

Marco Tarini - Computer Graphics 2019/2020  
Università degli Studi di Milano

## trasformazioni nel pipeline

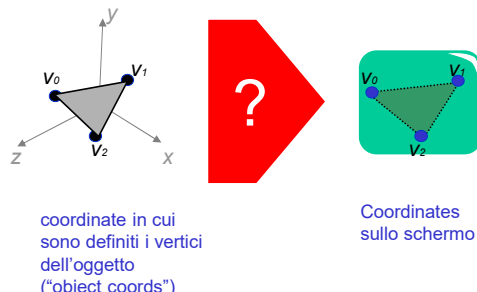
TELEDIDATTICA!



1

## Transform

- Per ogni vertice di un modello:

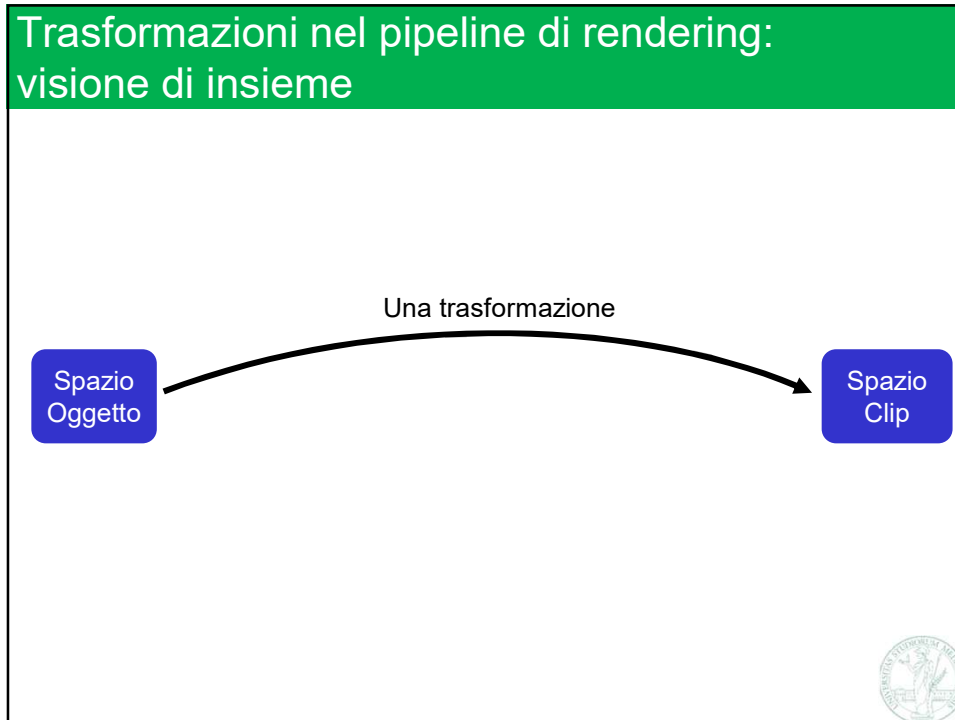


coordinate in cui sono definiti i vertici dell'oggetto ("object coords")

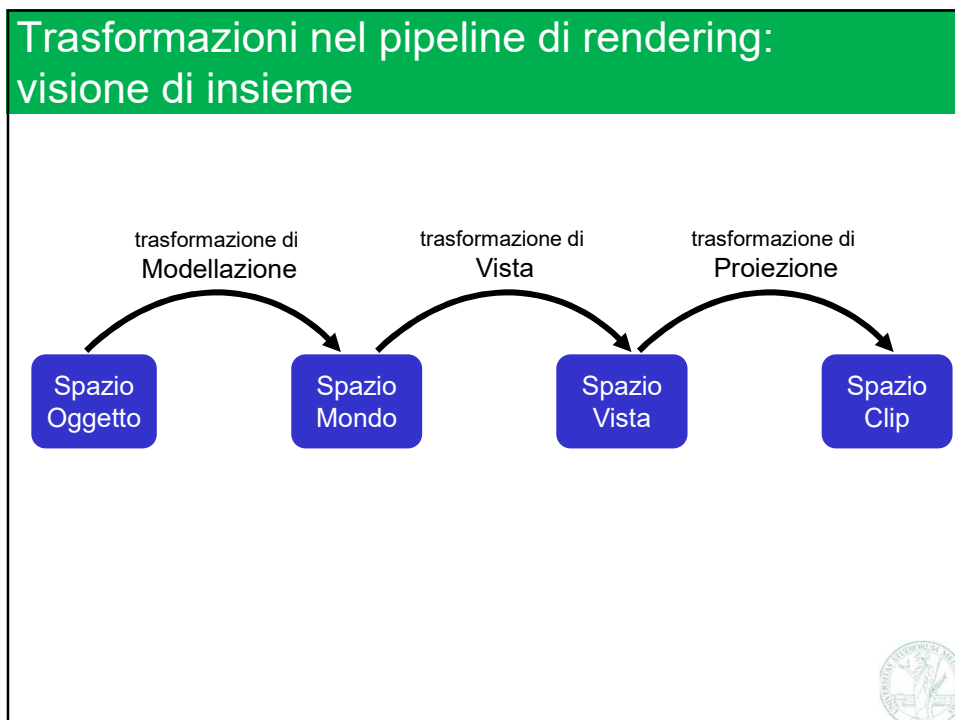
Coordinates sullo schermo



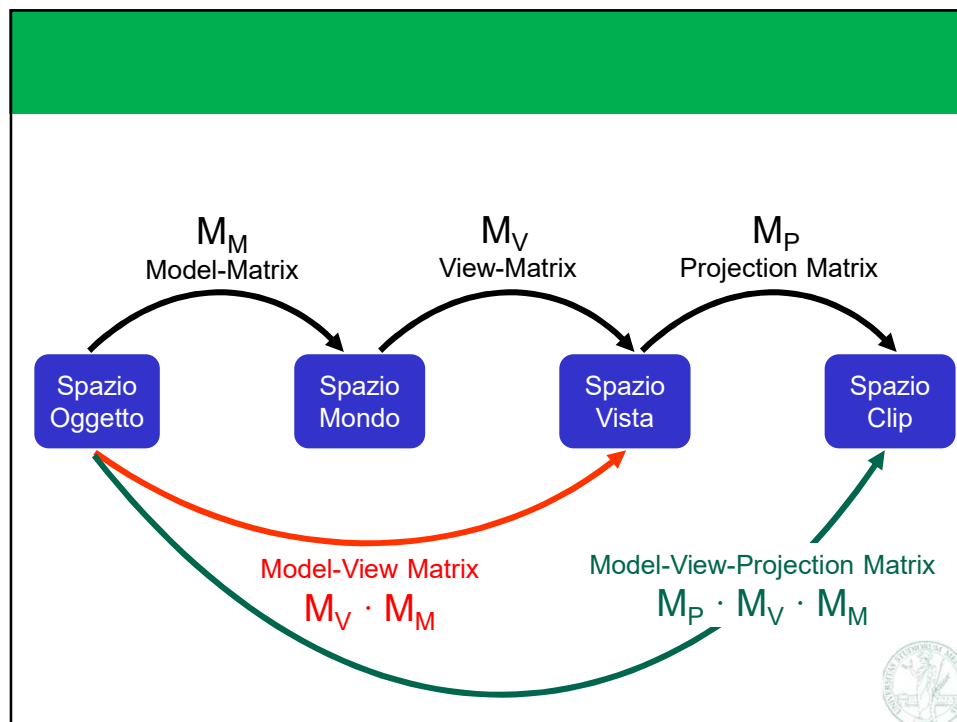
2



3



4



5

## Trasformazioni nel pipeline di rendering: visione di insieme

- ✓ La trasformazione a cui è soggetto ogni punto e vettore che costituisce il modello 3D da renderizzare viene scomposta in una piccola sequenza di passaggi intermedi dal significato standard
    - ⇒ Ciascun passaggio è una sotto-trasformazione che può essere vista come un cambio di sistema di riferimento (o spazio)
    - ⇒ Ogni passaggio cattura alcune scelte da effettuare durante il rendering
  - ✓ Vediamo questi spazi in sequenza
    - ⇒ Definire uno spazio occorre definire: l'origine e 3 assi
    - ⇒ Nota: ciascuno spazio può a mano destra o sinistra,
    - ⇒ Gli spazi non sono necessariamente orto-normali
- A small logo of the University of Milan is visible in the bottom right corner of the slide.

6

## Spazio oggetto

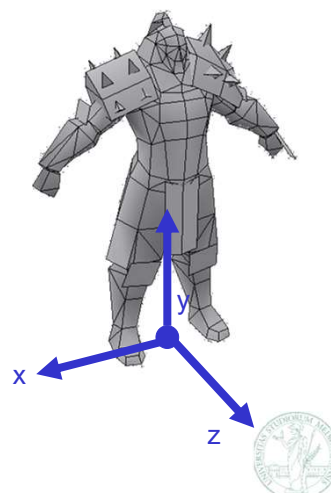
- ✓ E' il sistema di riferimento in cui è definito ciascun modello 3D
- ✓ Cioè lo spazio in cui esprimo, per esempio:
  - ⇒ Le posizioni dei vertici di una mesh, le sue normali (vettori unitari), i punti di controllo di un bezier patch, l'input della funzione che definisce un modello implicito, etc.
- ✓ Ogni modello è provvisto del suo spazio oggetto.
- ✓ E' lo spazio di partenza della sequenza di trasformazioni



7

## Spazio oggetto

- ✓ Scelta arbitraria del modellatore (o del software) che costruisce il modello 3D
- ✓ Per esempio, una convenzione per una mesh 3D che rappresenti un personaggio di un videogioco può essere:
  - ⇒ Origine: un punto sul terreno localizzato fra i piedi **del personaggio**
  - ⇒ Asse X: l'asse dalla sinistra alla destra **del personaggio**
  - ⇒ Asse Y: l'asse dal basso all'alto **del personaggio**
  - ⇒ Asse Z: l'asse dal verso la direzione avanti **del personaggio**



8

## Spazio Mondo

- ✓ Una scena 3D è normalmente composta di molti modelli 3D
  - ⇒ ciascuno provvisto del suo spazio oggetto
- ✓ Lo spazio mondo è il suo sistema di riferimento:
  - ⇒ anche questo spazio è definito in modo arbitrario (da chi compone la scena)
  - ⇒ è comune a tutta la scena (come tutti gli spazi che seguono)
- ✓ Ad esempio, per una scena «salone da ballo»:
  - ⇒ Origine: punto al centro del pavimento del salone
  - ⇒ Asse X: da Est a Ovest
  - ⇒ Asse Y: da Sud a Nord
  - ⇒ Asse Z: dal pavimento verso il soffitto



9

## Trasformazione di modellazione

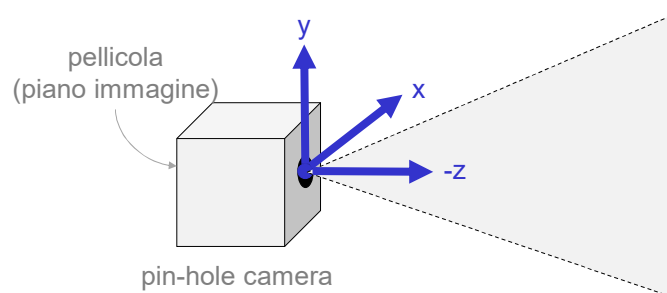
- ✓ Trasforma i punti / vettori da spazio oggetto a spazio mondo
- ✓ Riflette in che modo ciascun oggetto è disposto fisicamente nella scena
- ✓ Nota: ogni oggetto possiede la sua trasformazione di modellazione
- ✓ Quando un oggetto si sposta nella scena, cambia il suo spazio oggetto e quindi la sua trasformazione di modellazione



10

## Spazio Vista

- ✓ Lo spazio vista è posizionato in modo standard rispetto alla pin-hole camera che inquadra la scena
  - ⇒ Origine: point of view (l'hole della pin-hole camera)
  - ⇒ Asse X: asse orizzontale della camera
  - ⇒ Asse Y: dal basso all'alto della camera
  - ⇒ Asse Z: dal davanti al dietro della camera



11

## Trasformazione di vista

- ✓ Trasforma i punti / vettori da spazio mondo a spazio vista
- ✓ Riflette la posizione (e l'orientamento) della camera che inquadra la scena
  - ⇒ Detti i **parametri estrinseci** della camera
- ✓ Se la telecamera si sposta, cambia la trasformazione (la matrice) di vista
  - ⇒ Questo causerà ovviamente uno spostamento nel piano immagine degli oggetti inquadrati, anche se la loro posizione nella scena (quindi la loro model-matrix) non è cambiata.
  - ⇒ Sarà invece cambiata la matrice di ModelView, che combina la model e la view matrix

12

## Spazio Clip

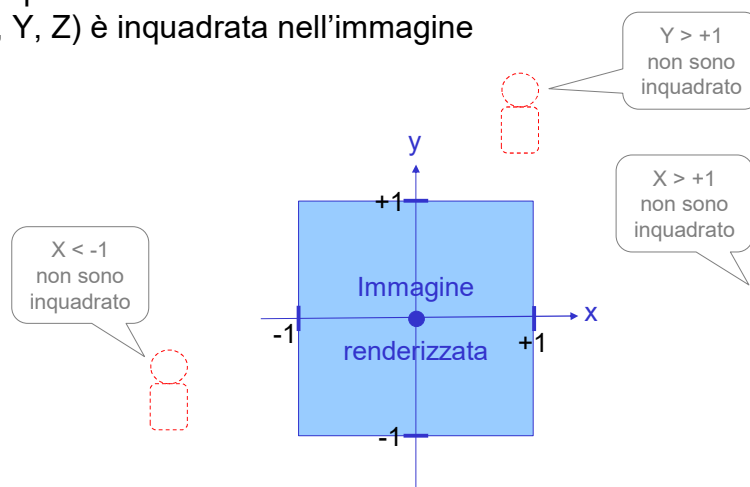
- ✓ Uno spazio allineato allo schermo / all'immagine prodotta dal rendering
  - ⇒ Origine: centro dello schermo / dell'immagine
  - ⇒ Asse X: orizzontale allo schermo / all'immagine, da sx a dx
  - ⇒ Asse Y: verticale allo schermo / all'immagine, verso l'alto
- ✓ In realtà, anche questo spazio è tridimensionale
  - ⇒ Come vedremo, questo è utile per computare correttamente gli effetti di occlusione (gli oggetti vicini coprono quelli lontani, e non viceversa)
  - ⇒ Asse Z: ortogonale allo schermo
- ✓ E' lo spazio finale in cui dobbiamo portare tutte le primitive, nel rendering basato su rasterizzazione



13

## Spazio Clip

- ✓ In spazio clip vale una convenzione: solo la parte di scena compresa fra -1 e +1 in ciascuna coordinata (X, Y, Z) è inquadrata nell'immagine

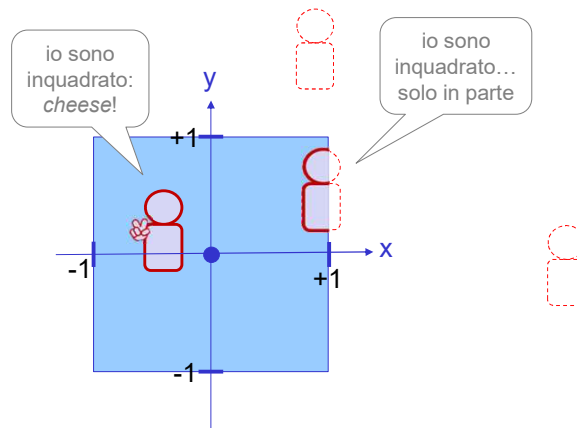


14

## Spazio Clip

- ✓ In spazio clip vale una convenzione: solo la parte di scena compresa fra  $-1$  e  $+1$  in ciascuna coordinata (X, Y, Z) è inquadrata nell'immagine

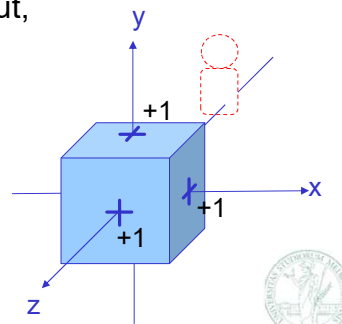
Gli modelli solo parzialmente inclusi fra  $-1$  e  $+1$  sono spezzati (*clipped*) in una parte da rasterizzare e in una parte non rasterizzata. Questo, storicamente, dà il nome allo spazio ("lo spazio in cui avviene il clipping")



15

## Spazio Clip

- ✓ Nota: in spazio clip l'immagine renderizzata / lo schermo ha dimensione 2 (da  $-1$  a  $+1$ ) sia verticalmente che orizzontalmente
- ✓ Questo è indipendente dalla risoluzione in pixel o dall'aspect ratio dell'immagine rasterizzata (o dello schermo)
- ✓ Per questo motivo, le coordinate in spazio clip sono anche dette NDC (Normalized Device Coordinates) («non dipendono dal dispositivo di output, cioè dal monitor»)
- ✓ Anche nella direzione Z, vale che la scena viene renderizzata solo nella porzione che va da  $-1$  a  $+1$
- ✓ Anche le parti della scena troppo lontane o troppo vicine vengono scartate



16



## Trasformazione di proiezione

- ✓ Trasforma lo Spazio Vista in Spazio Clip
- ✓ E' determinata da caratteristiche interne della camera
  - ⇒ come le dimensioni del box della camera
  - ⇒ la posizione del «buco di spillo» della pin-hole camera
  - ⇒ soprattutto dalla lunghezza focale (determina se grandangolo, teleobiettivo...)
  - ⇒ Questi sono detti i **parametri INTRINSECI** della camera
- ✓ Ricordare: le trasformazioni si possono combinare!
  - ⇒ Es: Model-View-Projection matrix («MVP» matrix): da spazio oggetto a spazio clip
  - ⇒ Si ottiene come :  
Matrice di Proiezione · Matrice di Vista · Matrice di Modellaz.



17

## Domande (esercizio)

- ✓ Quali sono le coordinate omogenee:
  - ⇒ Di un pt che appare in mezzo dallo schermo, in spazio clip?
  - ⇒ Della posizione del POV, in spazio vista?
  - ⇒ Del un punto in alto a destra del monitor, in spazio Clip?
  - ⇒ Della direzione di vista, in spazio vista?
- ✓ Date le matrici di Modellazione M, Vista V, e proiezione P, come si trovano le coord omogenee...
  - ⇒ Dell'origine dello spazio oggetto, in spazio mondo?
  - ⇒ Dell'origine dello spazio mondo, in spazio oggetto?
  - ⇒ Della direzione di vista, in spazio oggetto?
  - ⇒ Della posizione del POV, in spazio mondo?
  - ⇒ Di un punto che appare in mezzo allo schermo, in spazio oggetto?



18