

# Ειδικά Θέματα Πολυμέσων

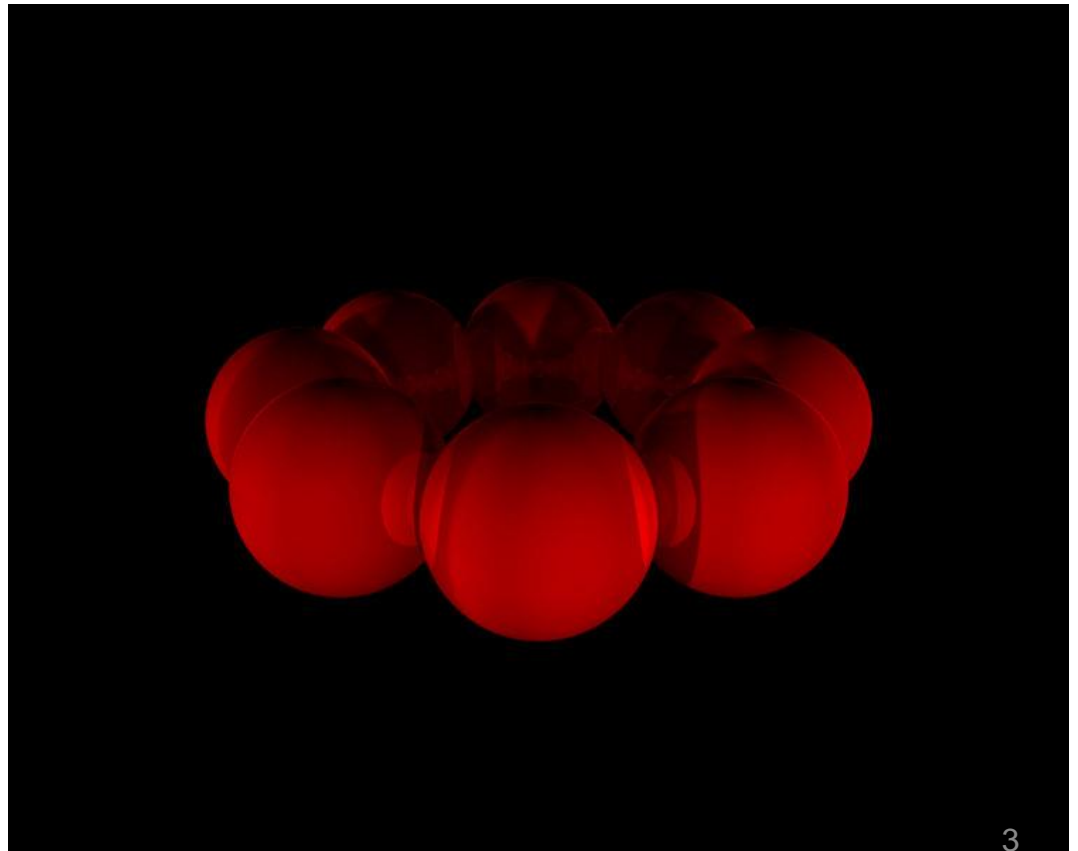
**Διδάσκων:** Μάρκος Ζάμπογλου, Επιστημονικός Συνεργάτης

**Ίδρυμα / Τμήμα:** Τ.Ε.Ι. Κρήτης / Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής

# X3D

- Extensible 3D Graphics: Standard for 3D on the Web
- XML-based
- Μετεξέλιξη της VRML (Virtual Reality Modeling Language) (1994) και της VRML97 (1997)
- Τρέχουσα έκδοση 3.2, τυποποίηση ISO 2007.
- Εξειδικευμένοι browsers (ή browser add-ons) για αρχεία τύπου .x3d
- X3DOM: ενσωμάτωση 3D γραφικών στο HTML5 μέσω WebGL script, –χωρίς browser add-ons!

# Λίγα λόγια για το 3D



# Λίγα λόγια για το 3D

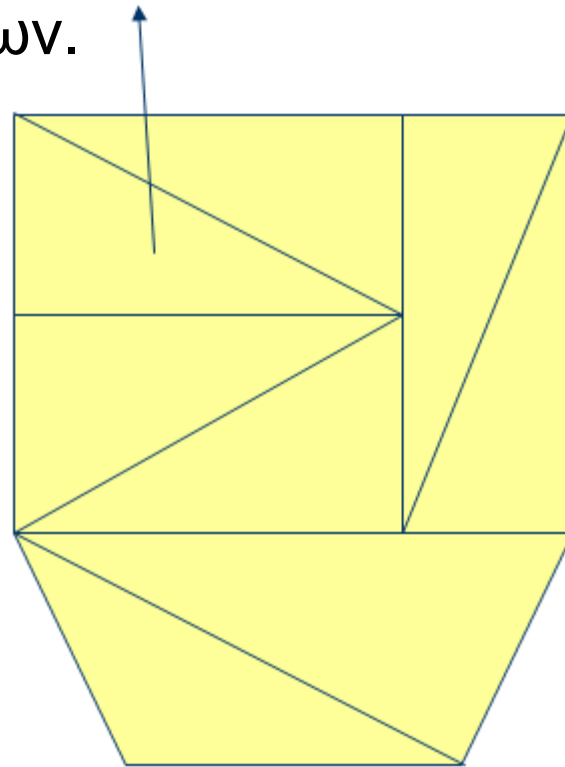
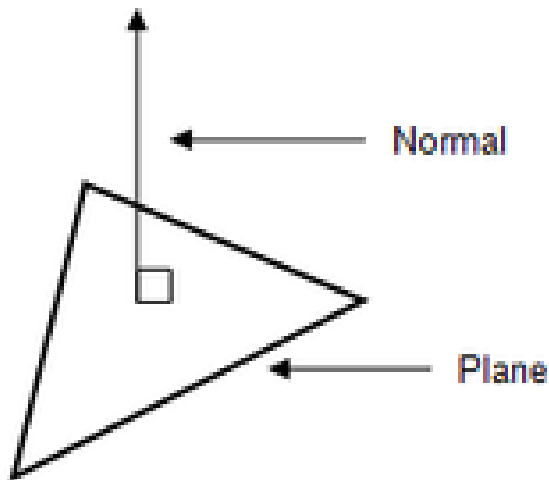
- Model: η τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή επιφάνειας
- Scene: γεωμετρία, οπτική γωνία, υφή, φωτισμός, σκίαση, κίνηση, διαδράσεις.
- Rendering: σύνθεση μιας διδιάστατης εικόνας, ως στιγμιότυπο ενός συνδυασμού τιμών για όλες τις παραμέτρους της σκηνής.

# Modeling

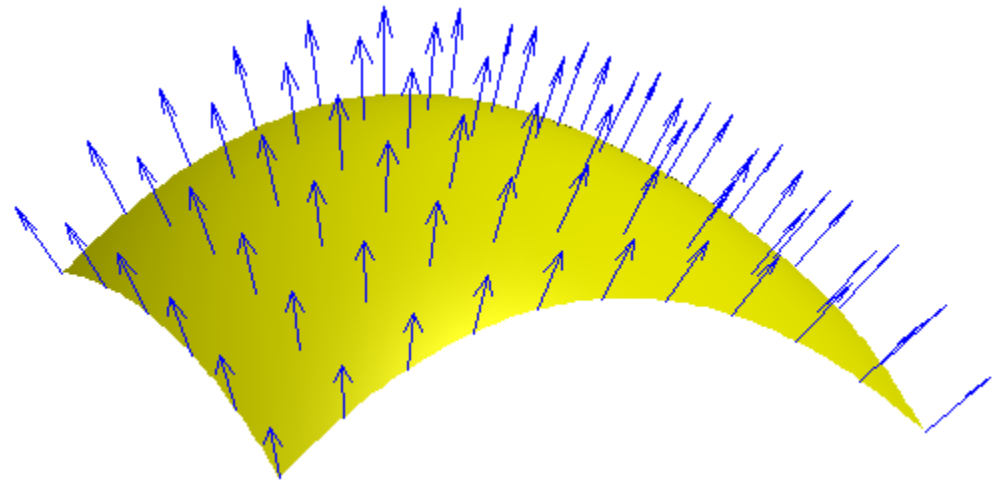
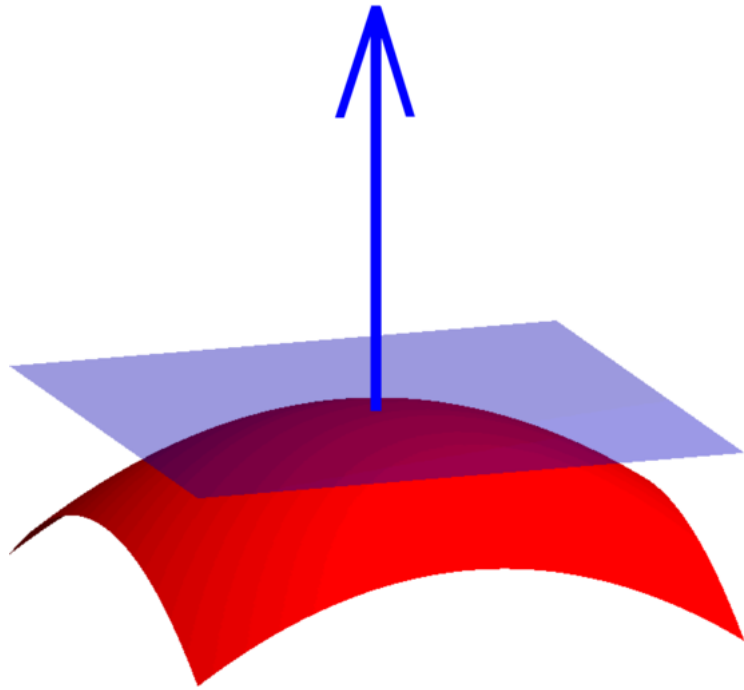
- Polygonal modeling
- Implicit surfaces
- NURBS modeling
- Constructive solid geometry
- Subdivision surfaces

# Polygonal modeling

- Τα αντικείμενα μοντελοποιούνται προσεγγίζοντας τις επιφάνειές τους μέσω πολυγώνων.



# Surface normals



# Implicit surfaces

Αλγεβρικό μοντέλο:

Επιφάνεια που ορίζεται από συνάρτηση

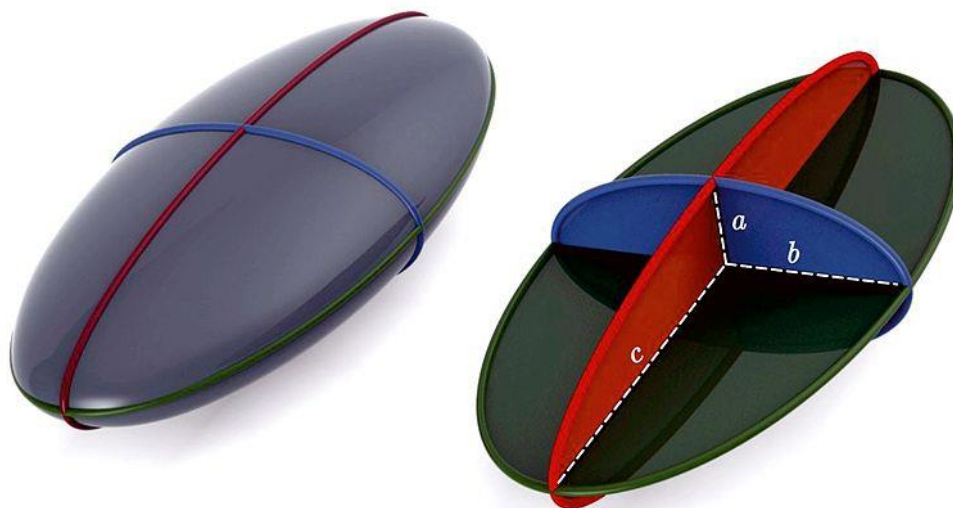
$f(x, y, z) = 0$  (πάνω στην επιφάνεια)

$f(x, y, z) < 0$  (εντός)

$f(x, y, z) > 0$  (εκτός)

Π.χ. ελλειψοειδής:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$



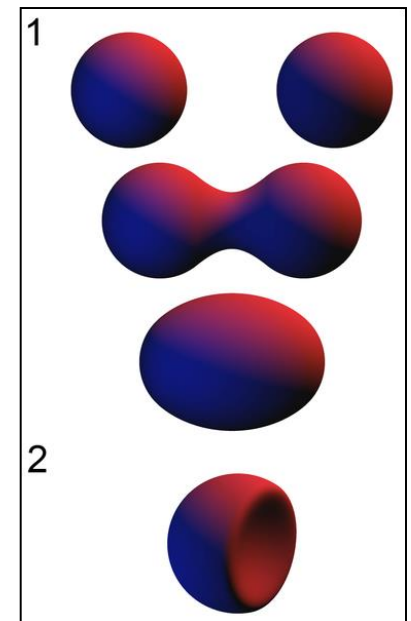
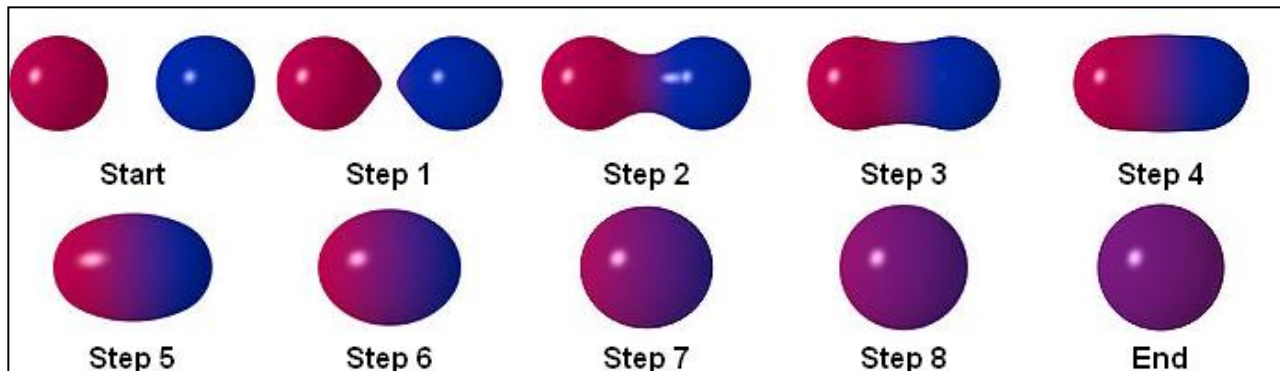
# Implicit surfaces

Blobs-Metaballs:

Organic-looking n-dimensional objects.

Το «εντός» ή «εκτός» καθορίζεται από το άθροισμα των επιμέρους συναρτήσεων.

$$\sum_{i=0}^n \text{metaball}_i(x, y, z) \leq \text{threshold}$$

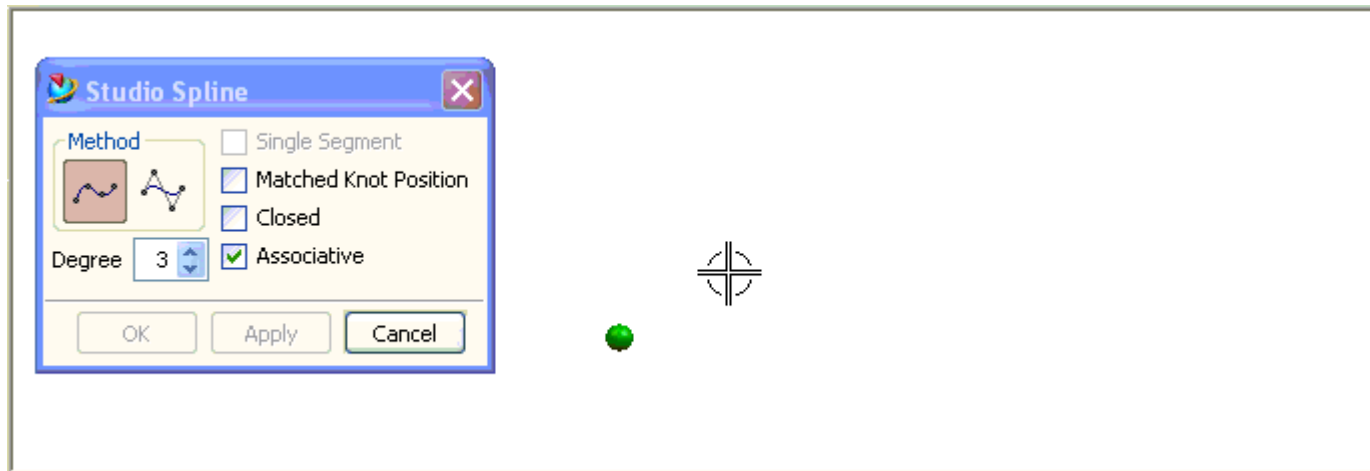


# Implicit surfaces

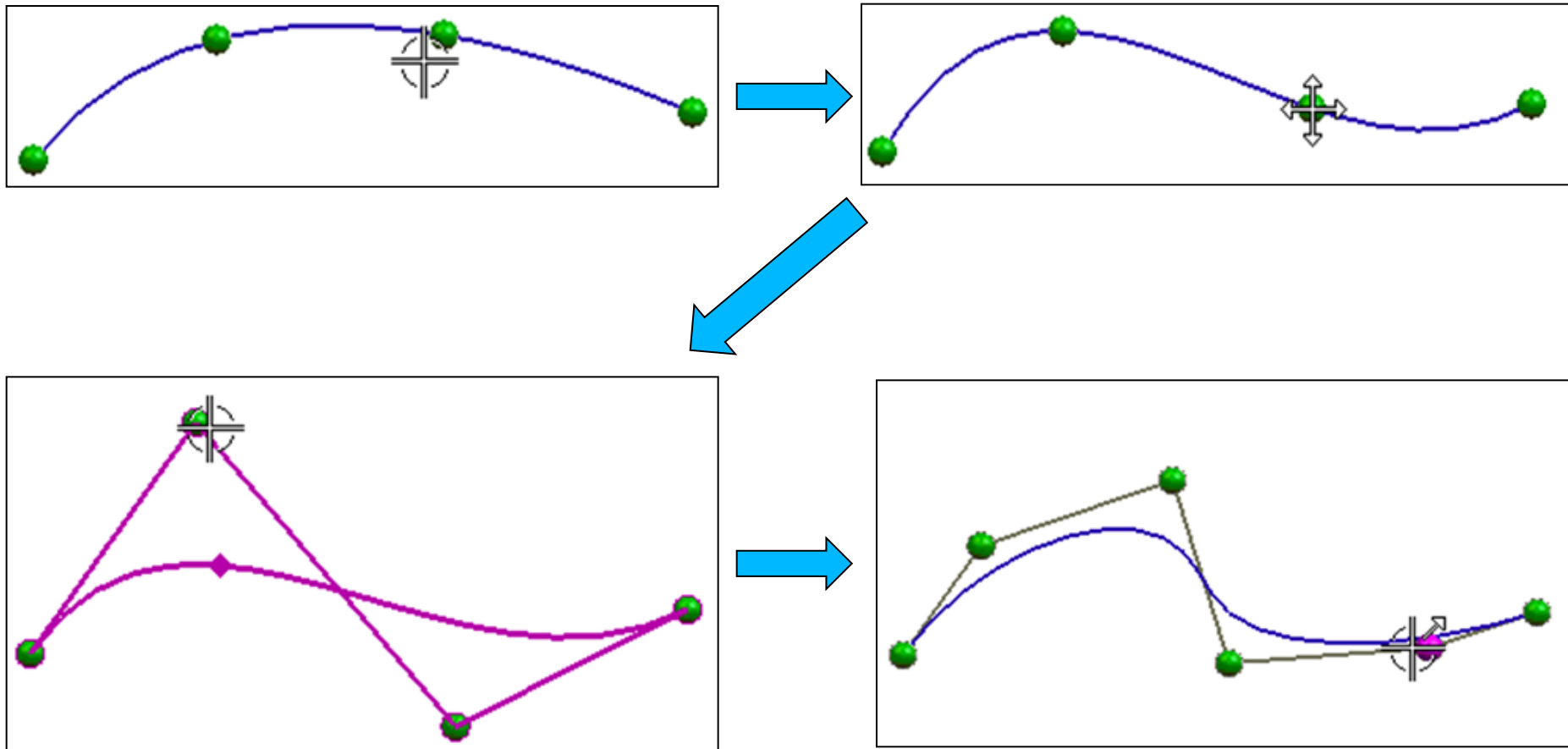
- Άλλες προσεγγίσεις: Skeletons, Procedural, Samples...
- Πλεονεκτήματα:
  - Εύκολη εκτίμηση της θέσης σημείου ως προς την επιφάνεια
  - Γρήγορος υπολογισμός των σημείων τομής με ευθεία
  - Γρήγορος υπολογισμός ένωσης/τομής/αφαίρεσης
  - Απλοποίηση των τοπολογικών μετασχηματισμών με μεταβολή των παραμέτρων
  - Κανένας περιορισμός στο επίπεδο λεπτομέρειας
- Μειονεκτήματα:
  - Έμμεσος προσδιορισμός της επιφάνειας
  - Δύσκολη απαρίθμηση σημείων της επιφάνειας
  - Δύσκολο να ορίσουμε ακμές και οξείες γωνίες
  - **Αργό rendering**

# NURBS (non-uniform, rational B-spline)

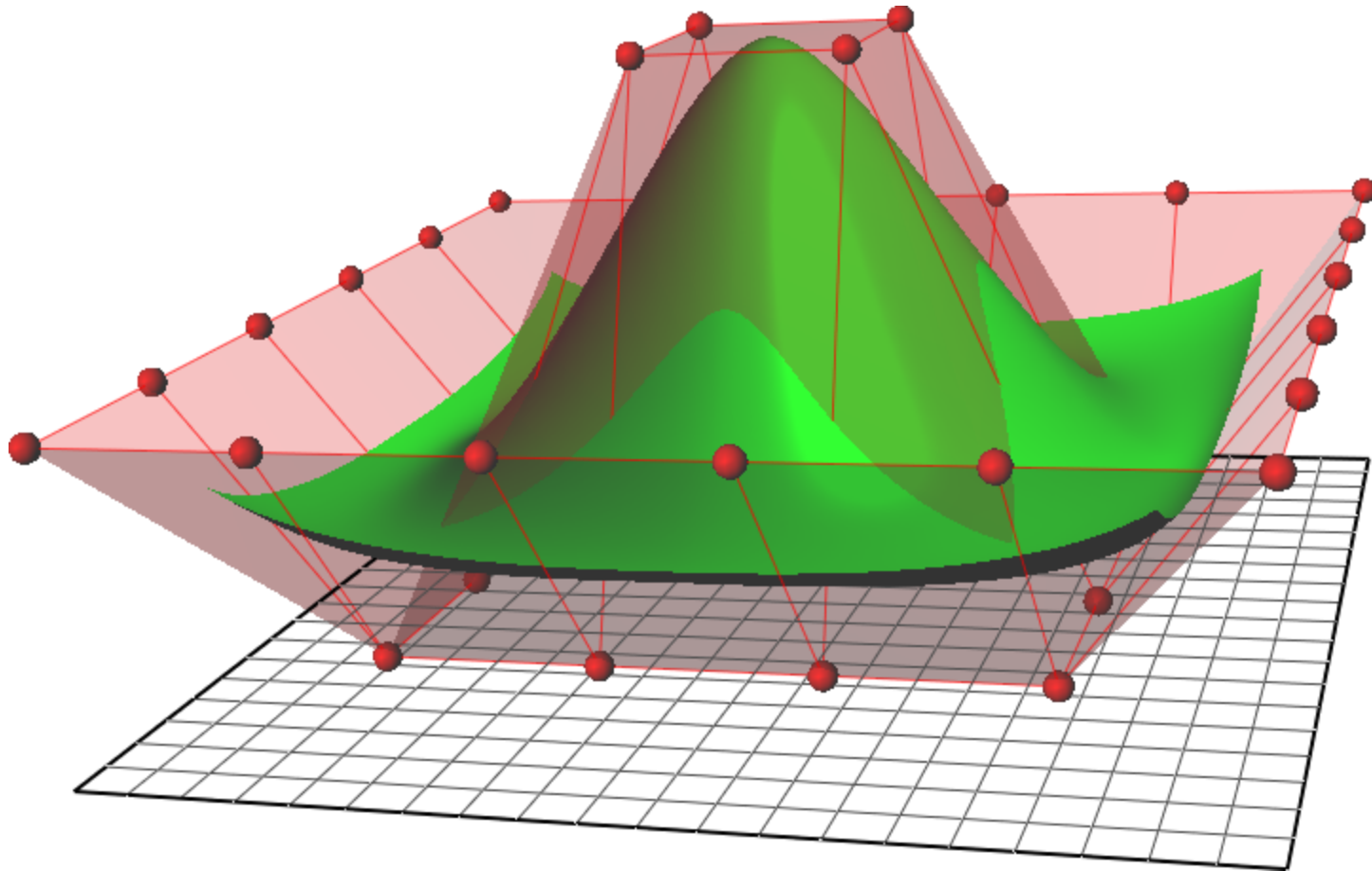
- Συναρτήσεις δύο μεταβλητών που ορίζουν μια επιφάνεια στον τρισδιάστατο χώρο.
- Μία μεταβλητή ορίζει μια καμπύλη:



# NURBS (non-uniform, rational B-spline)



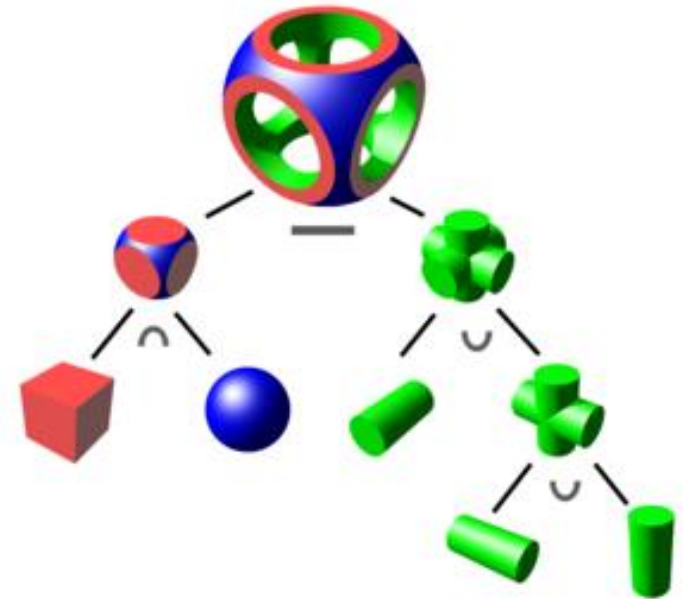
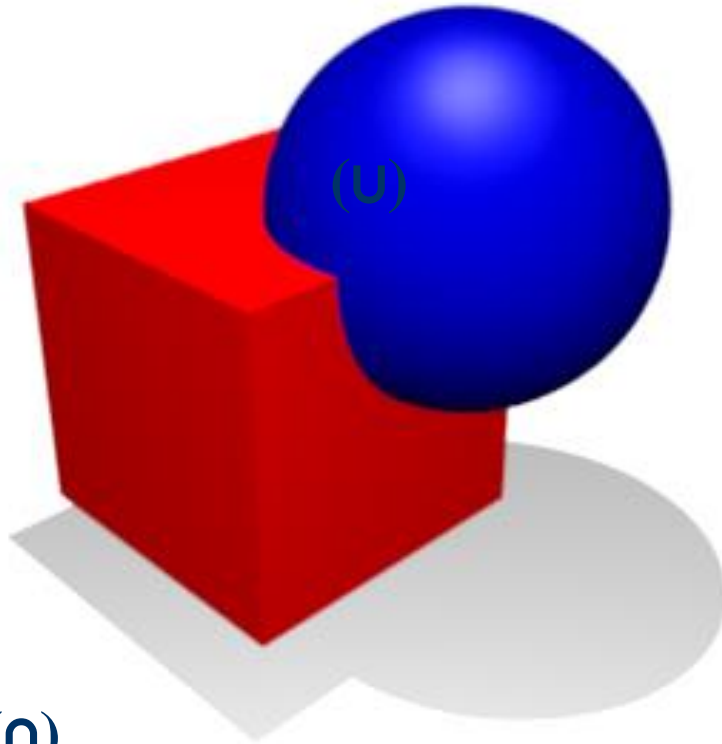
# NURBS (non-uniform, rational B-spline)



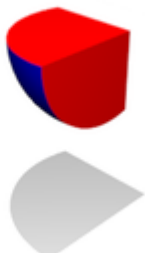
# NURBS (non-uniform, rational B-spline)

- Το σχήμα της επιφάνειας καθορίζεται από σημεία ελέγχου (control points)
- Οι συντεταγμένες κάθε σημείου της επιφάνειας προκύπτουν ως συνάρτηση ενός αριθμού κοντινών σημείων ελέγχου
- Μπορούν ν' απεικονίσουν και τυποποιημένα σχήματα (ευθείες, σφαίρες) και ελεύθερα σχεδιασμένα αντικείμενα, με το ίδιο μαθηματικό πλαίσιο.
- Είναι μια -συγκριτικά- πολύ οικονομική (συνοπτική) απεικόνιση.
- Κανένας περιορισμός στο επίπεδο λεπτομέρειας.

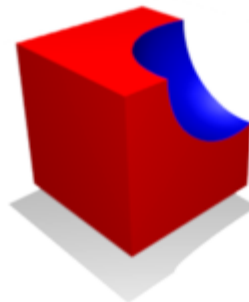
# Constructive solid geometry



(n)



(-)

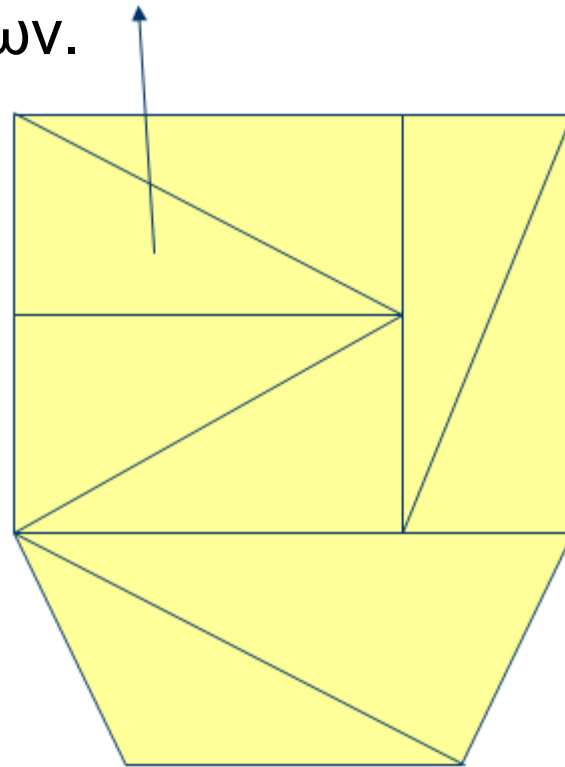
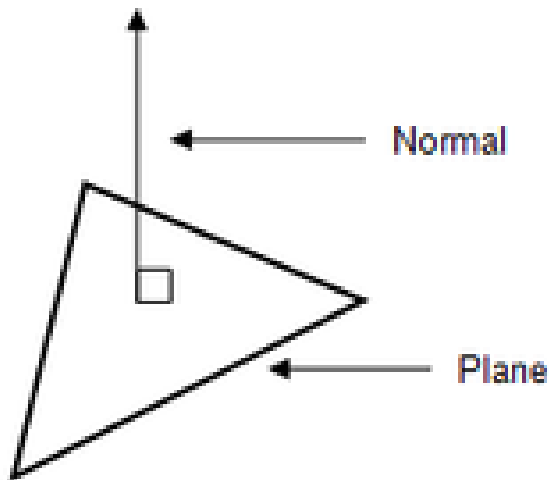


# Constructive solid geometry

- Απλά κυρτά αντικείμενα
  - κύβοι, κύλινδροι, πυραμίδες...
- Ταχύτατος υπολογισμός γεωμετρικών σχέσεων
- «Ευφυής» γεωμετρία –σε αντίθεση με τα «τυφλά» πλέγματα πολυγώνων
- Εκτεταμένη χρήση σε παιχνίδια
  - Half-Life2, Doom 3, Unreal Tournament 2004, multiple XBOX titles

# Polygonal modeling

- Τα αντικείμενα μοντελοποιούνται προσεγγίζοντας τις επιφάνειές τους μέσω πολυγώνων.



# Polygonal modeling

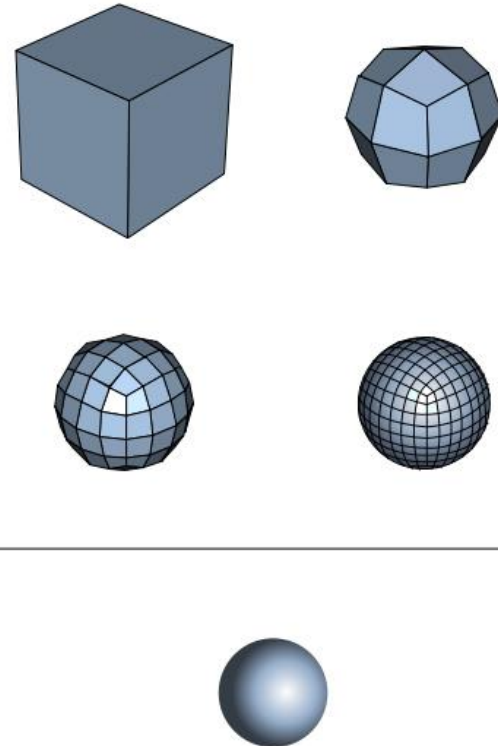
- Τα πολύγωνα δεν είναι απαραίτητα τρίγωνα: μπορεί να είναι και τετράπλευρα (quads)
- Τα διανύσματα κάθετα (normal) στο επίπεδο που ορίζει το πολύγωνο είναι καθοριστικής σημασίας στο rendering

# Polygonal modeling

- Μειονεκτήματα
  - Αδύνατον ν' αναπαρασταθούν επακριβώς οι καμπύλες – χρησιμοποιούμε πολλά μικρά πολύγωνα ως προσέγγιση
  - Για λόγους υπολογιστικού κόστους, συχνά αναγκαζόμαστε να χρησιμοποιούμε διαφορετικά μοντέλα για μικρές και μεγάλες αποστάσεις.
- Πλεονεκτήματα
  - Μπορούμε να εφαρμόσουμε scanline rendering – υψηλή ταχύτητα

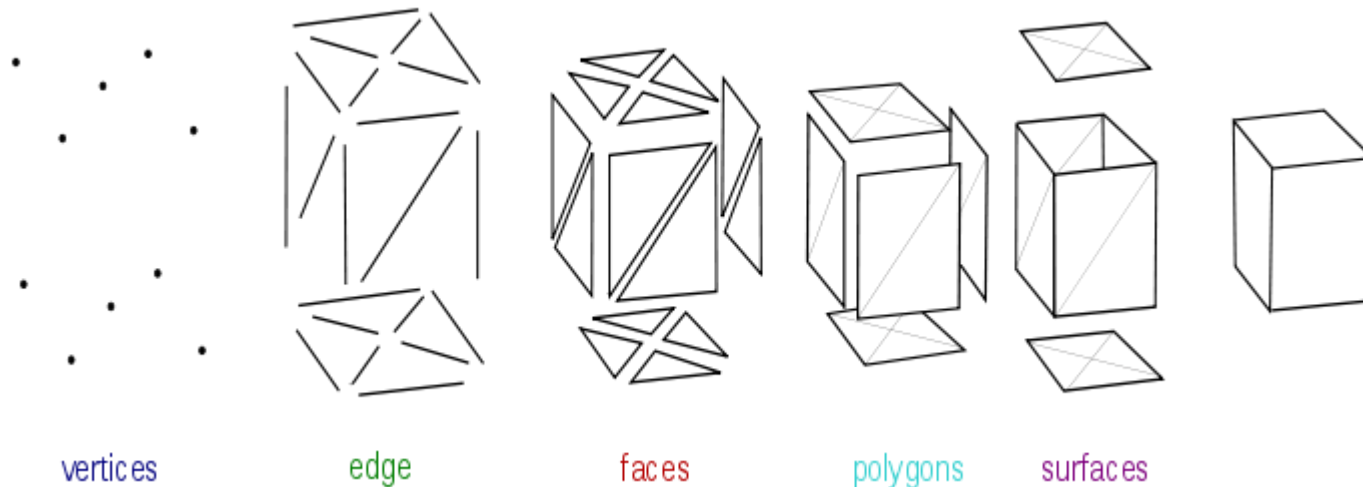
# Subdivision surfaces

- Αναπαράσταση ομαλών επιφανειών μέσω ενός πλέγματος πολυγώνων.
- Επαναληπτική διαδικασία
- Το πλέγμα τείνει στην επιθυμητή ομαλή επιφάνεια
  - ...καθώς οι επαναλήψεις τείνουν στο άπειρο



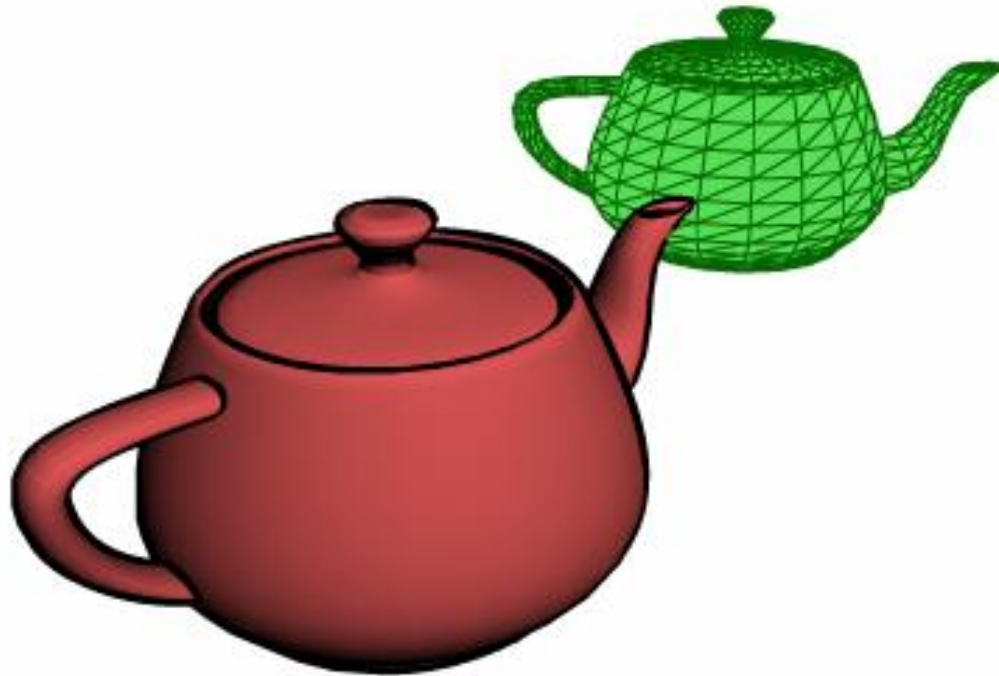
# **Αναπαράσταση πολυγωνικού πλέγματος (Polygon Mesh)**

# Mesh modeling elements



- Κορυφή (**vertex**): ένα σημείο στο σχήμα. Περιλαμβάνει τις συντεταγμένες (xyz), το χρώμα, ορθογώνιο διάνυσμα και συντεταγμένες υψής.
- Ακμή (**edge**): η σύνδεση δύο κορυφών.
- Όψη (**face**): ένα κλειστό σύνολο ακμών. Στην περίπτωση του τριγώνου έχουμε τρεις ακμές, ενώ του τετραπλεύρου (**quad**) τέσσερις.
- Πολύγωνο (**polygon**): ένα σύνολο γειτονικών όψεων.
- Επιφάνεια (**surface**): ομάδες πολυγώνων που καλύπτουν ομαλές περιοχές.

# Polygon Mesh



© METINSEVEN.COM

Ένα μη-δομημένο πλέγμα που ορίζει ένα ή περισσότερα πολύεδρα αντικείμενα  
Τα faces είναι (συνήθως) απλά κυρτά πολύγωνα –δεν αποκλείονται όμως και πιο περίπλοκα, ακόμα και κοίλα σχήματα.

Μια επιφάνεια σκεπάζεται από τέτοια faces, σε ακανόνιστη διάταξη.

Απαιτείται λοιπόν μια λίστα των μεταξύ τους σχέσεων (vertex, edge & face data)

# Meshes representations

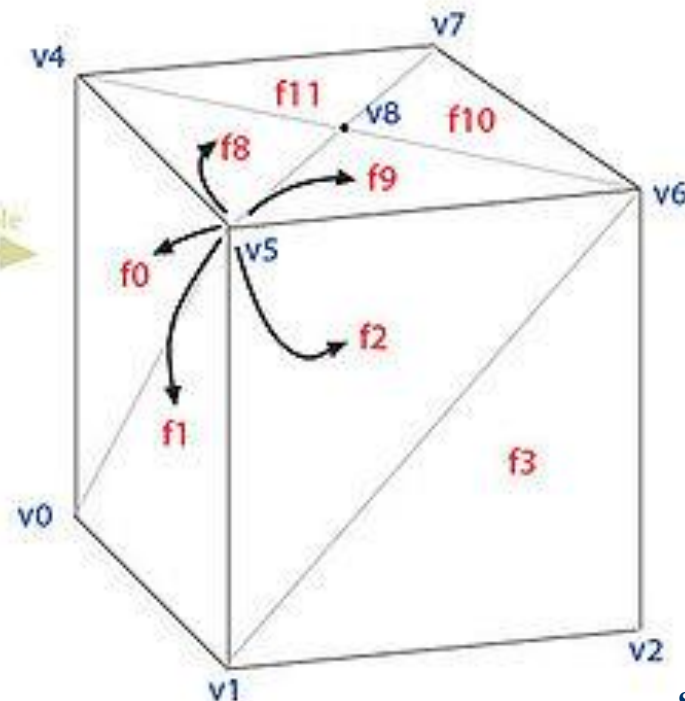
## Face-Vertex Meshes

Πέρα από τη λίστα των πολυγώνων, και των κορυφών που τα αποτελούν, καταγράφουμε, για κάθε κορυφή, όλα τα πολύγωνα στα οποία μετέχει

Face List	
f0	v0 v4 v5
f1	v0 v5 v1
f2	v1 v5 v6
f3	v1 v6 v2
f4	v2 v6 v7
f5	v2 v7 v3
f6	v3 v7 v4
f7	v3 v4 v0
f8	v8 v5 v4
f9	v8 v6 v5
f10	v8 v7 v6
f11	v8 v4 v7
f12	v9 v5 v4
f13	v9 v6 v5
f14	v9 v7 v6
f15	v9 v4 v7

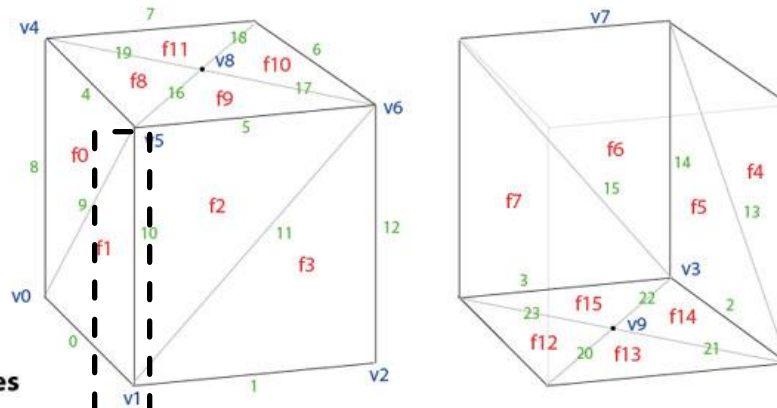
Vertex List	
v0	0,0,0 f0 f1 f12 f15 f7
v1	1,0,0 f2 f3 f13 f12 f1
v2	1,1,0 f4 f5 f14 f13 f3
v3	0,1,0 f6 f7 f15 f14 f5
v4	0,0,1 f6 f7 f0 f8 f11
v5	1,0,1 f0 f1 f2 f9 f8
v6	1,1,1 f2 f3 f4 f10 f9
v7	0,1,1 f4 f5 f6 f11 f10
v8	.5,.5,0 f8 f9 f10 f11
v9	.5,.5,1 f12 13 14 15

example →



# Winged-Edge Meshes

Για κάθε ακμή, καταγράφουμε δυο κορυφές, δυο πολύγωνα, και τέσσερις (τις δύο εξωτερικές κάθε πλευράς) των εξερχόμενων ακμών.

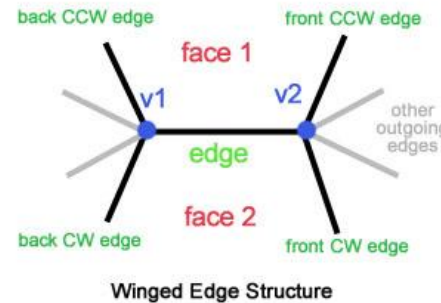


Winged-Edge Meshes

	Face List
f0	4 8 9
f1	0 10 9
f2	5 10 11
f3	1 12 11
f4	6 12 13
f5	2 14 13
f6	7 14 15
f7	3 8 15
f8	4 16 19
f9	5 17 16
f10	6 18 17
f11	7 19 18
f12	0 23 20
f13	1 20 21
f14	2 21 22
f15	3 22 23

	Edge List
e0	v0 v1 f1 f12 9 23 10 20
e1	v1 v2 f3 f13 11 20 12 21
e2	v2 v3 f5 f14 13 21 14 22
e3	v3 v0 f7 f15 15 22 8 23
e4	v4 v5 f0 f8 19 8 16 9
e5	v5 v6 f2 f9 16 10 17 11
e6	v6 v7 f4 f10 17 12 18 13
e7	v7 v4 f6 f11 18 14 19 15
e8	v0 v4 f7 f0 3 9 7 4
e9	v0 v5 f0 f1 8 0 4 10
e10	v1 v5 f1 f2 0 11 9 5
e11	v1 v6 f2 f3 10 1 5 12
e12	v2 v6 f3 f4 1 13 11 6
e13	v2 v7 f4 f5 12 2 6 14
e14	v3 v7 f5 f6 2 15 13 7
e15	v3 v4 f6 f7 14 3 7 15
e16	v5 v8 f8 f9 4 5 19 17
e17	v6 v8 f9 f10 5 6 16 18
e18	v7 v8 f10 f11 6 7 17 19
e19	v4 v8 f11 f8 7 4 18 16
e20	v1 v9 f12 f13 0 1 23 21
e21	v2 v9 f13 f14 1 2 20 22
e22	v3 v9 f14 f15 2 3 21 23
e23	v0 v9 f15 f12 3 0 22 20

	Vertex List
v0	0,0,0 8 9 0 23 3
v1	1,0,0 10 11 1 20 0
v2	1,1,0 12 13 2 21 1
v3	0,1,0 14 15 3 22 2
v4	0,0,1 8 15 7 19 4
v5	1,0,1 10 9 4 16 5
v6	1,1,1 12 11 5 17 6
v7	0,1,1 14 13 6 18 7
v8	5,5,0 16 17 18 19
v9	5,5,1 20 21 22 23

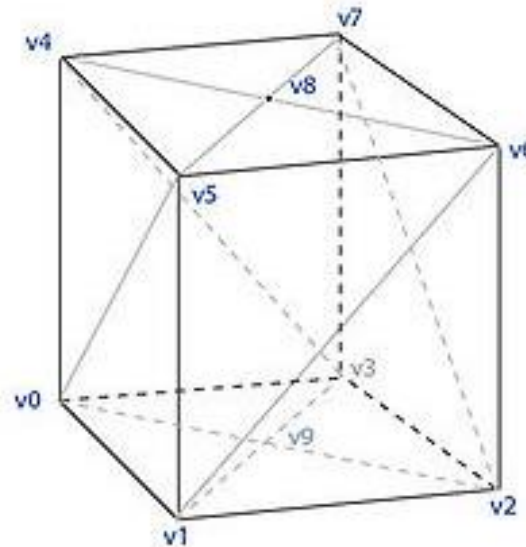


# Πλέγματα Κορυφής-Κορυφής

Αναπαριστούμε μόνο κορυφές και τις γειτονικές κορυφές τους.  
Η αναπαράσταση είναι εξαιρετικά απλή και επιτρέπει πολύ γρήγορους υπολογισμούς.

Vertex List

v0	0,0,0	v1 v5 v4 v3 v9
v1	1,0,0	v2 v6 v5 v0 v9
v2	1,1,0	v3 v7 v6 v1 v9
v3	0,1,0	v2 v6 v7 v4 v9
v4	0,0,1	v5 v0 v3 v7 v8
v5	1,0,1	v6 v1 v0 v4 v8
v6	1,1,1	v7 v2 v1 v5 v8
v7	0,1,1	v4 v3 v2 v6 v8
v8	.5,.5,0	v5 v6 v7 v8
v9	.5,.5,1	v0 v1 v2 v3



# Render Dynamic Mesh

Συνδυαστική αναπαράσταση:

• Όπως τα Face-Vertex:

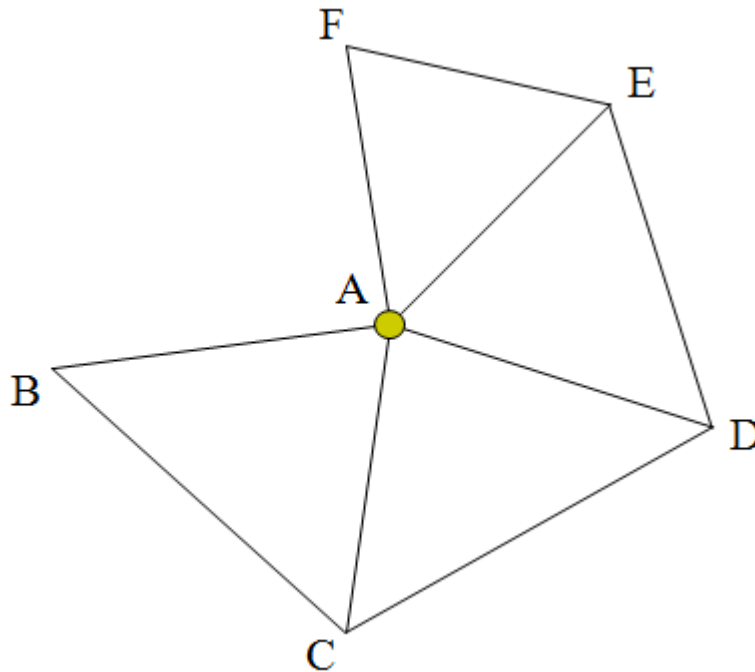
- Κορυφές ανά πολύγωνο
- Πολύγωνα ανά κορυφή

• Όπως τα Winged-Edge:

- Πολύγωνα ανά ακμή
- Κορυφές ανά ακμή

# Corner-Table or triangle fan

Περιγράφει ένα σύνολο συνδεδεμένων τριγώνων με μια κοινή κορυφή.  
Για  $N$  τρίγωνα, χρειάζονται  $N+2$  κορυφές (αντί για  $3N$ )  
Χρησιμοποιείται σε low-level rendering APIs (DirectX and OpenGL)

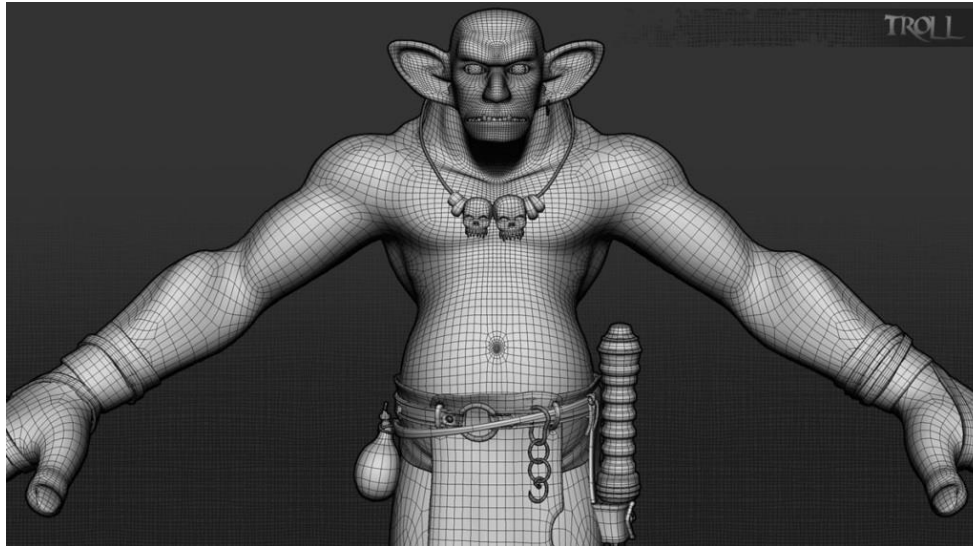


Operation		Vertex-vertex	Face-vertex	Winged-edge	Render dynamic
V-V	All vertices around vertex	Explicit	$V \rightarrow f_1, f_2, f_3, \dots \rightarrow v_1, v_2, v_3, \dots$	$V \rightarrow e_1, e_2, e_3, \dots \rightarrow v_1, v_2, v_3, \dots$	$V \rightarrow e_1, e_2, e_3, \dots \rightarrow v_1, v_2, v_3, \dots$
E-F	All edges of a face	$F(a,b,c) \rightarrow \{a,b\}, \{b,c\}, \{a,c\}$	$F \rightarrow \{a,b\}, \{b,c\}, \{a,c\}$	Explicit	Explicit
V-F	All vertices of a face	$F(a,b,c) \rightarrow \{a,b,c\}$	Explicit	$F \rightarrow e_1, e_2, e_3 \rightarrow a, b, c$	Explicit
F-V	All faces around a vertex	Pair search	Explicit	$V \rightarrow e_1, e_2, e_3 \rightarrow f_1, f_2, f_3, \dots$	Explicit
E-V	All edges around a vertex	$V \rightarrow \{v,v_1\}, \{v,v_2\}, \{v,v_3\}, \dots$	$V \rightarrow f_1, f_2, f_3, \dots \rightarrow v_1, v_2, v_3, \dots$	Explicit	Explicit
F-E	Both faces of an edge	List compare	List compare	Explicit	Explicit
V-E	Both vertices of an edge	$E(a,b) \rightarrow \{a,b\}$	$E(a,b) \rightarrow \{a,b\}$	Explicit	Explicit
Flook	Find face with given vertices	$F(a,b,c) \rightarrow \{a,b,c\}$	Set intersection of $v_1, v_2, v_3$	Set intersection of $v_1, v_2, v_3$	Set intersection of $v_1, v_2, v_3$
Storage size		$V * \text{avg}(V, V)$	$3F + V * \text{avg}(F, V)$	$3F + 8E + V * \text{avg}(E, V)$	$6F + 4E + V * \text{avg}(E, V)$
		Example with 10 vertices, 16 faces, 24 edges:			
		$10 * 5 = 50$	$3 * 16 + 10 * 5 = 98$	$3 * 16 + 8 * 24 + 10 * 5 = 290$	$6 * 16 + 4 * 24 + 10 * 5 = 242$
<b>Figure 6: summary of mesh representation operations</b>					

Υπάρχουν πάρα πολλά format για την αποθήκευση δεδομένων τρισδιάστατων σκηνών, αναλόγως της εφαρμογής

- .3ds, .max, (3D Studio Max)
- .mb and .ma, (Maya)
- .lwo, (Lightwave)
- .lxo, (MODO)
- **.x3d, .x3db, .x3dv, (X3D)**
- .obj (Wavefront's "The Advanced Visualizer")
- .c4d, (Cinema 4D)
- .dxf, .dwg, .dwt, (AutoCAD)
- .md3, .md2, (Quake)
- .fbx (Alias)
- .rwx (Renderware)
- .wrl (VRML 2.0)
- .blend, (Blender)
- .jt (UGS)
- .stl που χρησιμοποιούμε συνήθως για rapid prototyping
- .ply με το οποίο αποθηκεύουμε δεδομένα από 3D scanners
- .dae (COLLADA)

# Texture



# Texture Images

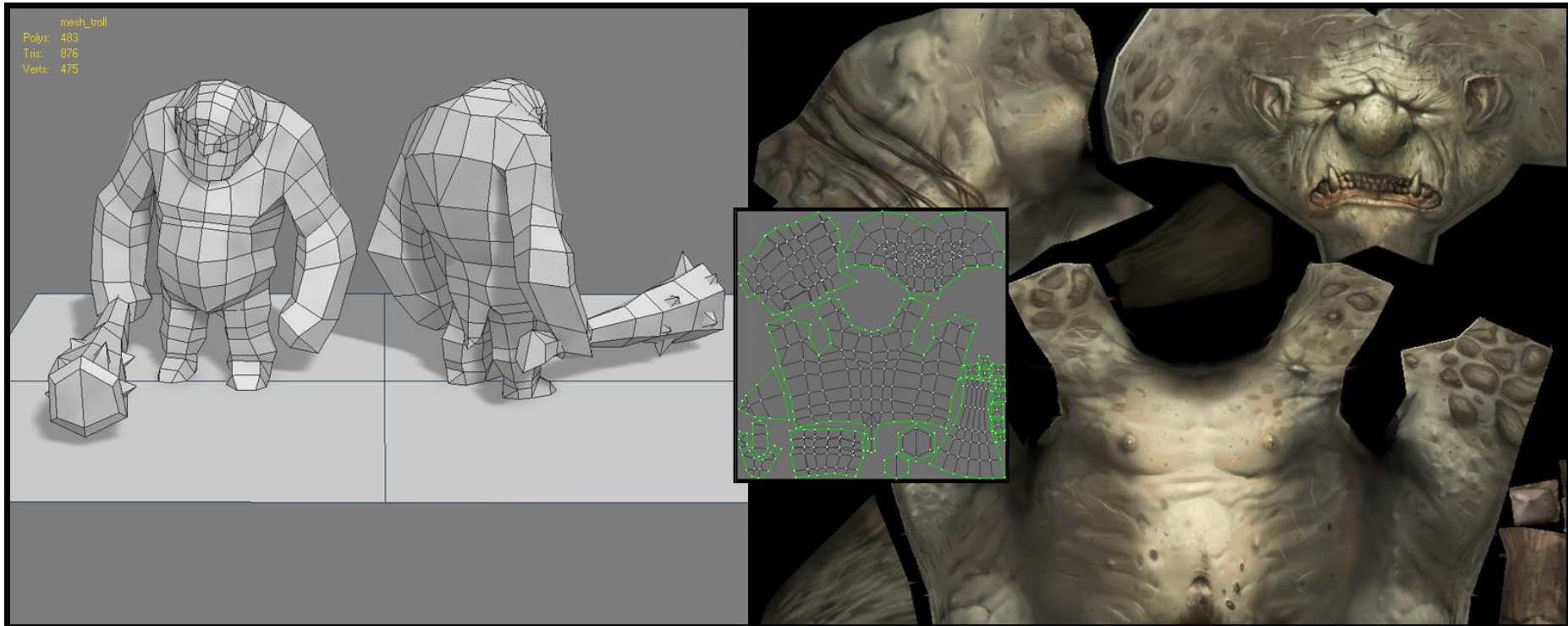
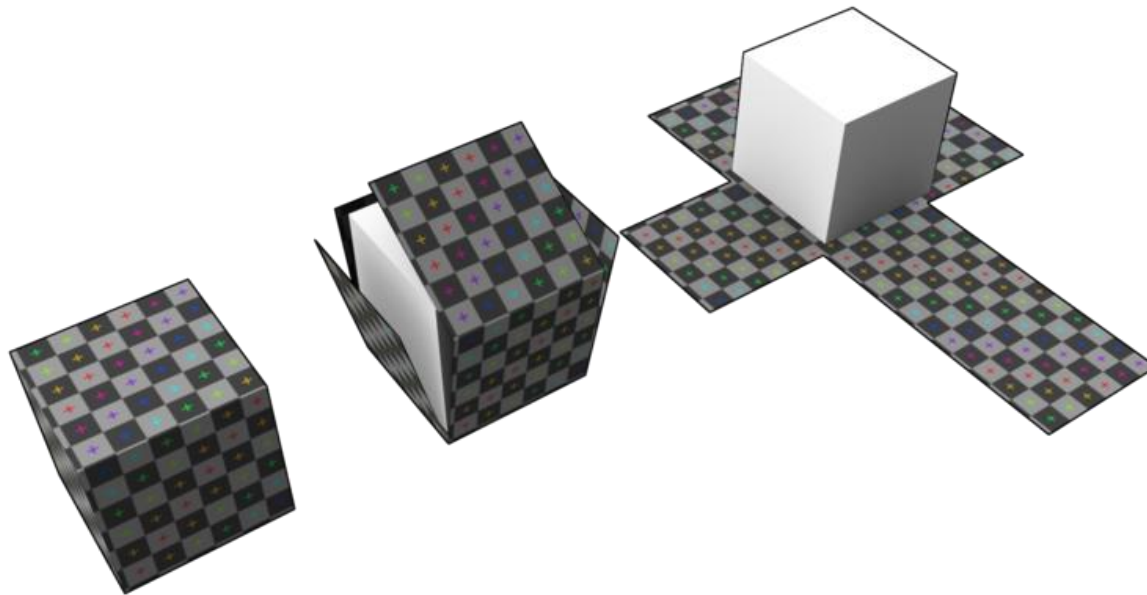


Image from:

<http://www.polycount.com/forum/showthread.php?t=41232&page=333>

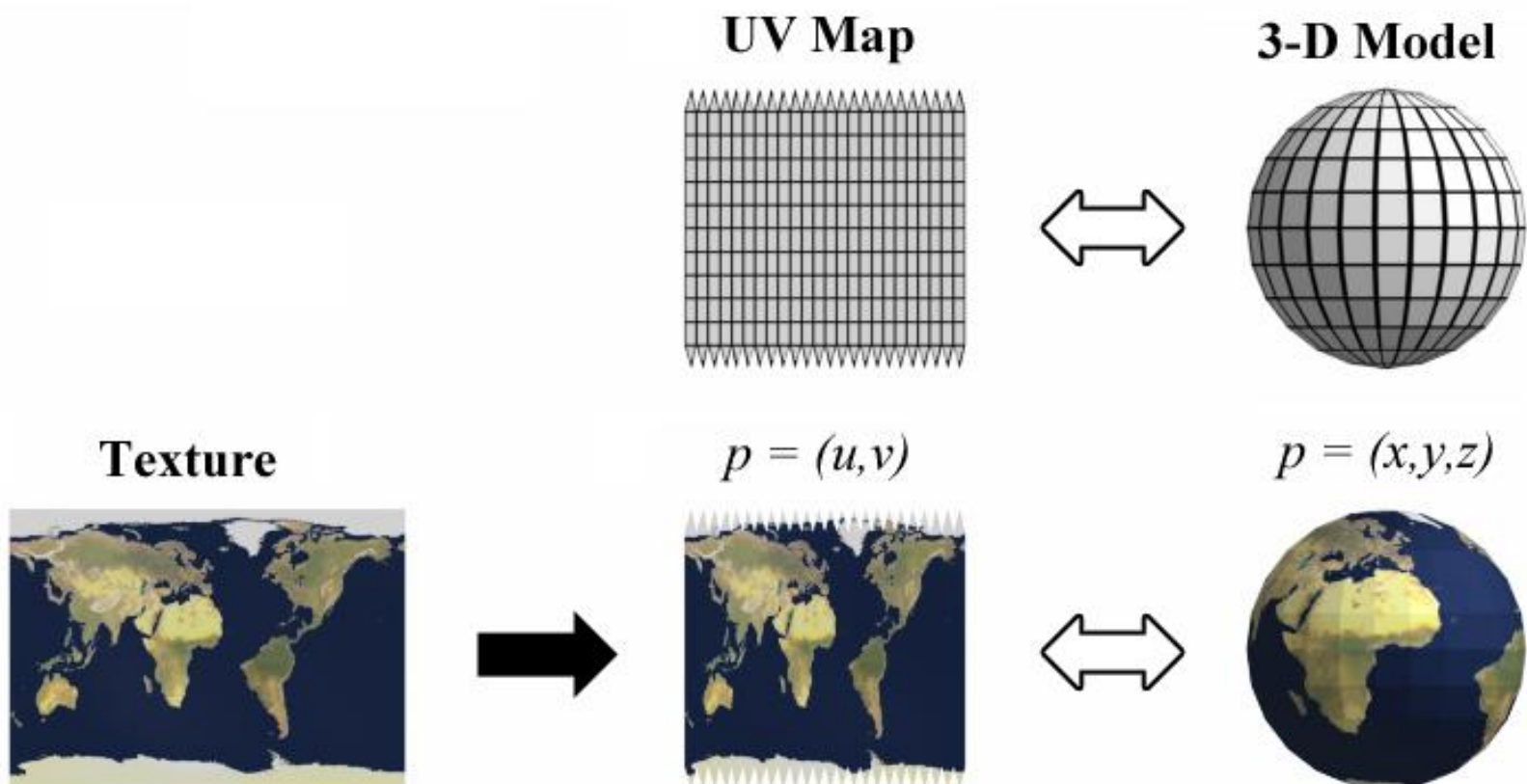
# Texture Mapping

- Προσθήκη χρώματος, επιφανειακής υφής ή λεπτομέρειας
- «Περιτύλιγμα» των αντικειμένων



# UV Mapping

- Από τις 2 στις 3 διαστάσεις

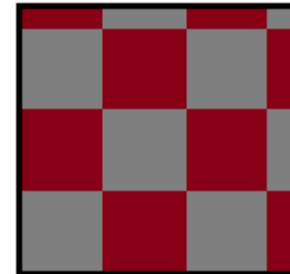
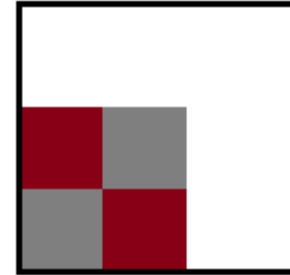


# Clamping & Wrapping

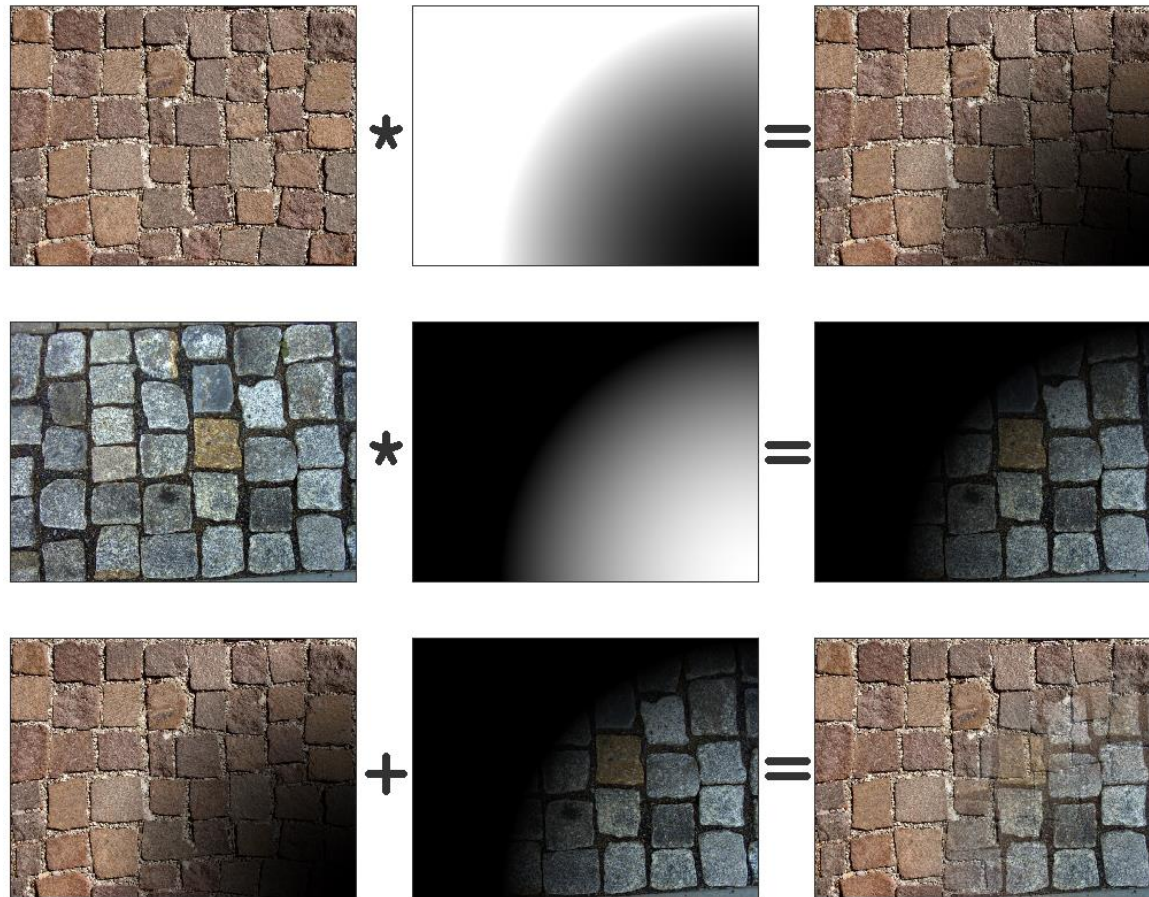
**Wrapping:** Η εικόνα υφής επαναλαμβάνεται έως ότου να καλύψει το πολύγωνο

**Clamping:** Το τελευταίο ριxel της εικόνας υφής εκτείνεται στο άπειρο (έως ότου να καλύψει το πολύγωνο...)

Περιορίζεται η ανάγκη για μεγάλες εικόνες υφής, ή πολλά μικρά πολύγωνα.



# Texture splatting



Μια μέθοδος συνδυασμού διαφορετικών υφών.

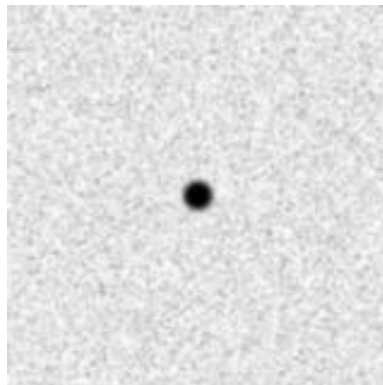
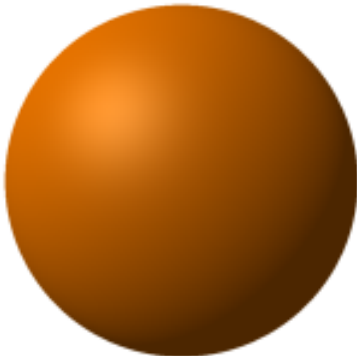
Διαφάνεια (μέσω `alphaMap`) εφαρμόζεται στα υψηλότερα επίπεδα, ώστε να αποκαλύπτονται τα επίπεδα που βρίσκονται από κάτω.

# Bump mapping

«Υψομετρικός χάρτης» των επιφανειακών ανωμαλιών (μια εικόνα με ένα κανάλι!)

Πριν τον υπολογισμό του φωτισμού:

1. Αντιστοίχιση του σημείου της επιφάνειας με ένα σημείο του χάρτη
2. Υπολογισμός του κάθετου (normal) διανύσματος που αντιστοιχεί στο χάρτη
3. Πρόσθεση του normal του χάρτη στο normal της γεωμετρικής επιφάνειας
4. Υπολογισμός του φωτισμού με βάση τα νέα normal

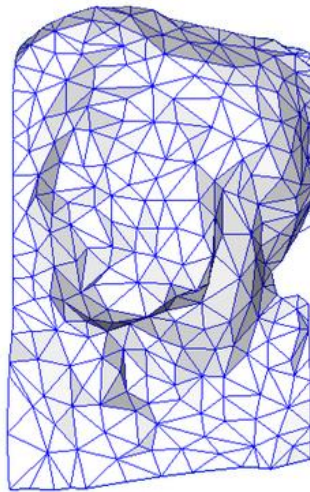


# Normal mapping

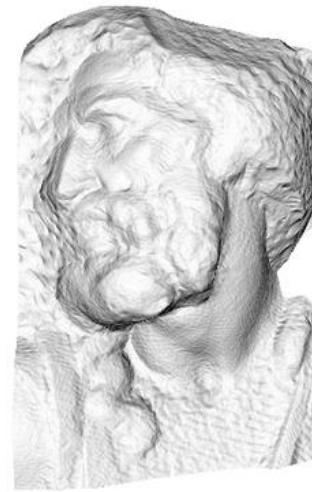
- Το bump mapping κωδικοποιεί το ύψος, από το οποίο προκύπτει το κάθετο διάνυσμα (normal).
- Το normal mapping καταγράφει εξ αρχής τα normals.



original mesh  
4M triangles

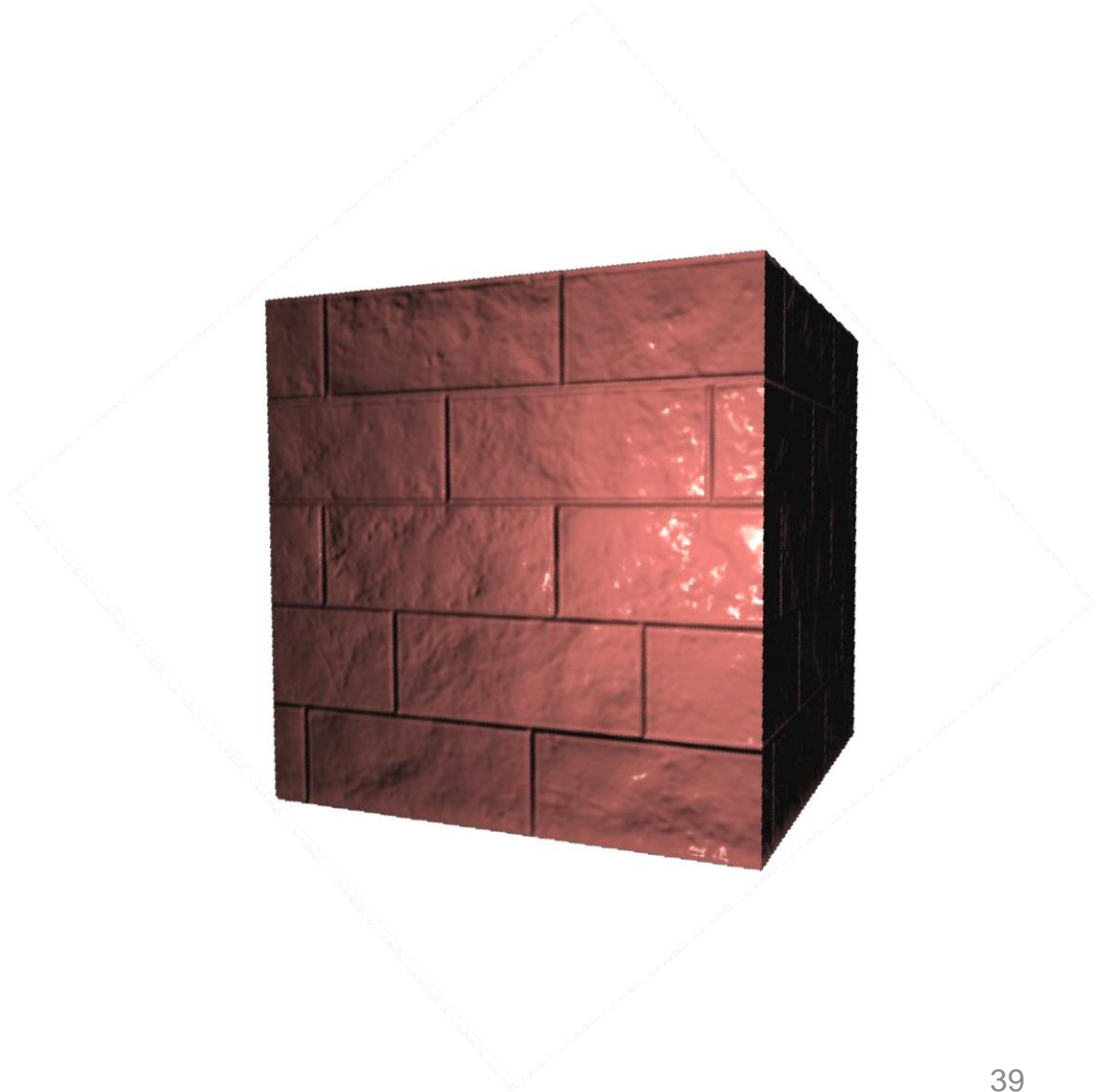
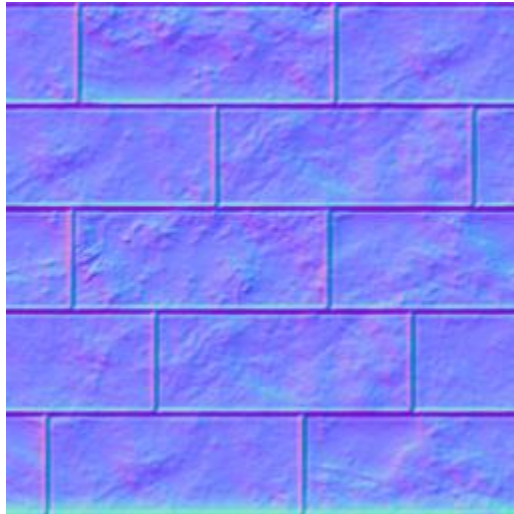


simplified mesh  
500 triangles



simplified mesh  
and normal mapping  
500 triangles

# Normal mapping



# Parallax mapping

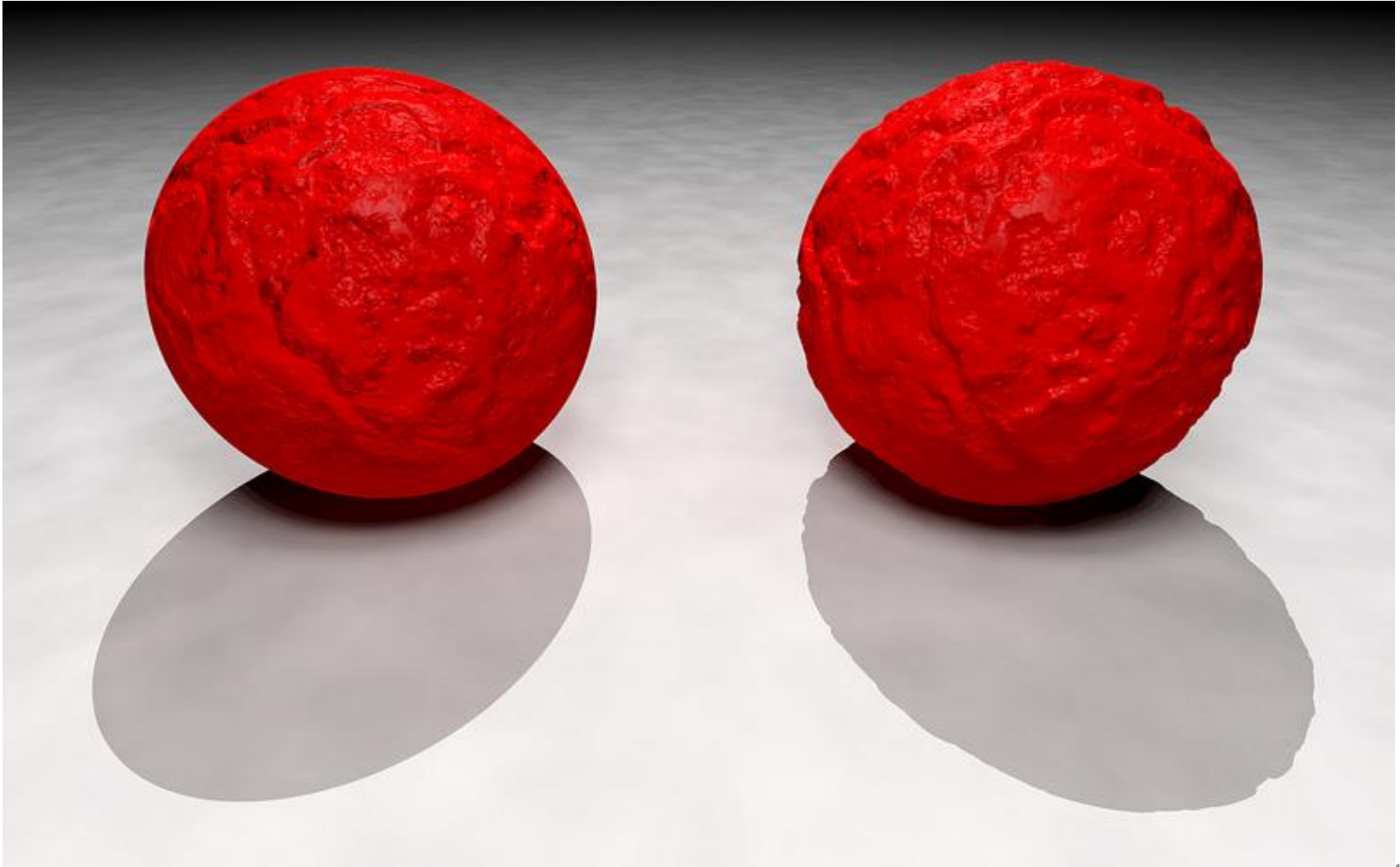
- **Parallax mapping (also offset mapping or virtual displacement mapping):**
  - **Motion parallax:** διαφορετικές ταχύτητες για τις προβολές αντικειμένων που βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις
  - **Occlusion**
  - **Self-shadowing**



# Parallax mapping

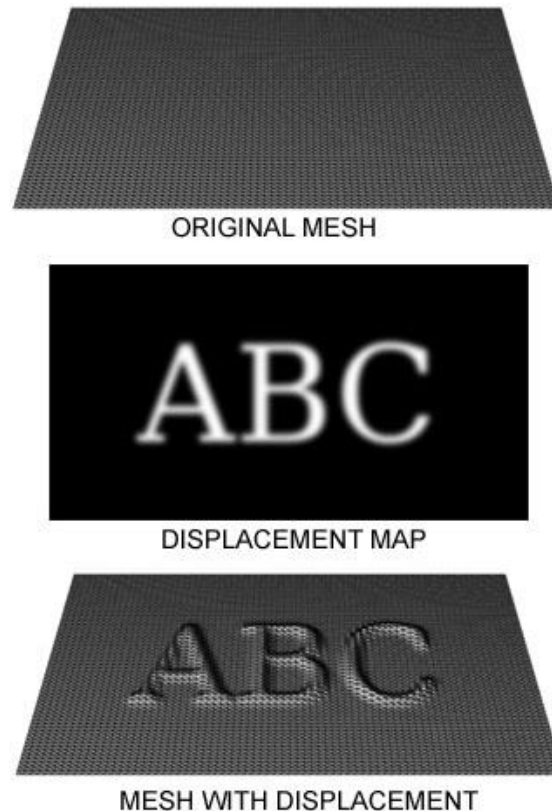
- Οι  $(x,y)$  συντεταγμένες της υφής μετατοπίζονται συνεχώς, συναρτήσει της οπτικής γωνίας
- Για πιο απότομες γωνίες, η μετατόπιση είναι πιο έντονη, δίνοντας την ψευδαίσθηση βάθους
- Relief mapping, parallax occlusion: κάποιο τμήμα της επιφάνειας μπορεί (λόγω «ύψους») να αποκλείσει την ορατότητα σε κάποιο άλλο (Self-occlusion)

- Left: bump-mapping. Right: actual isosurface



# Displacement mapping

Όπως και στο Bump mapping, χρήση ενός υψομετρικού χάρτη.  
Σε αντίθεση με το Bump mapping, πραγματική μετατόπιση των συντεταγμένων των σημείων.



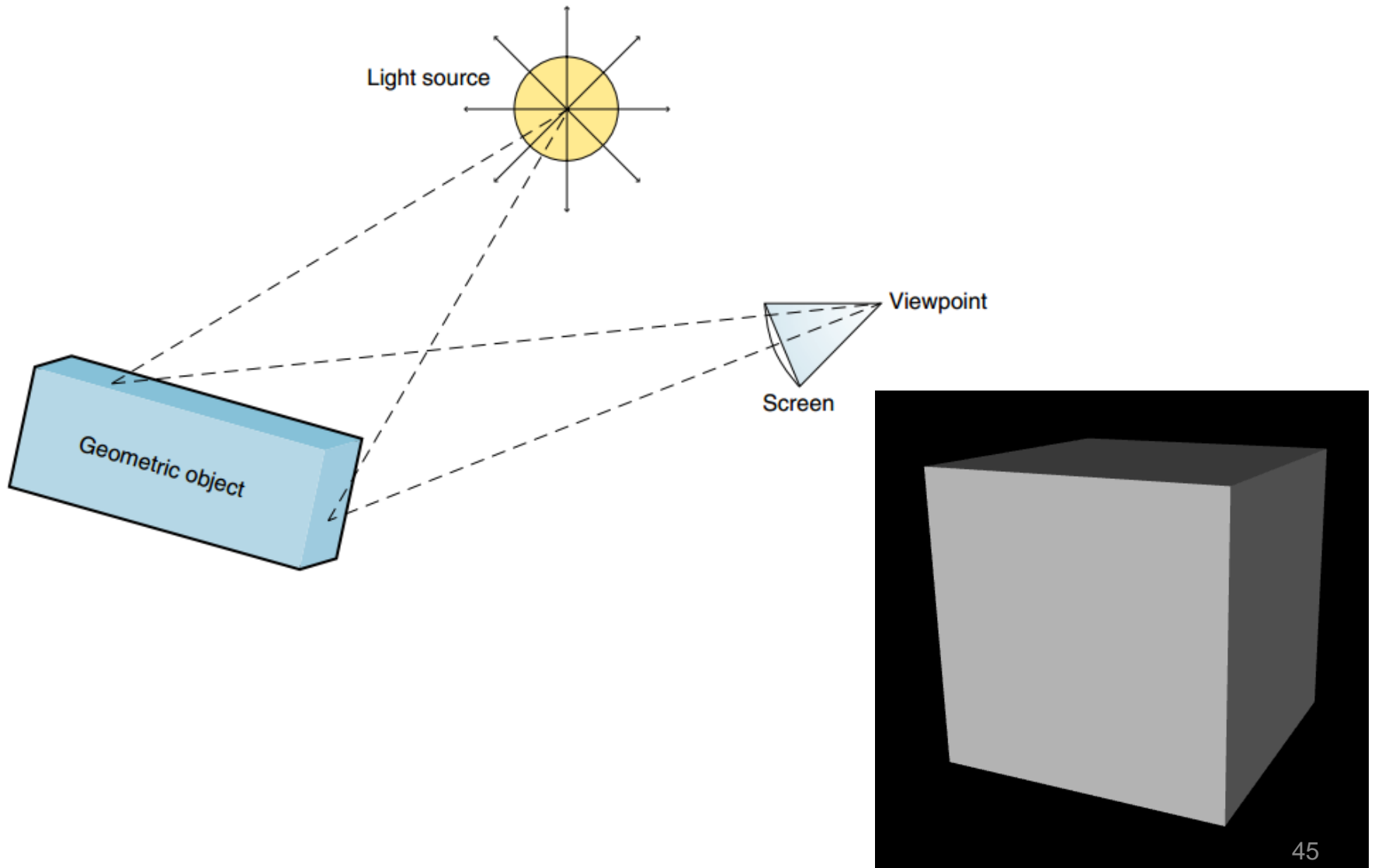
# Displacement mapping

Όταν το input του renderer είναι υψηλού επιπέδου δομές (πχ. NURBS ή Subdivision surfaces), κατά το rendering η γεωμετρία αυτή κατατέμνεται στα αναγκαία -λεπτομερή- faces.

Όταν το μοντέλο είναι εξαρχής κατατετμημένο σε faces, το displacement map συχνά αντιστοιχεί σε μετατοπίσεις μόνο στις κορυφές –και μάλιστα ενίοτε μόνο κατά μήκος της καθέτου.

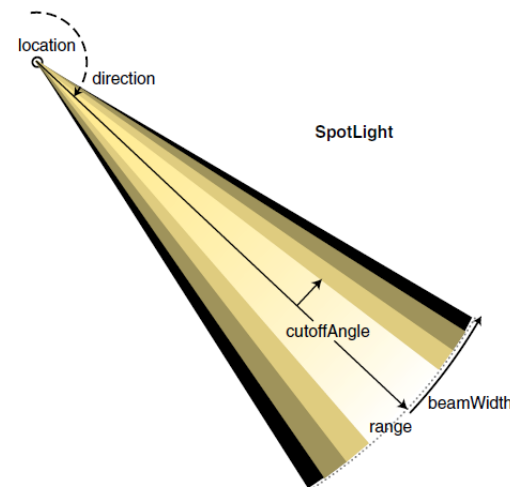
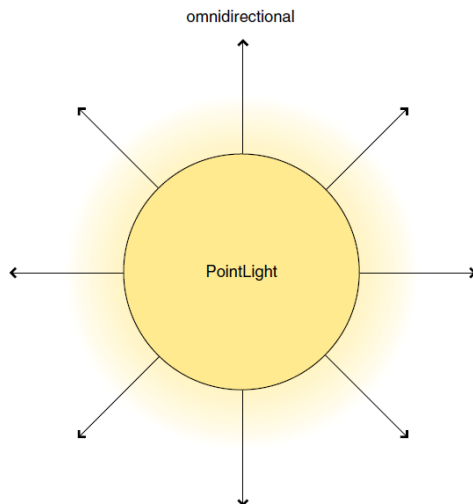
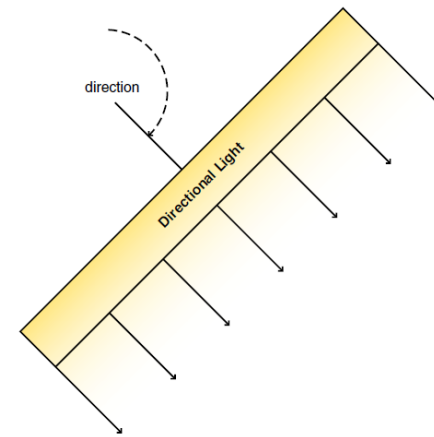
Στη δεύτερη περίπτωση, το μέγιστο επίπεδο λεπτομέρειας είναι εκ των προτέρων περιορισμένο.

# Light and shading

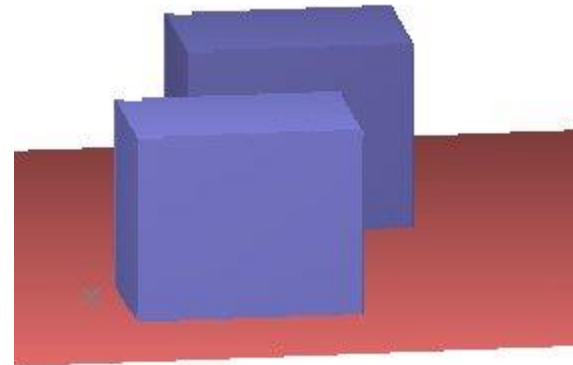
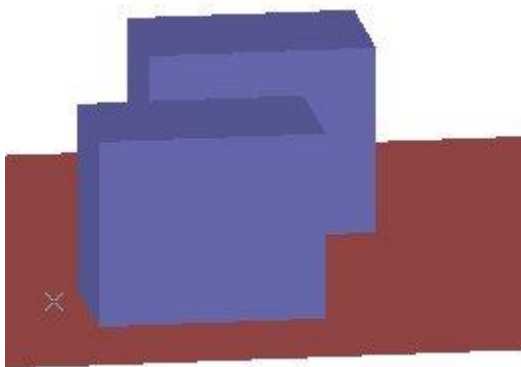
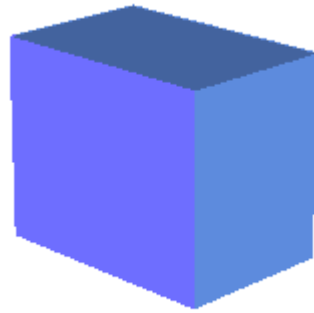


# Light and shading

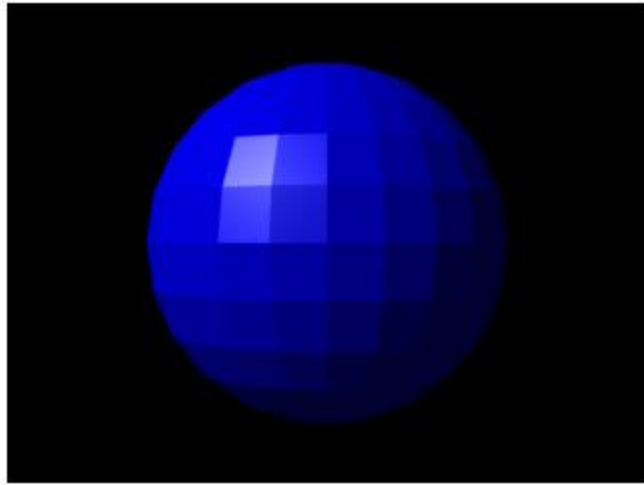
- Ambient lighting
- Directional lighting
- Point lighting
- Spotlight lighting



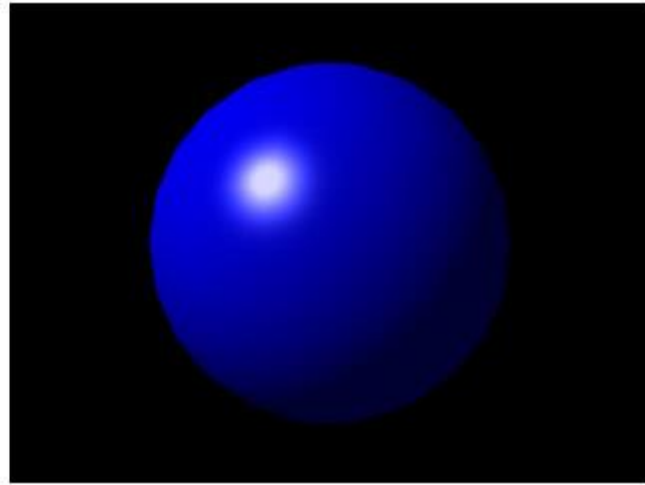
# Light and shading



# Flat vs Smooth Shading



FLAT SHADING

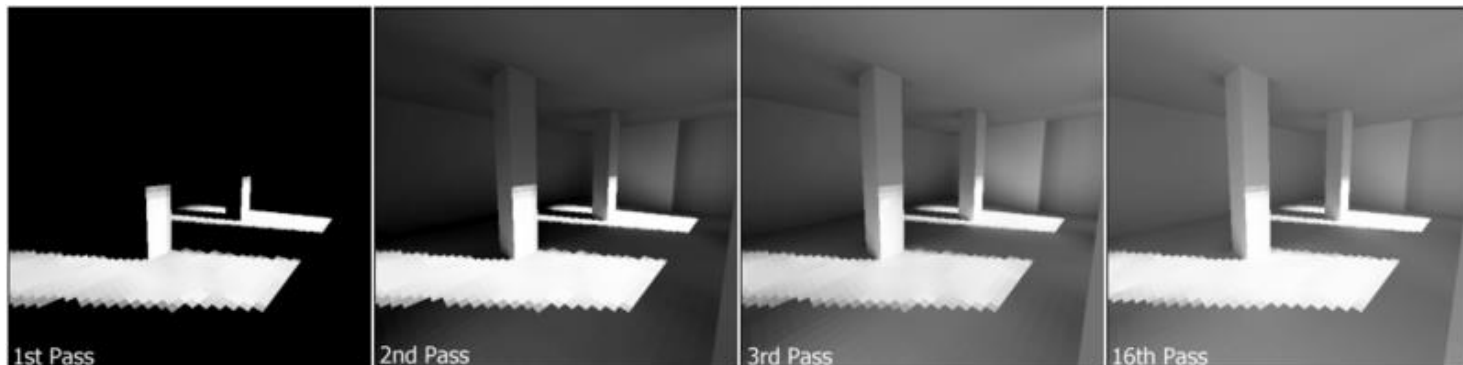


PHONG SHADING

# Radiosity



Αριστερά, τρεις πηγές φωτός: Spot, ambient, omnidirectional  
Δεξιά: Μία πηγή + Radiosity

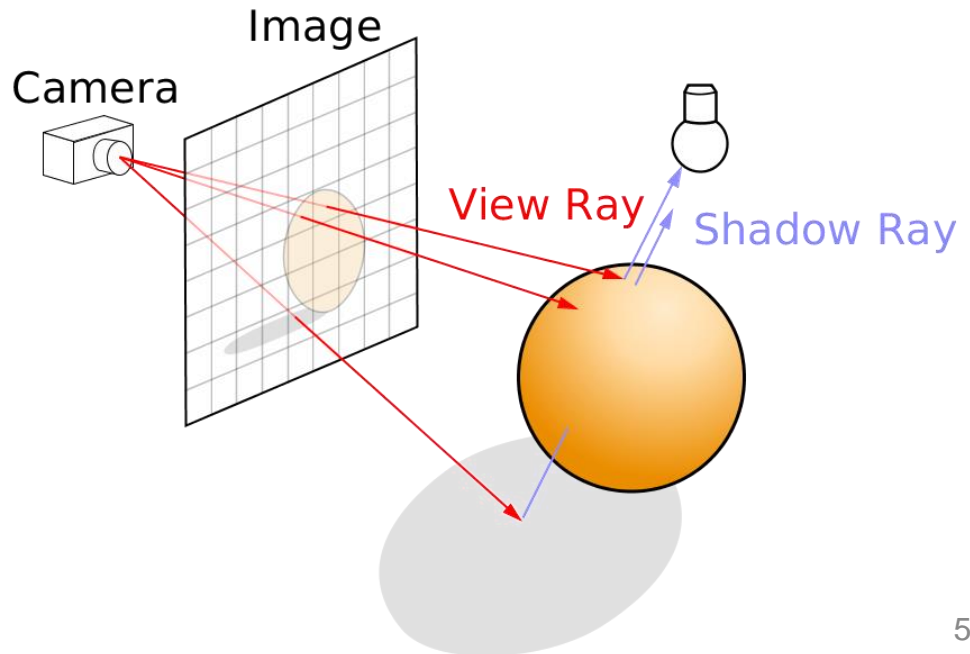


# Rendering

- Real-time
  - GPU-based
    - Scanline Rendering (σάρωση γραμμή-γραμμή)
- Offline
  - Η GPU δεν είναι απαραίτητη
  - Render farms
    - Ray casting
    - Ray-tracing

# Ray Tracing

- Για κάθε pixel της εικόνας αποστέλλεται μια ακτίνα φωτός
- Στην πορεία της, τα αντικείμενα και οι πηγές φωτός που συναντάει καθορίζουν το χρώμα του τελικού pixel.
- Ανακλάσεις
- Διαθλάσεις
- Διάχυση



# Ray Tracing

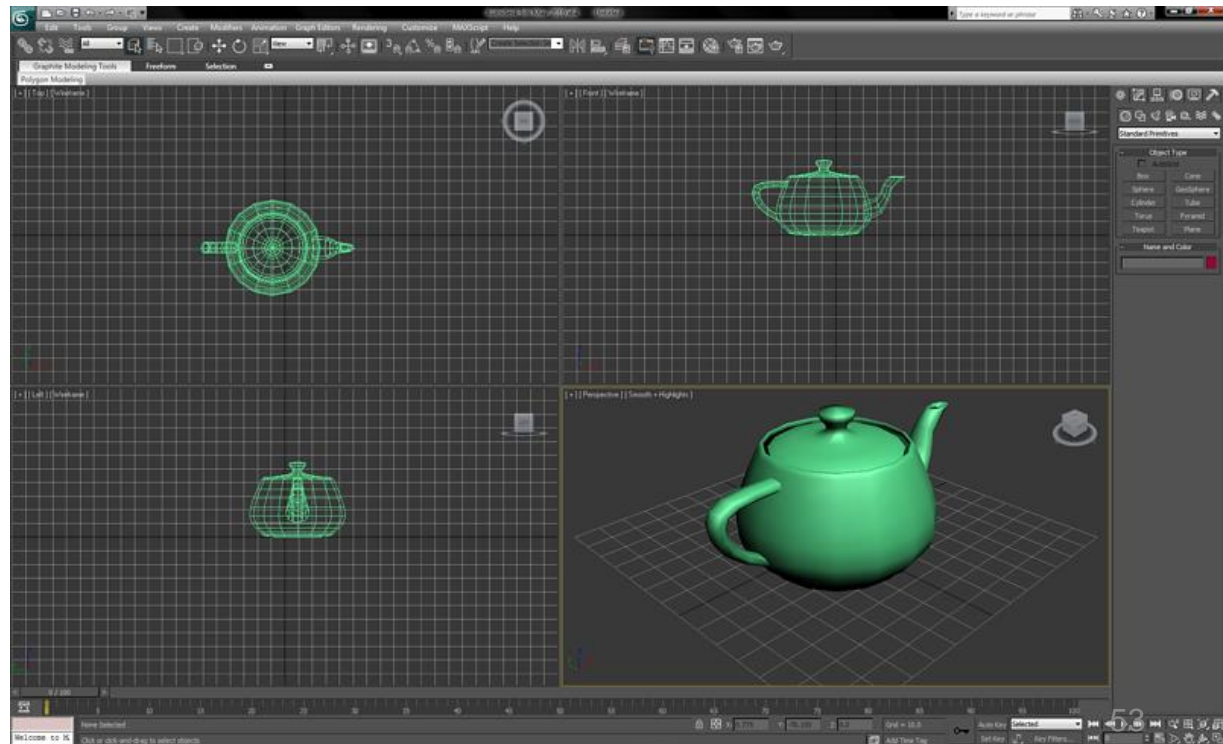


# Autodesk 3ds Max



## Modeling supported

- Surface tool/Editable patch object. The surface tool is for creating common 3ds max's splines, and then applying a modifier called "surface." This modifier makes a surface from every 3 or 4 vertices in a grid.
- NURBS
- Polygon modeling



# Autodesk MAYA



## Modeling supported

- NURBS
- Polygons
- Subdivision surfaces

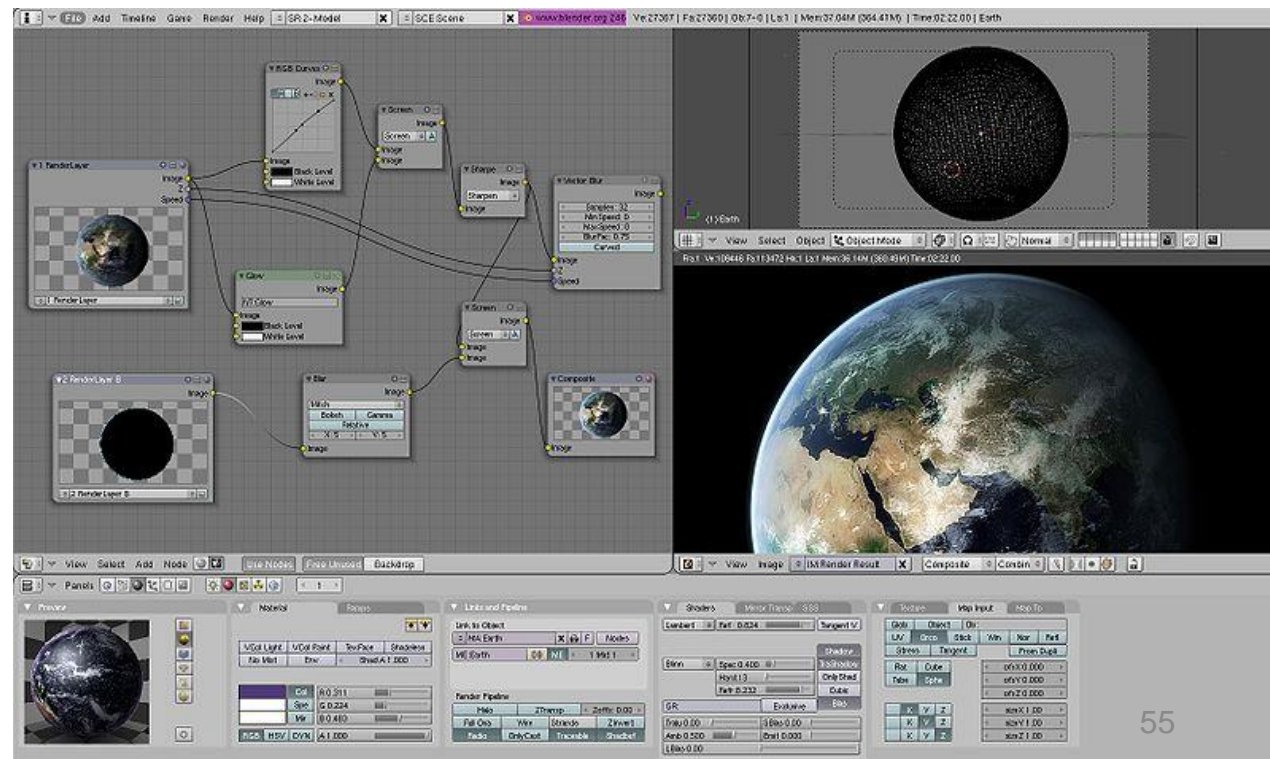


# Blender 3d



## Modeling supported

- NURBS surfaces, bezier and B-spline curves,
- Vector fonts (TrueType, PostScript, OpenType)
- Polygon meshes
- Metaballs
- Subdivision surfaces

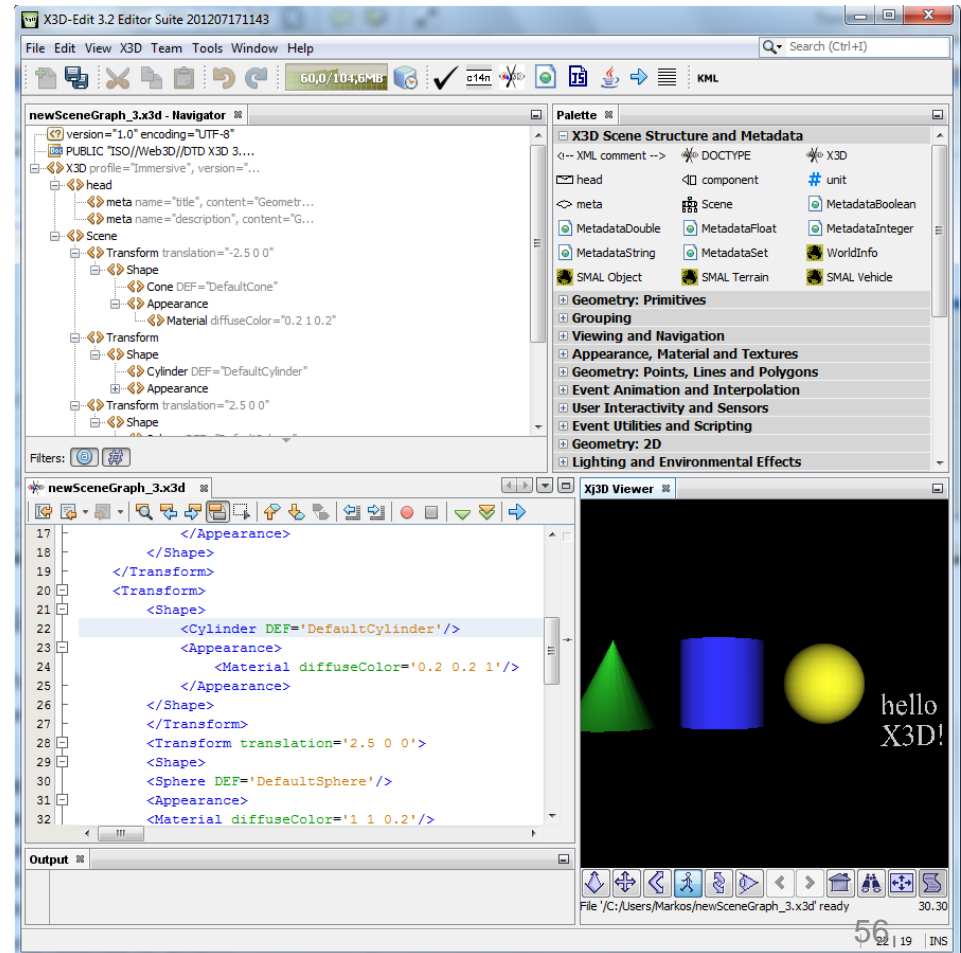


# X3D



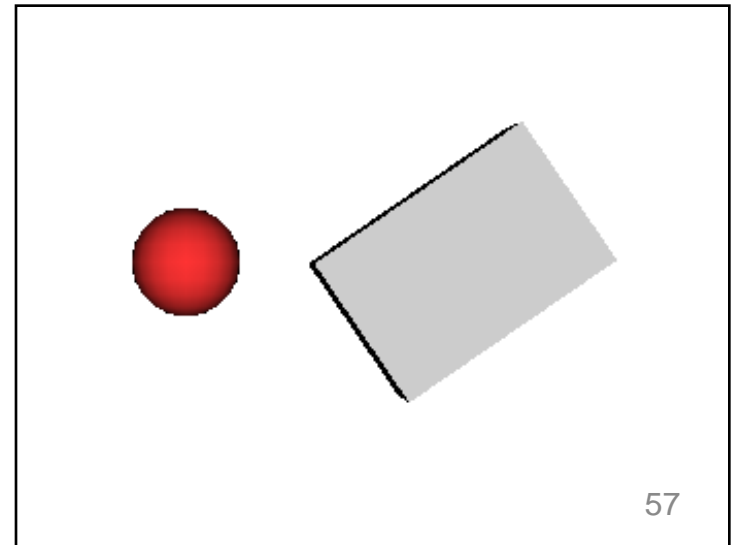
## Modeling supported

- Polygons
- NURBS (as an added component)



# X3D Code example

```
<X3D>
<Scene>
  <Background skyColor='1 1 1'/>
  <Viewpoint description='My Viewpoint' position='0 0 6'/>
  <Shape DEF='OriginSphere'>
    <Sphere radius='0.2'/>
    <Appearance>
      <Material diffuseColor='1 0.2 0.2'/>
    </Appearance>
  </Shape>
  <Transform translation="1 0 0" rotation="0 0 1 0.6">
    <Shape DEF='MyBox'>
      <Appearance>
        <Material/>
      </Appearance>
      <Box size='0.9 0.6 0.3'/>
    </Shape>
  </Transform>
</Scene>
</X3D>
```



## ...ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΙΤΙ

- Κατεβάζουμε τον Octaga player (free)  
<http://octagavs.com/software/octaga-player>
- Δημιουργούμε ένα έγγραφο απλού κειμένου στον υπολογιστή μας, και φροντίζουμε η κατάληξή το να είναι .x3d
- Κάνουμε copy-paste τον κώδικα της προηγούμενης διαφάνειας μέσα στο αρχείο αυτό
- Ανοίγουμε το αρχείο με τον Octaga player
- Δοκιμάζουμε να αλλάξουμε τη δομή ή τις παραμέτρους του κώδικα, και πατάμε refresh στον Octaga
- ...

# Recommended X3D resources

- X3DEdit

<https://savage.nps.edu/X3D-Edit/>

...or Notepad (++)

- Octaga Player

<http://octagavs.com/software/octaga-player>

- Examples:

<http://x3dgraphics.com/examples/X3dForWebAuthors/>

- X3D API:

<http://www.web3d.org/files/specifications/19775-1/V3.3/index.html>

- X3D Tooltips:

<http://www.web3d.org/x3d/content/X3dTooltips.html>