Corso di Grafica Computazionale

GLSL

Docente:
Massimiliano Corsini

Laurea Specialistica in Ing. Informatica

Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Siena

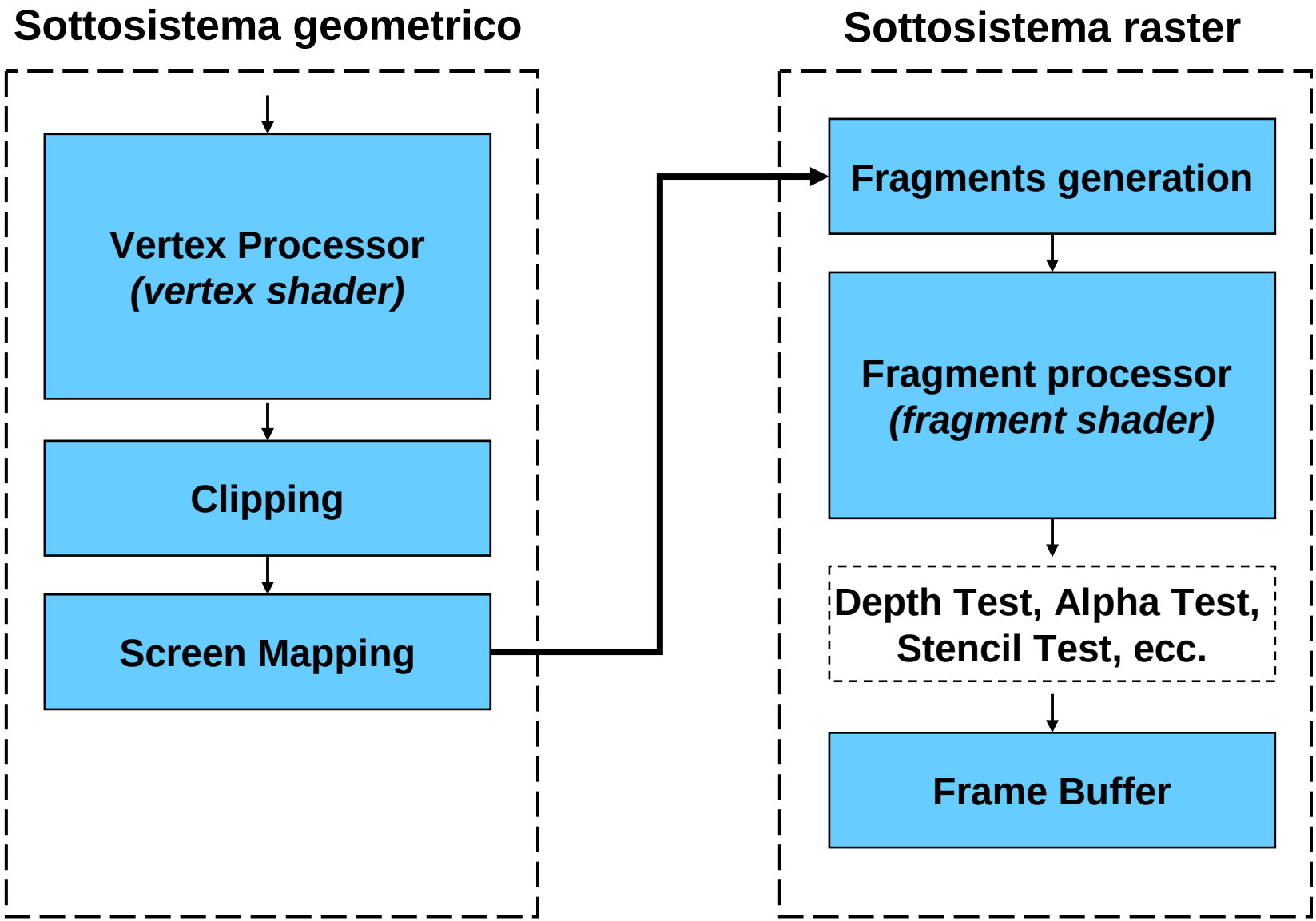
Cosa sono gli shaders?

- Gli shaders sono programmi che vengono eseguiti dalla GPU (Graphics Processing Unit)
- Ci permettono di programmare gran parte della pipeline di rendering
- I Vertex Shaders lavorano a livello di vertice nel sottosistema geometrico
- I Pixel Shaders lavorano a livello di frammento nel sottosistema raster

Cosa sono gli shaders?

- Fino a pochi anni fa l'hardware grafico non era programmabile. Le operazioni eseguite dalla pipeline erano quindi fisse e poco controllabili
- Adesso, grazie alla programmabilità della pipeline è possibile ottenere un gran numero di effetti visivi

Shaders


Sottosistema geometrico
Vertex Processor
(vertex shader)
Clipping
Screen Mapping
Sottosistema raster
Fragments generation
Fragment processor
(fragment shader)
Depth Test, Alpha Test,
Stencil Test, ecc.
Frame Buffer

Vertex Shaders

- Input: vertici (una per volta!!) ed i loro attributi
- Non si possono fare elaborazioni che coinvolgono più vertici
- Operazioni tipicamente implementate a livello di vertex shaders:
  - Trasformazioni geometriche sui vertici
  - Calcolo dell'illuminazione per vertice
  - Generazione coordinate texture
  - Trasformazioni sulla normale del vertice
- Output: posizione del vertice (in clip space)

Fragment Shaders

- Input: output del vertex shader interpolato
- Anche in questo caso si elabora un frammento per volta (i frammenti adiacenti non sono processabili)
- Operazioni tipicamente implementate a livello di pixel shaders:
  - Texturing
  - Calcolo dell'illuminazione (per-pixel)
  - Calcolo finale del colore del frammento
- Output: colore del frammento

Caratteristiche degli Shaders

- Gli shaders “conoscono” lo stato di rendering (GLSL conosce lo stato dell’OpenGL) e possono accedere alle textures
- Una passata di rendering è intesa come l’elaborazione di una scena da parte del vertex shader e del pixel shader
- Spesso la generazione di un’immagine richiede più di una passata (multi-pass rendering)
  - Ogni passata utilizzerà uno shader diverso
  - Una passata può inviare il risultato del rendering su una texture per essere utilizzato dalle successive passate (render-to-texture)

Linguaggi di Shaders

- Sintassi è C-like
- Tipi di dati:
  - Half (float a 16 bit)
  - Vettori
  - Matrici (3x3 e 4x4)
  - Textures (1D, 2D, 3D)
- Condizioni e cicli sono possibili
- Sono supportate operazioni vettori-matrici
- Funzioni matematiche particolari (esempio reflect(...), funzioni per fare lookup dalle texture, ecc.)
- Linguaggi di shaders esistenti:
  - HLSL (DirectX, Microsoft, 2002)
  - GLSL (OpenGL, ARB, 2003)
  - Cg (NVidia, 2002)

Compilazione a Runtime

- Gli shaders vengono compilati durante l'esecuzione dell'applicazione 3D
  - Direct3D compila gli shaders HLSL
  - OpenGL compila gli shaders GLSL
  - Cg (NVidia) permette di compilare gli shaders Cg sia in applicazioni OpenGL che Direct3D

Shaders & Tools

- RenderMonkey (ATI)
  - Supporta GLSL
  - IDE semplice e potente
  - Eccellente per sviluppare i propri shaders
- FX Composer (NVidia / Microsoft)
  - FX format (formato proprietario)
  - Debugging Tools
- Maya e 3DS Max hanno il loro ambiente di sviluppo di shaders
- Renderman (Pixar) ha il proprio linguaggio di shading

Imparare a scrivere shaders

- Partire dalle specifiche del linguaggio non aiuta moltissimo...
- Meglio: *RenderMonkey → guardare gli shaders già scritti, capire quello che fanno e modificarli*
- Provare, provare e ancora provare (!!)
- Debug è una nota dolente anche se stanno venendo fuori tool di supporto al debug (esempio GLSLDevil)
- Ottimizzare le performances → prima ottenere l'effetto voluto, poi affidarsi a qualche profiler

Usare GLSL nella propria applicazione OpenGL

- Abbiamo bisogno di poter gestire le estensioni del linguaggio (OpenGL 1.5):
  - **`GL_ARB_vertex_shader`**
  - **`GL_ARB_fragment_shader`**
- ***GLEW*** (OpenGL Extension Wrangler Library) semplifica enormemente l'utilizzo delle estensioni
- Se l'hardware grafico di cui si dispone è compatibile con le specifiche OpenGL 2.0 non si ha bisogno delle estensioni di cui sopra.

Creazione e Compilazione

- È possibile creare dei cosiddetti ***Shader Object***, che fungono da contenitori per i programmi di shading.
- La funzione per creare uno shader ritorna un apposito handle:
  - `GLhandleARB glCreateShaderObjectARB(GLenum shaderType);`
- La funzione per settare il codice sorgente dello shader è:

```
void glShaderSourceARB(GLhandleARB shader, int
  numOfStrings, const char **strings, int
  *lenOfStrings);
```

- Una volta settato il codice sorgente in formato testo si deve compilare.
  - `void glCompileShaderARB(GLhandleARB program);`

Attach e Linking

- Una volta creati degli shaders e compilati è possibile creare un programma di shading (***Program Object***).
- La funzione per creare un programma di shading è:
  - `GLhandleARB glCreateProgramObjectARB(void);`
- Ad un programma di shading si possono attaccare (attach) gli shaders definiti negli shader objects (`glAttachObjectARB(..)`).
- Si possono avere più shader attaccati allo stesso programma così come si possono avere più sorgenti in un programma C.
- Lo shader base è caratterizzato dal *main* (come un programma C).

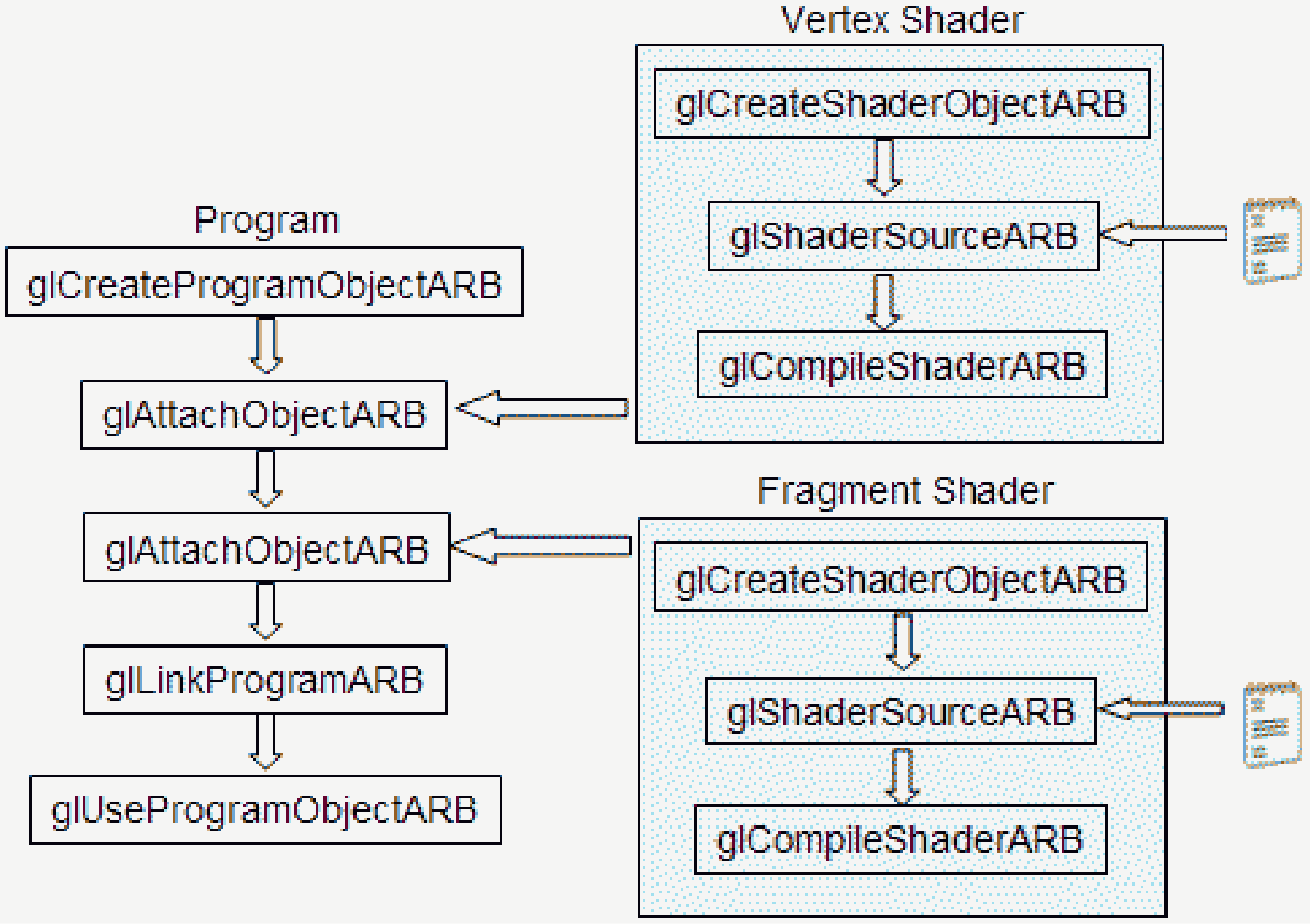
Attach e Linking

- Una volta attaccati gli Shader Object (e quindi definito il codice sorgente compilato dei vertex e pixel shaders del programma) al Program Object si può procedere al linking.
- Il programma di shading è pronto per essere utilizzato tramite la funzione:
  - `glUseProgramObjectARB(GLHandleARB program)`
- È possibile creare quanti programmi di shading si vogliono e decidere in ogni momento quale mandare in esecuzione.

Esempio di Base


```
GLHandleARB p,f,v;
char *vs,*fs;

v = glCreateShaderObjectARB(GL_VERTEX_SHADER_ARB);
f = glCreateShaderObjectARB(GL_FRAGMENT_SHADER_ARB);

vs = textFileRead("toon.vert");
fs = textFileRead("toon.frag");

const char * vv = vs;  // vv diventa ** al testo del codice sorgente
const char * ff = fs;  // ff diventa ** al testo del codice sorgente

glShaderSourceARB(v, 1, &vv,NULL);
glShaderSourceARB(f, 1, &ff,NULL);
free(vs);free(fs);

glCompileShaderARB(v);
glCompileShaderARB(f);

p = glCreateProgramObjectARB();

glAttachObjectARB(p,v);
glAttachObjectARB(p,f);

glLinkProgramARB(p);
glUseProgramObjectARB(p);
```

Riassumendo...



Cleaning Up

- Per effettuare il detach di uno shader:
  - `void glDetachObjectARB(GLhandleARB program, GLhandleARB shader);`
- Gli shader attached non possono essere cancellati dalla memoria. Ecco perchè l'operazione di detach è importante.
- Per cancellare uno shader dalla memoria (Program Object o Shader Object):
  - `void glDeleteObjectARB(GLhandleARB id);`
- Se si fa un'operazione di delete è lo Shader Object fa sempre parte di un Program Object lo shader non viene cancellato ma marchiato come *da cancellare*.

Tipi di Dati

- Floating point, interi e boolean sono disponibili:
  - `float`
  - `bool`
  - `int`
- Vettori a 2,3 o 4 componenti:
  - `vec2 , vec3, vec4` (vettori di float)
  - `bvec2, bvec3, bvec4` (vettori di boolean)
  - `ivec2, ivec3, ivec4` (vettori di interi)
- Matrice quadrate 2x2, 3x3 e 4x4:
  - `mat2`
  - `mat3`
  - `mat4`

Tipi di Dati

- L'accesso alle texture avviene tramite speciali tipi di dati: i campionatori (sampler):
  - **`sampler1D`** – per le texture 1D
  - **`sampler2D`** – per le texture 2D
  - **`sampler3D`** – per le texture 3D
  - **`samplerCube`** – per le CUBE MAP

Dichiarazioni variabili ed inizializzazione

- La dichiarazione delle variabili è simile a quella del C/C++.
  - `float a,b;`
  - `int c = 2; // commento (come in C++)`
- GLSL gestisce il type-casting tramite costruttori e l'inizializzazione tramite costruttori di copia:
  - `float b = 2;  // non va bene, l'intero non viene automaticamente castato a float`
  - `float e = (float)2;  // non funziona ugualmente anche se ci si potrebbe aspettare di si`
  - `float c = float(2.0); // corretto`
  - `vec3 g = vec3(1.0,2.0,3.0);  // corretto`
- Un pò di flessibilità nel costruttore c'è(!)
  - `vec2 a = vec2(1.0,2.0);`
  - `vec2 b = vec2(3.0,4.0);`
  - `vec4 c = vec4(a,b);  // c = vec4(1.0,2.0,3.0,4.0);`
  - `vec4 g = vec4(1.0);   // tutte le componenti sono inizializzate ad 1.0`

Variabili ‘Uniform’

- Una variabile di tipo ***uniform*** è costante rispetto ad una primitiva, ossia non può modificare il proprio valore tra una chiamata a *glBegin* ed una a *glEnd*. Le variabili di tipo uniform possono essere lette ma non scritte dal vertex o fragment shaders.
- La funzione per recuperare la ***location*** all’interno di un programma di shading di una variabile uniform (dato il suo nome) è:
  - `GLint glGetUniformLocationARB(GLhandleARB program, const char *name);`
- La location della variabile (ritornata dalla funzione) permette di settare la variabile uniform in questione utilizzando:
  - `void glUniform1fARB(GLint location, GLfloat v0);`
    `void glUniform2fARB(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1);`
    `void glUniform3fARB(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2);`
    `void glUniform4fARB(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1, GLfloat v2, GLfloat v3);`
  - `GLint glUniform{1,2,3,4}fvARB(GLint location, GLsizei count, GLfloat *v);`

Variabili 'Uniform'

- Esiste un set di funzioni analogo per i valori di tipo intero e matriciale ma non per i valori booleani.
  - **`GLint glUniformMatrix{2,3,4}fvARB(GLint location, GLsizei count, GLboolean transpose, GLfloat *v);`**
  - location – location della variabile
  - count – numero di matrici da settare
  - transpose - 1 indica row-major order, 0 column-major order
  - v – array di float

Uniform (esempio)


```
uniform float specIntensity;
uniform vec4 specColor;
uniform float t[2];
uniform vec4 colors[3];

GLint loc1,loc2,loc3,loc4;
float specIntensity = 0.98;
float sc[4] = {0.8,0.8,0.8,1.0};
float threshold[2] = {0.5,0.25};
float colors[12] = {0.4,0.4,0.8,1.0,
                    0.2,0.2,0.4,1.0,
                    0.1,0.1,0.1,1.0};

loc1 = glGetUniformLocationARB(p,"specIntensity");
glUniform1fARB(loc1,specIntensity);
loc2 = glGetUniformLocationARB(p,"specColor");
glUniform4fvARB(loc2,1,sc);
loc3 = glGetUniformLocationARB(p,"t");
glUniform1fvARB(loc3,2,threshold);
loc4 = glGetUniformLocationARB(p,"colors");
glUniform4fvARB(loc4,3,colors);
```

Attributi

- Variabili di tipo attributo possono essere assegnate per ogni vertice.
- Ci permettono di settare i dati degli attributi dei vertici durante il passaggio delle primitive alla scheda grafica.
- Analogamente alle variabili di tipo uniform, possono essere soltanto letti (nel vertex shader). Per il settaggio si devono utilizzare delle funzioni ad hoc.

Variabili Attributo

- Funzione per recuperare la location:
  - `GLint glGetAttribLocationARB(GLhandleARB program,char *name);`
- Funzioni per il setting:
  - `void glVertexAttrib1fARB(GLint location, GLfloat v0);`
  - `void glVertexAttrib2fARB(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1);`
  - `void glVertexAttrib3fARB(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1,GLfloat v2);`
  - `void glVertexAttrib4fARB(GLint location, GLfloat v0, GLfloat v1,,GLfloat v2, GLfloat v3);`
  - `GLint glVertexAttrib{1,2,3,4}fvARB(GLint location, GLfloat *v);`

Attributi (esempio)


```
loc = glGetAttribLocationARB(p,"height");

glBegin(GL_TRIANGLE_STRIP);
  glVertexAttrib1fARB(loc,2.0);
  glVertex2f(-1,1);
  glVertexAttrib1fARB(loc,2.0);
  glVertex2f(1,1);
  glVertexAttrib1fARB(loc,-2.0);
  glVertex2f(-1,-1);
  glVertexAttrib1fARB(loc,-2.0);
  glVertex2f(1,-1);
glEnd();
```

Attributi (esempio)


```
// attribute variables
// www.lighthouse3d.com

attribute float height;

void main()
{
   vec4 p;
   p.xz = gl_Vertex.xy;
   p.y = height;
   p.w = 1.0;

   gl_Position = gl_ModelViewProjectionMatrix * p;
}
```

Variabili 'Varying'

- Una volta che i vertici sono stati elaborati, vengono trasformati in frammenti durante la fase di rasterizzazione e passati al fragment shader. Per ogni frammento esistono un set di variabili che vengono interpolate automaticamente in fase di rasterizzazione (esempio colore).
- GLSL ha alcune variabili predefinite di questo tipo; queste variabili vengono chiamate ***varying variable***. GLSL permette di definire variabili varying.
- Le variabili varying devono essere dichiarate sia nel vertex shader che nel fragment shader.
- Questo ci permette di assegnare ai vertici degli attributi che saranno interpolati automaticamente.
- Per esempio si può assegnare la normale di un vertice come varying variable e trovarsela così interpolata per ogni pixel → ***calcolo del lighting per-pixel***.

Hello GLSL (!)

- Vertex Shader:
  - ```
    void main()
    {
      gl_Position = gl_ProjectionMatrix *
                    gl_ModelViewMatrix * gl_Vertex;

    }
    ```
- Fragment Shader:
  - ```
    void main()
    {
      gl_FragColor = vec4(1.0,0.0,0.0,0.0);
    }
    ```

Hello GLSL (!)

- Vertex Shader:
  - ```
    void main()
    {
        gl_Position = ftransform();
    }
    ```
- Fragment Shader:
  - ```
    void main()
    {
        gl_FragColor = glColor;
    }
    ```

Flatten Shader

- Vertex Shader:
  - ```
    void main()
    {
      vec4 v = vec4(gl_Vertex);
      v.z = 0.0;  // il modello viene appiatito
      gl_Position = gl_ModelViewProjectionMatrix * v;
    }
    ```
- Fragment Shader:
  - ```
    void main()
    {
       gl_FragColor = vec4(1.0,0.0,0.0,0.0);
    }
    ```

Phong Shader (per-vertex)

Vertex Shader:

```
varying vec4 color;
uniform vec4 vViewDirection;
uniform float shininess;
uniform vec4 Kd;
uniform vec4 Ks;

void main(void)
{
   // vertex normal
   vec3 N = normalize(gl_NormalMatrix * gl_Normal);

   // diffuse term
   vec4 vpos = gl_ModelViewMatrix * gl_Vertex;
   vec4 diffuse = vec4(0.0);
   vec3 lightDir = normalize(gl_LightSource[0].position.xyz –
                             vpos.xyz);
   float NdotL = dot(N, lightDir);
   if (NdotL > 0.0)
      diffuse = Kd * gl_LightSource[0].diffuse * NdotL;
   ...
```

Phong Shader (per-vertex)

Vertex Shader (continua):

```
   // specular term
   vec4 specular = vec4(0.0);
   vec3 rVector = normalize(2.0 * N * dot(N, lightDir) - lightDir);
   vec3 viewVector = normalize(-vViewDirection.xyz);
   float RdotV = dot(rVector, viewVector);

   if (RdotV > 0.0)
      specular = Ks * gl_LightSource[0].specular *
                      pow(RdotV, shininess);

   // final color (ambient term is not considered)
   color = diffuse + specular;

   // output: vertex position
   gl_Position = ftransform();
}
```

Phong Shader (per-vertex)

Fragment Shader:

```
varying vec4 color;

void main(void)
{
    gl_FragColor = color;
}
```

Phong Shader (per-pixel)

Vertex Shader:

```
varying vec3 normal;
varying vec3 vpos;

void main()
{
   // vertex normal
   normal = gl_NormalMatrix * gl_Normal;

   // vertex position
   vpos = vec3(gl_ModelViewMatrix * gl_Vertex);

   // vertex position
   gl_Position = ftransform();
}
```

Phong Shader (per-pixel)

Fragment Shader:

```
varying vec3 normal;
varying vec3 vpos;

uniform vec4 vViewDirection;
uniform float shininess;
uniform vec4 Kd;
uniform vec4 Ks;

void main()
{
   // per-pixel normal
   vec3 n = normalize(normal);

   // diffuse term
   vec4 diffuse = vec4(0.0);
   vec3 lightDir = normalize(gl_LightSource[0].position.xyz - vpos);
   float NdotL = dot(n, lightDir);
   if (NdotL > 0.0)
      diffuse = Kd * gl_LightSource[0].diffuse * NdotL;
   ...
```

Phong Shader (per-pixel)

Fragment Shader (continua):

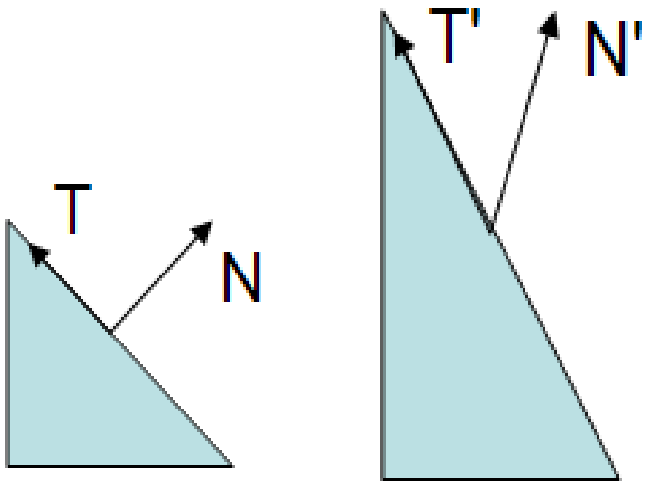
```
   ...

   // specular term
   vec4 specular = vec4(0.0);
   vec3 rVector = normalize(2.0 * n * dot(n, lightDir) –
        lightDir);
   vec3 viewVector = normalize(-vViewDirection.xyz);
   float RdotV = dot(rVector, viewVector);

   if (RdotV > 0.0)
      specular = Ks * gl_LightSource[0].specular *
      pow(RdotV, shininess);

   // final color
   gl_FragColor = diffuse + specular;
}
```

Trasformazione e Normali

- Quando si lavora con le normali (cioè spesso) si deve fare attenzione allo spazio di coordinate in cui si lavora (***object space*** o ***eye space***).
- Ossia anche le normali devono essere trasformate opportunamente, così come i vertici.
- Talvolta questo equivale semplicemente ad applicare la matrice di rototraslazione:
  - `normalEyeSpace = vec3(gl_ModelViewMatrix * vec4(gl_Normal,0.0)); // gl_Normal ha 3 componenti`

Trasformazioni e Normali

- Talvolta questo non è valido:

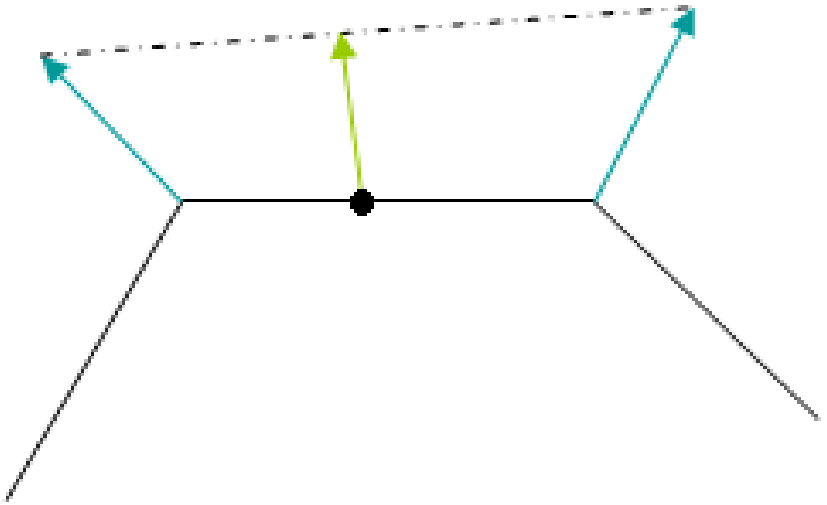


- In particolare se ho trasformazioni di scala la normale risulta deformata. Si dimostra matematicamente che in questi casi si deve utilizzare l'inversa della trasposta della matrice MODELVIEW.

$$G = (M^{-1})^T$$

Normal Matrix

- In GLSL potete trasformare la normale in eye-space semplicemente moltiplicandola per la matrice predefinita ***gl_NormalMatrix***:
  - `normal = gl_NormalMatrix * gl_Normal;`
- Ricordatevi sempre la normalizzazione (`normalize(normal)`), specie se lavorate nel fragment shader, dove l'interpolazione spesso rende il vettore di lunghezza non unitaria.



Simple Texture Shader

- Per quanto riguarda l'accesso alle coordinate texture, il linguaggio GLSL prevede le seguenti variabili (attribute) predefinite:
  - `attribute vec4 gl_MultiTexCoord0`
  - `attribute vec4 gl_MultiTexCoord1`
  - `attribute vec4 gl_MultiTexCoord2`
  - ...
  - `attribute vec4 gl_MultiTexCoord7`
- Come si nota, si ha una variabile per ogni texture unit.

Simple Texture Shader

Vertex Shader:

```
varying vec4 texCoord;

void main()
{
  // texture coordinates
  texCoord = gl_MultiTexCoord0;

  // output (vertex position)
  gl_Position = ftransform();
}
```

Simple Texture Shader

Fragment Shader:

```
varying vec4 texCoord;
uniform sampler2D tex;

void main()
{
   // texture lookup
   vec4 color = texture2D(tex, texCoord.st);

  // output
  gl_FragColor = color;
}
```

NOTA: Questo modo di procedere equivale ad effettuare un'operazione di texture mapping in modalità GL_REPLACE

Simple Texture Shader (2)

Vediamo il caso di texture mapping in modalità GL_MODULATE:

Vertex Shader:

```
varying vec3 lightDir;
varying vec3 normal;

void main()
{
   // mi servono per calcolare l'illuminazione per-pixel
   normal = gl_NormalMatrix * gl_Normal;
   lightDir = vec3(1.0);  // directional light

   // pre-defined varying variable
   gl_TexCoord[0] = gl_MultiTexCoord0;

  // output (vertex position)
  gl_Position = ftransform();
}
```

Simple Texture Shader (2)

Fragment Shader:

```
varying vec3 lightDir, normal;
uniform sampler2D baseMap;

void main()
{
   float intensity;
   intensity = max(dot(normalize(lightDir),normalize(normal)),0.0);
   vec3 cf = vec3(intensity * gl_FrontMaterial.diffuse.rgb);
   float af = float(gl_FrontMaterial.diffuse.a);

   // texture lookup
   vec4 texel = vec4(texture2D(baseMap, gl_TexCoord[0].st));
   vec3 ct = vec3(texel.rgb);
   float at = float(texel.a);

   // output (modulazione della texture secondo il contributo
   //         delll'illuminazione)
   gl_FragColor = vec4(ct * cf, at * af);
}
```

Domande?