «blu» viene connesso con uno «rosso»



57

### Schema Catmull-Clark: connettività

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


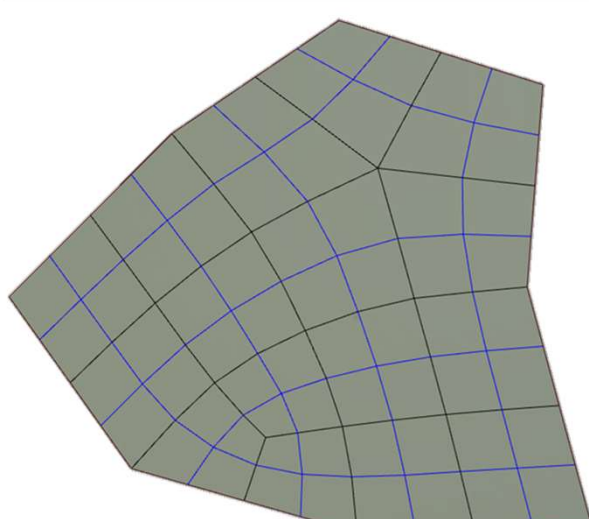
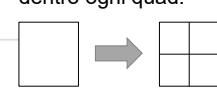


58

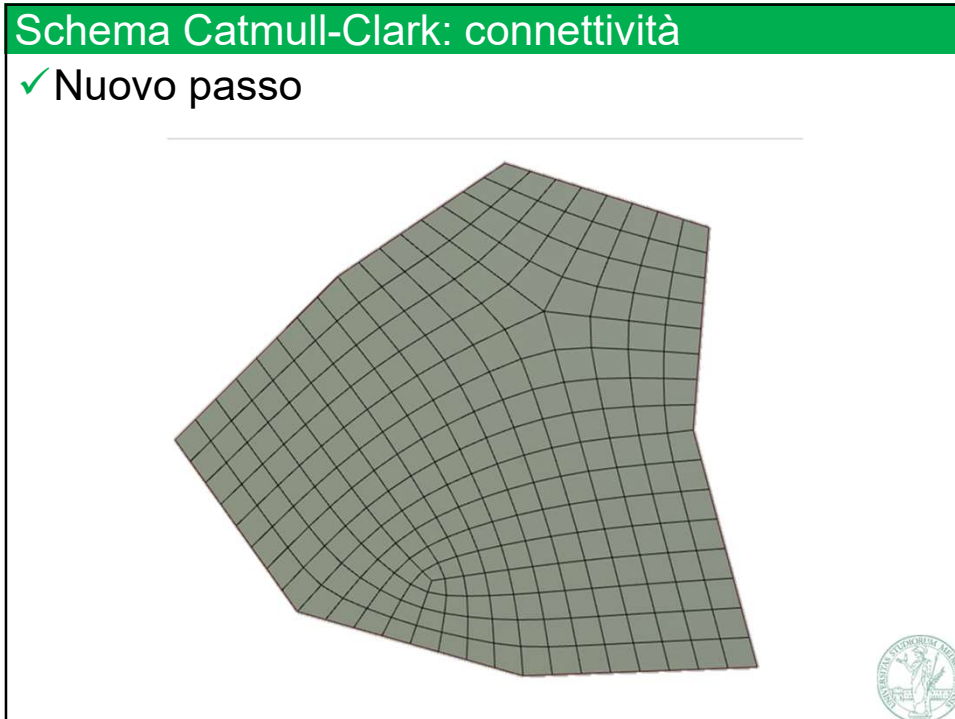
### Schema Catmull-Clark: connettività

✓ Nuovo passo

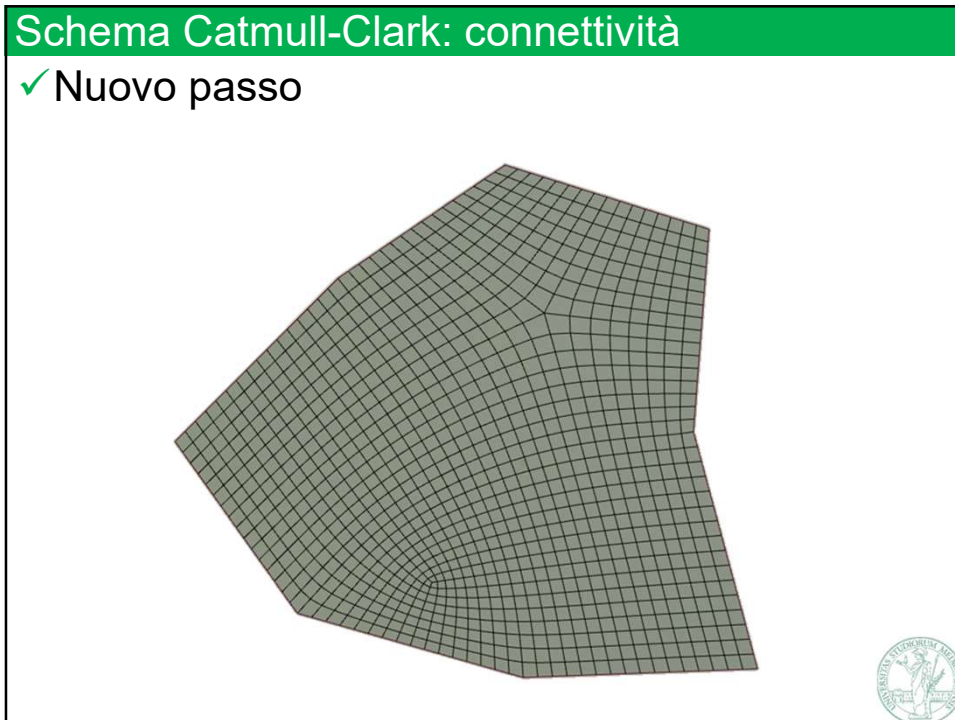
In pratica, dentro ogni quad:



59

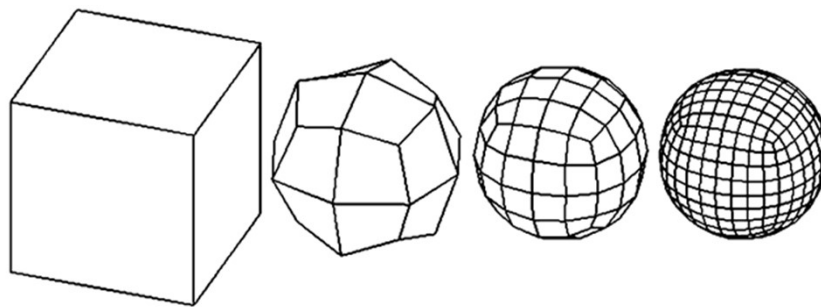


60



61

## 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)



62

## Schema Catmull-Clark: geometria

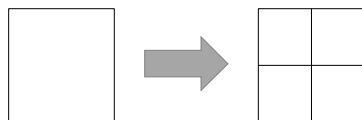
- ✓ E' uno schema **approssimativo**
  - ⇒ I nuovi vertici (sia quelli costruiti sugli edge che quelli costruiti nelle facce) vengono posizionati in interpolazioni dei vertici vicini
  - ⇒ I vecchi vertici sono poi spostati in certe interpolazioni dei vertici vicini (in funzione anche della loro valenza)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



63

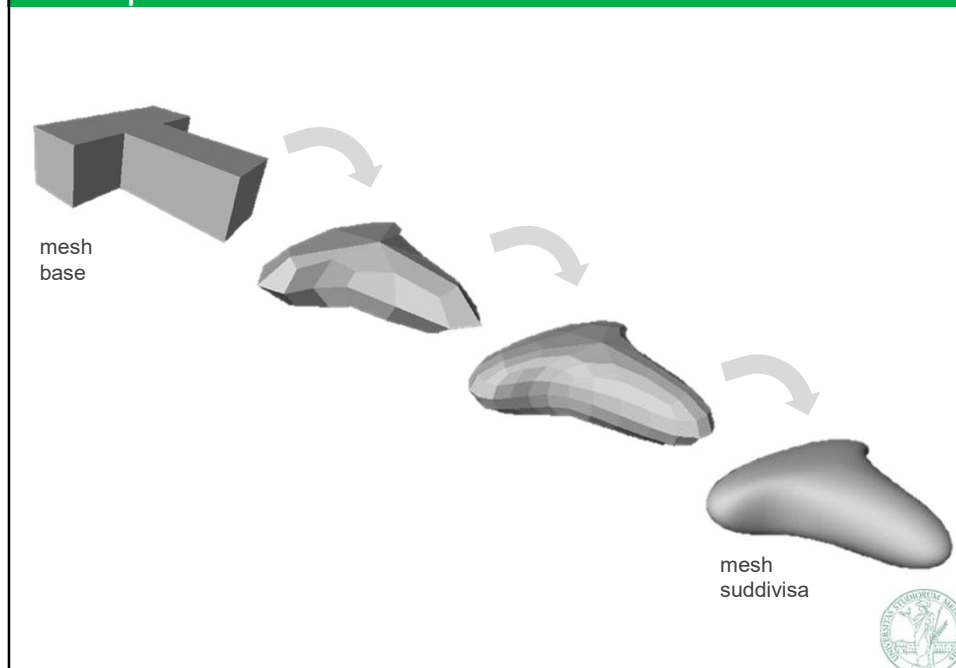
## Schema Catmull-Clark: proprietà (riassunto)

- ✓ Uno schema **approssimativo** per mesh poligonali
  - ⇒ adatto a mesh quad-dominant oppure 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 (semi-regolare) – avrò solo «pagato» ogni poligono inizialmente non quad con un nuovo vertice irregolare.
- ✓ **Risoluzione:** in media quadruplica (anche in questo schema)



64


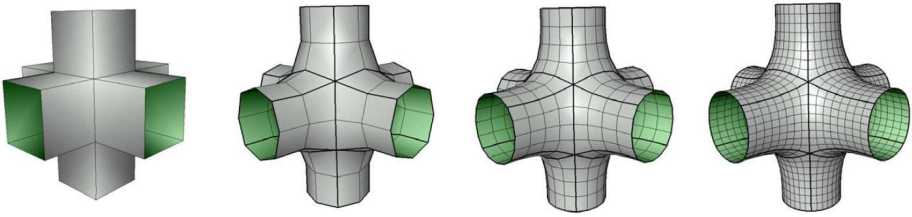
## Esempio: suddivisione Catmull-Clark



66

### Suddivisione di mesh Aperte


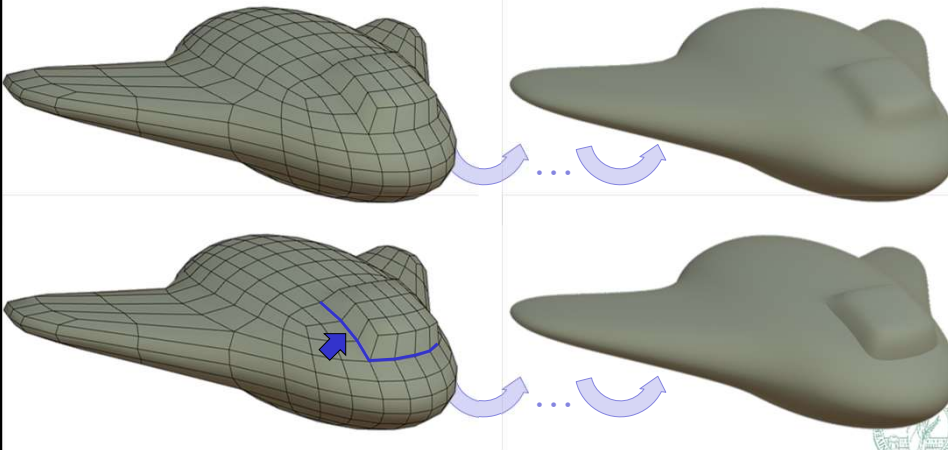
- ✓ Un passo di suddivisione può essere applicato anche ad una mesh **aperta**
  - ⇒ questo vale anche per gli altri schemi visti
- ✓ Le posiz dei vertici su **edge** di **bordo** seguono formule diverse
  - ⇒ non vediamo queste variazioni delle formule, per brevità



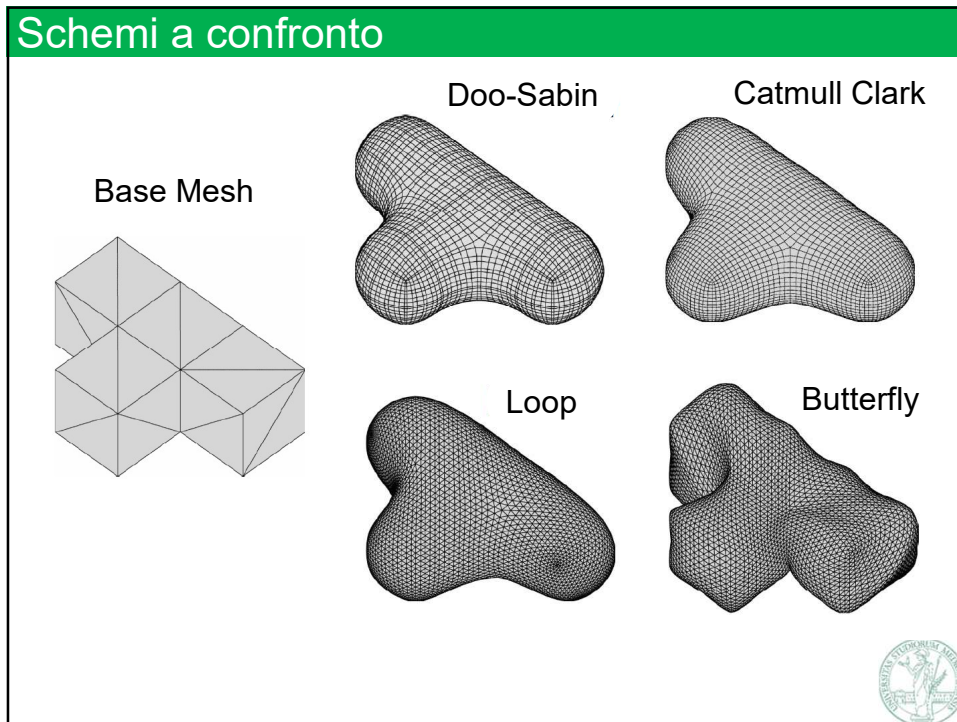
67

### Schemi di risoluzione con edge hard

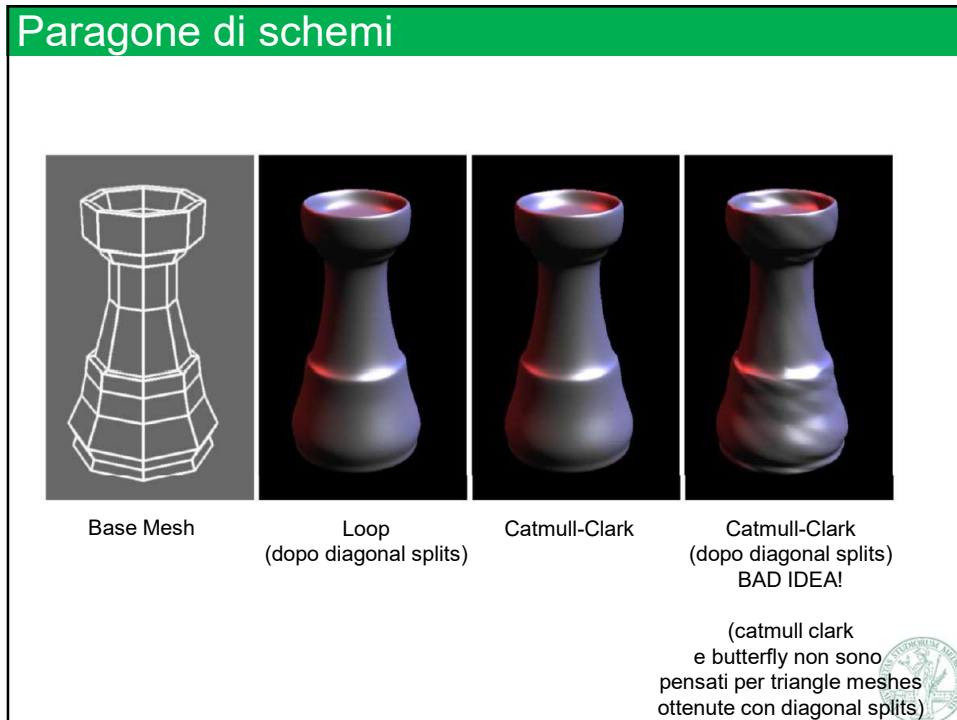
- ✓ Opzionalmente, il modellatore può taggare alcuni edge interni come “**hard**” in modo che vengano trattati come edge di bordo
- ✓ In corrispondenza di questi edge, lo schema di suddivisione crea dei **creases** (**feature lines**)
- ✓ Questo consente al modellatore un maggior controllo sulla superficie limite



69



70



71

## Due modi di usare uno schema di suddivisione

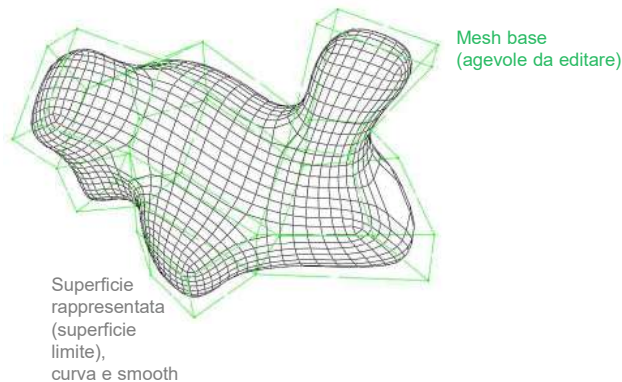
- ✓ Come rappresentazione di superfici curve smooth
  - ⇒ La mesh poligonale iniziale, cioè la «**control mesh**» o «**base mesh**» vale come rappresentazione della **limit surface**
  - ⇒ come parte del suo rendering, la base mesh viene suddivisa (per i passi necessari) e mandata a schermo (come mesh poligonale)
  - ⇒ il modellatore 3D manipola la control mesh come *sostituto* della **limit surface** (che è una sup curva)
- ✓ Come strategia per costruire manualmente mesh poligonali a risoluzione media
  - ⇒ modellazione **direct low-poly** della mesh iniziale
  - ⇒ il modellatore richiede un passo di suddivisione ogni volta che voglia incrementare la risoluzione (per poter editare dettagli più minuti)
  - ⇒ la mesh risultante può essere modificata liberamente e/o suddivisa ulteriormente
  - ⇒ una strategia di modellazione «coarse-to-fine»



72

## Superfici di suddivisione

- ✓ Come rappresentazione di superfici smooth



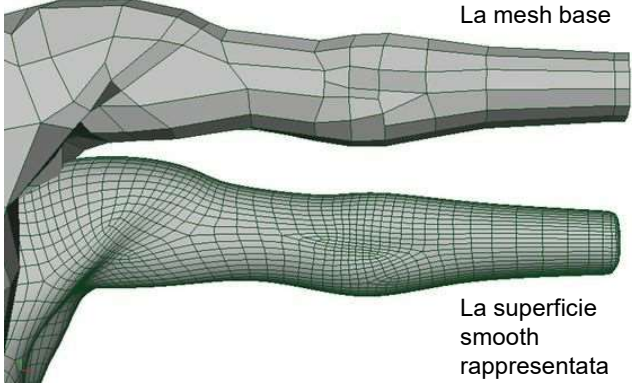
(Doo-Sabin)



73


### Superfici di suddivisione

✓ Come rappresentazione di superfici smooth



La mesh base

La superficie smooth rappresentata

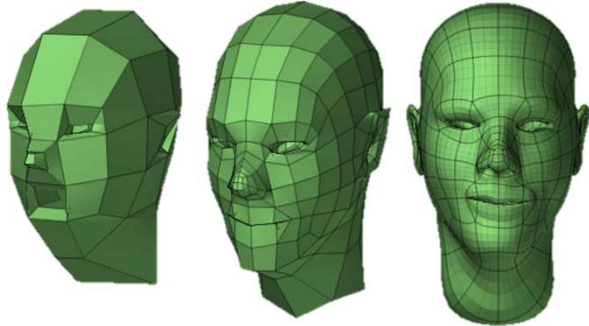


74


### 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)



75