

Fondamenti di Grafica Tridimensionale

La Pipeline Grafica

Marco Di Benedetto
marco.dibenedetto@isti.cnr.it

Visualizzazione dell' Informazione

noi siamo qui

Informazione

mondo reale
(es: 3D scans)

creazione
(es: videogames)

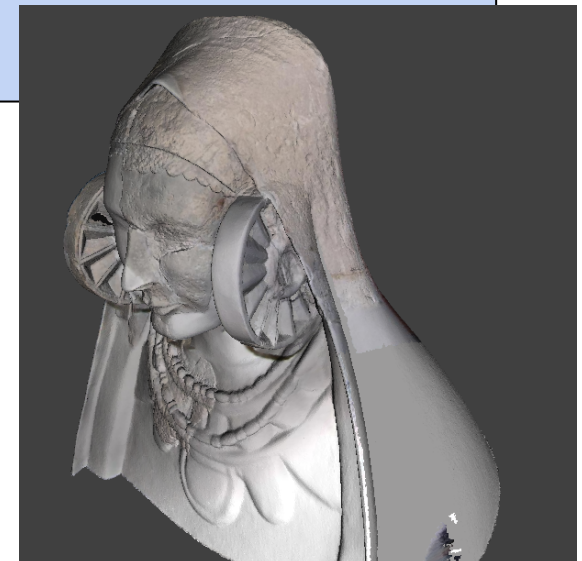
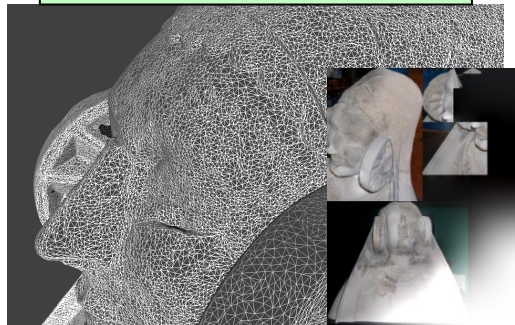
Calcolo
(es: Sci-Vis)

Modellazione

Trovare la
rappresentazione
più adeguata
per...

**Visualizzazione
(rendering)**

Trasformare la
rappresentazione in
immagine(i) sullo
schermo



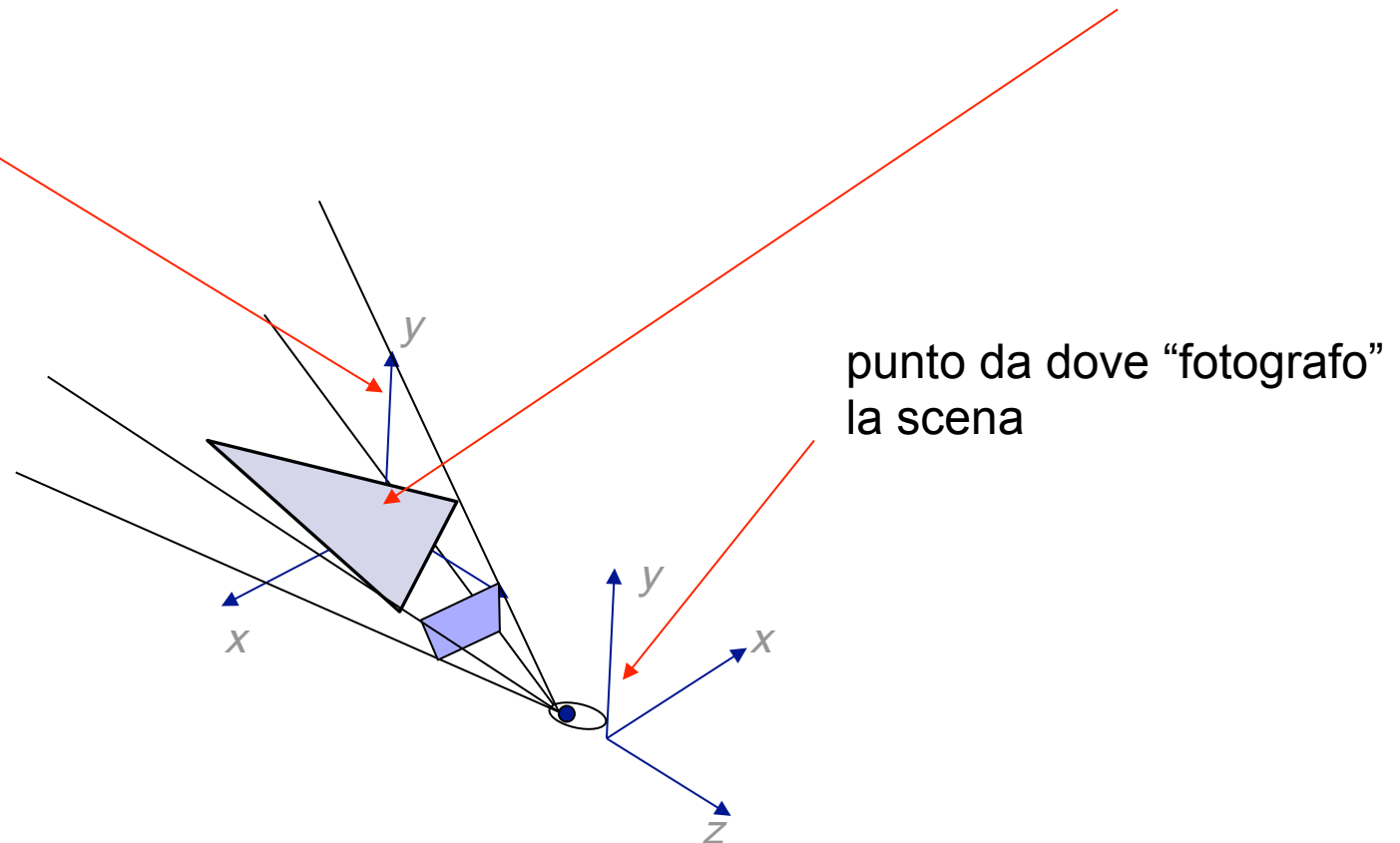


La Pipeline di Rendering

- Def: La serie di passi che trasformano la descrizione geometrica di una scena in un'immagine sullo schermo

Esempio di pipeline di rendering

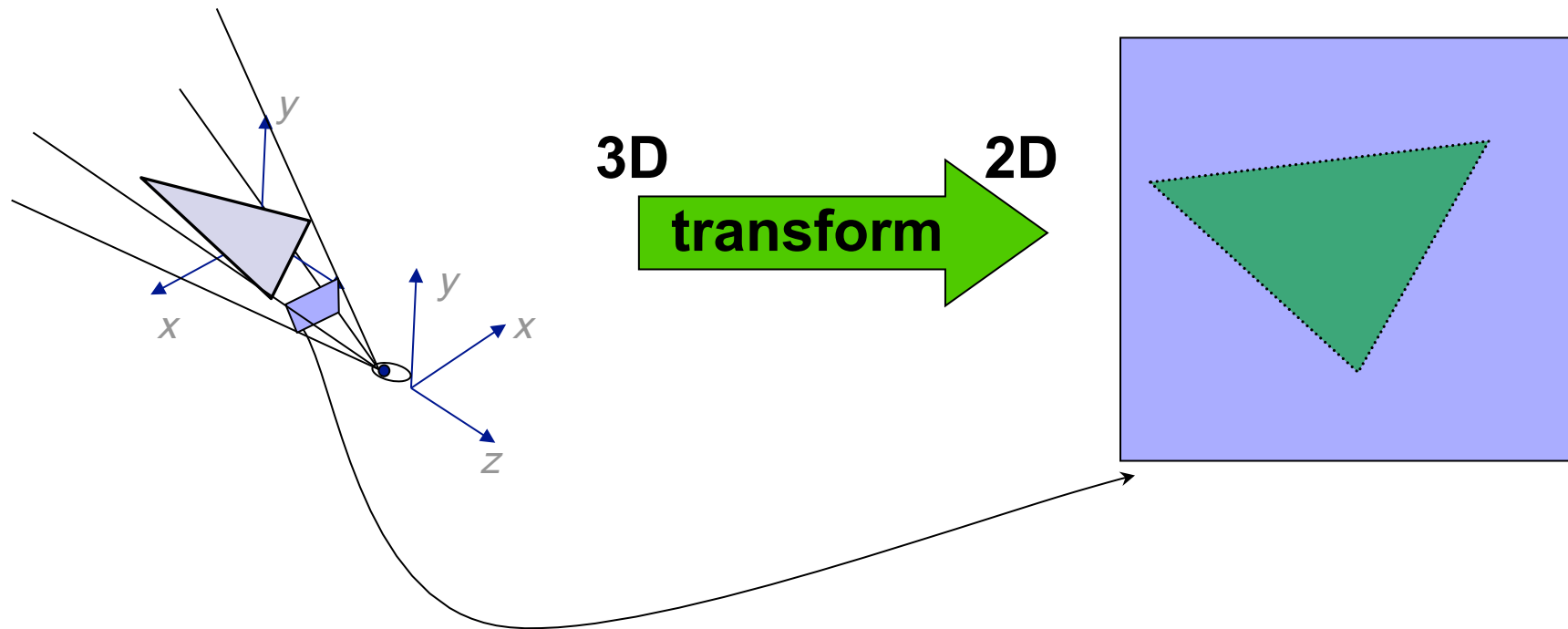
- Esempio su una scena fatta da un **triangolo** nello spazio 3D



- Il triangolo è descritto dalle posizioni dei suoi 3 vertici V_0, V_1 e V_2 : 3 punti in 3 dimensioni
- Ma lo schermo è piatto! ...

Primo passo: Transform

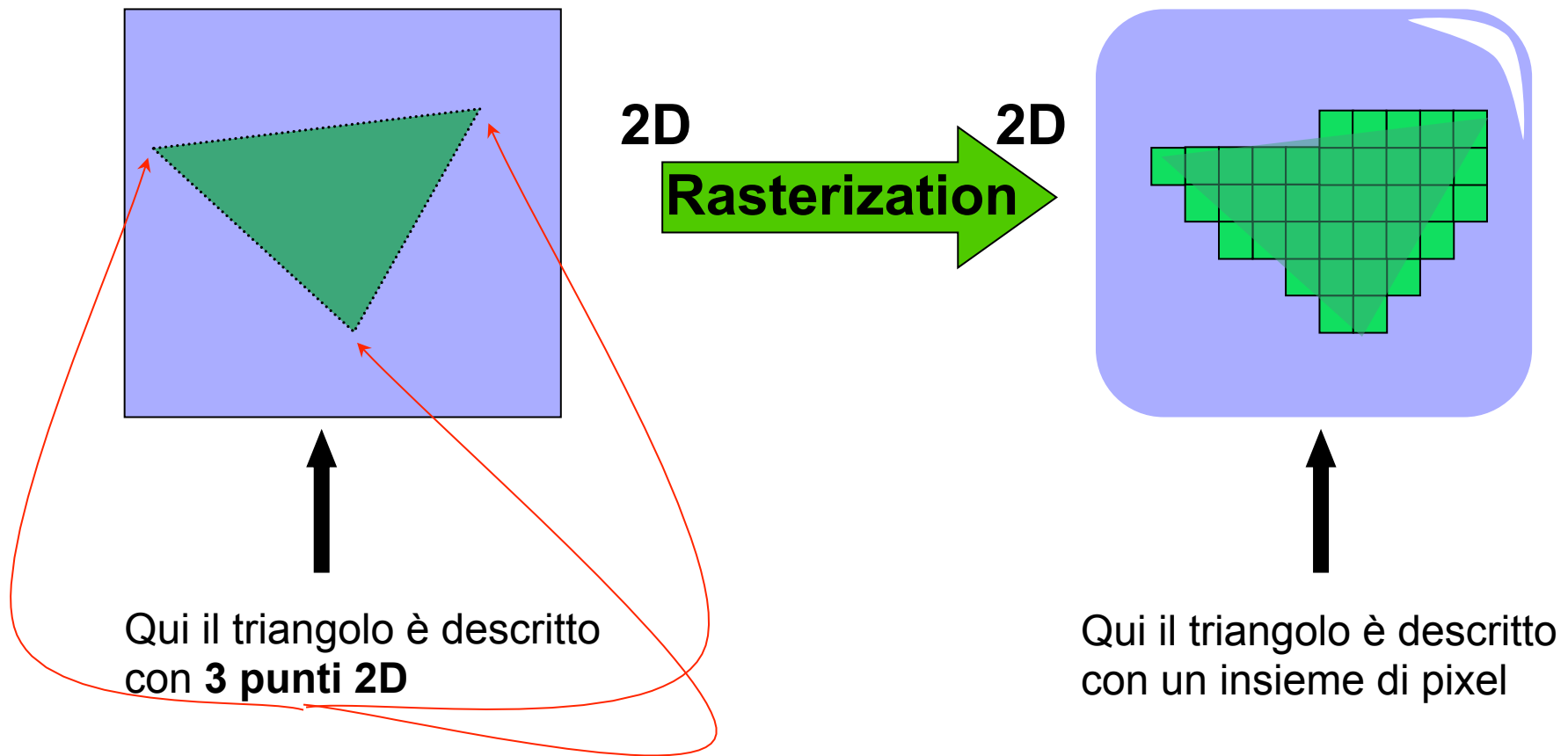
- Trasformare le coordinate tridimensionali in coordinate bidimensionali



- Il risultato dipende **da dove** fotografo la scena...
- ..e con cosa: uno zoom? un grandangolo?

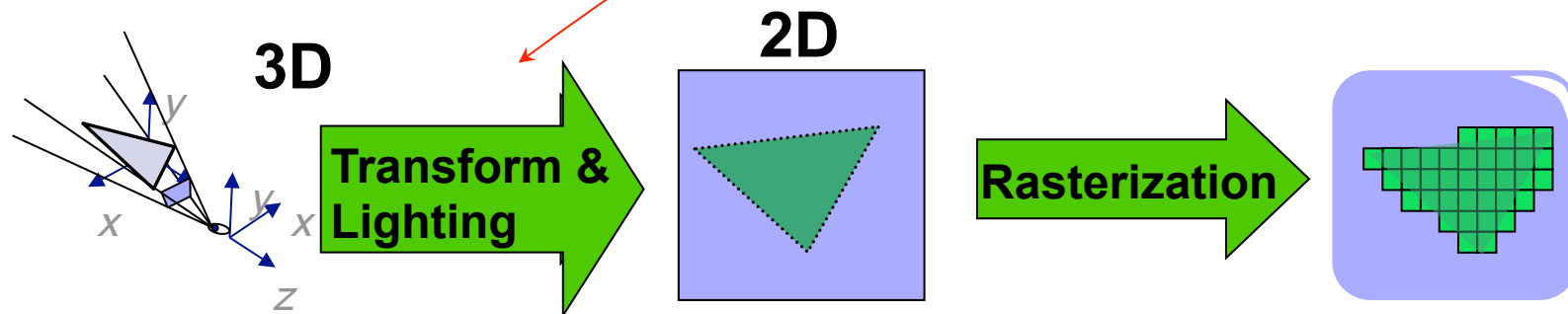
Secondo passo: **Rasterization**

- Trasformare la descrizione per vertici 2D del triangolo nell'insieme di pixel "da accendere"

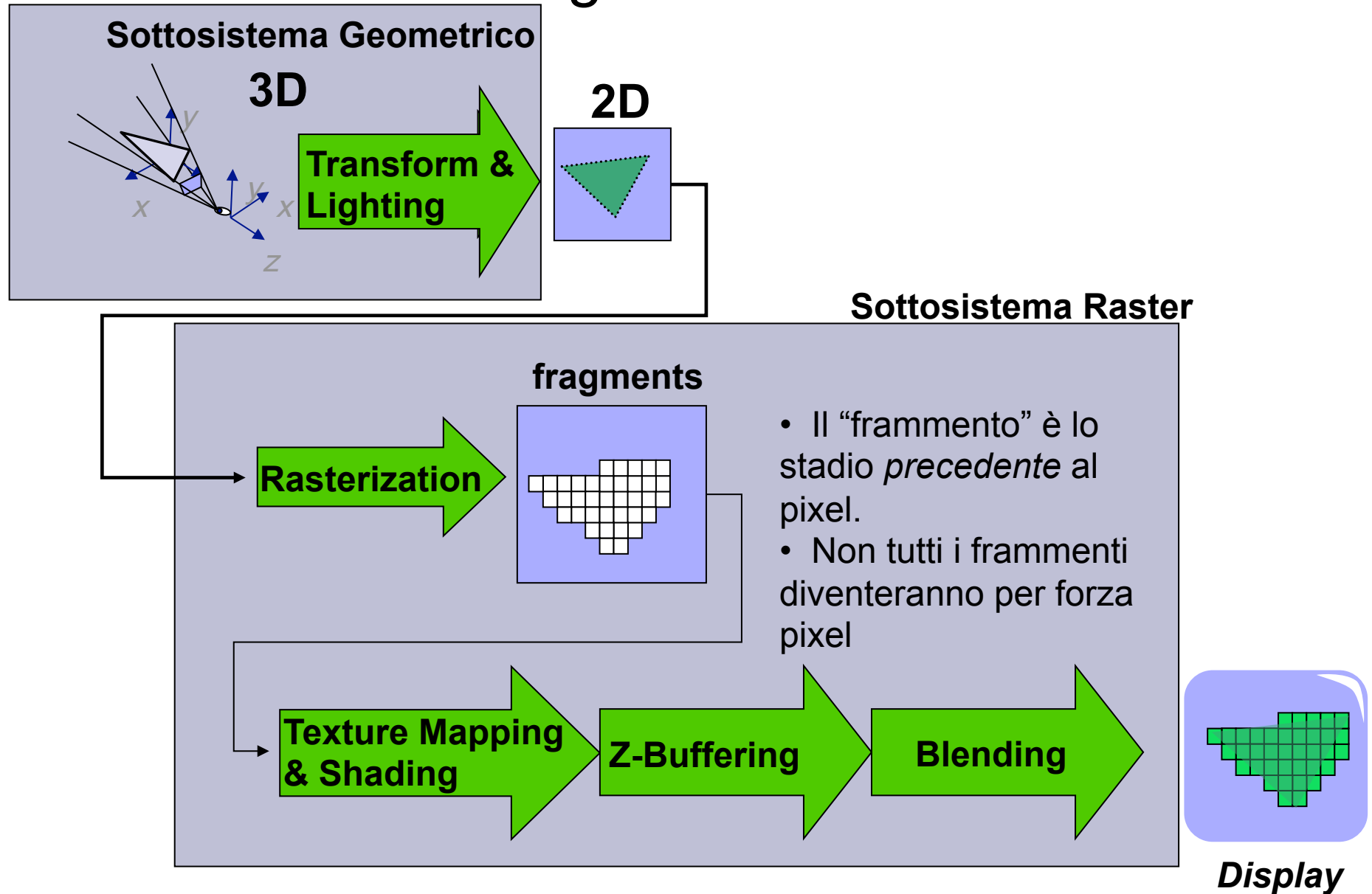


Lighting

- E la luce? Di che colore sono i pixel?
- La scena comprende anche:
 - descrizione delle fonti di luce
 - descrizione delle proprietà ottiche dei materiali
- L'interazione luce-materia viene modellata qui
(in questo esempio di pipeline) :



Qualche altro dettaglio....





Texture mapping, Z-Buffering, Blending

- **Texture mapping:** un'immagine è associata ad un poligono. Il colore dei frammenti generati dalla rasterizzazione del poligono dipendono dall'immagine
- **Z-buffering:** più “oggetti” possono essere proiettati sulle stesse coordinate, ed ognuno genera un frammento. Lo Z-buffering è un algoritmo che determina quale dei frammenti in conflitto diventerà il pixel
- **Blending** (blending = mischiare, fondere insieme): capita che il colore del pixel debba essere ottenuto mescolando il colore di più frammenti (relativi alla medesima posizione). Es: materiali semitrasparenti

...vedremo tutto in dettaglio..



Caratteristiche

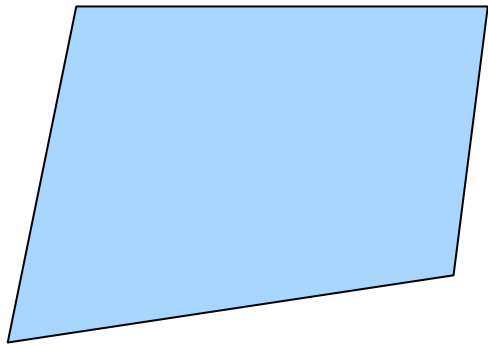
- La pipeline Rasterization-Based si basa su un'assunzione:

“Il mondo è fatto di punti, linee e poligoni”

- L'implementazione hardware della pipeline (la scheda grafica) si basa su un'assunzione più stretta:

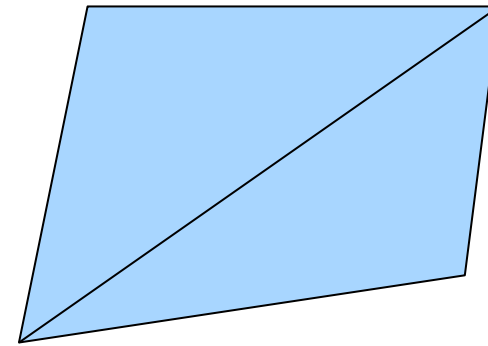
“Il mondo è fatto di triangoli, segmenti e punti”

Tutto sia composto da triangoli (3D)



un quadrilatero?

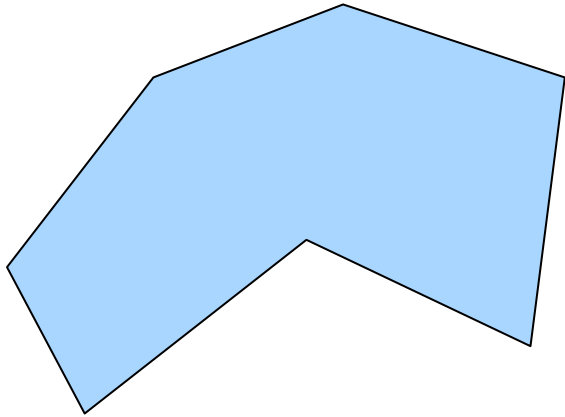
↑
"quad"



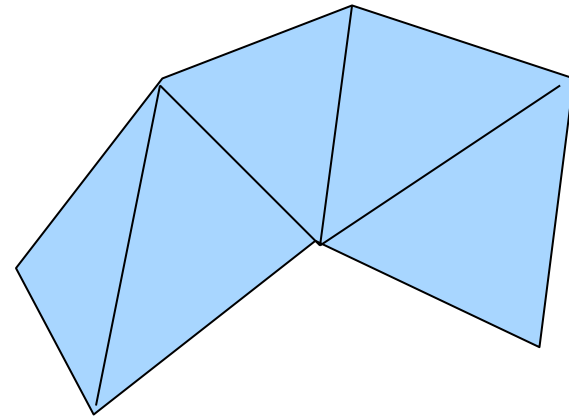
due triangoli!

↑
"diagonal split"

Tutto sia composto da triangoli (3D)



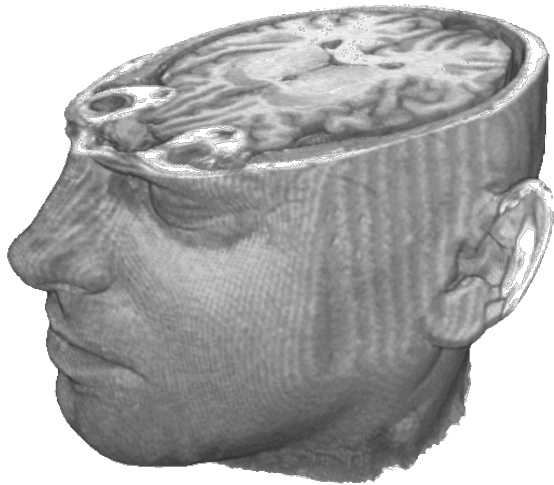
un poligono a n lati?



$(n-2)$ triangoli!

↑
triangolarizzazione di poligono: (non
un problema del tutto banale...)

Tutto sia composto da triangoli (3D)



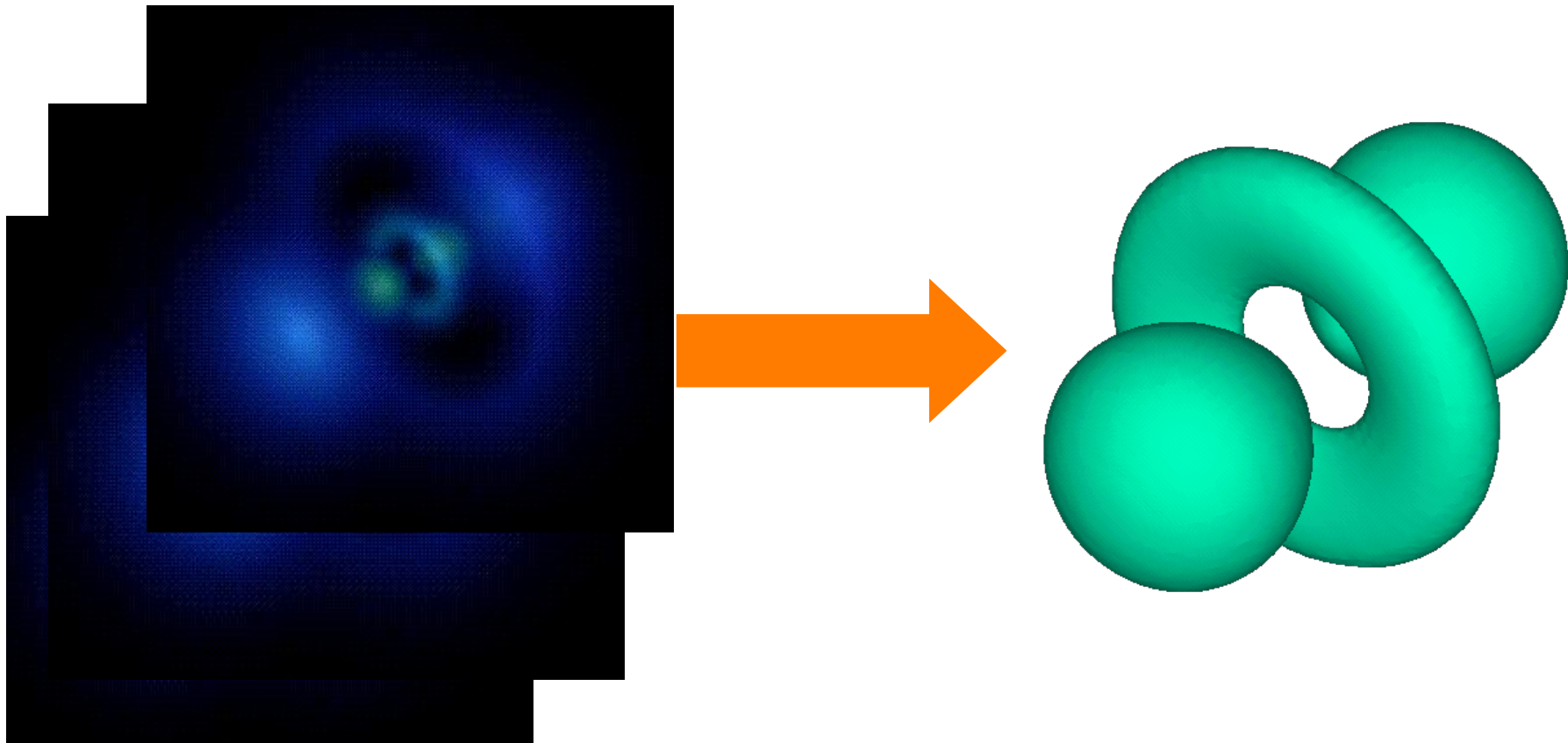
volume?



triangoli
che definiscono
una
iso-superficie

triangoli!

Da dataset volumetrico a triangoli: esempio



Tutto sia composto da triangoli (3D)



superfici implicite?
 $f(x,y,z)=0$



triangoli
che definiscono
la superficie
esplicitamente

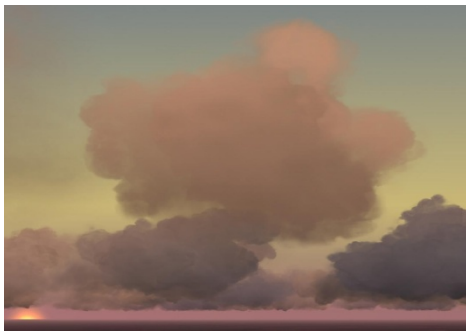
triangoli!

Un limite di questo approccio

- Non sempre e' semplice modellare le entità da rappresentare con triangoli...

□ esempi:

- nuvole
- fuoco
- pelliccia



by Niniane Wang
(non real time)



by N. Adabala uni florida
(non real time)



by M. Turitzin and J. Jacobs
Stanford Uni (real time!)



Per dirla tutta sulle primitive di rendering

■ Triangoli

- ok, abbiamo capito

■ Quads

- in un certo senso, perchè diventano triangoli al volo

■ Segmenti

■ Punti

Tutto l'hardware è progettato e ottimizzato principalmente per questo caso

Per dirla tutta sulle primitive di rendering

■ Triangoli

- ok, abbiamo capito

■ Quads

- in un certo senso, perchè diventano triangoli al volo

■ Segmenti

■ Punti

utile ad esempio per fare
rendering
di capelli peli etc

(ma non è l'unico sistema
e non è detto che sia il migliore)



Per dirla tutta sulle primitive di rendering

■ Triangoli

- ok, abbiamo capito

■ Quads

- in un certo senso, perchè diventano triangoli al volo

■ Segmenti

■ Punti

utili ad esempio
per particle systems





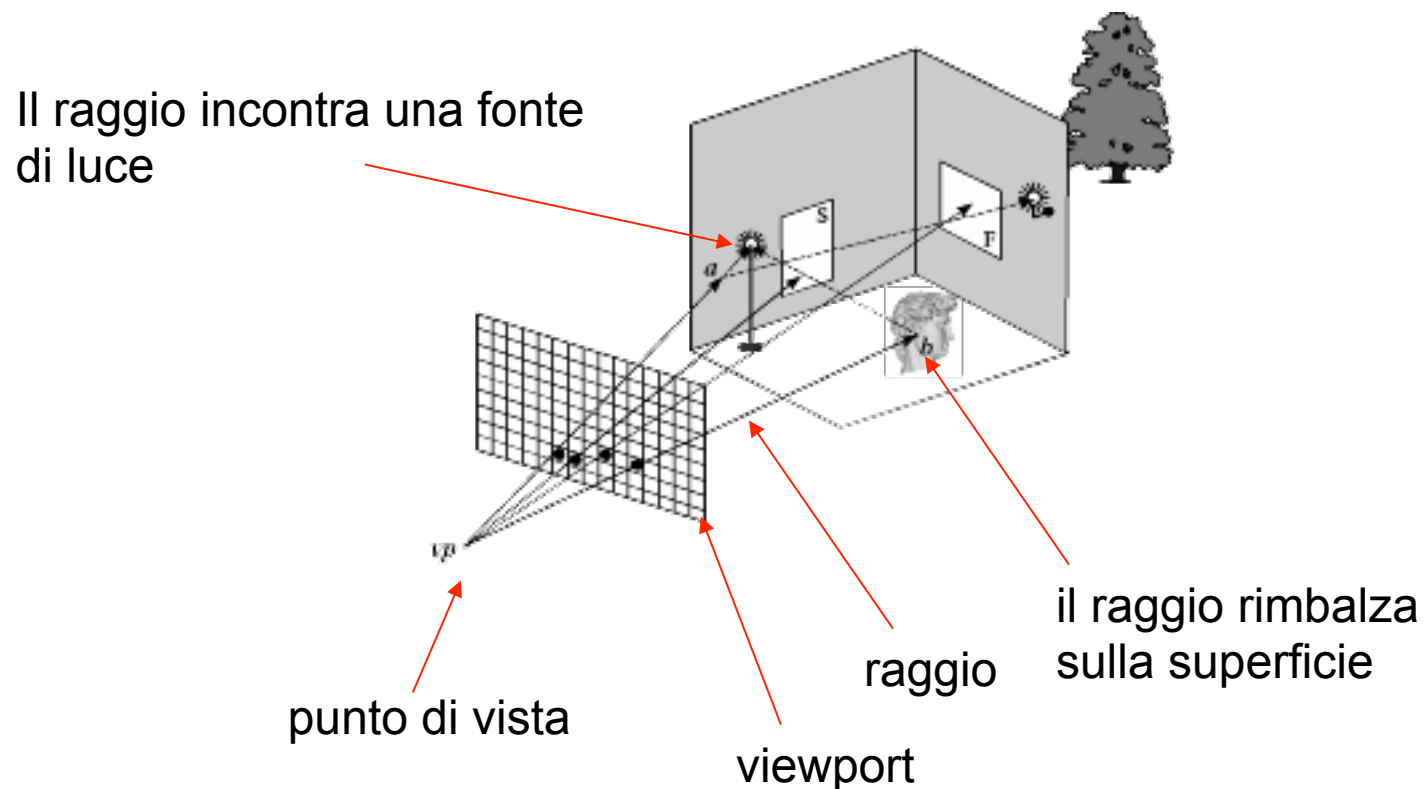
Caratteristiche pipeline raster-based

- L'illuminazione è “locale” alla primitiva (triangolo, punto, linea) renderizzata
- L'illuminazione viene calcolata via via che si disegnano le primitive
- ...niente ombre portate
- ...niente inter-reflection (luce che rimbalza su un oggetto e ne illumina un altro)
- detto in altro modo: il paradigma di rendering raster-based **non** codifica il concetto di scena

Altri paradigmi di rendering: Ray-Tracing

In un certo senso l'opposto del raster-based

- Il principio: si seguono a ritroso i raggi di luce che giungono all'osservatore





Caratteristiche

- È un paradigma di rendering globale
- Modella facilmente le ombre portate
- Modella la inter-reflection “speculare”
(luce su una superficie liscia)
- Anche la inter-reflection diffusa, ma meno bene
(luce su una superficie non speculare: un muro)



Altri paradigmi (Illuminazione globale)

■ Radiosity

- Le superfici sono partizionate in pezzetti (*patch*)
- Si pre-calcola quanta parte dell'energia che esce da una patch arriva ad ogni altra patch della scena

■ Photon mapping

- Si “simula” la luce con uno sciame di fotoni che parte dalle sorgenti e interagisce con le superfici
- Computazionalmente proibitivo fino a qualche tempo fa

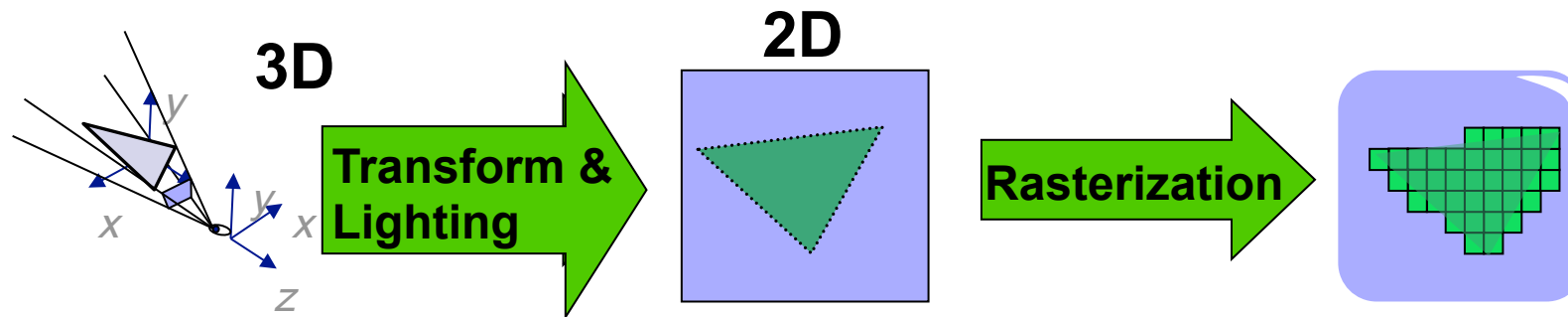


Paradigmi e hardware grafico

- Le schede grafiche sono pensate per il paradigma Transform&Lighting
- Oggi la pipeline di rendering è interamente a carico della scheda grafica
- La CPU si limita a descrivere la scena

Cenni storici sull'hardware grafico

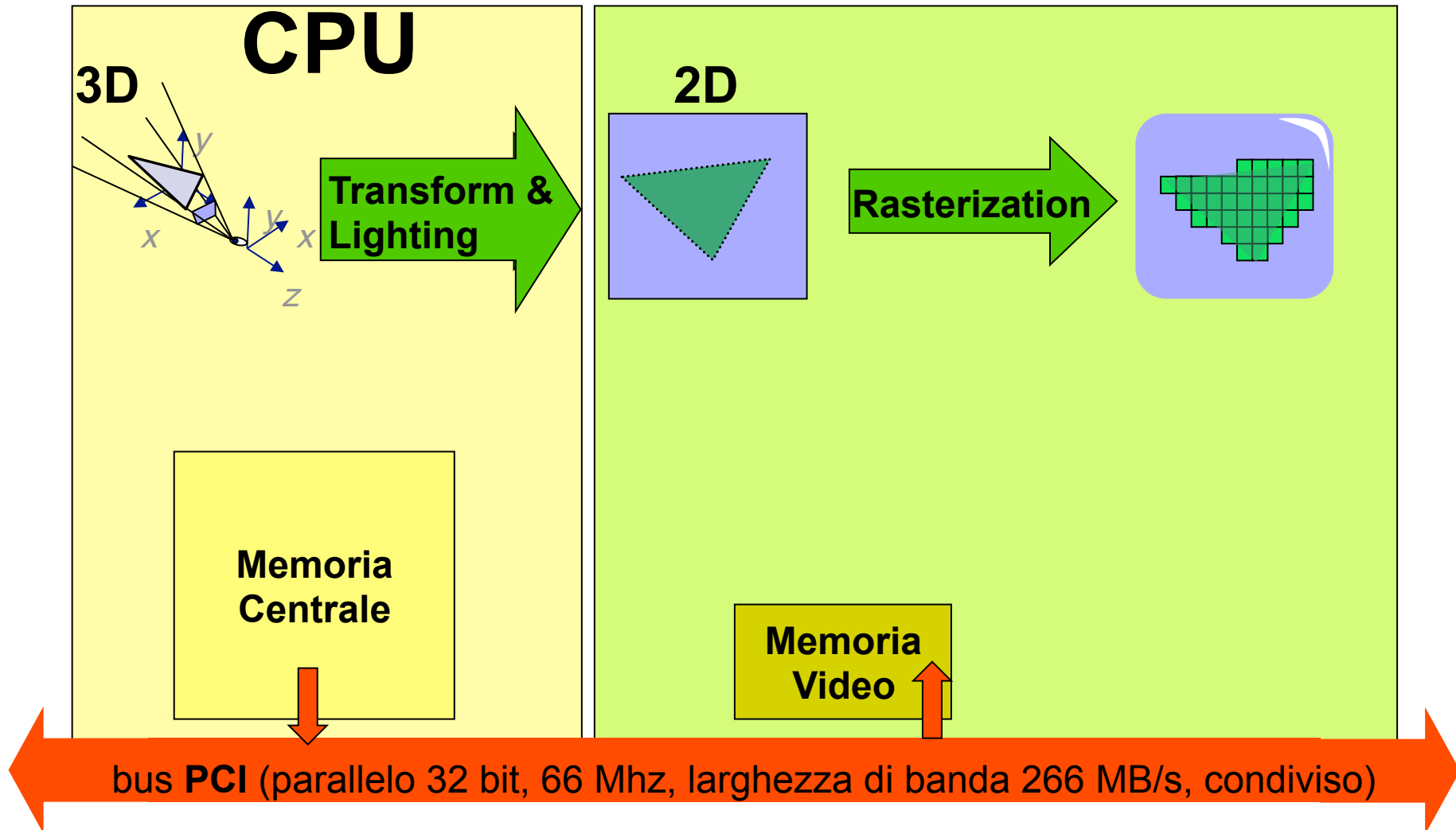
- Riprendiamo lo schema della pipeline di rendering



- Fino a metà degli anni 90 tutte le parti della pipeline erano eseguite dalla CPU

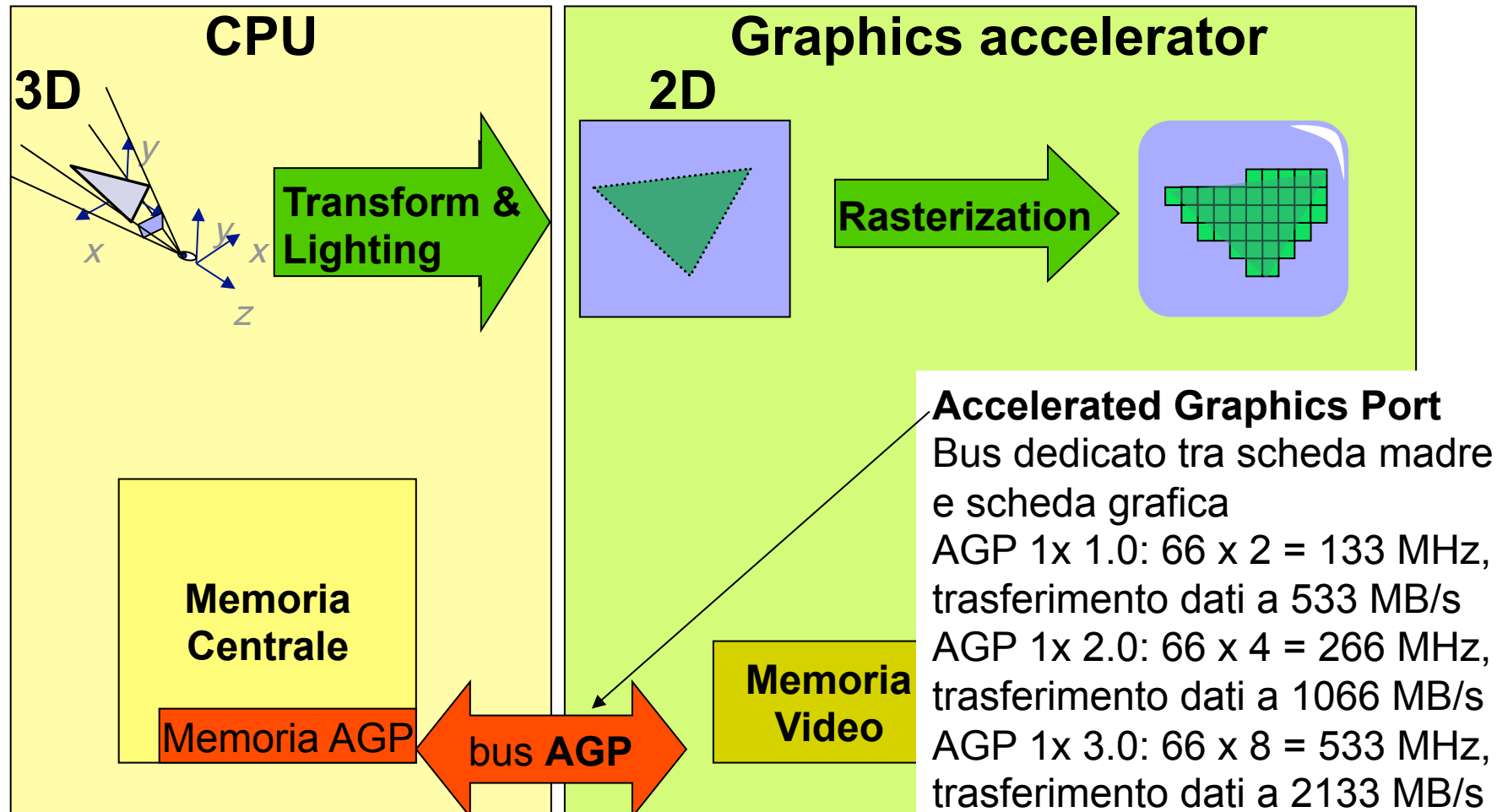
Cenni storici sull'hardware grafico

- 1995-1997: 3DFX Voodoo



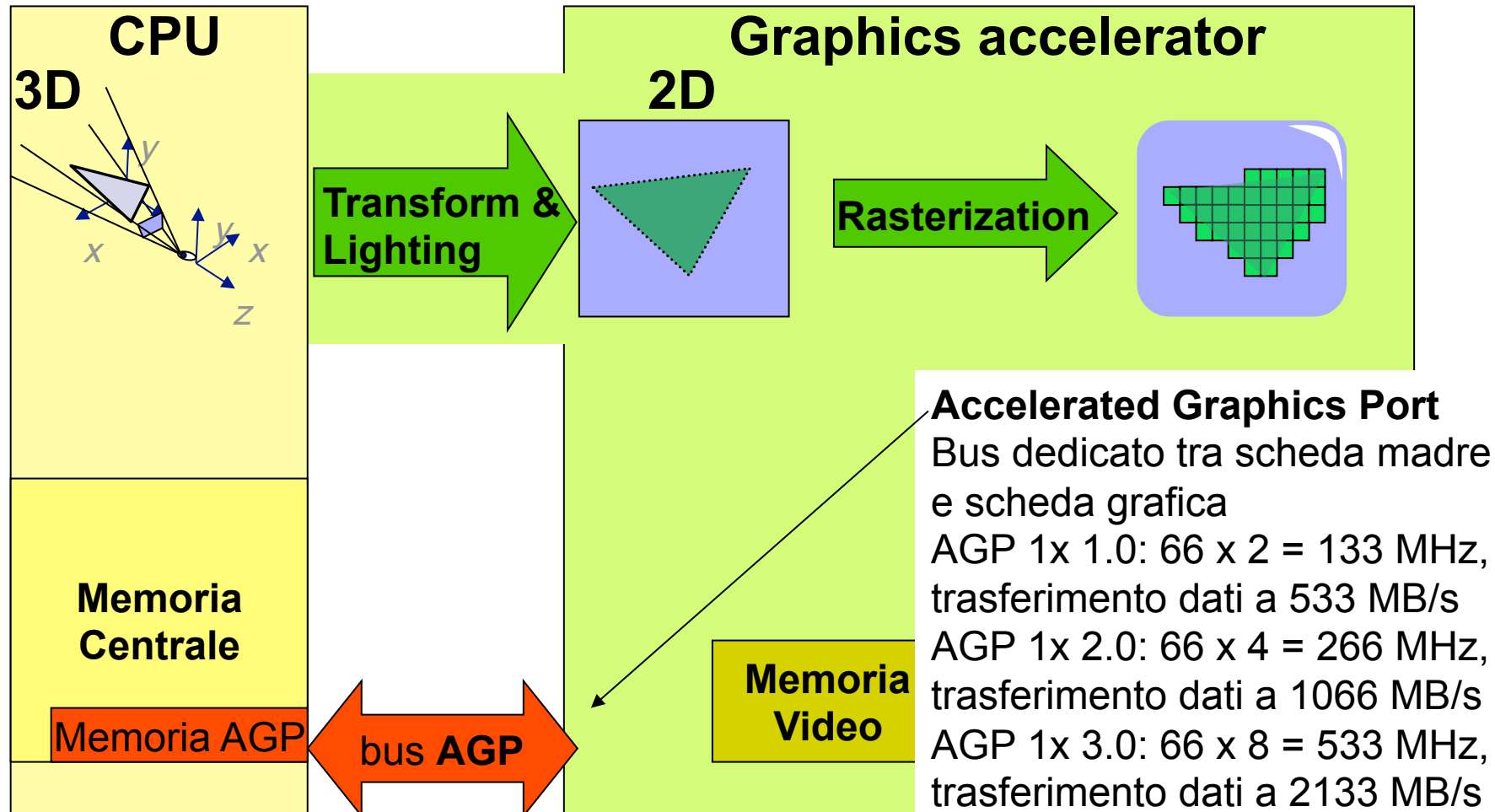
Cenni storici sull'hardware grafico

- 1998: NVidia TNT, ATI Rage



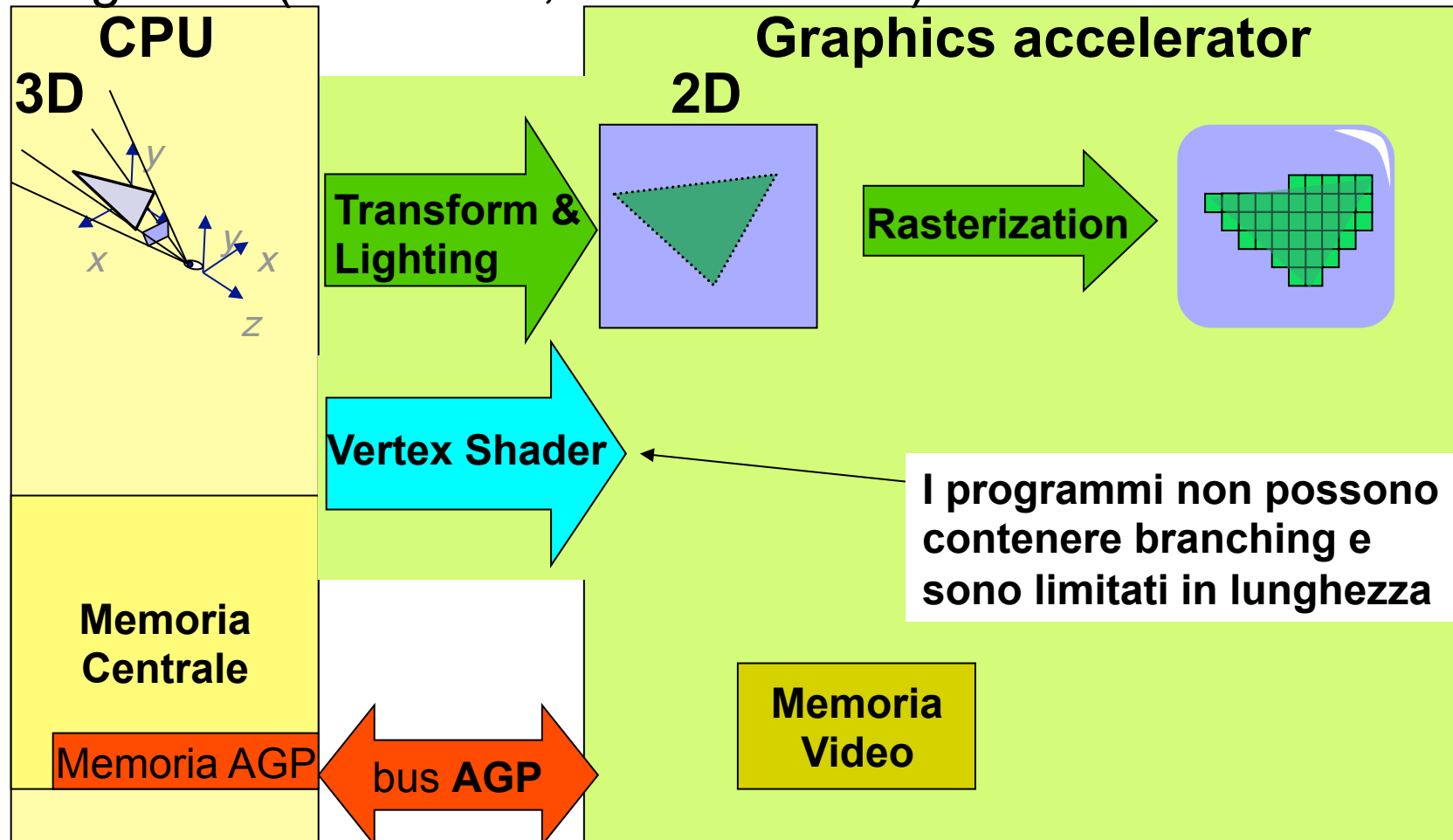
Cenni storici sull'hardware grafico

- 1998: NVidia TNT, ATI Rage



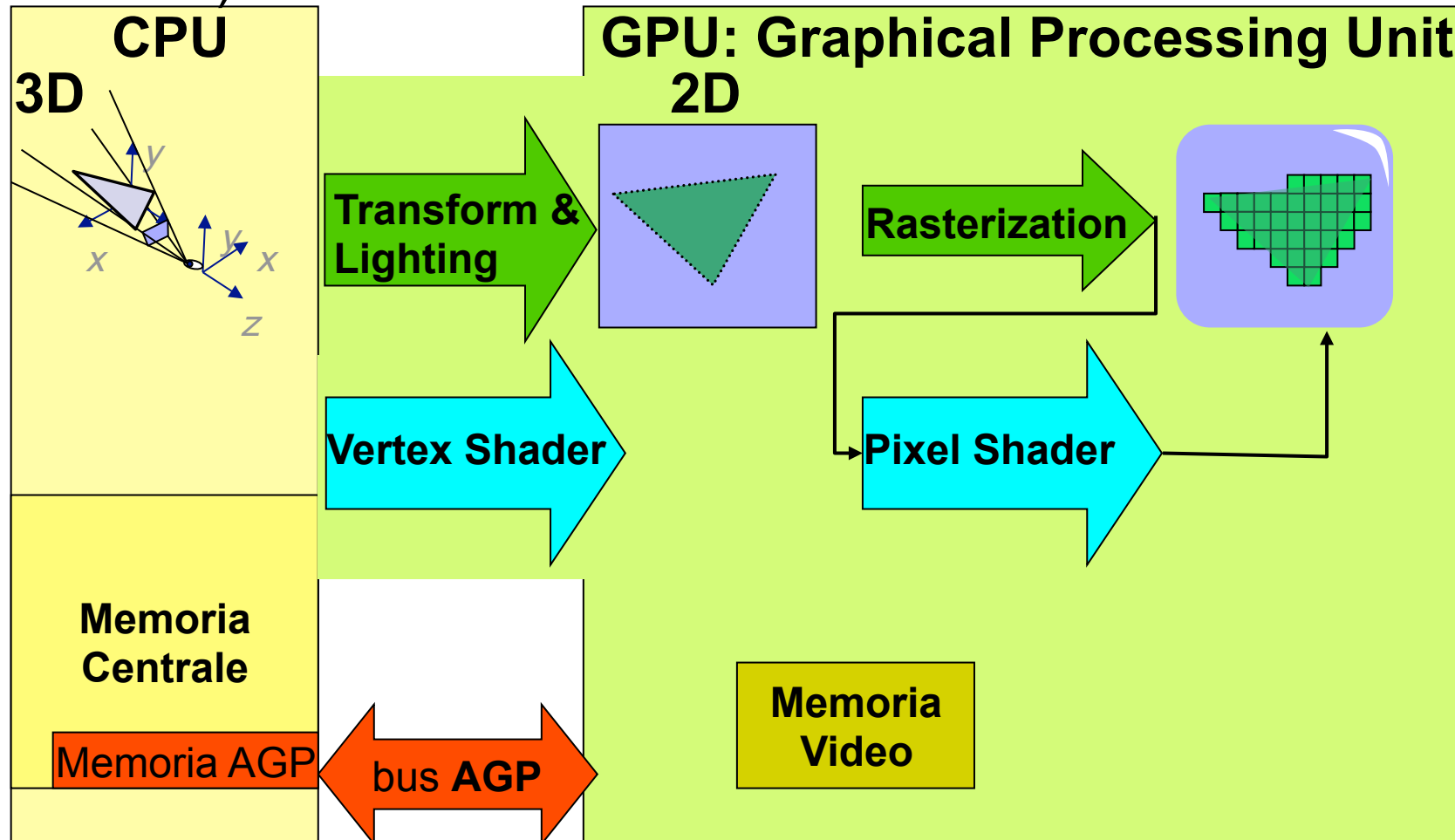
Cenni storici sull'hardware grafico

- 2001: Vertex Shader. Programmare il chip della scheda grafica (GeForce3, Radeon 8500)



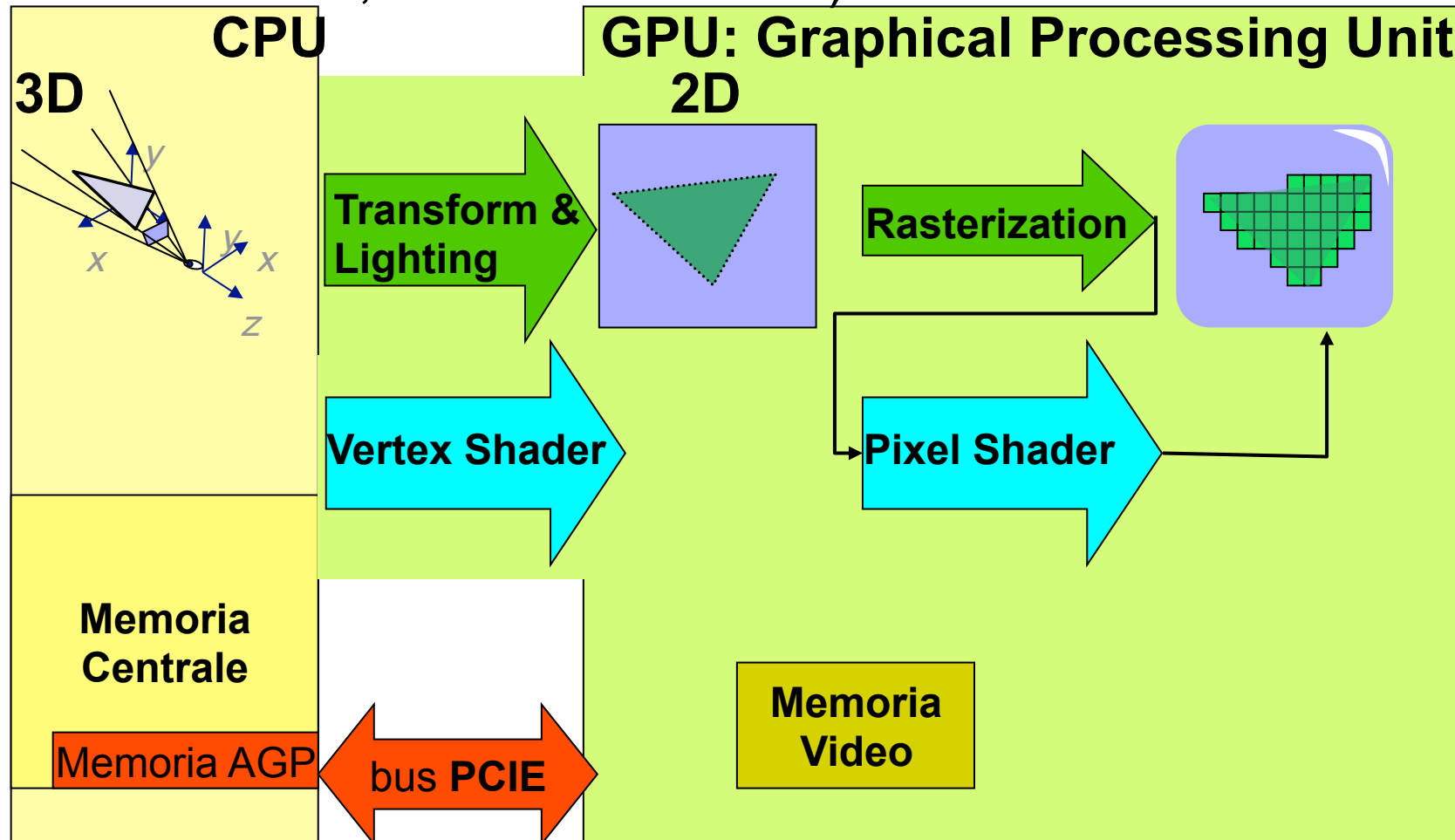
Cenni storici sull'hardware grafico

- 2002-3: Pixel (o fragment) Shader (GeForceFX, Radeon 8500)



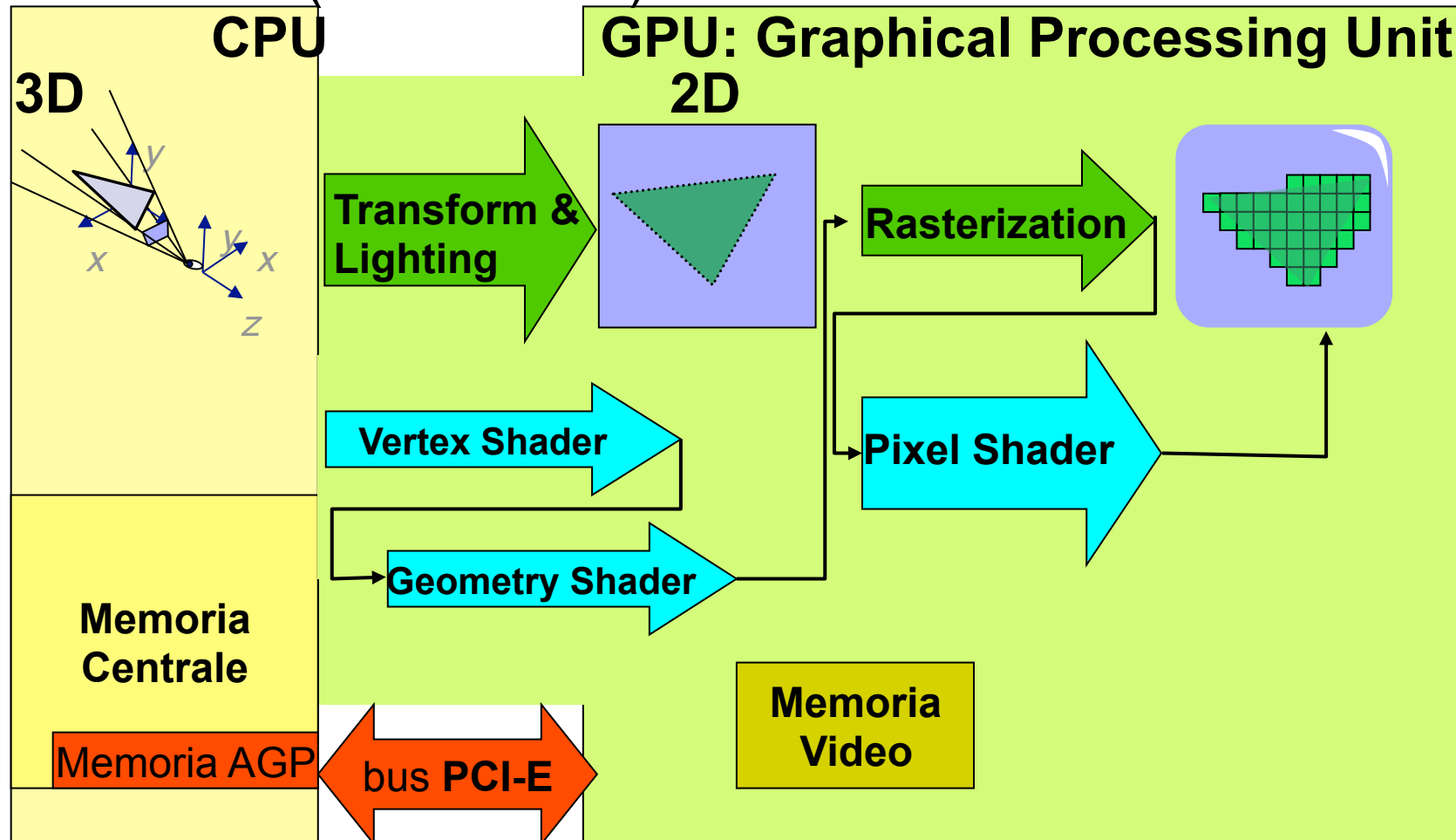
Cenni storici sull'hardware grafico

- 2004-5: PCI-Express, branching negli shader (GeForce 6800-7800, ATI Radeon 9200)



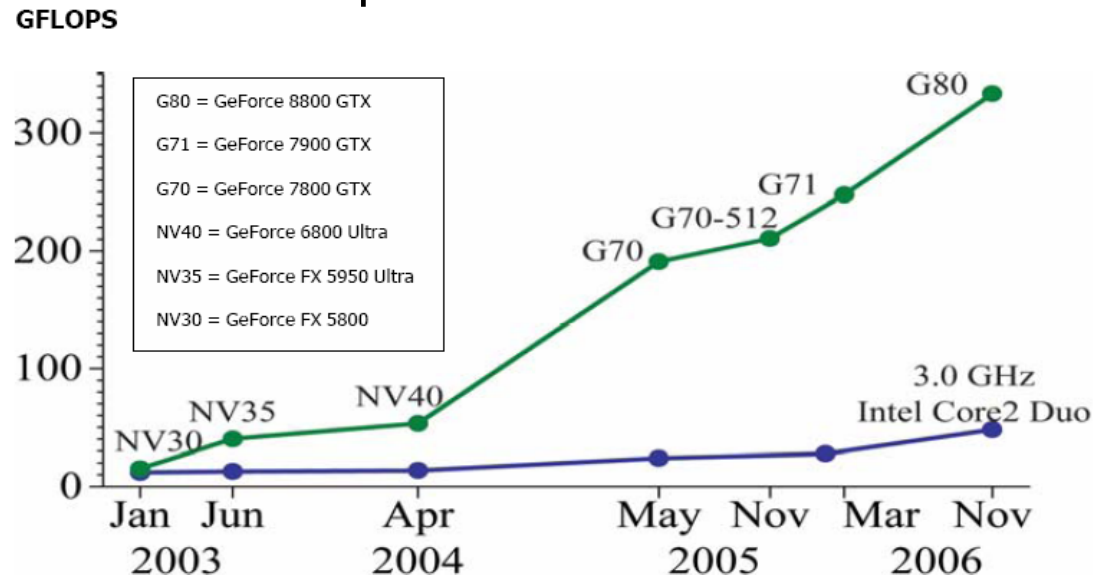
Cenni storici sull'hardware grafico

- 2007: geometry shader, stesso hardware per tutti gli shaders (NVIDIA 8800)



Note sulla GPU odierne

- Modello di computazione
 - SIMD (single instruction multiple data): sfrutta l'alto grado di parallelismo *insito nella pipeline*
- Potenza di calcolo: performance delle GPU NVidia



- Ecco il perchè del General Purpose Computation on GPU.



Note sulla GPU odierne

- Stima delle prestazioni: I produttori scrivono tanti numeri, tra i quali:
 - Trasformazioni per secondo (sottosistema geometrico)
 - Fill-rate (frammenti al secondo)
 - Dimensioni - Memoria Video
- I primi due sono da prendersi con le molle
 - Sono prestazioni picco, nella pratica valgono solo su apposito esempio