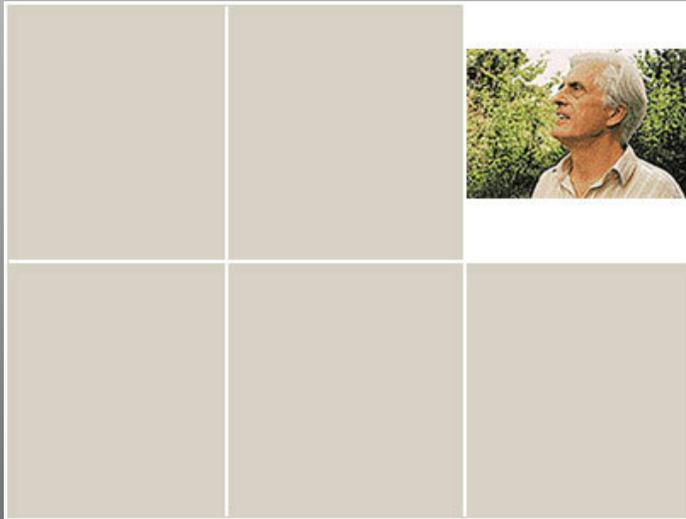


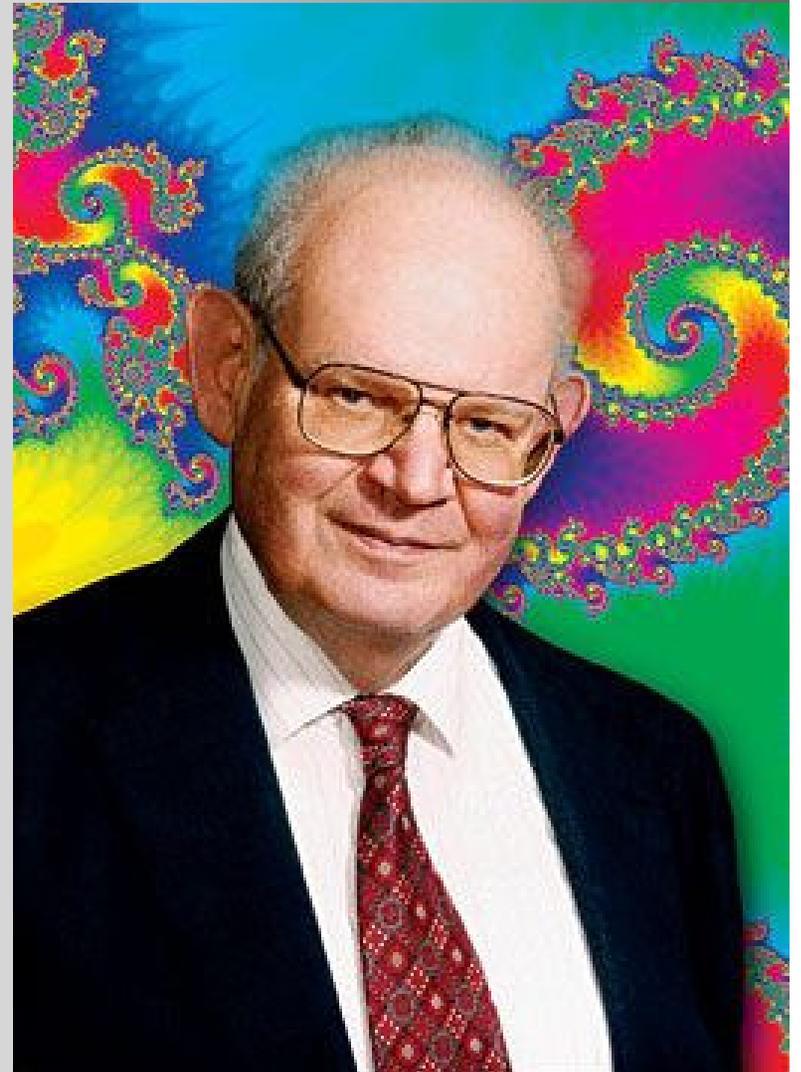
La Natura non spreca energie

Architettura e bolle di sapone
Otto Frei e Chris Bosse



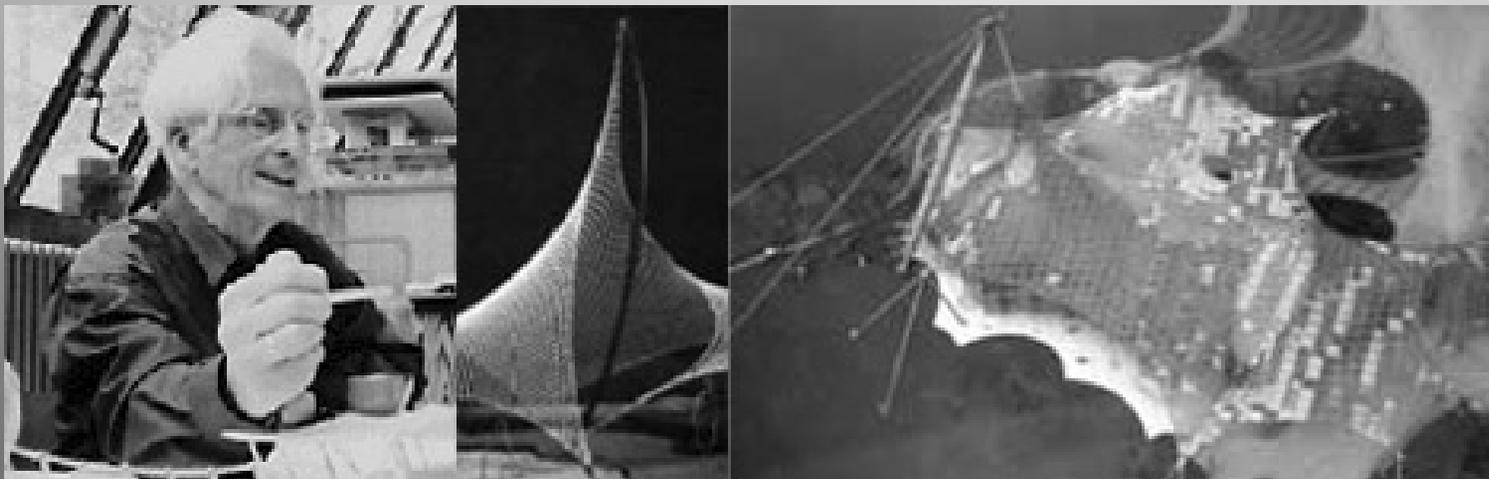
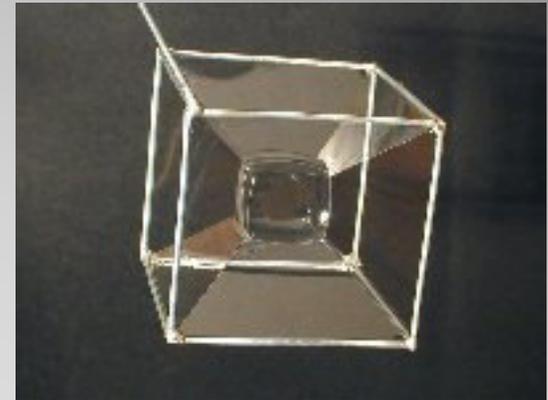
Benoit Mandelbrot, (1924 - 16 ottobre 2010)

Padre della “**geometrie frattale**”



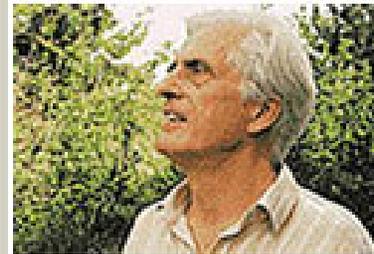
Otto Frei (Sassonia, 1925)

- Molte delle forme che la natura crea spontaneamente sono forme ottimali.
- Costruisce cupole, volte, gusci, membrane, tende,...



Otto Frei

Importante il suo incontro con Gerhard Helmcke, biologo e antropologo dell'Università di Berlino



Gerhard Helmcke: La Natura si serve di “costruzioni leggere”.

Otto Frei ricerca un'architettura più vicina all'uomo: leggera, allegra, adattabile all'ambiente, non eterna, bisognosa di rinnovamento.

Le “costruzioni leggere” di Otto Frei (Germania, 1925)

- Frei applica le conoscenze delle strutture naturali alle strutture tecniche
- Nei suoi lavori c'è molta ricerca e un'alta tecnologia, che però non si mostra, al contrario si nasconde.
- Nel 1964 fu creato per lui a Stoccarda l'*Istituto per Strutture portanti leggere*

**Opera più famosa:
Stadio Olimpico di Monaco di Baviera (1972)**



Monaco, coperture impianti sportivi 1972



Stadio Olimpico 1972



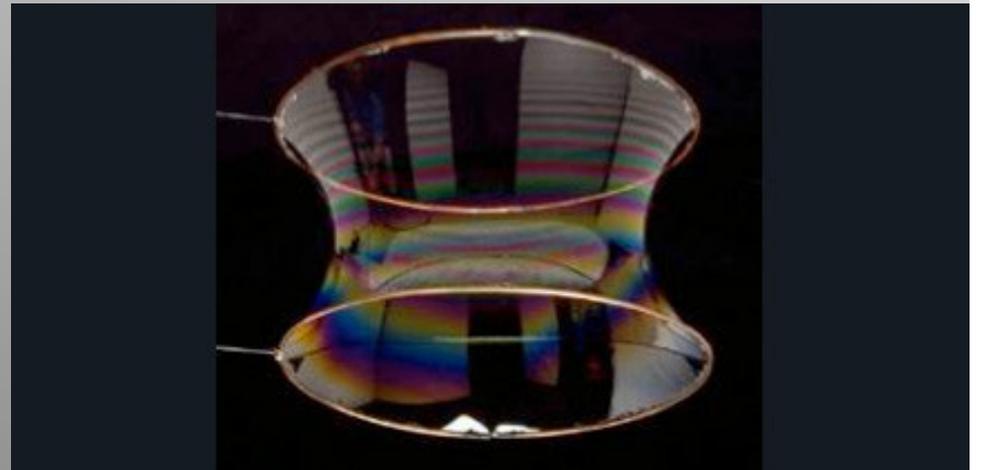
Fasi della costruzione



Frei utilizza il principio delle
“superfici minime”
per motivi
estetici,
economici e
di stabilità

Agli architetti piace poco fare calcoli

- Otto Frei prende a modello le forme delle **membrane saponose** per trovare le forme ottimali delle sue costruzioni



Otto Frei
inventa gli esperimenti con i fili



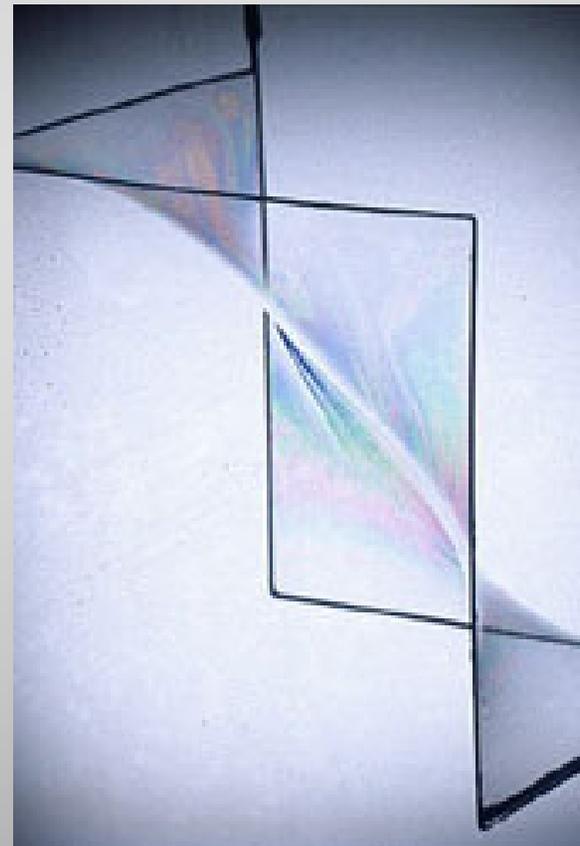
Le **superfici minime**
sono, fra tutte quelle aventi per contorno
una data curva, quelle che hanno
area minima
e sono
particolarmente **stabili**

Le lamine di sapone sono
“superfici minime” naturali

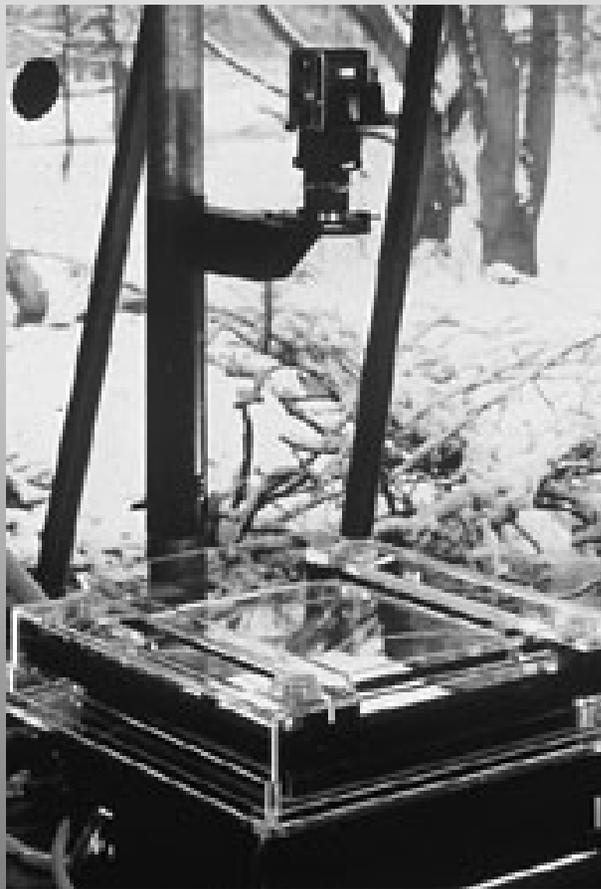




Otto Frei al lavoro negli anni '60



Macchina per lamine di sapone



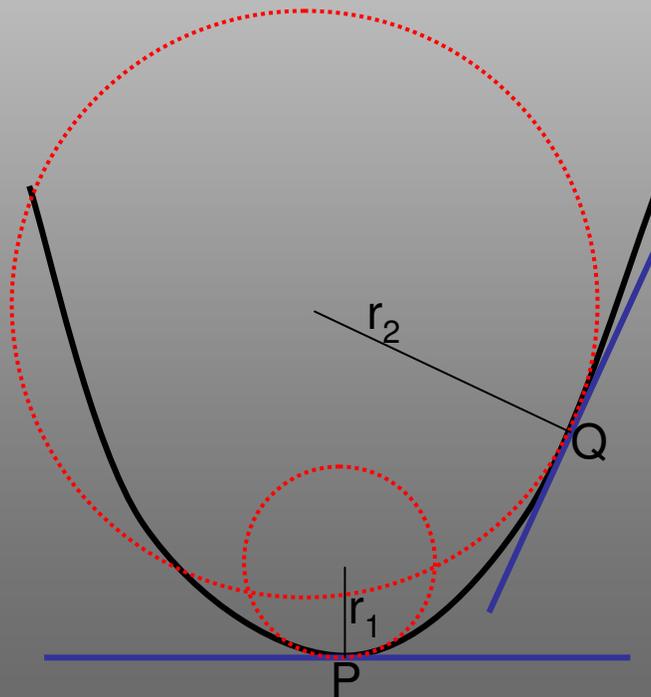
Z	REKORNIERTES SYSTEM			MINIMALMEßUNG	
	Ø Meß- länge	System länge	Ø Meß- länge		System länge
100%		60%	113%		50%
100%		40%	114%		55%
100%		65%	107%		30%
100%		34%	107%		30%
100%		49%	109%		22%
100%		47%	105%		22%

Perché le superfici minime sono più stabili?

Perché in ogni loro punto
la **curvatura media**
è uguale a **zero**

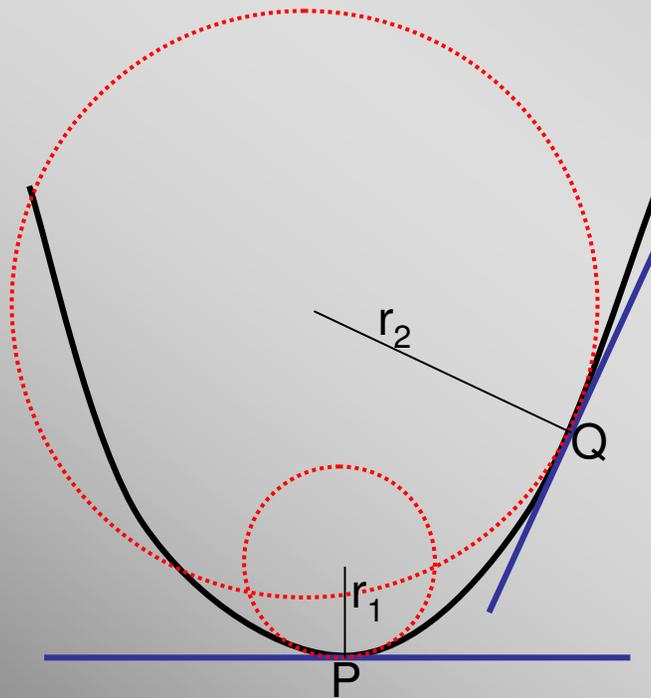
Cos'è la curvatura?

- Una linea è tanto più curva quanto più rapidamente si allontana dalla direzione rettilinea, cioè dalla retta tangente.

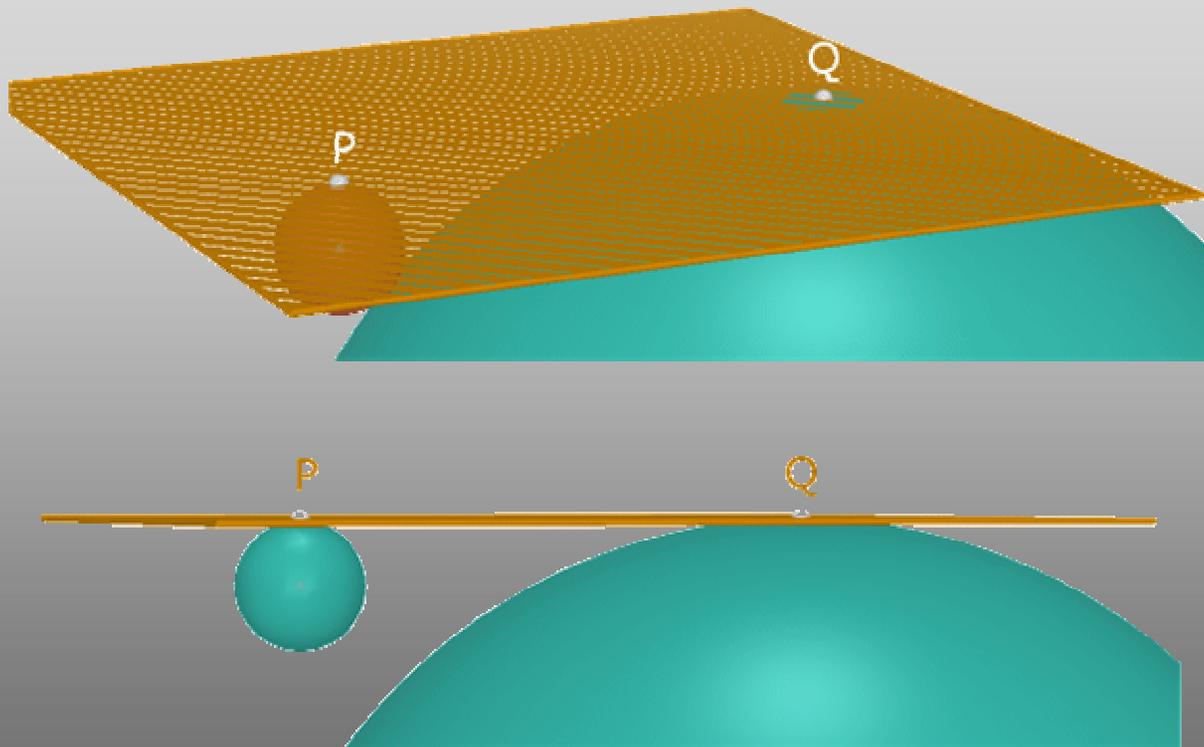


La curvatura di una linea è il reciproco del raggio del cerchio che “bacia” la curva, il **cerchio osculatore**

$$C_P = 1/r_1$$
$$C_Q = 1/r_2$$



Come si calcola la curvatura di una superficie?



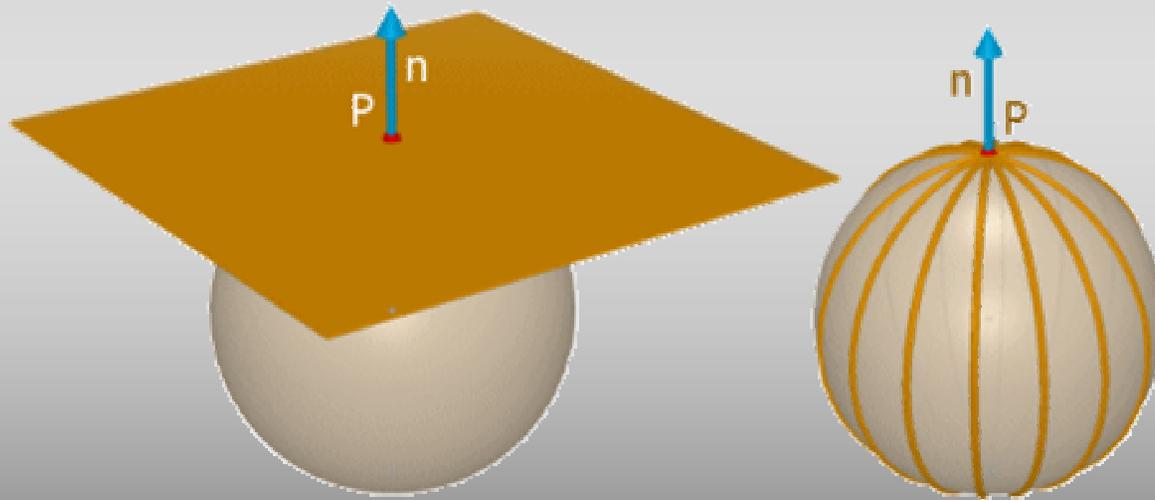
Le **sezioni normali** sono tutte le curve che si ottengono intersecando la superficie con i piani passanti per la normale o **perpendicolare** alla superficie

Le sezioni normali sono curve piane

ogni curva ha una sua curvatura,

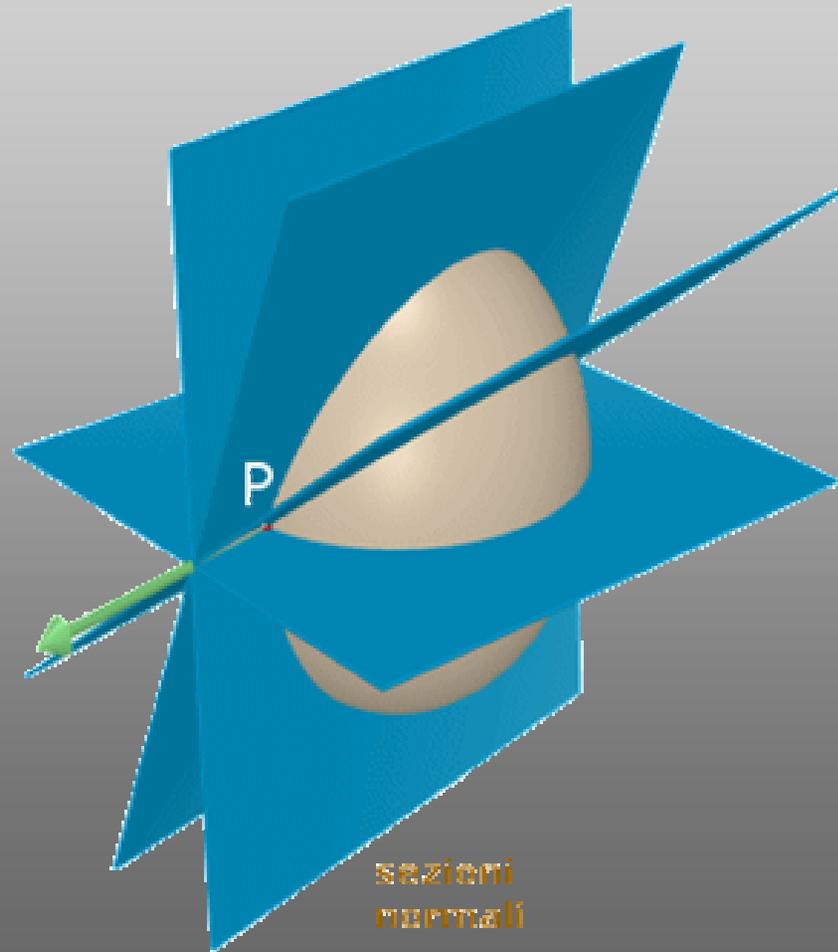
negativa se **sotto** la freccia,

positiva se **sopra** la freccia

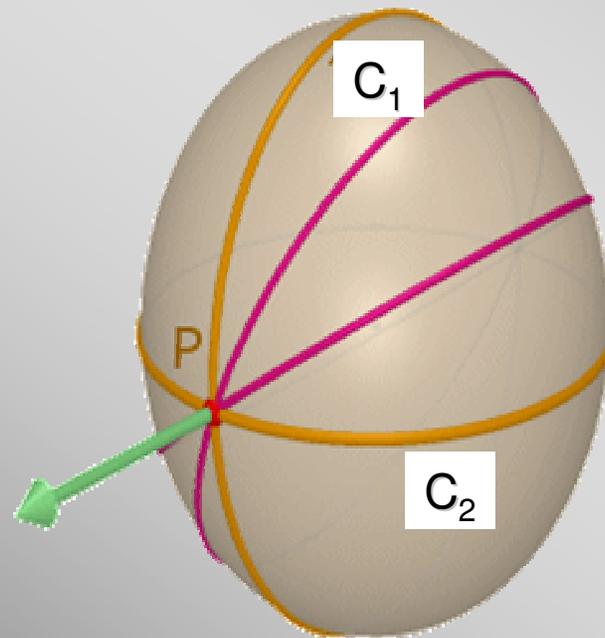


Le sezioni normali di una superficie sferica sono circonferenze tutte uguali

Sezioni normali di una superficie “a uovo”

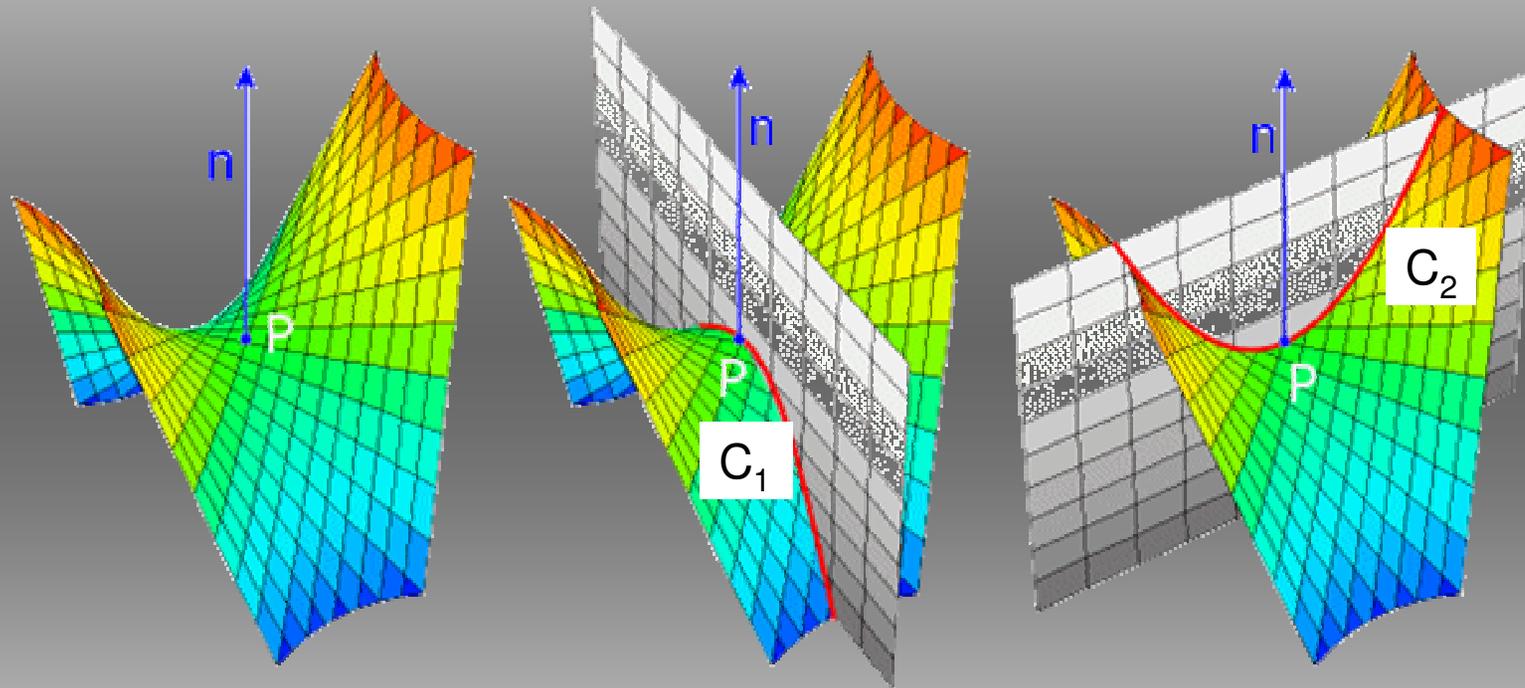


Curvatura in P:
è il prodotto della curvatura massima (c_1)
per la minima (c_2)



$$C = C_1 \times C_2$$

Curvatura di una superficie a sella



La **curvatura** di una superficie a sella è negativa. Infatti le due curve C_1 e C_2 hanno la stessa curvatura ma segno opposto. C_1 è sotto la freccia (-), C_2 è sopra la freccia (+)
(più per meno = meno)

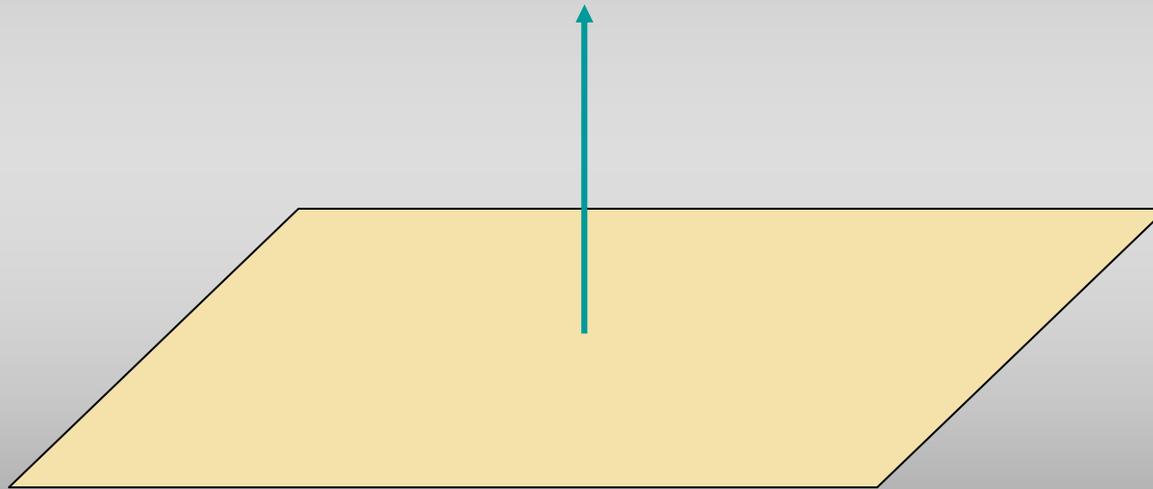
Curvatura **media** di una superficie

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

È la **media aritmetica** tra la massima e la minima curvatura

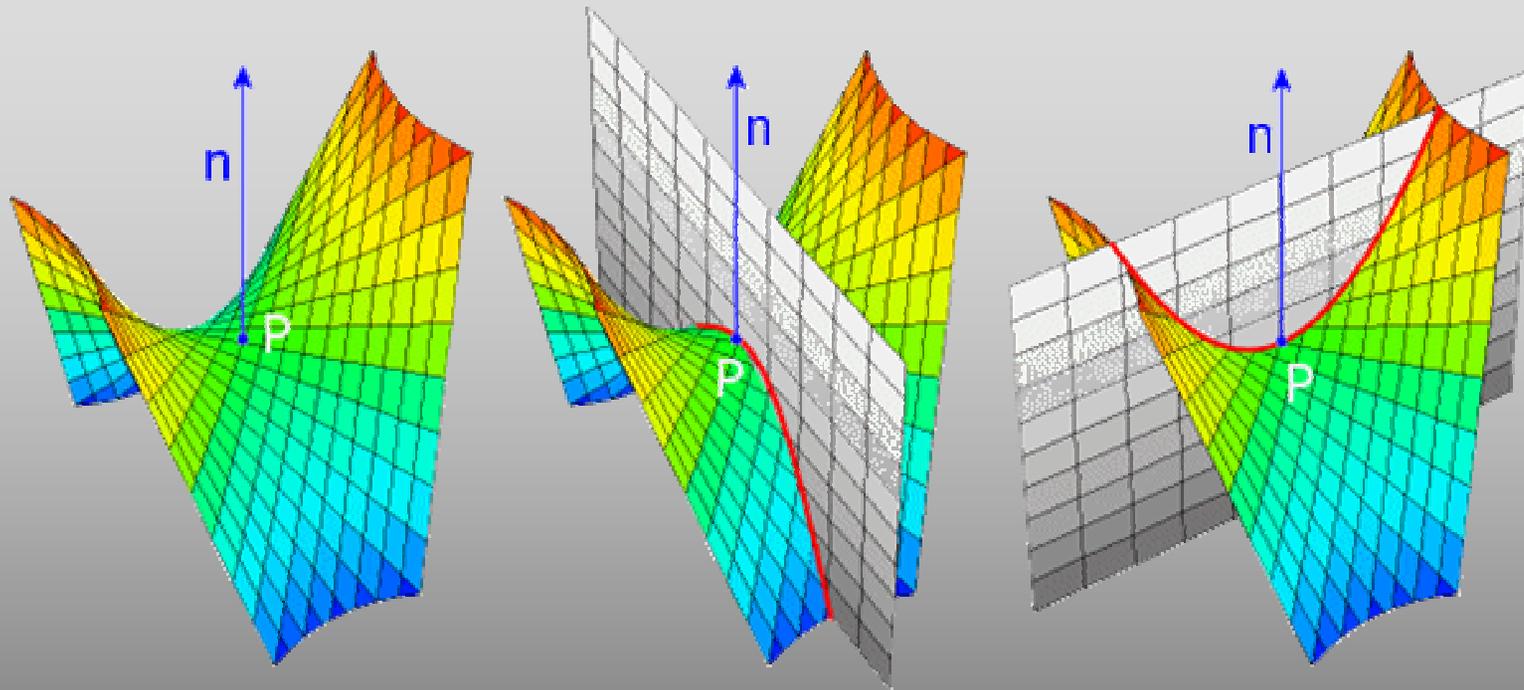
La curvatura di una
superficie piana è uguale a
zero

Il raggio di curvatura è infinito



Anche la curvatura media è uguale a zero

Curvatura media di una superficie a sella



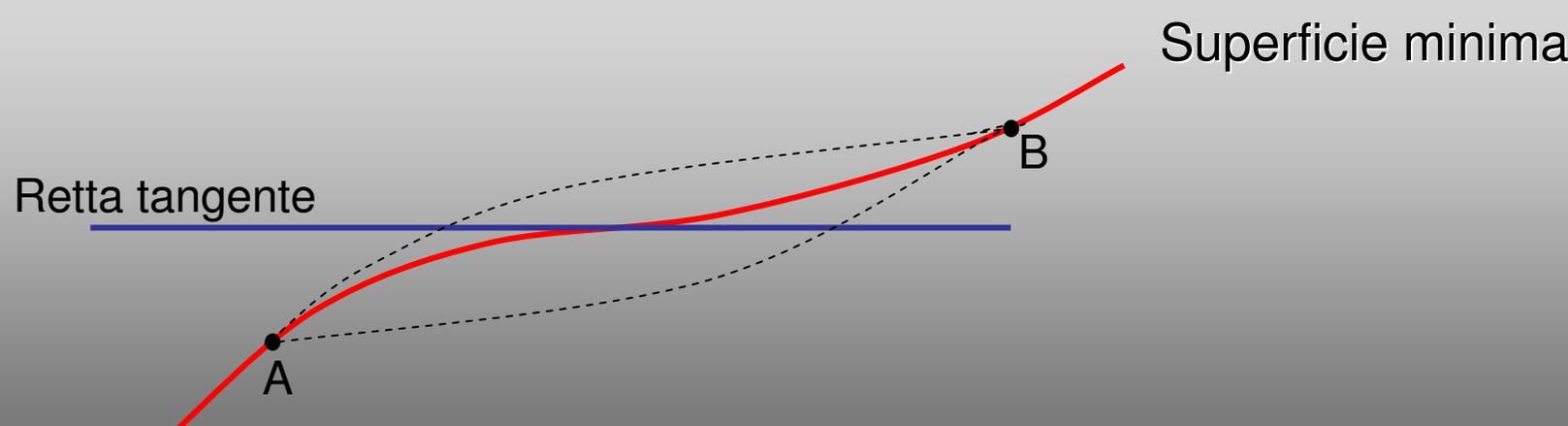
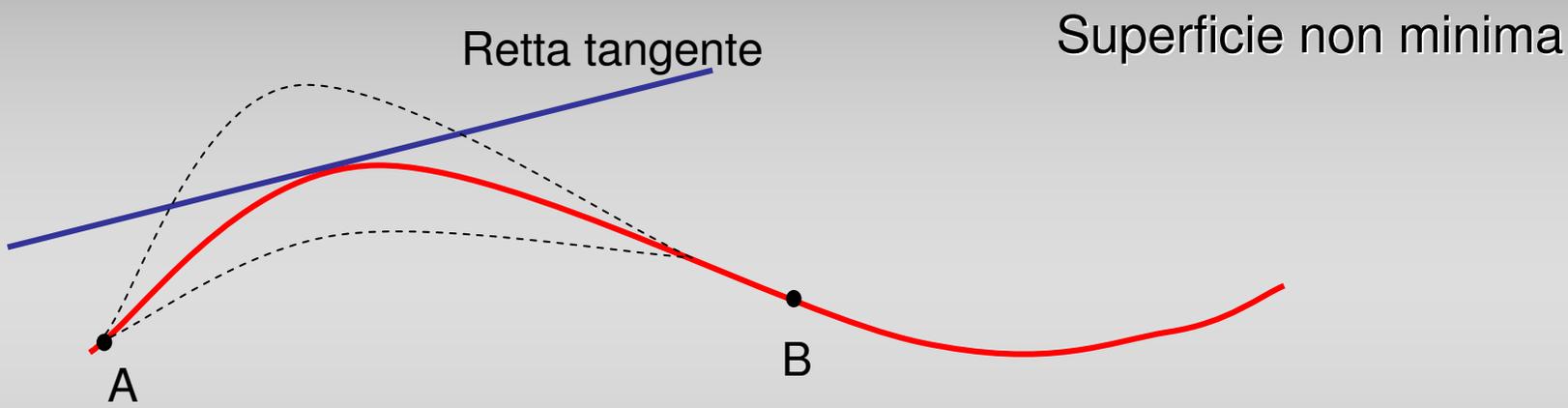
La **curvatura media** è la media aritmetica fra la massima curvatura positiva e la massima curvatura negativa. Se queste sono uguali, la media è zero. $C = (C_1 + C_2) / 2 = 0$

Teorema di Lagrange-Meusnier

In ogni punto di una superficie minima
la **curvatura media** è uguale a **zero**.

Per questo una superficie minima è
particolarmente stabile.

Se la superficie si allontana dalla posizione di equilibrio,
oscilla
poi tende a ritornare nella posizione iniziale



Stadio olimpico, particolare



Stella ondulata dell'esposizione di Kassel



Vista notturna della Stella ondulata dell'Esposizione di Kassel

Naturalista e matematico scozzese

D'Arcy W. Thompson

(1860- 1948)

Crescita e forma, 1917

"Le superfici di Plateau sono un bell'esempio di *materializzazione* di una legge matematica.

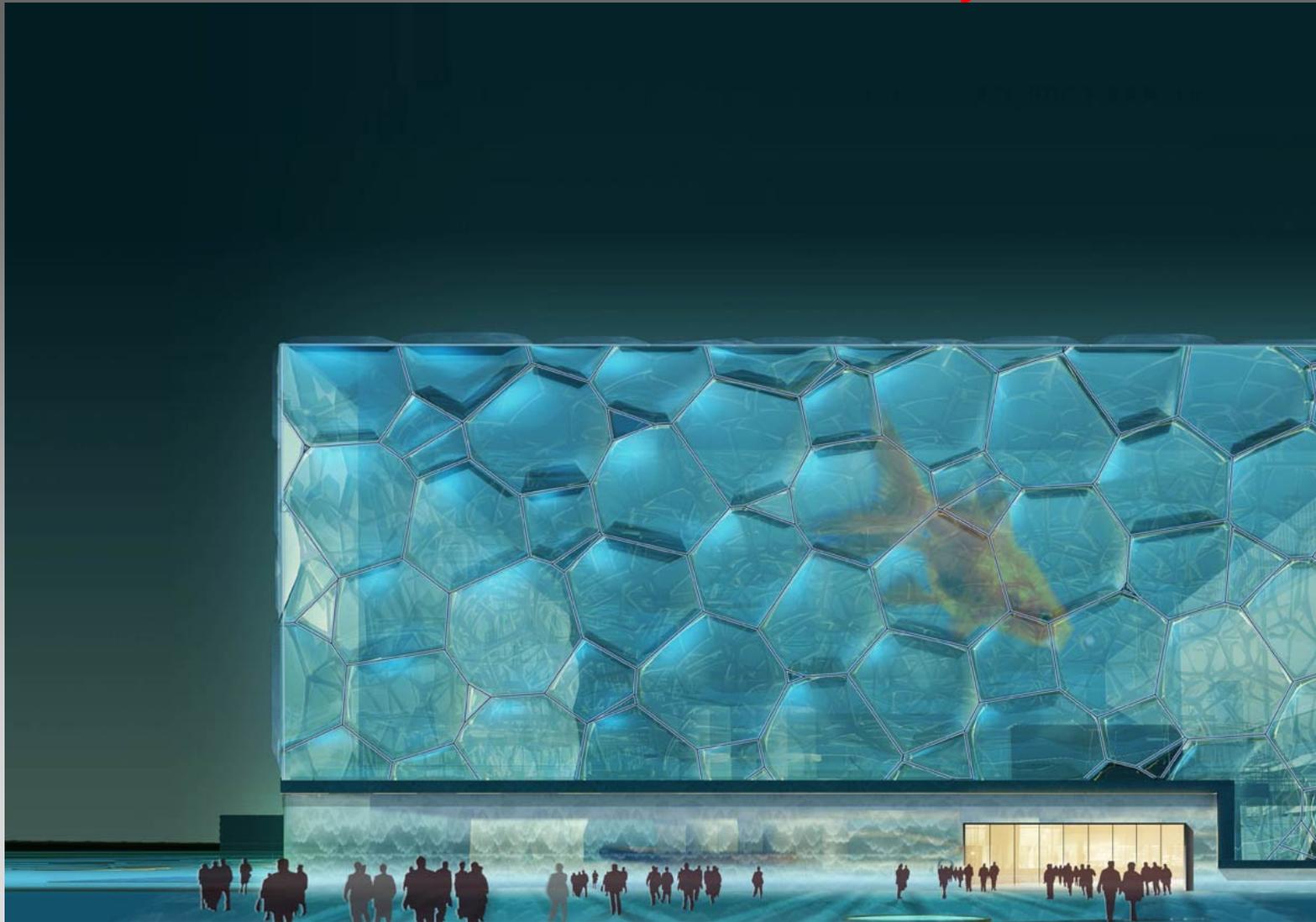
La teoria porta a cercare equazioni che determinano le posizioni dei punti di un sistema, che possiamo riportare graficamente in un piano cartesiano;

ma una goccia d'olio o una pellicola di sapone può materializzare in un istante tutto il risultato dei nostri calcoli, il nostro intero sistema di curve".

Chris Bosse (1971)

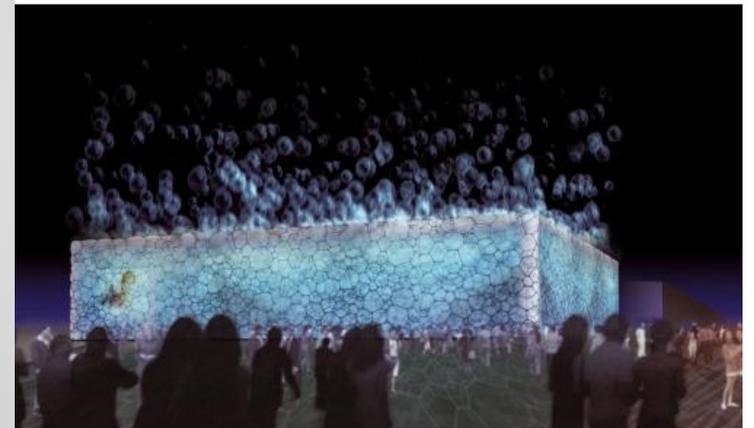


Watercube, National swimming center,
Olimpiadi di Pechino, 2008,
PTW Architects, Sidney



Il Watercube unisce i concetti di **quadrato**, elemento basilare della costruzione urbanistica cinese, e di **acqua**, simbolo della serenità, nel rispetto delle **regole** e, nello stesso tempo, della **creatività**.

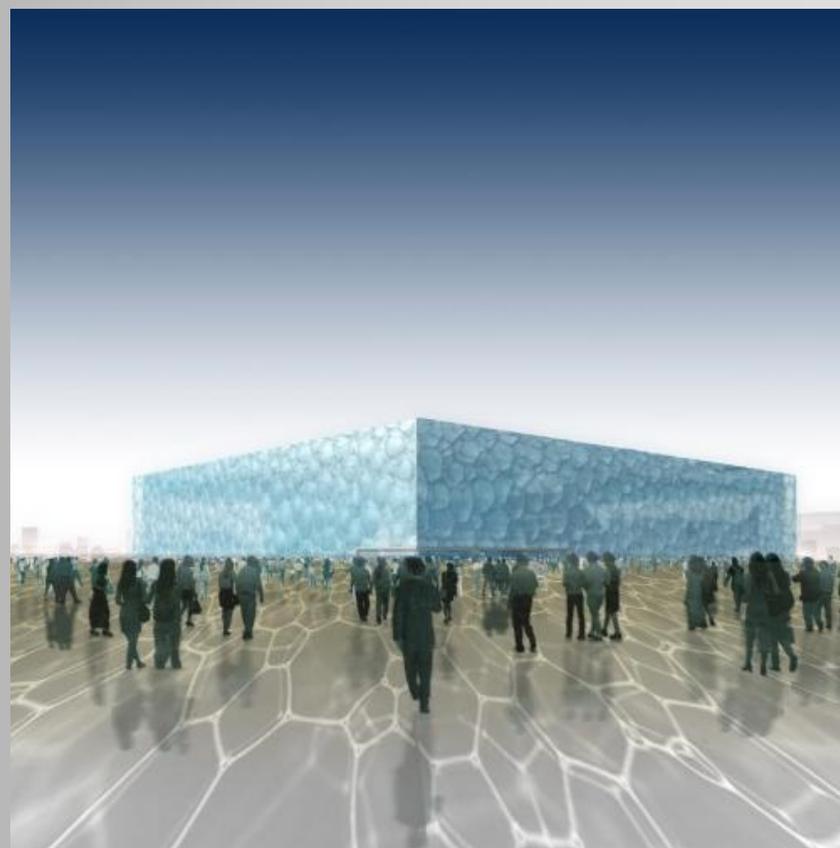
La copertura esterna e interna delle pareti e del tetto è formata da **bolle d'aria**, attaccate a una struttura reticolare di acciaio, che danno l'impressione all'atleta o al visitatore di essere circondato da **bolle di sapone**.



**Materiale: ETFE (Etylene Tetra Fluoro Etylene),
spessore di 0,2 millimetri**

Per 2000 m² sono serviti 0,8 m³ di materiale

ETFE pesa 1/100 di un uguale volume di vetro,
è simile al teflon ed è autopulente.



Chris Bosse, allievo di Otto Frei

- Architetto tedesco (Stoccarda, 1971), dello studio PTW architects di Sidney
- Prende a modello la **geometria della schiuma**
- la schiuma si trova in elementi naturali come le cellule, i cristalli, le strutture scheletriche di piccoli e grandi animali e... nelle bolle di sapone.

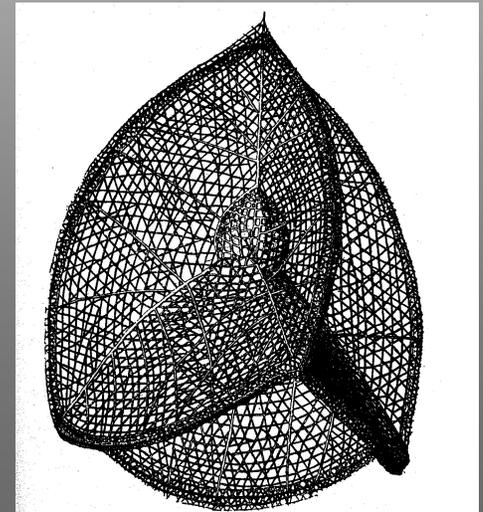


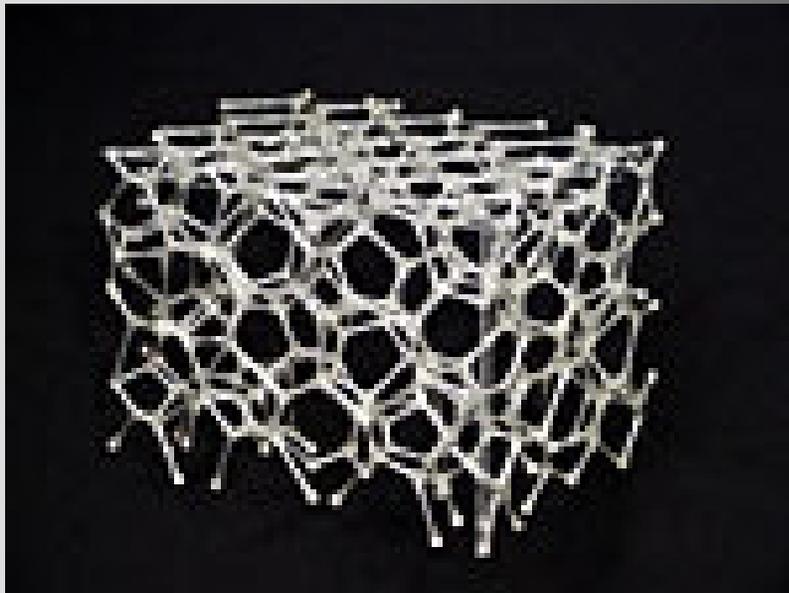
Fig. 62. Uno scheletro di Nassellario, *Callimira agnesae* Hkl (diametro 0,15 millimetri).

La schiuma non si forma in modo casuale

- La schiuma segue precise regole geometriche
- Essa infatti divide lo spazio in tante celle poliedriche in modo tale che non rimangano spazi vuoti e che l'area della superficie di interfaccia tra ogni cella sia la minima possibile, nel rispetto del **principio di minima energia**



Confronto tra lo scheletro di un radiolare e il watercube



**Qual è la forma delle singole celle
di schiuma?**

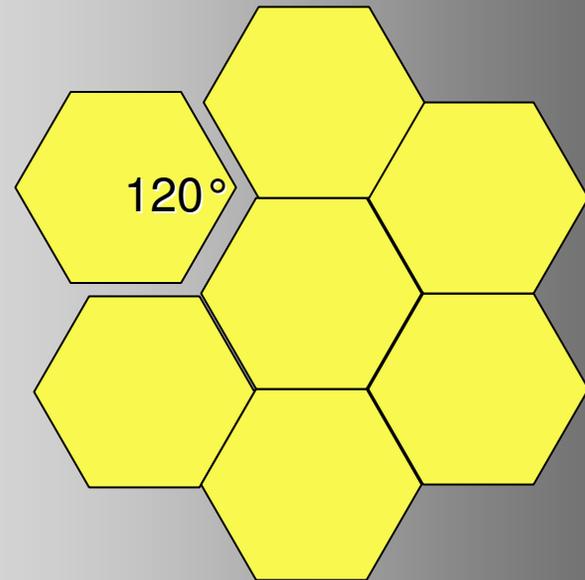


Tassellazioni del piano

Il quadrato e l'esagono regolare tassellano il piano

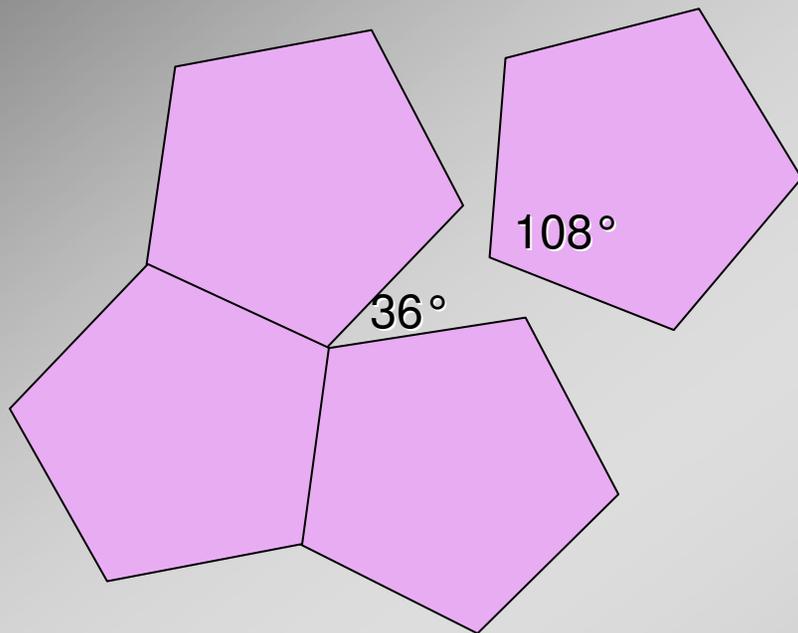


$$90^\circ \times 4 = 360^\circ$$

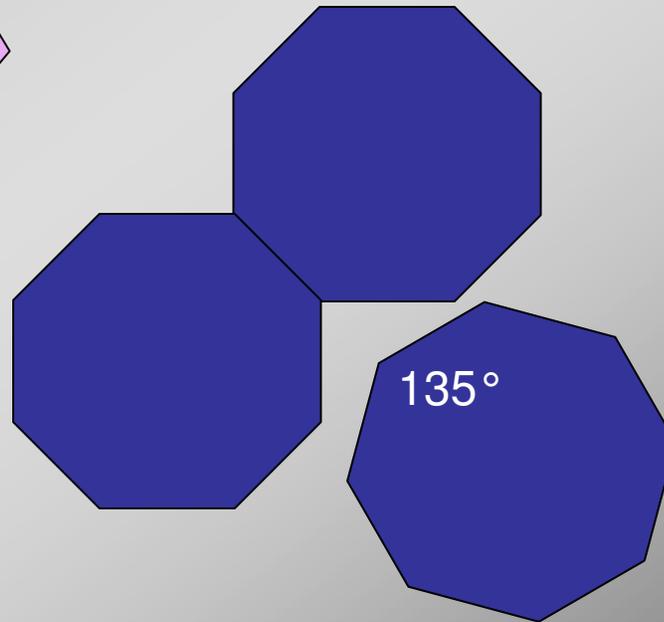


$$120^\circ \times 3 = 360^\circ$$

Il pentagono regolare e l'ottagono regolare non tassellano il piano



$$108^\circ \times 3 = 324^\circ$$

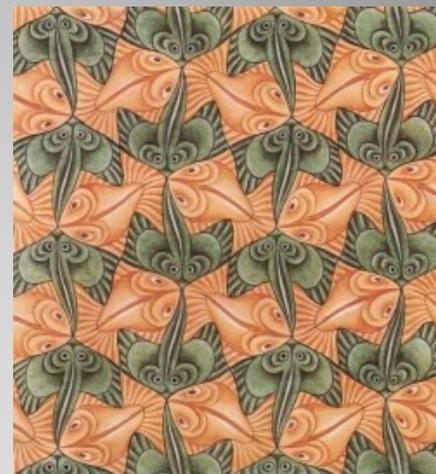


$$135^\circ \times 3 = 405^\circ > 360^\circ$$

L'**esagono** è il poliedro regolare che tassella il piano in modo da racchiudere la **massima area** a parità di perimetro

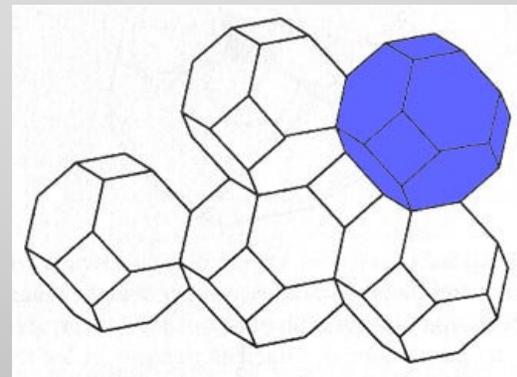
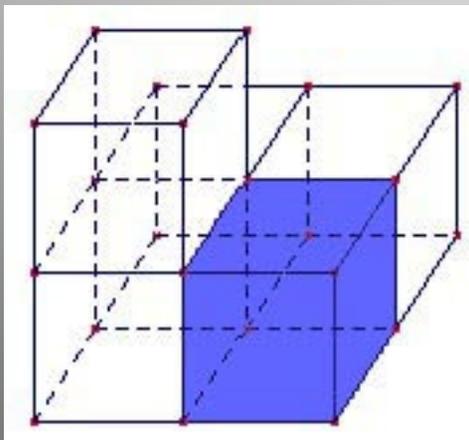


Tassellazioni del piano di Cornelius Escher



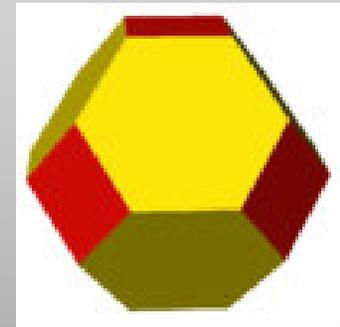
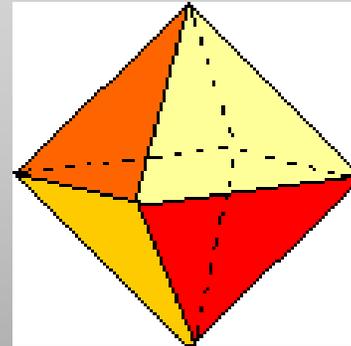
E nello spazio tridimensionale?

Quali solidi tassellano lo spazio in modo che l'area della **superficie** di interfaccia sia la **minima** possibile?



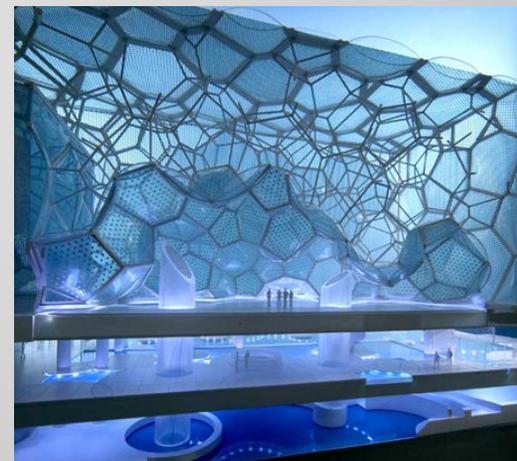
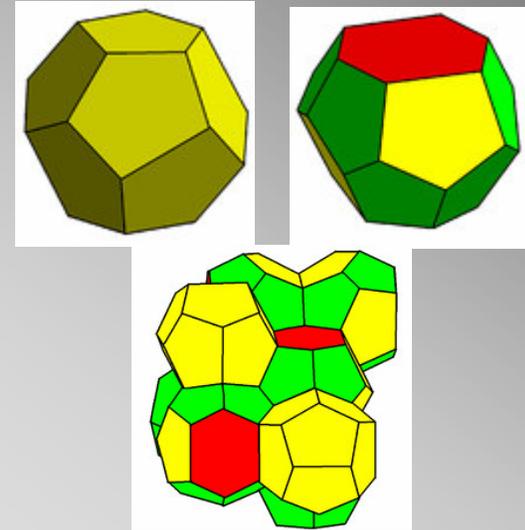
Qual è la forma delle singole celle della schiuma?

- Il problema fu sollevato dai naturalisti che indagavano sulla forma delle cellule
- Lord Kelvin (1824-1907) pensava che fosse **l'ottaedro tronco**



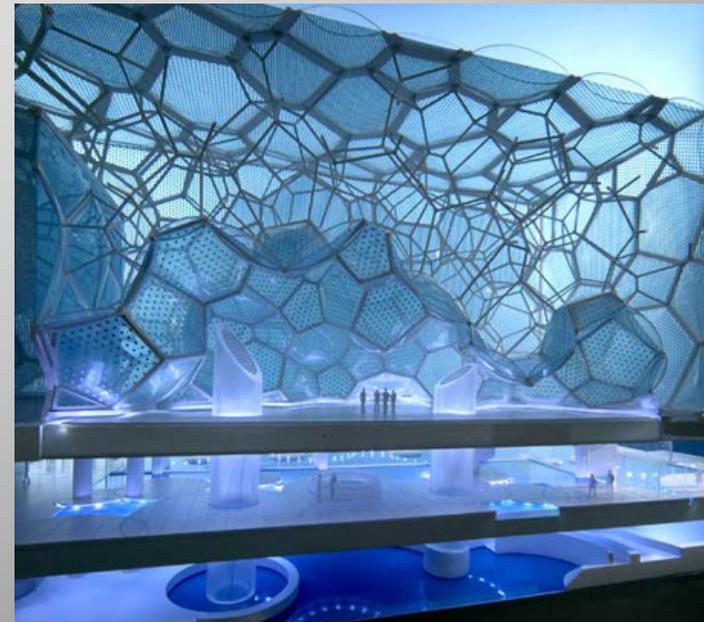
Nel 1993 Denis Weaire e Robert Phelan

- Istituto di fisica della schiuma della Trinity University di Dublino
- La schiuma è formata da **due tipi di poliedri irregolari**, un dodecaedro irregolare con facce pentagonali, e un tetracadecaedro (14 facce) formato da 2 esagoni e 12 pentagoni con i lati tutti diversi

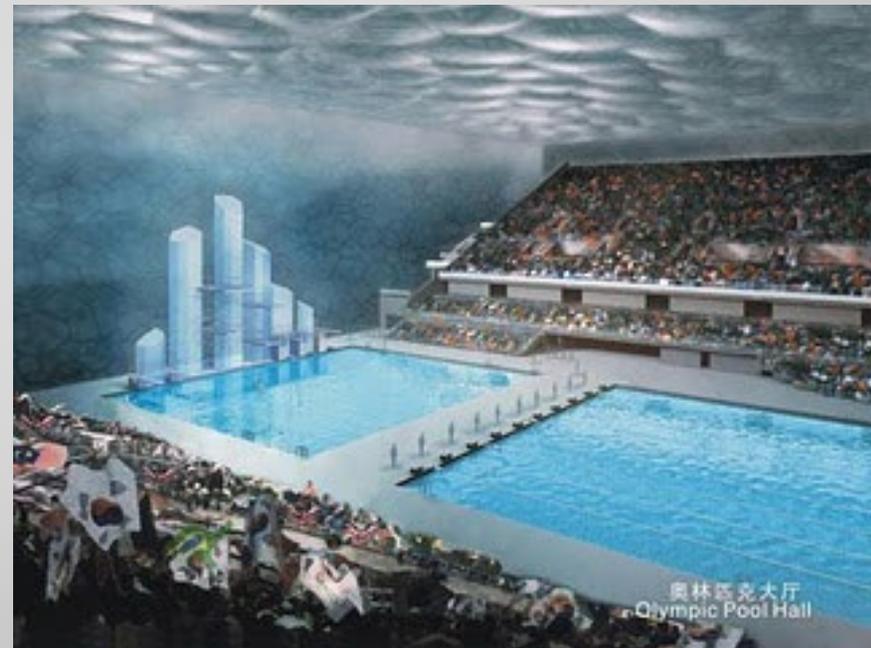


Chris Bosse si è ispirato a questo modello

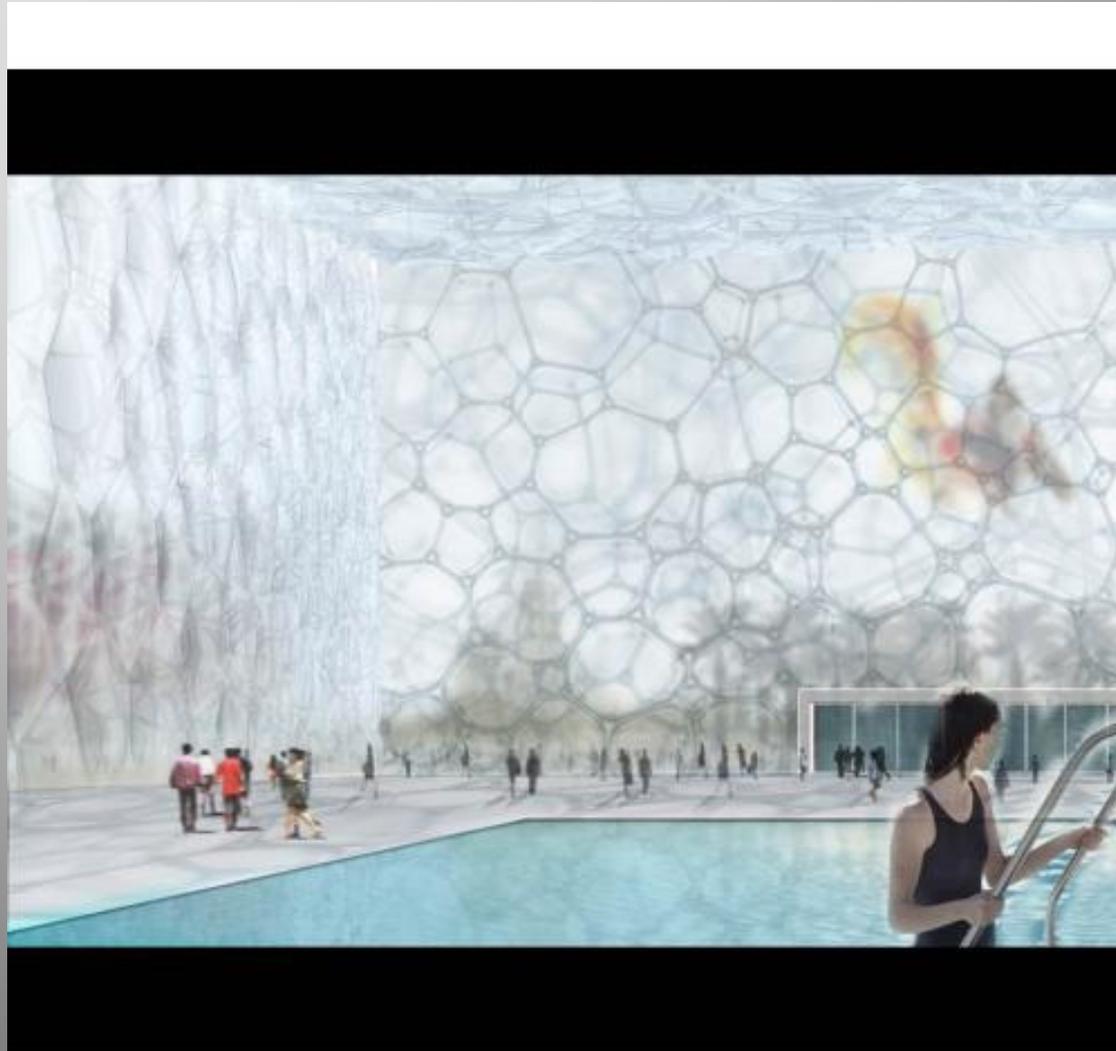
- L'edificio è costruito con moduli ripetuti formati solo da
- **3 facce** differenti, (4, 5, 6 lati)
- **4 spigoli** differenti e
- **3 angoli** differenti che, posizionati in vari modi, danno un'idea di grande varietà di forme
- Ogni modulo è formato di 12 pannelli.
- Ogni pannello è ruotato di 30° o 45° rispetto al suo consecutivo



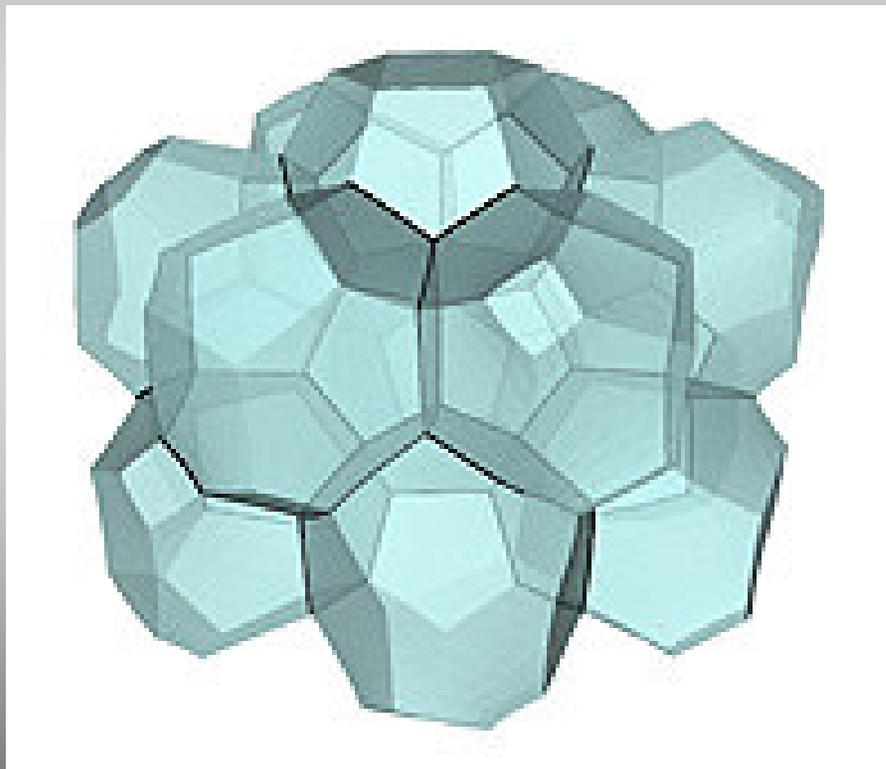
- Di giorno la luce solare penetra all'interno e atleti e spettatori hanno la sensazione di **vivere sott'acqua**, sentendosi tutt'uno con l'elemento



Watercube



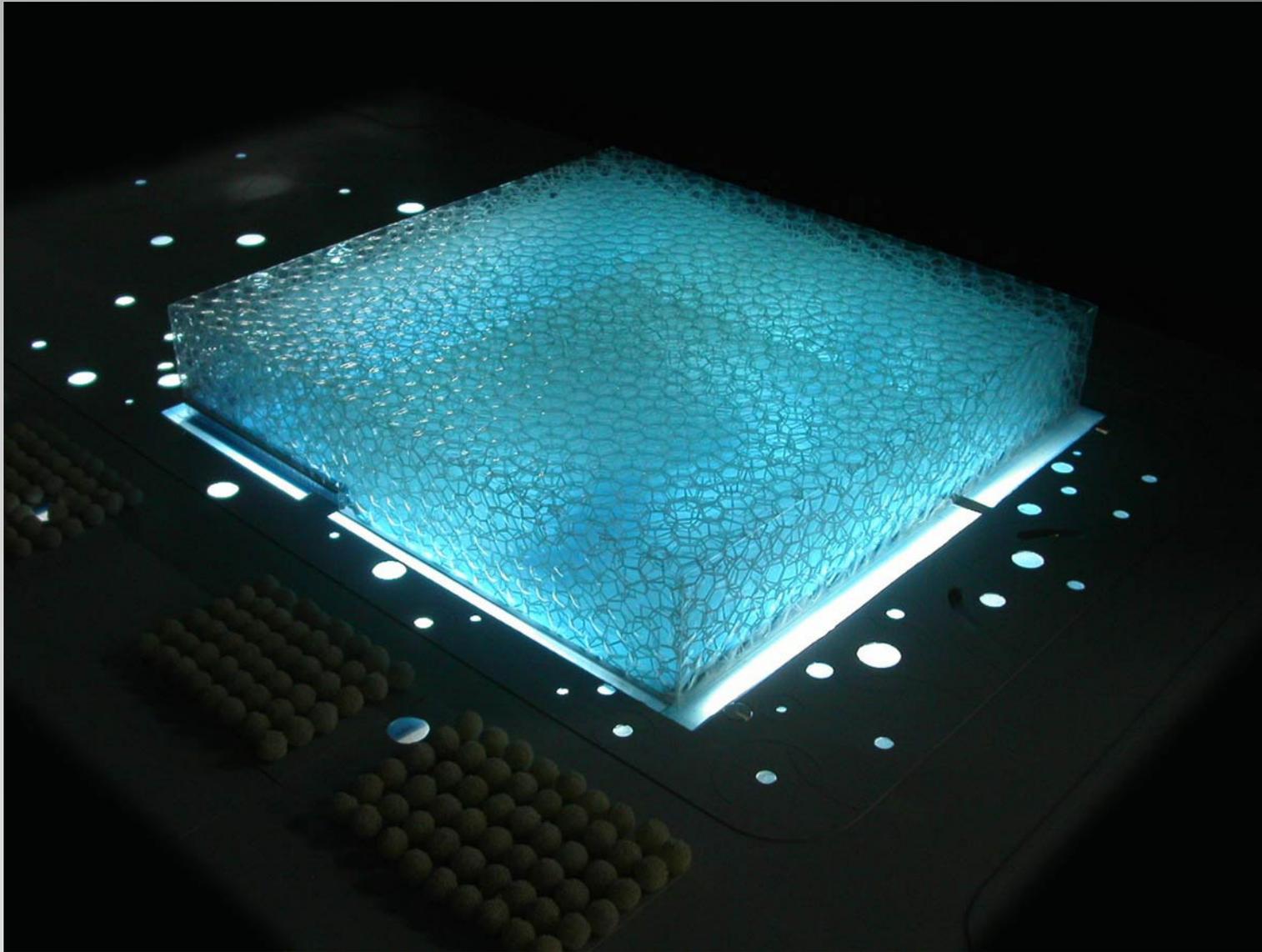
Nuovo modello di schiuma di Ruggero Gabbrielli



- Di notte è la luce interna a diffondersi verso l'esterno in tutte le direzioni, dando luogo al contrasto tra l'azzurro e il rosso proveniente dallo stadio atletico, quasi contrasto tra acqua e fuoco, elementi fondamentali della mitologia cinese



Watercube, Olimpiadi Pechino 2008



Oggi grande parco acquatico

