

Marco Tarini - Computer Graphics 2022/2023
Università degli Studi di Milano

La sequenza di trasformazioni nel rendering: visione di insieme

1

La transform usata duante il rendering (con approccio rasterization)

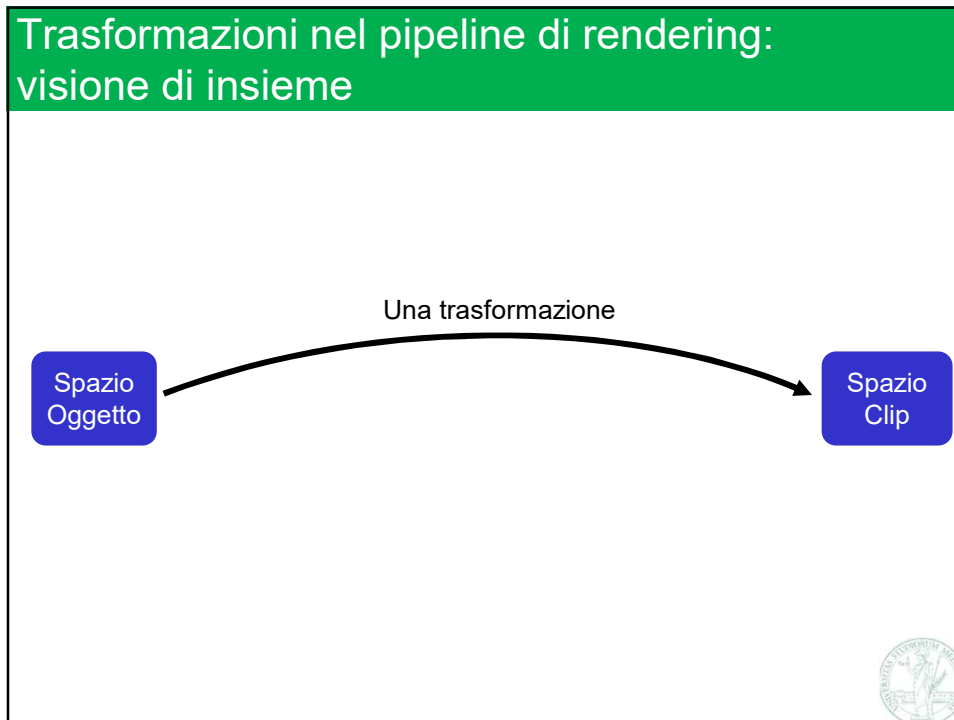
- Per ogni vertice di un modello:

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

?

Coordinate
sullo schermo

2



3

Trasformazioni nel pipeline di rendering: visione di insieme

- ✓ La trasformazione che stiamo cercando va dallo spazio in cui sono definite inizialmente le nostre mesh: lo «spazio oggetto» (iniziale) ...
- ✓ ...ad uno spazio definito sullo schermo in cui vengono proiettate: lo spazio clip (finale)
 - ⇒ Il rasterizzatore si aspetta triangoli da rasterizzare definiti nello spazio clip!
- ✓ Vediamo questi due spazi iniziali e finali
 - ⇒ Per 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

The slide contains a green header with the text 'Trasformazioni nel pipeline di rendering: visione di insieme'. Below the header, there is a list of three bullet points, each starting with a checkmark. The first bullet point describes the transformation from object space to clip space. The second bullet point describes the clip space and mentions the rasterizer. The third bullet point discusses the definition of these spaces and their axes. In the bottom right corner of the slide area, there is a small circular logo of the University of Milan.

4

Spazio oggetto

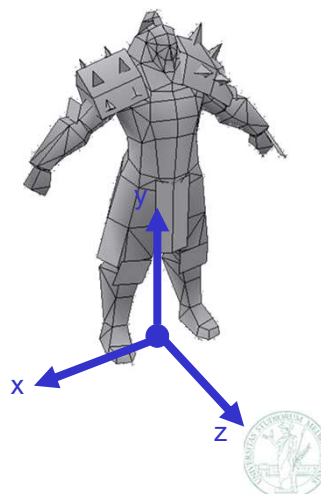
- ✓ E' il sistema di riferimento in cui è definito ciascun modello 3D
- ✓ Cioè lo spazio in cui esprimo, per esempio:
 - ⇒ In una mesh: le posizioni dei vertici, le normali (vettori unitari),
 - ⇒ I punti di controllo di un bezier patch,
 - ⇒ L'input della funzione che definisce un modello implicito,
 - ⇒ Le posizioni (intere) dei voxel in un modello voxelizzato
 - ⇒ Le coord. (x,y: implicite; z: memorizzata) dei punti in un campo di altezza
 - ⇒ etc.
- ✓ Ogni modello è provvisto del suo spazio oggetto
 - ⇒ Il suo sistema di riferimento «personale» in cui il modellatore / lo scanner etc ha definito i punti e i vettori che lo costituiscono
 - ⇒ E' il sist. di rif. in cui sono espressi, ad esempio, le coordinate dei vertici e delle normali in un file OBJ
- ✓ E' lo spazio di partenza della sequenza di trasformazioni nel rendering basato su rasterizzazione



6

Spazio oggetto (convenzioni)

- ✓ E' scelto arbitrariamente dal modellatore (o dal software) che produce il modello 3D
- ✓ Per esempio, una convenzione per una mesh 3D che rappresenti un personaggio di un videogioco è spesso:
 - ⇒ 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: la direzione avanti del personaggio



7

Spazio oggetto (convenzioni)

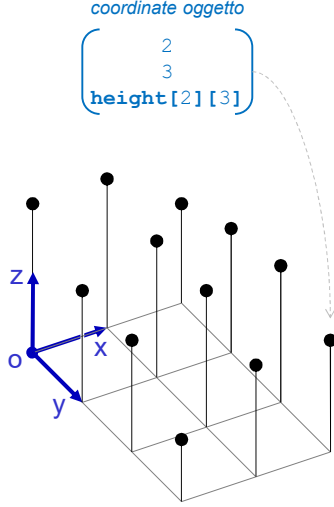

- ✓ E' scelto arbitrariamente dal modellatore (o dal software) che produce il modello 3D
- ✓ Per esempio, una convenzione per una nuvola di punti descritta da una range scan:
 - ⇒ Origine: punto di partenza dei raggi (posizione dello scanner)
 - ⇒ Asse X: l'asse dalla sinistra alla destra dello scanner
 - ⇒ Asse Y: l'asse dal basso all'alto dello scanner
 - ⇒ Asse Z: l'asse centrale del cono dei raggi che vengono mandati dello scanner




8

Spazio oggetto (convenzioni)

- ✓ E' scelto arbitrariamente dal modellatore (o dal software) che produce il modello 3D
- ✓ Per esempio, una possibile convenzione per un campo di altezze:
 - ⇒ Origine: angolo 0,0, del array di altezze
 - ⇒ Asse X: la direzione orizzontale dell'array di altezze
 - ⇒ Asse Y: la direzione verticale dell'array di altezze
 - ⇒ Asse Z: l'altezza espressa nell'array

9

Spazio Clip (o «Normalized Device Coordinates», «NDC»)

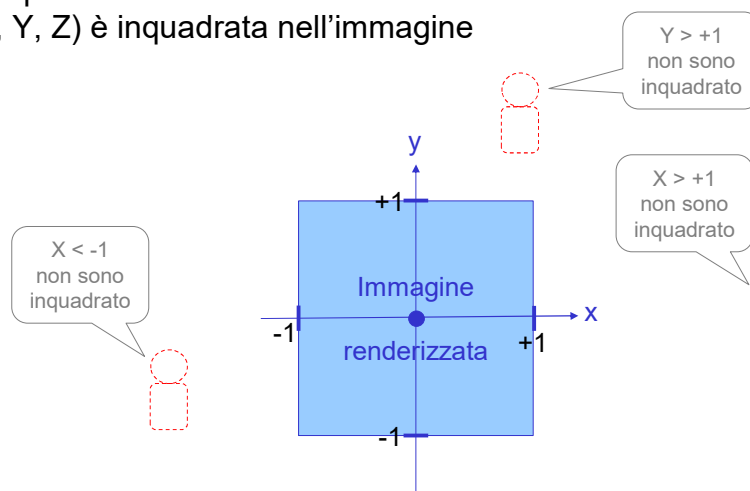
- ✓ Uno spazio allineato allo schermo / all'immagine prodotta dal rendering
 - ⇒ Origine: centro dello schermo / dell'immagine
 - ⇒ Asse X: orizzontale allo schermo / all'immagine, da sx a dx
 - ⇒ Asse Y: verticale allo schermo / all'immagine, verso l'alto
- ✓ In realtà, anche questo spazio è tridimensionale
 - ⇒ 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



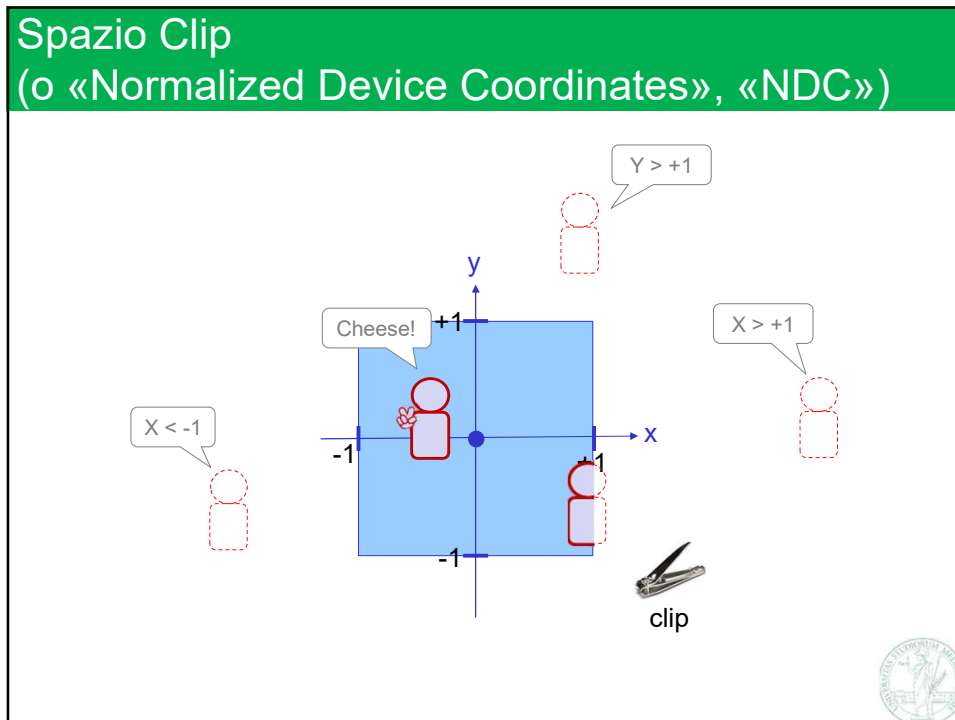
11

Spazio Clip (Normalized Device Coordinates)

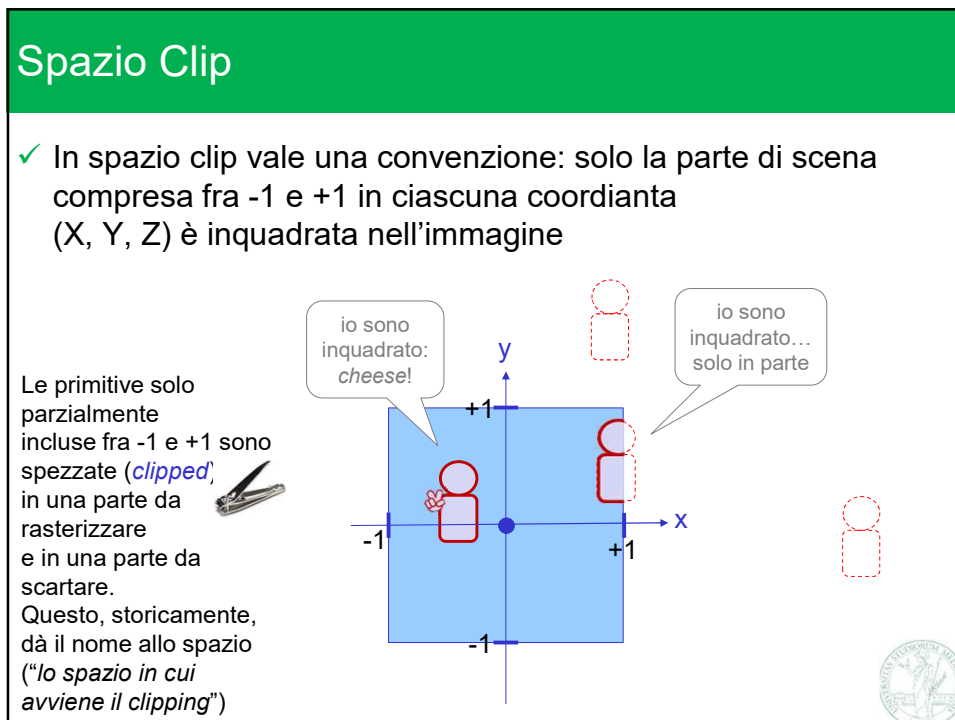
- ✓ In spazio clip vale una convenzione: solo la parte di scena compresa fra -1 e +1 in ciascuna coordinata (X, Y, Z) è inquadrata nell'immagine



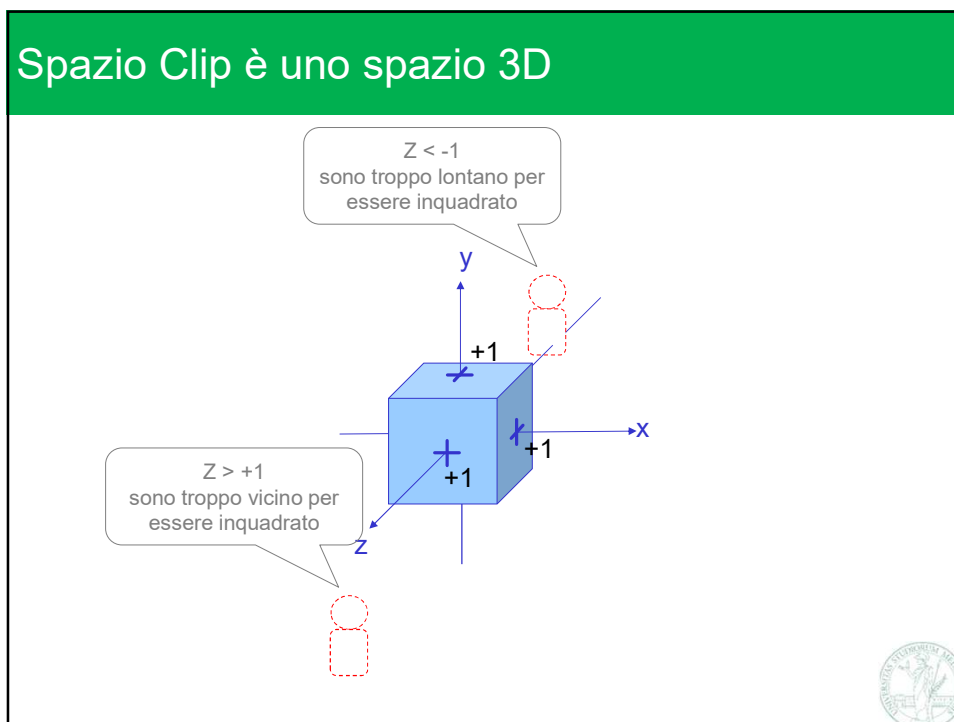
12



13



14



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

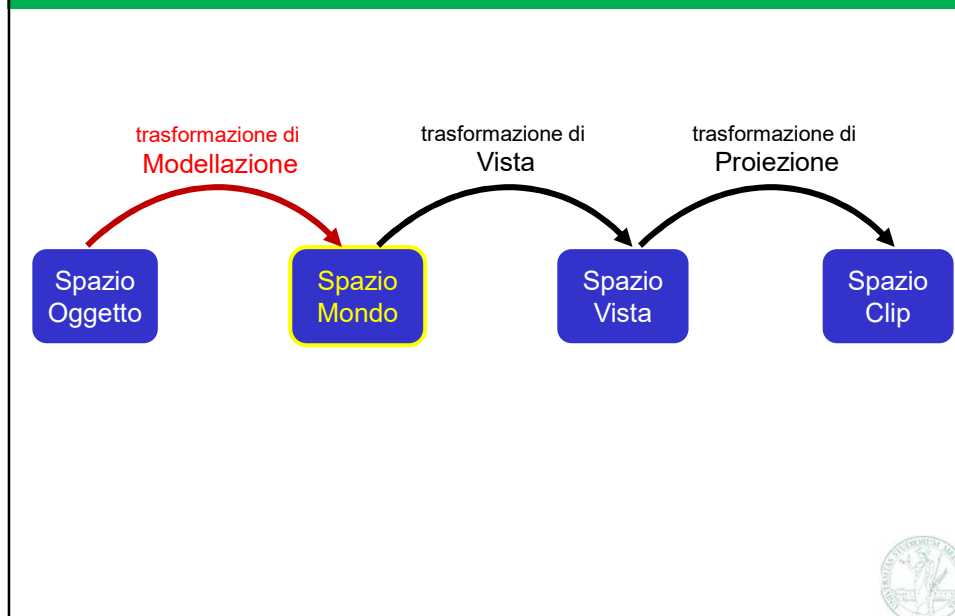
Trasformazioni nel pipeline di rendering: visione di insieme

- ✓ La trasformazione dallo spazio oggetto (iniziale) allo spazio clip (finale) viene scomposta (almeno, concettualmente) in una piccola sequenza di passaggi dal significato standard
 - ⇒ Anche ciascun passaggio può essere visto come un cambio di sistema di riferimento (o spazio)
 - ⇒ Ogni passaggio cattura alcune scelte da effettuare durante il rendering
- ✓ Vediamo gli spazi intermedi, 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



17

Trasformazioni nel pipeline di rendering: visione di insieme



18

Spazio Mondo

- ✓ Una scena 3D è spesso costituita da *molti* modelli 3D
 - ⇒ ciascuno provvisto del suo spazio oggetto
- ✓ Lo spazio mondo è il sistema di riferimento globale della scena:
 - ⇒ è **comune a tutta la scena** (a differenza dello spazio oggetto, che è «personale» di ogni oggetto)
 - ⇒ questo spazio è definito (in modo arbitrario) da chi compone la scena (mettendo insieme, ad esempio, diverse mesh)
 - ⇒ Ad esempio, un level designer di un video-game
- ✓ Ad esempio, per una scena «salone da ballo» potremmo scegliere:
 - ⇒ Origine: punto al centro del pavimento del salone
 - ⇒ Asse X: da Est a Ovest
 - ⇒ Asse Z: da Sud a Nord
 - ⇒ Asse Y: dal pavimento verso il soffitto



19

Trasformazione di modellazione

- ✓ Trasforma i punti / vettori da **spazio oggetto** a **spazio mondo**
- ✓ Riflette in che modo ciascun oggetto è disposto fisicamente nella scena
- ✓ Per comporre la scena, dotiamo ogni oggetto che la compone della sua trasformazione di modellazione
 - ⇒ Per es: per modellare un interno, dovremmo mettere insieme modelli 3D separati di: mobili, pareti, lampadari...
- ✓ Determinare queste trasformazioni per ciascun oggetto, è il modo di **modellare** (costruire un modello de-) **la scena**
 - ⇒ Da qui, il nome delle trasformazioni



20

Spazio oggetto VS Spazio mondo

✓ Quattro **Object Space** in uno **Spazio Mondo**

The diagram illustrates four bunny models in a 3D world space. A central coordinate system is defined by blue axes labeled X, Y, and Z. Each bunny model has its own local coordinate system, also labeled with x, y, and z axes. The bunnies are positioned at different locations and orientations within the world space, demonstrating how individual object spaces are mapped into a common world space.


21

Ad ogni oggetto, la sua trasformazione di modellazione

The diagram shows a hierarchical structure of transformations. At the top is a central node labeled «Spazio Mondo». Below it, four gray triangular wedges represent transformation matrices, labeled M1, M2, M3, and M4. Each wedge points to a circular inset containing a bunny model. This illustrates that each object's transformation from its local space to the world space is defined by a specific matrix.


22

Determinare la trasformazione di modellazione (di ogni oggetto)

- ✓ Un modo facile ed intuitivo di determinare la trasf di modellazione è definirla come una sequenza arbitraria di trasformazioni in cascata di
 - ⇒ rotazione,
 - ⇒ traslazione,
 - ⇒ e scaling
- matrix multiplication!
- matrici
- ✓ che riflettono
 - ⇒ l'orientamento,
 - ⇒ la posizione,
 - ⇒ e la dimensione
- desiderata per quell'oggetto nella scena (cioè in spazio mondo)
- 

23

Trasformazione di modellazione e animazioni

- ✓ In una computer animation, posso spostare un oggetto nella scena, ridefinendo in ogni fotogramma la sua **trasformazione di modellazione**
 - ⇒ Cambiando così in un colpo solo le coordinate dei suoi punti e vettori in spazio mondo, ma **non** in spazio oggetto!
 - ⇒ Quindi (crucialmente): la struttura dati della mesh – che è memorizzata in VRAM in spazio oggetto - non cambia durante l'animazione!
- 

24

Trasformazione di modellazione e multi-instancing

- ✓ Disegnando, in uno stesso screen buffer, una stessa mesh più volte, ogni volta con una diversa matrice di modellazione, (cioè: disegnando diverse *istanze* dello stesso oggetto), ottengo diverse copie dello stesso oggetto nella scena
 - ⇒ Nota: ogni istanza ha punti e vettori di coordinate diverse, in spazio mondo, ma identiche, in spazio oggetto
 - ⇒ Mantenendo in memoria una sola mesh (con coordinate oggetto univoche), mostro diversi oggetti a schermo (ciascuno con coordinate mondo diverse)
- ✓ Ad esempio, possono essere istanze di una stessa mesh:
 - ⇒ tutte le sedie della mia scena di interno
 - ⇒ tutte le forchette sul tavolo
 - ⇒ le 4 ruote del modello di una macchina
 - ⇒ Etc.



25

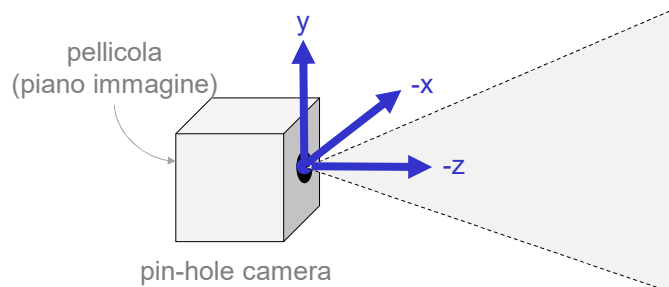
Trasformazioni nel pipeline di rendering: visione di insieme



26

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

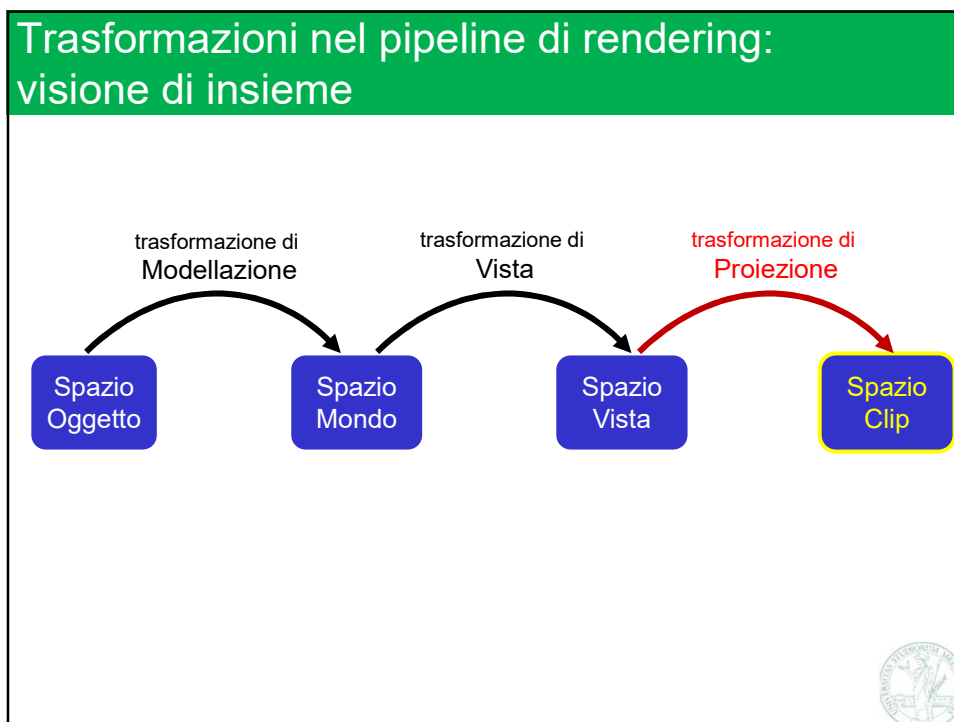


28

Trasformazione di vista

- ✓ Trasforma i punti / vettori da spazio mondo a spazio vista
- ✓ Dipende 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 (cioè in spazio mondo!) non è cambiata.
- ✓ Tipicamente è una trasformazione rigida: rotazione + traslazione

29



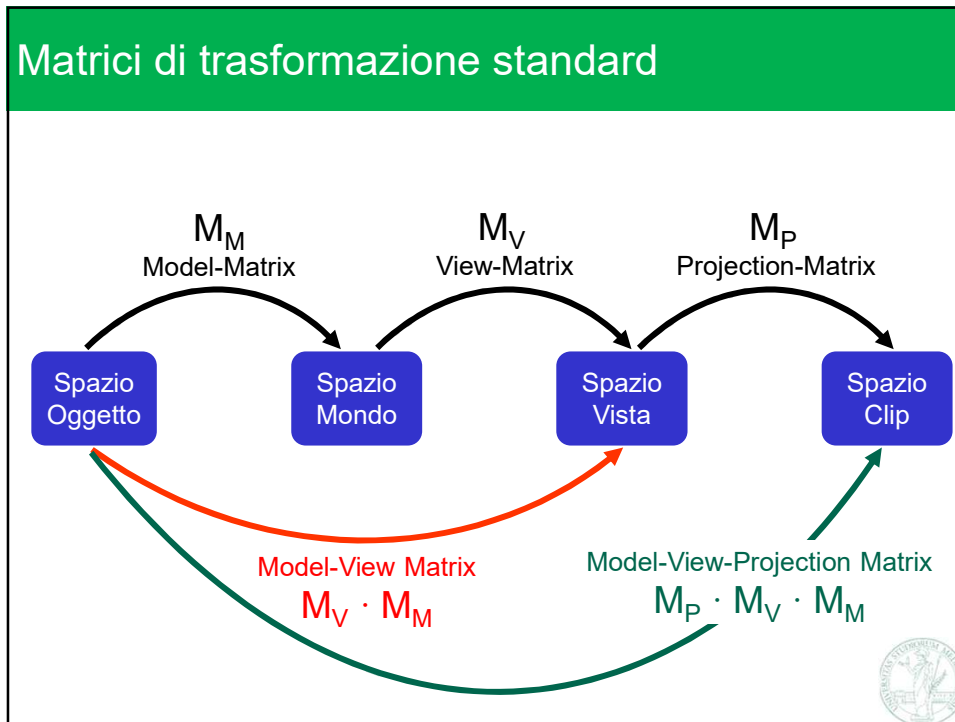
32

Trasformazione di proiezione

- ✓ Trasforma da Spazio Vista a Spazio Clip
- ✓ E' determinata dalle 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
- ✓ Responsabile anche degli effetti prospettici
 - ⇒ Oggetti più vicini appaiono più grandi.
 - ⇒ Cioè:
oggetti che hanno la stessa dimensione in spazio mondo o vista,
ma sono ad una Z diversa in spazio vista,
diverranno di dimensioni diverse in spazio clip
(tanto maggiori, quanto più vicina allo 0 è la Z in spazio vista).
- ✓ Vedremo nelle prossime lezioni



33



35

Note terminologiche: alcuni sinonimi (sommario)

	...anche detto/a...
matrice che effettua una trasformazione affine X	"matrice di X "
<i>per es:</i> matrice che effettua la trasformazione di traslazione (x,y,z)	"matrice di traslazione (x,y,z) " ("translation matrix")
<i>per es:</i> matrice che effettua la trasformazione di vista	"Matrice di Vista" ("View Matrix")
Sistema di Riferimento	"spazio" (<i>space</i>)
<i>per es:</i> Sistema di Riferimento Mondo	"spazio mondo" (<i>world space</i>)
Spazio Oggetto dell'oggetto X	"spazio X "
<i>per es:</i> Spazio Oggetto dell'oggetto gatto	"spazio gatto"
Coordinate espresse in uno spazio X	"coordinate X "
<i>per es:</i> Coordinate espresse nello Spazio Oggetto	"coordinate oggetto" ("object coordinates")
Coordinate Clip (coordinate espresse nello spazio Clip)	"Normalized Device Coordinates (NDC)"

36

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?



37

Domande (esercizio)

(usando le stesse matrici del lucido precedente)

- ✓ Ipotizziamo che in spazio mondo l'asse delle Y sia orientato verso il cielo:
- ✓ Quali sono le coordinate omogenee:
 - ⇒ Del vettore «direzione di gravità» (la direzione unitaria di caduta degli oggetti), in spazio mondo?
 - ⇒ Dello stesso vettore, in spazio oggetto? (nota: questo determina in che direzione quell'oggetto percepisce la forza di gravità, nel proprio sistema di rif.)
- ✓ Se la mano di un personaggio è in un dato punto \mathbf{p} , (nel suo spazio oggetto!) come posso determinare se tale mano è inquadrata oppure no nello schermo?



38