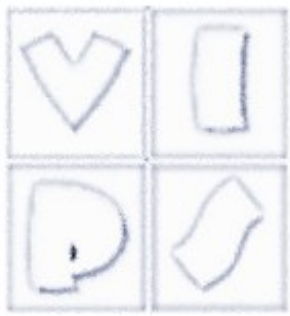




# Grafica al calcolatore - Computer Graphics



5 - Rendering

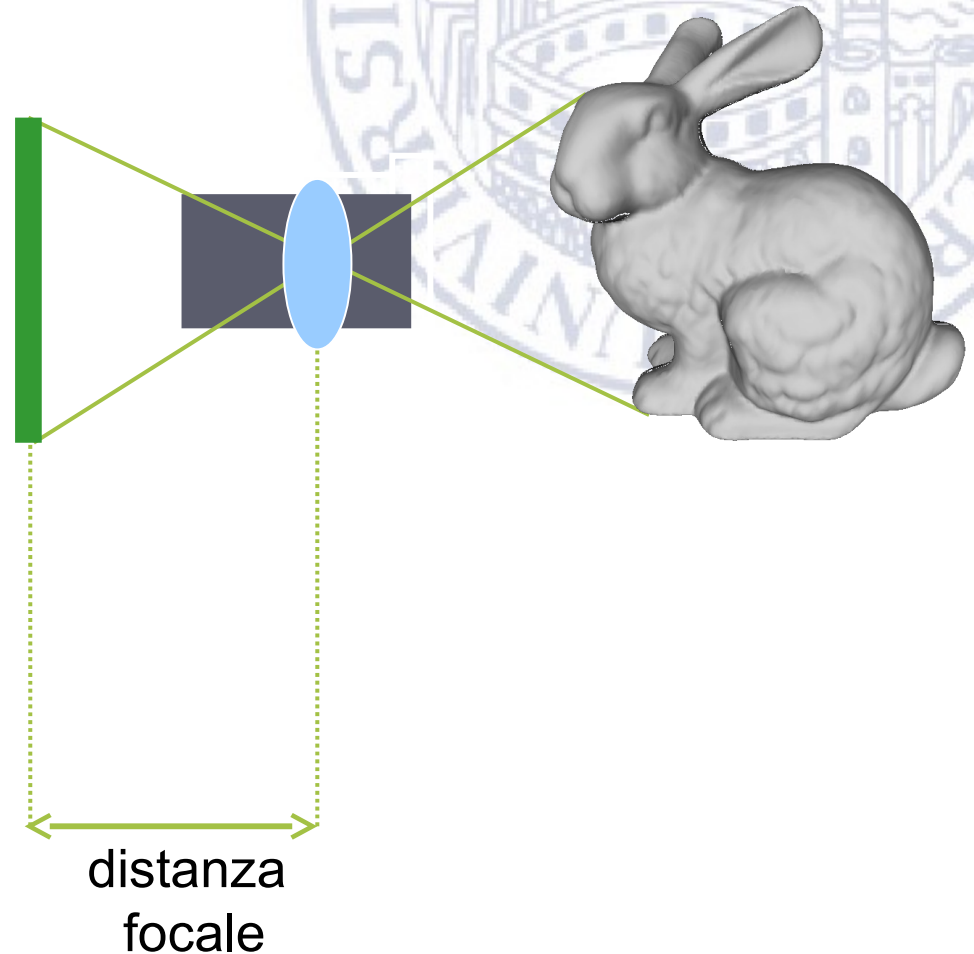
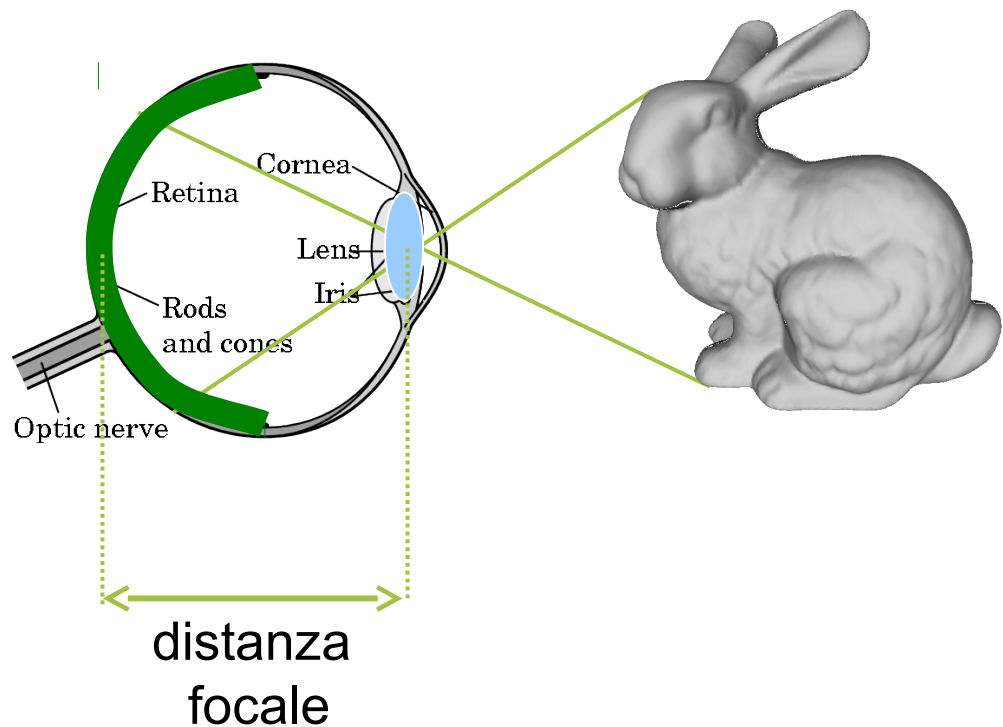


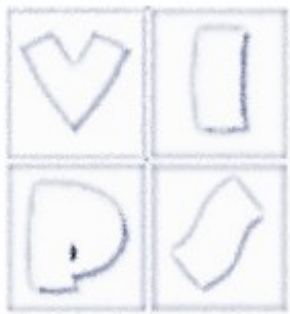
# Rendering

- Il termine rendering indica la serie di algoritmi, geometrici e non, a cui si sottopone una data descrizione di una serie di oggetti per ottenere una immagine
- Dovrebbe quindi simulare la fisica della formazione dell'immagine
- Se il dispositivo di output è 2D, il processo di rendering 3D è assimilabile al processo di formazione di un'immagine da parte di un sistema ottico, quale ad esempio una macchina fotografica
- La visualizzazione consiste nel creare una particolare vista della scena 3D (relazione scena/osservatore)

# Il mondo in tre dimensioni

- Il processo di formazione dell'immagine in un sistema ottico





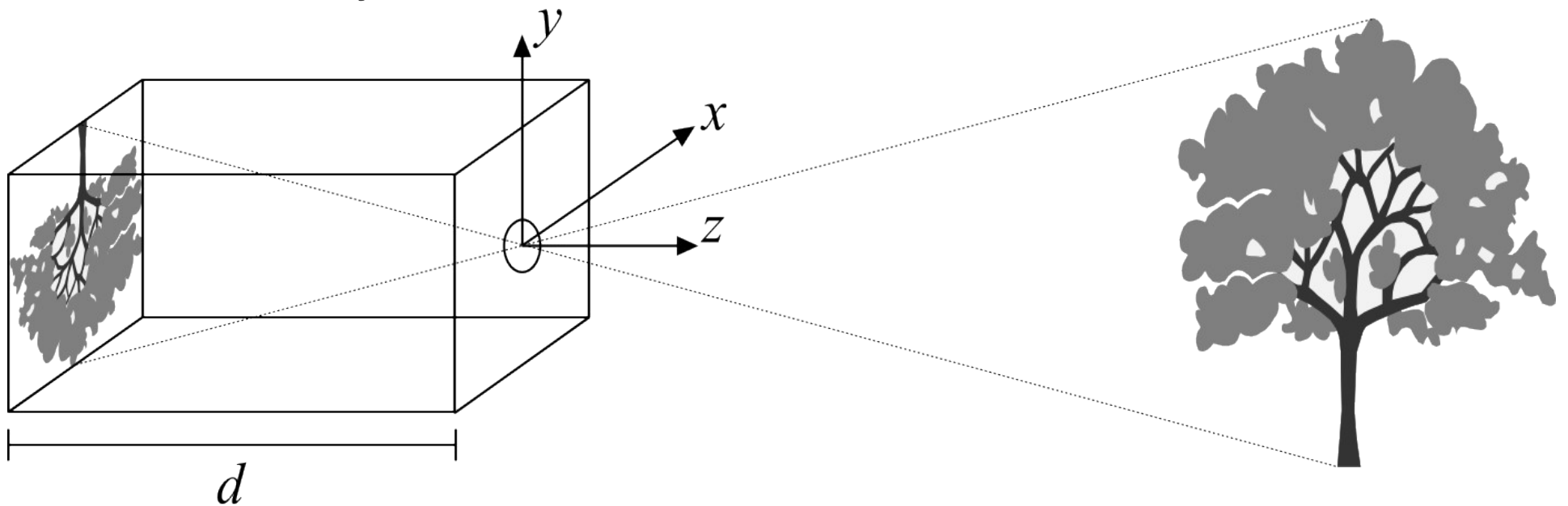
# Il mondo in tre dimensioni

- Per effettuare il rendering si deve creare una vista e la definizione del modello nel mondo dell'applicazione è indipendente dalla posizione di osservazione della scena (gli oggetti nel mondo reale sono indipendenti dalle fotografie scattate loro)
- In un sistema grafico, quindi, le funzioni destinate alla modellazione (definizione del mondo dell'applicazione) ed al posizionamento della macchina (dell'osservatore) all'interno della scena sono distinte e separate



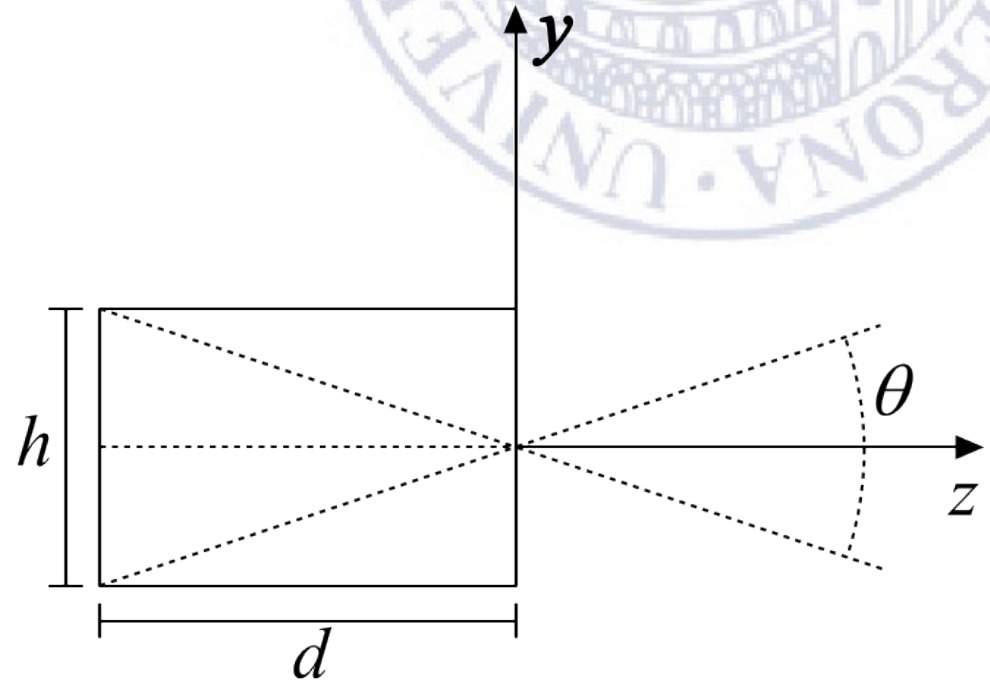
# La macchina fotografica virtuale

- La metafora utilizzata per descrivere le relazioni scena/osservatore è quella della macchina fotografica virtuale (synthetic camera).
- Il modello semplice usato anche in Computer vision è la telecamera pinhole



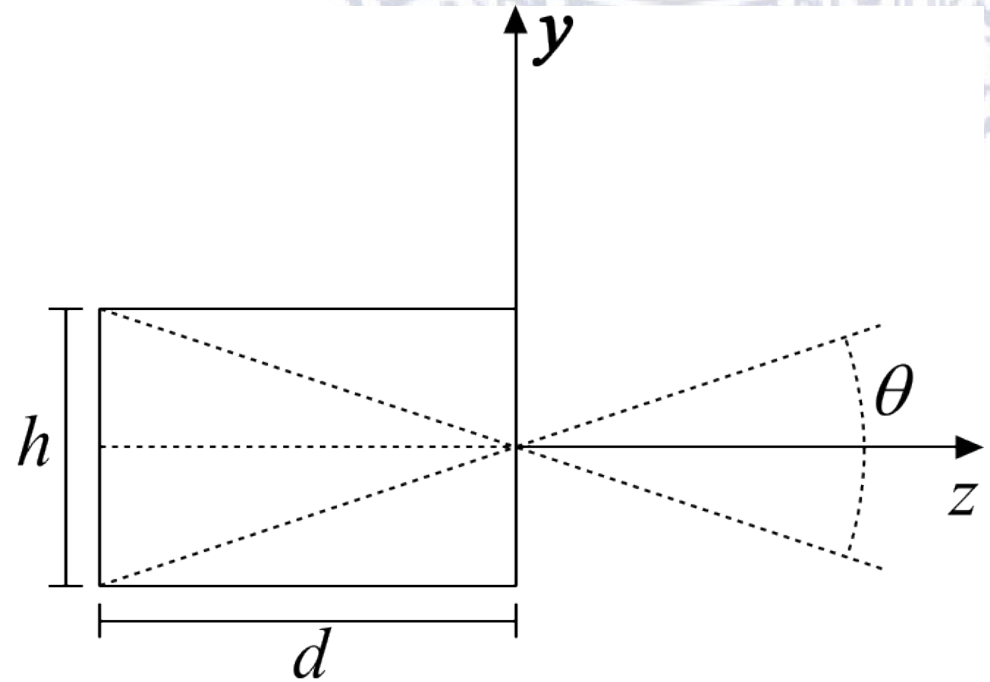
# La macchina fotografica virtuale

- La macchina fotografica virtuale è costituita da un parallelepipedo in cui la faccia anteriore presenta un foro di dimensioni infinitesime (pinhole camera) e sulla faccia posteriore si formano le immagini



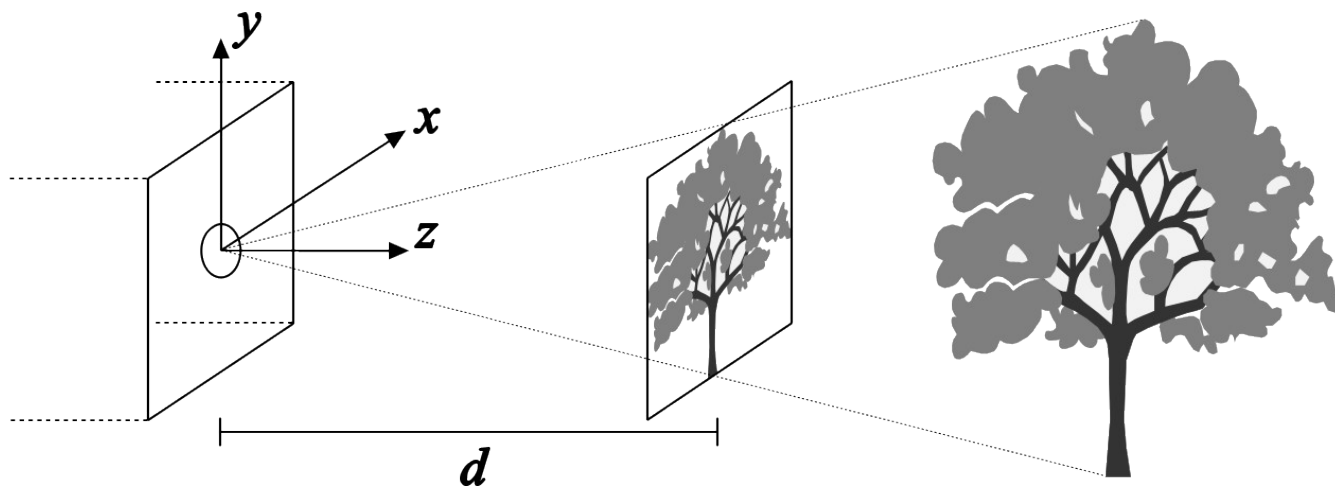
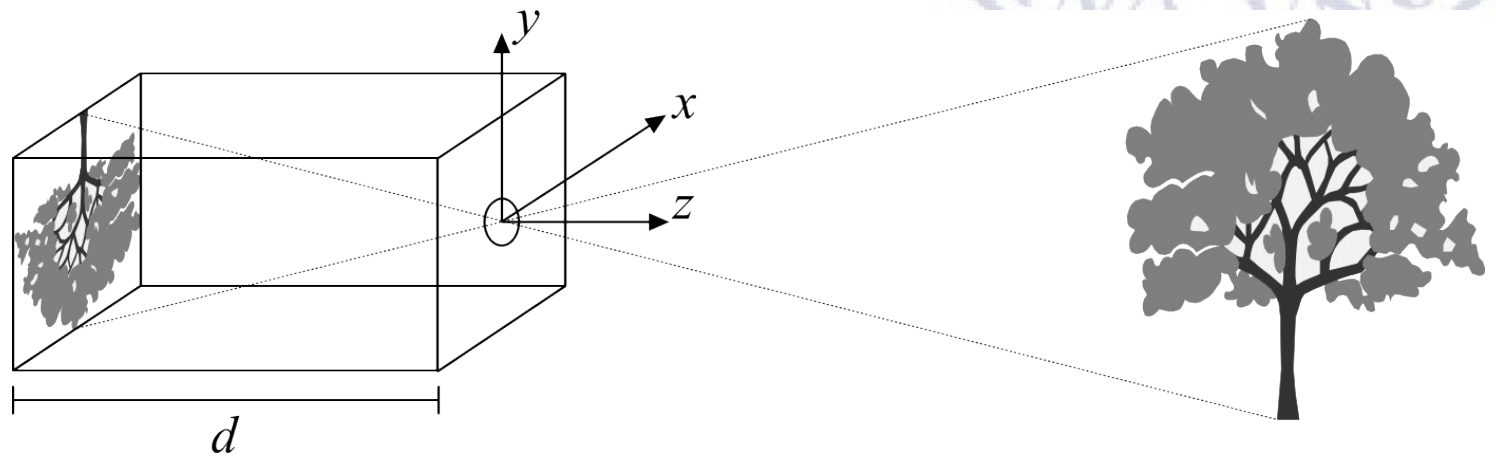
# La macchina fotografica virtuale

- Immagini nitide, nessun problema di luminosità, l'angolo di vista può essere modificato variando il rapporto tra la distanza focale ( $d$ ) e la dimensione del piano immagine

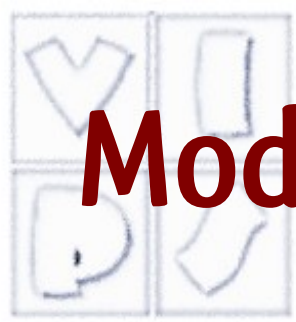


# La macchina fotografica virtuale

- Per convenzione (e maggiore semplicità) si assume l'esistenza di un piano immagine tra la scena ed il centro di proiezione







# Modello di formazione dell'immagine

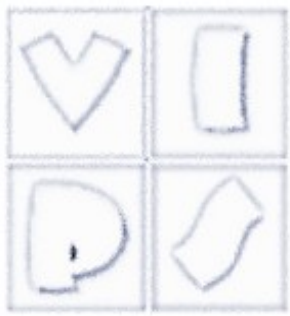
- La relazione che lega i punti 3D ai punti sul piano in questa ipotesi è data dalla proiezione prospettica. Con semplici ragionamenti sui triangoli simili si ha che la proiezione di un punto  $P(x, y, z)$  è data da
  - $x' = -d x/z$  oppure  $x' = dx/z$  per il piano immagine davanti
  - $y' = -d y/z$  oppure  $y' = dy/z$
- In forma matriciale si può effettuare la proiezione prospettica, applicando ai punti rappresentati da  $P = (x, y, z, 1)$ , la matrice di proiezione prospettica  $3 \times 4$ :

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/d & 0 \end{pmatrix}$$



# Proiezione prospettica

- La proiezione  $P_0$  del punto  $P$  sul piano vista si trova in 2 passi:
  - Si applica a  $P$  la matrice  $M$  ottenendo una 3-pla  $\tilde{P} = (x, y, -z/d)$ ; da notare che non rappresenta un punto in coordinate omogenee 2D secondo la nostra definizione (la terza componente non è pari a 1)
  - Si “normalizza”  $\tilde{P}$  dividendo le sue componenti per la terza ed ottenendo  $P' = (-xd/z, -yd/z, 1)$  che rappresenta in coordinate omogenee il punto di coordinate cartesiane  $P' = (-xd/z, -yd/z)$
  - $P_0$  è la proiezione di  $P$  sul piano vista.
- La divisione prospettica (o normalizzazione proiettiva) indica il passaggio da coordinate omogenee a coordinate cartesiane e consiste nel dividere per l'ultima coordinata e rimuovere l'1
- Si perde l'informazione di profondità:, punti con  $z$  diversa sono proiettati nello stesso punto sul piano proiettivo

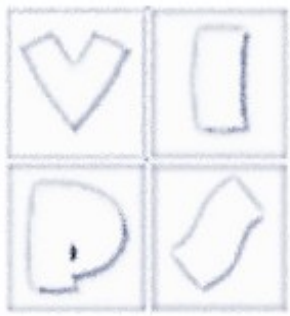


# Trasformazioni di proiezione

- Si dice proiezione una trasformazione geometrica con il dominio in uno spazio di dimensione  $n$  ed il codominio in uno spazio di dimensione minore (es.  $n-1$ ):

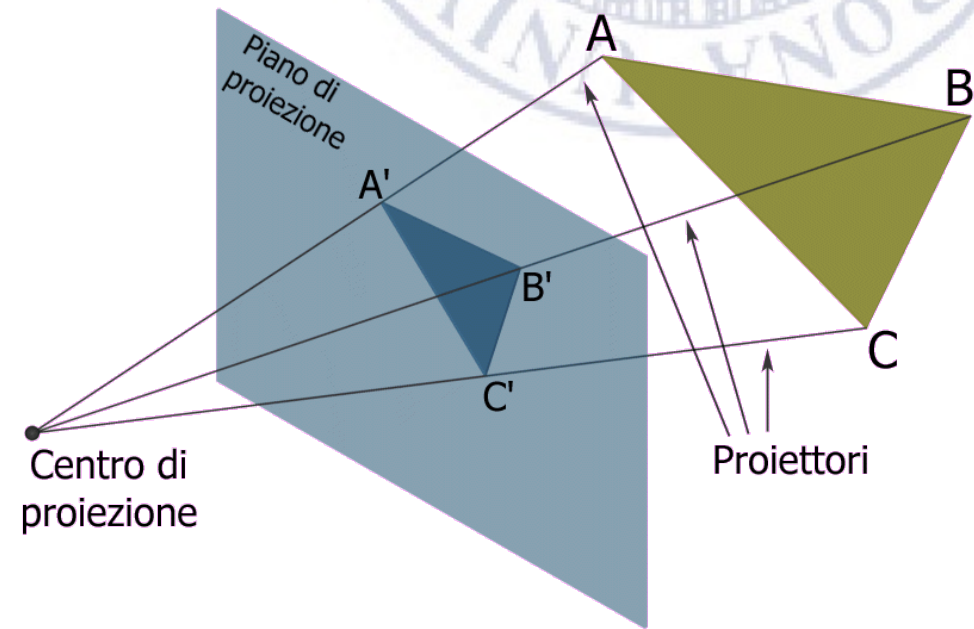
$$f : R^n \rightarrow R^m \quad m < n$$

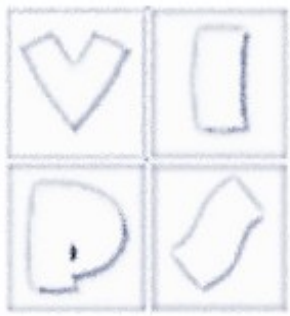
- In computer graphics le trasformazioni di proiezione utilizzate sono quelle dallo spazio 3D (il mondo dell'applicazione) al 2D (la superficie del dispositivo di output)



# Trasformazioni di proiezione

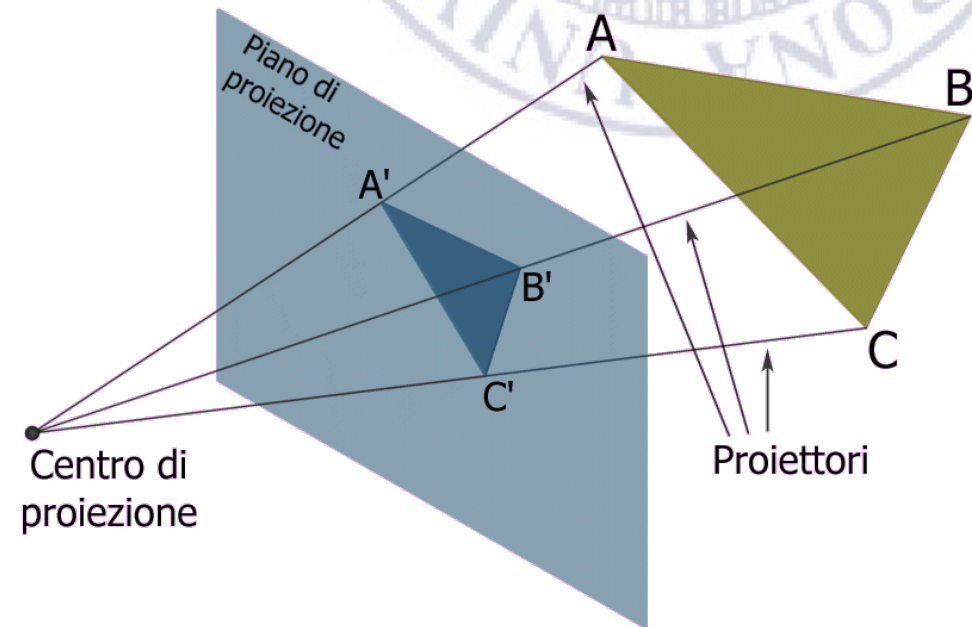
- Da un punto di vista geometrico, la proiezione è definita per mezzo di un insieme di rette di proiezione (i proiettori) aventi origine comune in un centro di proiezione, passanti per tutti i punti dell'oggetto da proiettare ed intersecanti un piano di proiezione

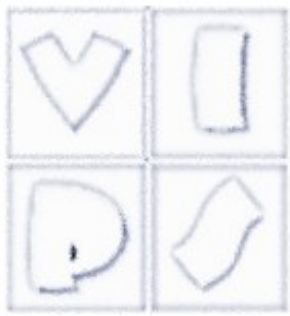




# Trasformazioni di proiezione

- La proiezione di un segmento è a sua volta un segmento
- Non è quindi necessario calcolare i proiettori di tutti i punti di una scena, ma solo quelli relativi ai vertici delle primitive che la descrivono



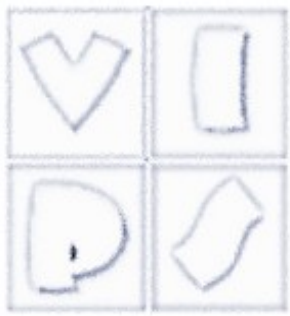


# Trasformazioni di proiezione

- Le proiezioni caratterizzate da:
  - proiettori rettilinei (potrebbero essere curve generiche)
  - proiezione giacente su un piano (potrebbe essere su una superficie generica)

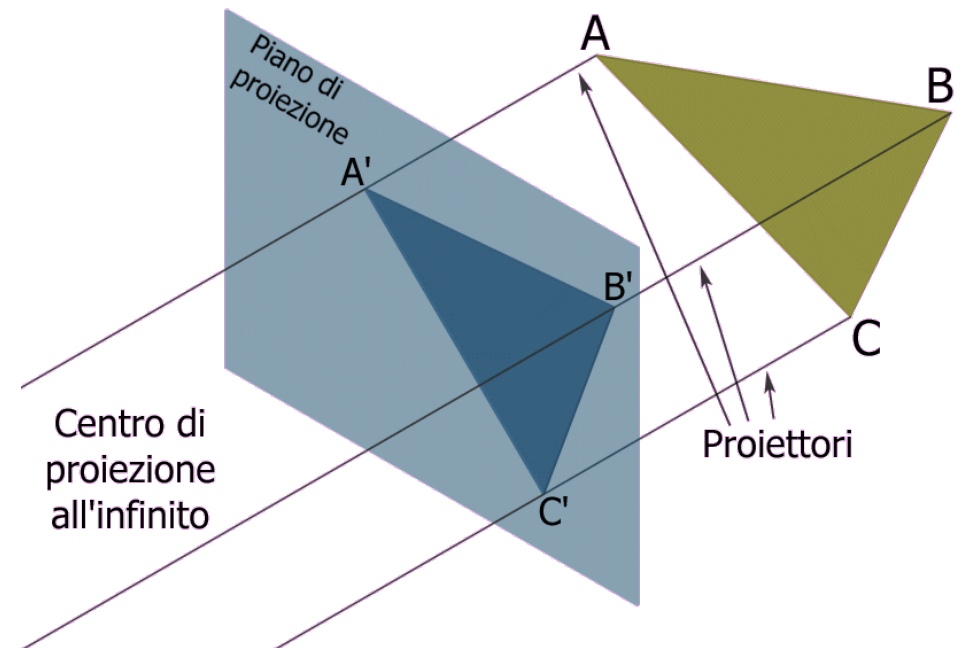
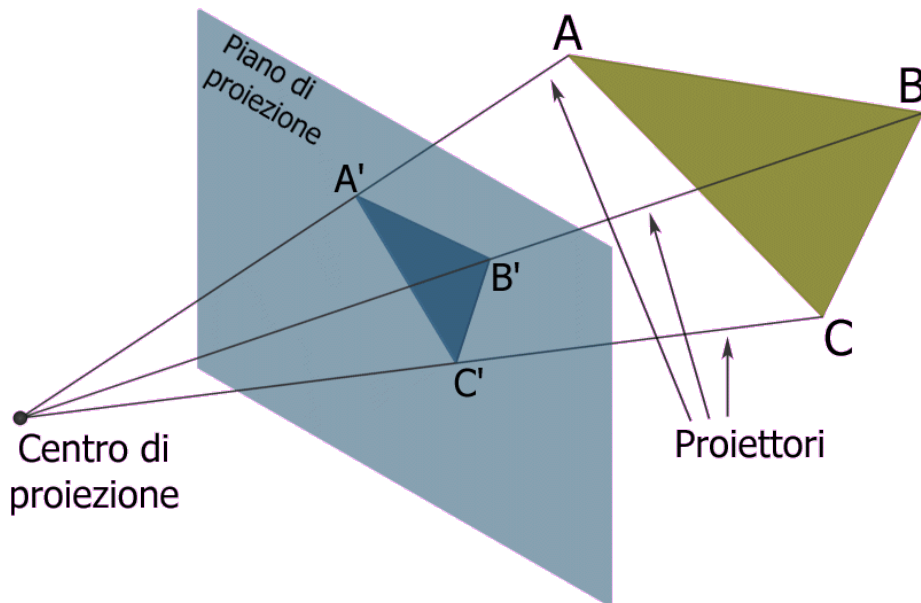
prendono il nome di proiezioni geometriche piane

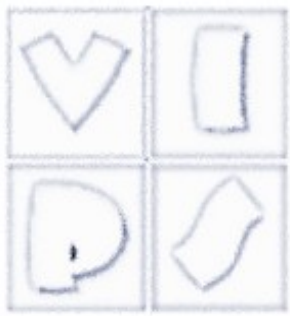
- Molte delle proiezioni cartografiche, per esempio, non sono proiezioni geometriche piane



# Trasformazioni di proiezione

- Le proiezioni geometriche piane si classificano in:
  - Proiezioni **prospettiche** (distanza finita tra il centro ed il piano di proiezione)
  - Proiezioni **parallele** (distanza infinita tra il centro ed il piano di proiezione)





# Trasformazioni di proiezione

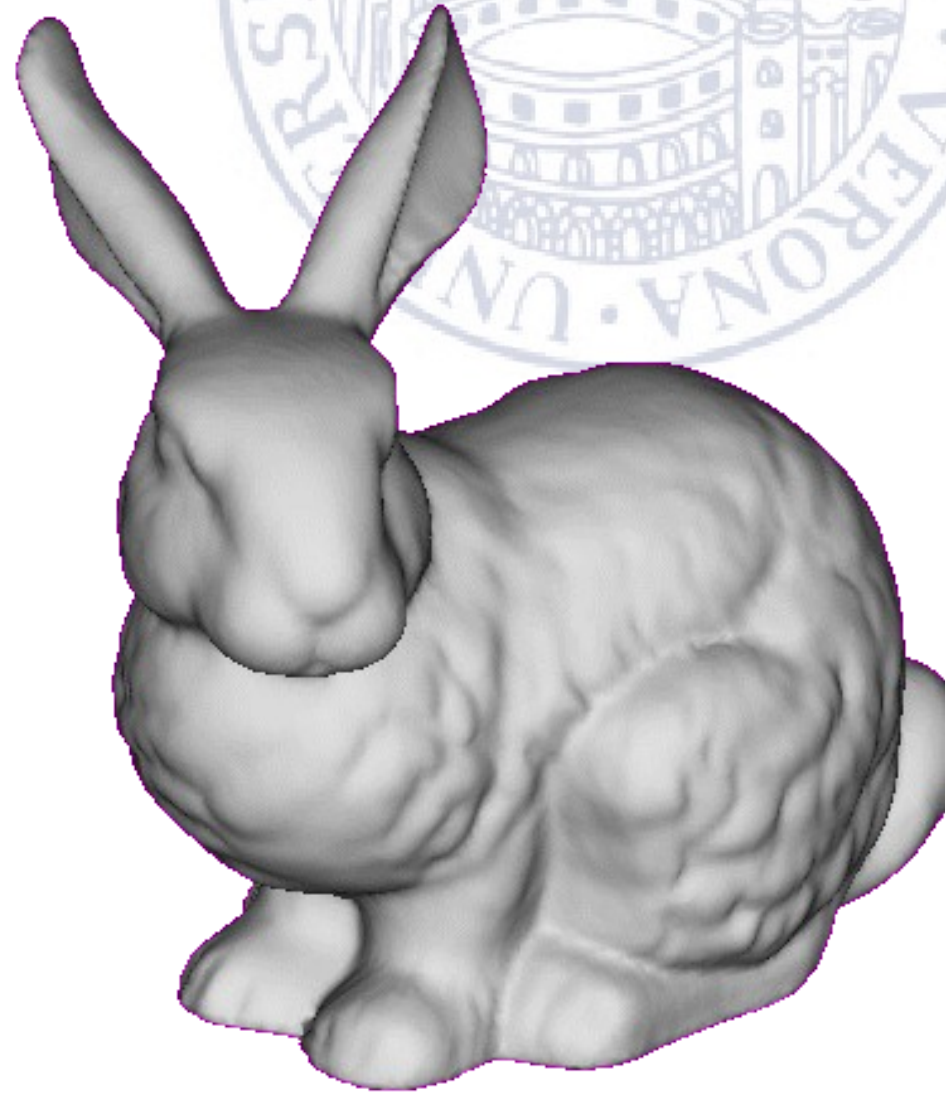
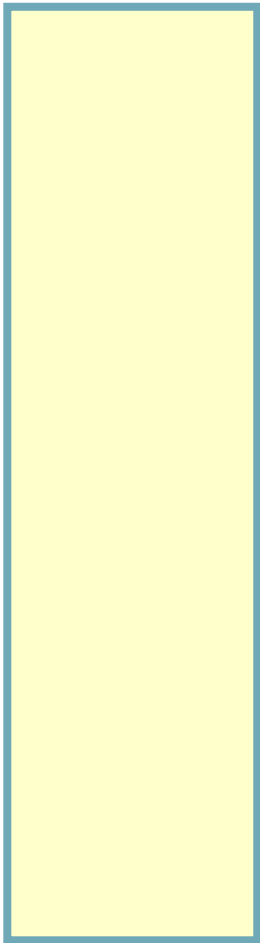
- Le proiezioni parallele prendono il nome dai proiettori che sono, appunto, tra loro tutti paralleli
- Mentre per una proiezione prospettica si specifica un centro di proiezione, nel caso di proiezione parallela si parla di direzione di proiezione
- La proiezione prospettica è più realistica della parallela in quanto riproduce la visione reale (gli oggetti appaiono di dimensione decrescenti via via che ci si allontana dall'osservatore)



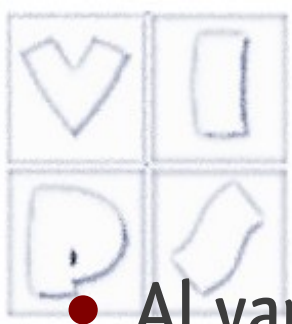
# Proiezioni prospettiche



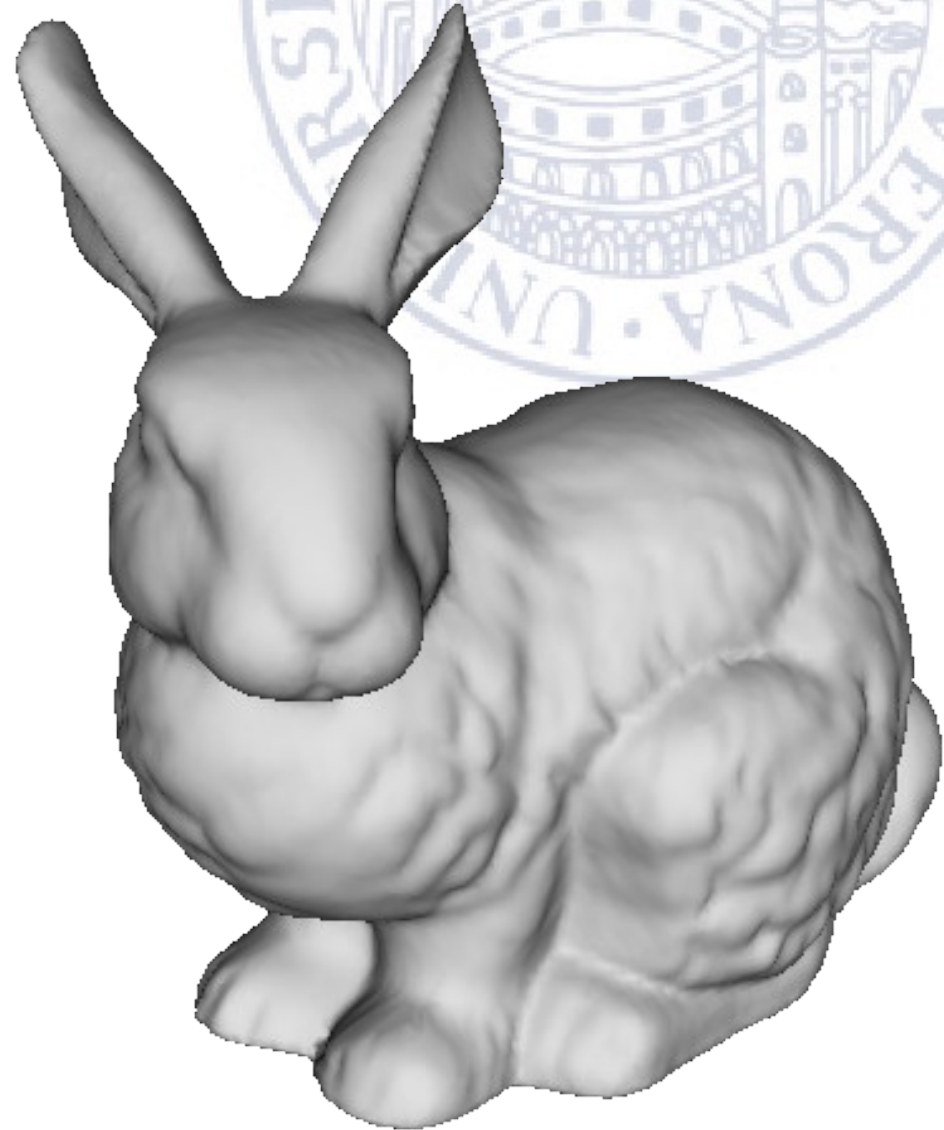
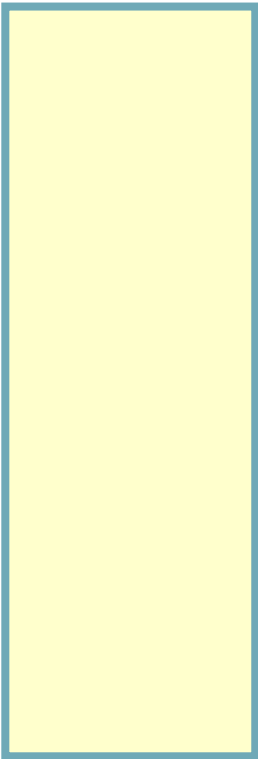
- Al variare della distanza focale ( $d$ )



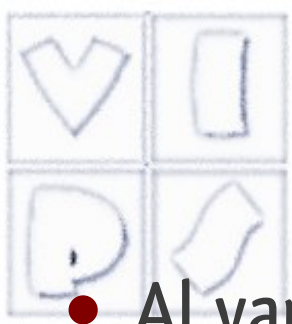
# Proiezioni prospettiche



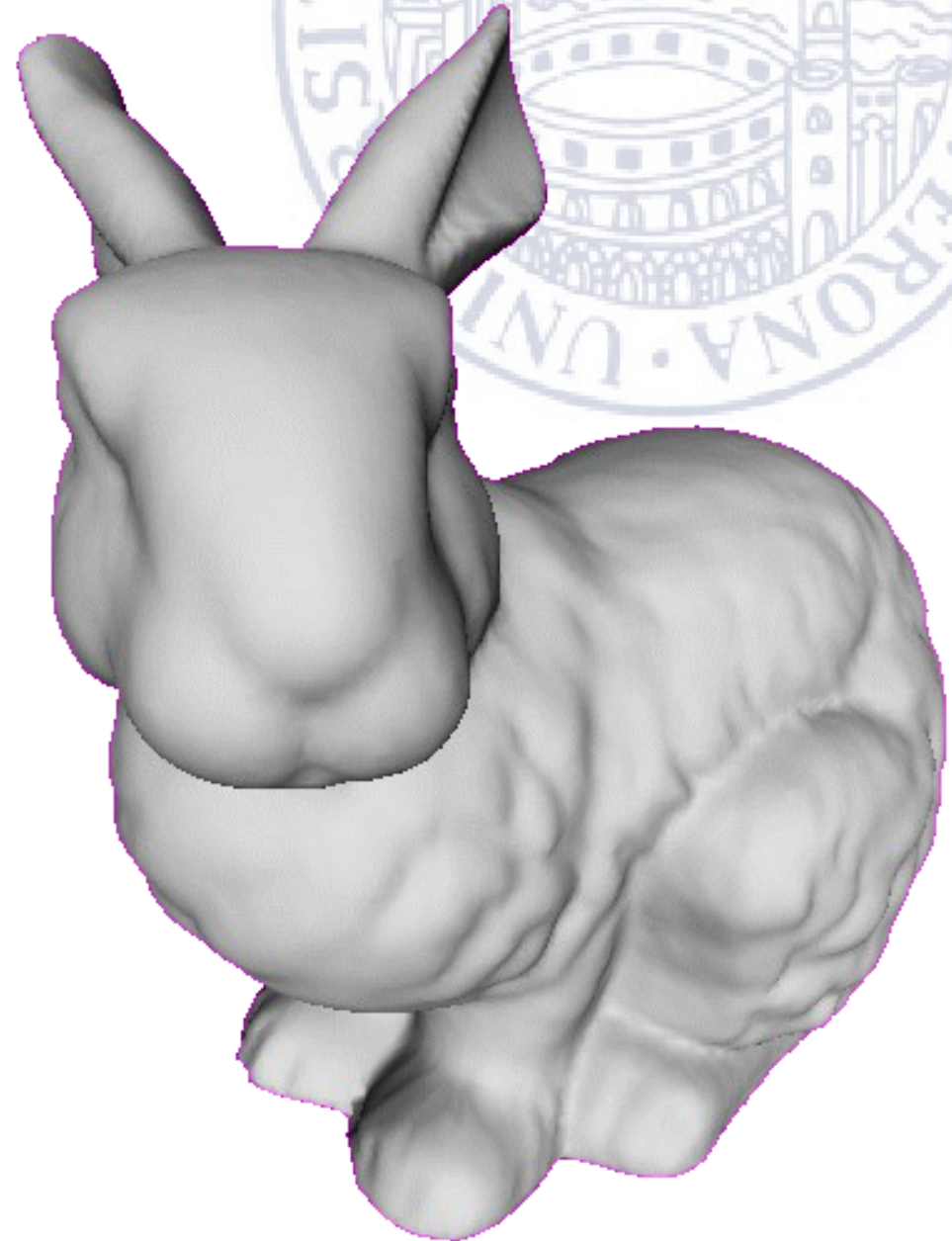
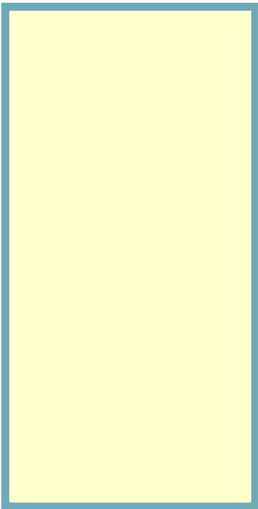
- Al variare della distanza focale ( $d$ )



# Proiezioni prospettiche



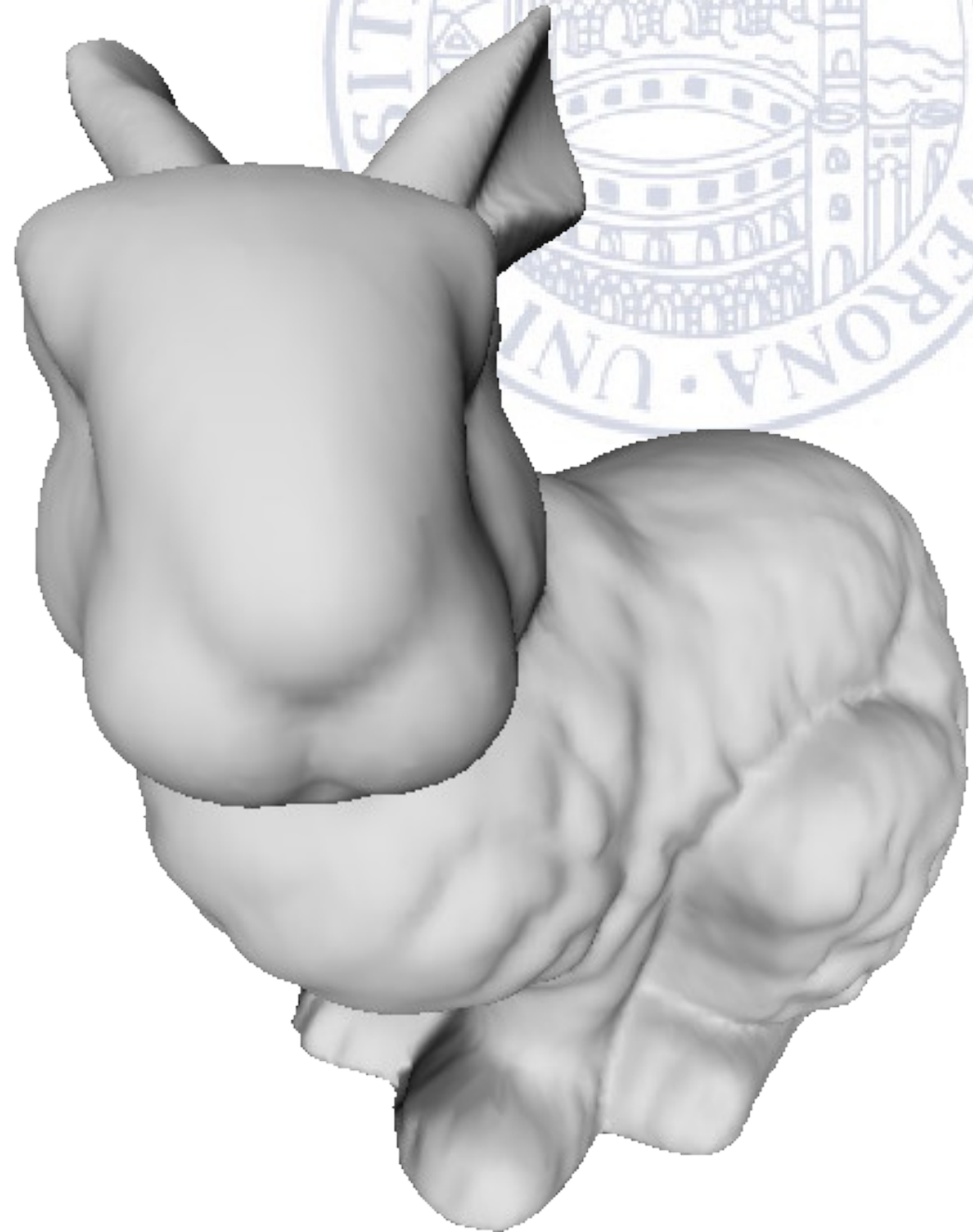
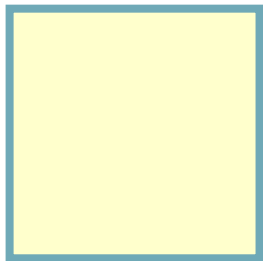
- Al variare della distanza focale ( $d$ )



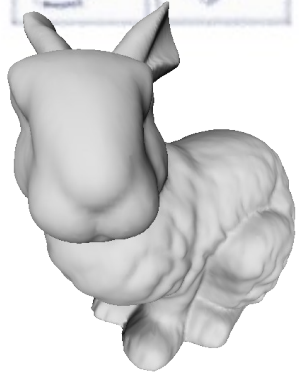
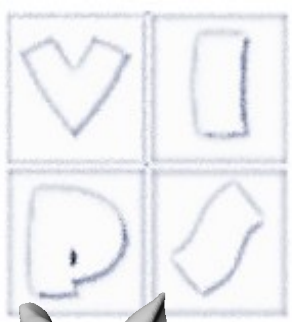
# Proiezioni prospettiche



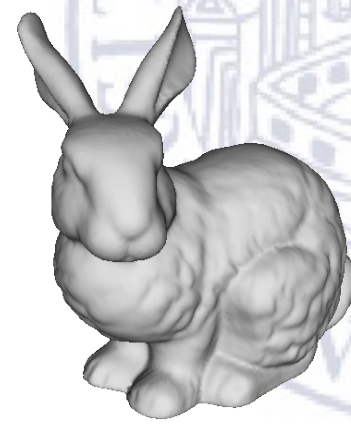
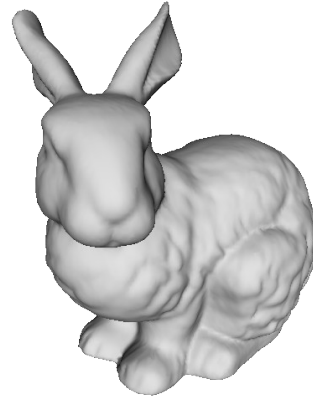
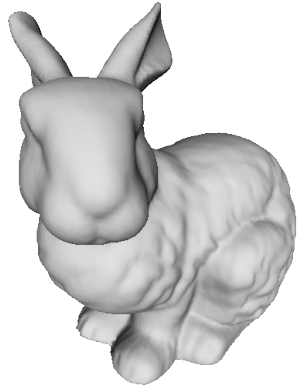
- Al variare della distanza focale ( $d$ )



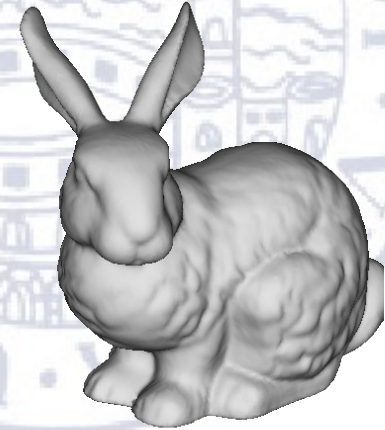
# Proiezioni prospettiche



$d$  piccolo



$d$  grande



$d$  infinito  
(p. parallela)

Più distorsione  
prospettica  
Effetto "*fish-eye*"  
(grandangolo)

Proporzioni  
più mantenute  
Effetto "*zoom*"  
(es. vista  
dal satellite)



# Proiezione parallela

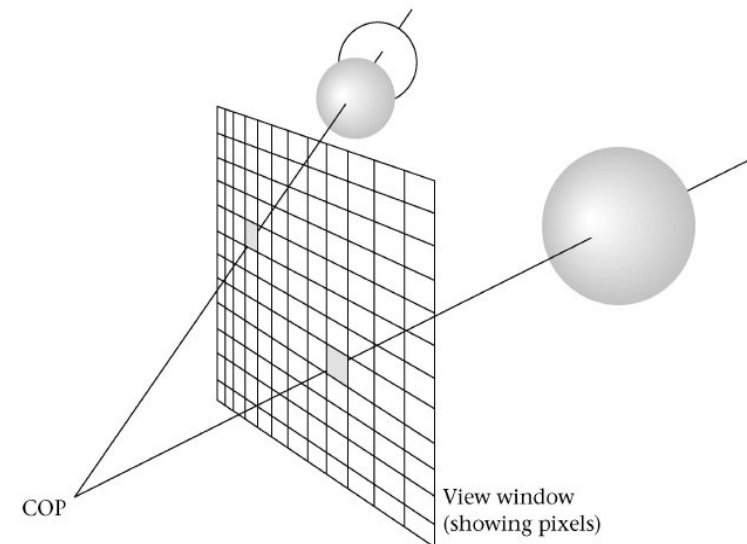
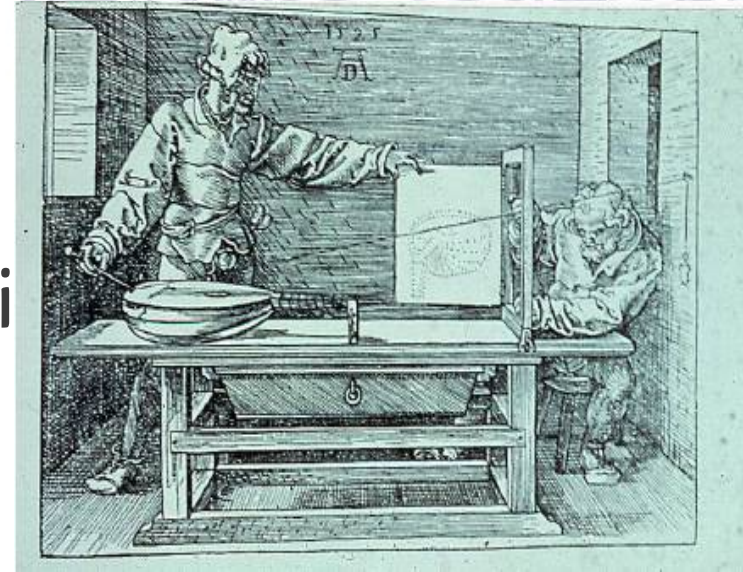
- La proiezione ortogonale (od ortografica) è definita come l'intersezione del piano proiettivo con la retta perpendicolare a tale piano e passante per il punto P che si vuol proiettare
- E' un caso particolare di proiezione parallela
- La proiezione ortogonale di P si ottiene applicando la seguente matrice:

$$M_{\perp} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

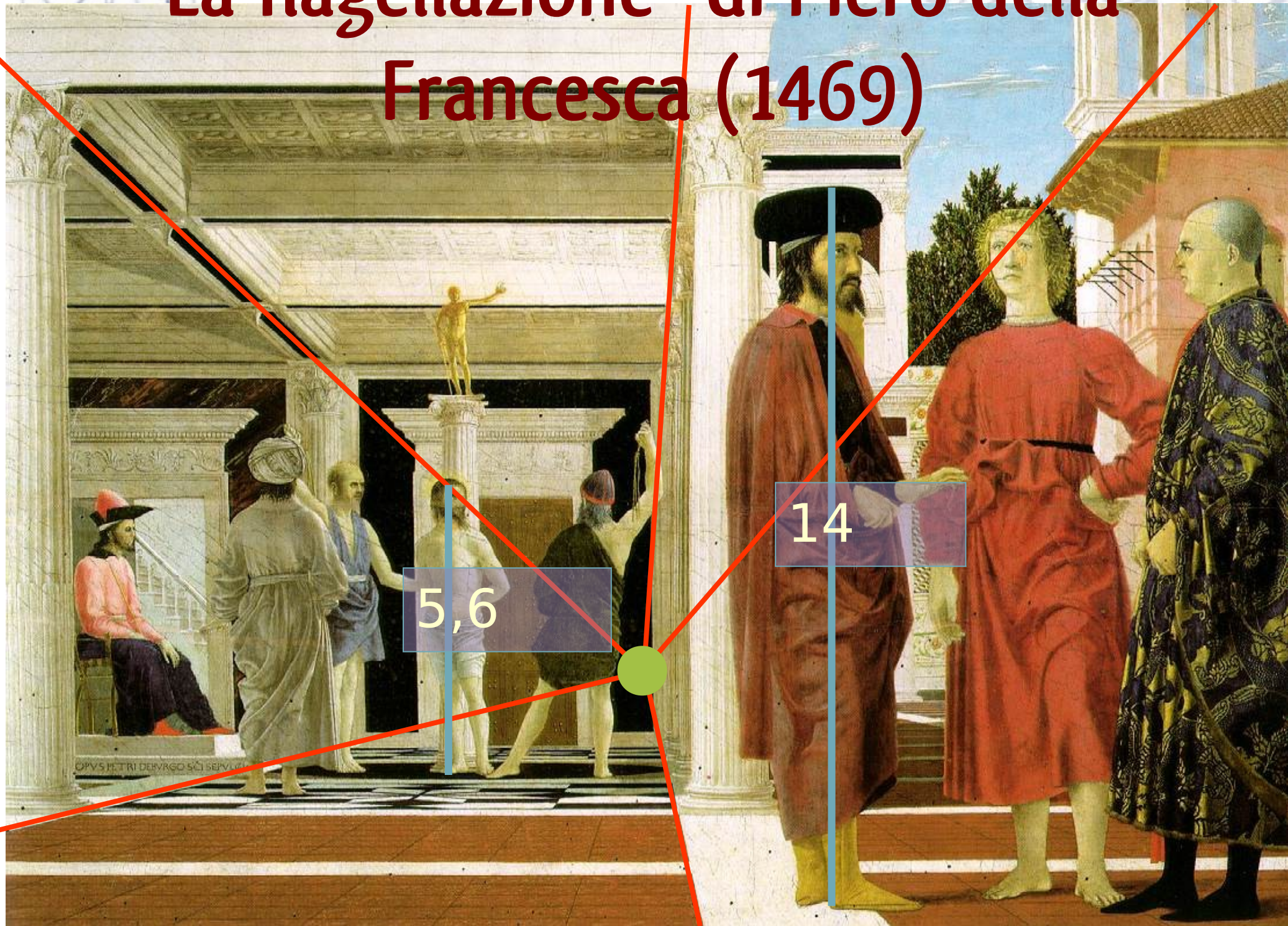
- In sostanza l'effetto della matrice è quello di rimuovere la componente z.

# Algoritmo del pittore/ray casting

- Metodo di formazione dell'immagine intuitivo
- Si fissa un punto di vista o COP (occhio del pittore) ed un rettangolo (tela) su cui si formerà l'immagine (piano immagine).
- Il rettangolo stesso prende il nome di finestra di vista (view window).
- La tela è divisa in celle (pixel), ciascuna delle quali assumerà un colore.
- Si traccia un raggio (raggio ottico) attraverso ciascuna cella e la si dipinge con il colore che si vede lungo il raggio.



# La flagellazione” di Piero della Francesca (1469)





# Algoritmo del pittore/Ray casting

La distanza del piano immagine dal COP e le dimensioni della finestra di vista determinano l'angolo di vista.

- I raggi ottici riempiono una piramide semi-infinita con vertice nel COP e spigoli passanti per i vertici della finestra di vista.
- Questo processo prende il nome di **ray casting** e ricalca il modo in cui Aristotele pensava funzionasse la visione umana.
- Possiamo applicare il ray casting per calcolare le immagini virtuali a partire da tutte le descrizioni dei modelli viste.
- Semplice, ma inefficiente, per via del calcolo delle intersezioni
- Il cuore del processo sarà il calcolo del colore lungo i raggi.
  - Bisogna studiare un modello di illuminazione, che esprime i fattori che determinano il colore di una superficie in un determinato punto.