Teaching Computer Science in Architecture

António Menezes Leitão
antonio.menezes.leitao@ist.utl.pt

February, 2012

Disclaimer

ἓν οἶδα ὅτι οὐδὲν οἶδα

Σωκράτης

Disclaimer

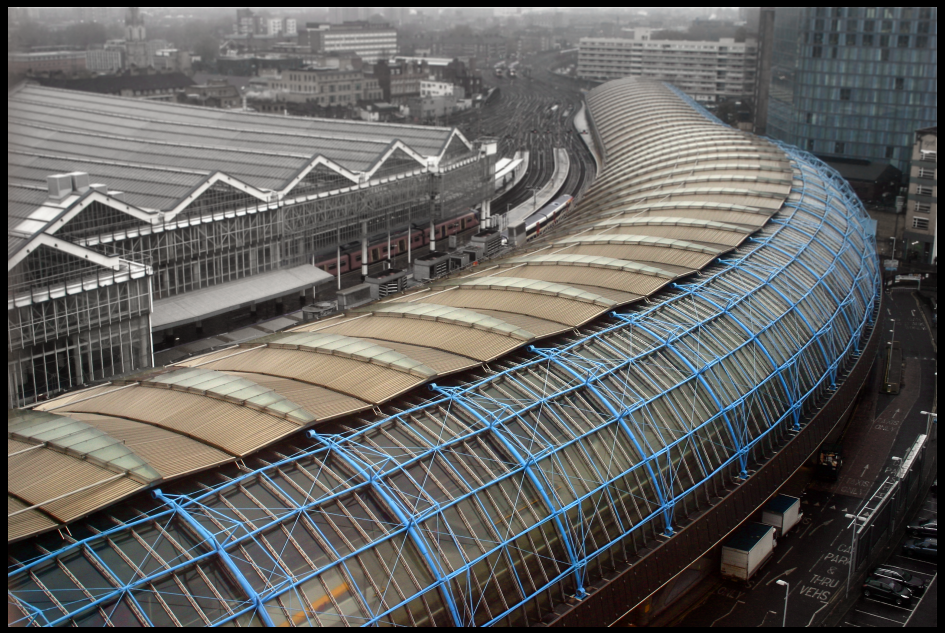
ἓν οἶδα ὅτι οὐδὲν οἶδα

Σωκράτης

I know one thing, that I know nothing

Socrates

Preamble



Architecture needs Computer Science

Architecture needs Computer Science

How do we teach Computer Science to Architects?

Architecture needs Computer Science

How do we teach Computer Science to Architects?

- Geometry

Architecture needs Computer Science

How do we teach Computer Science to Architects?

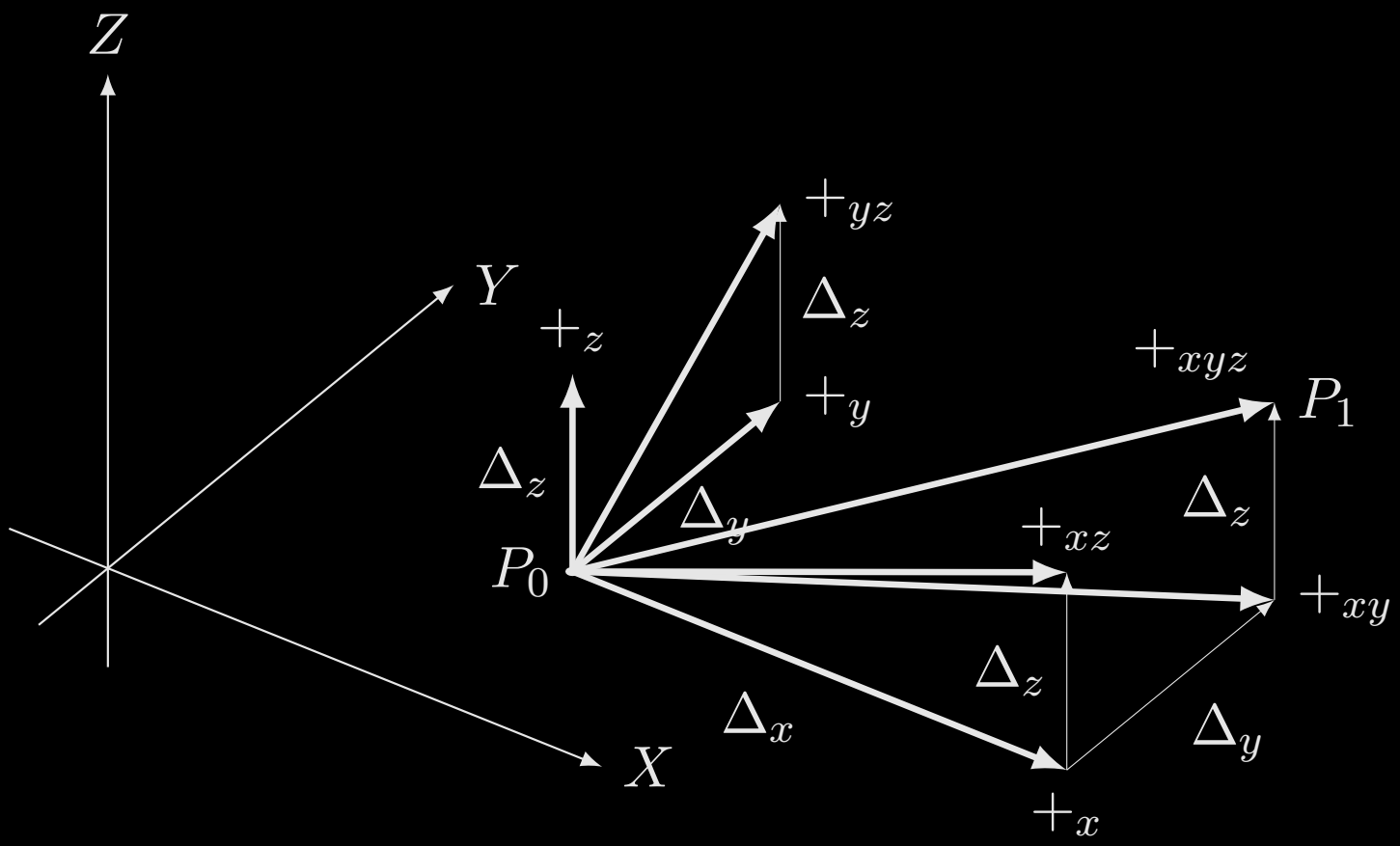
- Geometry
- Algorithms

Architecture needs Computer Science

How do we teach Computer Science to Architects?

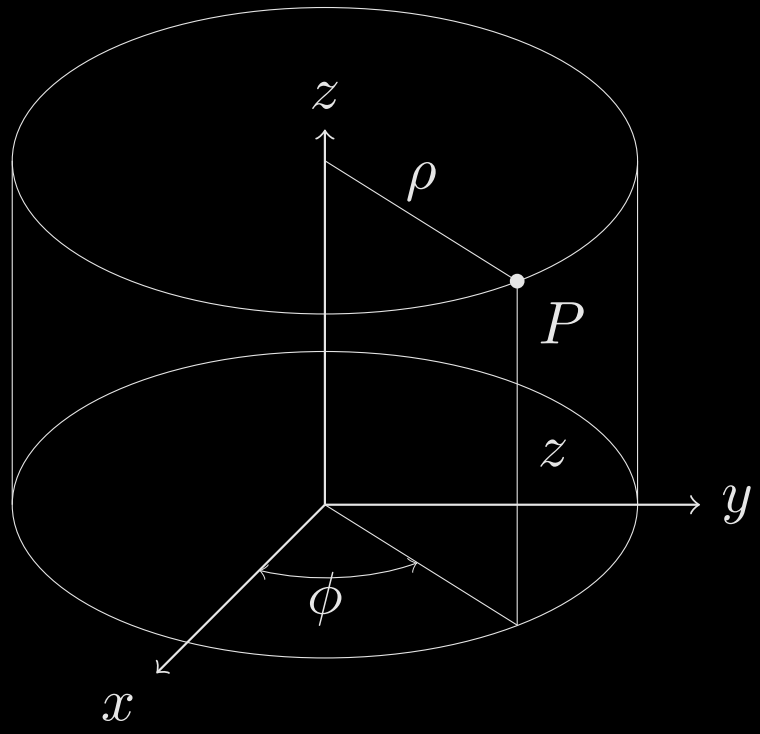
- Geometry
- Algorithms
- Programming Language

Geometry - Rectangular Coordinates

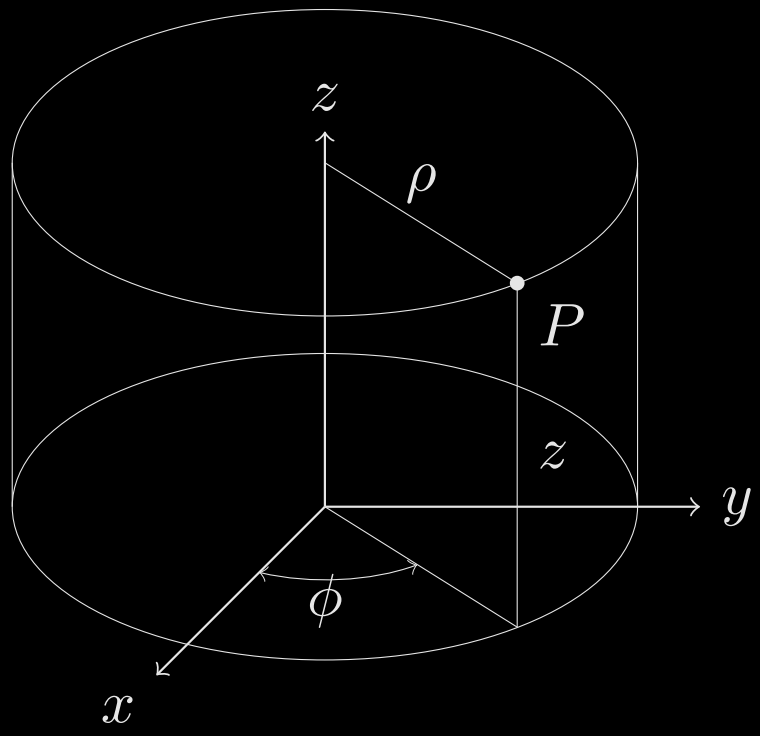


$$P_1 = +_{xyz}(P_0, \Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$$

Geometry - Cylindrical Coordinates

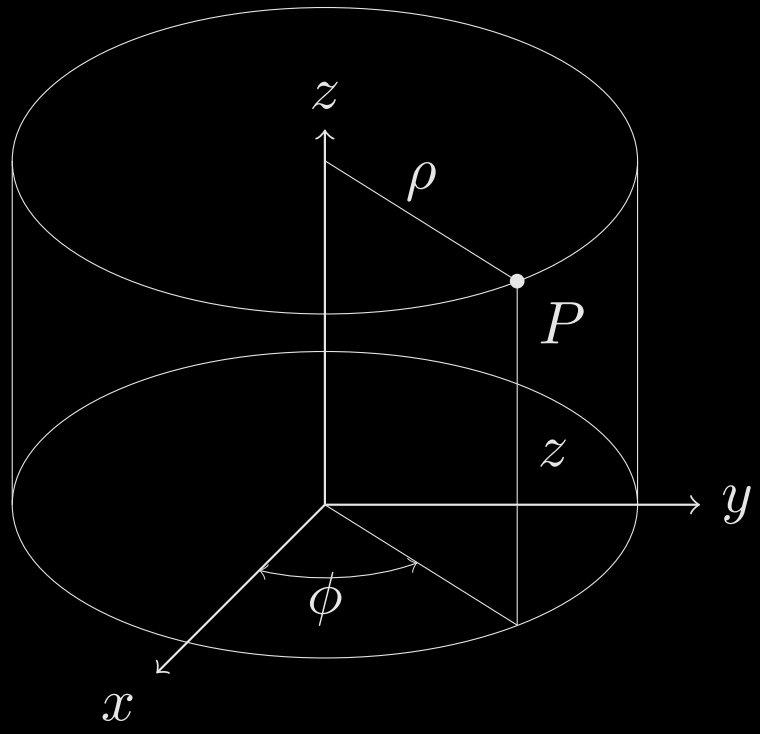


Geometry - Cylindrical Coordinates



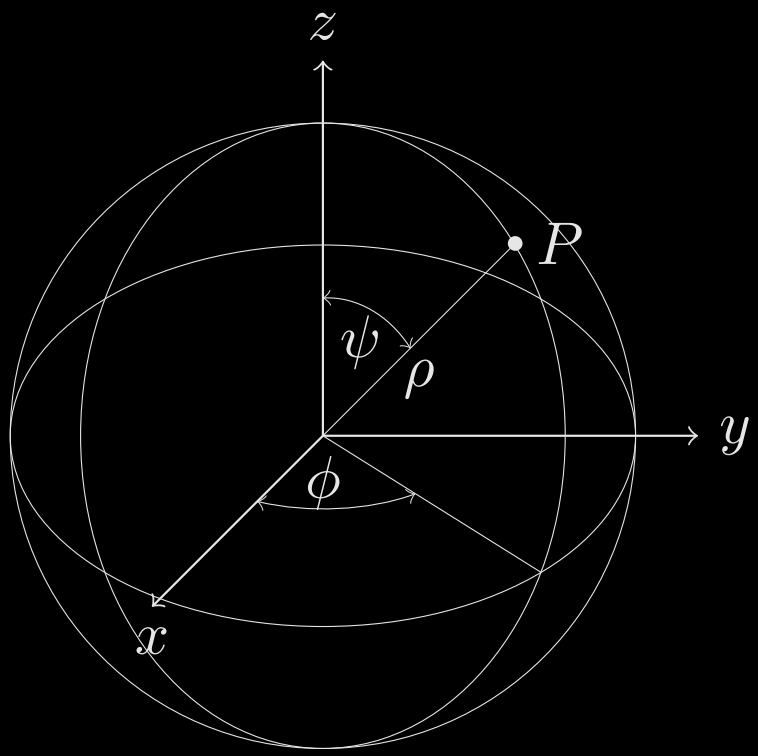
$$\forall_s \in [0, \ldots, n]$$
$$\quad \mathsf{step}(\ \mathsf{cyl}(r_i, \Delta_\omega \cdot s, \Delta_h \cdot s),$$
$$\qquad \mathsf{cyl}(r_e, \Delta_\omega \cdot s, \Delta_h \cdot s))$$

Geometry - Cylindrical Coordinates

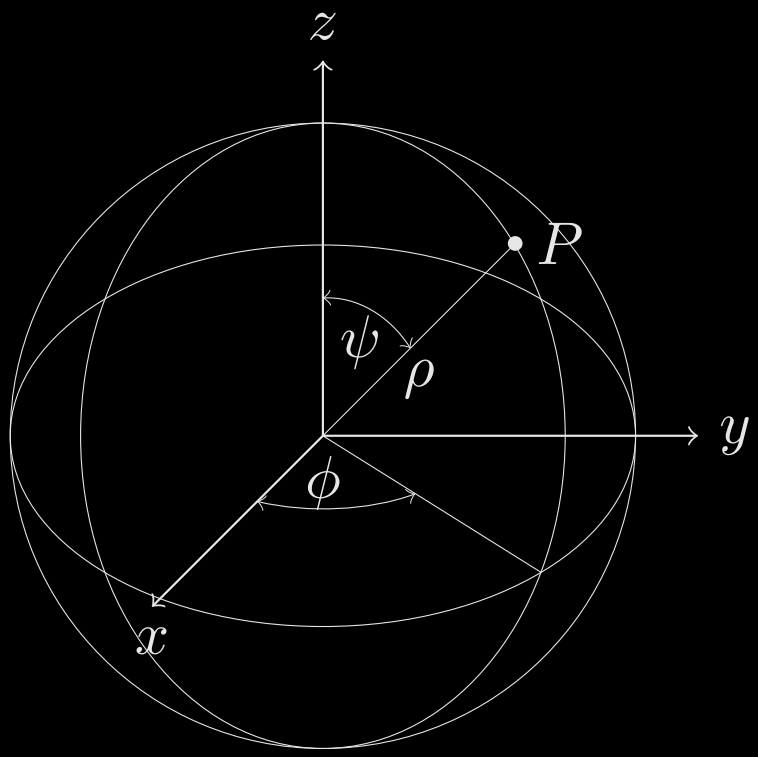


$$\forall_s \in [0, \ldots, n]$$
$$\quad \mathsf{step}(\ \mathsf{cyl}(r_i, \Delta_\omega \cdot s, \Delta_h \cdot s),$$
$$\qquad \mathsf{cyl}(r_e, \Delta_\omega \cdot s, \Delta_h \cdot s))$$

Geometry - Spherical Coordinates



Geometry - Spherical Coordinates

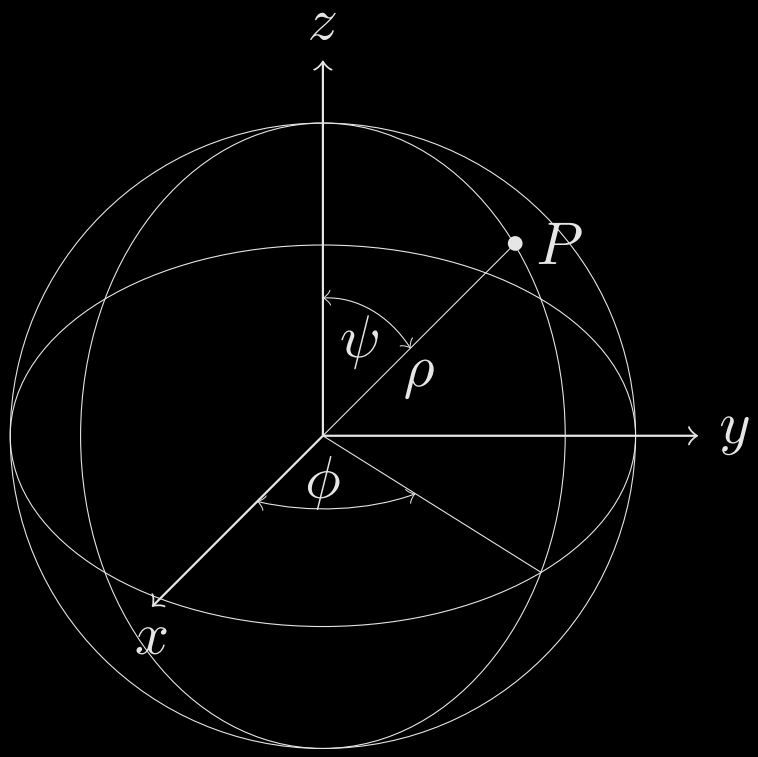


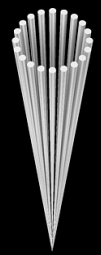
$$\forall_\psi \in \{0, \frac{\pi}{10}, \ldots, \pi\}$$

$$\forall_\phi \in \{\frac{\pi}{10}, 2\frac{\pi}{10}, \ldots, 2\pi\}$$

$$\mathsf{cone}(\mathsf{sph}(1, \phi, \psi), \frac{\sin\psi}{10}, \mathsf{xyz}(0, 0, 0))$$

Geometry - Spherical Coordinates



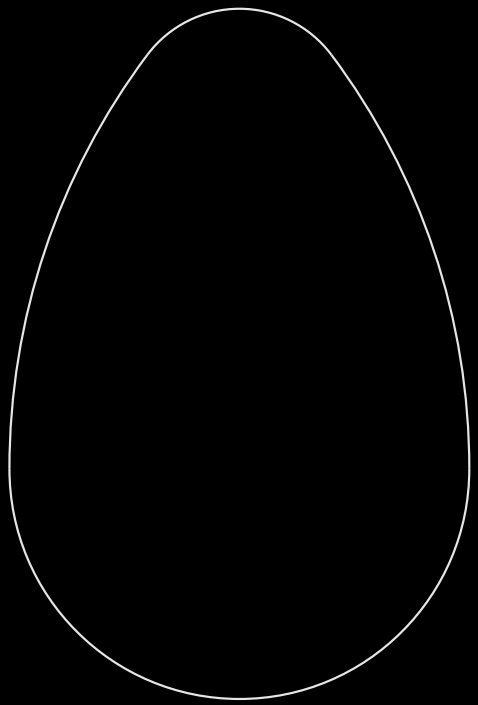


$$\forall_\psi \in \{0, \frac{\pi}{10}, \ldots, \pi\}$$

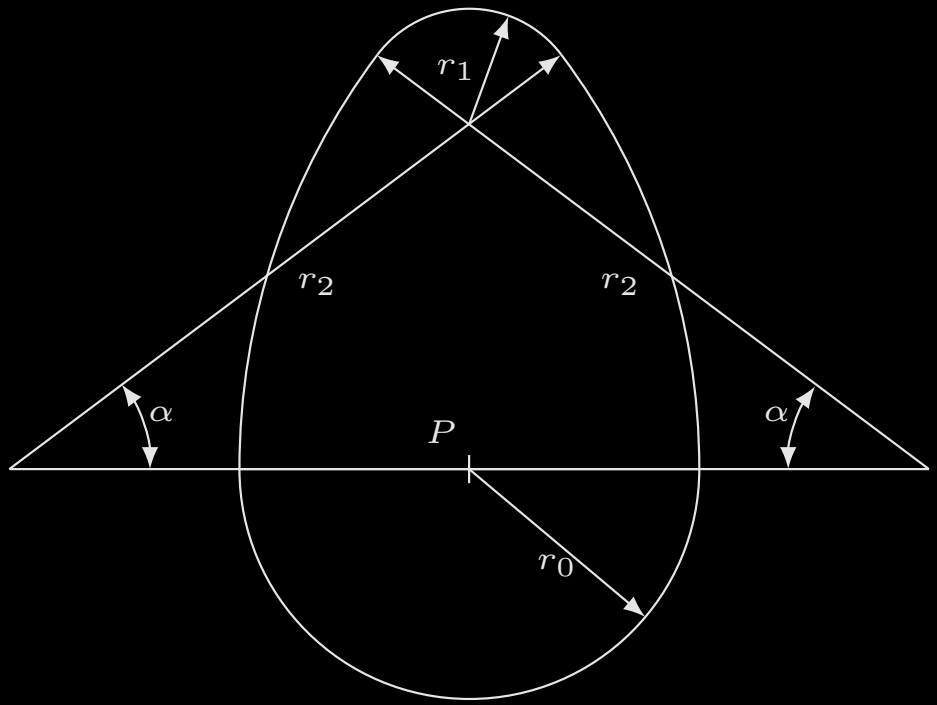
$$\forall_\phi \in \{\frac{\pi}{10}, 2\frac{\pi}{10}, \ldots, 2\pi\}$$

$$\mathsf{cone}(\mathsf{sph}(1, \phi, \psi), \frac{\sin\psi}{10}, \mathsf{xyz}(0, 0, 0))$$

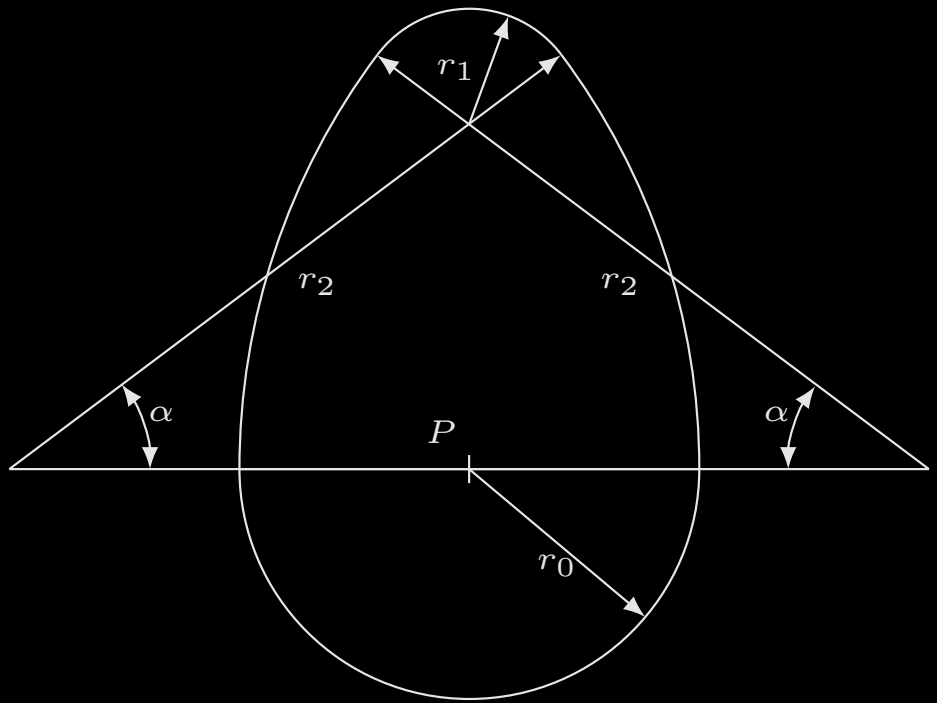
Geometry - Primitives



Geometry - Primitives



Geometry - Primitives

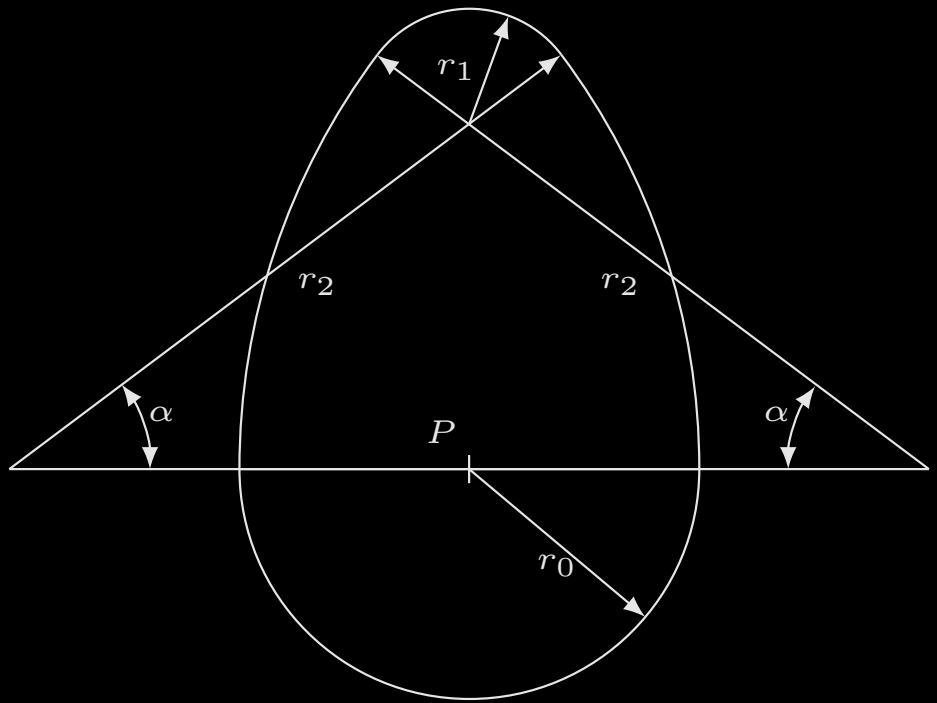


$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{r_0 - r_1}{h - r_0 - r_1}$$

$$r_2 = \frac{r_0 - r_1 \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

Geometry - Primitives

$$\mathsf{egg}(p, r_0, r_1, h) =$$

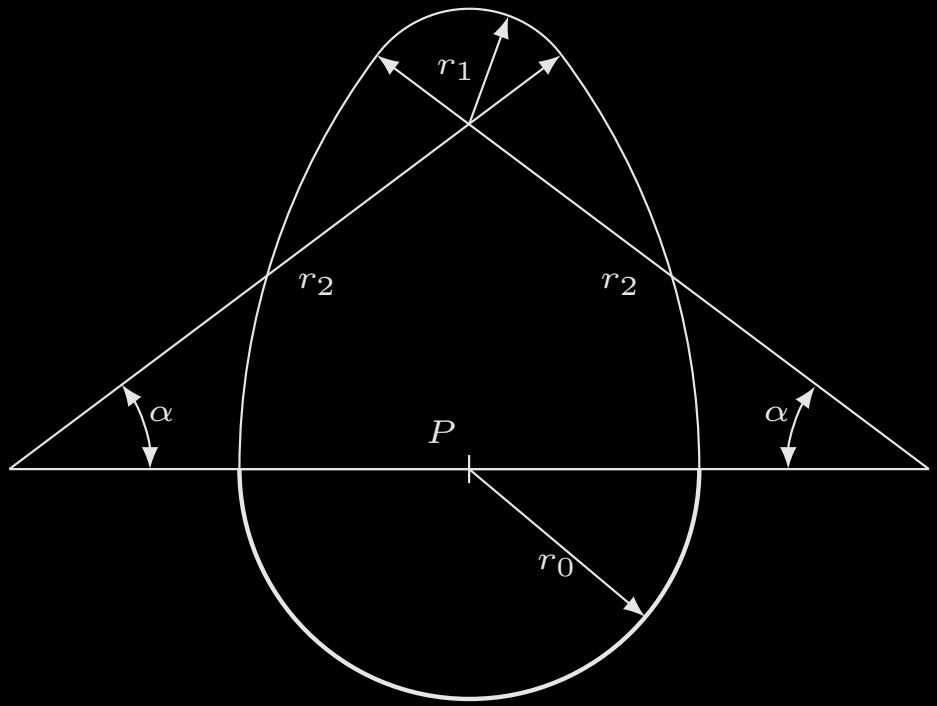


$$\alpha = 2\,\mathsf{tan}^{-1}\,\frac{r_0 - r_1}{h - r_0 - r_1}$$

$$r_2 = \frac{r_0 - r_1\,\mathsf{cos}\,\alpha}{1 - \mathsf{cos}\,\alpha}$$

Geometry - Primitives

$$\mathsf{egg}(p, r_0, r_1, h) =$$
$$\mathsf{arc}(p, r_0, 0, -\pi) \cup$$

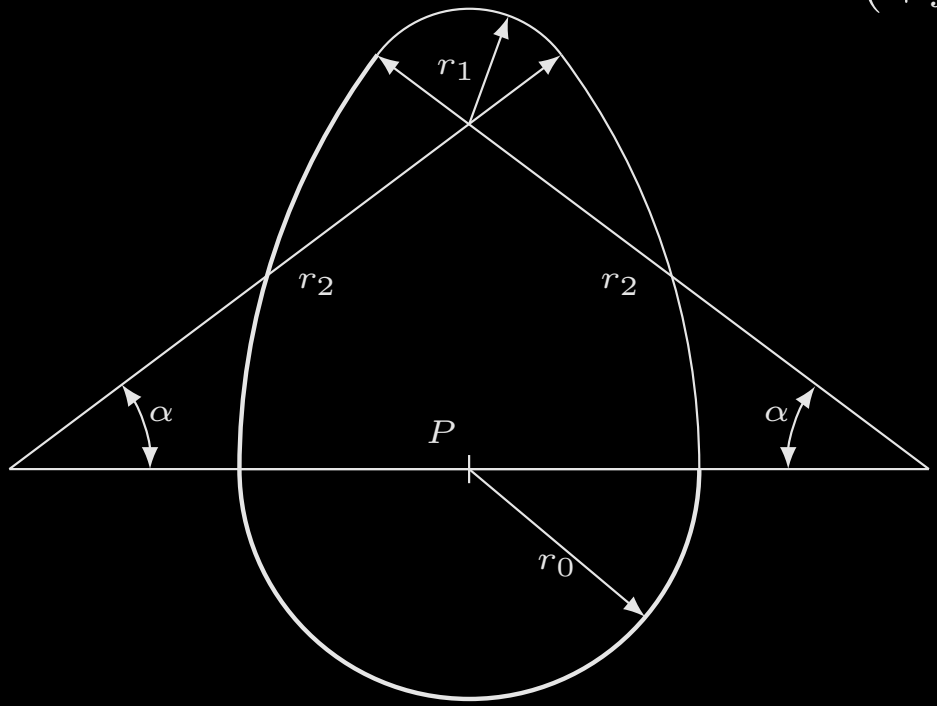


$$\alpha = 2\,\mathsf{tan}^{-1}\,\frac{r_0 - r_1}{h - r_0 - r_1}$$

$$r_2 = \frac{r_0 - r_1\,\mathsf{cos}\,\alpha}{1 - \mathsf{cos}\,\alpha}$$

Geometry - Primitives

$$\mathsf{egg}(p, r_0, r_1, h) =$$
$$\quad \mathsf{arc}(p, r_0, 0, -\pi) \cup$$
$$\quad \mathsf{arc}(+_x(p, r_0 - r_2), r_2, 0, \alpha) \cup$$

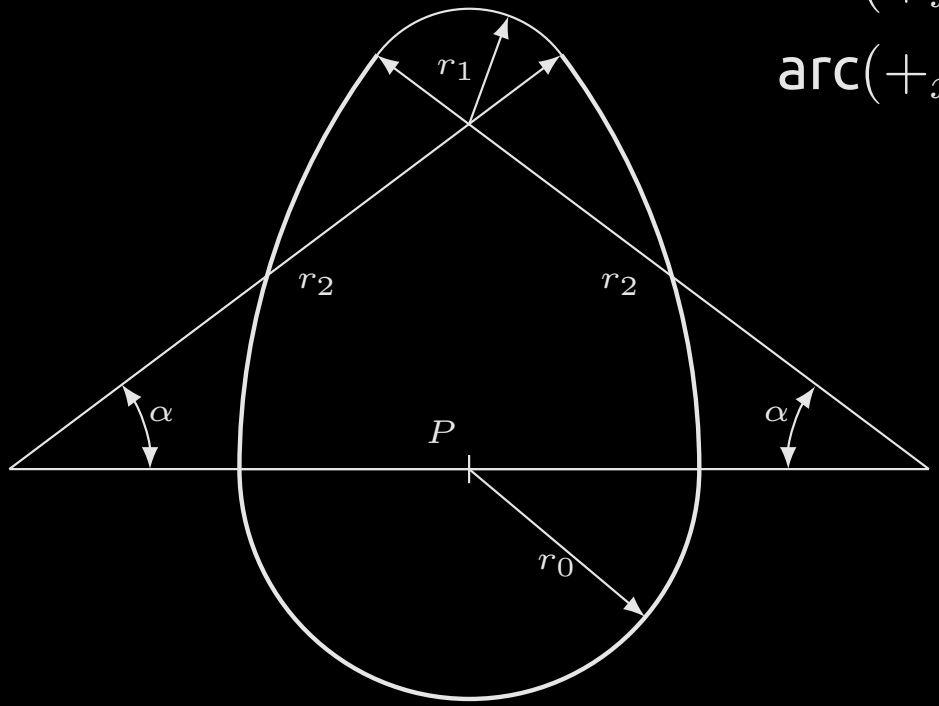


$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{r_0 - r_1}{h - r_0 - r_1}$$

$$r_2 = \frac{r_0 - r_1 \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

Geometry - Primitives

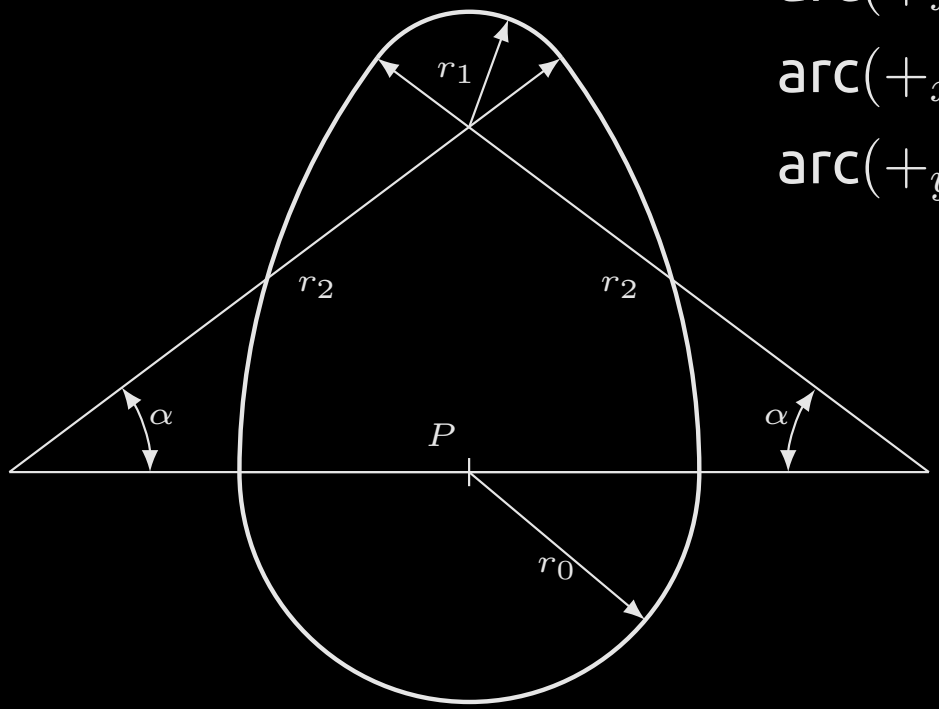
$$\mathsf{egg}(p, r_0, r_1, h) =$$
$$\quad \mathsf{arc}(p, r_0, 0, -\pi) \cup$$
$$\quad \mathsf{arc}(+_x(p, r_0 - r_2), r_2, 0, \alpha) \cup$$
$$\quad \mathsf{arc}(+_x(p, r_2 - r_0), r_2, \alpha - \pi, \alpha) \cup$$



$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{r_0 - r_1}{h - r_0 - r_1}$$
$$r_2 = \frac{r_0 - r_1 \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

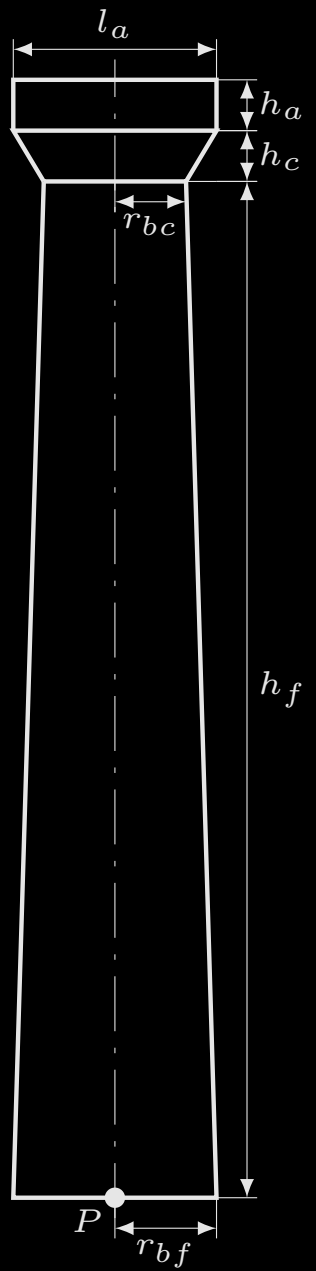
Geometry - Primitives

$$\mathsf{egg}(p, r_0, r_1, h) =$$
$$\mathsf{arc}(p, r_0, 0, -\pi) \cup$$
$$\mathsf{arc}(+_x(p, r_0 - r_2), r_2, 0, \alpha) \cup$$
$$\mathsf{arc}(+_x(p, r_2 - r_0), r_2, \alpha - \pi, \alpha) \cup$$
$$\mathsf{arc}(+_y(p, (r_2 - r_1)\,\mathsf{sin}\,\alpha), r_1, \alpha, \pi - 2\alpha)$$

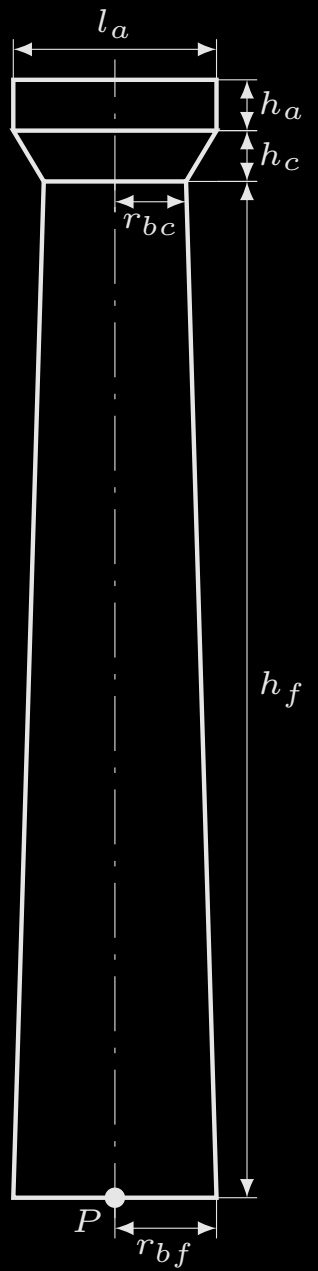


$$\alpha = 2\,\mathsf{tan}^{-1}\,\frac{r_0 - r_1}{h - r_0 - r_1}$$
$$r_2 = \frac{r_0 - r_1\,\mathsf{cos}\,\alpha}{1 - \mathsf{cos}\,\alpha}$$

Algorithms

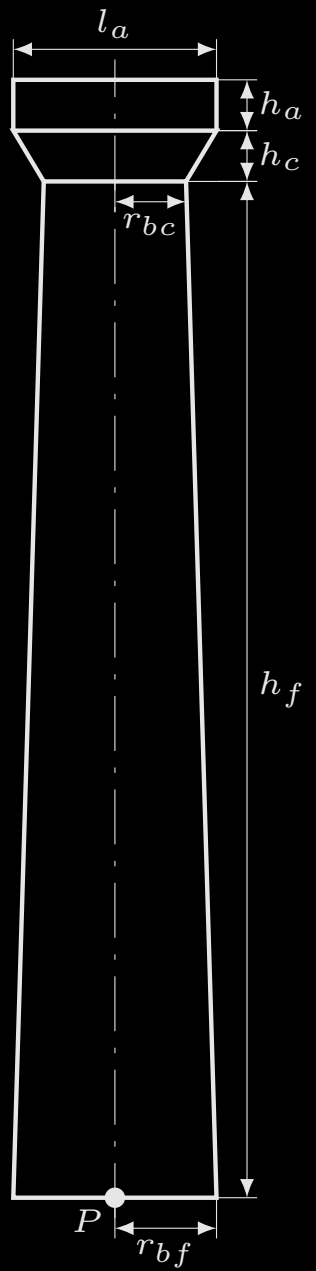


Algorithms



$$\begin{aligned}&\mathsf{column}(p, h_f, r_{bf}, h_c, r_{bc}, h_a, l_a) = \\ &\quad \mathsf{frustrum}(p, h_f, r_{bf}, r_{bc}) \cup \\ &\quad \mathsf{frustrum}(+_z(p, h_f), h_c, r_{bc}, l_a/2) \cup \\ &\quad \mathsf{box}(+_z(p, h_f + h_c), h_a, l_a)\end{aligned}$$

Algorithms

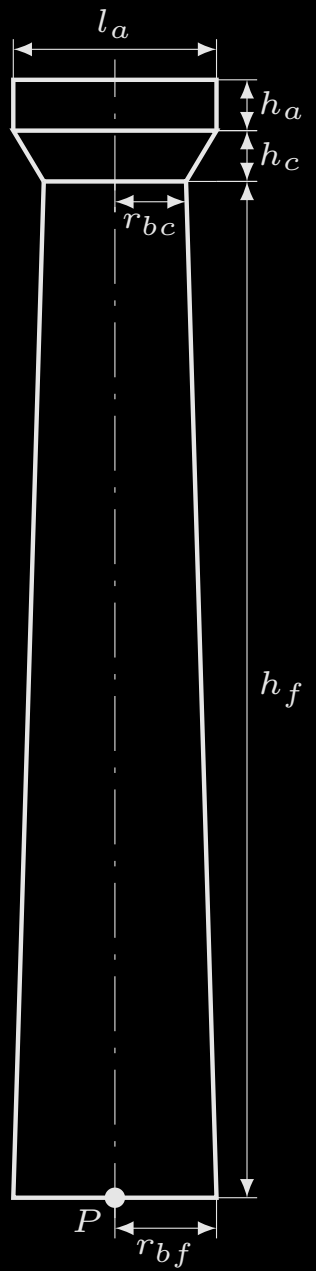


$$\text{column}(p, h_f, r_{bf}, h_c, r_{bc}, h_a, l_a) =$$
$$\quad \text{frustrum}(p, h_f, r_{bf}, r_{bc}) \cup$$
$$\quad \text{frustrum}(+_z(p, h_f), h_c, r_{bc}, l_a/2) \cup$$
$$\quad \text{box}(+_z(p, h_f + h_c), h_a, l_a)$$

Crassitudo columnarum erit duorum modulorum, altitudo cum capitulo XIIII. Capituli crassitudo unius moduli, latitudo duorum et moduli sextae partis. Crassitudo capituli dividatur in partes tres.

Vitruvius

Algorithms

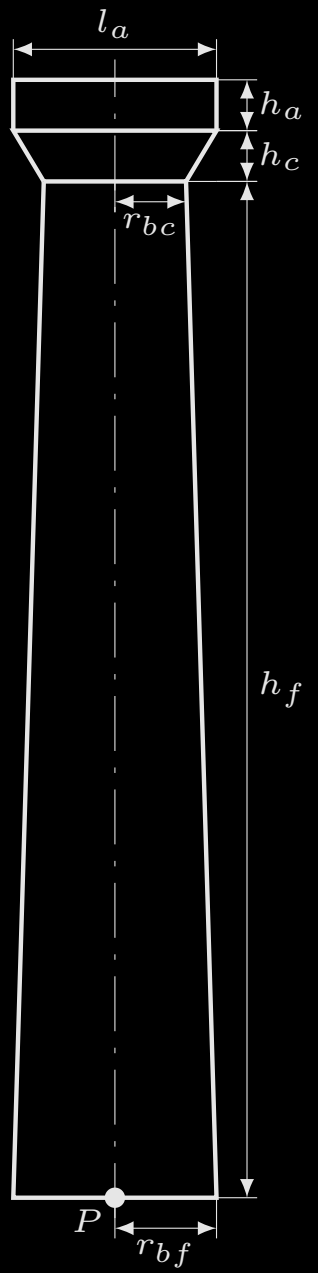


$$\text{column}(p, h_f, r_{bf}, h_c, r_{bc}, h_a, l_a) =$$
$$\quad \text{frustrum}(p, h_f, r_{bf}, r_{bc}) \cup$$
$$\quad \text{frustrum}(+_z(p, h_f), h_c, r_{bc}, l_a/2) \cup$$
$$\quad \text{box}(+_z(p, h_f + h_c), h_a, l_a)$$

The diameter of the columns will be two modules, the height including the capital 14, the height of the capital is one module, the width two modules and a sixth. The height of the capital is to be divided into three parts.

Vitruvius

Algorithms

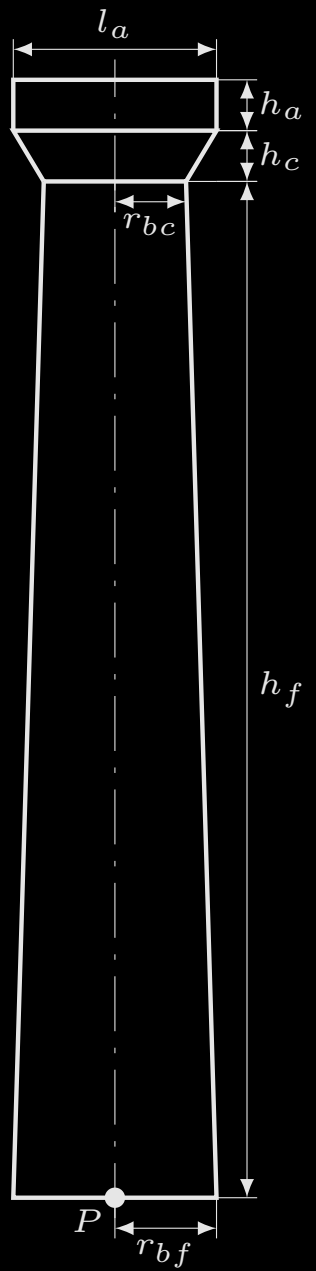


$$\text{column}(p, h_f, r_{bf}, h_c, r_{bc}, h_a, l_a) =$$
$$\quad \text{frustrum}(p, h_f, r_{bf}, r_{bc}) \cup$$
$$\quad \text{frustrum}(+_z(p, h_f), h_c, r_{bc}, l_a/2) \cup$$
$$\quad \text{box}(+_z(p, h_f + h_c), h_a, l_a)$$

$$h_f = 13 r_{bf} \qquad h_c = \frac{2}{3} r_{bf}$$

$$h_a = \frac{1}{3} r_{bf} \qquad l_a = \frac{13}{6} r_{bf}$$

Algorithms



$$\mathsf{column}(p, h_f, r_{bf}, h_c, r_{bc}, h_a, l_a) =$$
$$\mathsf{frustrum}(p, h_f, r_{bf}, r_{bc}) \cup$$
$$\mathsf{frustrum}(+_z(p, h_f), h_c, r_{bc}, l_a/2) \cup$$
$$\mathsf{box}(+_z(p, h_f + h_c), h_a, l_a)$$

$$h_f = 13 r_{bf} \qquad h_c = \frac{2}{3} r_{bf}$$
$$h_a = \frac{1}{3} r_{bf} \qquad l_a = \frac{13}{6} r_{bf}$$

$$\mathsf{doricColumn}(p, r_{bf}, r_{bc}) =$$
$$\mathsf{column}(p, 13 r_{bf}, r_{bf}, \frac{2}{3} r_{bf}, r_{bc}, \frac{1}{3} r_{bf}, \frac{13}{6} r_{bf})$$

Programming Languages

Programming Languages

Most languages have the same *computational power*

Programming Languages

Most languages have the same *computational power*

but they differ in

- clarity
- learning curve
- paradigms
- execution speed
- productivity
- …
- *expressive power*

Programming Languages - Choices

- It must be simple
- It must be expressive
- It must be usable with a CAD application

Programming Languages - Choices

- It must be simple
- It must be expressive
- It must be usable with a CAD application

- ArchiCad
  - GDL
- AutoCAD
  - Visual Basic
  - C++
  - AutoLisp
- Rhino
  - RhinoScript
  - Grasshopper
  - Python

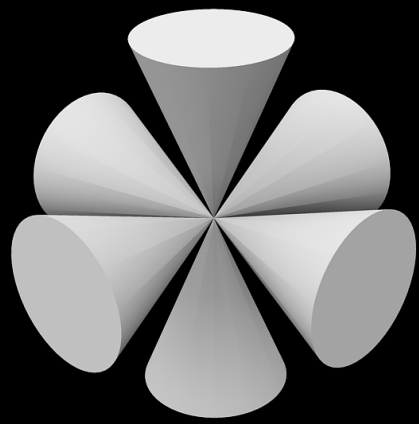
Course Outline

Course Outline

- Syntax & Semantics
- Recursion
- State & Randomness
- Lists
- Solid Geometry
- Higher Order Functions
- Parametrics

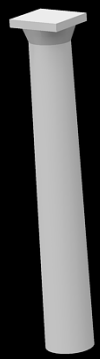
Syntax & Semantics

```
(defun cross (p rb rt c)
  (cone-frustrum
    p rb (+x p c) rt)
  (cone-frustrum
    p rb (+y p c) rt)
  (cone-frustrum
    p rb (+z p c) rt)
  (cone-frustrum
    p rb (+x p (- c)) rt)
  (cone-frustrum
    p rb (+y p (- c)) rt)
  (cone-frustrum
    p rb (+z p (- c)) rt))
```

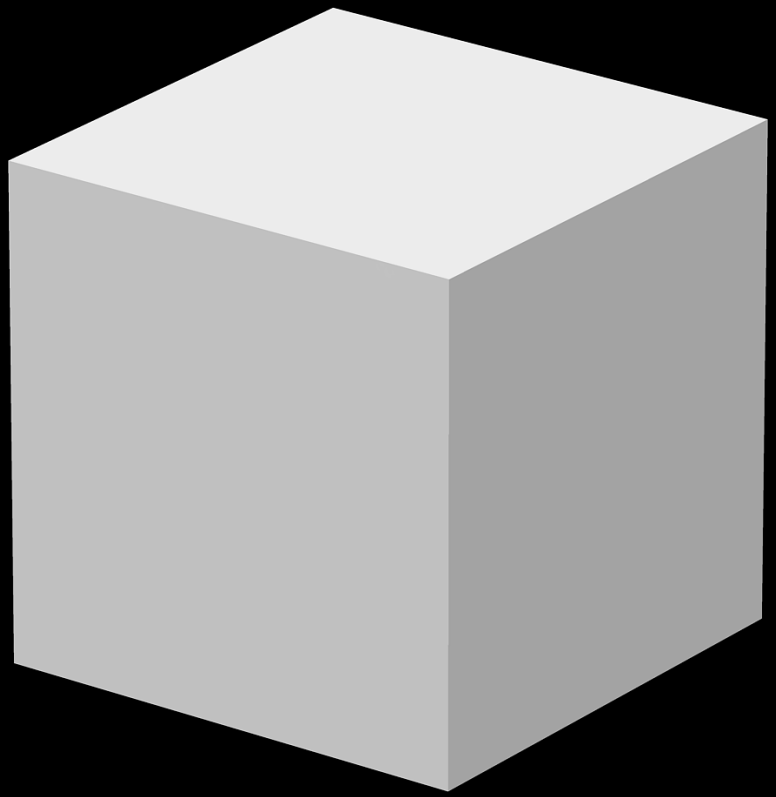


Recursion

```
(defun colonnade (p h v n)
  (if (= n 0)
    nil
    (progn
      (column p h)
      (colonnade (+c p v) h v (- n 1)))))
```



Recursion

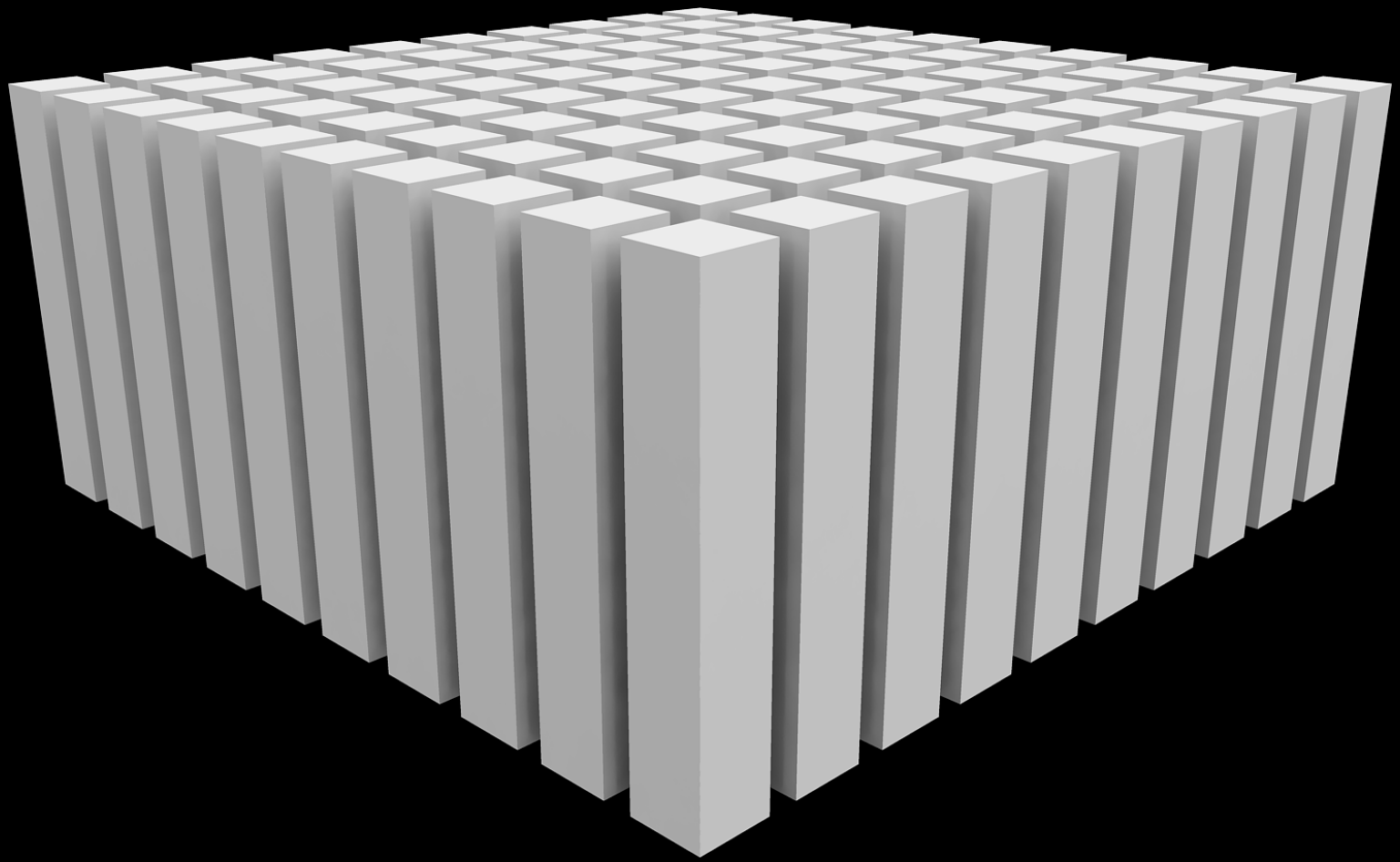


```
(defun menger (p l n)
  (if (= n 0)
    (cube p l)
    (progn
      (setq l (/ l 3.0))
      (foreach i (enum 0 2 1)
        (foreach j (enum 0 2 1)
          (foreach k (enum 0 2 1)
           (if (or (= i j 1) (= i k 1) (= j k 1))
              nil
              (menger
                (+xyz p (* i l) (* j l) (* k l))
                l
                (- n 1)))))))))
```

State & Randomness

```
(defun spheres-in-sphere (p ri re rl n / r )
  (repeat n
    (setq r (random-[] ri re))
    (sphere (+esf p r (random-[] 0 2*pi) (random-[] 0 pi))
            (- rl r))))
```

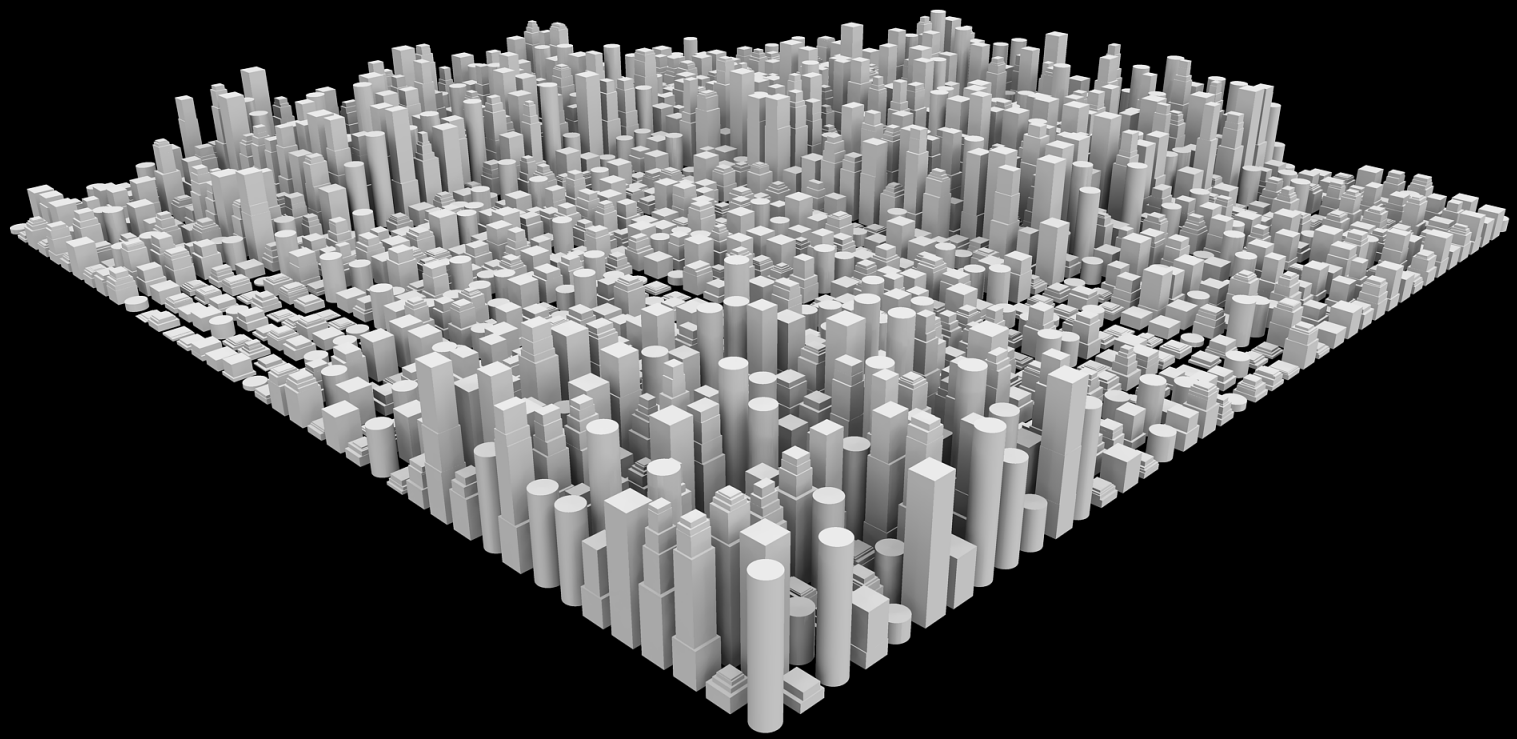
State & Randomness



State & Randomness

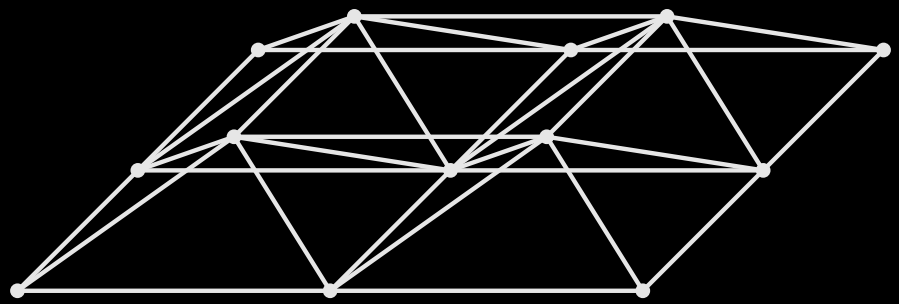
Gaussian Distribution

$$f(x,y) = e^{-\left((\frac{x-x_o}{\sigma_x})^2+(\frac{y-y_o}{\sigma_y})^2\right)}$$



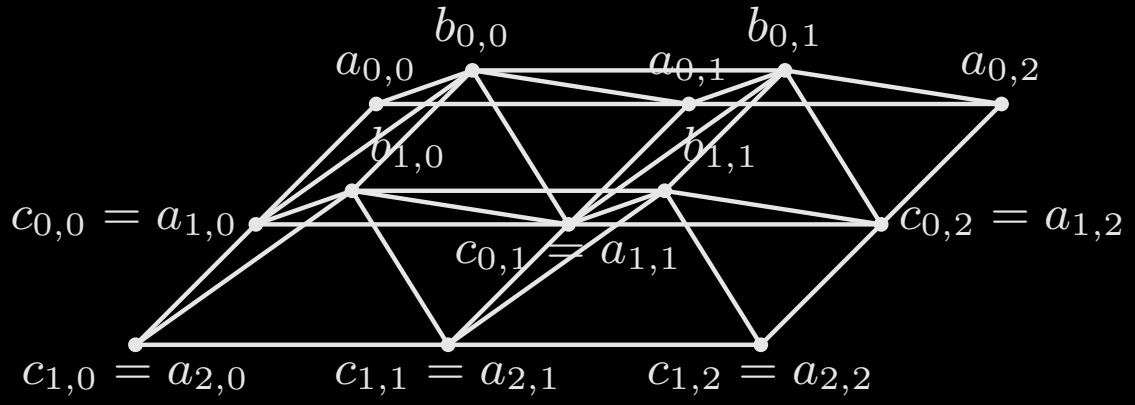
Lists

Trusses



Lists

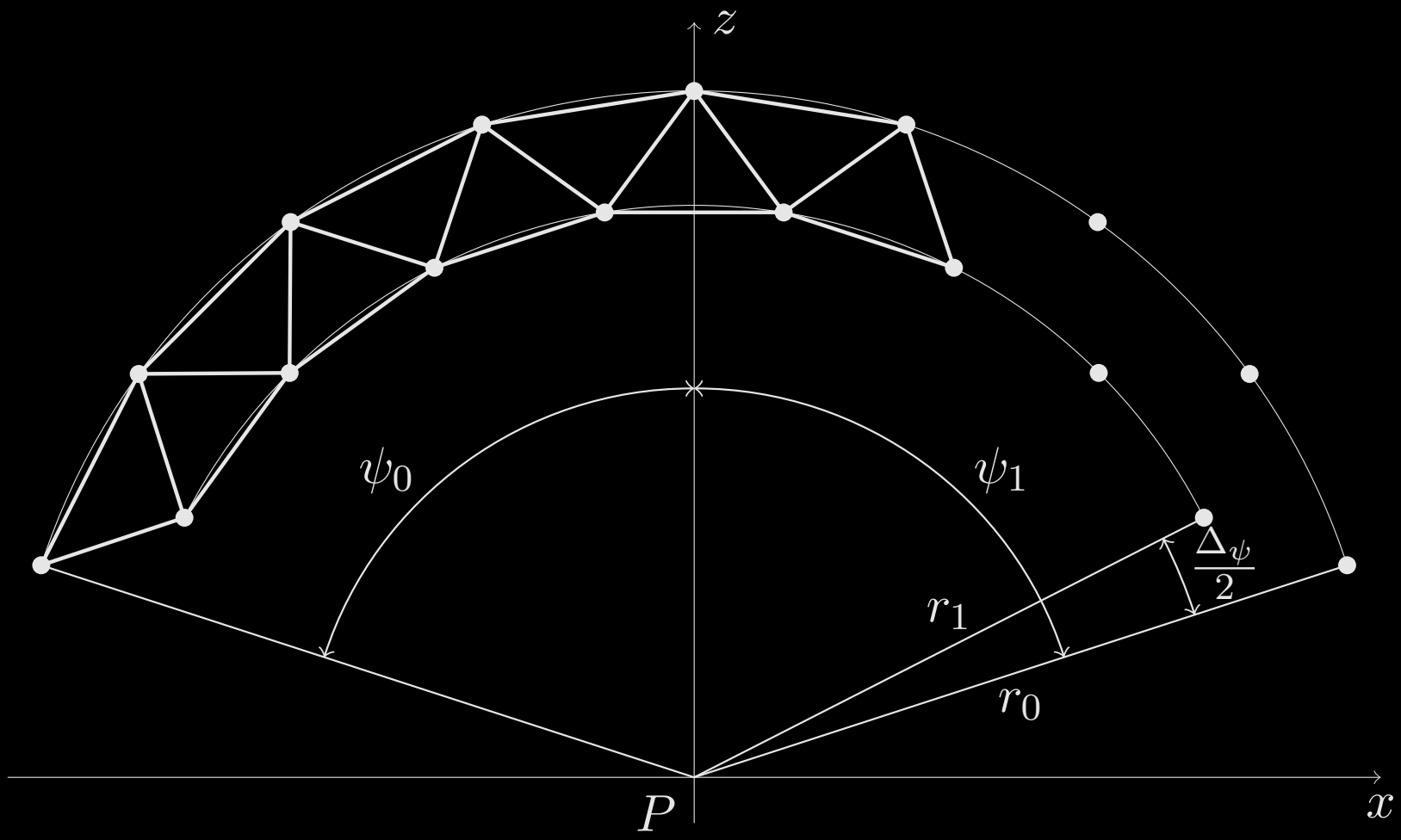
Trusses



$$
\begin{pmatrix}
\begin{pmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & a_{0,2} & \dots & a_{0,n-1} & a_{0,n} \end{pmatrix} \\
\begin{pmatrix} b_{0,0} & b_{0,1} & b_{0,2} & \dots & b_{0,n-1} \end{pmatrix} \\
\begin{pmatrix} a_{1,0} & a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,n-1} & a_{1,n} \end{pmatrix} \\
\dots \\
\begin{pmatrix} c_{m,0} & c_{m,1} & c_{m,2} & \dots & c_{m,n-1} & c_{m,n} \end{pmatrix}
\end{pmatrix}
$$

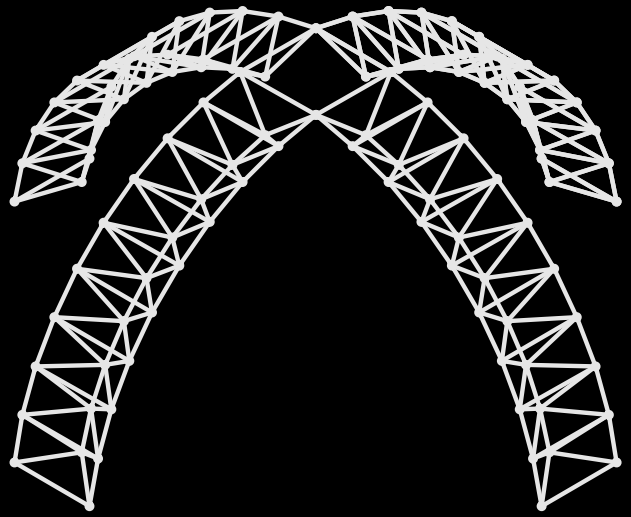
Lists

Trusses



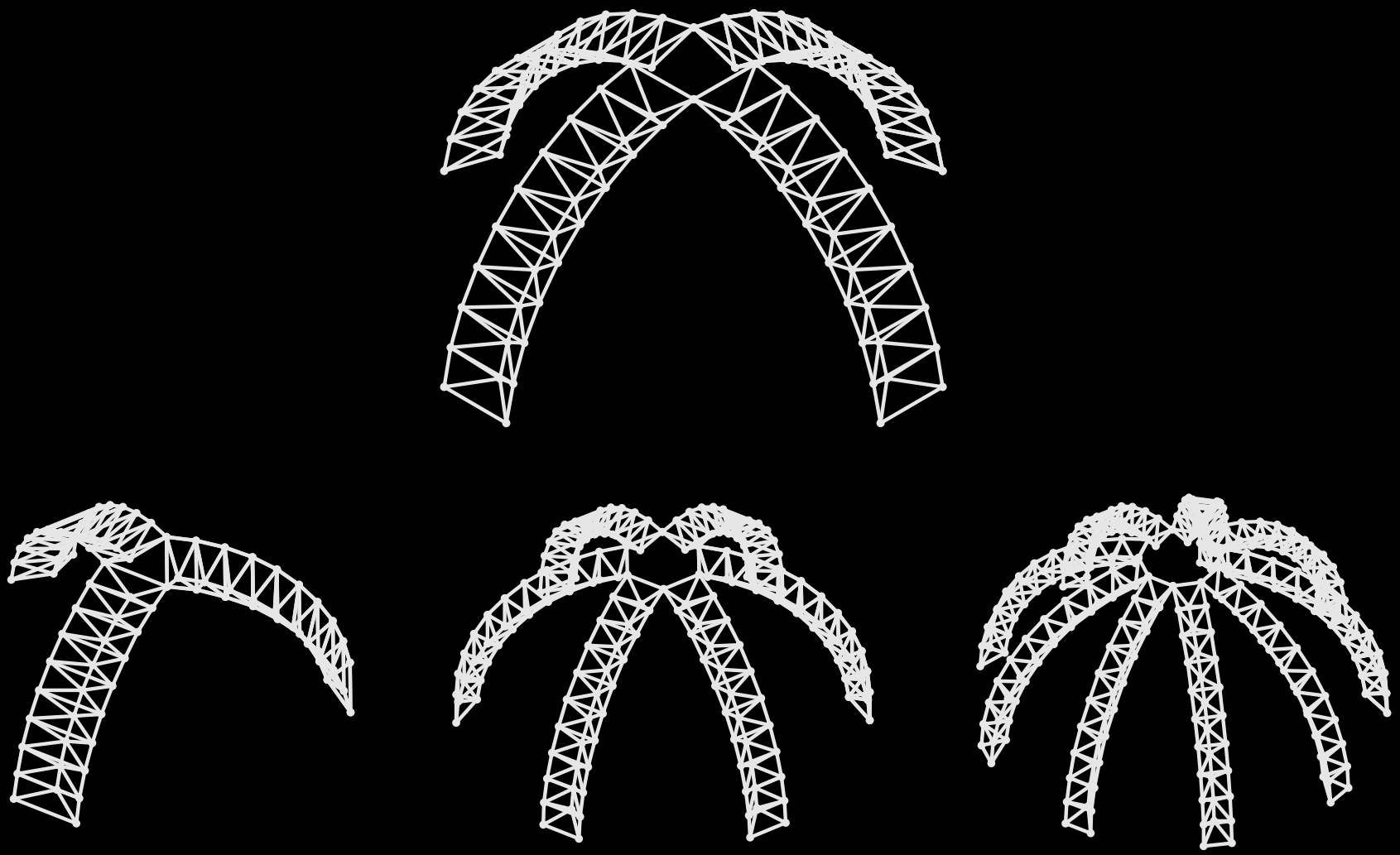
Lists

Trusses

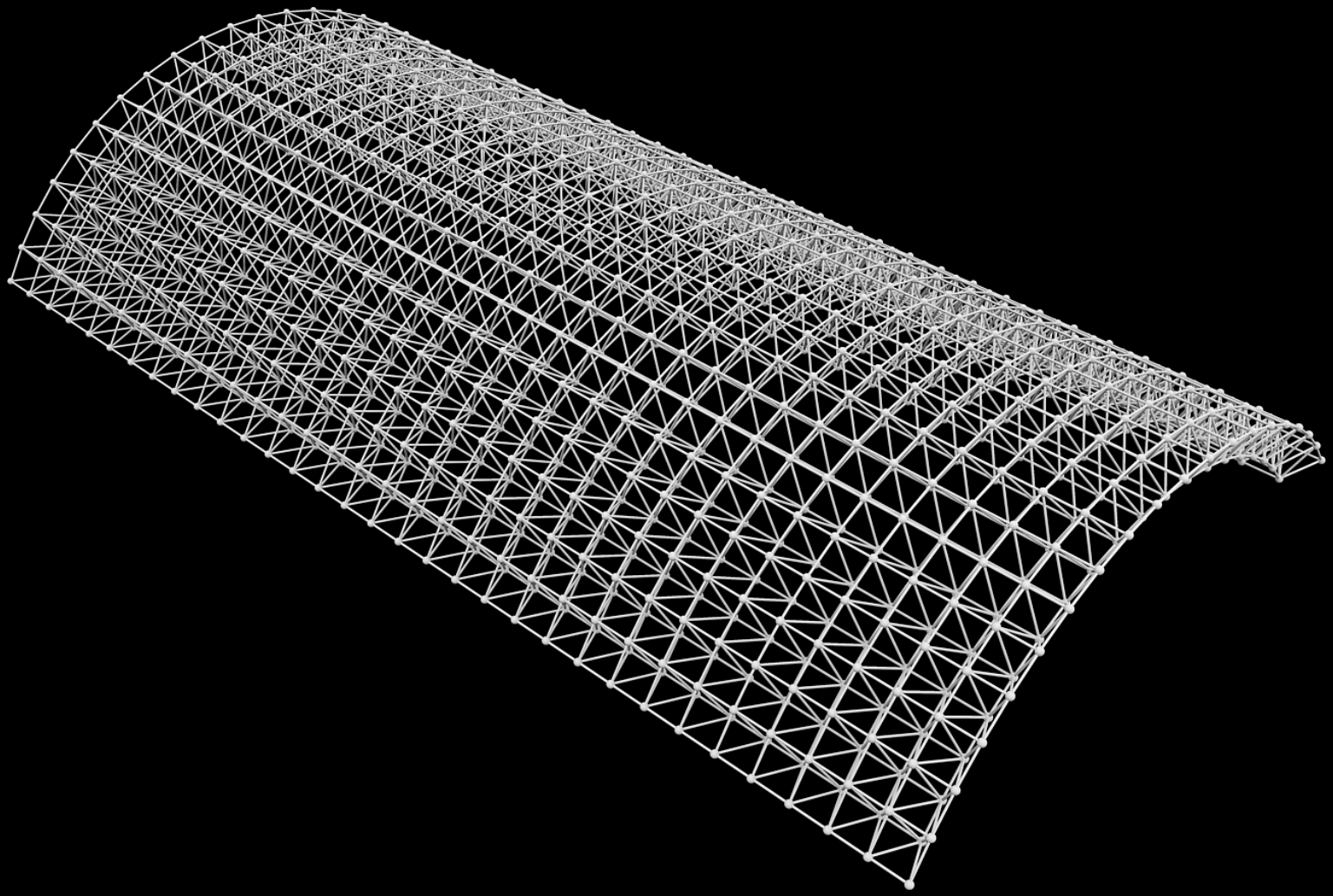


Lists

Trusses



Lists



Solid Geometry

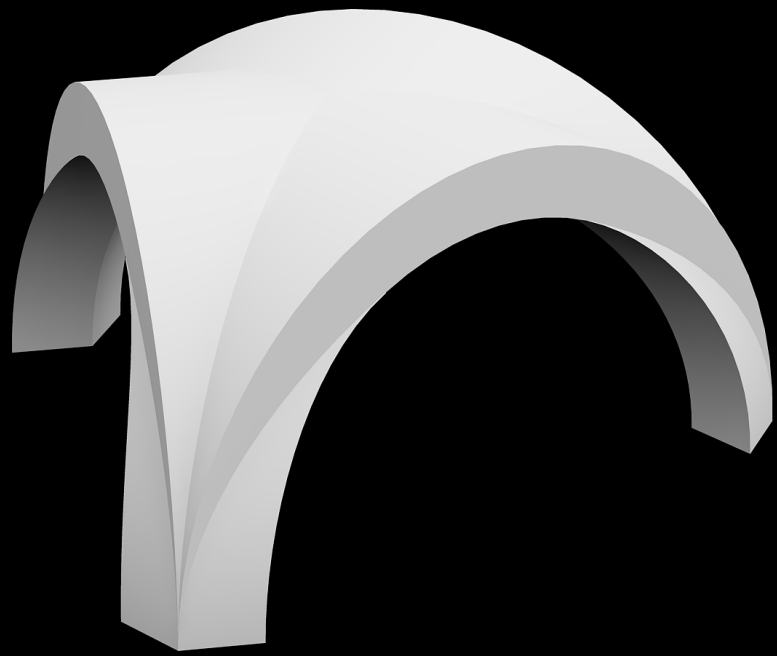
Region Algebra

$$R \cup \varnothing = \varnothing \cup R = R$$
$$R \cup U = U \cup R = U$$
$$R \cup R = R$$
$$R \cap \varnothing = \varnothing \cap R = \varnothing$$
$$R \cap U = U \cap R = R$$
$$R \cap R = R$$
$$R \setminus \varnothing = R$$

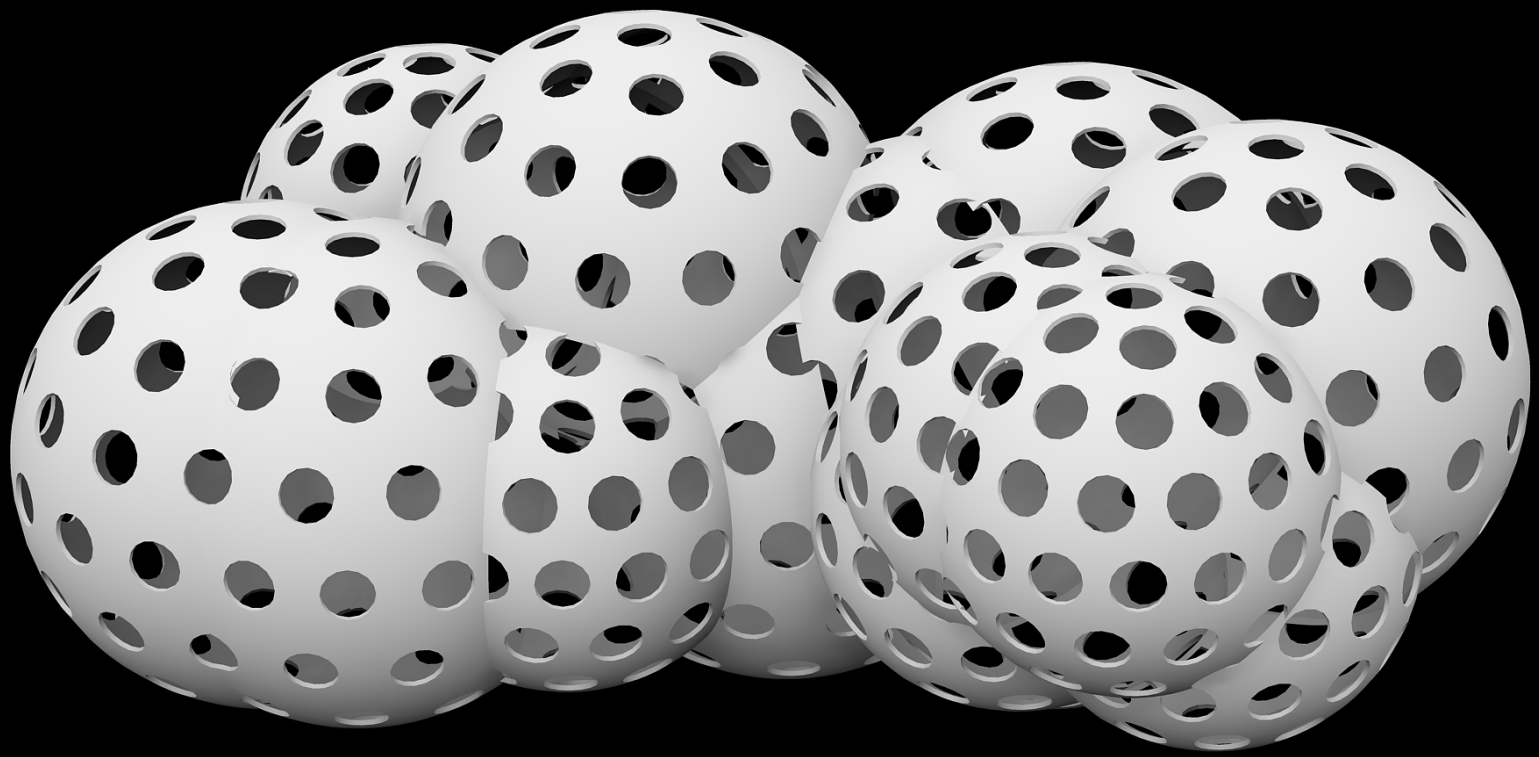
Solid Geometry

Region Algebra

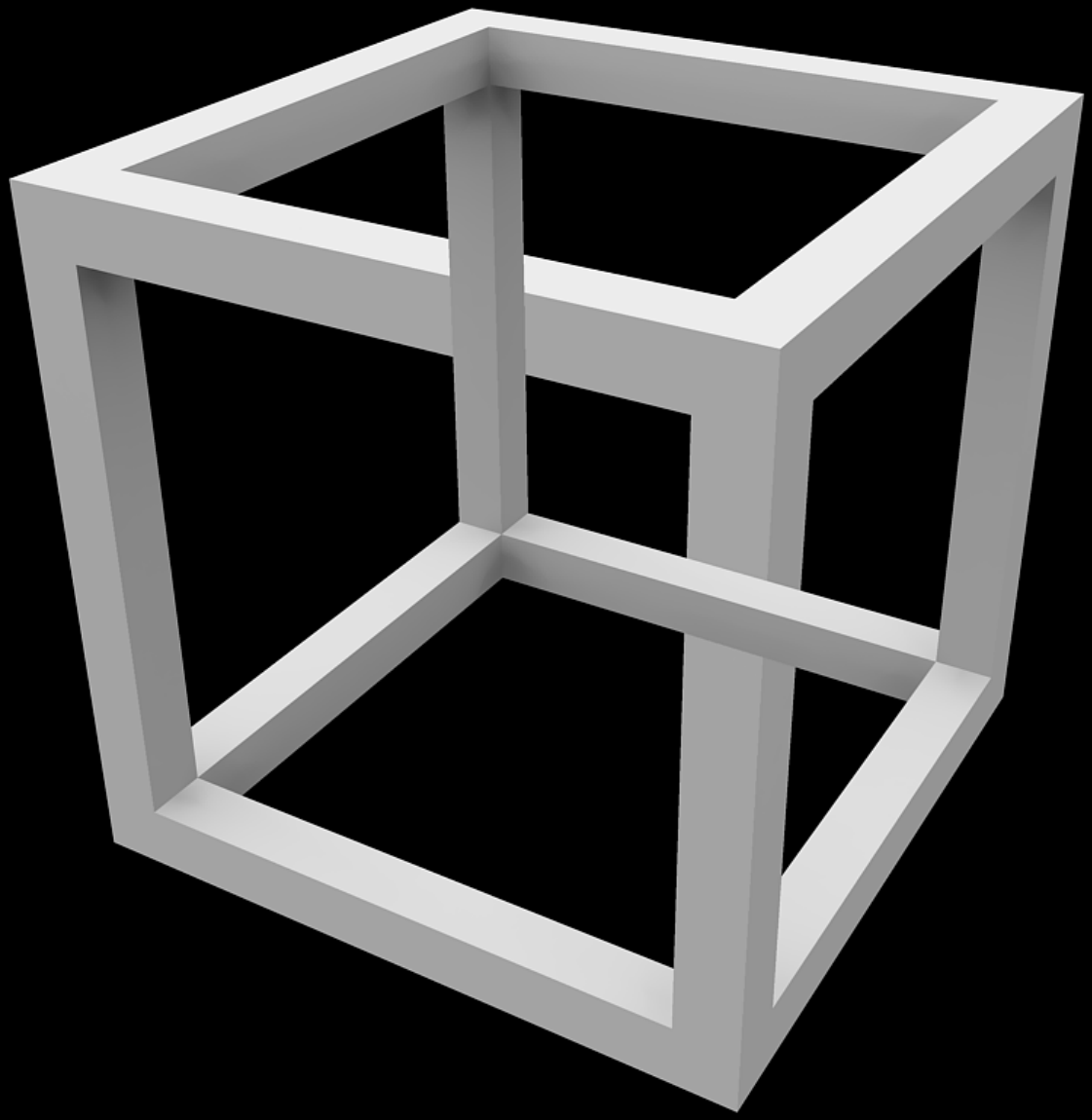
$$R \cup \varnothing = \varnothing \cup R = R$$
$$R \cup U = U \cup R = U$$
$$R \cup R = R$$
$$R \cap \varnothing = \varnothing \cap R = \varnothing$$
$$R \cap U = U \cap R = R$$
$$R \cap R = R$$
$$R \setminus \varnothing = R$$



Solid Geometry

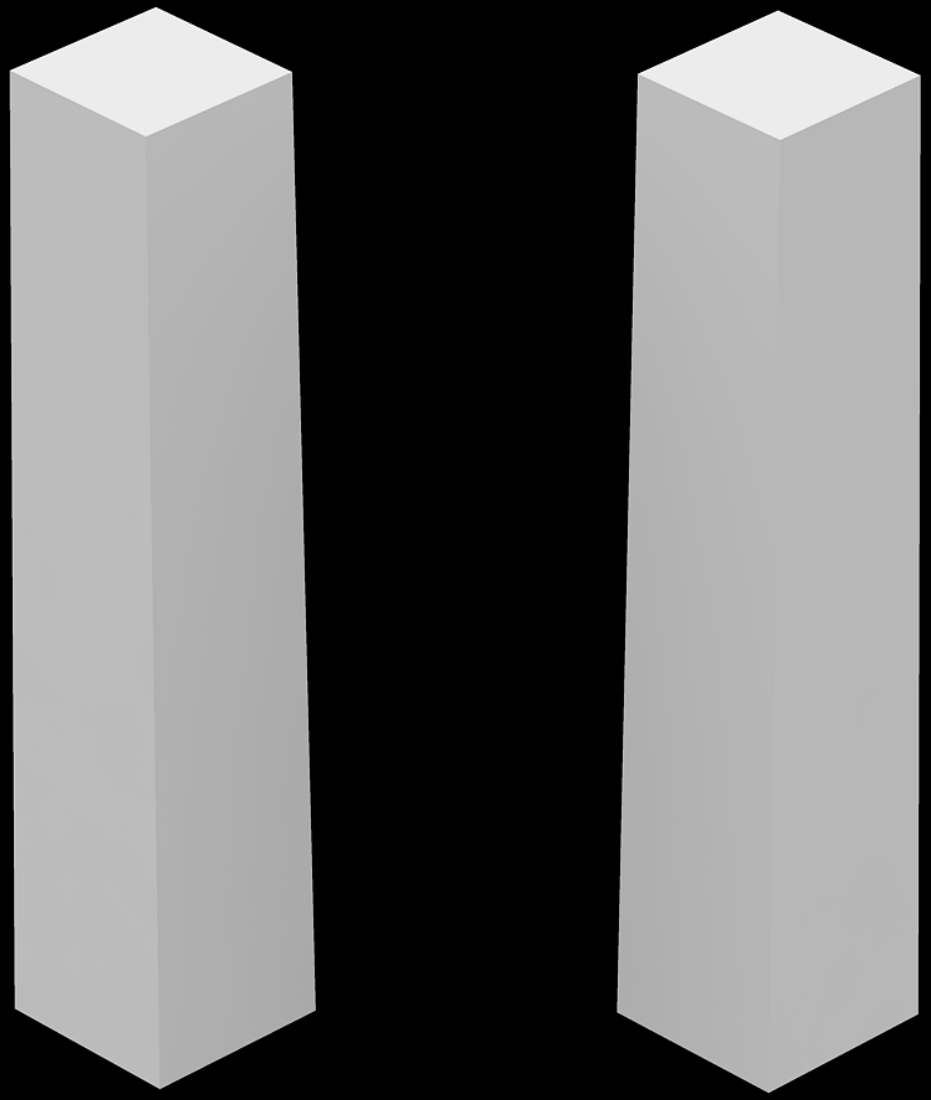


Solid Geometry



Solid Geometry

Solid Geometry



Operations

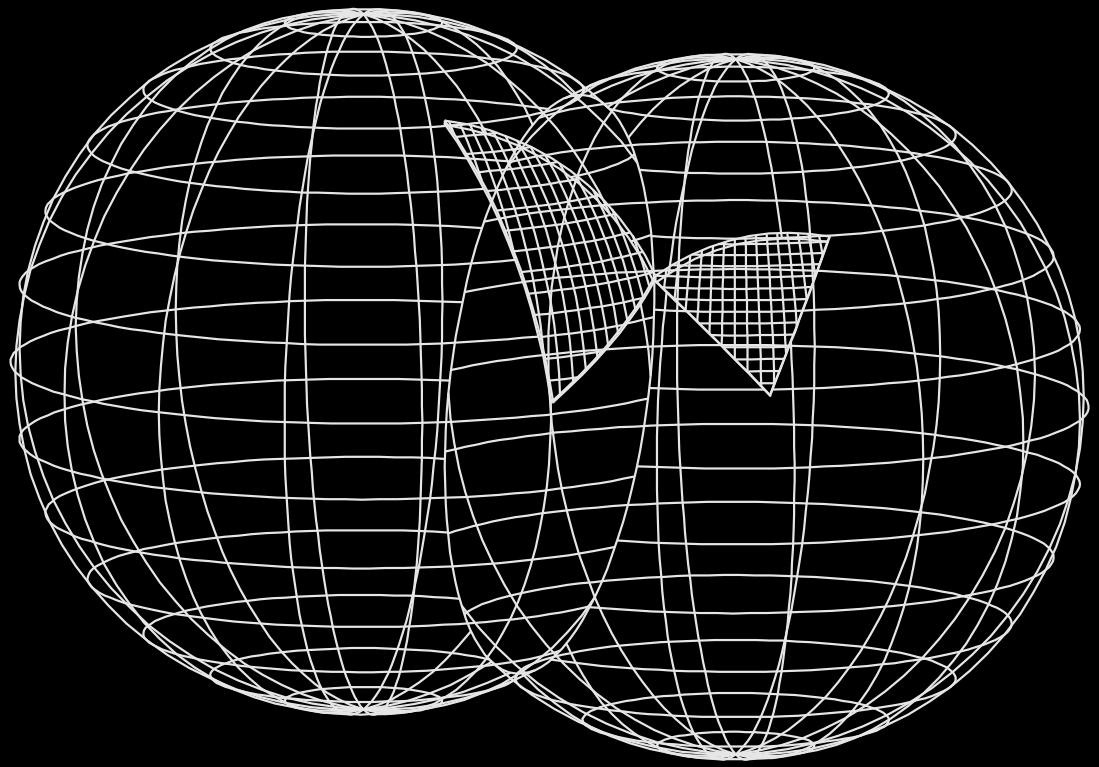
- Regular polygon
- Region
- Sweep
- Rotation
- Scale
- Union
- Intersection

Solid Geometry

Solid Geometry

Operations

- Sphere
- Subtraction
- Section



Solid Geometry

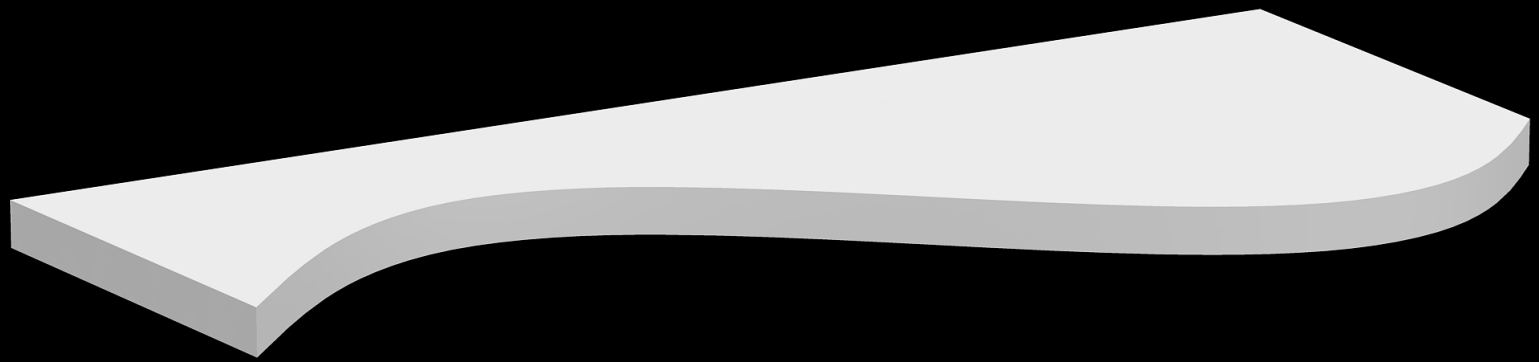
Operations

- Sphere
- Subtraction
- Section
- Translation
- Reflection
- Duplication
- Rotation
- Scale

Solid Geometry

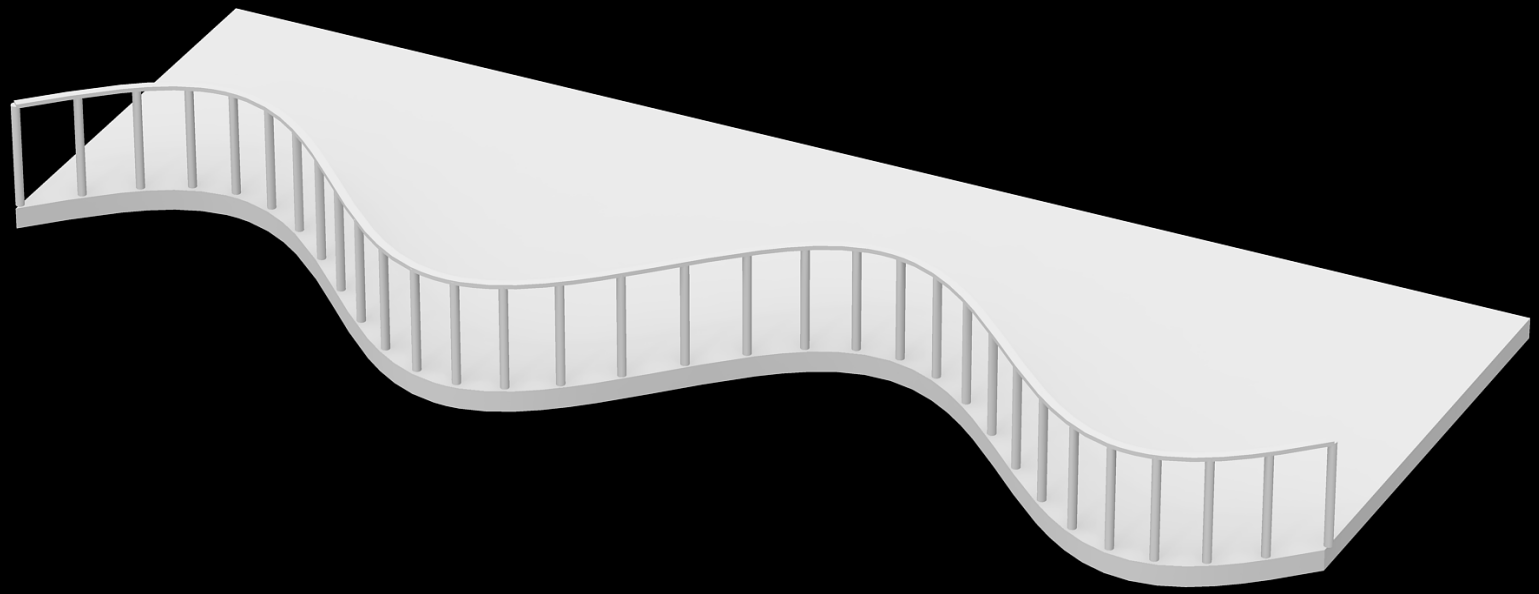
Mathematical Functions

$$y(x) = a\,\mathsf{sin}(\omega x + \phi)$$



Solid Geometry

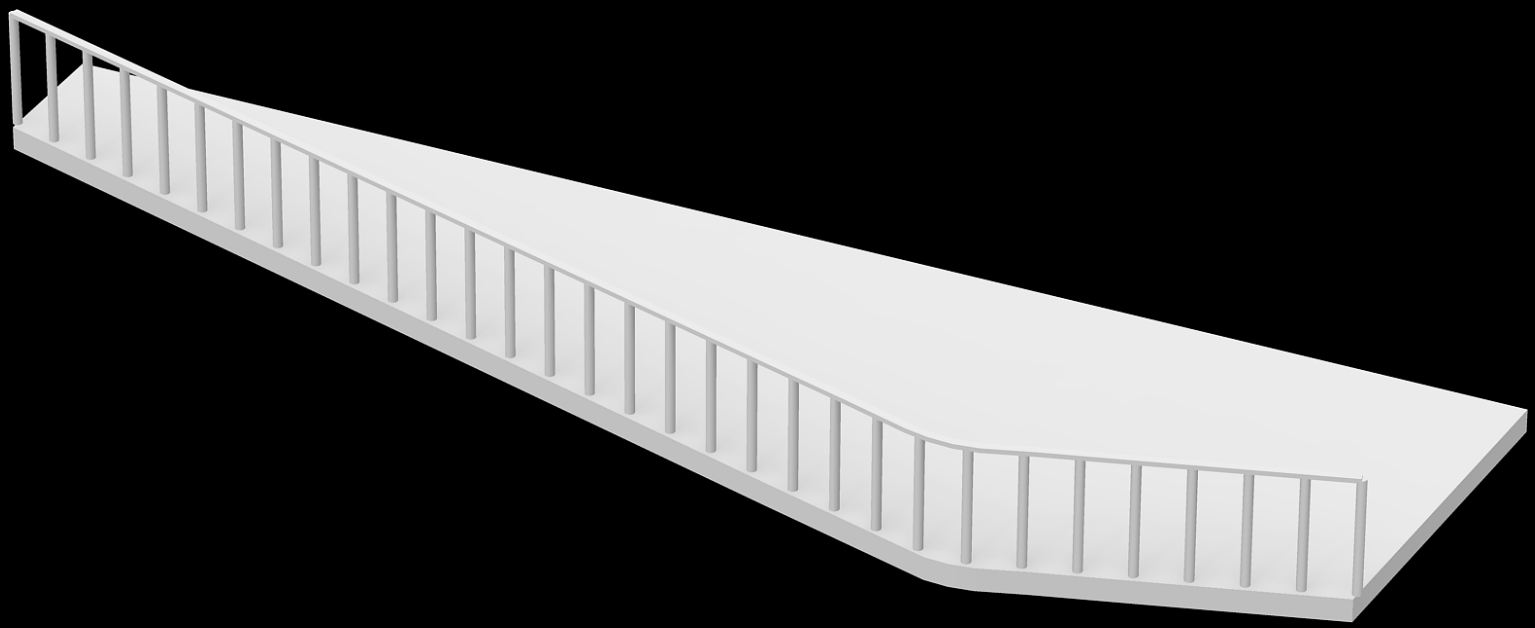
Possible Variations



```
(defun building (...)
  ...
  (balcony ...)
  ...)

(defun balcony (...)
  ... (* a (sin (+ (* omega x) phi))) ...)
```

Solid Geometry

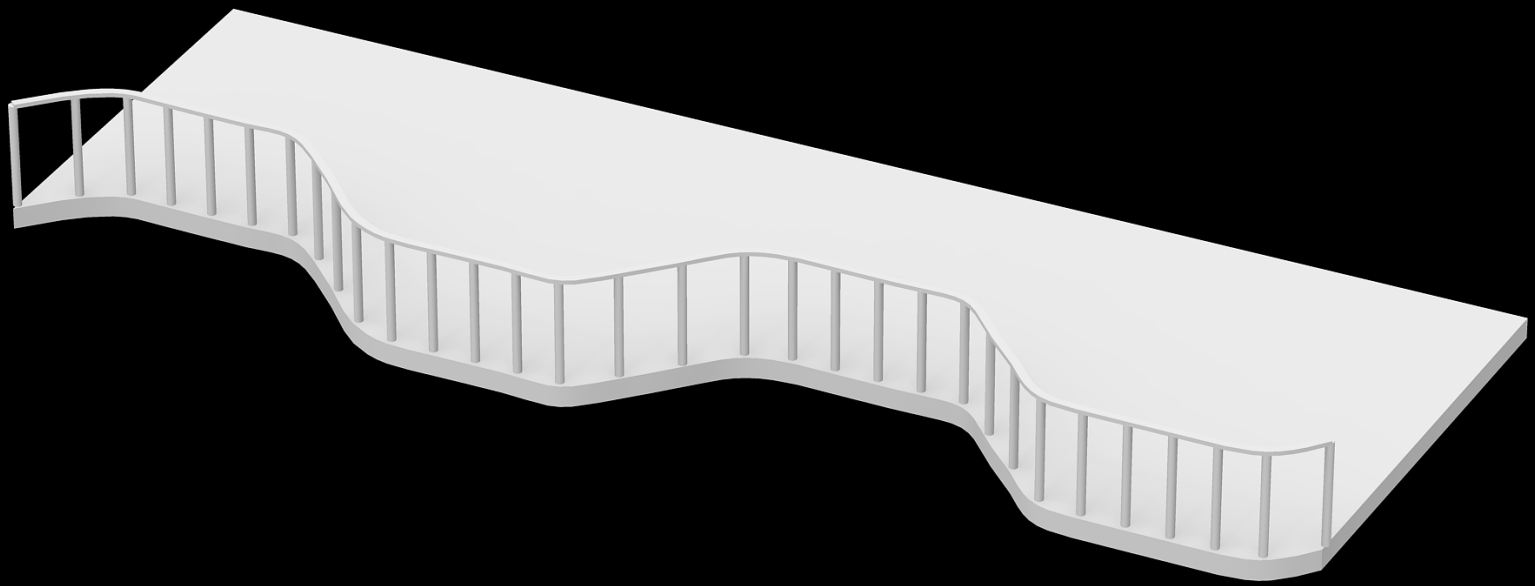
Impossible Variations



$$y(x) = |a + b(x - c)|$$

Solid Geometry

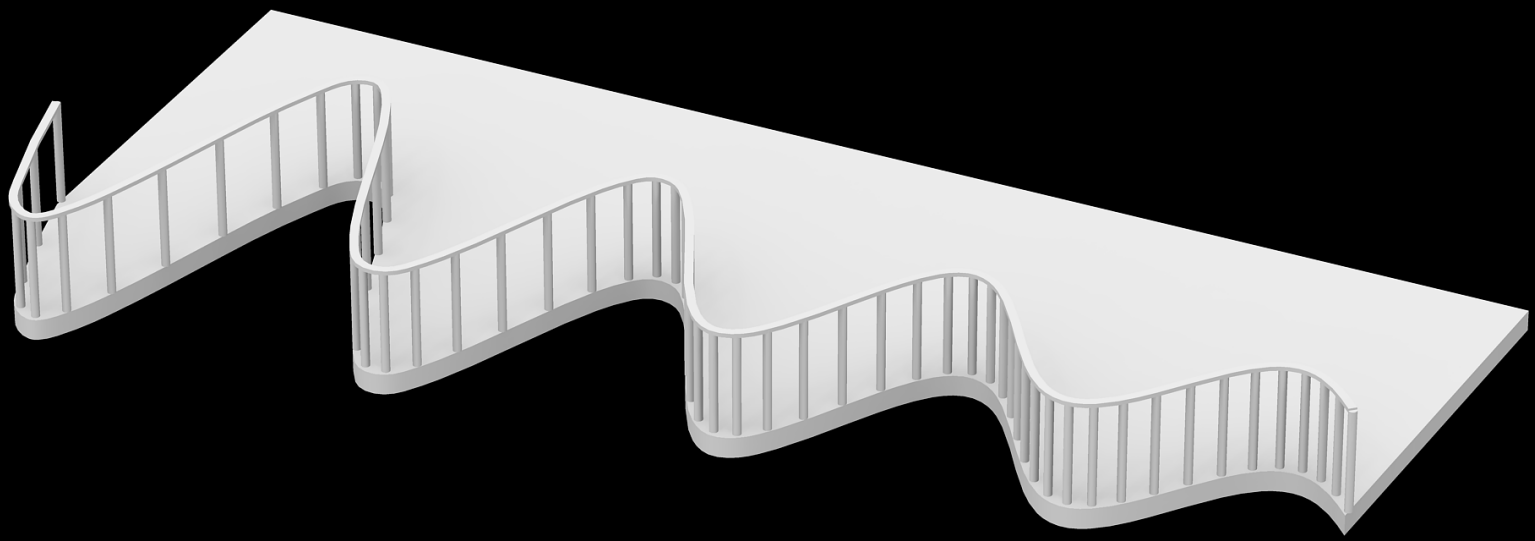
Impossible Variations



$$y(x) = \mathsf{max}(y_0, \mathsf{min}(y_1, a\,\mathsf{sin}(\omega x + \phi)))$$

Solid Geometry

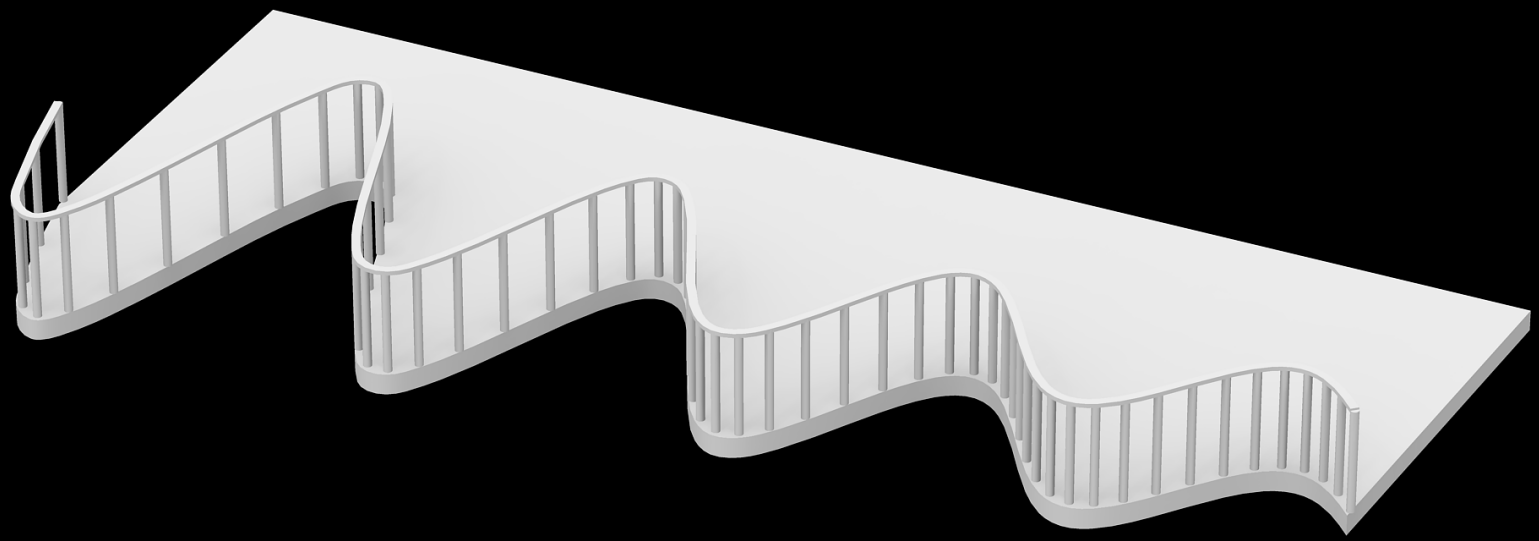
Impossible Variations



$$y(x) = ae^{-bx} \sin(cx)$$

Solid Geometry

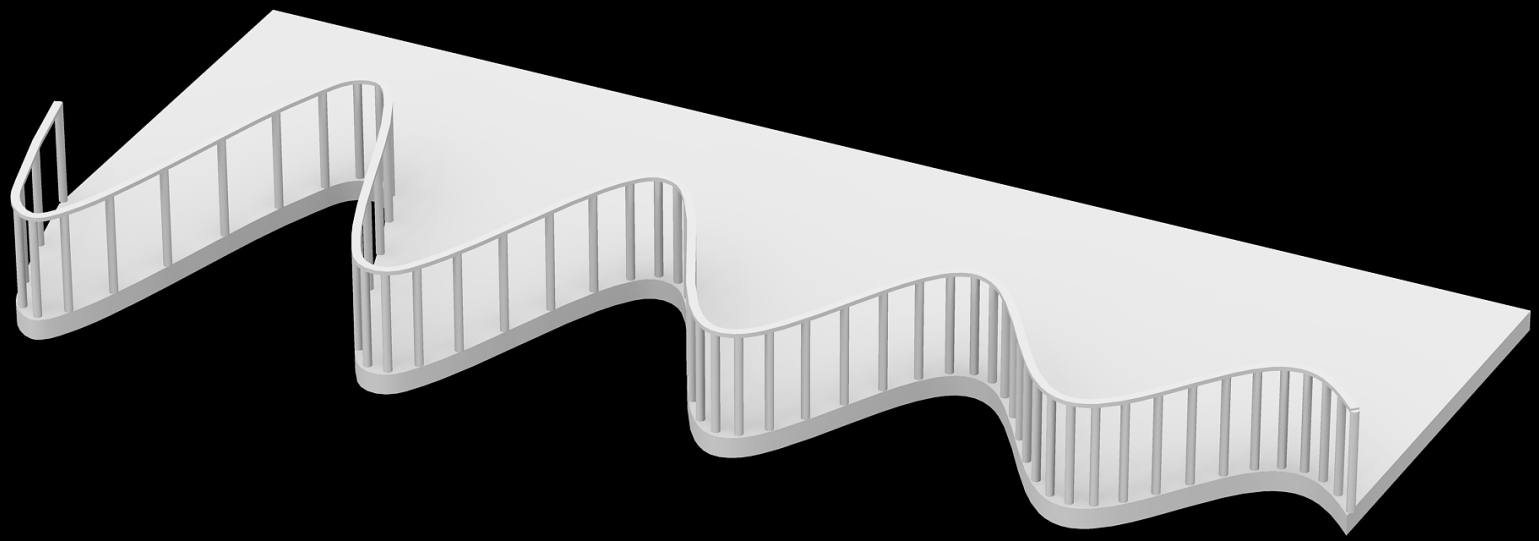
Impossible Variations



```
(defun building (...)
  ...
  (balcony ...)
  ...)
```

Solid Geometry

Impossible Variations



```
(defun building (... balcony ...)
  ...
  (balcony ...)
  ...)
```

Parametric Curves

Parametric Curves

Cartesian Representation

$$y = f(x)$$

Parametric Curves

Cartesian Representation

$$y = f(x)$$

Implicit Representation

$$F(x, y) = 0$$

Parametric Curves

Cartesian Representation

$$y = f(x)$$

Implicit Representation

$$F(x, y) = 0$$

Parametric Representation

$$\begin{cases} x = f(t) \\ y = g(t) \end{cases}$$

Parametric Curves

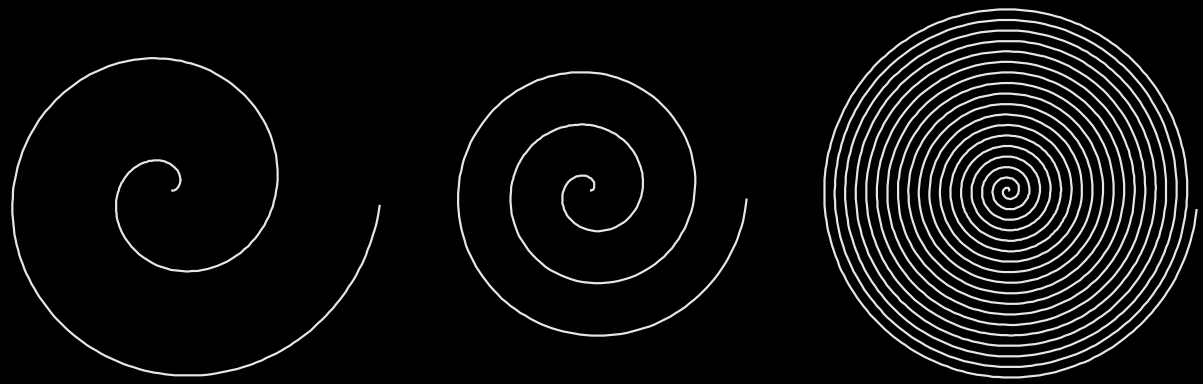
Archimedean Spiral

```
(defun archimedean-spiral (p alpha t0 t1 dt)
  (parametric-curve
    (lambda (ti)
      (+pol p (* alpha ti) ti))
    t0
    t1
    dt))
```

Parametric Curves

Archimedean Spiral

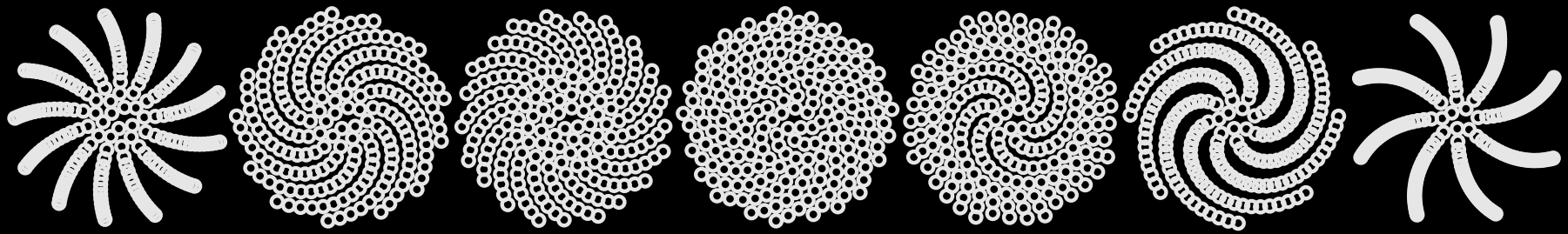
```
(defun archimedean-spiral (p alpha t0 t1 dt)
  (parametric-curve
    (lambda (ti)
      (+pol p (* alpha ti) ti))
    t0
    t1
    dt))
```



Parametric Curves

Archimedean Spiral

```
(defun archimedean-spiral (p alpha t0 t1 dt)
  (parametric-curve
    (lambda (ti)
      (+pol p (* alpha ti) ti))
    t0
    t1
    dt))
```



Parametric Curves

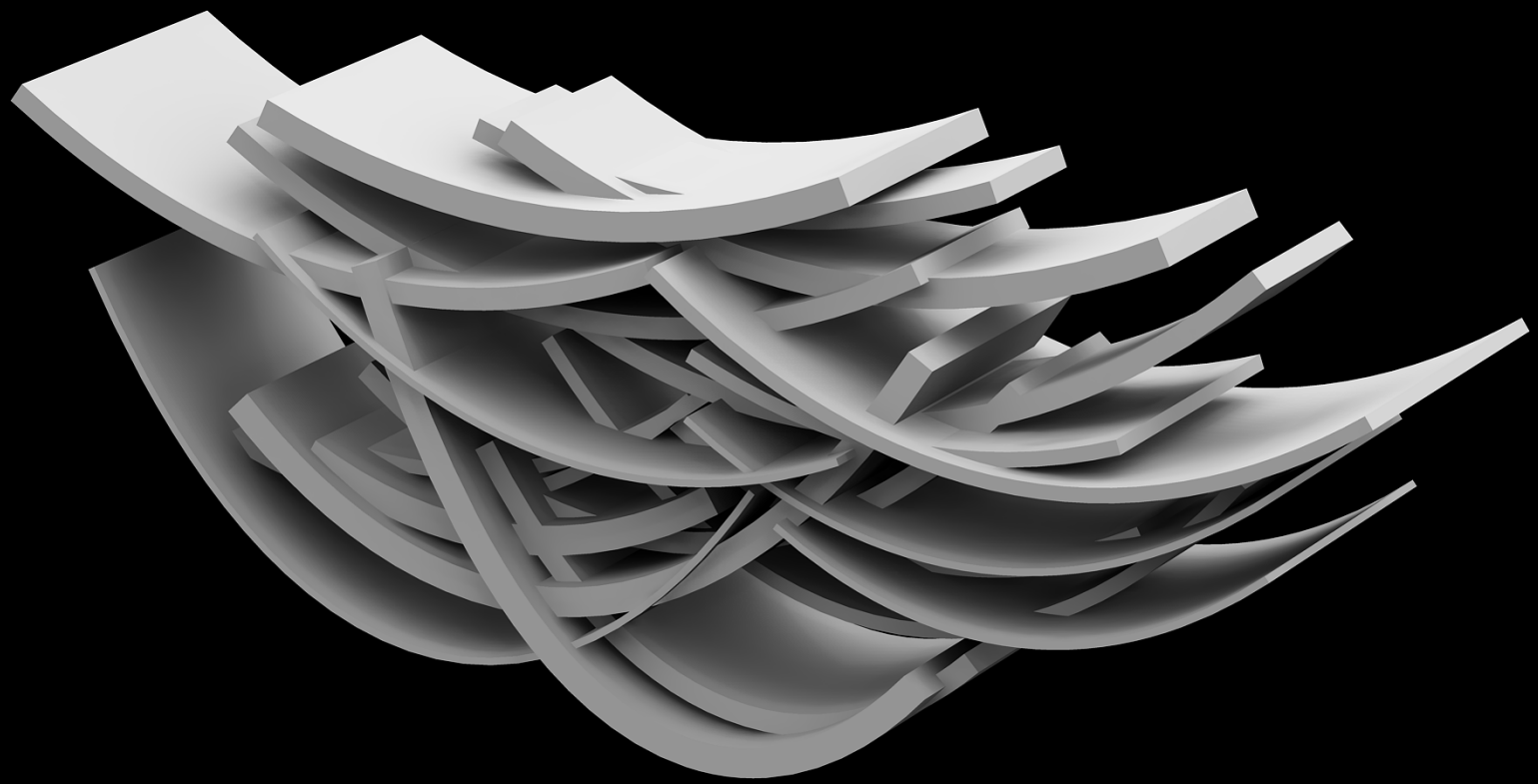
Catenary

$$y = a \cosh \frac{x}{a}$$

Parametric Curves

Catenary

$$y = a \cosh \frac{x}{a}$$



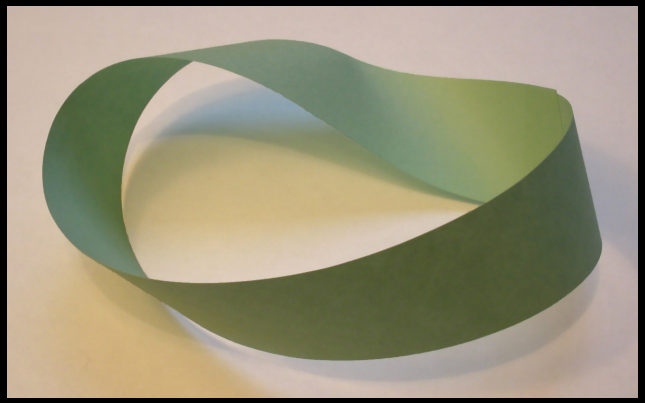
Parametric Curves

Catenary

$$y = a \cosh \frac{x}{a}$$

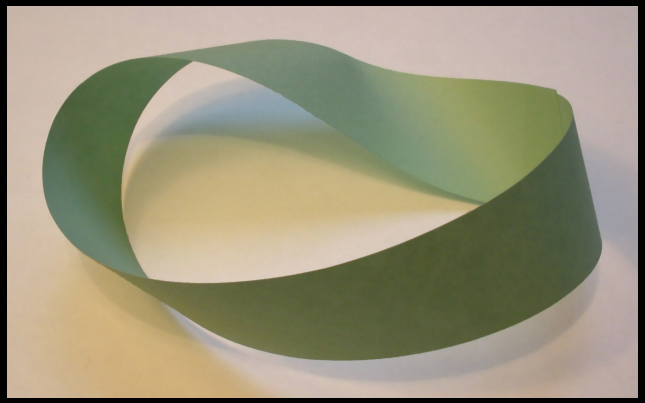
Parametric Surfaces

Möbius Strip



Parametric Surfaces

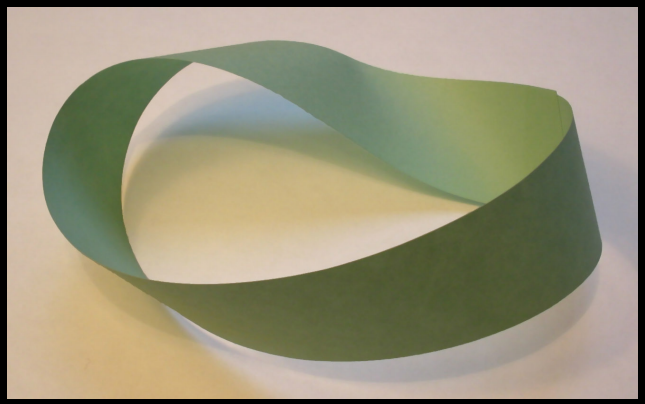
Möbius Strip



$$\begin{cases} \rho(u,v) = 1 + v \cos\dfrac{u}{2} \\ \theta(u,v) = u \\ z(u,v) = v \sin\dfrac{u}{2} \end{cases}$$

Parametric Surfaces

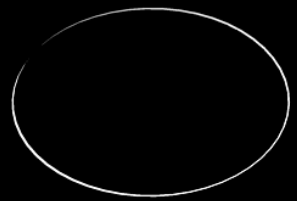
Möbius Strip



```
(defun moebius-strip (u0 u1 m v0 v1 n)
  (parametric-surface
    (lambda (u v)
      (cyl (+ 1 (* v (cos (/ u 2.0))))
           u
           (* v (sin (/ u 2.0)))))
    u0 u1 m v0 v1 n))
```

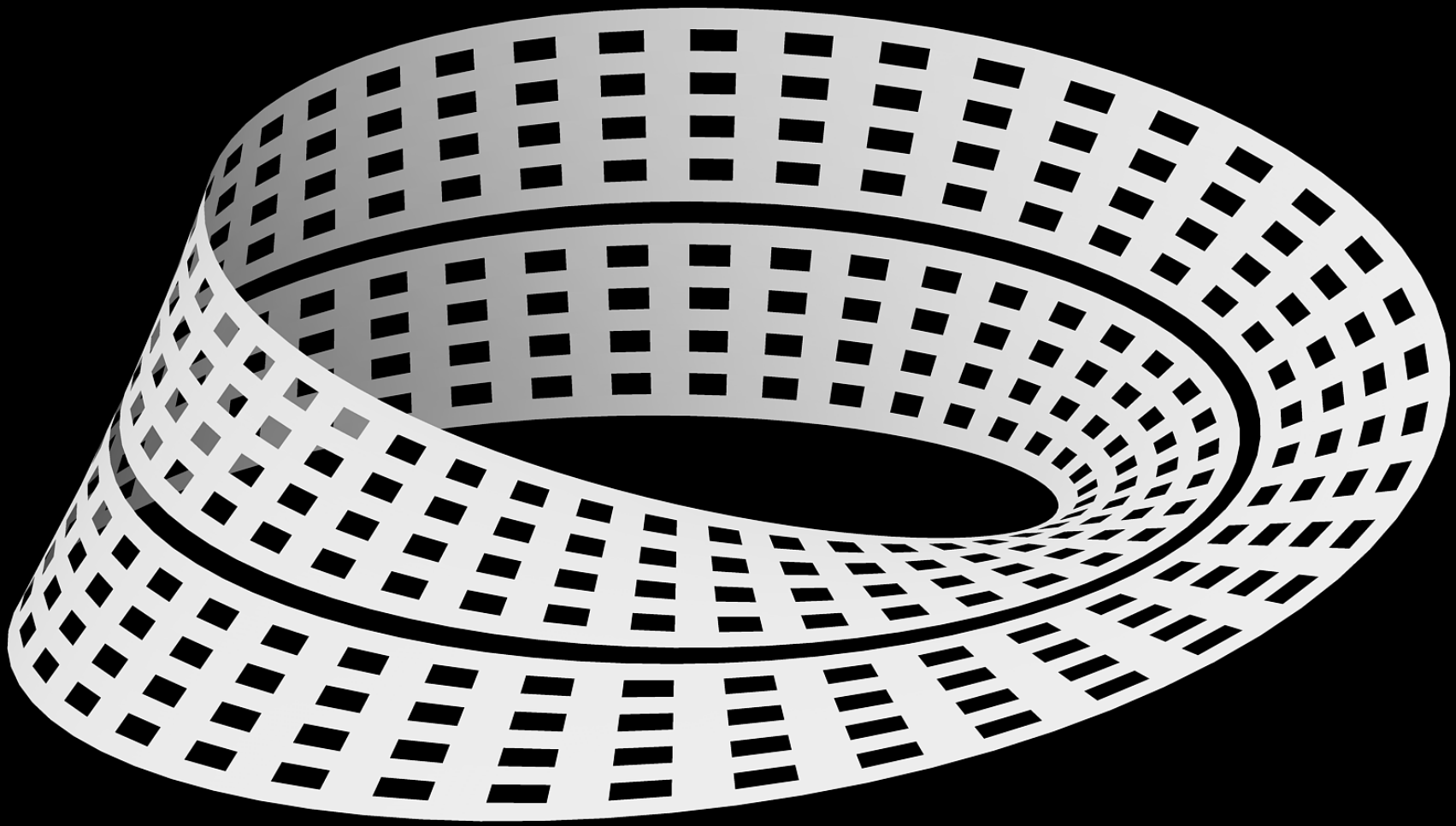
Parametric Surfaces

Möbius Strip



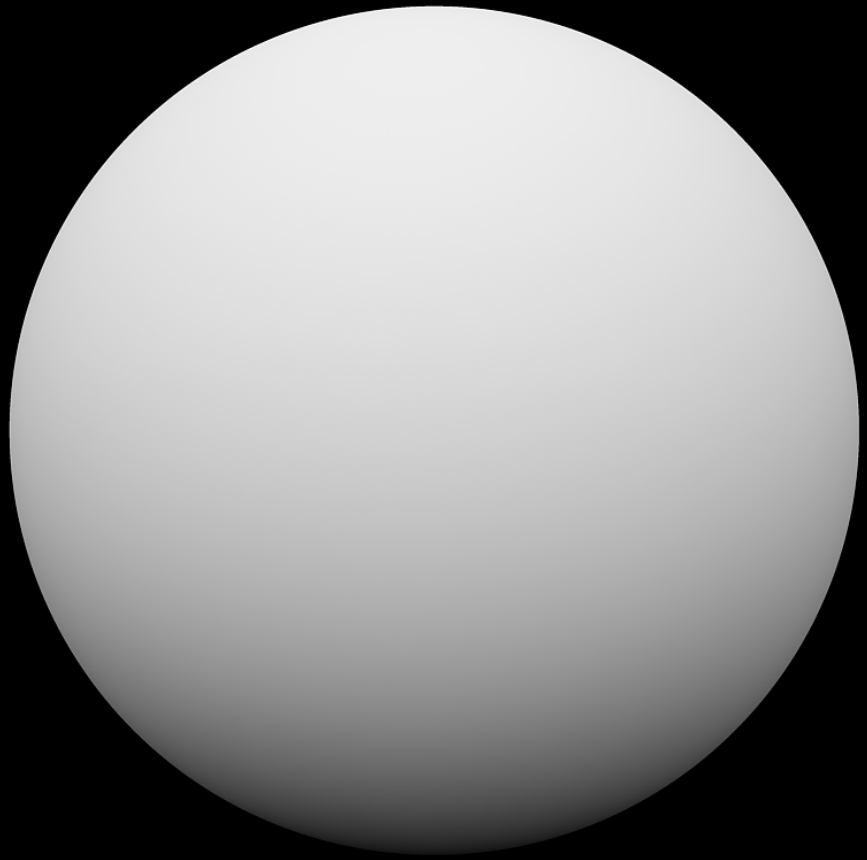
Parametric Surfaces

Möbius Strip



Parametric Surfaces

Parametric Composition

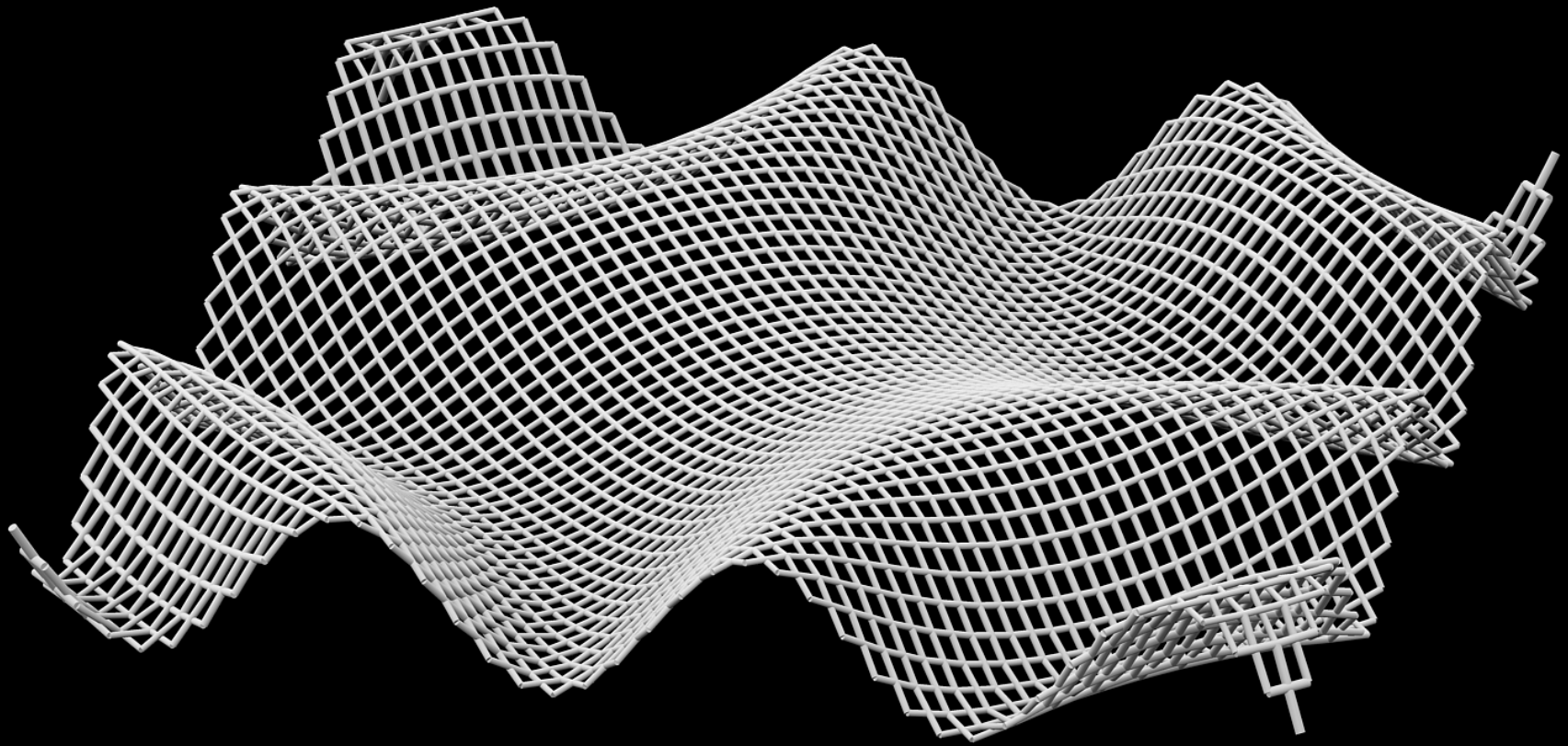


Parametric Surfaces

- Tesselations

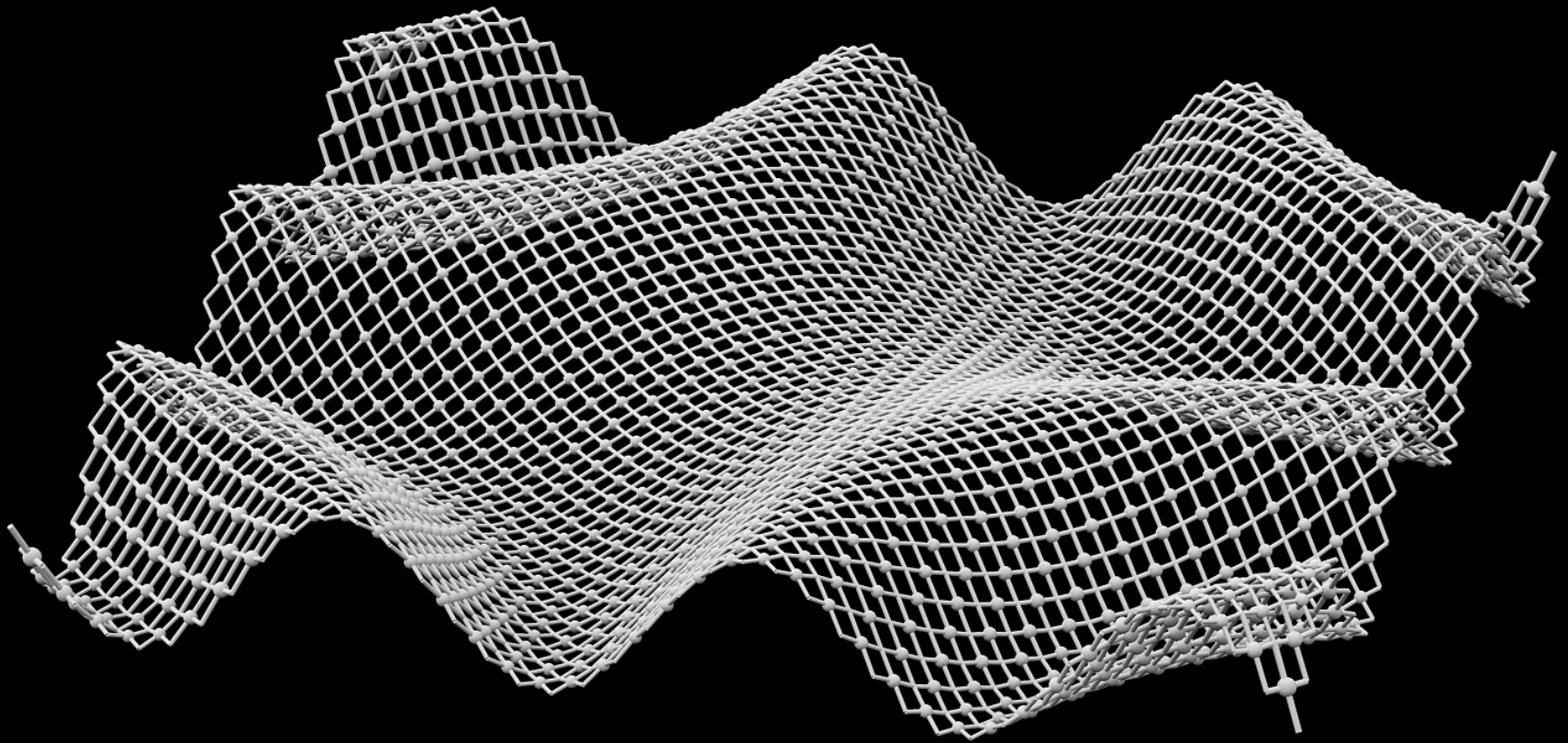
Parametric Surfaces

Tesselations



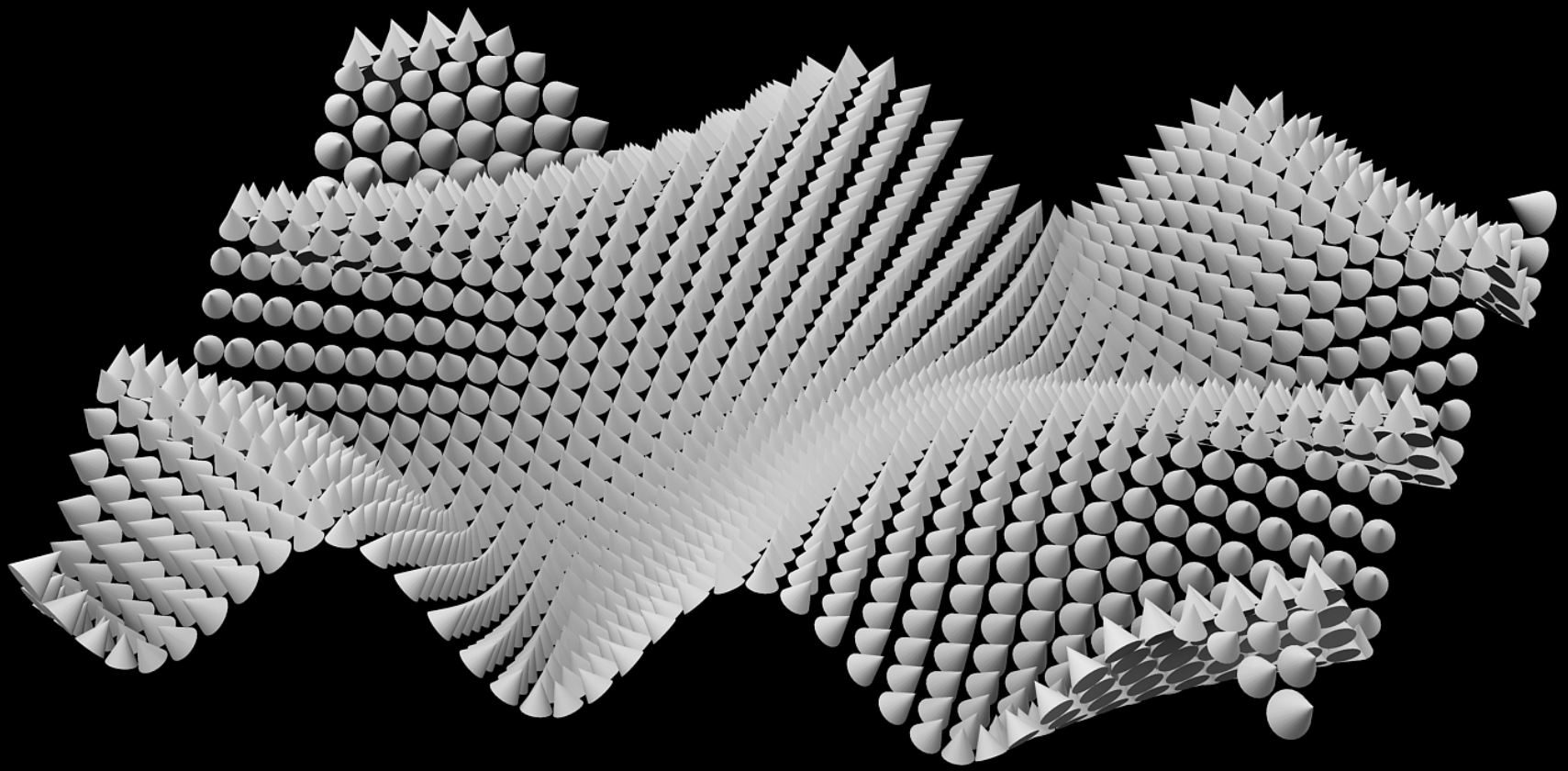
Parametric Surfaces

Tesselations



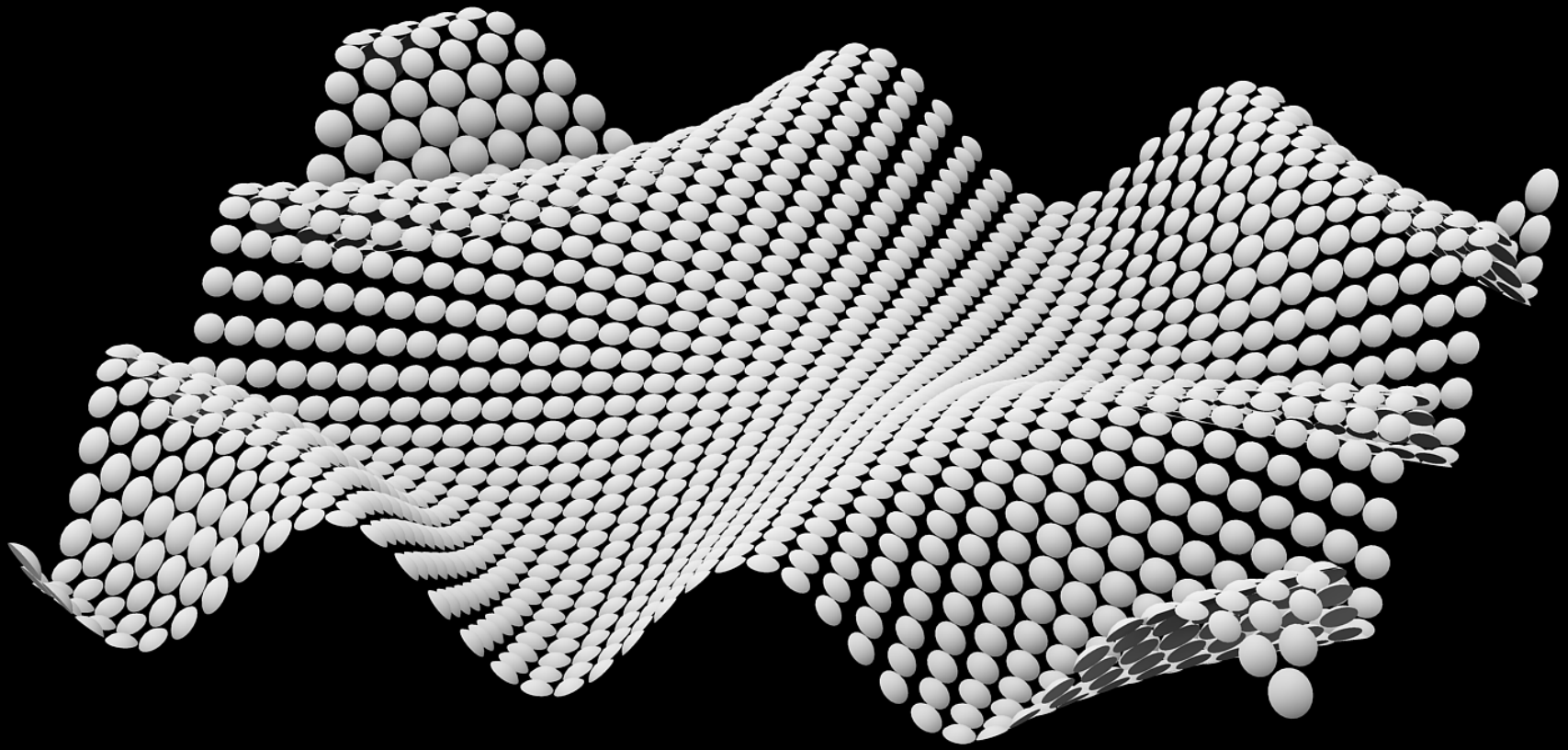
Parametric Surfaces

Tesselations



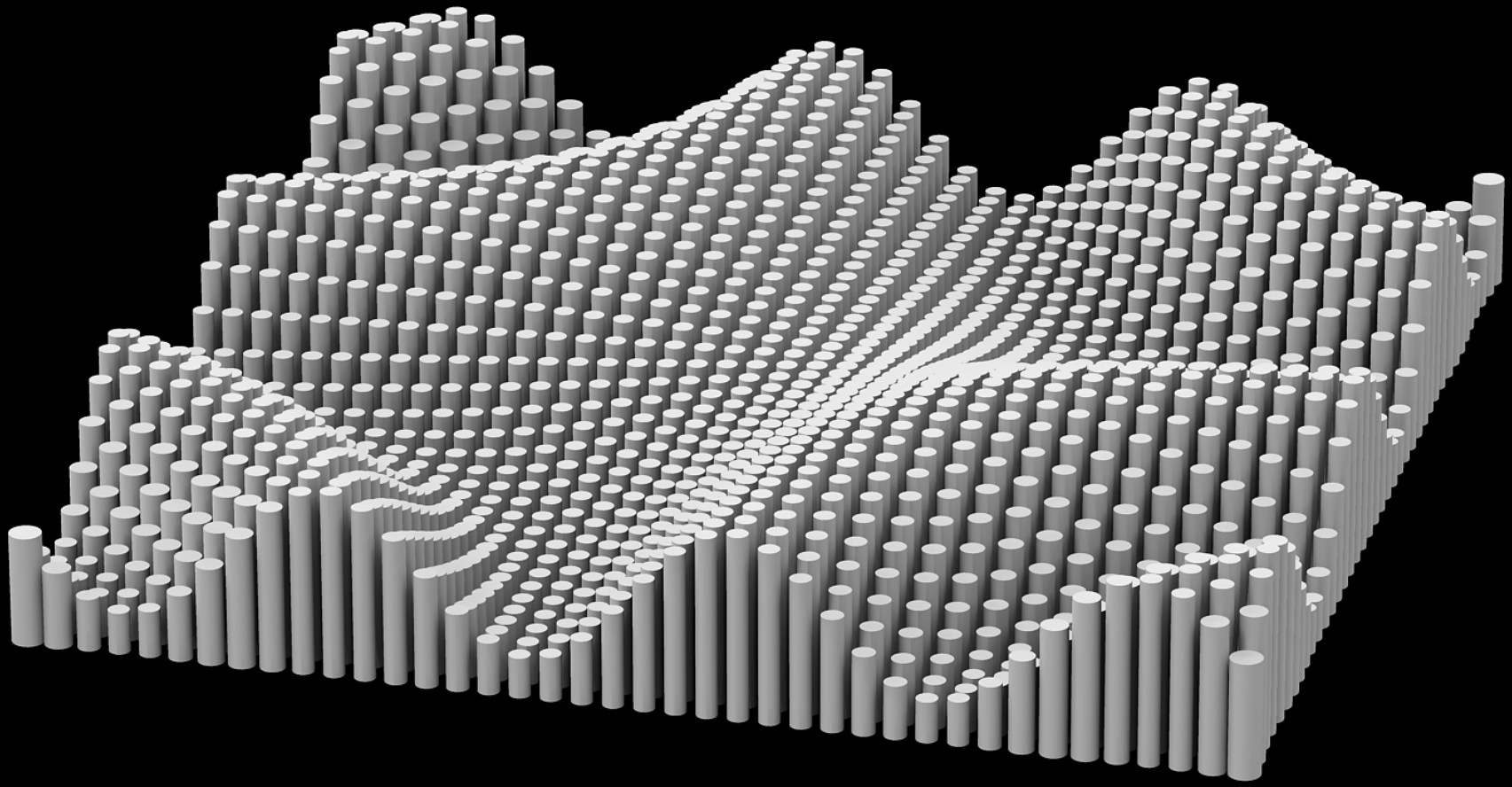
Parametric Surfaces

Tesselations



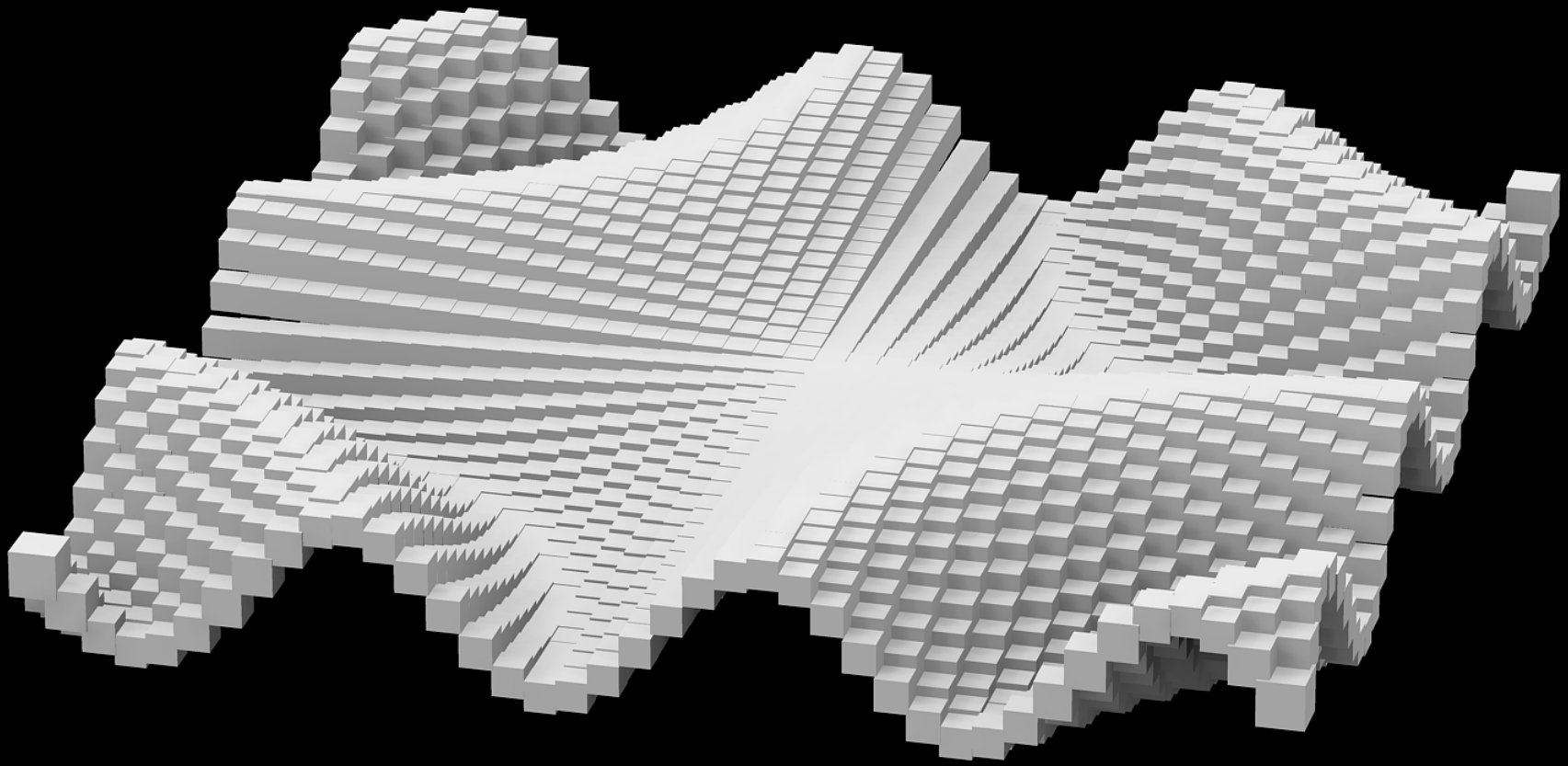
Parametric Surfaces

Tesselations



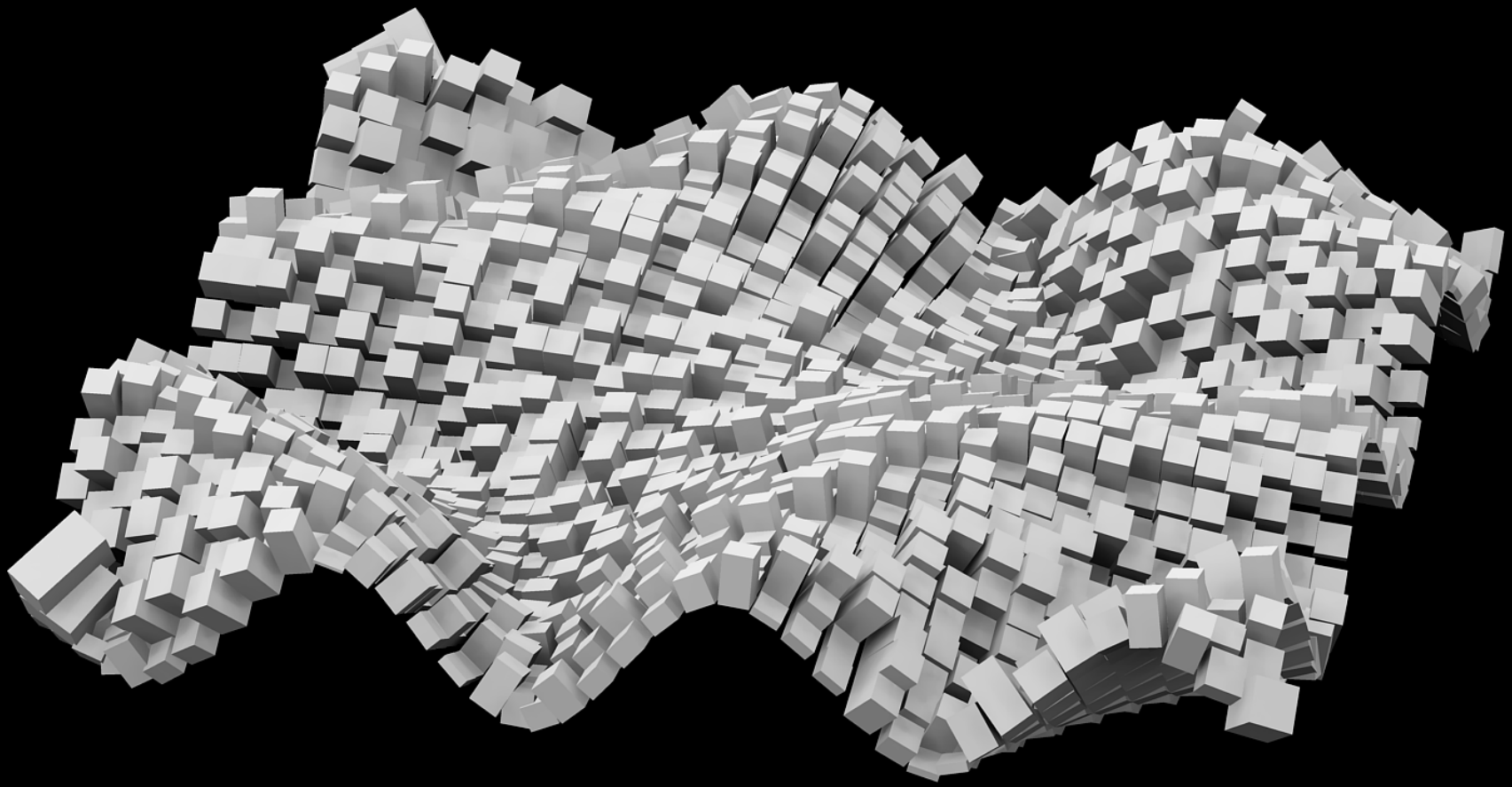
Parametric Surfaces

Tesselations



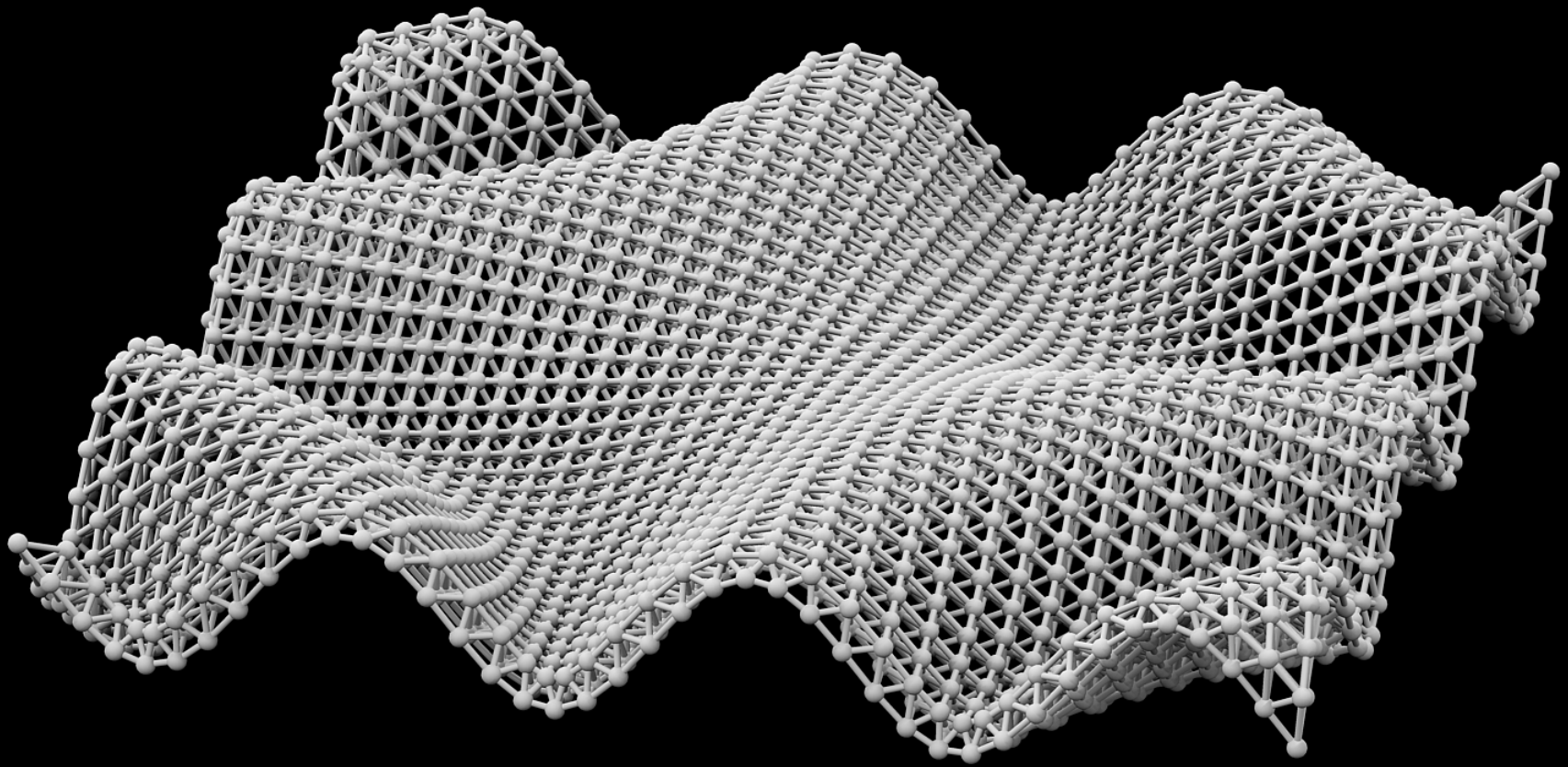
Parametric Surfaces

Tesselations



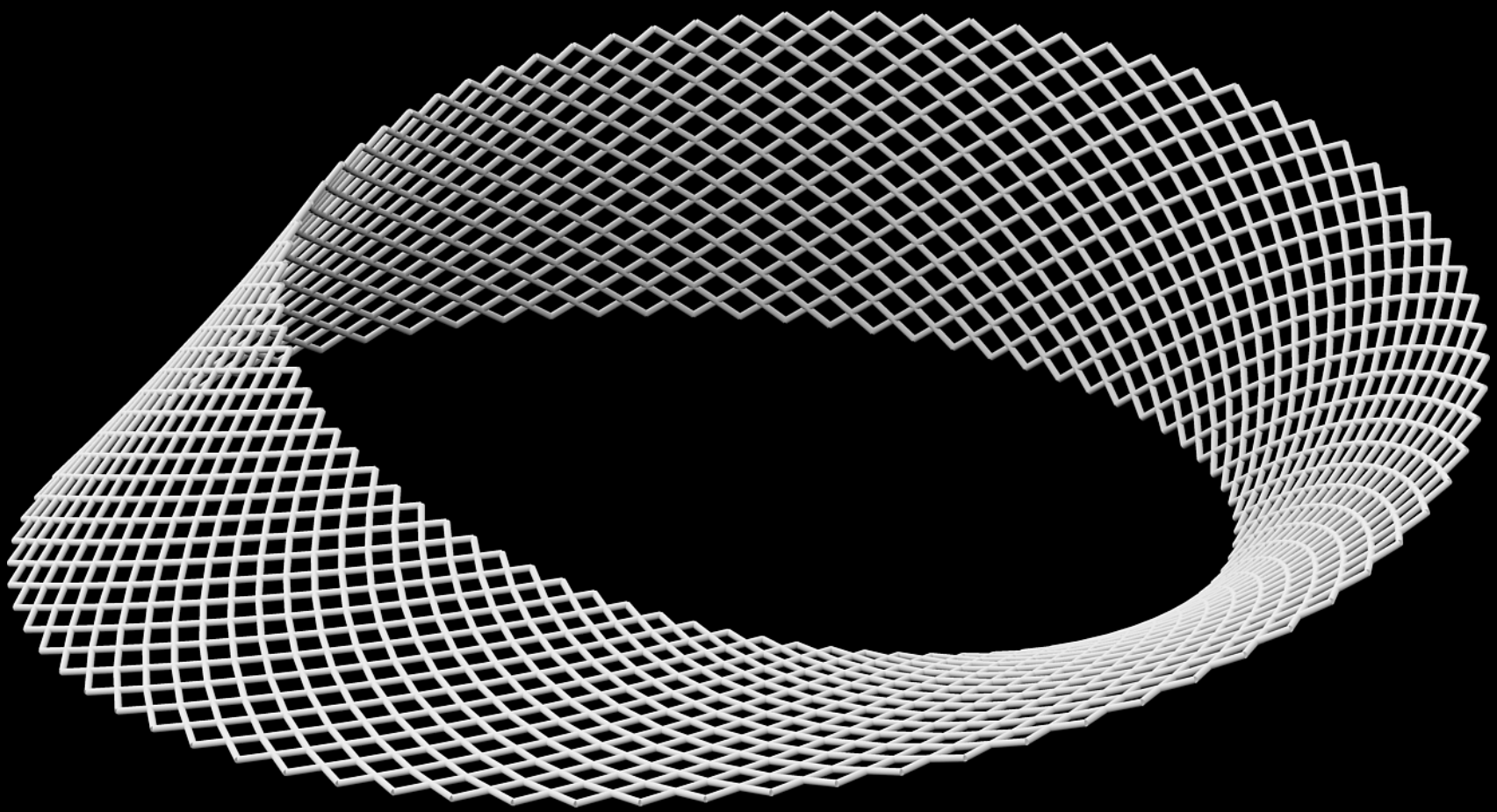
Parametric Surfaces

Tesselations



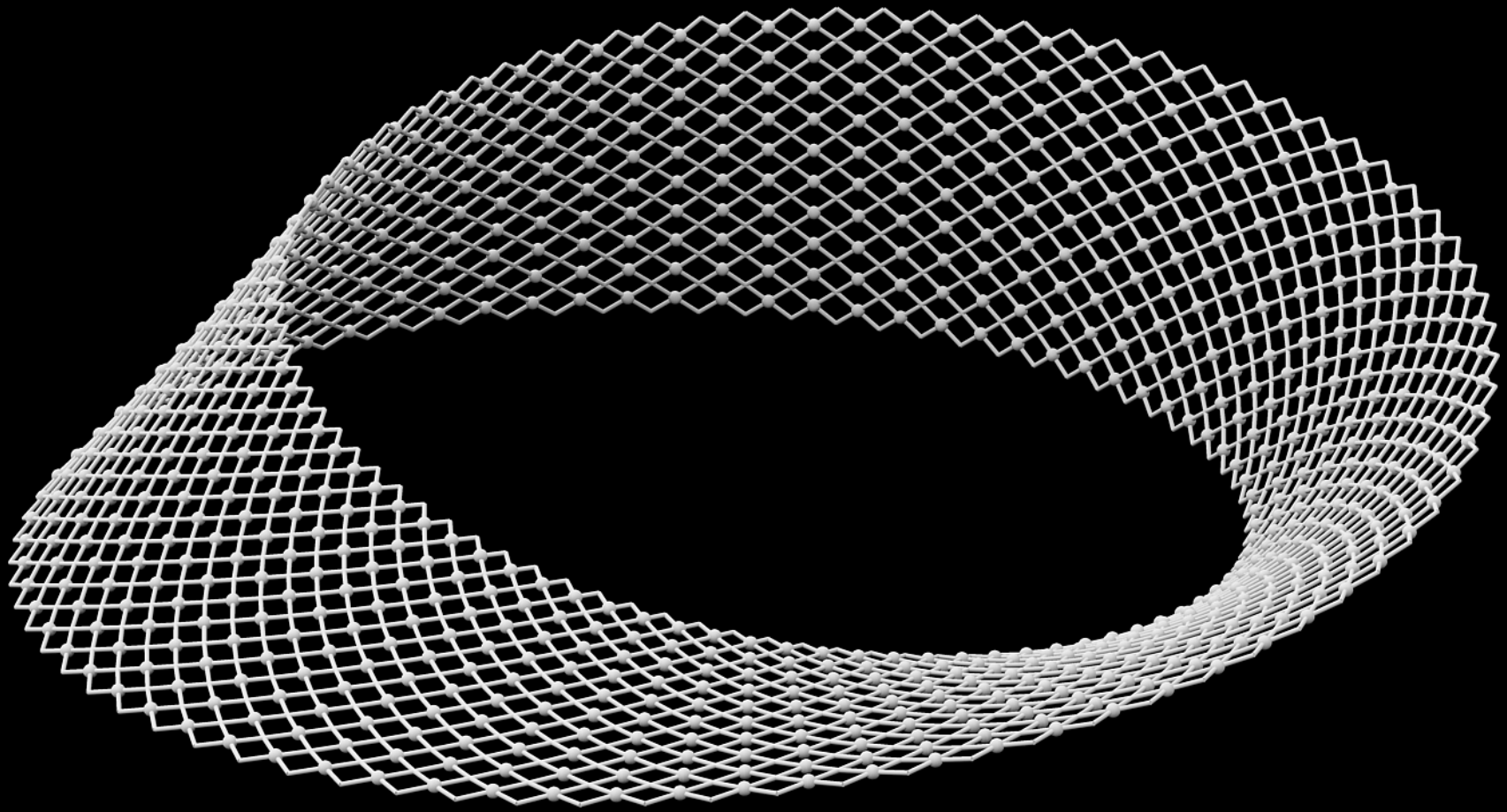
Parametric Surfaces

Tesselations



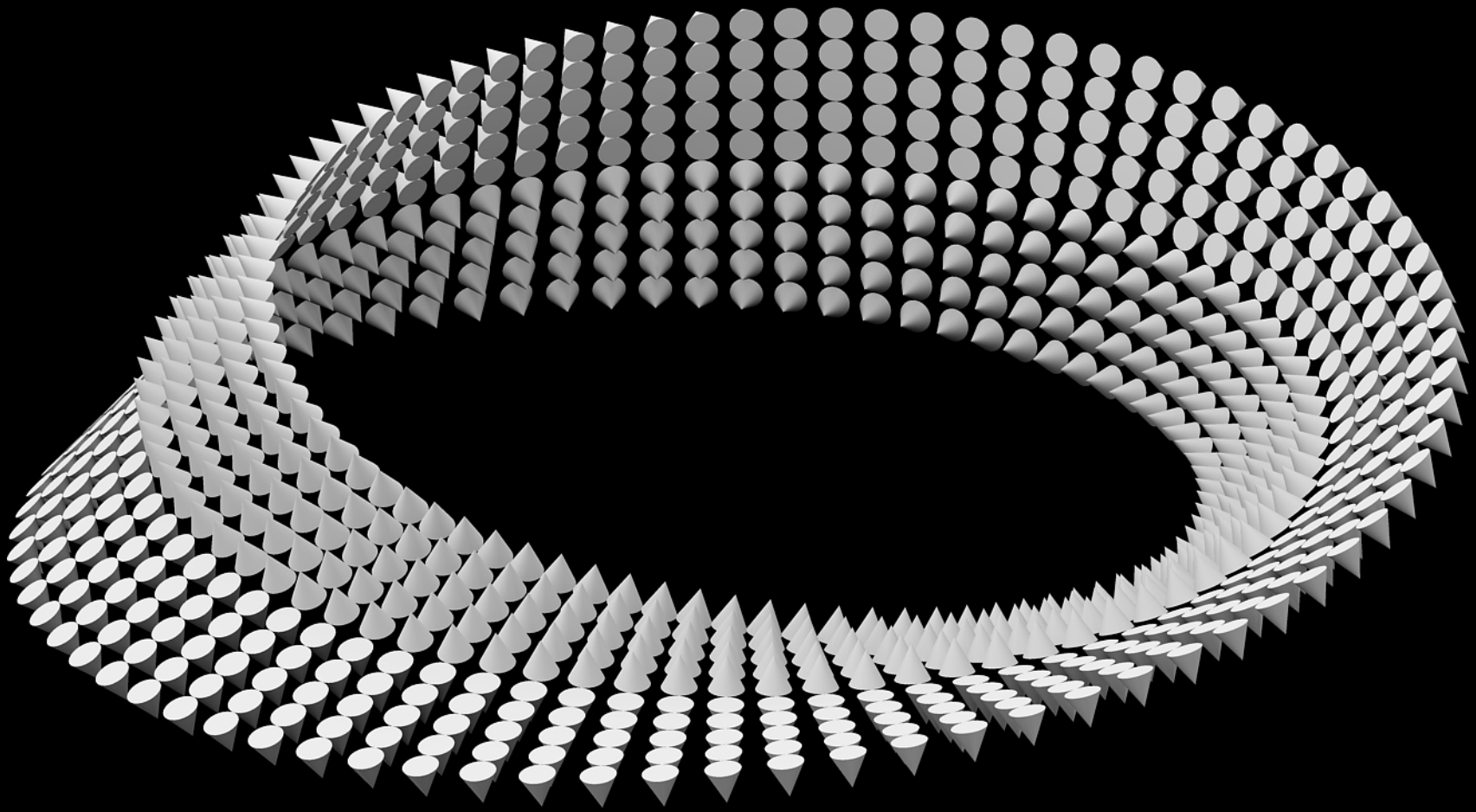
Parametric Surfaces

Tesselations



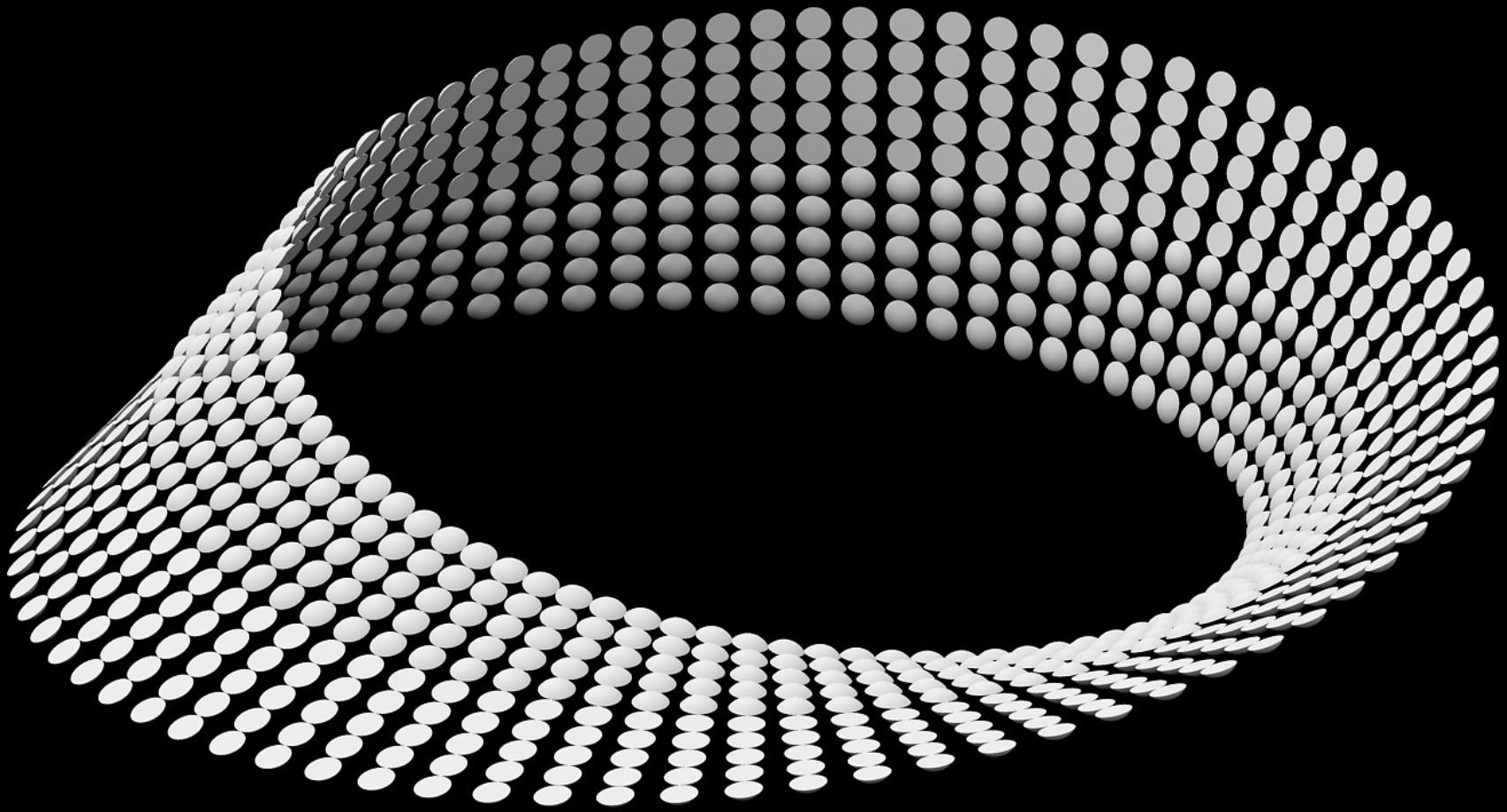
Parametric Surfaces

Tesselations



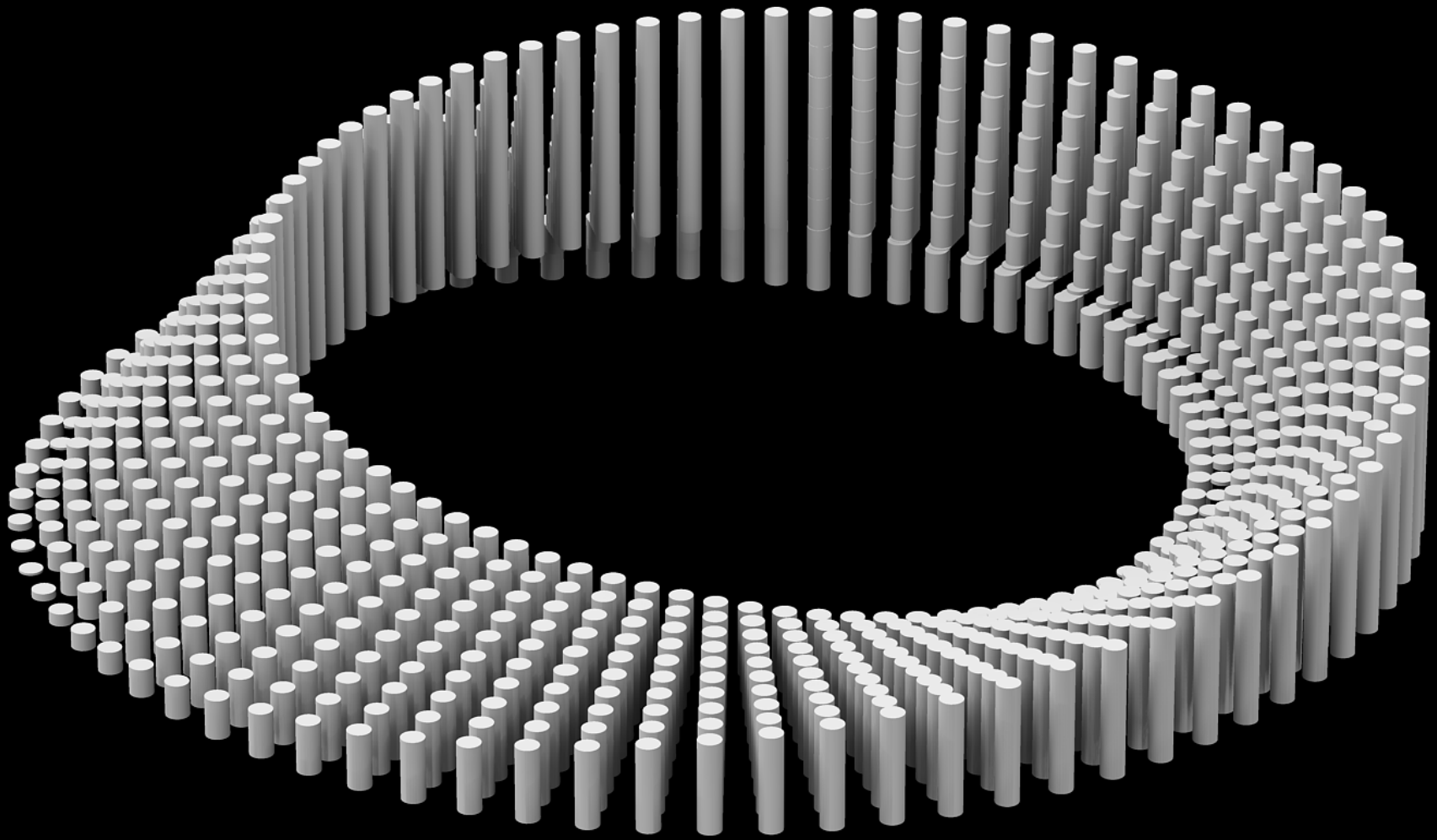
Parametric Surfaces

Tesselations



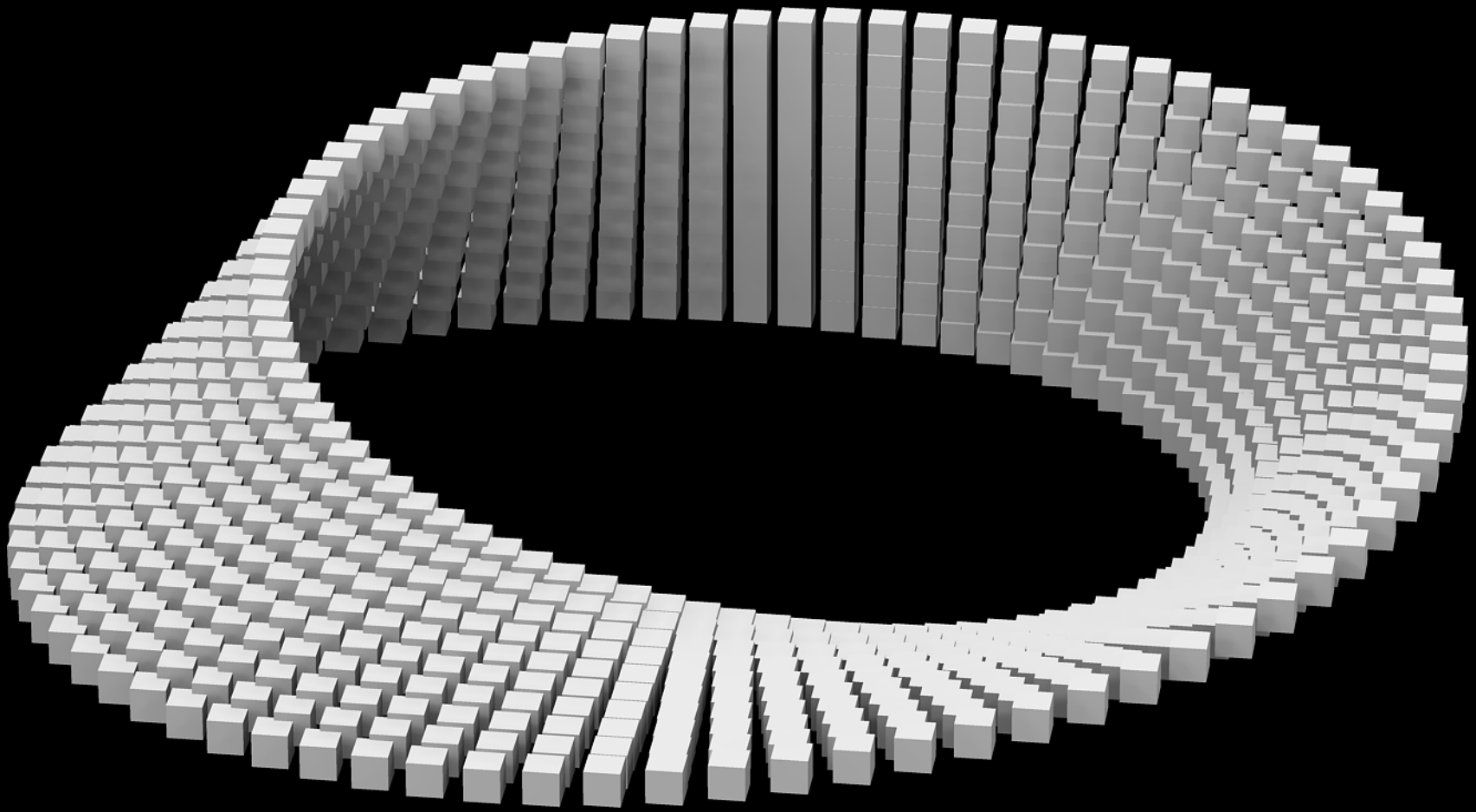
Parametric Surfaces

Tesselations



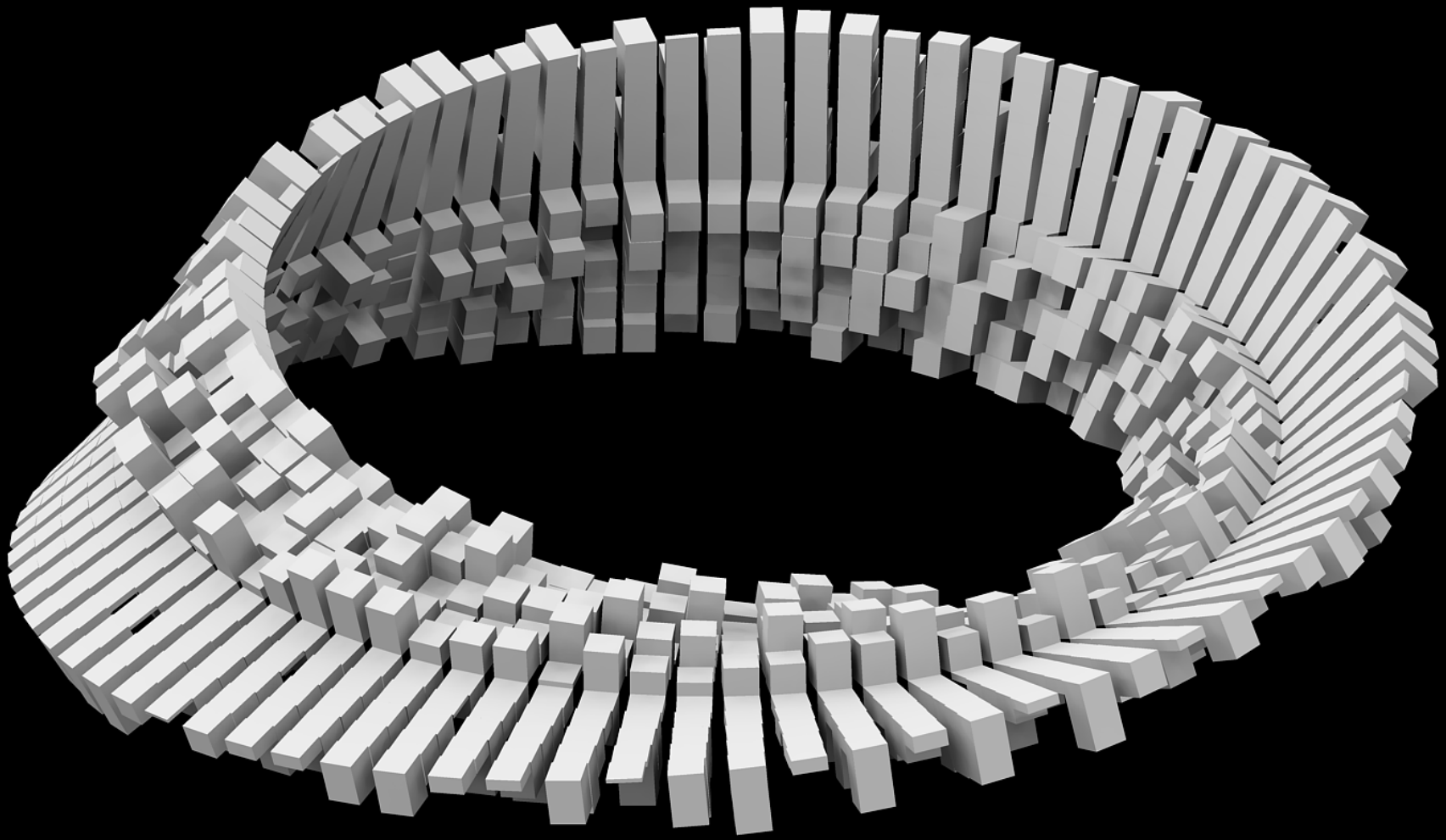
Parametric Surfaces

Tesselations



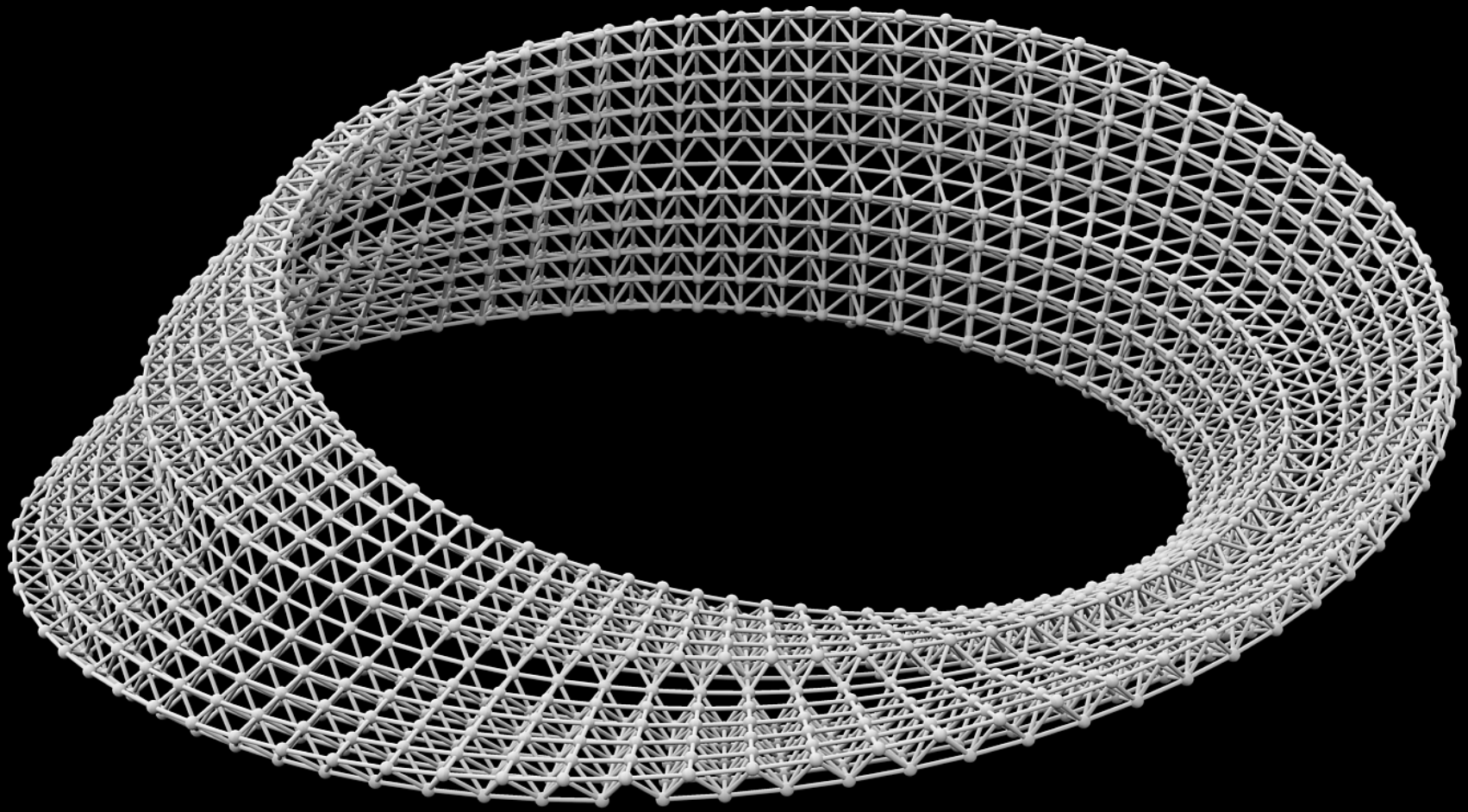
Parametric Surfaces

Tesselations



Parametric Surfaces

Tesselations



Teaching

Evaluation

- Exam
- Project
- Mini tests

Teaching - Exam

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Instituto Superior Técnico

Programação e Computação para Arquitectura – 2010/2011

Segundo Exame – 31/02/2011

Número: _____

Nome: _____

Escreva o seu número em todas as folhas da prova. O tamanho das respostas deve ser limitado ao espaço fornecido para cada pergunta. Se tiver dúvidas de interpretação, faça suposições razoáveis e explicite-as na sua resposta. Pode usar os versos das folhas para rascunho. A prova tem **8** páginas e a duração é de **120 minutos**. A cotação de cada questão encontra-se indicada entre parêntesis. Boa sorte.

Em todos os exercícios, pode usar todas as funções descritas na sebenta.

1. (2.0) Considere a seguinte definição Auto Lisp para a função de Ackermann:

```
(defun ack (m n)
  (if (= m 0)
    (+ n 1)
    (if (= n 0)
      (ack (- m 1) 1)
      (ack (- m 1) (ack m (- n 1))))))
```

   (a) (0.5) A função apresentada é recursiva? Porquê?

   A função é recursiva porque está definida em termos dela própria.

   (b) (0.5) A função apresentada é de ordem superior? Porquê?

   A função não é de ordem superior porque não recebe funções como argumento nem devolve funções como resultado.

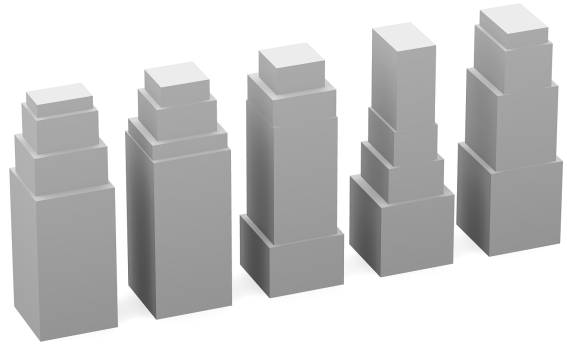
   (c) (0.5) Calcule o resultado de `(ack 1 2)`.

```
(ack 1 2)
(ack 0 (ack 1 1))
(ack 0 (ack 0 (ack 1 0)))
(ack 0 (ack 0 (ack 0 1)))
(ack 0 (ack 0 2))
(ack 0 3)
4
```

   (d) (0.5) Traduza a definição da função de Ackermann para a notação tradicional da matemática.

$$A(m,n) = \begin{cases} n+1 & \textbf{se } m = 0 \\ A(m-1,1) & \textbf{se } m > 0 \textbf{ e } n = 0 \\ A(m-1, A(m,n-1)) & \textbf{se } m > 0 \textbf{ e } n > 0 \end{cases}$$

2. (2.0) Considere um modelo simplificado de um edifício baseado numa sequência de paralelipípedos empilhados, cuja dimensão é aleatória mas sempre sucessivamente mais pequena, tal como é ilustrado na seguinte imagem:

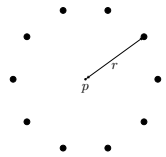


Considere que este modelo de edifício é parameterizado pelo número de paralelipípedos empilhados, pelas coordenadas do primeiro paralelipípedo e pelo comprimento, largura e altura do edifício. O bloco de base tem exactamente o comprimento e largura especificados mas a sua altura deverá estar entre 20% e 80% da altura total do edifício. Os blocos seguintes estão centrados sobre o bloco imediatamente abaixo e possuem um comprimento e largura que estão entre 70% e 100% dos parâmetros correspondentes no bloco imediatamente abaixo. A altura destes blocos deverá ser entre 20% e 80% da altura restante do edifício. Defina uma função capaz de produzir este modelo de edifícios.

```
(defun predio-blocos (n p0 c0 l0 a0 / p1 c1 l1 a1)
  (if (= n 1)
    (command "_.box" p0 (+xyz p0 c0 l0 a0))
    (progn
      (setq c1 (* (random-[] 0.7 1.0) c0)
            l1 (* (random-[] 0.7 1.0) l0)
            a1 (* (random-[] 0.2 0.8) a0)
            p1 (+xyz p0
                     (/ (- c0 c1) 2.0)
                     (/ (- l0 l1) 2.0)
                     a1))
      (command "_.box" p0 (+xyz p0 c0 l0 a1))
      (predio-blocos (- n 1) p1 c1 l1 (- a0 a1)))))
```

Teaching - Exam

3. (1.0) Defina a função `pontos-circunferencia` que, a partir das coordenadas de um ponto p, de um raio r e de um número de pontos n, devolve **uma lista** com as coordenadas de n pontos uniformemente distribuídos ao longo da circunferência de raio r, tal como se ilustra na imagem seguinte para $n = 10$:

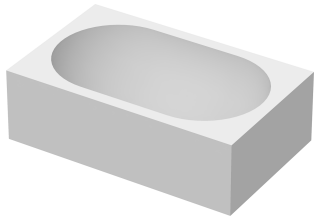



```
(defun pontos-circunferencia (p r n)
  (pontos-arco-circunferencia p r 0 (/ 2*pi n) n))

(defun pontos-arco-circunferencia (p r a da n)
  (if (= n 0)
    (list)
    (cons (+pol p r a)
          (pontos-arco-circunferencia p r (+ a da) da (- n 1)))))
```

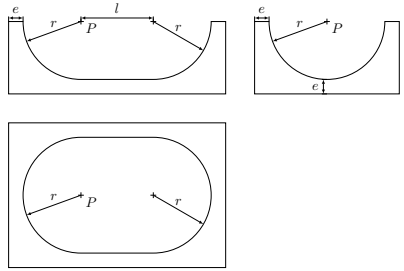
4. (2.0) Defina a função `pontos-sinusoide-circular`, de parâmetros p, r_i, r_e, c e n que computa **uma lista** com n pontos de uma curva fechada com a forma de uma sinusoide com c ciclos que se desenvolve num anel circular centrado no ponto p e delimitado pelos raios interior r_i e exterior r_e, tal como se pode ver nos vários exemplos apresentados na seguinte figura onde, da esquerda para a direita, o número de ciclos c é 12, 6, e 3.


```
(defun pontos-arco-sinusoidal (p r a c fi dfi n)
  (if (= n 0)
    (list)
    (cons (+pol p (+ r (* a (sin (* c fi)))) fi)
          (pontos-arco-sinusoidal p r a c (+ fi dfi) dfi (- n 1)))))

(defun pontos-sinusoide-circular (p ri re c n)
  (pontos-arco-sinusoidal p
                          (/ (+ ri re) 2.0)
                          (/ (- re ri) 2.0)
                          c 0 (/ 2*pi n) n))
```


5. (1.5) Pretende-se modelar uma banheira de pedra idêntica à que se apresenta na imagem seguinte:



Os parâmetros relevantes para a banheira encontram-se representados no alçado frontal, planta e alçado lateral apresentados na imagem seguinte:

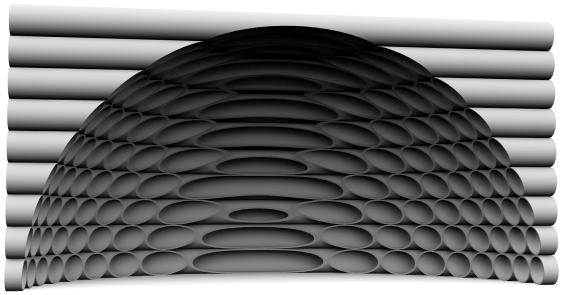


Defina uma função denominada `banheira` que constroi uma banheira idêntica à da figura anterior.

```
(defun banheira (p r e l / re)
  (setq re (+ r e))
  (subtraccao
    (caixa (+xyz p (- re) (- re) (- re))
           (+xyz p (+ l re) (+ re) 0))
    (uniao
      (esfera p r)
      (uniao
        (cilindro p r (+x p l))
        (esfera (+x p l) r)))))
```

Teaching - Exam

6. (2.5) Considere a imagem seguinte:

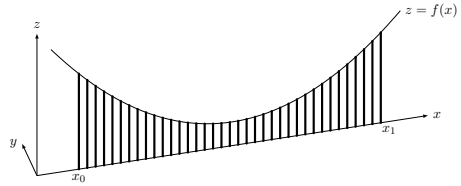


A imagem representa um abrigo de forma paralelipipédica construído com tubos cilíndricos cortados de modo a que o espaço interior tenha a forma de um quarto de esfera. Note que os tubos cilíndricos possuem uma espessura que é 10% do raio. Note ainda que o raio do quarto de esfera é igual à altura e largura do abrigo menos o raio de um cilindro.

Defina uma função que constrói o abrigo a partir do centro da esfera, da altura do paralelipípedo e do número de tubos a colocar ao longo da altura.

```
(defun malha-tubos (p c r n m)
  (if (= m 0)
    (regiao-vazia)
    (uniao
     (linha-tubos p c r n)
     (malha-tubos (+z p (* 2 r)) c r n (- m 1)))))

(defun linha-tubos (p c r n)
  (if (= n 0)
    (regiao-vazia)
    (uniao
     (subtraccao
       (cilindro p r (+x p c))
       (cilindro p (* 0.9 r) (+x p c)))
     (linha-tubos (+y p (* 2 r)) c r (- n 1)))))

(defun cobertura-tubos (p h n / r0 r1)
  (setq r1 (/ h 2.0 n)
        r0 (- h r1))
  (subtraccao
   (malha-tubos (+xyz p (- h) r1 r1) (* 2 h) r1 n n)
   (esfera p r0)))

(cobertura-tubos (xyz 0 0 0) 5 9)
```


7. (2.0) Considere o seguinte esquema para os cabos verticais de uma ponte suspensa:

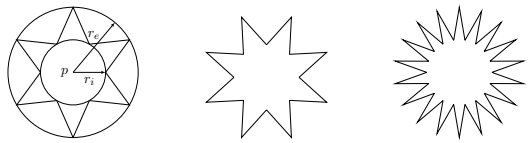


Os cabos verticais são modelados por cilindros de raio r (representados, no esquema, pelas linhas mais grossas) cujas extremidades são definidas por duas sequências com n pontos cada uma, uma ao longo do eixo x, a começar na coordenada $(x_0, 0, 0)$ e a acabar em $(x_1, 0, 0)$ e outra ao longo da curva $z = f(x)$, a começar em $(x_0, 0, f(x_0))$ e a acabar em $(x_1, 0, f(x_1))$.

Defina a função `cilindros-verticais` que recebe a função f, as abcissas x_0 e x_1, o raio r e o número de cilindros n e constrói o modelo apresentado.

```
(defun cilindros-verticais (f x0 x1 r n)
  (parametrica-n (lambda (x)
                   (cilindro (xyz x 0 0) r (xyz x 0 (f x))))
                 x0 x1 n))
```

8. (2.0) Defina uma função denominada `estrela` que, a partir de um ponto p, de um raio interior r_i, de um raio exterior r_e e de um número n de vértices no raio exterior, desenha estrelas como as apresentadas em seguida:



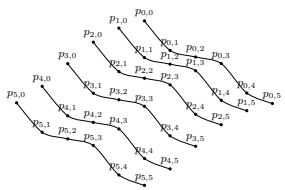

```
(defun pontos-estrela (p ri re a da n)
  (if (= n 0)
    (list)
    (cons (+pol p ri a)
          (pontos-estrela p re ri (+ a da) da (- n 1)))))

(defun estrela (p ri re n)
  (pline-pontos
   (pontos-estrela p ri re 0 (/ pi n) (+ (* 2 n) 1))))
```

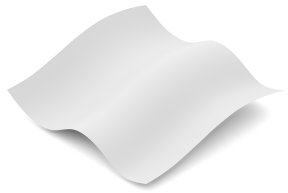
Teaching - Exam

9. (1.5) Considere uma superfície representada por um conjunto de coordenadas tri-dimensionais. Admita que essas coordenadas estão armazenadas numa lista de listas da forma:

$$\begin{array}{l}((p_{0,0}\ \ p_{0,1}\ \ \ldots\ \ p_{0,5})\\ \ (p_{1,0}\ \ p_{1,1}\ \ \ldots\ \ p_{1,5})\\ \ \ldots\\ \ (p_{5,0}\ \ p_{5,1}\ \ \ldots\ \ p_{5,5}))\end{array}$$

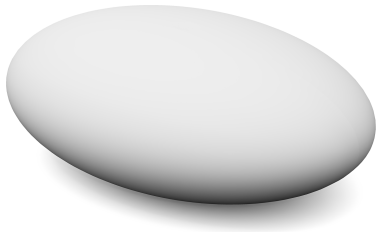
Defina a função `superficie-interpolacao` que recebe uma lista com a forma anterior, começa por criar uma lista de *splines* em que cada *spline* S_i passa pelos pontos $p_{i,0}, p_{i,1}, \ldots, p_{i,5}$ tal como se apresenta na imagem seguinte à esquerda e acaba por usar essa lista de splines $S_0, S_1, \ldots, S_5$ para fazer uma interpolação suave de secções, tal como se apresenta na imagem seguinte à direita:





```
(defun superficie-interpolacao (curvas)
  (interpolacao-suave
    (mapeia spline-pontos curvas)))
```

10. (2.0) Considere o seguinte elipsóide:



Um elipsoide é caracterizado pelas dimensões dos seus três raios ortogonais a, b, e c. A sua equação paramétrica é:

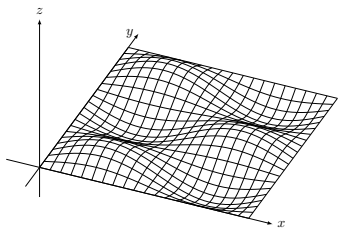
$$\begin{aligned}x &= a\sin\psi\cos\phi\\ y &= b\sin\psi\sin\phi\\ z &= c\cos\psi\end{aligned}$$

$$-\tfrac{\pi}{2} \le \phi \le +\tfrac{\pi}{2}; \quad -\pi \le \psi \le +\pi;$$

Defina a função `elipsoide` que produz o elipsóide a partir dos três raios a, b, c e ainda do número n de valores a usar ao longo de ϕ e de ψ.

```
(defun elipsoide (a b c n)
  (superficie-malha
    (parametrica-m-n
      (lambda (fi psi)
        (xyz (* a (sin psi) (cos fi))
             (* b (sin psi) (sin fi))
             (* c (cos psi))))
      0 2*pi n
      0 pi n)))
```

11. (1.5) Considere a seguinte superfície gerada por duas sinusóides que se desenvolvem em direcções ortogonais:



Sabendo que a superfície oscila entre a altura máxima de 0.5 e a mínima de -0.5 e que x e y ambos variam no intervalo $[0, 2\pi]$, complete a seguinte expressão de modo a criar as coordenadas da superfície anterior:

```
(parametrica-m-n
  (lambda (u v)
    (xyz u
         v

                                                    ))
  0 2*pi 20
  0 2*pi 20)
```

(* 0.5 (sin (* 2 u)) (sin v))

Teaching - Project

Projecto de
Programação e Computação para Arquitectura
Turning Torso

António Menezes Leitão

15 de Fevereiro de 2012

1 Introdução

O *Turning Torso* é um edifício desenhado pelo arquitecto espanhol Santiago Calatrava. A Figura 1 mostra uma imagem deste edifício. Com uma altura de 190 metros divididos em 54 pisos, o *Turning Torso* é o mais alto edifício da Suécia.

Figura 1: Turning Torso. Fotografia de Jerzy Kociatkiewicz.

O edifício é composto por nove "cubos" com cinco pisos cada. Cada cubo funciona como um edifício independente, sendo o espaço intermédio

Teaching - Project

entre os cubos usado como espaço técnico para manutenção das fachadas.

Cada cubo sofre uma torção à medida que ganha altura sendo que o piso mais alto do edifício está rodado de noventa graus (no sentido dos ponteiros do relógio) relativamente ao piso mais baixo.

No exterior do edifício encontra-se um *exosqueleto* metálico, representado na Figura 2. Esta treliça é constituída por um tubo com braços horizontais e inclinados amarrados ao edifício. A treliça está torcida para acompanhar a rotação do edifício. Este exosqueleto faz o travamento horizontal do edifício e destina-se a aumentar a resistência do edifício aos ventos e a diminuir a sua vibração.

A estrutura de suporte do edifício é constituída por um núcleo cilíndrico de betão reforçado a aço que alberga os elevadores e escadas de serviço bem como os sistemas eléctricos e hidráulicos. O núcleo tem um diâmetro de 10.6 metros, constante deste a base até ao topo, embora a sua espessura interior varie desde 2.5 m na base até 0.40 m no topo. Este cilindro é visível na Figura 3.

A fachada do *Turning Torso* é revestida com 2800 painéis de aluminio e 2250 janelas. Para acompanhar a torção, os painéis são inclinados para dentro no lado oeste do edifício e para fora no lado leste, variando a inclinação entre 0^o e 7^o. A inclinação lateral dos paineis é de 6^o.

Cada piso consiste de uma laje de secção rectangular arredondada acoplada a uma secção triangular. As lajes envolvem e apoiam-se no núcleo central de suporte cujo eixo coincide com o eixo de rotação das lajes, tal como se apresenta na Figura 4. Nas extremidades das lajes encontram-se colunas de betão armado inclinadas de modo a acompanhar a torção do edifício.

O edifício é de utilização mista, com os dois primeiros cubos reservados para escritórios e os restantes para habitação, com um total de 147 apartamentos distribuídos por trinta e três diferentes tipologias, com áreas desde 45 a 190 metros quadrados.

Para mais informações sobre o edifício sugere-se a consulta dos seguintes sites:

- `http://www.turningtorso.com/`
- `http://www.designbuild-network.com/projects/turning-torso/`
- `http://www.arcspace.com/architects/calatrava/torso2/torso2.html`
- `http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/154/artigo39463-1.asp`
- `http://www.arcspace.com/architects/calatrava/turning_torso_index.html`
- `http://www.construlink.com/Homepage/verDestaqueArquitectura.php?id=3`

Figura 2: Turning Torso. Fotografia de Umberto Luparelli.

2 Trabalho a Desenvolver

O projecto é para ser realizado em grupos de dois alunos ou, excepcionalmente, de um só aluno.

O projecto consiste na escrita de um programa Auto Lisp capaz de ge-

Teaching - Project

Figura 3: Turning Torso. Fotografia de Lars Tufvesson.

rar o *Turning Torso*. O seu programa deverá ser suficientemente parameterizado para que se possam explorar variações em torno das ideias fundamentais da obra de Calatrava. Em particular, deverá ser possível experimentar variações nos seguintes parâmetros:

- número de pisos por bloco,
- número de blocos no edifício,
- ângulo de rotação de cada piso,
- altura de cada piso,

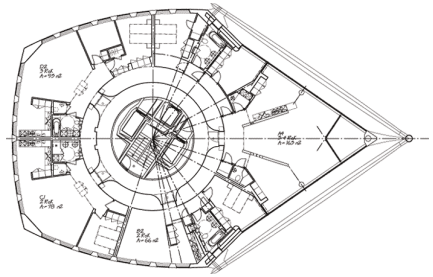


Figura 4: Turning Torso. Planta de um piso.

- dimensões do núcleo,
- dimensões das paredes exteriores,
- curvatura das paredes exteriores,
- dimensões das barras da treliça

Naturalmente, importa que todos os parâmetros definidores da geometria do edifício estejam bem identificados para que seja possível alterá-los facilmente.

Para permitir uma avaliação intercalar do projecto, este será decomposto em duas fases com as seguintes datas de entrega:

1. Primeira fase: a entregar até às 24:00 do dia 9 de Dezembro de 2007.
2. Segunda fase: a entregar até às 24:00 do dia 21 de Dezembro de 2007.

O trabalho a entregar em cada fase é detalhado em seguida.

Teaching - Project

Figura 5: Turning Torso. Fotografia de Wanshan.

2.1 Primeira Fase

Nesta fase pretende-se que implemente um programa Auto Lisp capaz de gerar os piso do edifício, sem necessidade de incluir quaisquer elementos internos excepto o núcleo cilíndrico de suporte. Este núcleo deverá obedecer à geometria real do edifício. Os pisos deverão ser suficientemente parameterizáveis para permitir experimentar variações na sua forma. Não é necessário mas é recomendável que a geração dos pisos possa afectá-los de um determinado ângulo de rotação.

Até ao final do prazo de entrega desta fase deverá aceder à página da cadeira no Fénix para submeter o seu trabalho por via electrónica. O tra-

Figura 6: Turning Torso. Fotografia de Lisa Liu.

balho a submeter deverá ser composto por um arquivo `ZIP` ou `tar.gz` contendo:

- um ou mais ficheiros Auto Lisp com o código desenvolvido para o projecto.
- uma ou mais imagens (`PS`, `EPS`, `PDF`, `PNG`, `JPG`, etc.) com vistas do edifício gerado.

Teaching - Project

Figura 7: Turning Torso. Fotografia de John Liu.

O código desenvolvido deverá estar escrito num estilo que facilite a leitura e que dispense, na medida do possível, excessivos comentários. Estes deverão ser incluídos, não para dizerem o que o código já diz claramente, mas para documentar os módulos e funções principais e, eventualmente, algumas partes menos claras dos programas.

Esta entrega será avaliada mas não será atribuída qualquer nota, servindo apenas para informar os alunos do andamento dos seus trabalhos e para esclarecer quaisquer dúvidas que tenham quando ao sucesso ou insucesso das abordagens escolhidas.

2.2 Segunda Fase

Na segunda fase dever-se-á ir tão longe quanto possível na modelação realista do *Turning Torso*. Em particular deverá ser possível modelar as paredes do edifício com os paineis de alumínio e suas janelas e deverá incluir-se a treliça de travamento.

Até ao final do prazo de entrega desta fase deverá aceder à página da cadeira no Fénix para submeter o seu trabalho por via electrónica. O trabalho a submeter deverá ser composto por um arquivo `ZIP` ou `tar.gz` contendo:

- um ou mais ficheiros Auto Lisp com o código desenvolvido para o projecto.
- um documento PDF com um relatório do projecto.

2.2.1 Código

O código desenvolvido deverá estar escrito no melhor estilo que for possível, permitindo a sua fácil leitura e dispensando excessivos comentários. É sempre preferível ter código mais claro com poucos comentários do que ter código obscuro com muitos comentários.

O código deverá ser modular, divido em funções com responsabilidades específicas e reduzidas. Cada módulo deverá ter um curto comentário a descrever o seu objectivo.

O código será testado pelo corpo docente pelo que deverá incluir informação sobre qual a função principal e qual o significado dos seus parâmetros.

2.2.2 Relatório

O relatório do projecto consiste de um documento PDF com uma descrição dos trabalhos desenvolvidos, explicando as decisões de programação tomadas e ilustrado com imagens geradas pela execução do programa, em particular, imagens que demonstrem a versatilidade do mesmo para a geração de geometrias alternativas para o edifício.

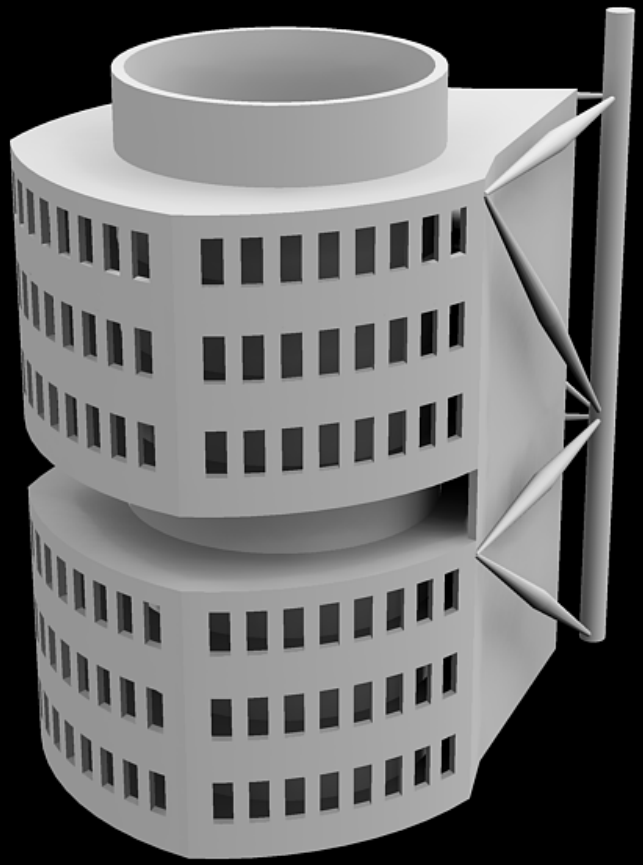
3 Avaliação

Os critérios de avaliação incluem:

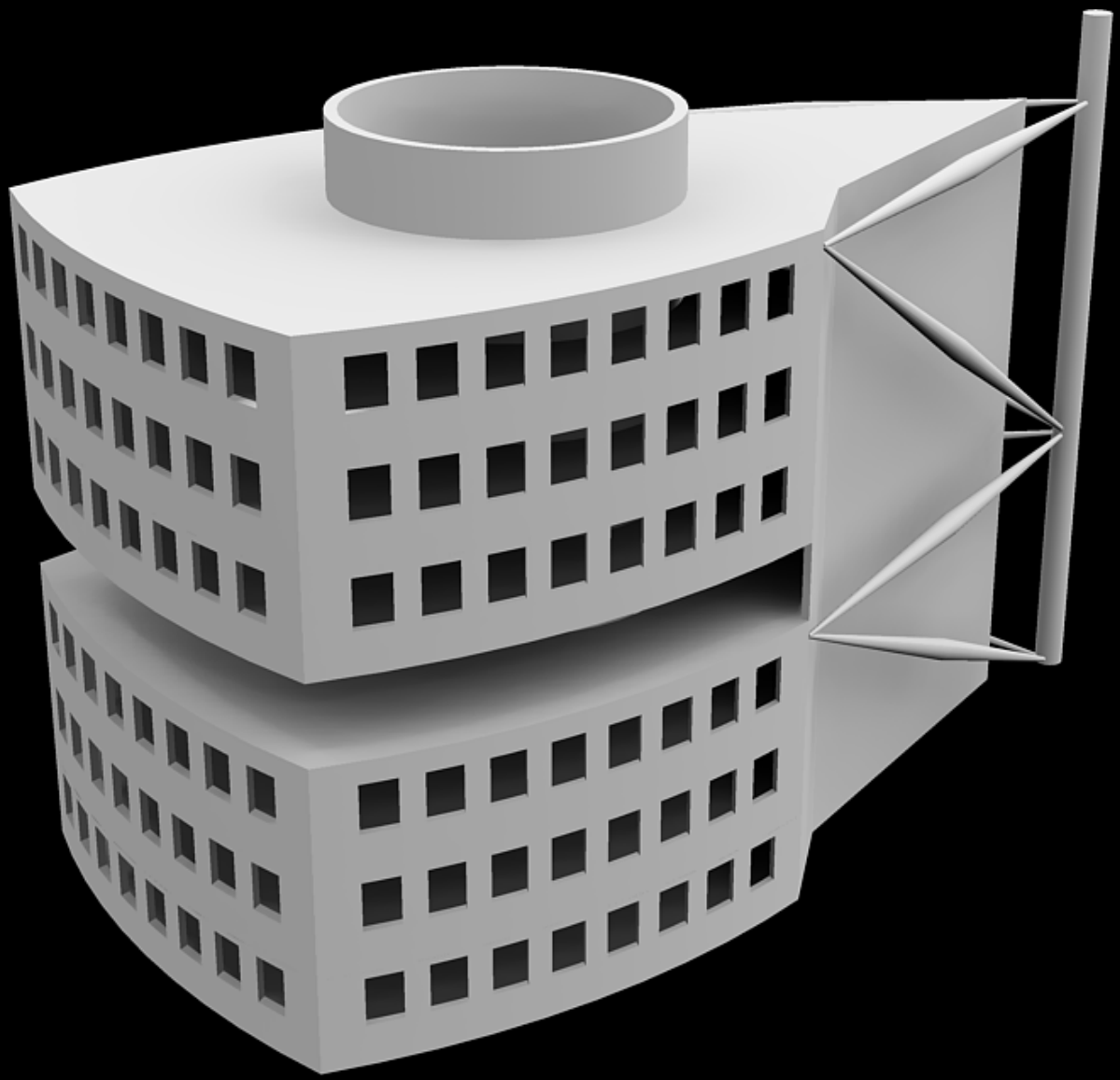
- A qualidade das soluções desenvolvidas.
- A clareza dos programas desenvolvidos.
- A capacidade de geração de geometrias alternativas.
- A qualidade do relatório.

Em caso de dúvidas, o corpo docente poderá exigir explicações sobre o funcionamento do projecto desenvolvido, incluindo eventuais demonstrações.

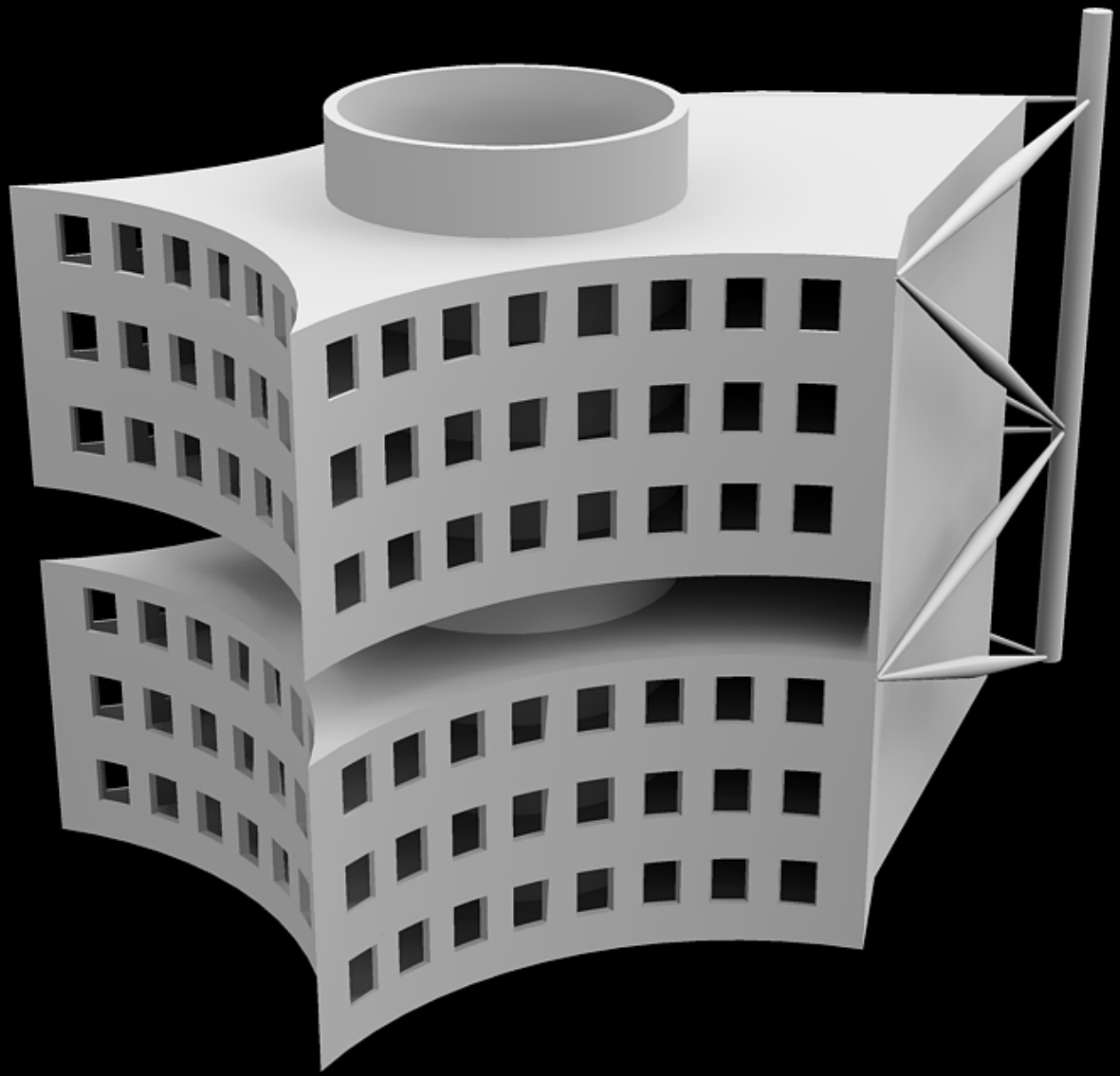
Results



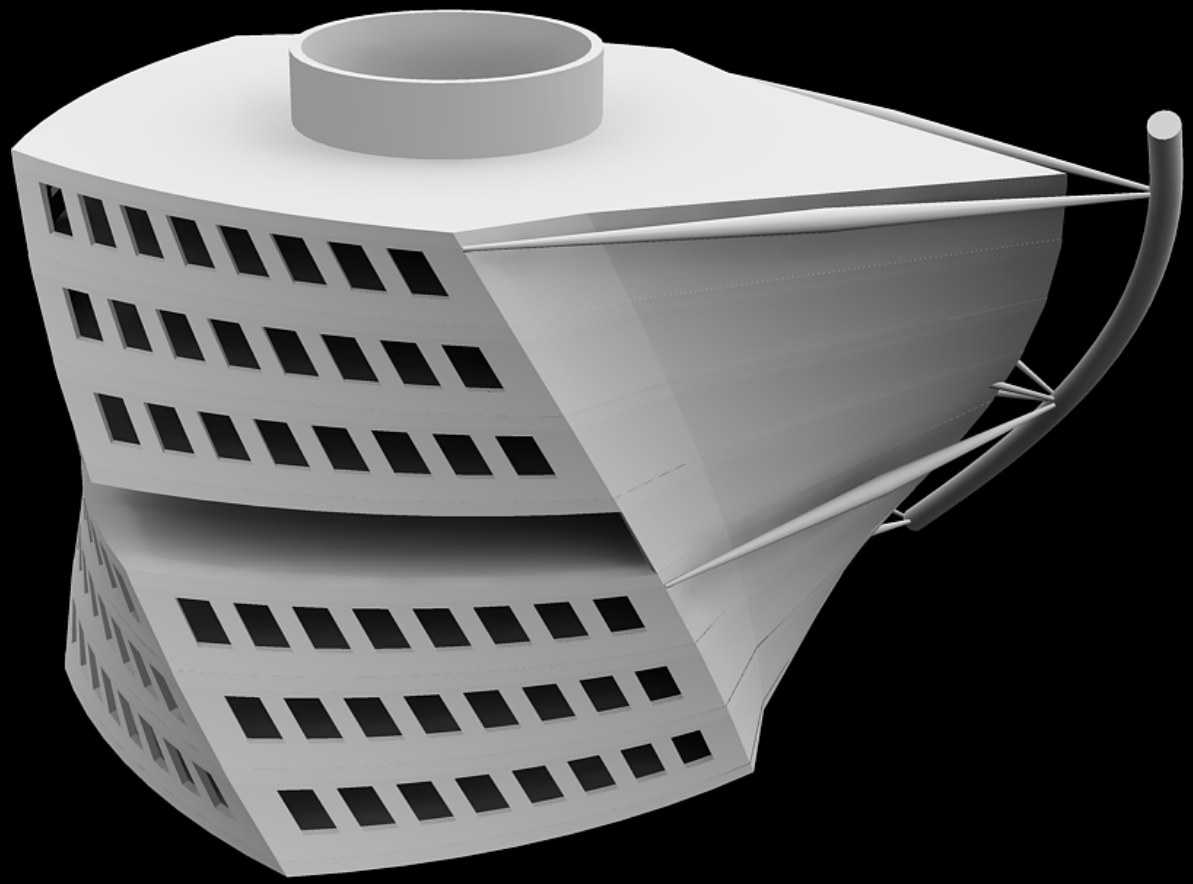
Results



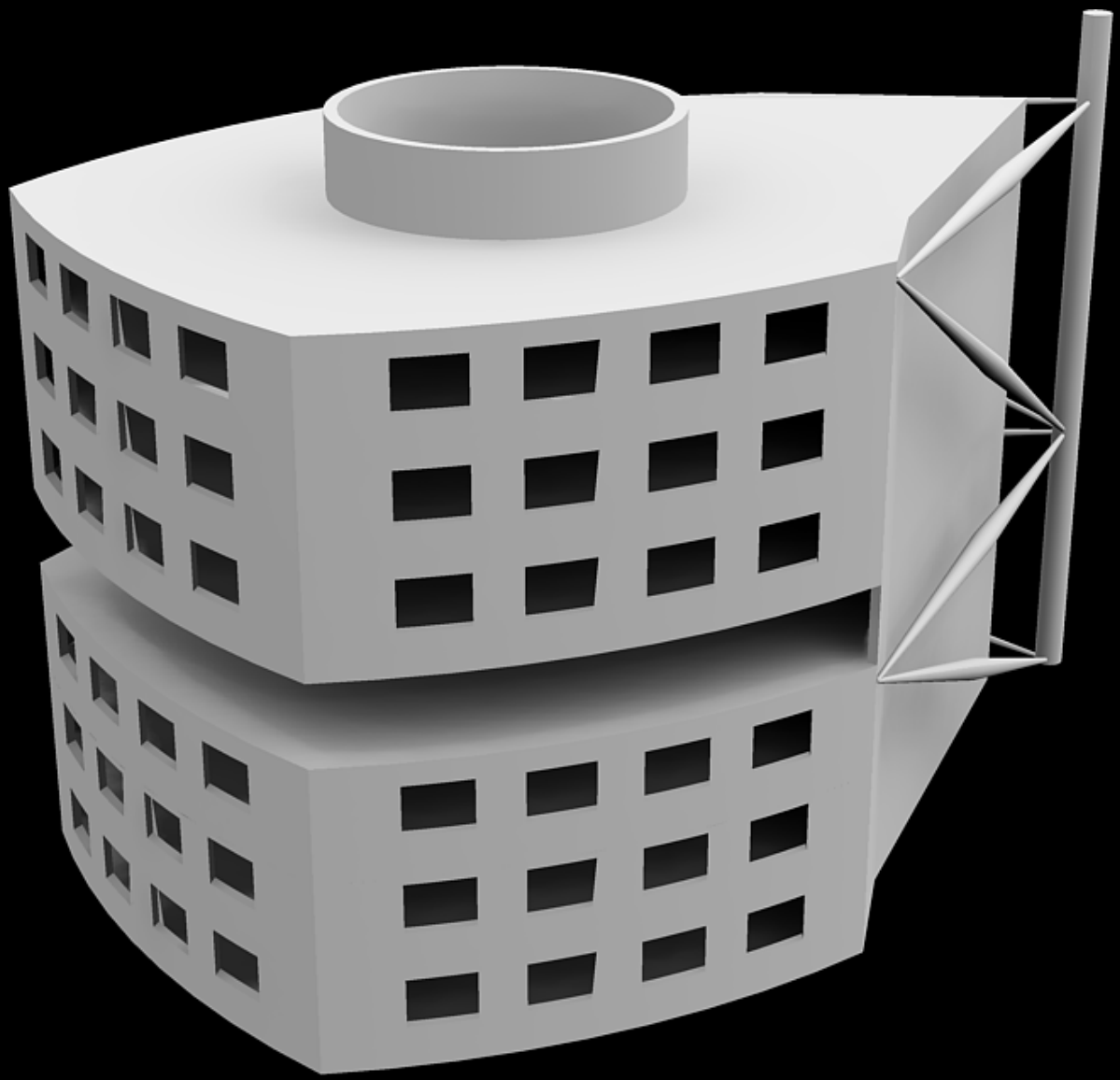
Results



Results



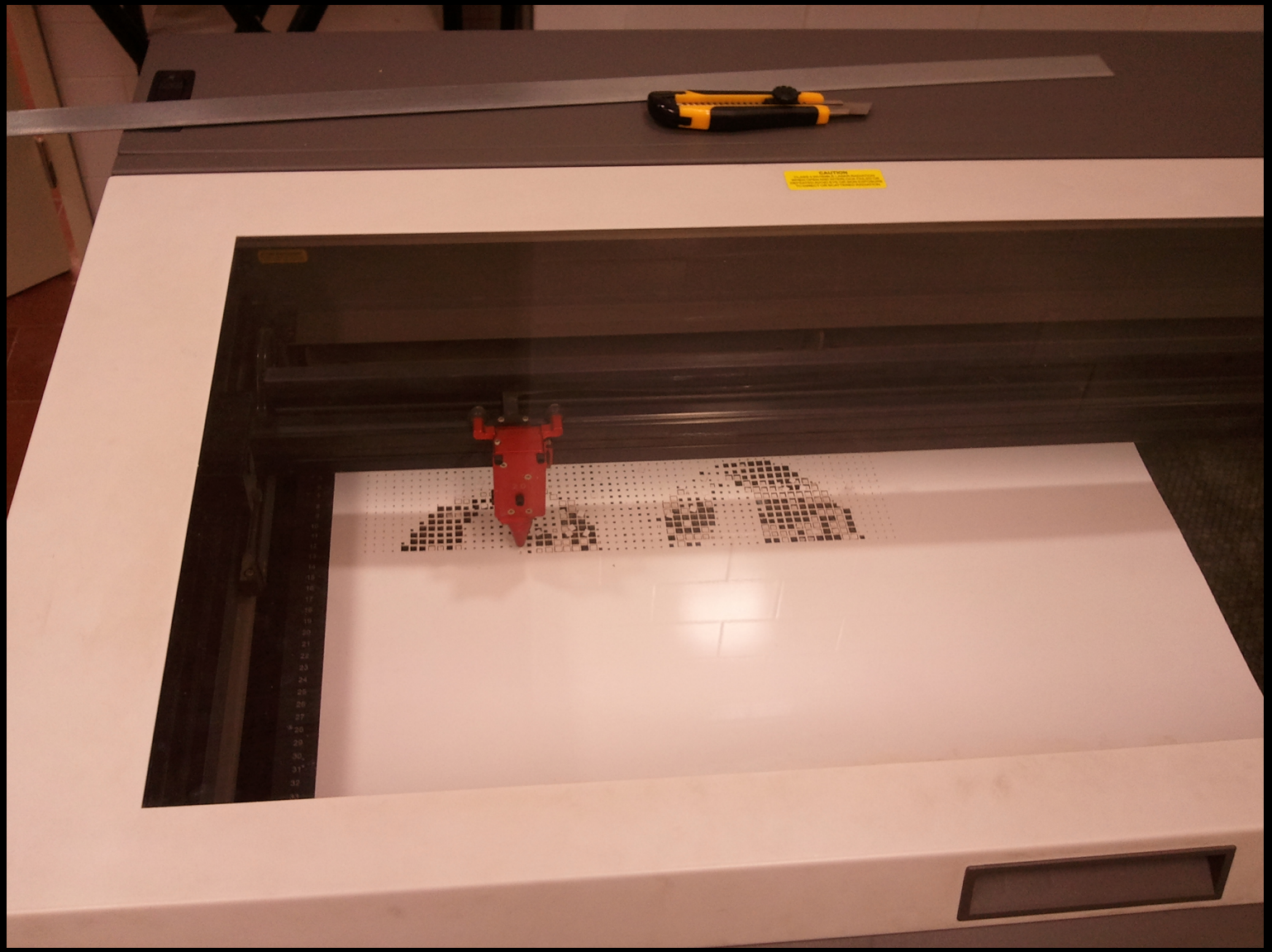
Results



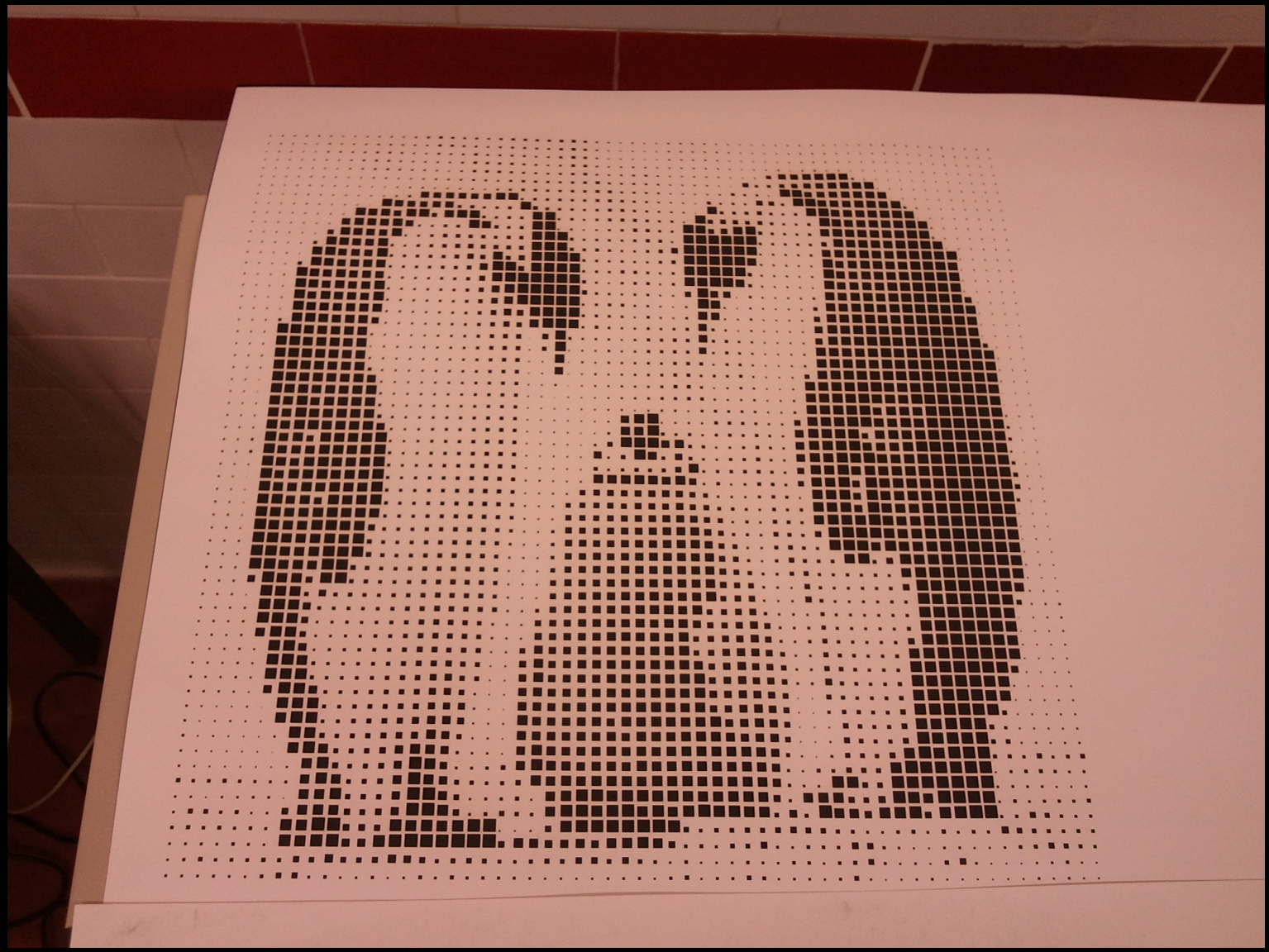
Results

Laboratory

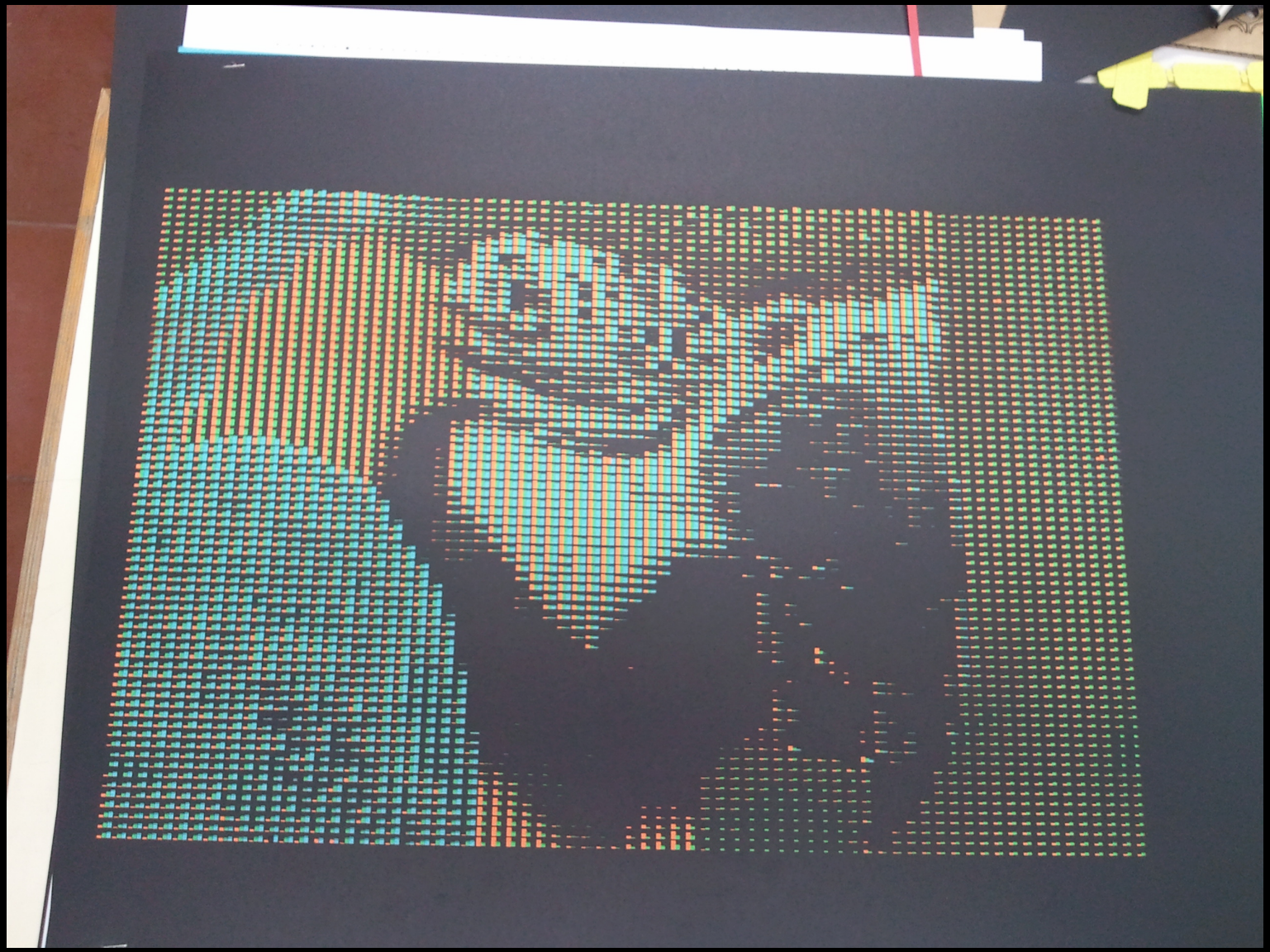
Laboratory



Laboratory



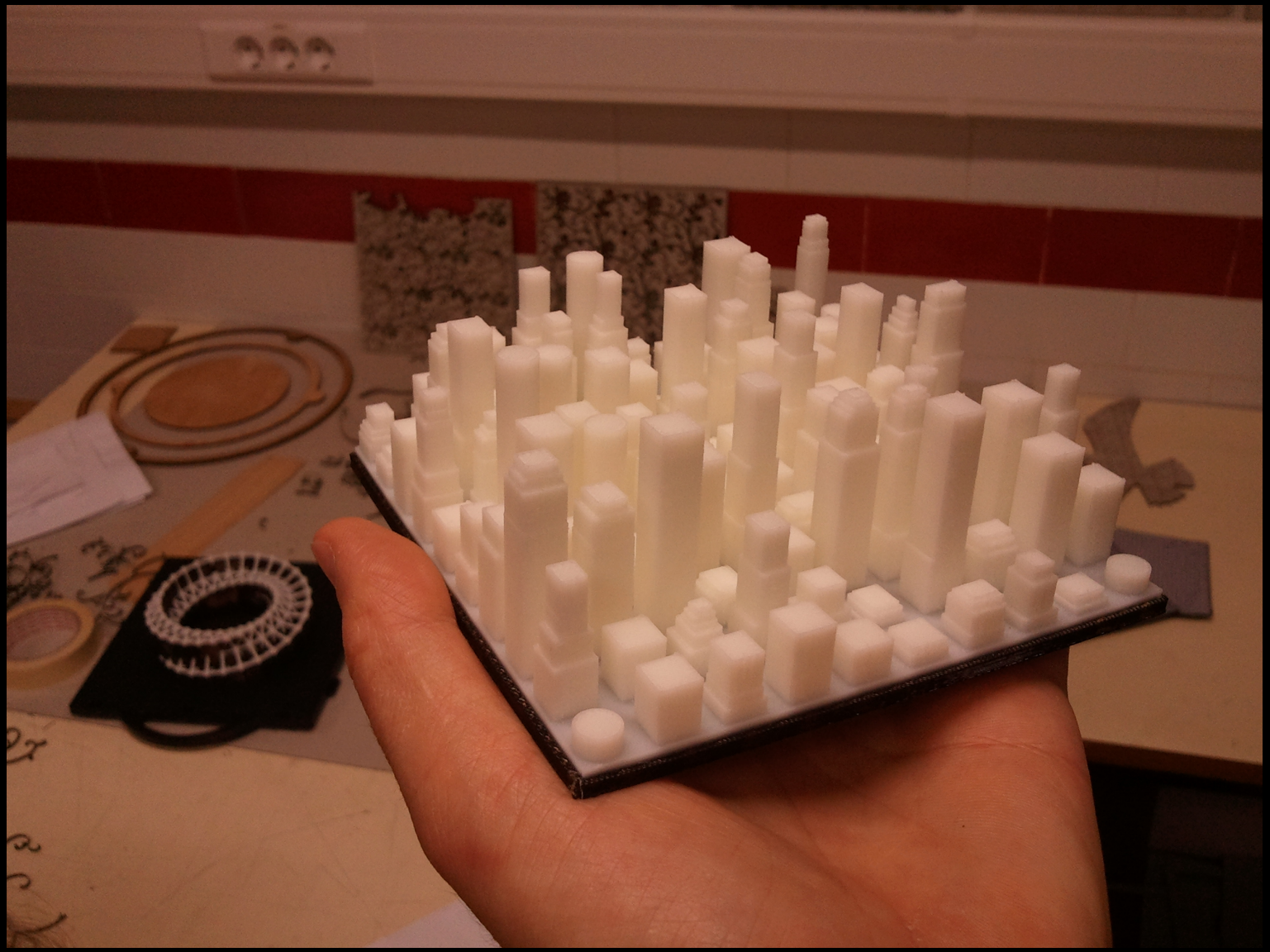
Laboratory



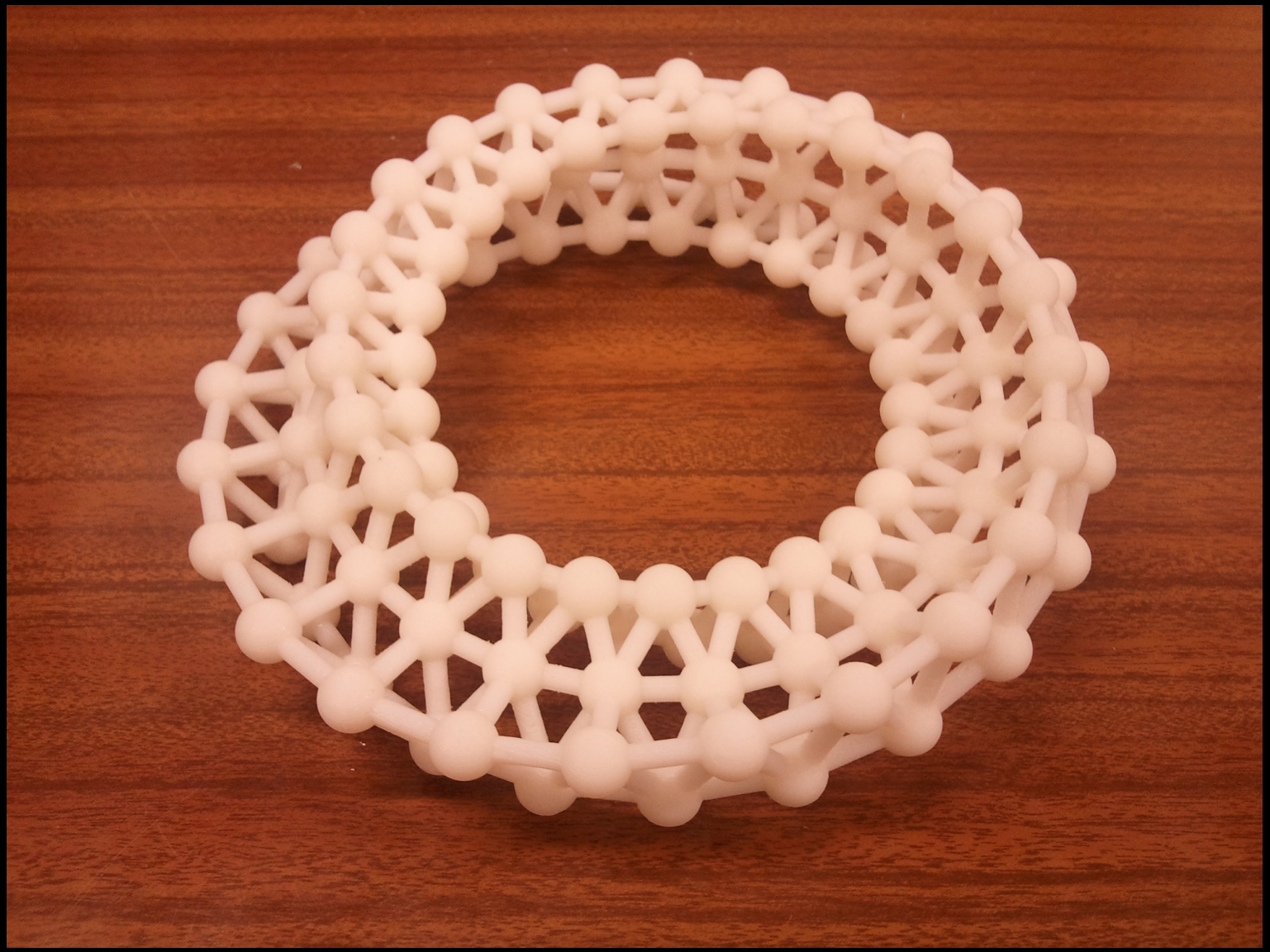
Laboratory

Laboratory

Laboratory



Laboratory



Practice

Different Goals

- Automation
- Generative Design
- Research

Common Needs

- CAD Application
- Programming Language

Practice

Alternatives

- ArchiCad
  - GDL
- AutoCAD
  - Visual Basic
  - C++
  - AutoLisp
- Rhino
  - RhinoScript
  - Grasshopper
  - Python
- Microstation
  - VBA
  - C++
  - Java

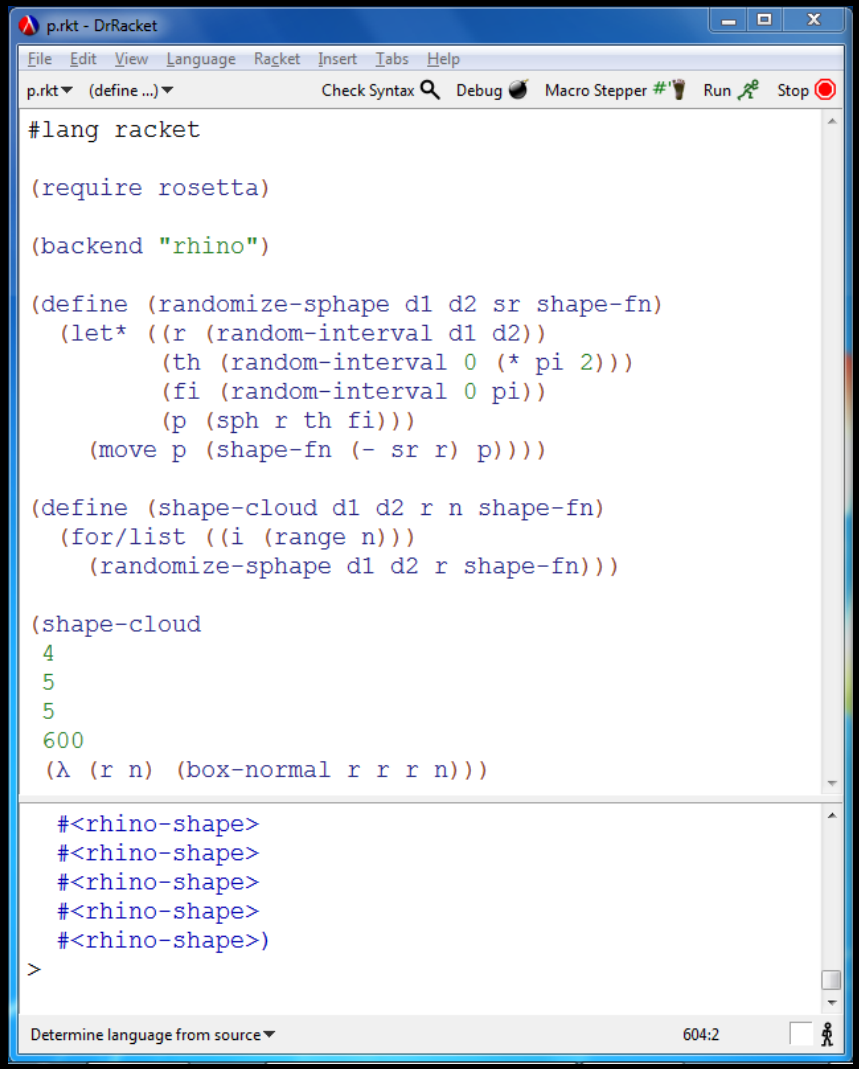
Practice

Alternatives

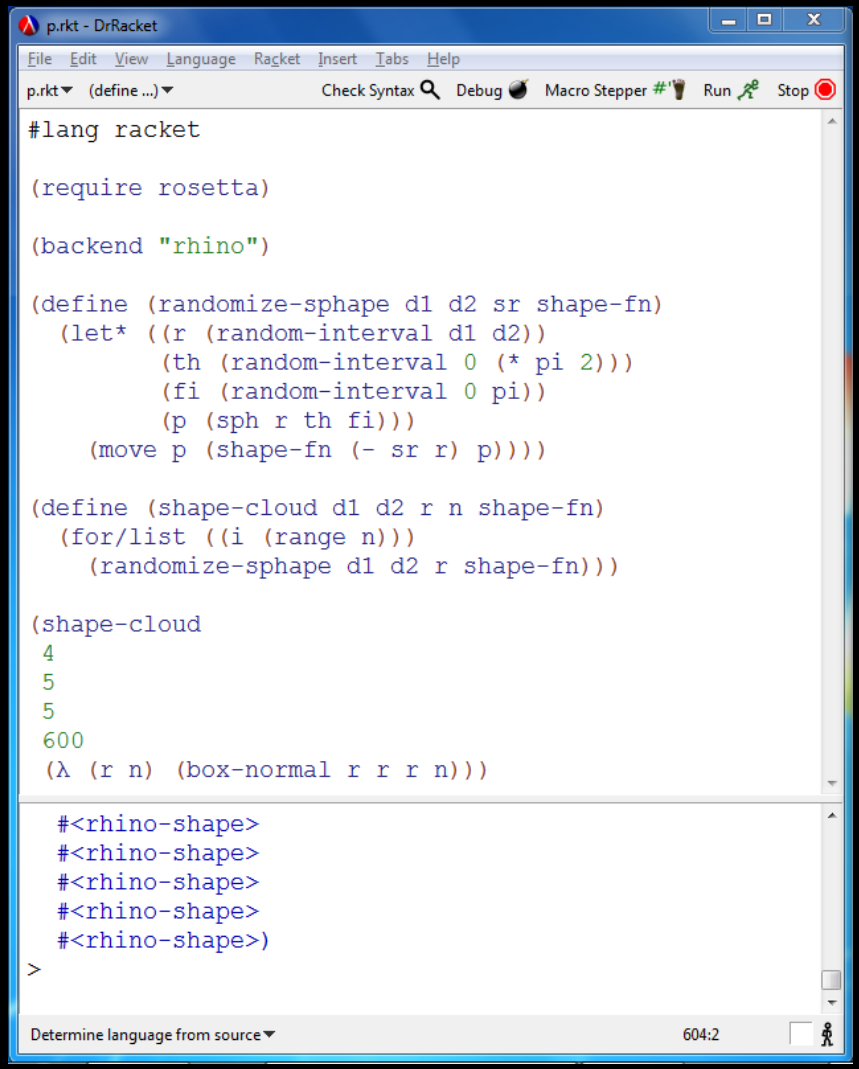
- ArchiCad
  - GDL
- AutoCAD
  - Visual Basic
  - C++
  - AutoLisp
- Rhino
  - RhinoScript
  - Grasshopper
  - Python
- Microstation
  - VBA
  - C++
  - Java

Incompatible

Rosetta


p.rkt - DrRacket
File Edit View Language Racket Insert Tabs Help
p.rkt (define ...) Check Syntax Debug Macro Stepper Run Stop
#lang racket
(require rosetta)
(backend "rhino")
(define (randomize-sphape d1 d2 sr shape-fn)
(let* ((r (random-interval d1 d2))
(th (random-interval 0 (* pi 2)))
(fi (random-interval 0 pi))
(p (sph r th fi)))
(move p (shape-fn (- sr r) p))))
(define (shape-cloud d1 d2 r n shape-fn)
(for/list ((i (range n)))
(randomize-sphape d1 d2 r shape-fn)))
(shape-cloud
4
5
5
600
(λ (r n) (box-normal r r r n)))
#<rhino-shape>
#<rhino-shape>
#<rhino-shape>
#<rhino-shape>
#<rhino-shape>)
>
Determine language from source
604:2

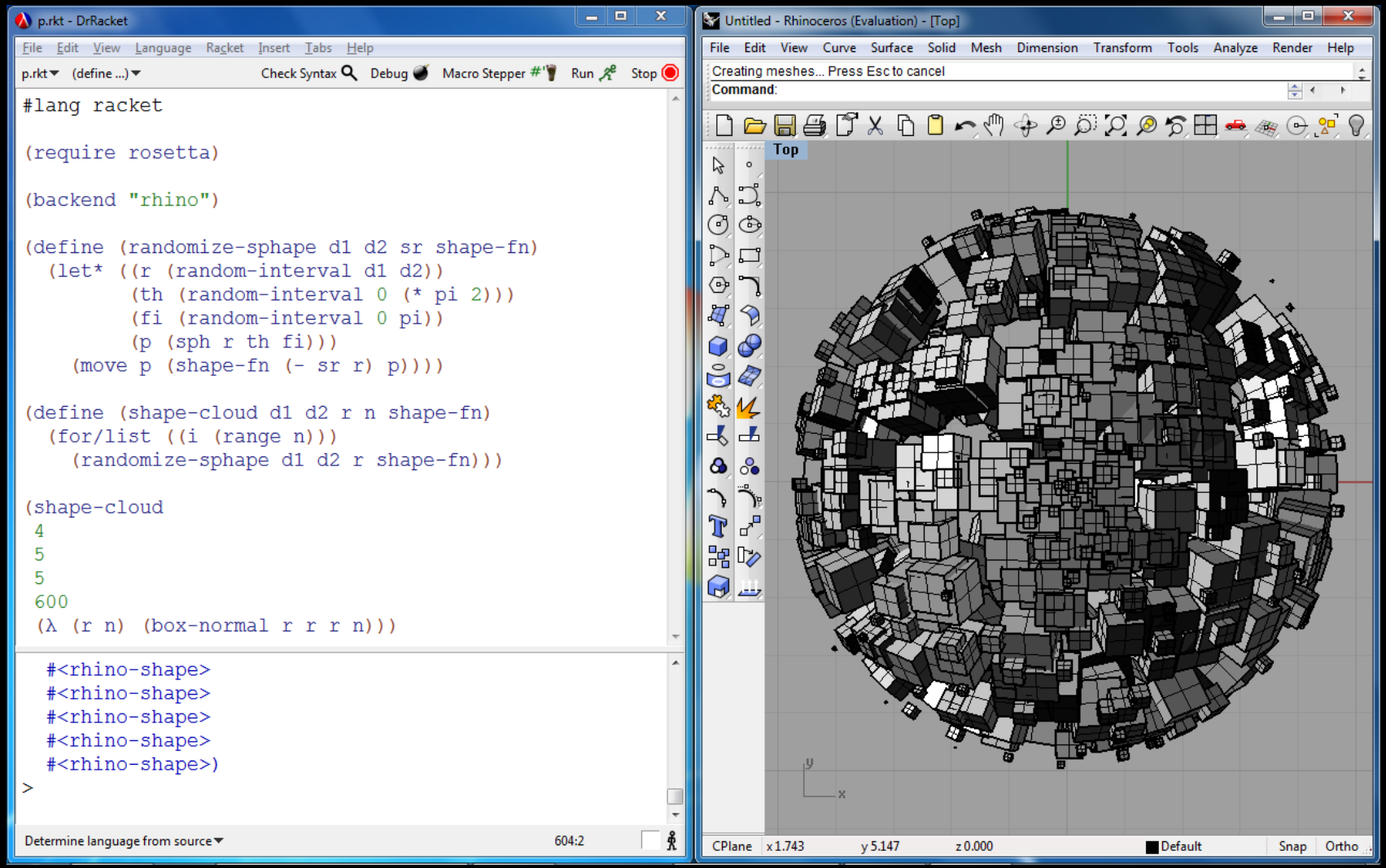
Rosetta



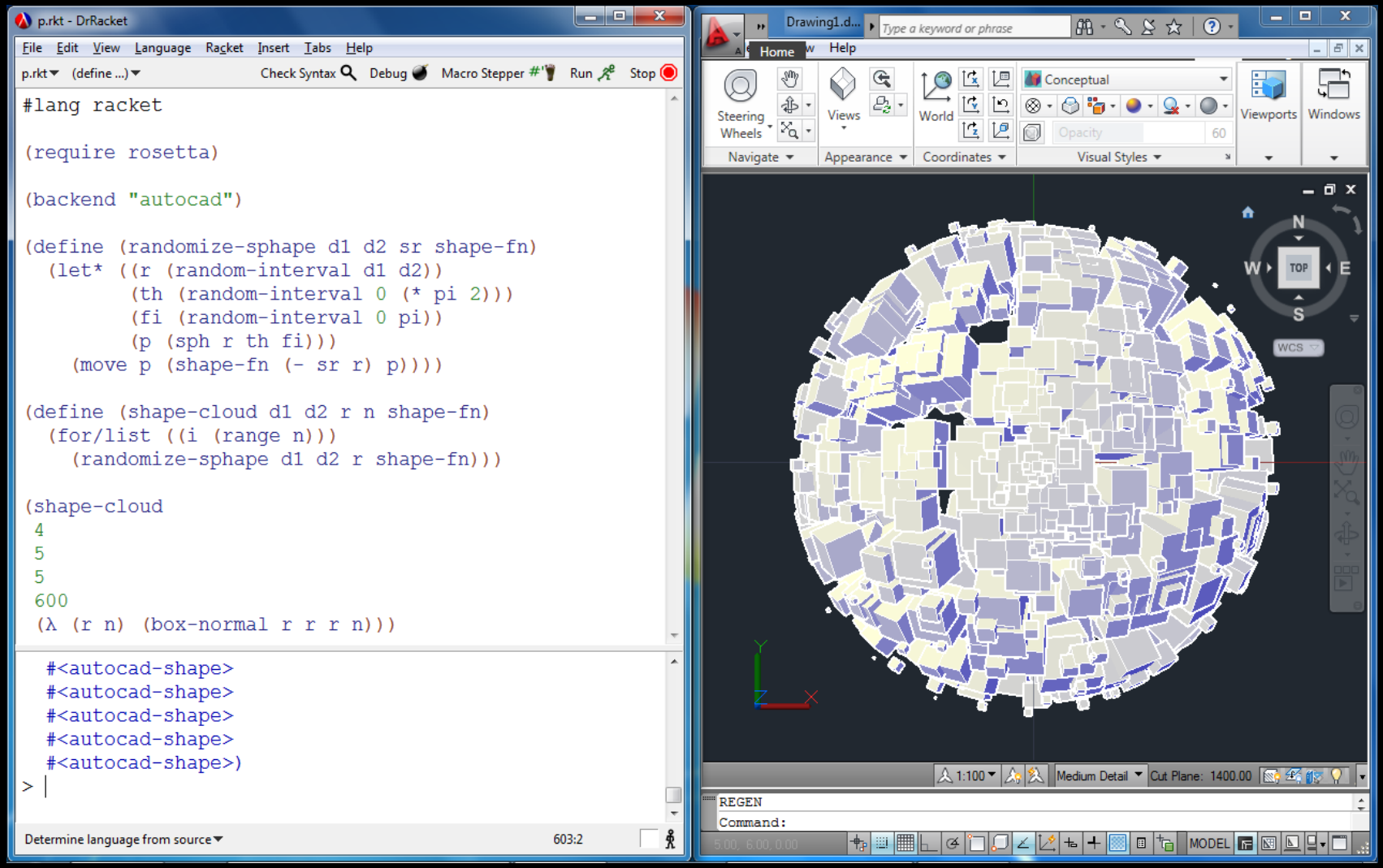
Programming Environment

- Editor
- Debugger
- Listener

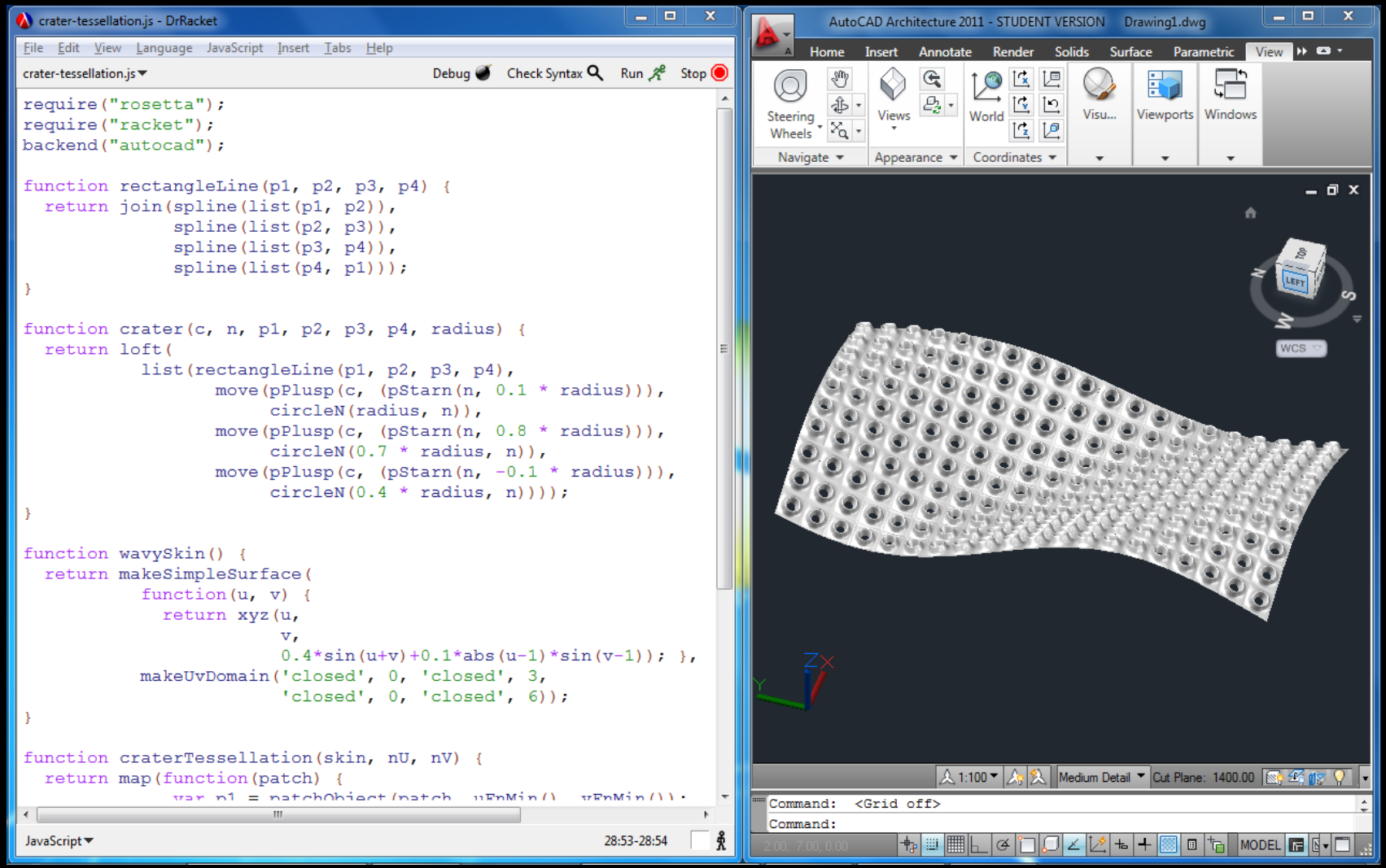
Rosetta - Multiple Back-Ends



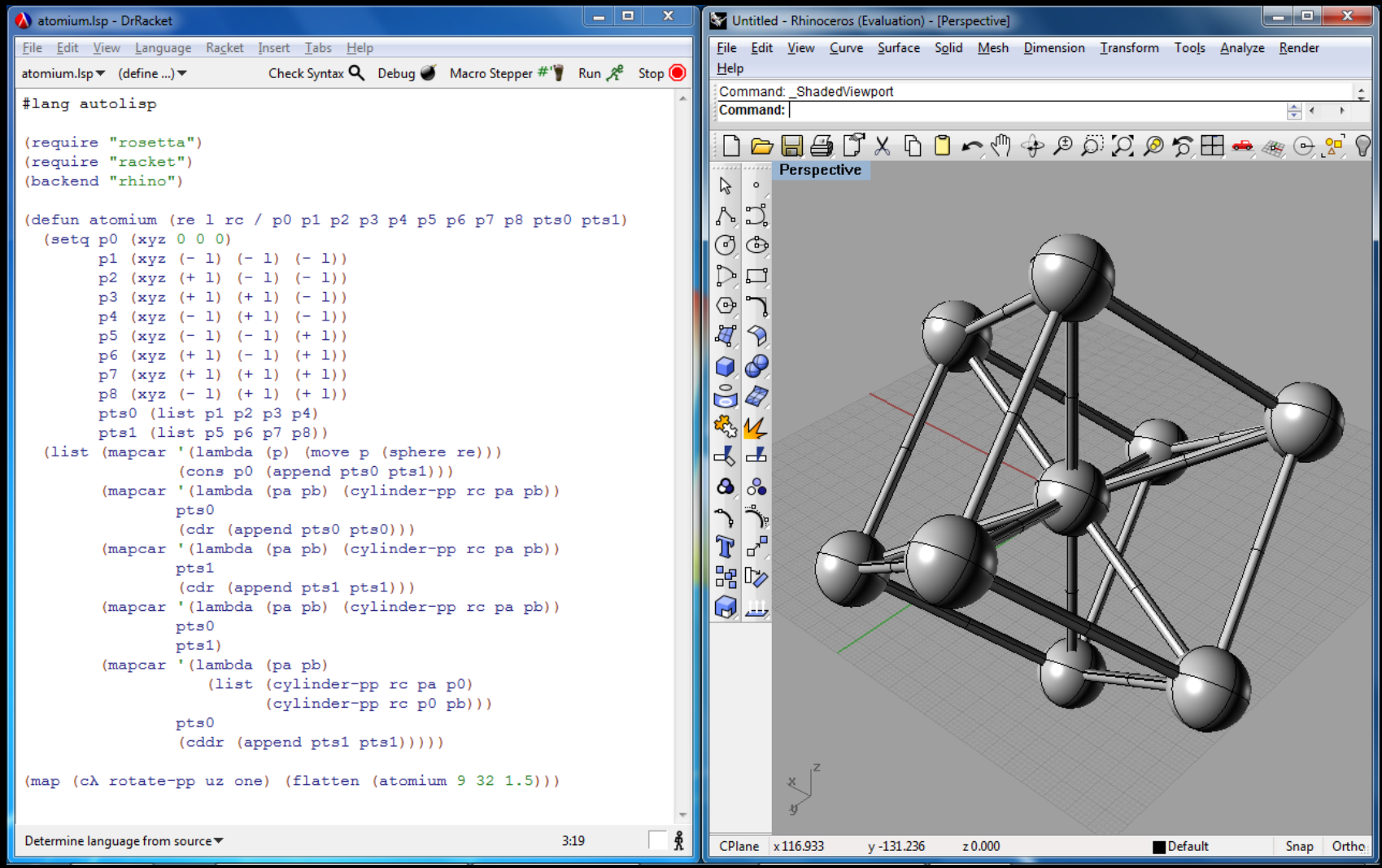
Rosetta - Multiple Back-Ends



Rosetta - Multiple Front-Ends



Rosetta - Multiple Front-Ends



Rosetta - Portability

arabic.js - DrRacket

File Edit View Language JavaScript Insert Tabs Help

arabic.js ▾ Debug Check Syntax Run Stop

```
require('rosetta');
require('"lsystem.rkt"');
backend('autocad');

var myRules = rules(rule("F","F+FFF+F"));

function interpretLSystem(str, p, rho, phi, dphi, r) {
  for (var i = 0; i < str.length(); i++) {
    switch (str.charAt(i)) {
    case '+':
      phi+=dphi;
      break;
    case '-':
      phi-=dphi;
      break;
    case 'F':
      var p0 = p,
          p1 = Pluspol(p, rho, phi);
      p=p1;
      evaluate(move(p, sphere(r)))
      evaluate(cylinderPp(r, p0, p1));
      break;
    }
  }
}

interpretLSystem(new String(
                   repeatApplyRules(myRules,"F",4)),
                 zero, 1, 0, Math.PI/3, 0.2);
```

JavaScript ▾ 29:45

lsystem.rkt - DrRacket

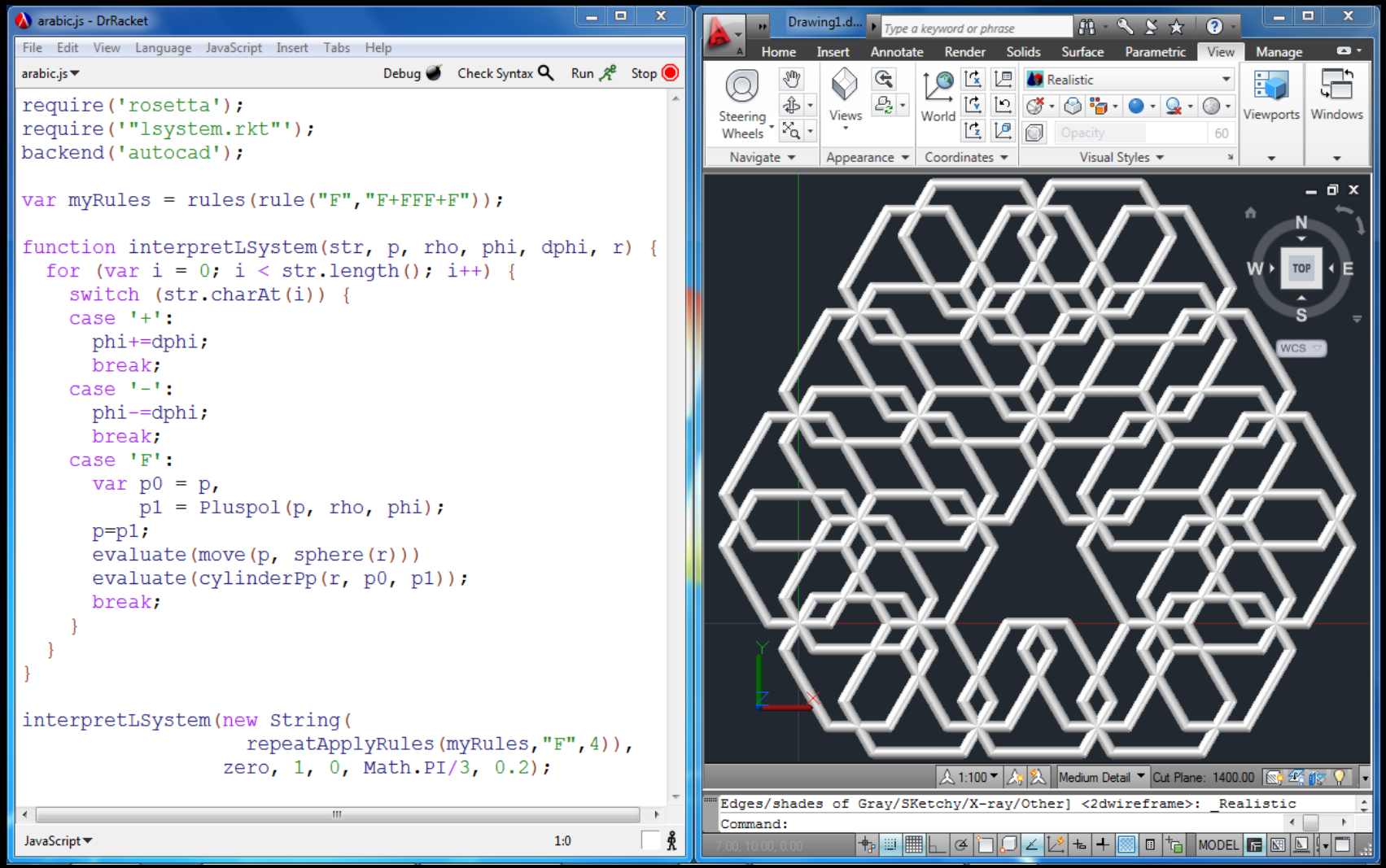
File Edit View Language Racket Insert Tabs Help

lsystem.rkt ▾ (define ...) ▾ Check Syntax Debug Macro Stepper Run Stop

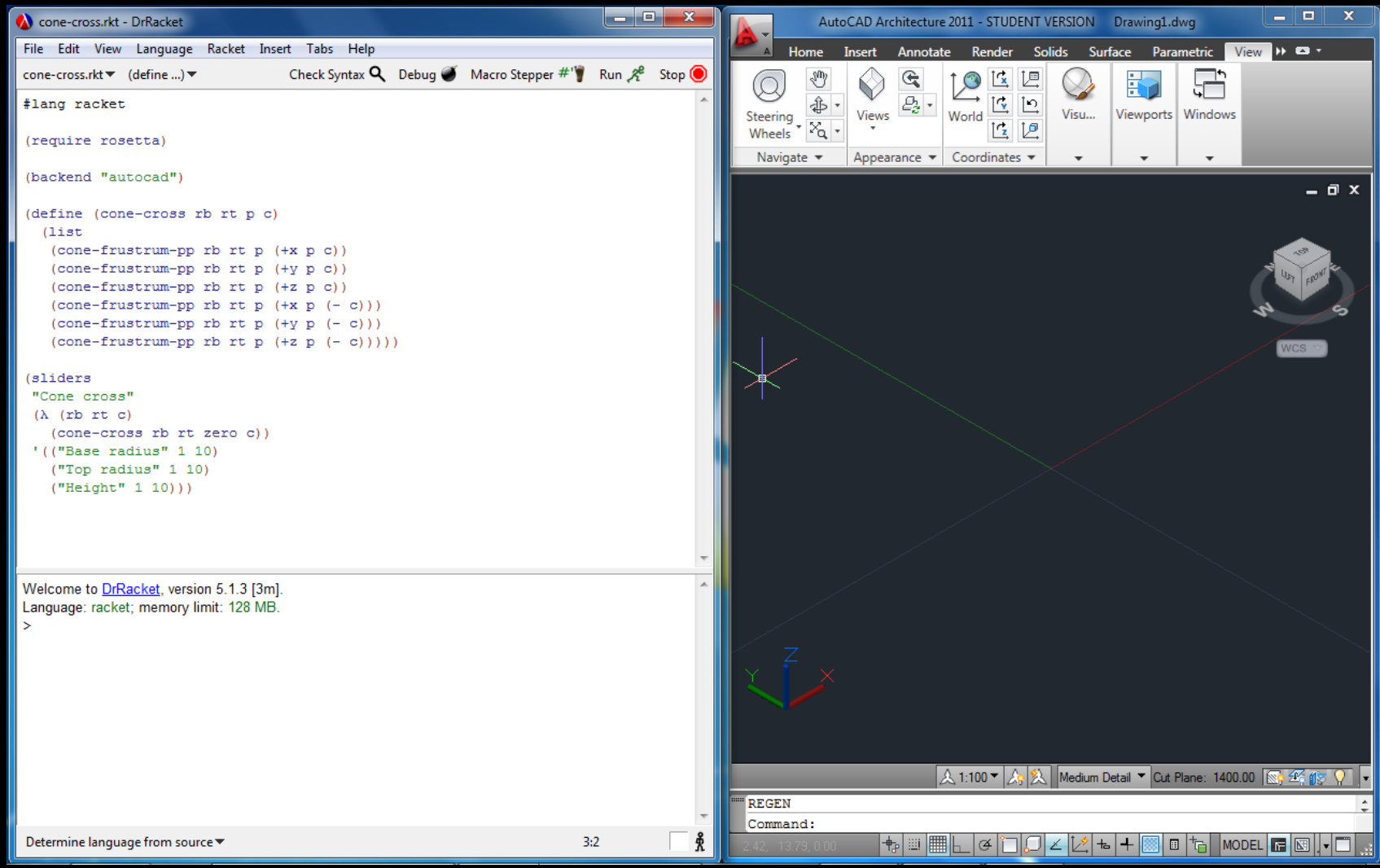
```
#lang racket


(provide rules rule repeat-apply-rules)


(define rules list)
(define rule cons)

(define (apply-rules rules str)
  (string-append*
   (map (lambda (c)
          (cdr (or (assoc (string c) rules)
                   (cons c (string c)))))
        (string->list str))))

(define (repeat-apply-rules rules str n)
  (if (= n 0)
      str
      (repeat-apply-rules
       rules
       (apply-rules rules str) (- n 1))))
```

Determine language from source ▾ 22:41

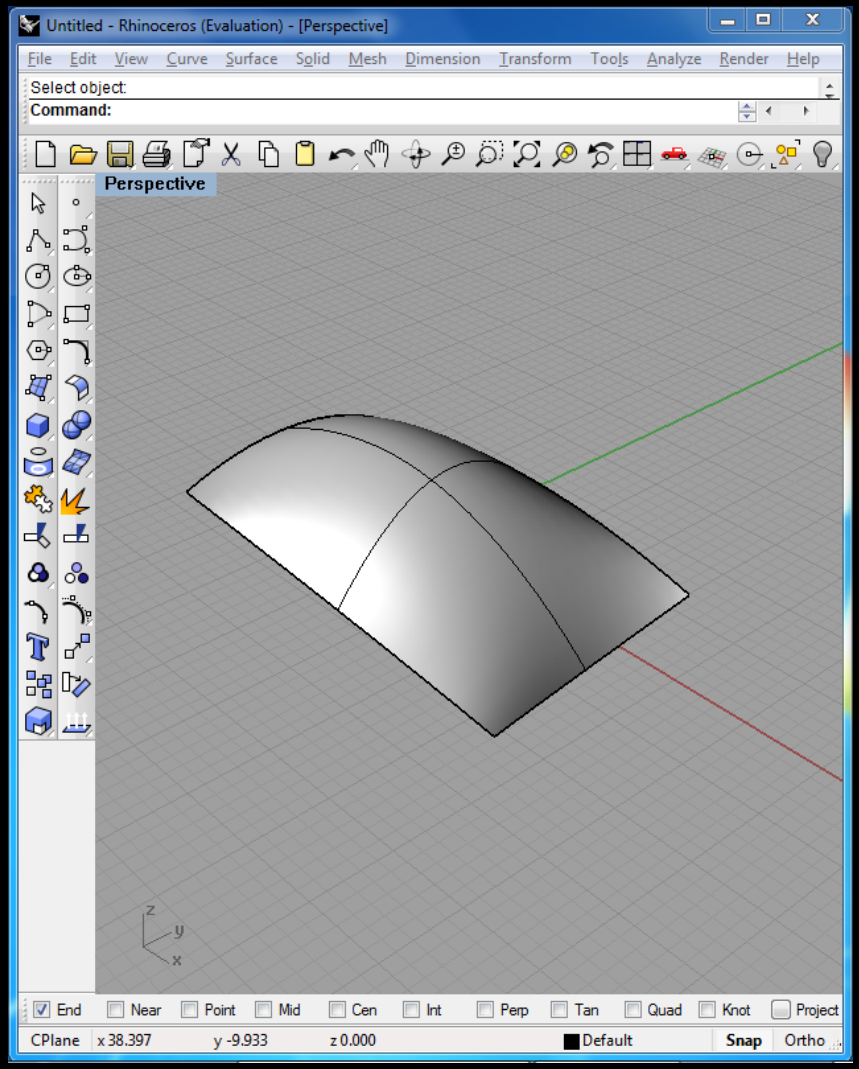
Rosetta - Portability



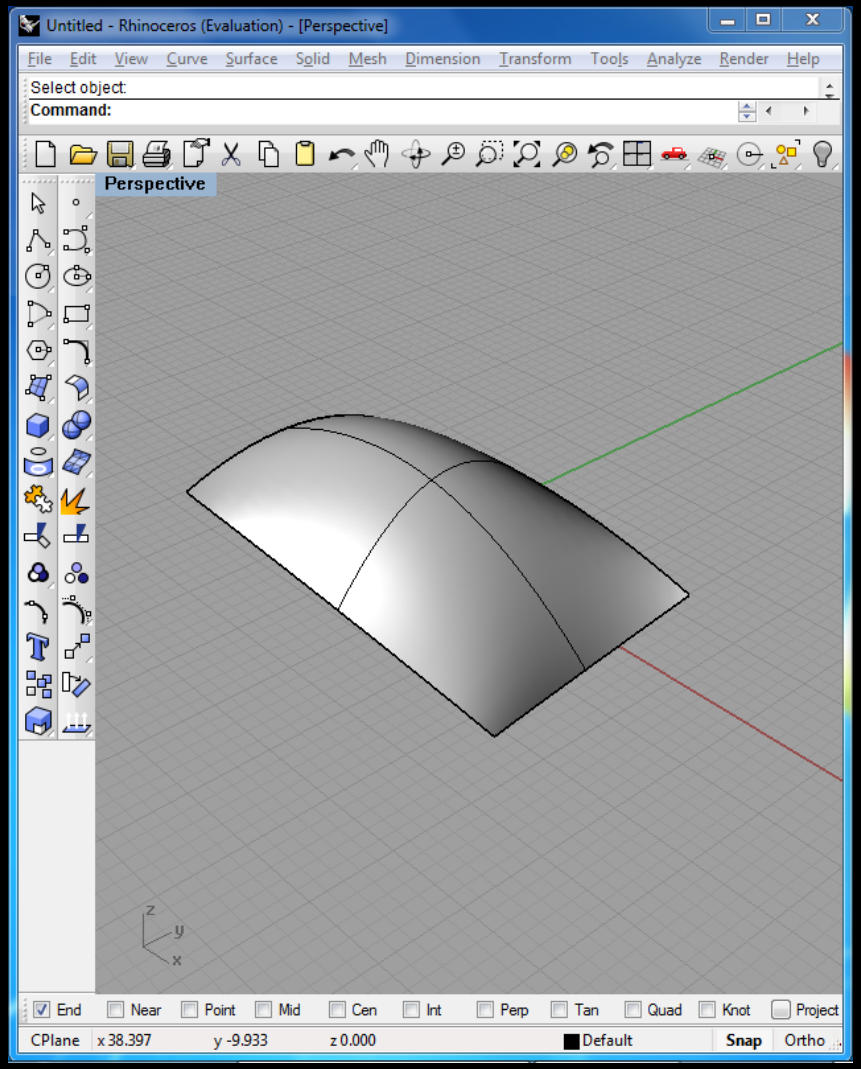
Rosetta - Interactiveness



Rosetta - Cross-CAD Applications

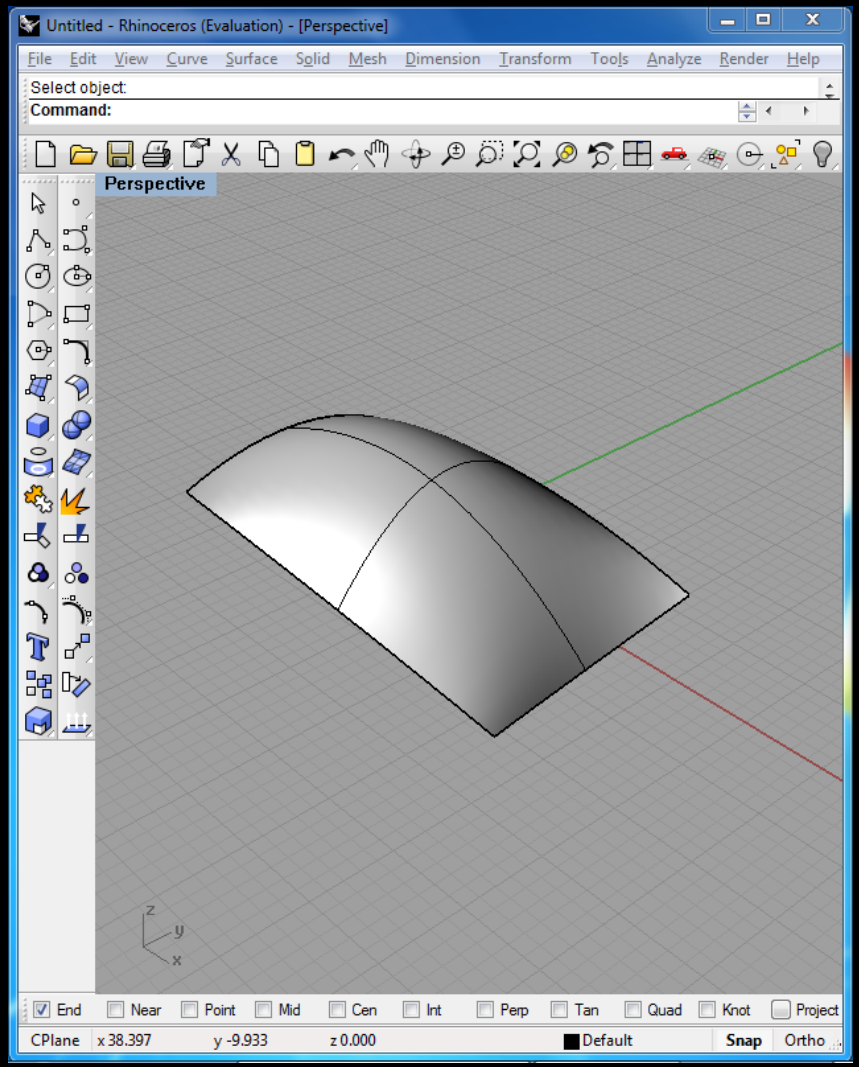


Rosetta - Cross-CAD Applications



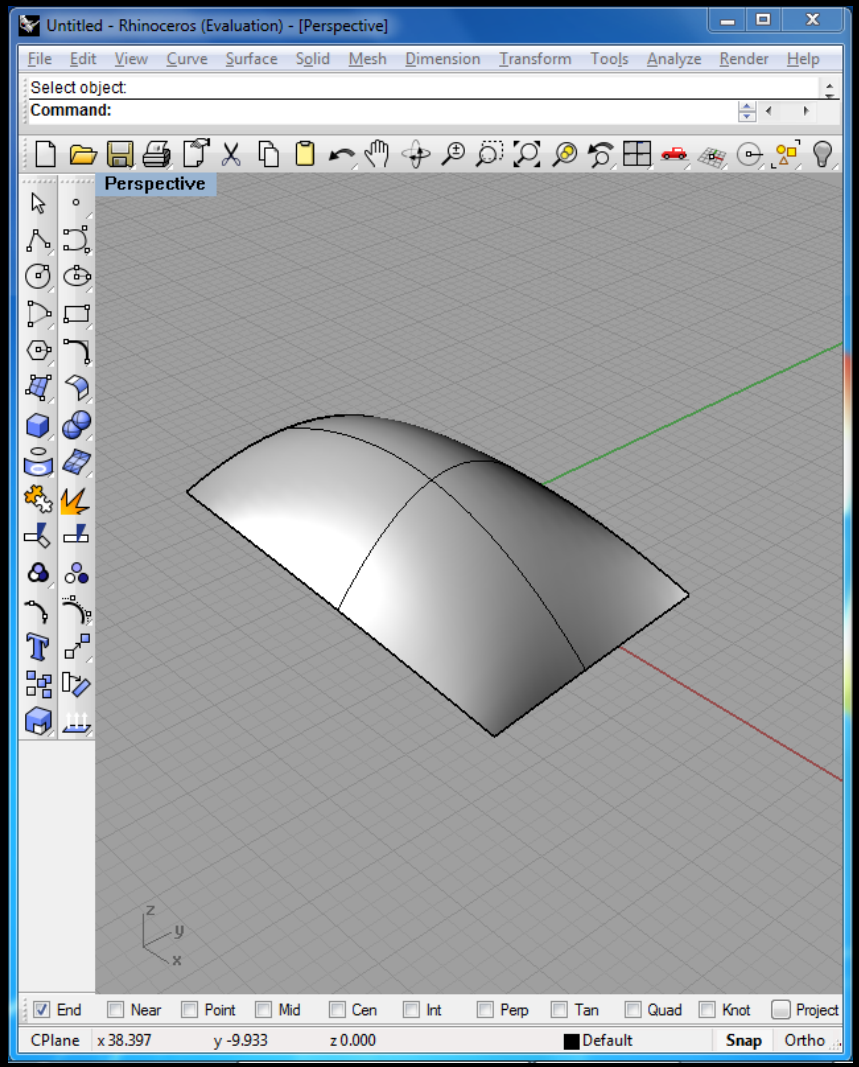

```
(backend "rhino")
```

Rosetta - Cross-CAD Applications



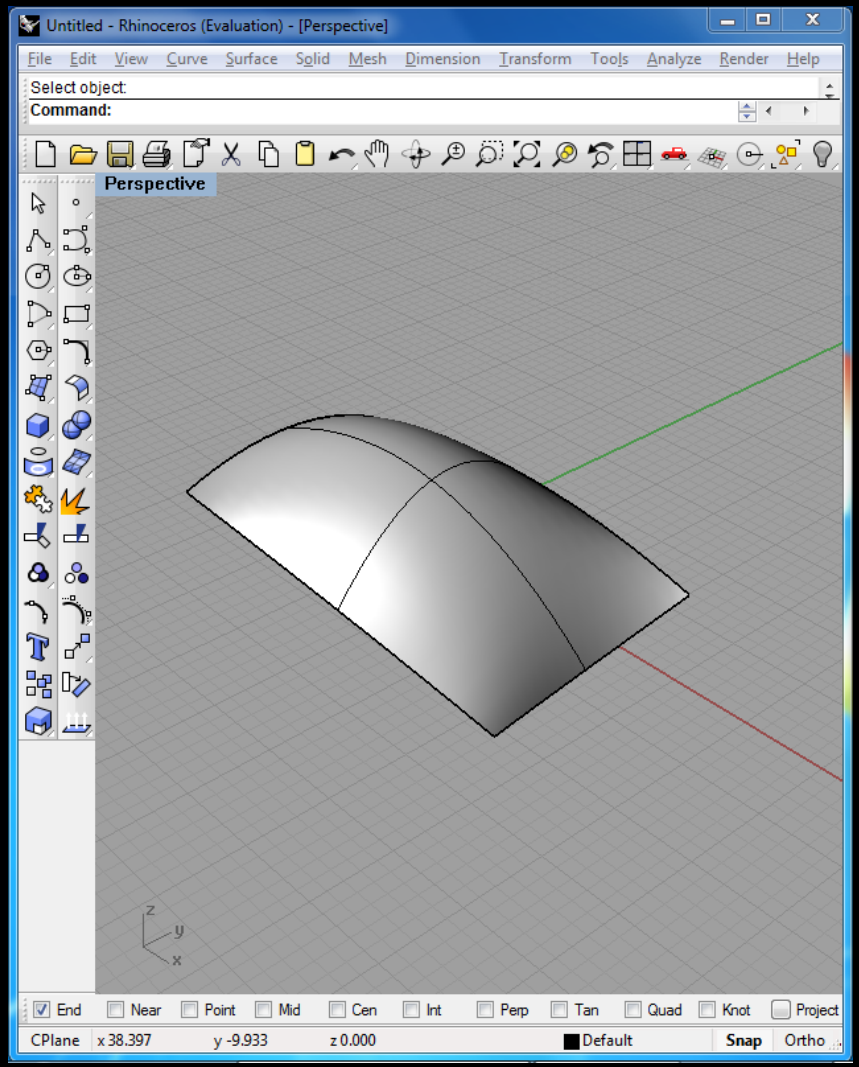

```
(backend "rhino")

(define surf
  (get-object "Select surface"))
```

Rosetta - Cross-CAD Applications



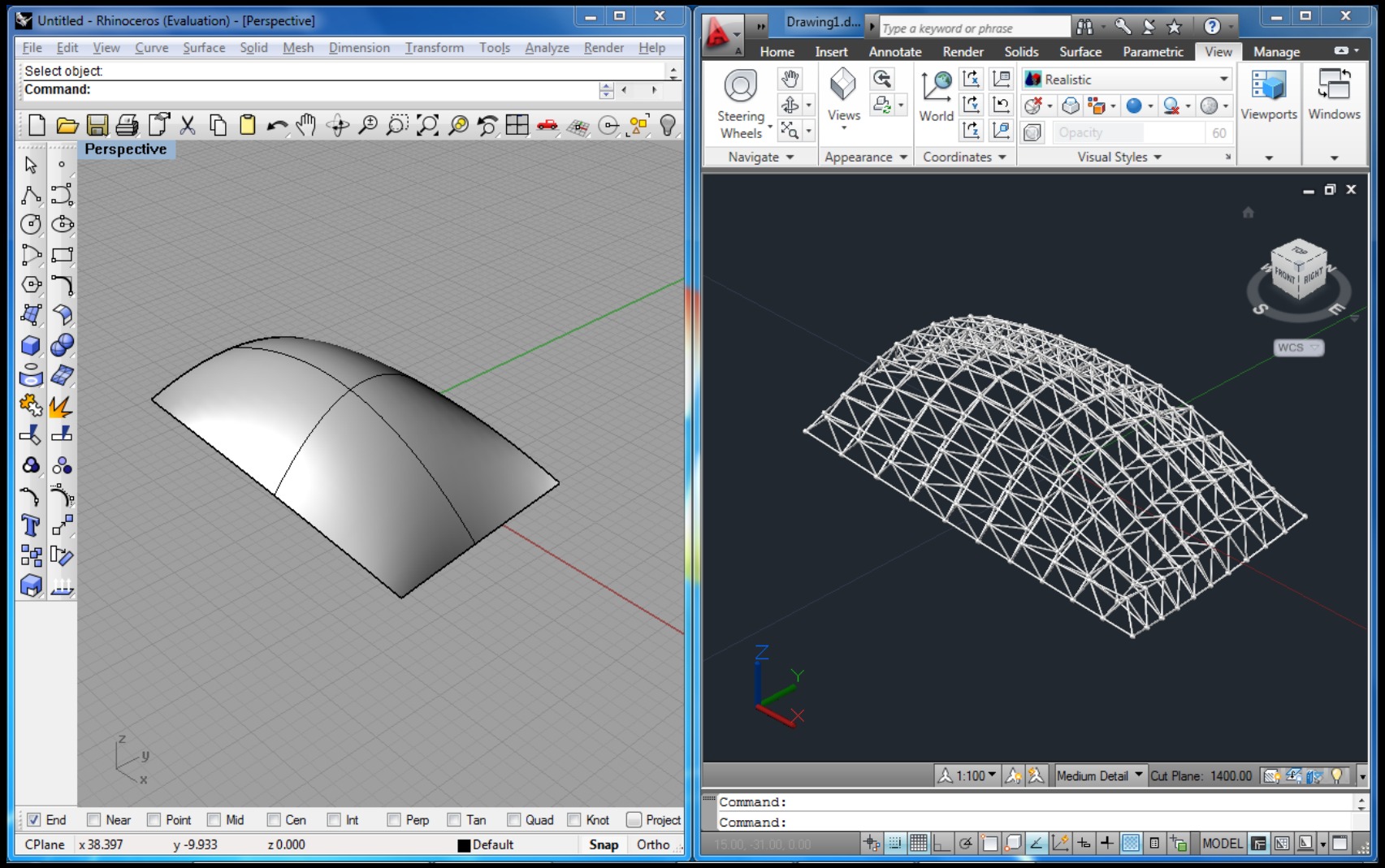

```
(backend "rhino")

(define surf
  (get-object "Select surface"))

(backend "autocad")
```

Rosetta - Cross-CAD Applications

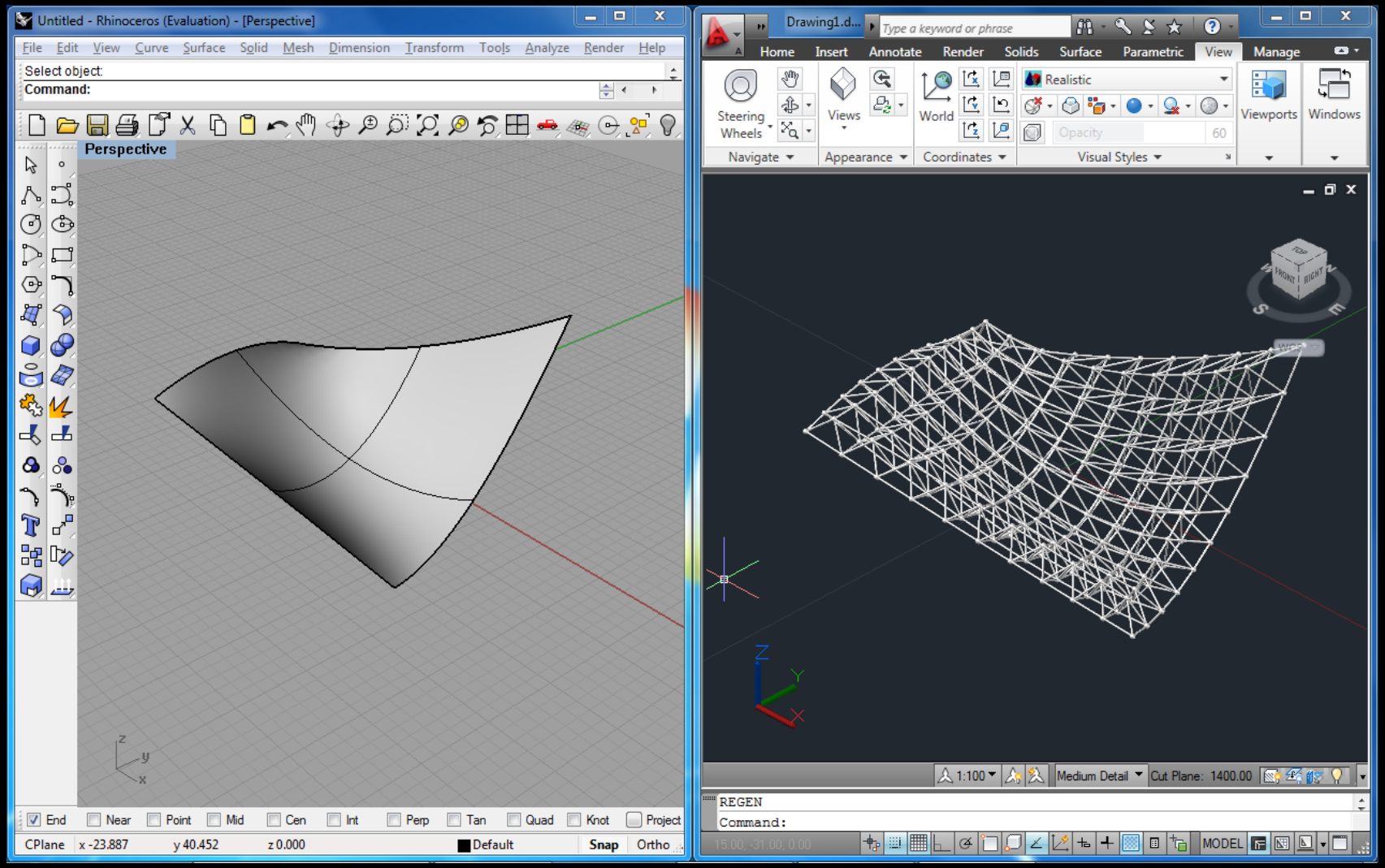



```
(backend "rhino")

(define surf
  (get-object "Select surface"))

(backend "autocad")

(truss-from-surface surf)
```

Rosetta - Cross-CAD Applications



Rosetta - Cross-CAD Applications



Conclusion

The architect must be a prophet… a prophet in the true sense of the term… if he can't see at least ten years ahead don't call him an architect

Frank Lloyd Wright

Conclusion

> *The architect must be a prophet… a prophet in the true sense of the term… if he can't see at least ten years ahead don't call him an architect*
>
> *Frank Lloyd Wright*

Programming will be a fundamental tool for Architecture

Conclusion

The architect must be a prophet… a prophet in the true sense of the term… if he can't see at least ten years ahead don't call him an architect

Frank Lloyd Wright

Programming will be a fundamental tool for Architecture

Thank You

Conclusion

The architect must be a prophet… a prophet in the true sense of the term… if he can't see at least ten years ahead don't call him an architect

Frank Lloyd Wright

Programming will be a fundamental tool for Architecture

Thank You

Questions?