

Università Bocconi - PRISTEM
30 novembre 2018

Alfio Quarteroni Matematica, Cuore...e Dintorni

POLITECNICO di MILANO
EPFL, Losanna
Accademia dei Lincei
European Academy of Sciences
Academia Europaea



POLITECNICO
MILANO 1863



POLITECNICO
DI MILANO

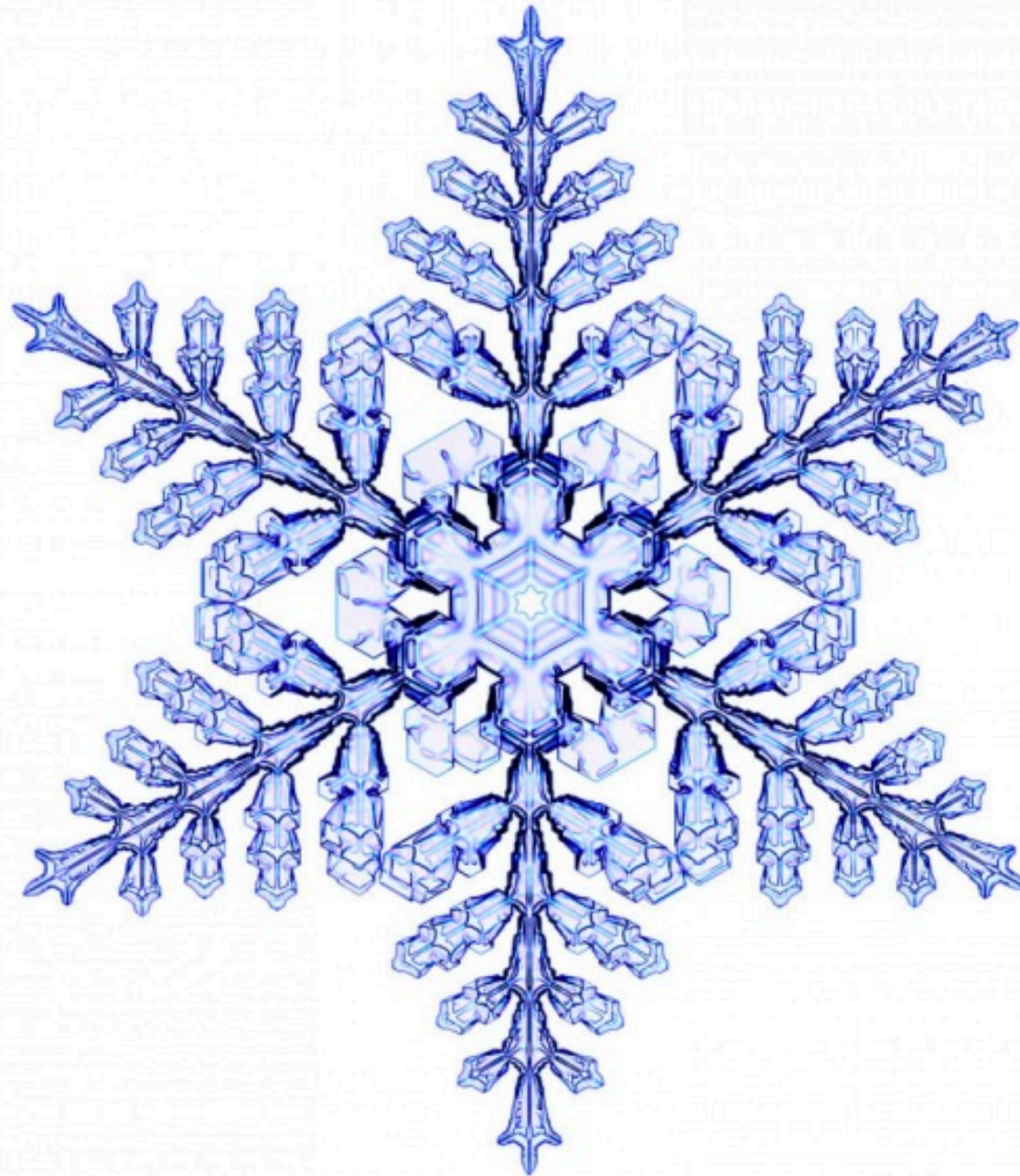


La piu' antica delle Scienze
(2000 ac)

La piu' moderna
(Big Data e Algoritmi)

La piu' pervasiva
nelle nostre vite quotidiane

Natura ... geometrica



Natura ... geometrica



Natura ... geometrica





i Matematici descrivono
il Mondo attraverso
Equazioni



il mondo reale



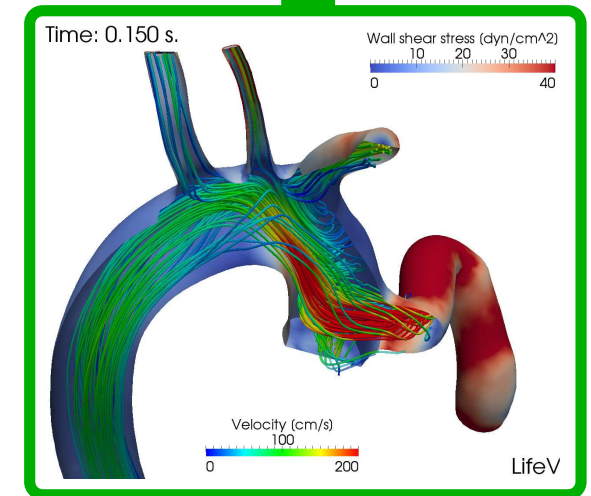
**IL
MODELLO
MATEMATICO**

Modelli per comprendere, simulare, progettare

Dati

Modello

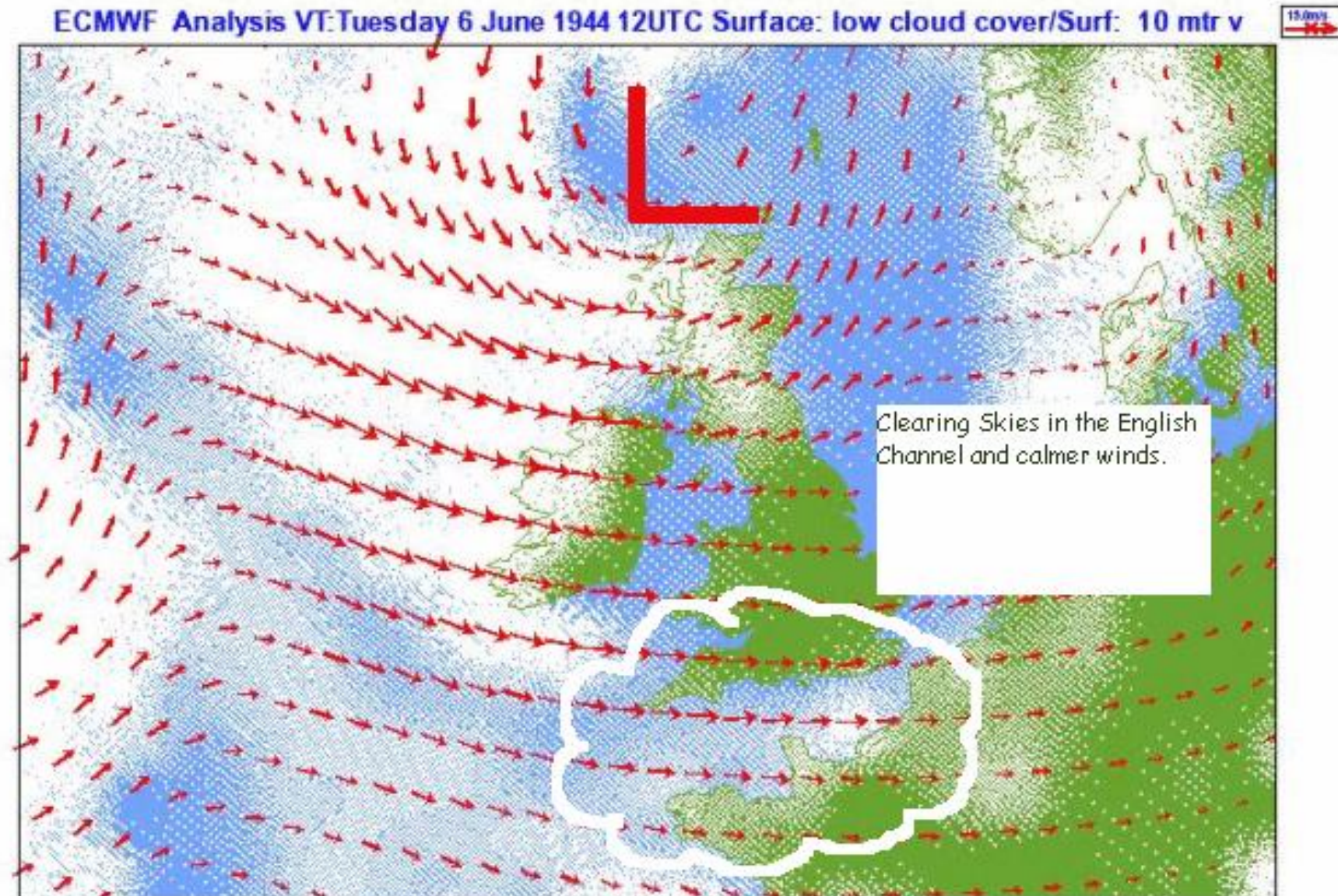
Soluzione



D DAY Sbarco in Normandia, 6 giugno 1944



Clearing Skies in the English Channel and Calmer Winds



Modelli Oggi

Modelli e...Onde



Previsione di esondazioni



Modelli e...cieli turbolenti



Modelli e mercati finanziari

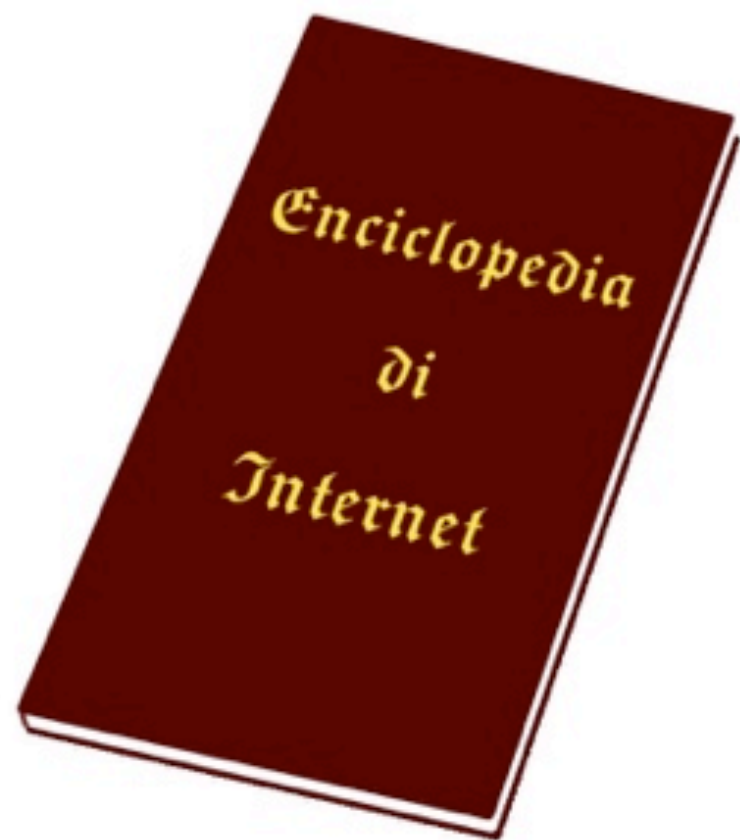




Le nostre ricerche
sul web

1991

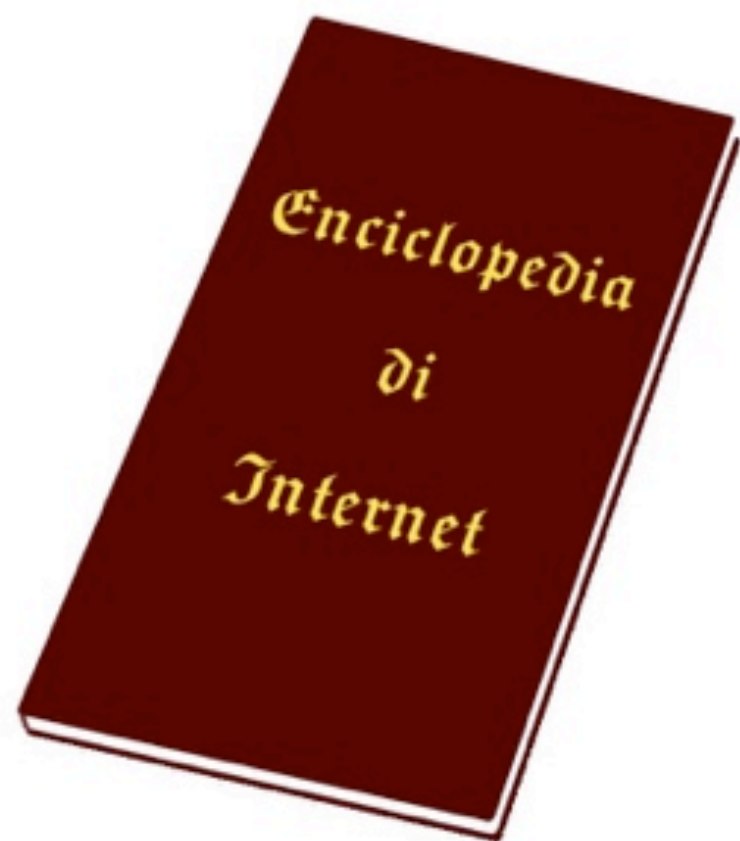
primo
sito web



`info.cern.ch`

1993

primo
sito web
italiano

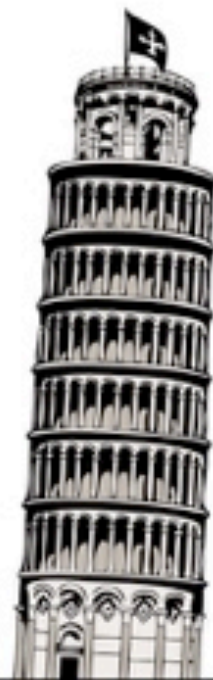
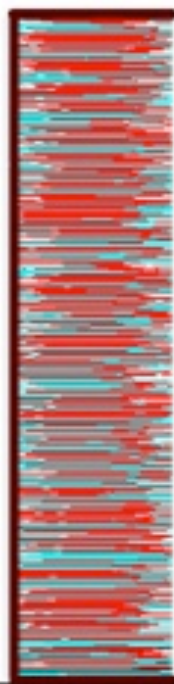


`www.crs4.it`

1996

180.000
siti web

Torre di Pisa
56 m

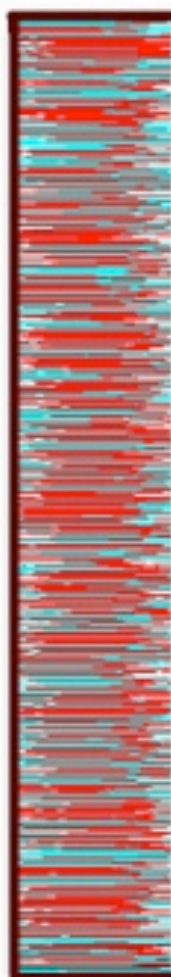


1998

2.700.000

siti web

Burj Khalifa
828 m



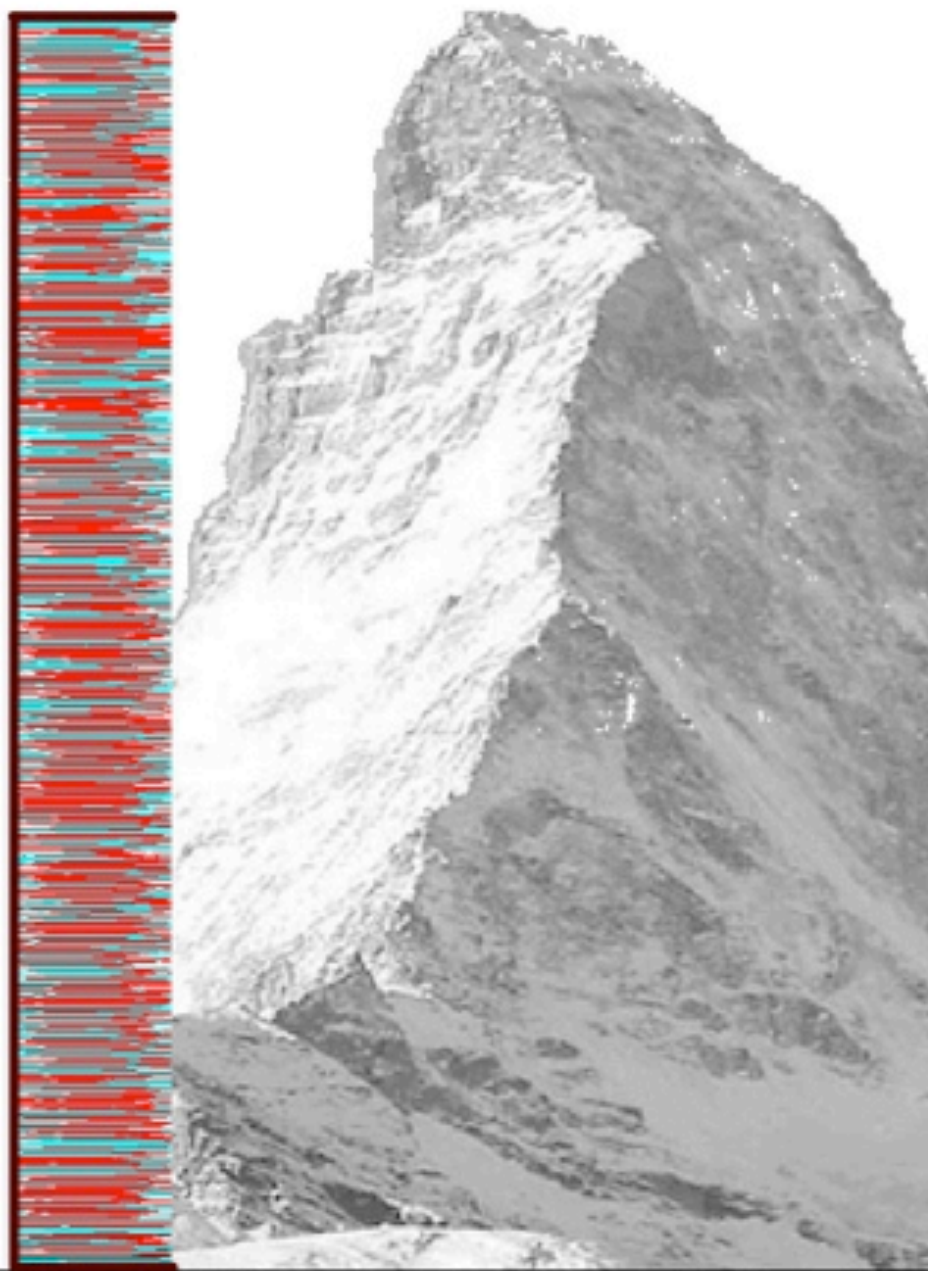
2001

30.000.000

siti web

Monte Everest

8848 m



2015

1.300.000.000

siti web

Stazione Spaziale
Internazionale

400 km





Google

Google Search

I'm Feeling Lucky

Googling “Isaac Newton”

Fra

1.000.000.000.000

mille miliardi

di pagine nel web

Fra

1.300.000.000

1.3 miliardi

di siti web

Google ne seleziona

10.000.000

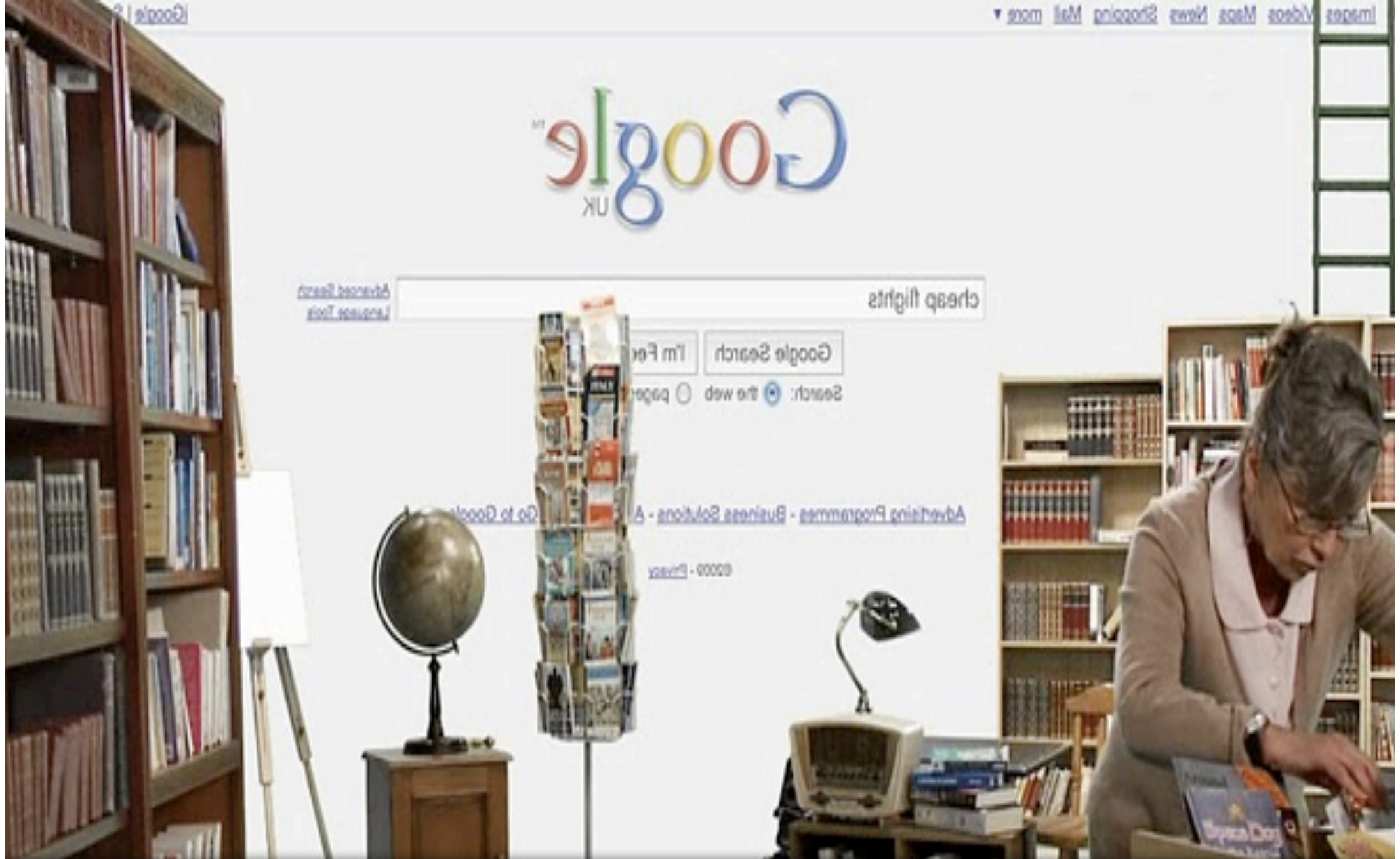
dieci milioni

per noi

in soli

14

centesimi di secondo



Quale magia si nasconde dietro Google?



Il migliore fra i motori di ricerca

Google

è così veloce
grazie alla

Matematica!

Alfio Quarteroni Paola Gervasio

I delfini delle Eolie, i battiti del cuore, i motori di ricerca

**Modelli matematici
per comprendere,
simulare, esplorare**

La matematica
che sta sotto la realtà

Semplificare,
modellizzare, risolvere,
interpretare

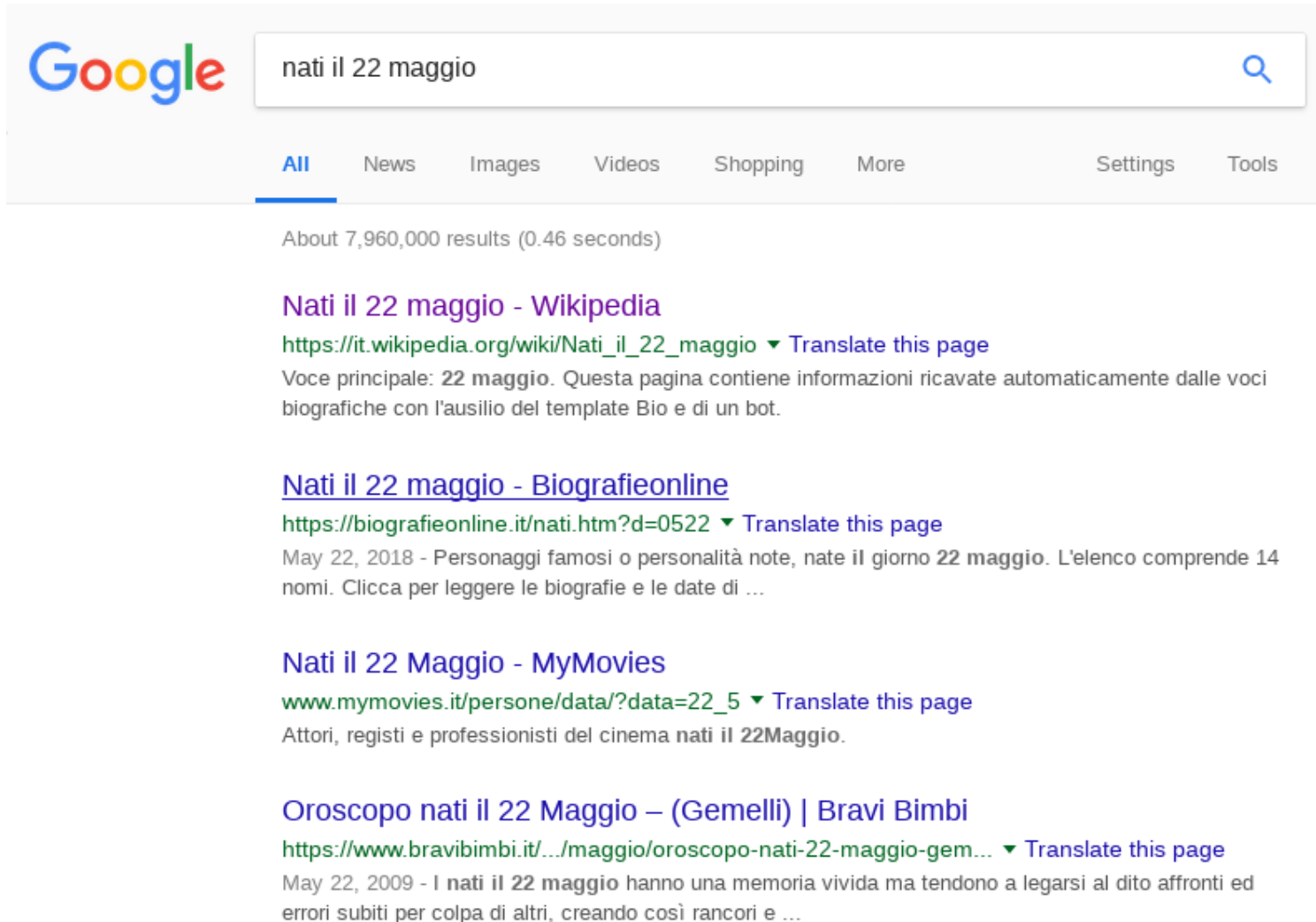
Una palestra
per le competenze
interdisciplinari

ZANICHELLI



Proviamo a capire come

Nati il 22 maggio



Google nati il 22 maggio

All News Images Videos Shopping More Settings Tools

About 7,960,000 results (0.46 seconds)

Nati il 22 maggio - Wikipedia
https://it.wikipedia.org/wiki/Nati_il_22_maggio ▼ Translate this page
Voce principale: **22 maggio**. Questa pagina contiene informazioni ricavate automaticamente dalle voci biografiche con l'ausilio del template Bio e di un bot.

Nati il 22 maggio - Biografieonline
<https://biografieonline.it/nati.htm?d=0522> ▼ Translate this page
May 22, 2018 - Personaggi famosi o personalità note, nate il giorno **22 maggio**. L'elenco comprende 14 nomi. Clicca per leggere le biografie e le date di ...

Nati il 22 Maggio - MyMovies
www.mymovies.it/persona/data/?data=22_5 ▼ Translate this page
Attori, registi e professionisti del cinema **nati il 22Maggio**.

Oroscopo nati il 22 Maggio – (Gemelli) | Bravi Bimbi
<https://www.bravibimbi.it/.../maggio/oroscopo-nati-22-maggio-gem...> ▼ Translate this page
May 22, 2009 - I **nati il 22 maggio** hanno una memoria vivida ma tendono a legarsi al dito affronti ed errori subiti per colpa di altri, creando così rancori e ...

Nati il 22 maggio

↳ sir Arthur Conan Doyle



Nati il 22 maggio

↳ sir Arthur Conan Doyle

↳ Sherlock Holmes



Nati il 22 maggio

↳ sir Arthur Conan Doyle

↳ Sherlock Holmes

↳ Robert Downey Jr.



Nati il 22 maggio The Avengers



Problema. Come fa Google a rispondere così velocemente alle nostre richieste? E, soprattutto, come fa a trovare le pagine pertinenti alle parole chiave che abbiamo digitato e ad ordinarle?

Capiamo il problema

Il Web è come un enorme libro

- scansione del web
- indicizzazione dei contenuti
- ordinamento delle pagine



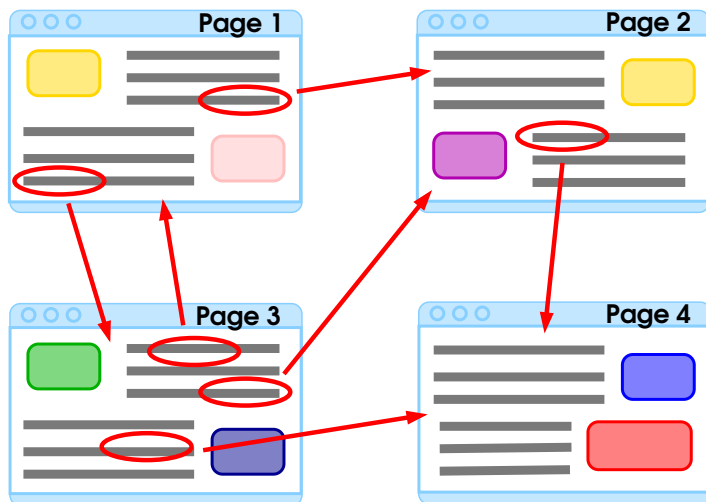
- ad ogni pagina web P è associato un numero reale x_P che dipende da tanti fattori, uno di essi è il PageRank

*Il **PageRank** è la probabilità che un utente qualsiasi che naviga sul Web arrivi casualmente a visitare proprio quella pagina*

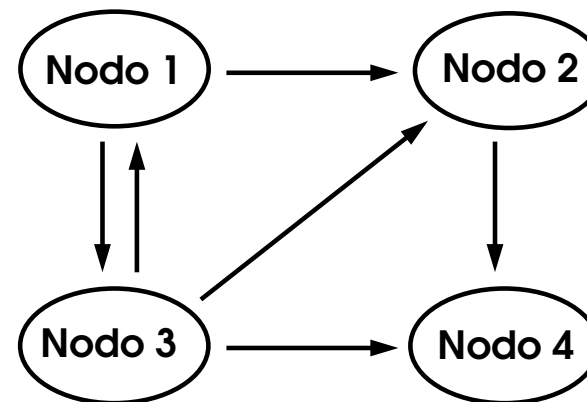
- ordinando i numeri x_P , otteniamo l'ordine delle pagine

Come si calcolano i PageRank delle pagine Web?

Semplificare per modellare



Una **rete** di 4 pagine web



Il **grafo orientato** associato

La **matrice** di connessione del grafo

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } \exists \text{ link } j \rightarrow i, \\ 0 & \text{altrimenti.} \end{cases}$$

Come possiamo modellare i movimenti di un surfer virtuale?

La probabilità di cliccare su un link

A non è adatta a simulare gli spostamenti di un surfer virtuale

A =matrice del grafo

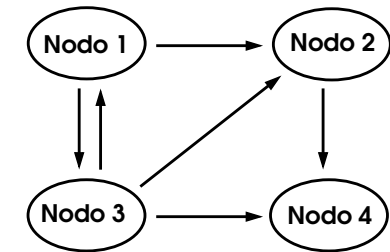
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{cccc} 2 & 1 & 3 & 0 \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ L_1 & L_2 & L_3 & L_4 \end{array}$$

H =matrice di hyperlink

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/3 & 0 \\ 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1/3 & 0 \end{bmatrix}$$

L_j = numero di link che escono dal nodo j



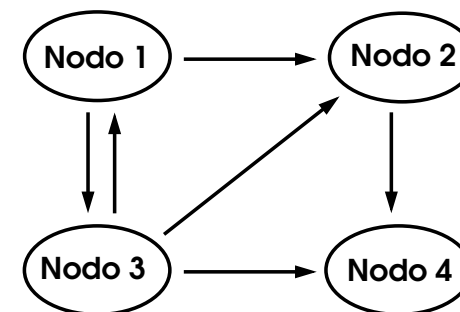
$$h_{ij} = \begin{cases} 1/L_j & \text{se } L_j \neq 0 \text{ ed } \exists \text{ link } j \rightarrow i, \\ 0 & \text{altrimenti.} \end{cases}$$

h_{ij} rappresenta la probabilità di muoversi dalla pagina j alla pagina i cliccando sul link $j \rightarrow i$

Problema: e se il surfer finisce sul nodo 4? (Il nodo 4 è un buco nero!)

Se finite in un buco nero, una via d'uscita c'è (S. Hawking)

Rendiamo il modello più realistico: se cadiamo in un buco nero, diamo la possibilità al surfer di cominciare una nuova ricerca.



H =matrice di hyperlink

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/3 & 0 \\ 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1/3 & 0 \end{bmatrix}$$

S =seconda matrice di hyperlink

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1/3 & 1/4 \\ 1/2 & 0 & 1/3 & 1/4 \\ 1/2 & 0 & 0 & 1/4 \\ 0 & 1 & 1/3 & 1/4 \end{bmatrix}$$

s_{ij} rappresenta la probabilità di spostarsi dal nodo j al nodo i seguendo il link (se esiste), o iniziando una nuova ricerca (se si cade in un buco nero)

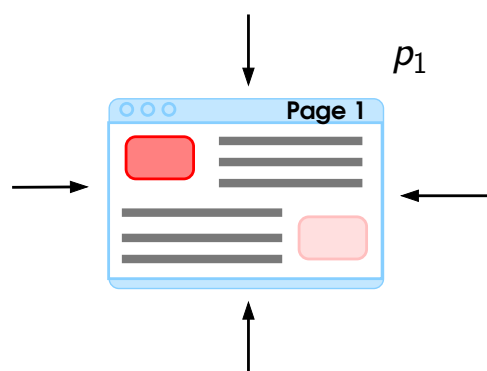
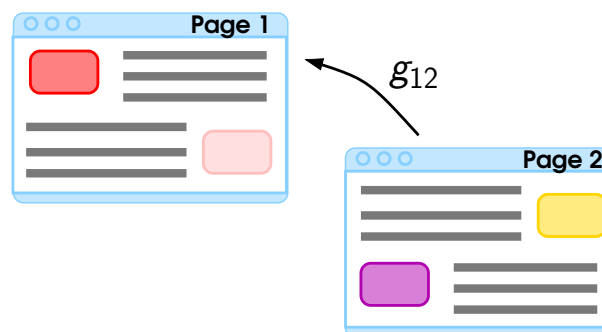
La possibilità di cambiare strada

Si introduce $\alpha \in [0, 1)$ e si definisce

$$G : g_{ij} = \alpha s_{ij} + \frac{1 - \alpha}{N}$$

G è la **matrice di Google** (Brin & Page – 1998)

L'elemento g_{ij} della matrice G esprime la **probabilità** che un utente, che già si trova sulla pagina j della rete, si sposti dalla pagina j alla pagina i (seguendo i link o iniziando nuove ricerche ogni volta che vuole)



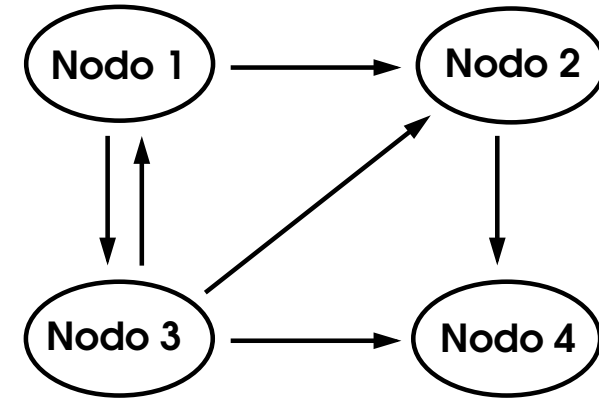
$p_i = \text{PageRank}$ della pagina i rappresenta la **probabilità** che un utente qualsiasi che naviga sul Web arrivi casualmente a visitare proprio quella pagina.

Il modello matematico

Grazie alla **Teoria della probabilità**:

$$p_1 = g_{11}p_1 + g_{12}p_2 + g_{13}p_3 + g_{14}p_4$$

Il PageRank della pagina 1 dipende dal PageRank di tutte le pagine della rete



$$\begin{cases} p_1 = g_{11}p_1 + g_{12}p_2 + g_{13}p_3 + g_{14}p_4 \\ p_2 = g_{21}p_1 + g_{22}p_2 + g_{23}p_3 + g_{24}p_4 \\ p_3 = g_{31}p_1 + g_{32}p_2 + g_{33}p_3 + g_{34}p_4 \\ p_4 = g_{41}p_1 + g_{42}p_2 + g_{43}p_3 + g_{44}p_4, \end{cases}$$

\Leftrightarrow

$$\mathbf{p} = G\mathbf{p}$$

Dati : la matrice del grafo

Modello : $\mathbf{p} = G\mathbf{p}$

Soluzione : il vettore \mathbf{p} dei PageRank

Il modello numerico

Per risolvere $\mathbf{p} = G\mathbf{p}$

utilizziamo un
metodo iterativo:

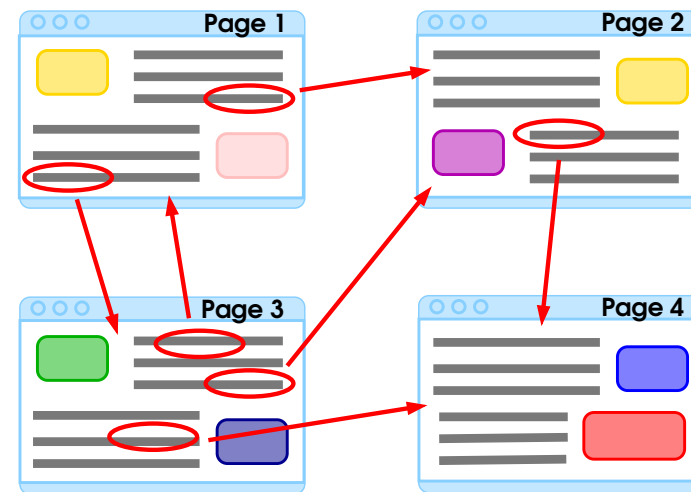
```
dato  $\mathbf{p}^{(0)}$ ,  
for  $k = 1, 2, 3, \dots$  do  
    calcolare  $\mathbf{p}^{(k)} = G\mathbf{p}^{(k-1)}$   
end
```



La soluzione numerica

Dopo 6 iterazioni troviamo

pagina	PageRank	posizione in graduatoria
1	0.17406	4
2	0.24799	2
3	0.19324	3
4	0.38472	1

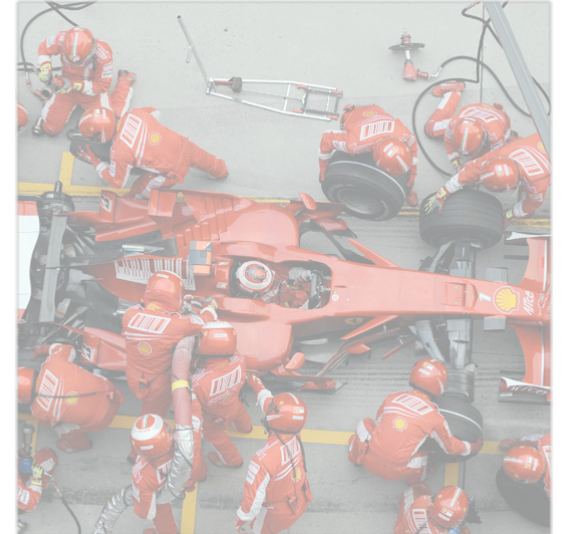


... ed ora

possiamo risalire la china, tenendo presente che nel Web ci sono almeno 20 miliardi di pagine, che il PageRank non è l'unico fattore tenuto in considerazione per ordinare le pagine, che....



Matematica per la nostra salute...



Il nostro sistema cardiocircolatorio

1. Dalle immagini cliniche alla geometria di arterie e cuore

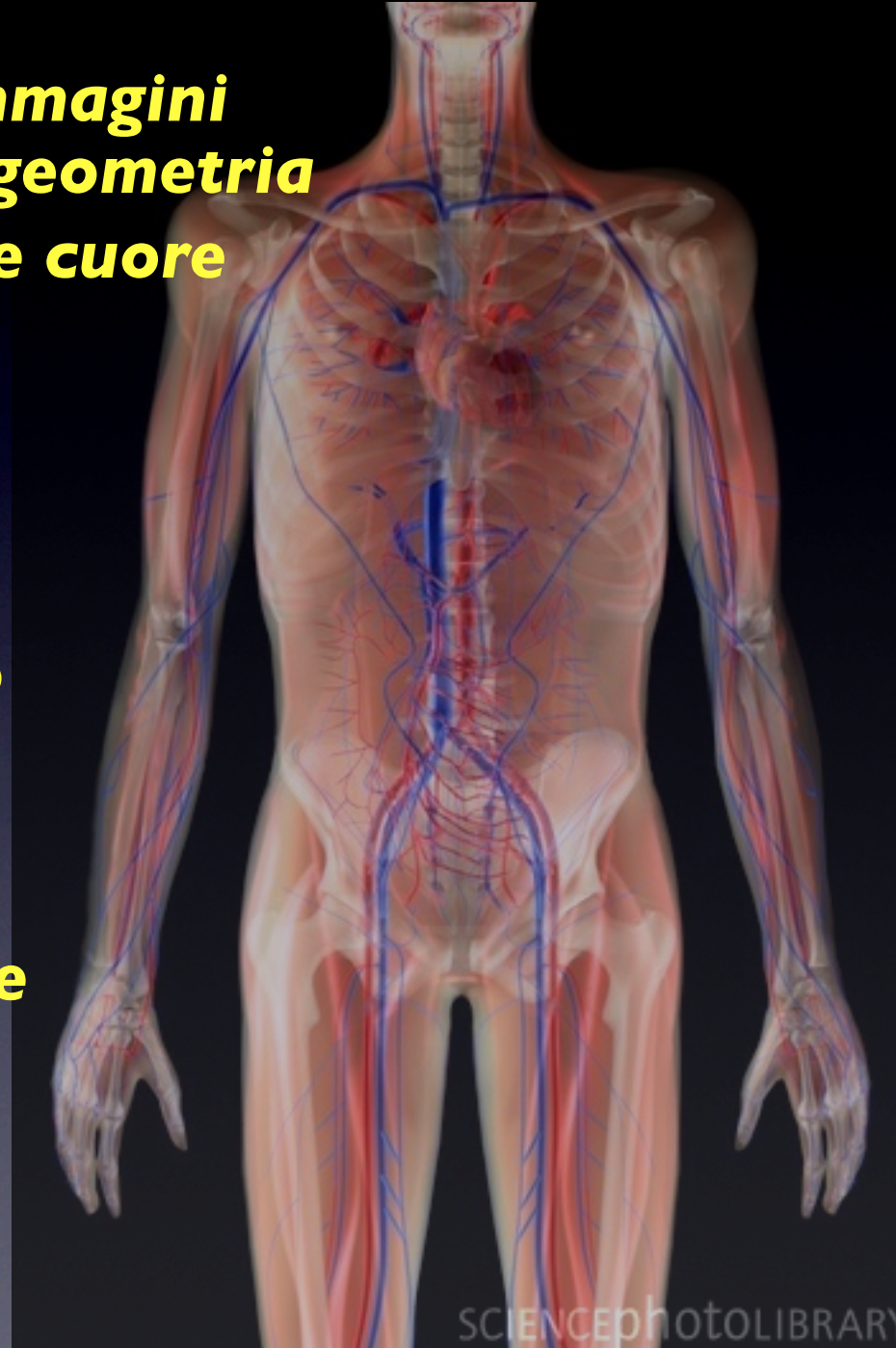
2. Modello matematico

3. Risoluzione al computer

4. Applicazioni alla clinica

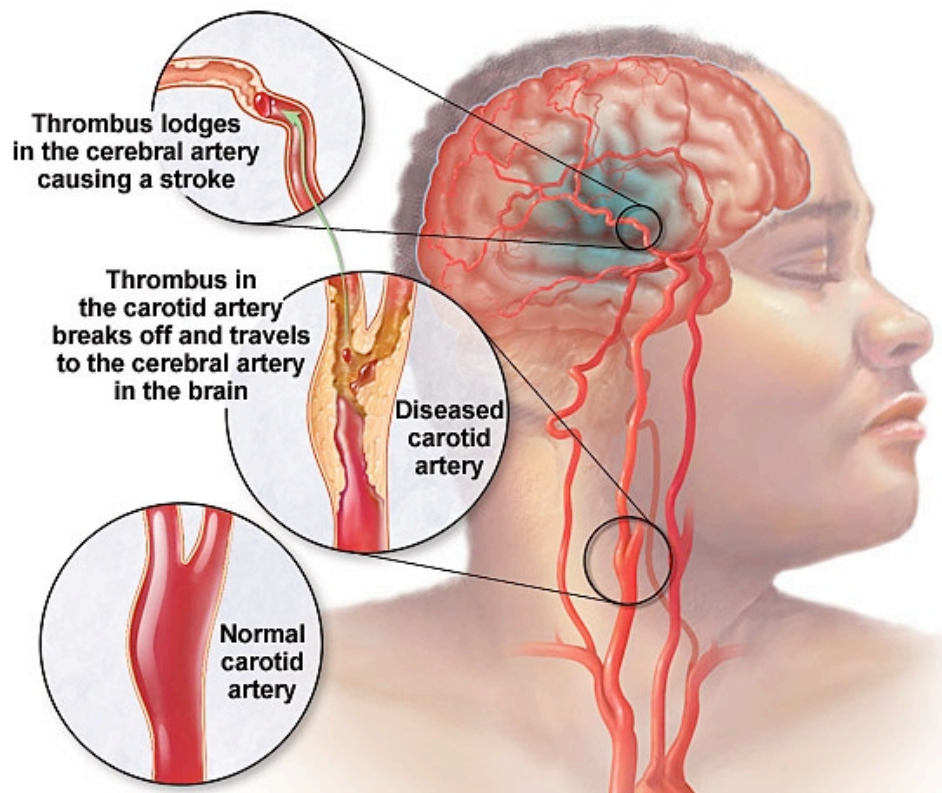
5. Chirurgia virtuale

6. Design di protesi

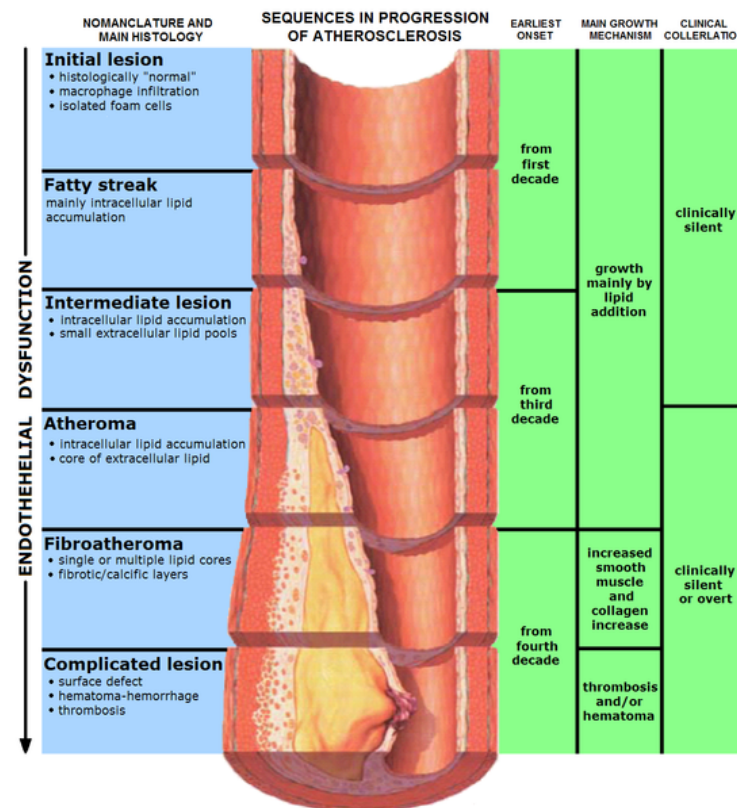


Aterosclerosi nelle carotidi

Formazione di **placche aterosclerotiche** alla biforcazione carotidea



Rischi:
formazione di
stenosi,
trombi,
embolie

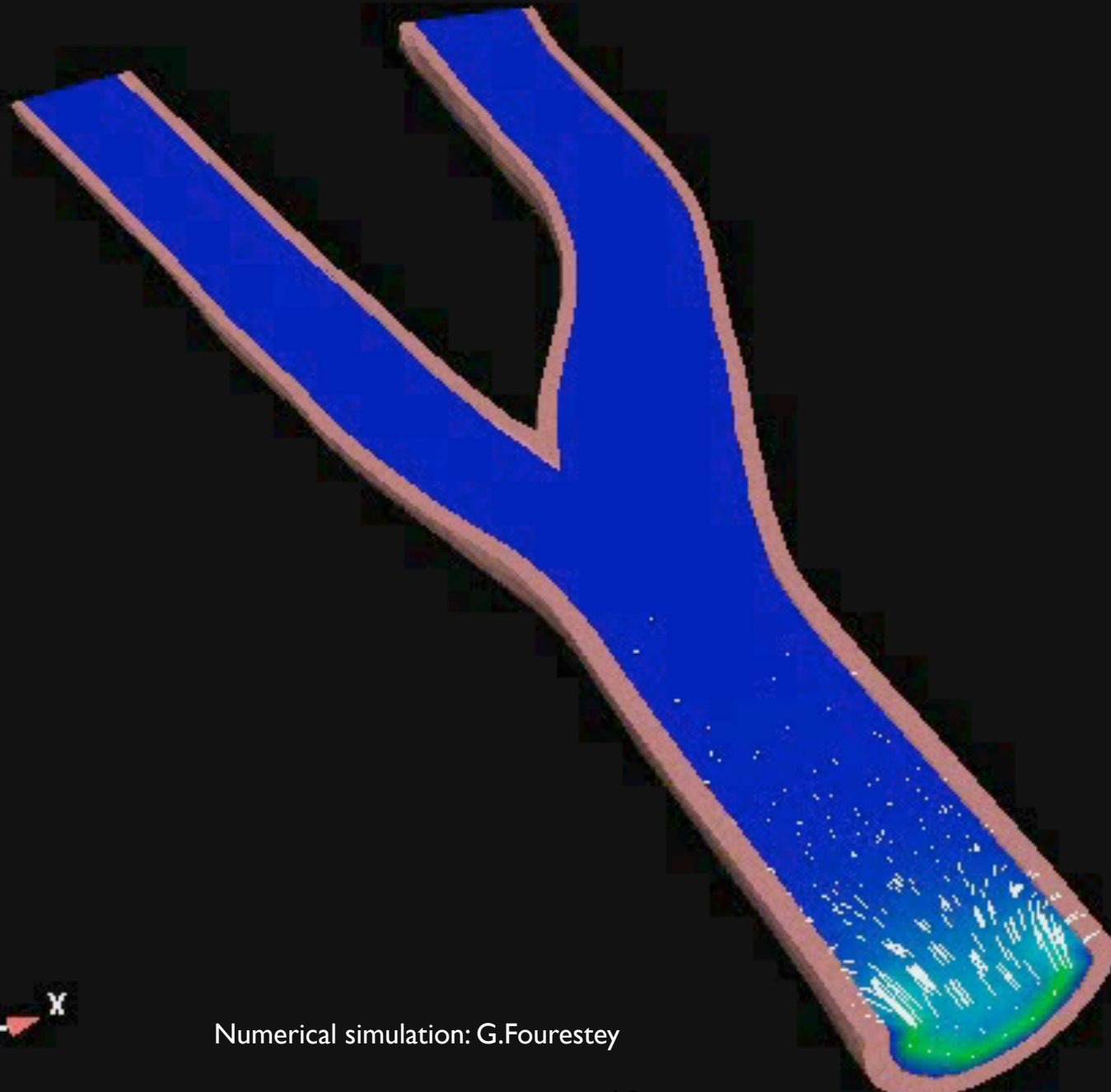


COSA FANNO I CHIRURGHI

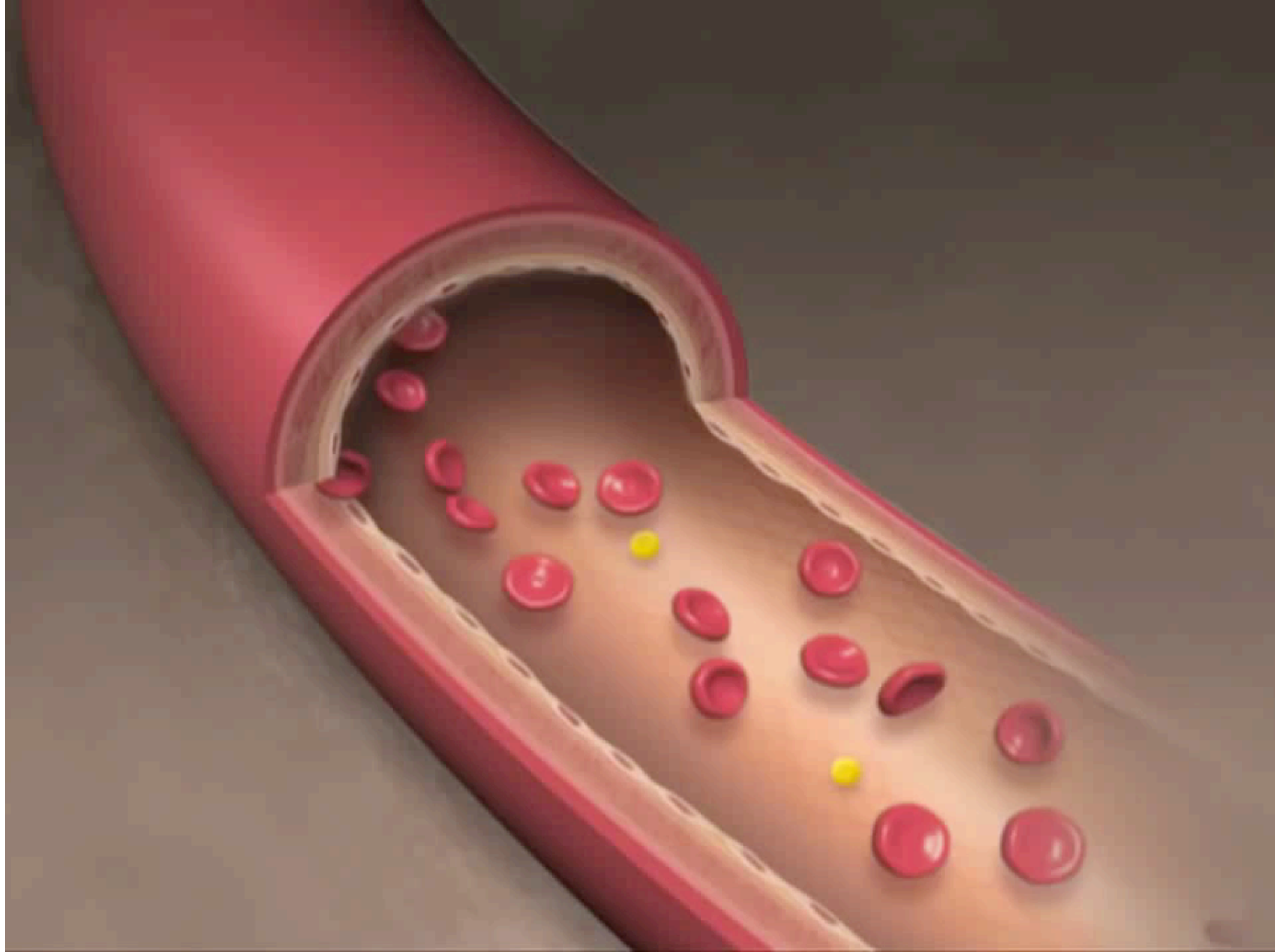
Nei casi in cui l'ostruzione supera il 70% del lumen, si procede all'asporto della placca (operazione TEA - TromboEndoArterectomia)

Con la matematica possiamo **calcolare gli sforzi esercitati dal sangue** ed effettuare un **confronto pre/post TEA** (ciò può suggerire forme ottimali di intervento)

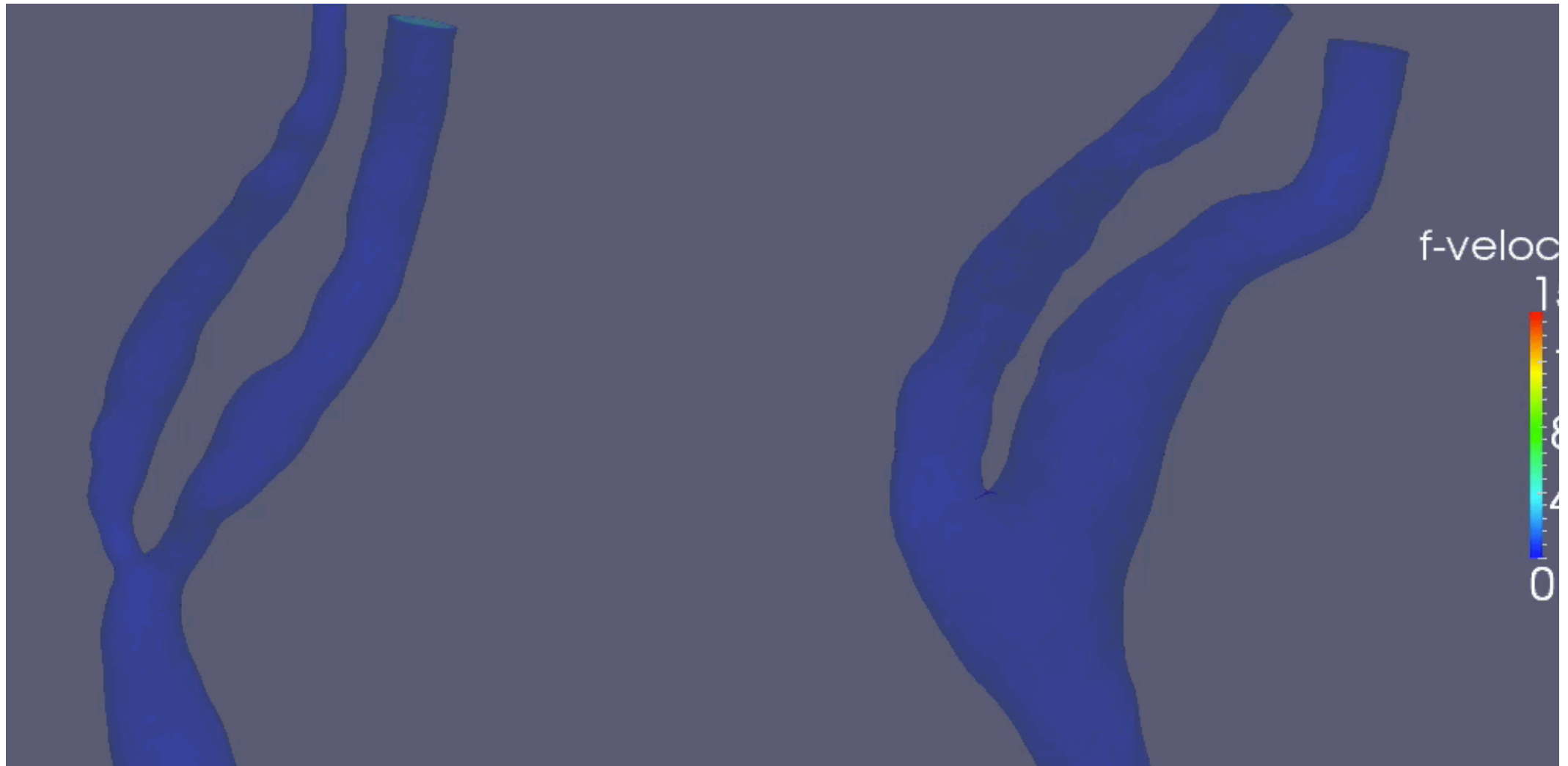
Flusso di sangue e deformazione della parete vascolare



Numerical simulation: G.Fourestey



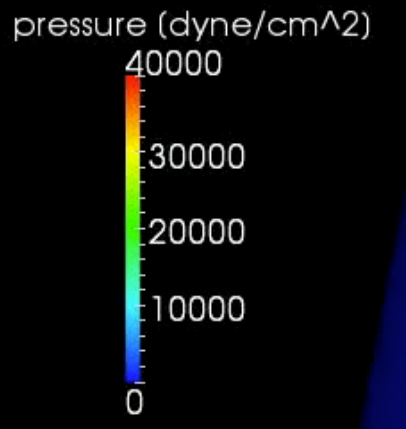
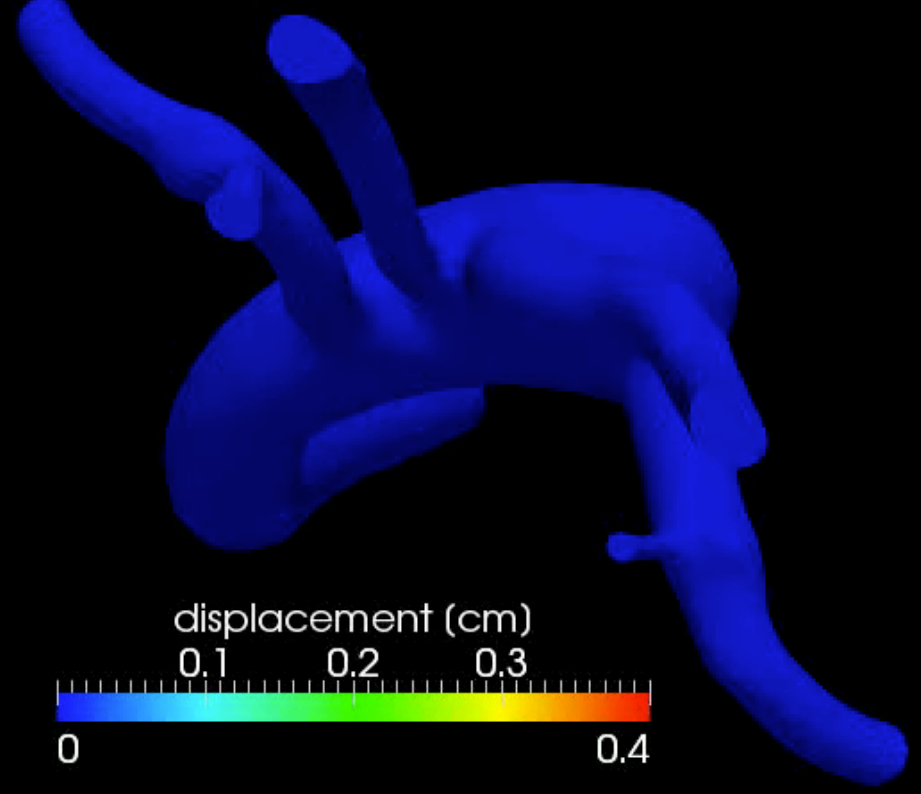
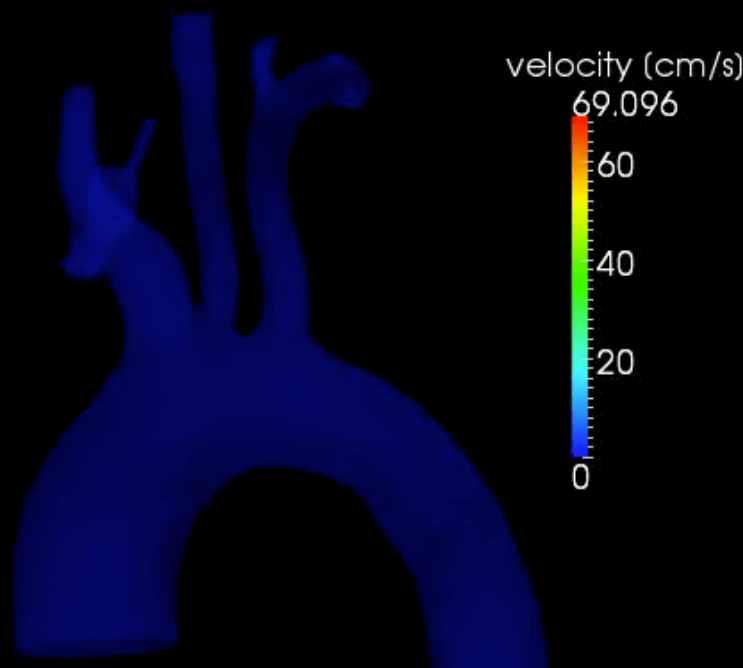
La matematica è non invasiva



Prima della TEA

Dopo la TEA

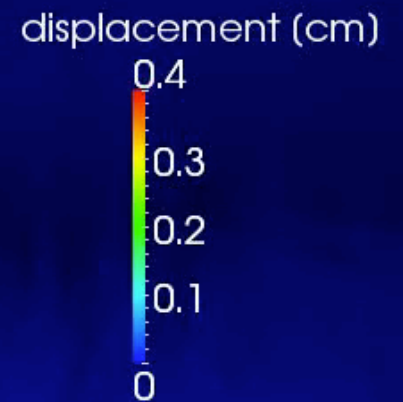
(acknowledgment: Fondazione Cà Granda, Policlinico di Milano; E.Faggiano, C.Vergara, MOX)



Il flusso di sangue nell'arco aortico, 2 battiti cardiaci

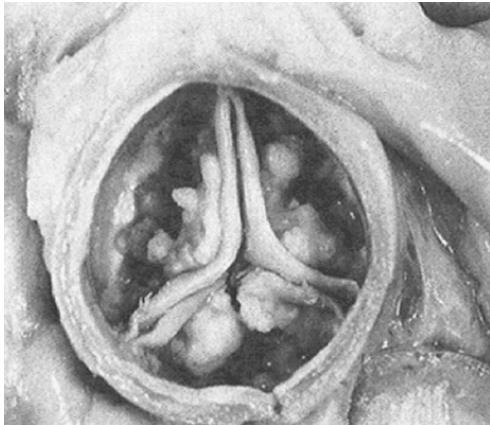
LifeV

Time: 0.000



Patologie valvolari e modelli matematici

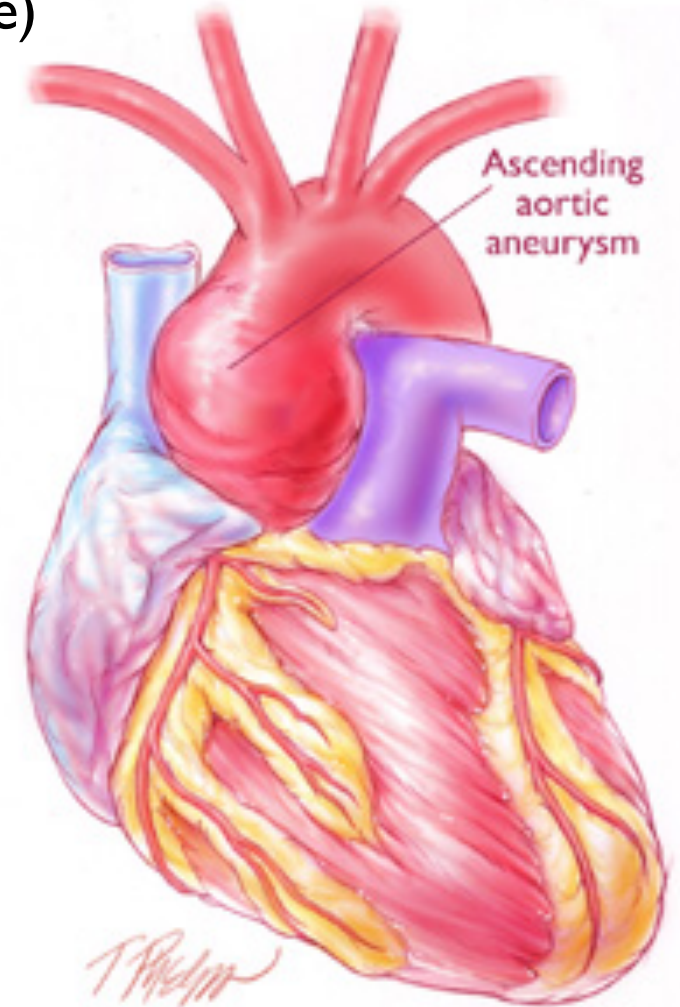
Formazione di aneurismi in aorta ascendente in presenza di valvole aortiche bicuspidi (BAV) (1-2% della popolazione)



Tricuspid valve



Bicuspid valve

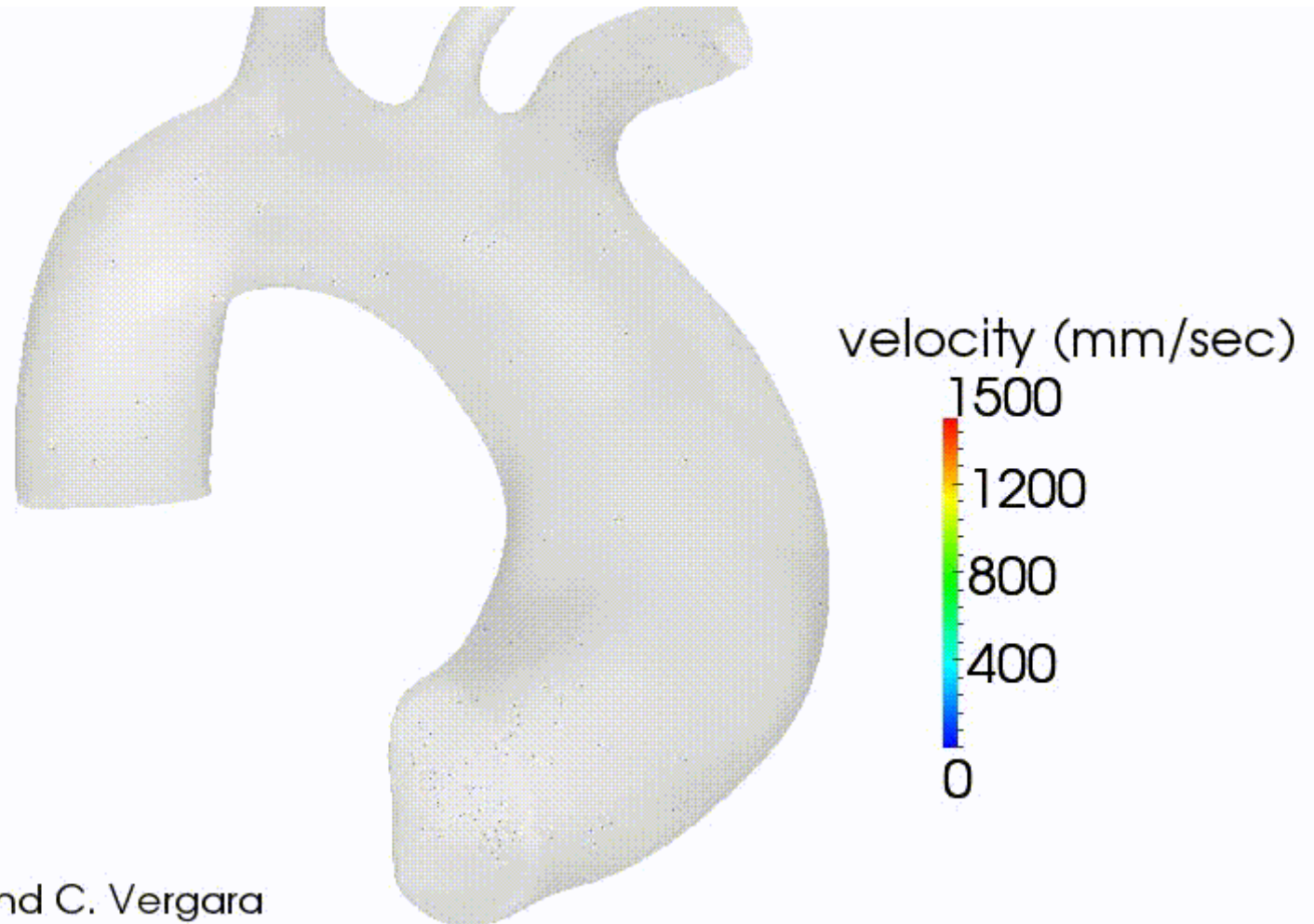


La presenza di BAV nel 40-60% dei pazienti si accompagna ad una maggior propensione alla dilatazione aortica e alla formazione di aneurismi

Patologie valvolari e modelli matematici

COSA PUO' FARE LA MATEMATICA

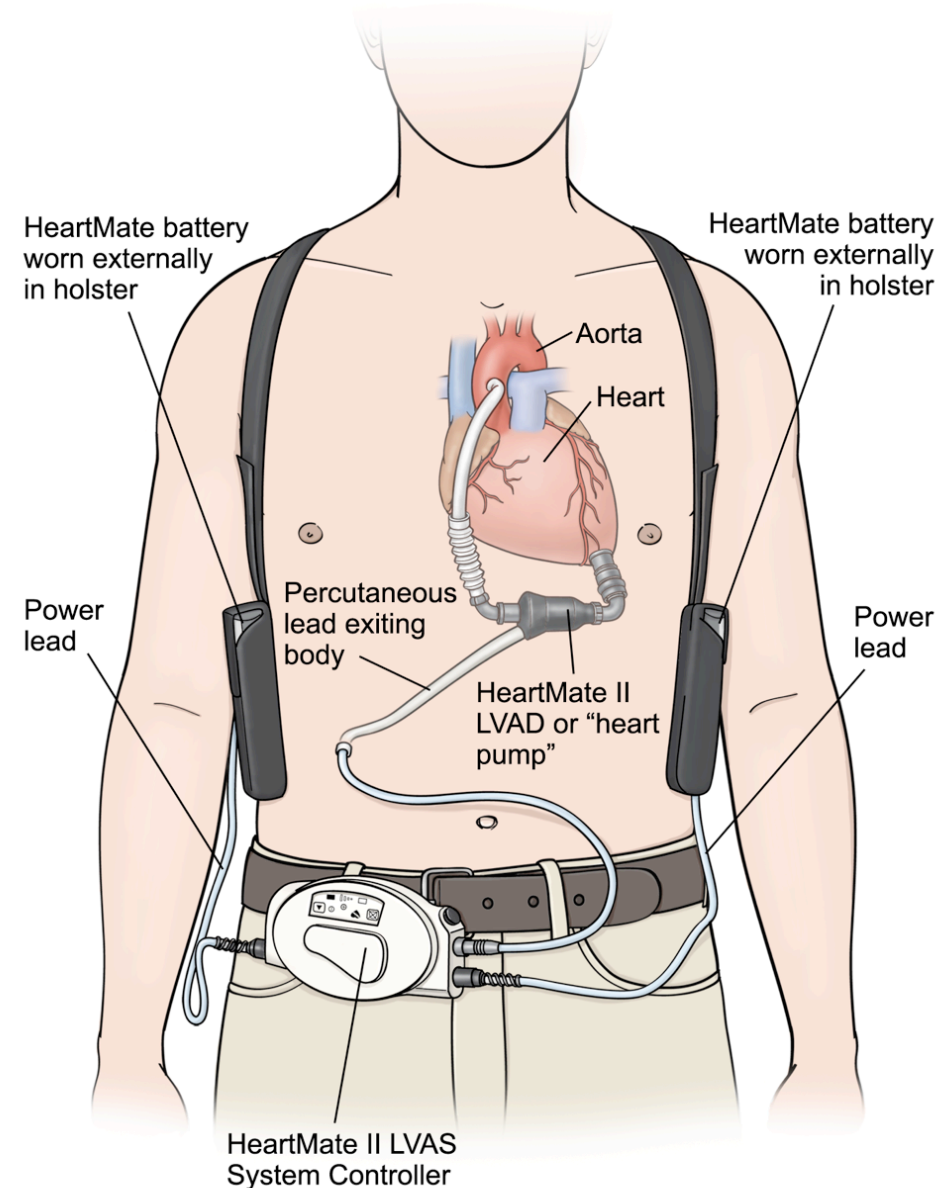
Il modello matematico simula la presenza di un getto che investe la parete esterna dell'arco ascendente dove tipicamente si sviluppano aneurismi



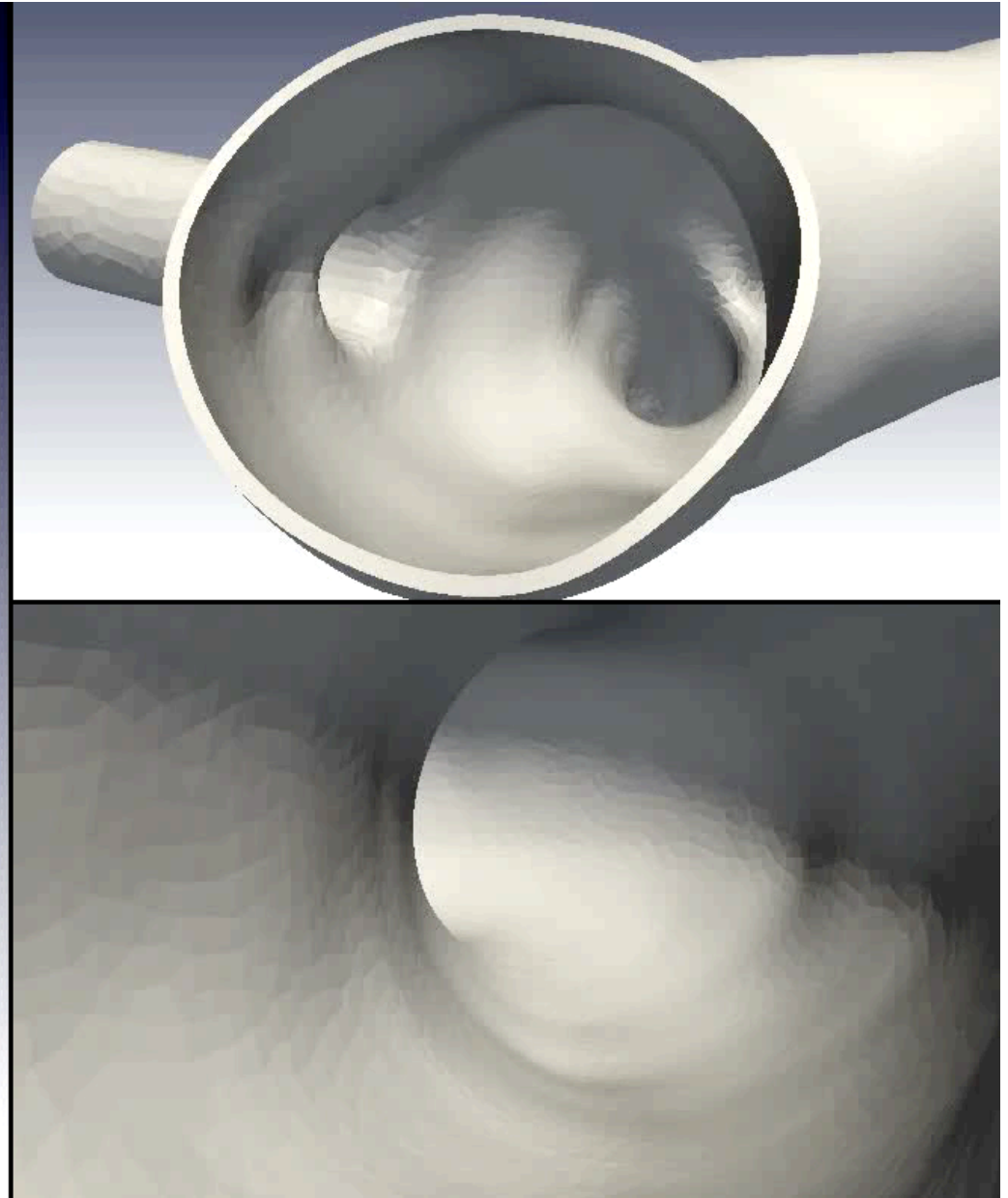
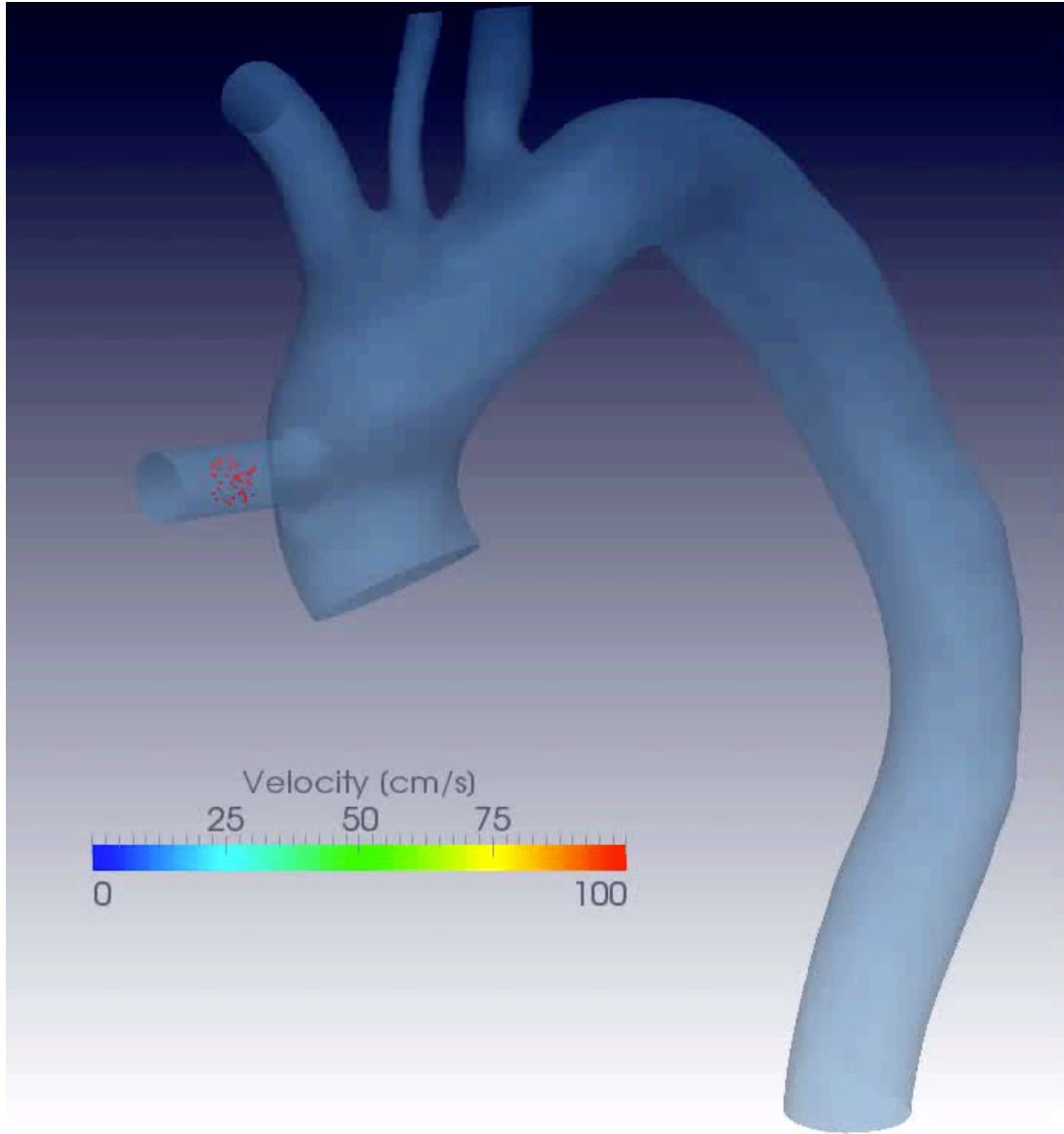
E. Faggiano and C. Vergara
in collaboration with Ospedale Borgo Trento, Verona.

Ventricular Assist Device (VAD)

- Trattamento di patologie cardiache terminali
- Assistenza ventricolare sin/dx
- Pazienti in attesa di trapianto cardiaco
- Pazienti non eleggibili per trapianto



Connessione Cannula VAD - Aorta

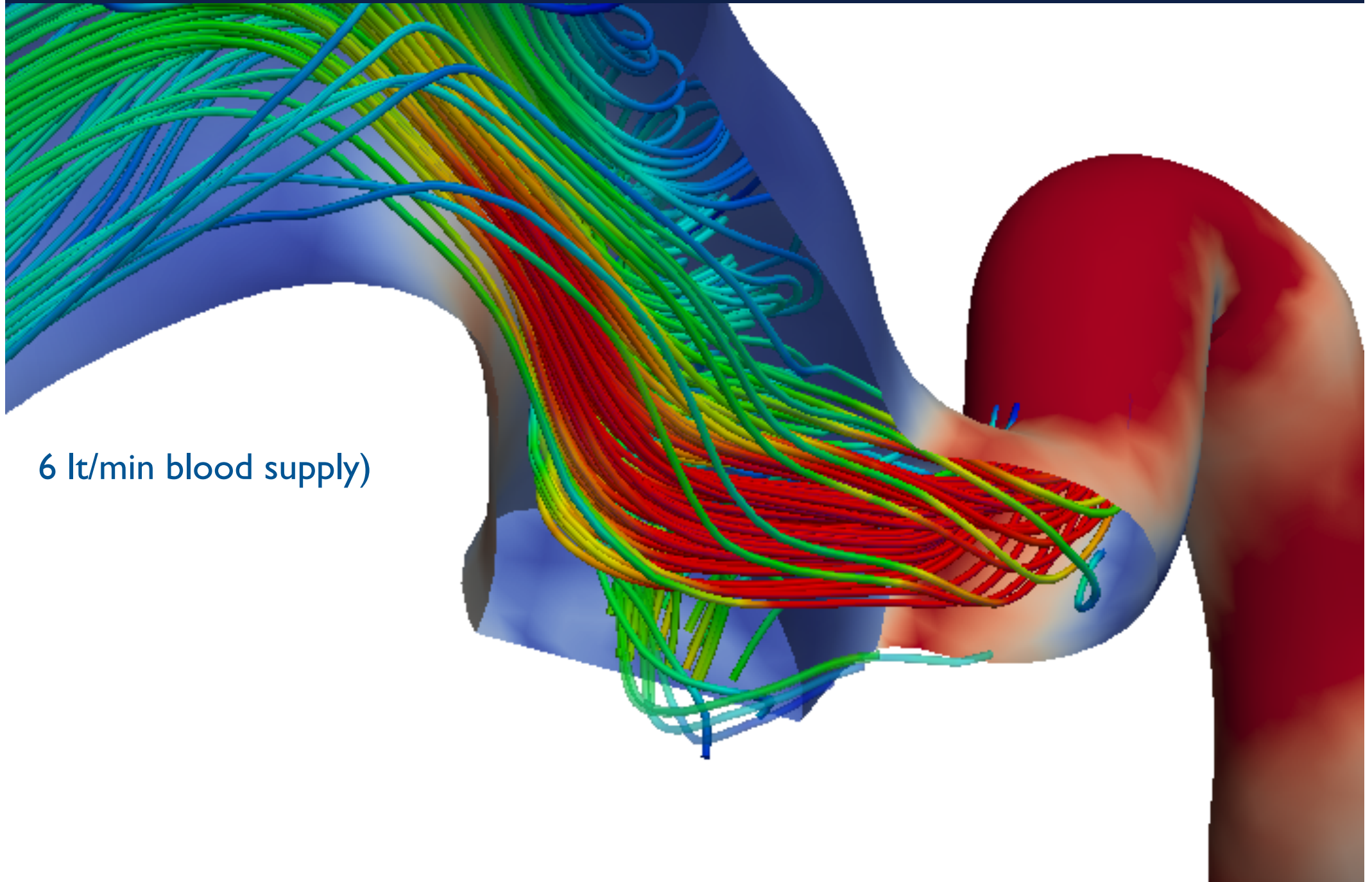


Time: 0.003 s.

LifeV

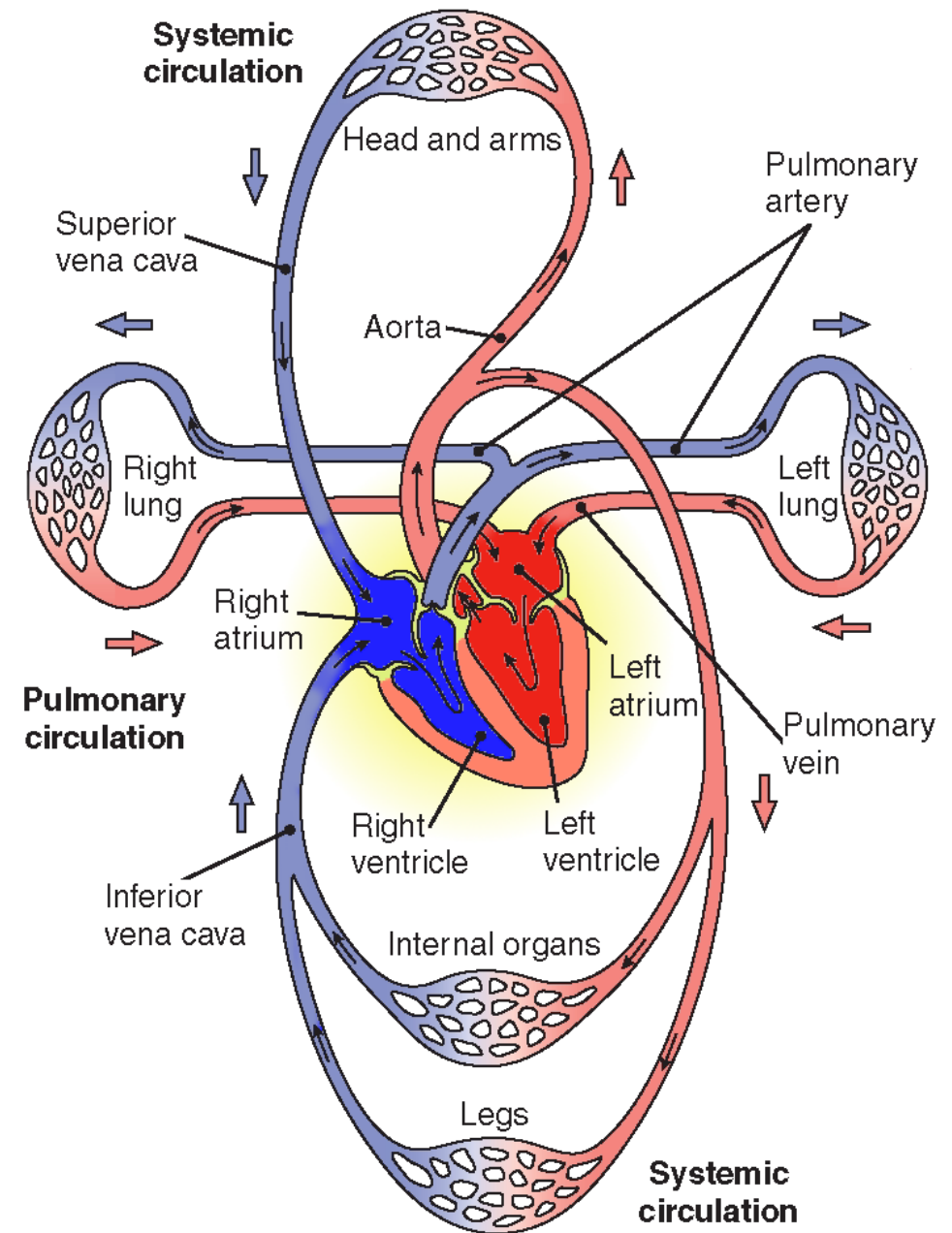
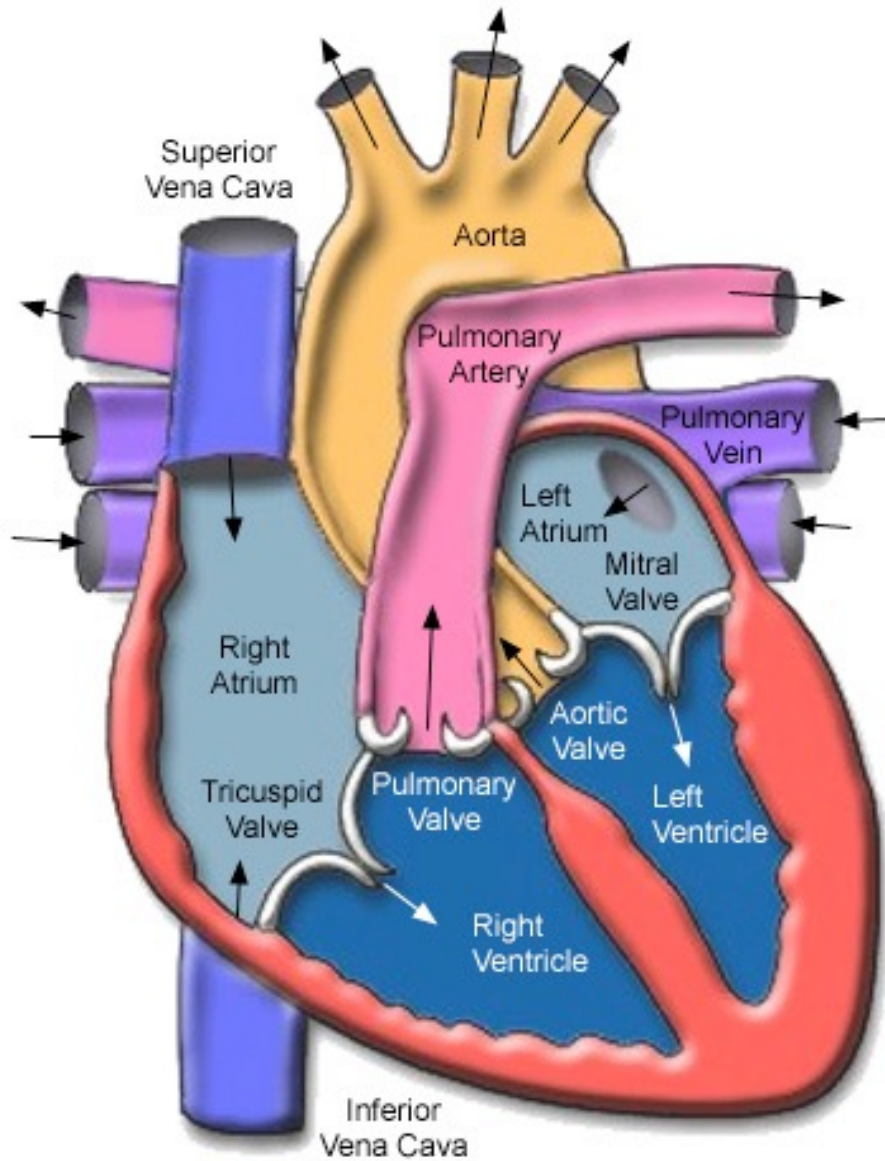
J. Bonnemain @ CMCS

Connessione Cannula VAD - Aorta



6 lt/min blood supply)

Il Cuore e la Circolazione Sanguigna



Alcuni dati relativi alle malattie cardiovascolari

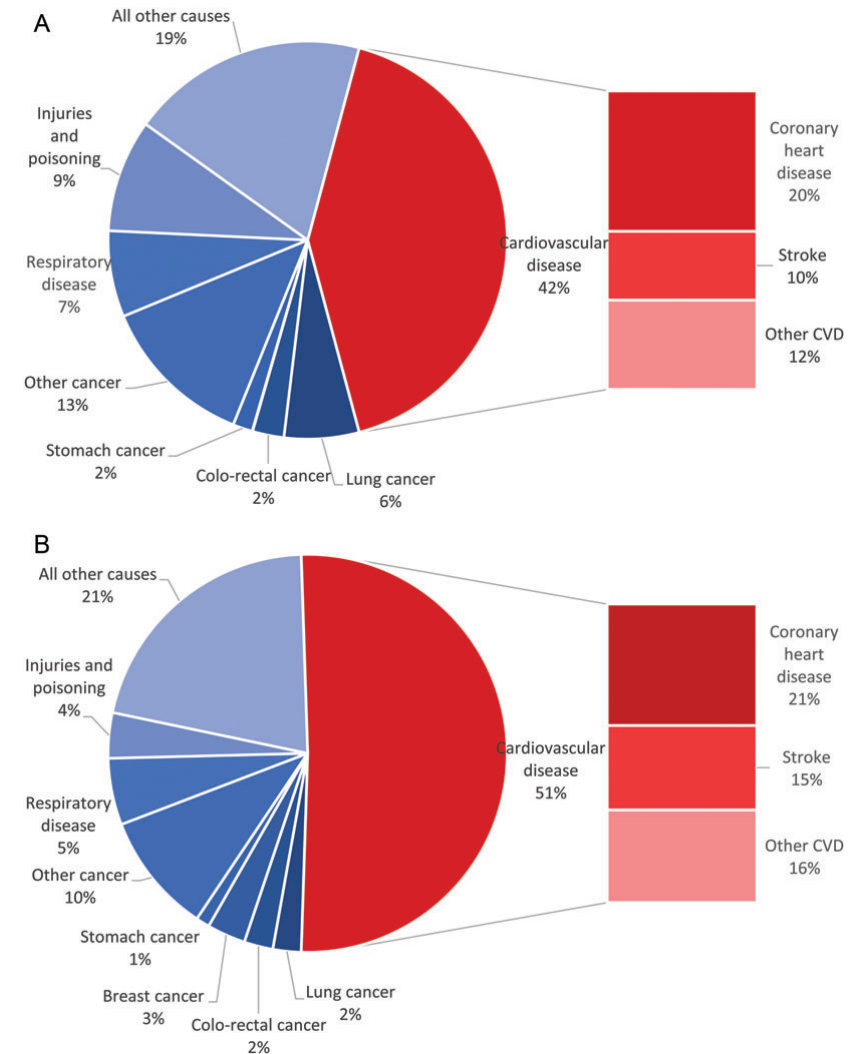
Cardiovascular disease (CVD) causes more than 45% of deaths across Europe.

The induced cost of CVD for EU economy is estimated at 196 billion a year:

- 54% healthcare costs
- 24% productivity losses
- 22% informal care of people with CVD.

Yet, 80% of acquired heart diseases and related stroke episodes are preventable.

Mathematics can play a great role in improving the current available knowledge of heart function and dysfunction.



Proportion of all deaths due to major causes in Europe, year 2014, among men (A) and women (B).
Source: World Health Organization Mortality Database.
In: Eur Heart J (2014), ehu299

Una potenza da campioni

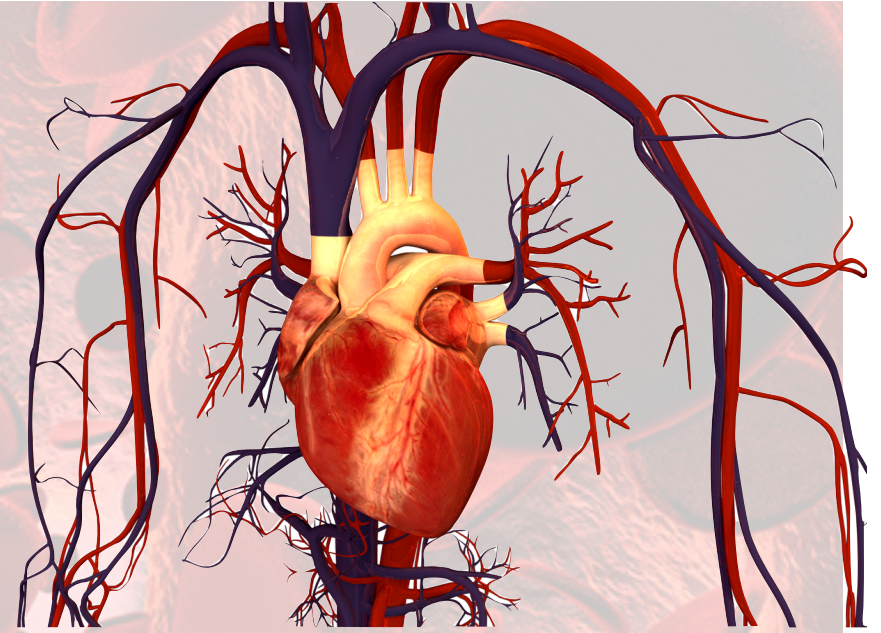
Nell'arco di una vita:

- **1.5 milioni di barili** di sangue per nutrire

- **75 trilioni di cellule** del nostro corpo;

- **2.5 miliardi di battiti**

- per ogni battito il cuore deve fare uno **sforzo** analogo a quello necessario a schiacciare una **tennis ball** con una mano



Un sincronismo perfetto

- ✓ Typical contraction pattern includes:
- ✓ 20-30% longitudinal shortening and
- ✓ 30-40% wall thickening at peak systole
- ✓ torsional behaviour (i.e. the mutual rotation of the cardiac base and apex)
- ✓ Rapid opening/closing of 4 very thin valve leaflets regulates blood flow in and out of chambers and prevents reverse flow.



Cuori strani



Zebrafish Il piccolo cuore dello zebrafish (*Danio rerio*) è capace di rigenerarsi in soli due mesi, dopo un danno che interessa il 20% del suo tessuto. Il cuore di questo pesce è allo studio nella speranza di trovare un giorno un modo per risanare le parti danneggiate dei cuori umani.

Cuori strani



Seppia I cefalopodi (ossia polpi, calamari e seppie), hanno tre cuori: due branchiali, che pompano il sangue alle branchie, per ossigenarlo. E uno detto sistemico, al centro del corpo che pompa il sangue ossigenato al resto dell'organismo. il sangue di questi molluschi è blu, perché ricco di rame.

Cuori strani



Scarafaggio Ben 13 ventricoli distribuiti su uno stretto condotto dorsale: il lavoro non grava su un'unica camera cardiaca, ma è ampiamente distribuito. Il sangue fluisce direttamente all'interno dei tessuti e non attraverso vasi. Questi insetti respirano attraverso aperture situate lungo tutto il corpo. Il sangue (emolinfa) non deve trasportare ossigeno, ma nutrienti. Il cuore non è dotato di battito proprio, ma si contrae o espande per effetto delle contrazioni dei muscoli circostanti.

Cuori strani



Rana Il cuore delle rane comprende tre camere: due atri e un solo ventricolo. Il sangue venoso e quello arterioso convogliano nell'unico ventricolo, ma sono tenuti separati da strutture anatomiche dette trabecole. Poiché le rane possono ossigenare il sangue anche attraverso la pelle, il sangue non ossigenato arriva all'atrio destro, passa per il ventricolo e da qui è pompato ai polmoni e alla pelle. Di nuovo ossigenato, arriva all'atrio sinistro, e attraverso il ventricolo viene pompato al resto degli organi. Nella foto, gli organi interni di una rana trasparente sudamericana (*Cochranella antisthenes*)

Cuori strani



Lombrico "Verme senza cuore" non è un'espressione così lontana dal vero. I lombrichi di terra di cuori ne hanno cinque, ma sono pseudocuori organizzati intorno al suo esofago, che non pompano sangue direttamente, ma aiutano a contrarre i vasi sanguigni per favorire la circolazione.

Cuori strani

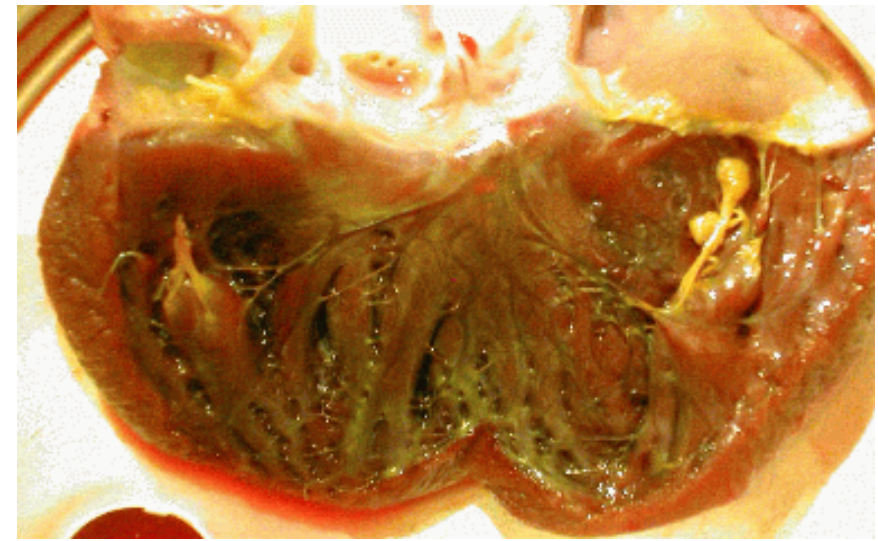
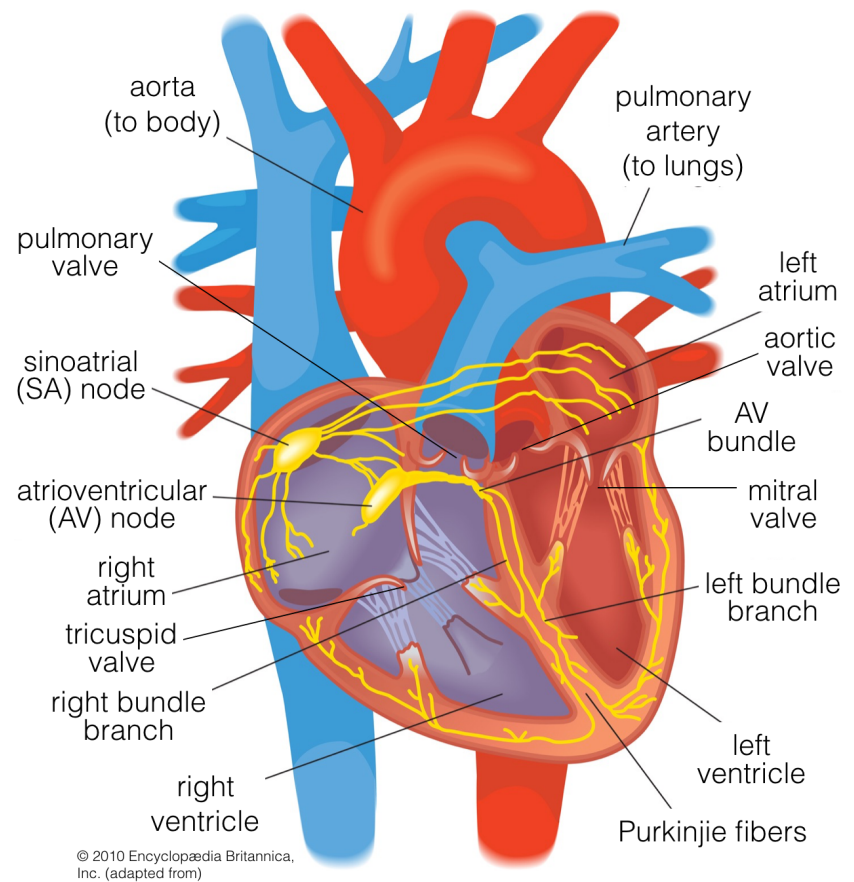


Balena bianca Il cuore della balenottera azzurra è grande quanto un'utilitaria e pesa fino a 550-600 kg (qui sopra un "modellino" in dimensioni reali) e può pompare fino a 10 tonnellate di sangue nel sistema circolatorio del cetaceo

Una scintilla che ci dà la vita

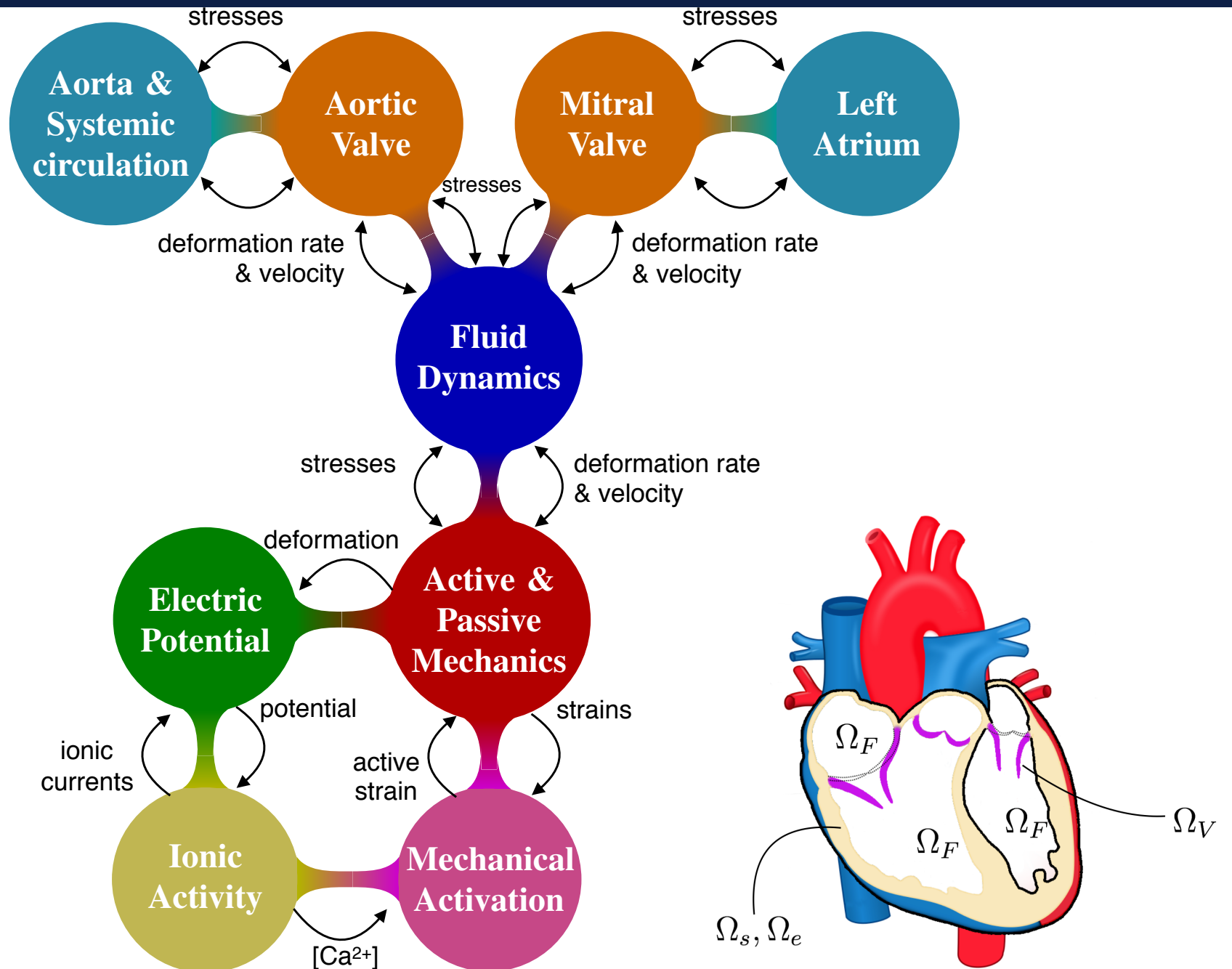
- The electrical signal starts in the **sino-atrial node**, where pacemaker cells auto-regulate their electrical activity. The excitation spreads through the atria which contract and push the blood to the ventricles.
- The signal reaches the **atrio-ventricular node**.

From there the signal reaches the **Purkinje fibers** where it travels at 2 m/s. These cells run throughout the myocardium and connect with the endocardium, but are electrically isolated.

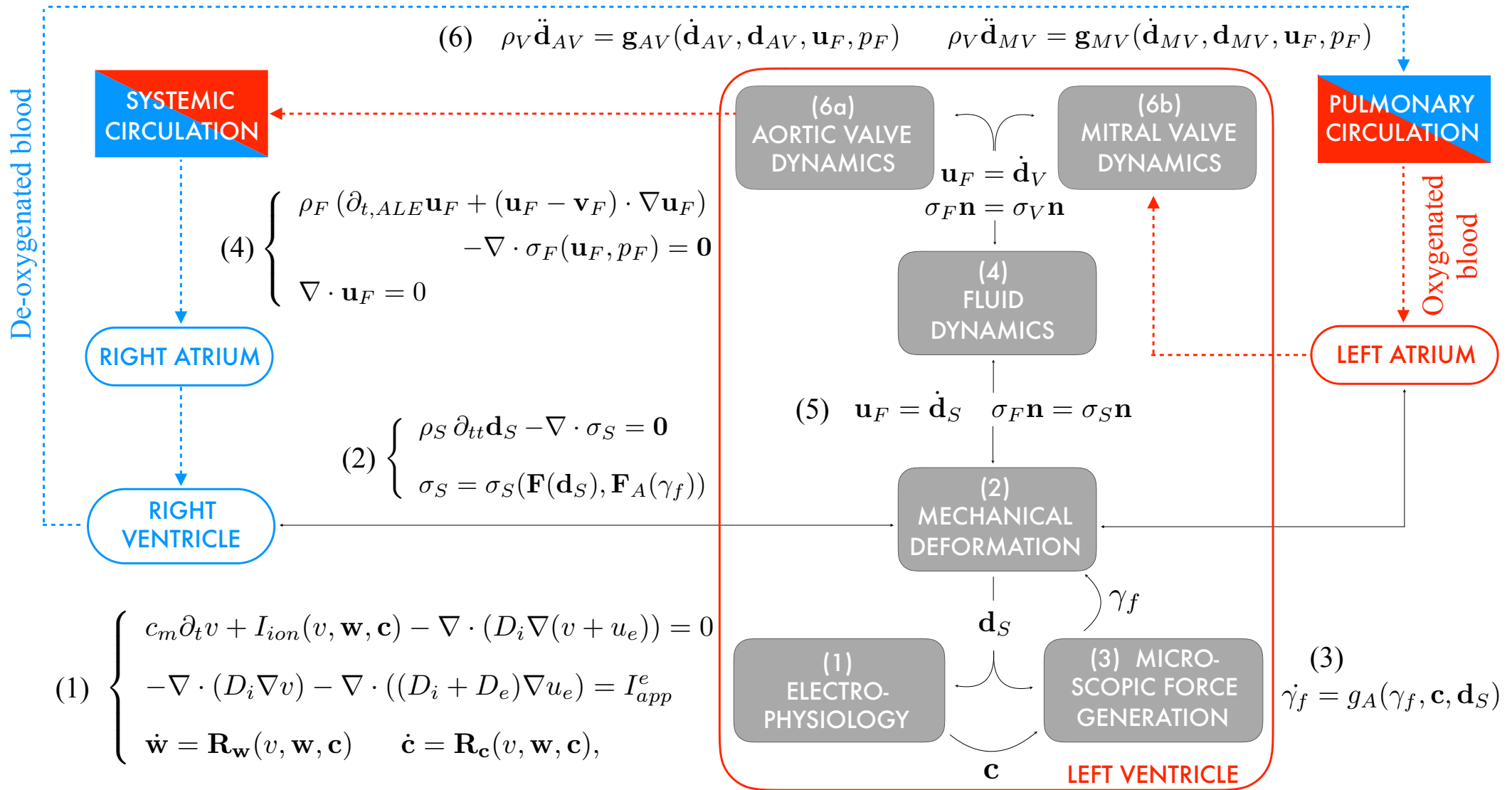


- During the plateau phase (interval between depolarisation and repolarisation) **cardiac-cells contract**.

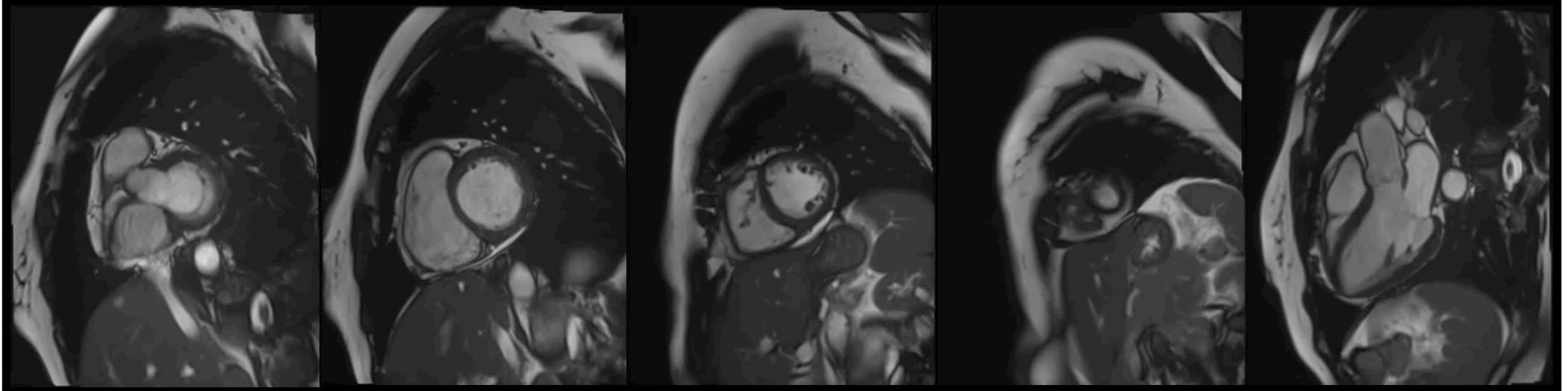
“Computational thinking”



Un modello mostruosamente complesso

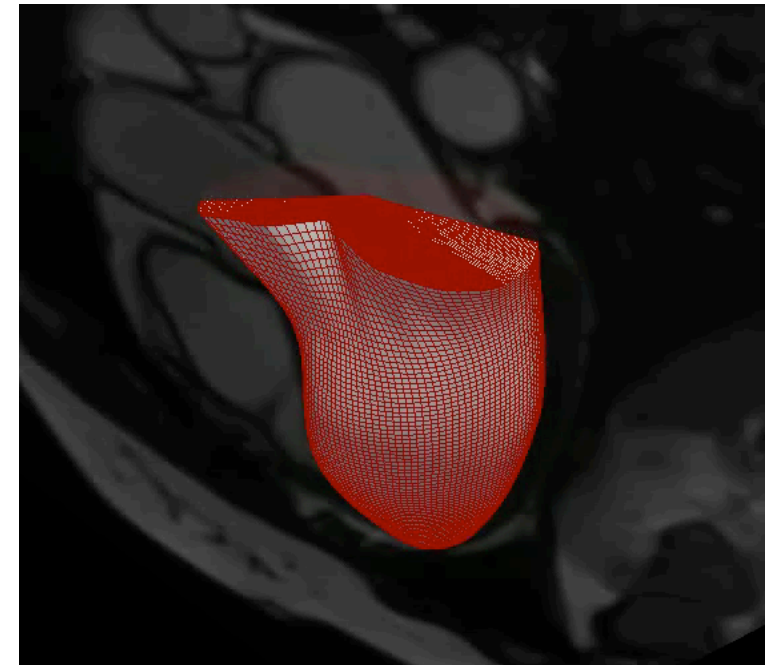
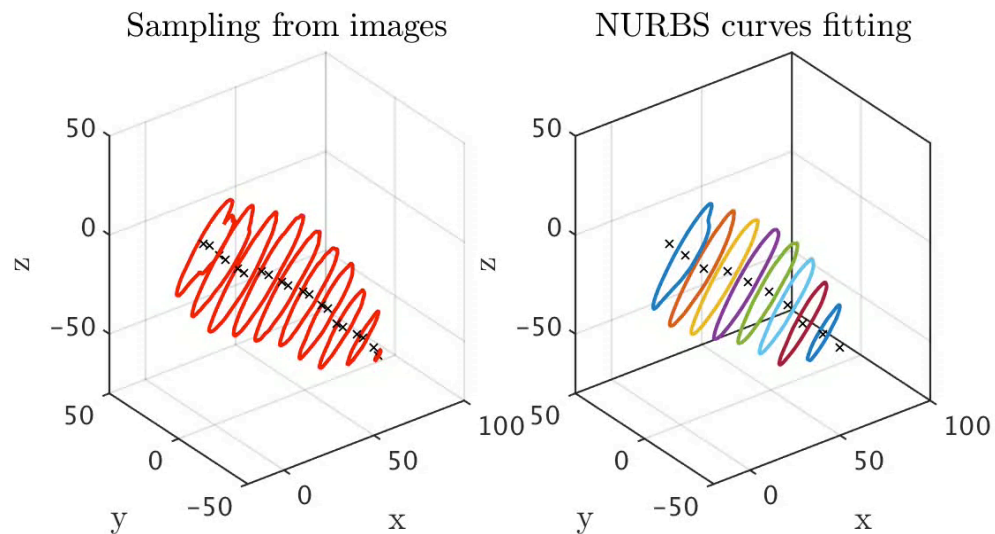


From clinical imaging to mathematical modelling

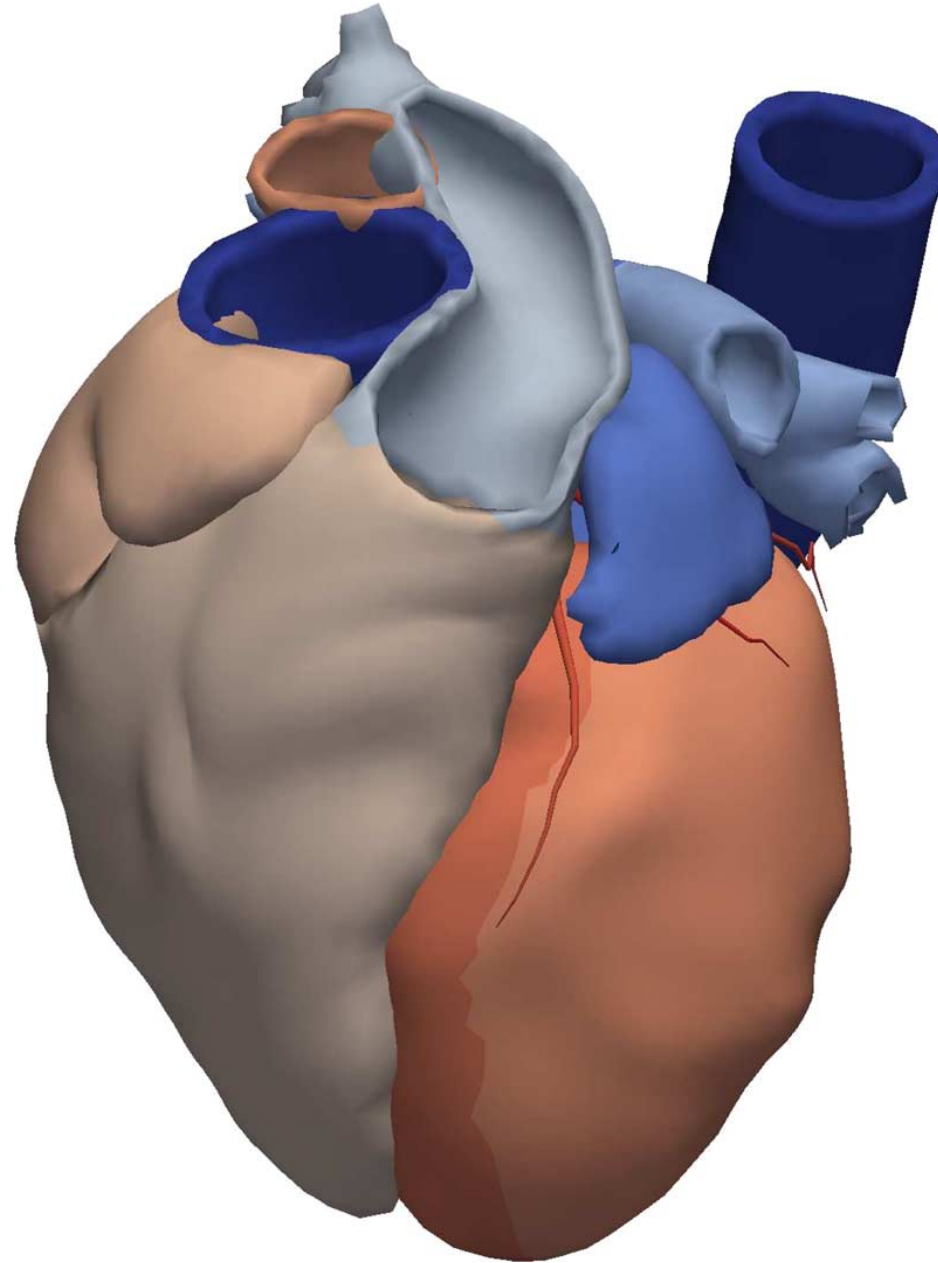


Images provided by Prof. J. Schwitter and Dr. P. Masci (CHUV)
Shape reconstruction: A. Tagliabue, cmcs@EPFL

NURBS shape reconstruction

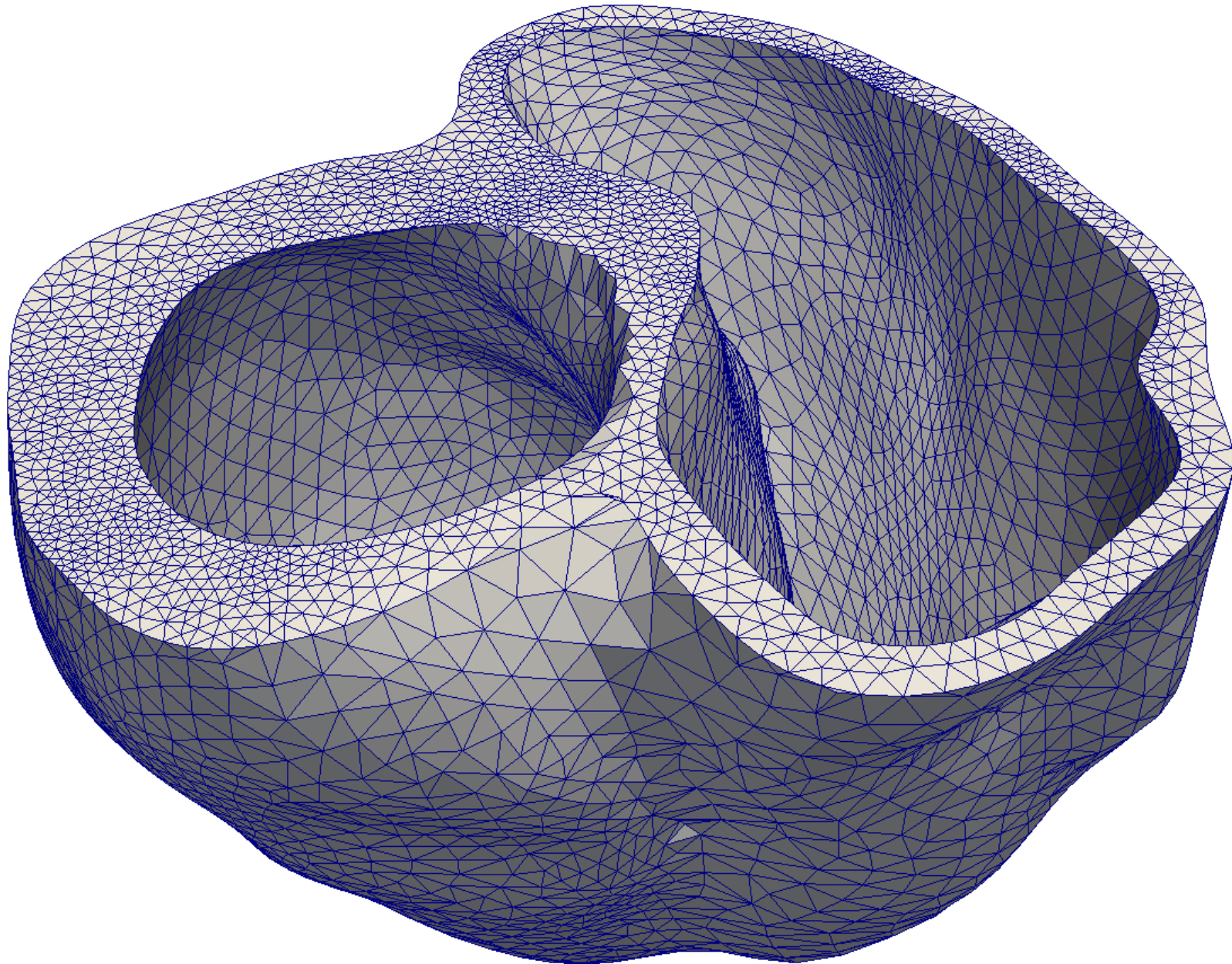


From clinical imaging to heart shape

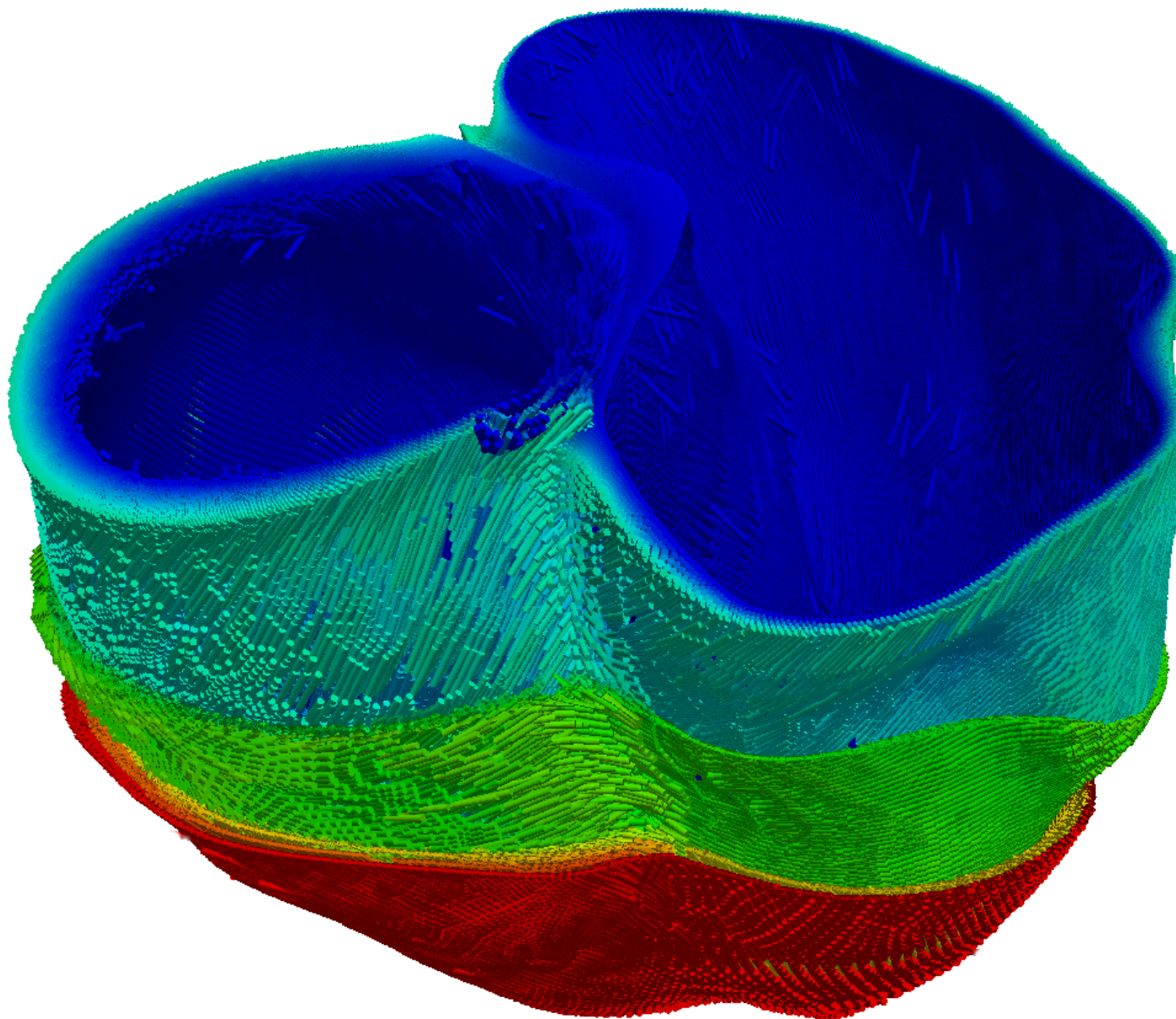


C.Hoogendoorn et Al, IEEE Transaction on Medical Imaging (32) 1, 2013

From shape to finite element grid



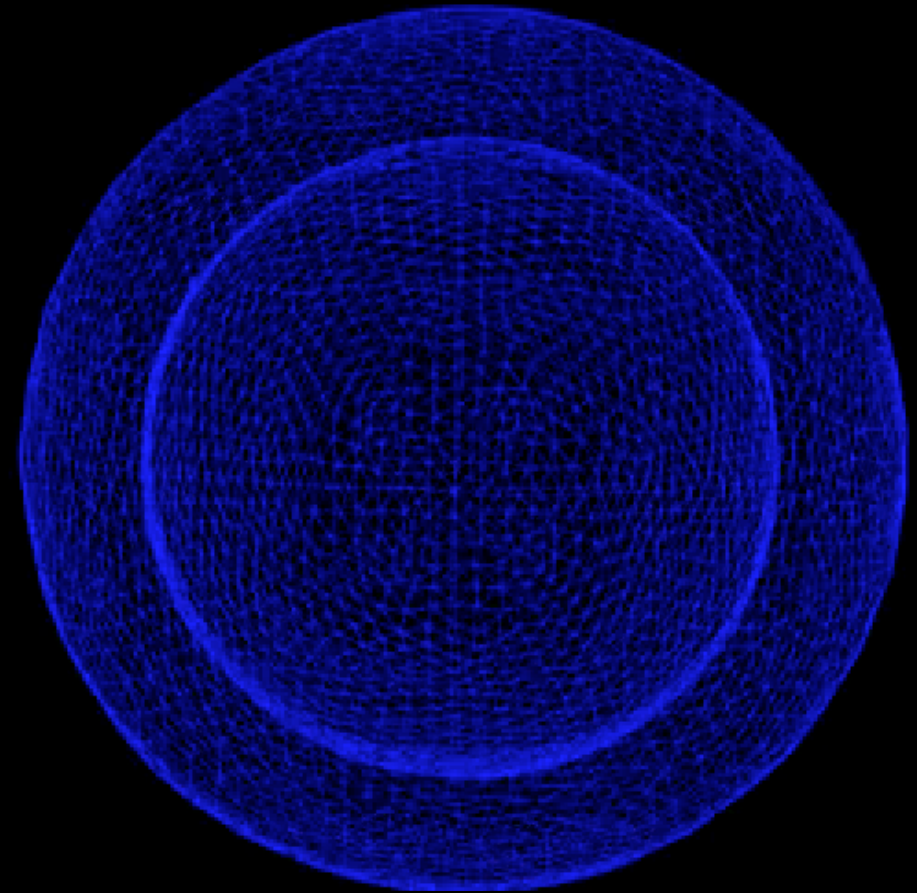
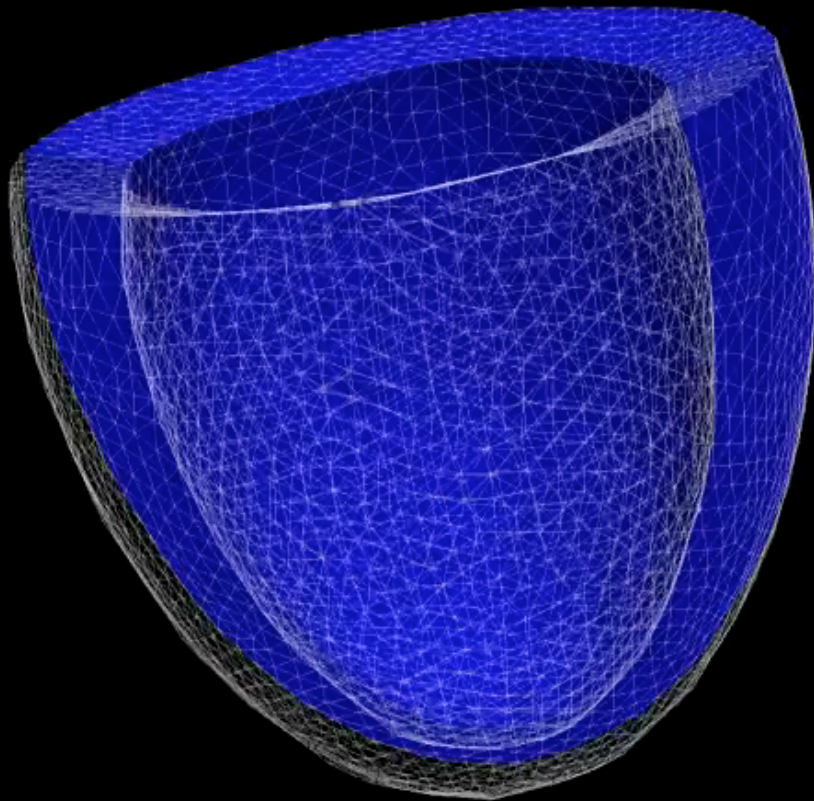
Reconstruction of missing information: myocardium fibers



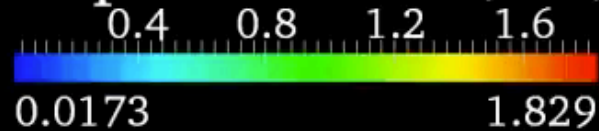
Endocardium Epicardium
Transmural depth

(L.Azzolin and A.Gerbi, cmcs@EPFL)

Electromechanical contraction of the idealized left ventricle (apex fixed for graphical purpose only)



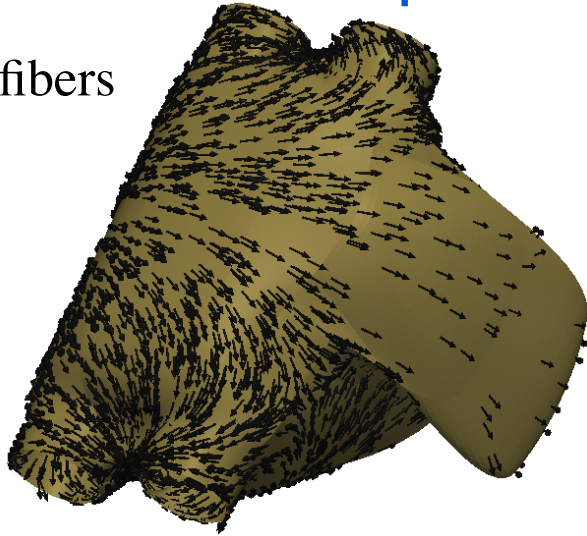
Displacement (cm)



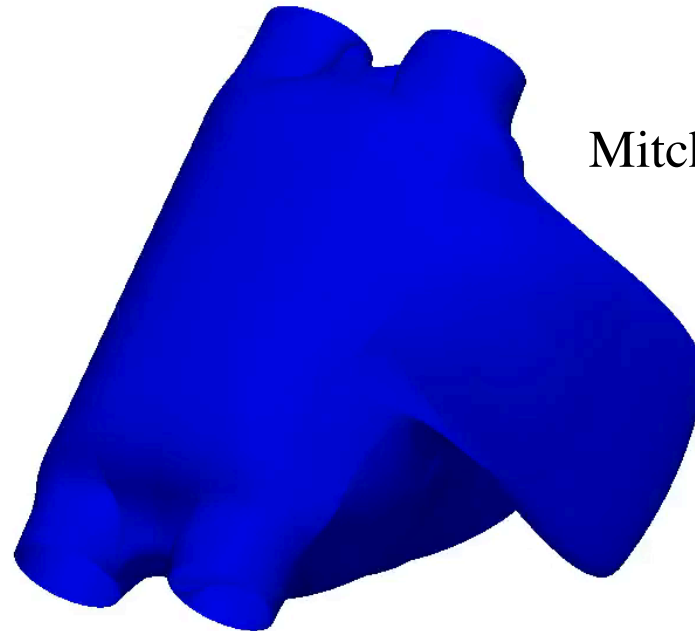
Parameters used: $a=0.496$ kPa, $b=7.209$, $a_f=15.193$ kPa, $b_f=20.417$, $a_s = 3.283$ kPa, $b_s = 11.176$, $a_{fs} = 0.662$ kPa, $b_{fs} = 9.466$. Basal cutplane constrained in z-direction, uniform Robin condition elsewhere for external tissue support.

IGA for the Monodomain equation: propagation of transmembrane potential on human left atrium (LA)

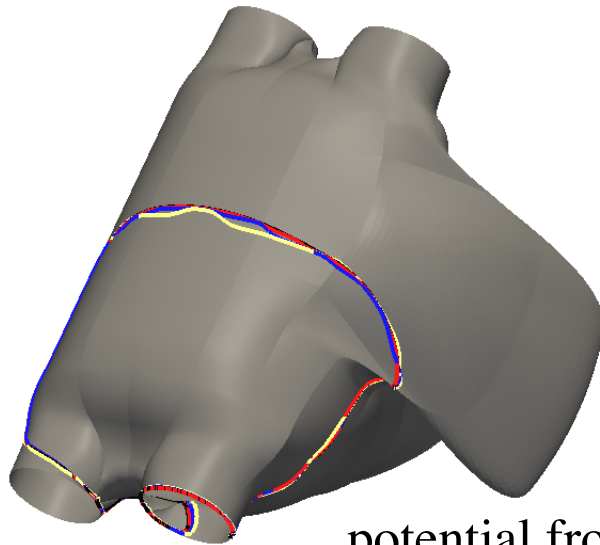
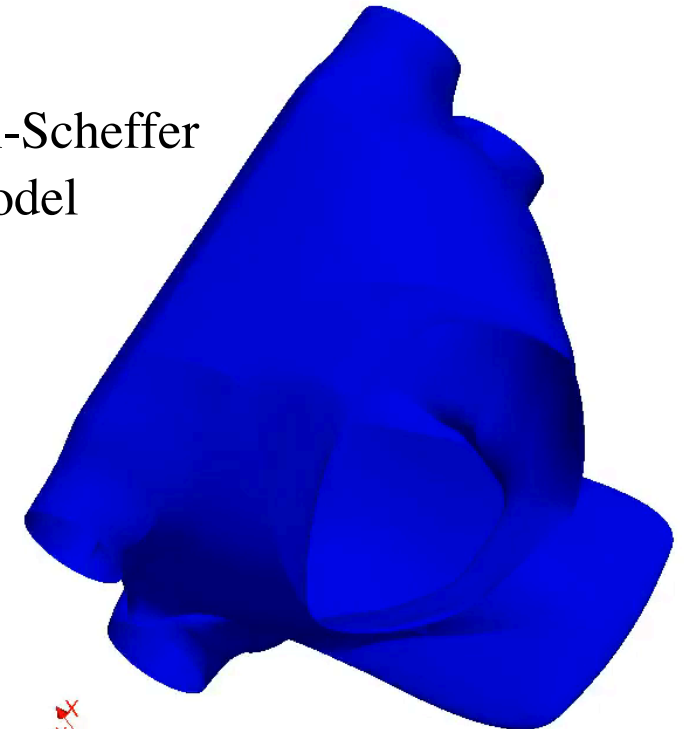
fibers



IGA with **high order continuous** NURBS basis functions on the LA surface controls **grid dispersion**



Mitchell-Scheffer
model



potential fronts for
different meshes

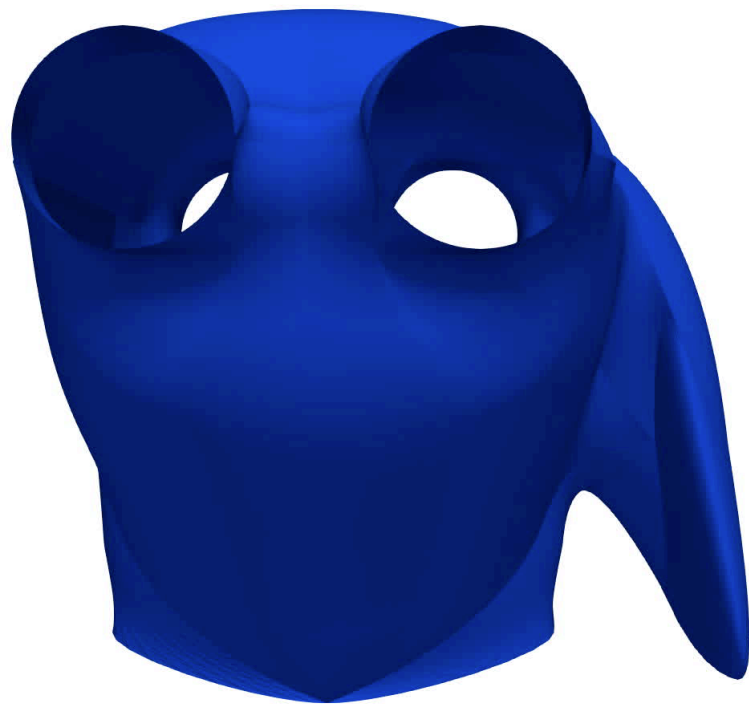


[A.Patelli, L.Dede', T.Lassila, A.Bartezzaghi and A.Q., 2015]

Simulating Atrial Tachycardia

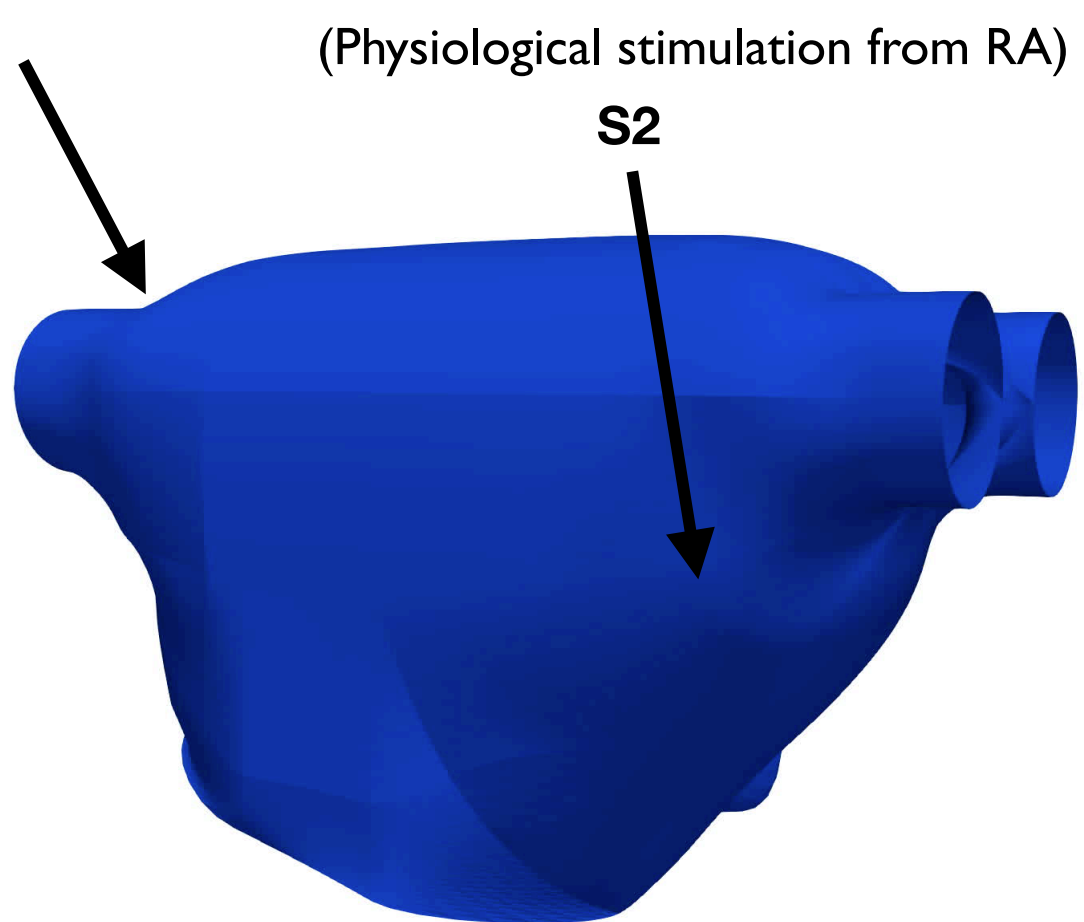
Eight re-entry induced by S1-S2 stimulation on the LA in a more realistic case

S1
(Ectopic stimulation at Pulmonary Veins)



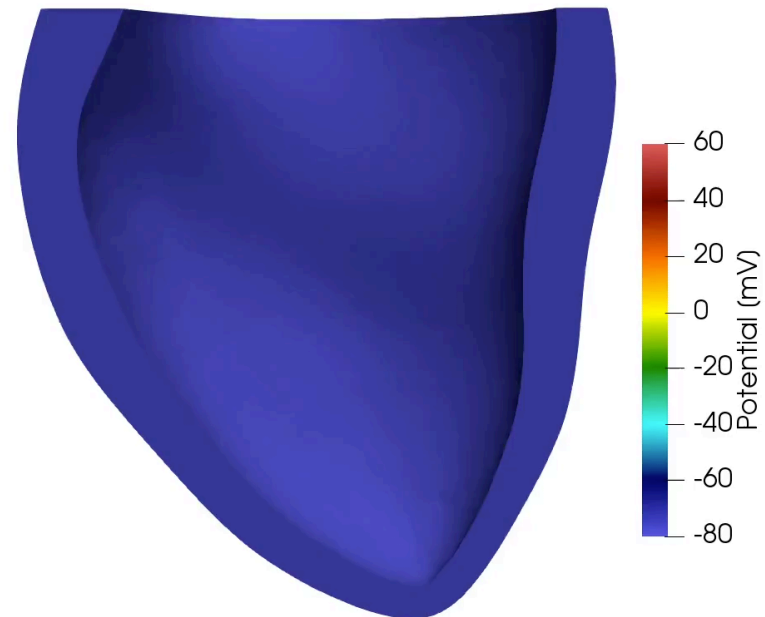
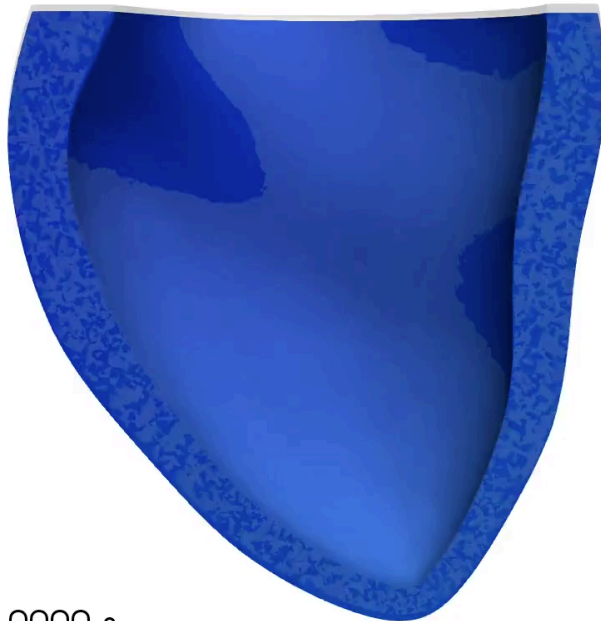
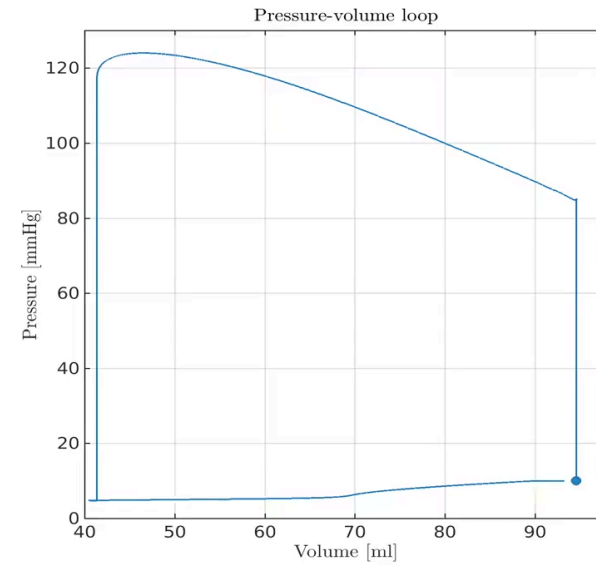
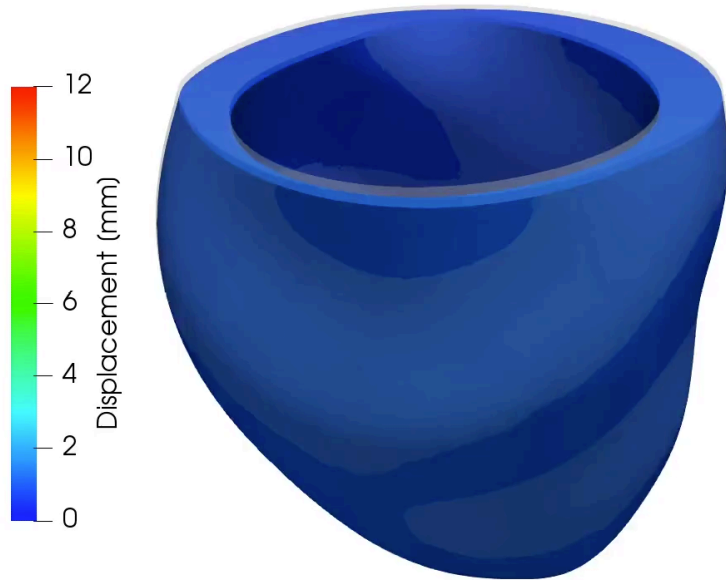
Transmembrane potential - mV

(Physiological stimulation from RA)



[S. Fresca, MOX, Politecnico di Milano]

Simulation of a heartbeat on a subject specific LV



Time: 0.0000 s

Simulating Electromechanics with Ischemic Necrosis

We (speculatively) assume a sudden onset of **ischemic necrosis** in a (relatively) large portion of the LV tissue.

We simulate the LV function for the full **PV loop** by means of the **electromechanics** solver.

The electrophysiology and active mechanics models are “switched—off” in the necrotic region.

Feedback, growth and remodeling effects are not considered.

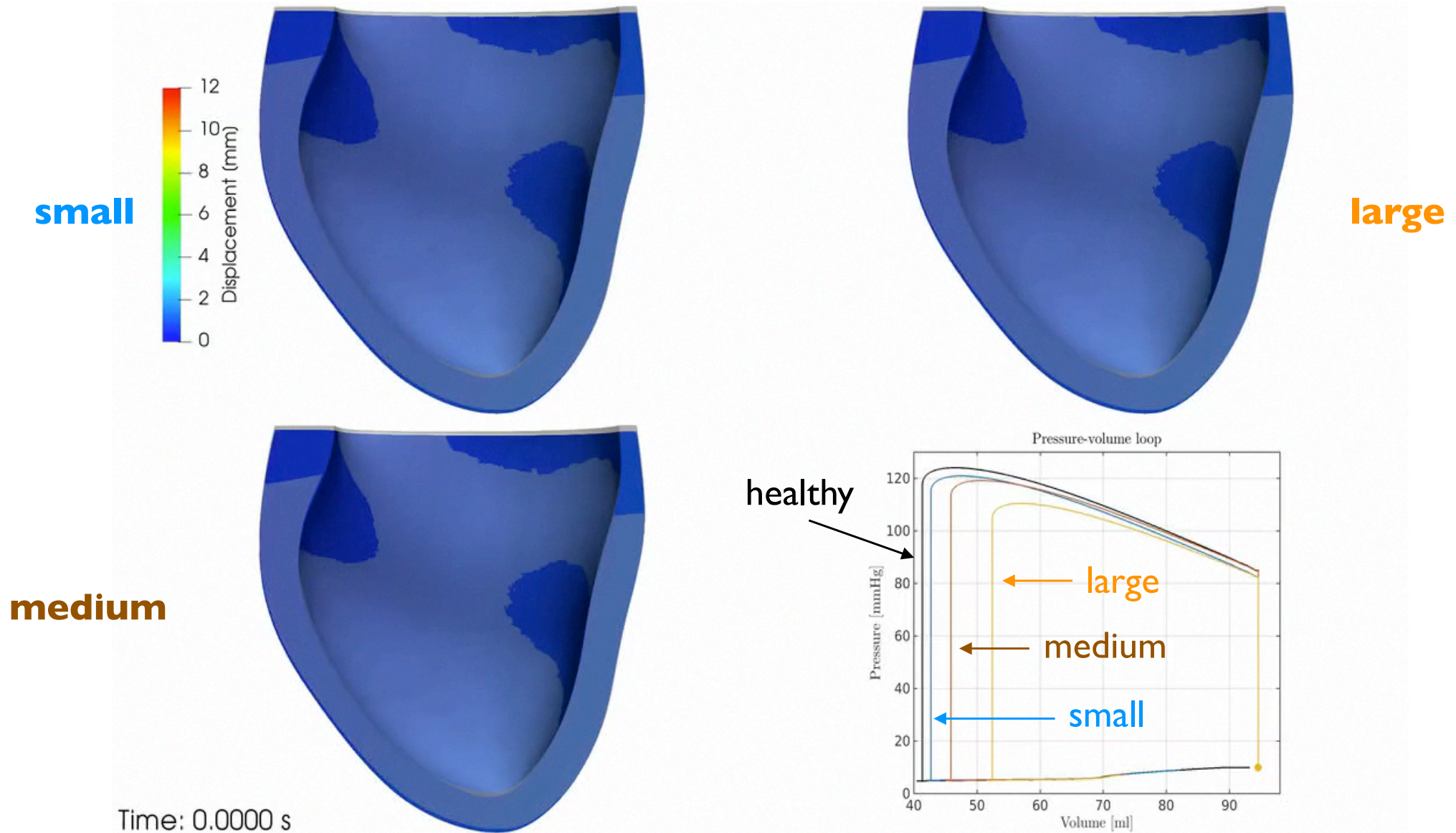


LV deformation

[A. Gerbi, PhD thesis, EPFL 2018]

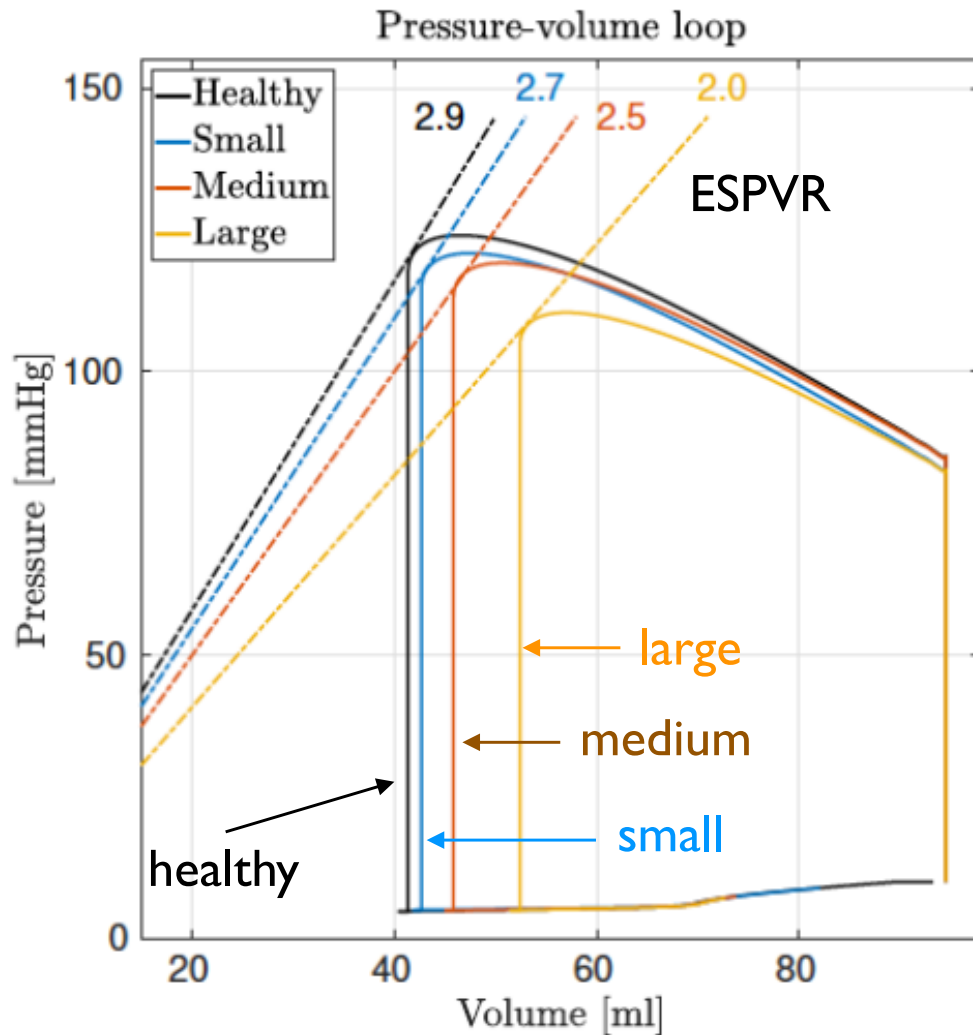
Simulating Electromechanics with Ischemic Necrosis

We reproduce the PV loops for studying **scenarios** with different **sizes** of the **necrotic** regions (“small”, “medium”, and “large”).



Simulating Electromechanics with Ischemic Necrosis

Impact of the (sudden) **ischemic necrosis** on LV indicators.



	Healthy	Small	Medium	Large
EDV [ml]	95	95	95	95
ESV [ml]	41	43	46	52
SV [ml]	54	52	49	43
LVEF	57%	55%	52%	45%
ESPVR [mmHg/ml]	2.9	2.7	2.5	2.0

The increment of the ischemic region size decreases:

- the overall **inotropic state** of the LV (i.e. the LV contractility);
- the **Stroke Volume (SV)**;
- the **Ejection Fraction (LVEF)**.

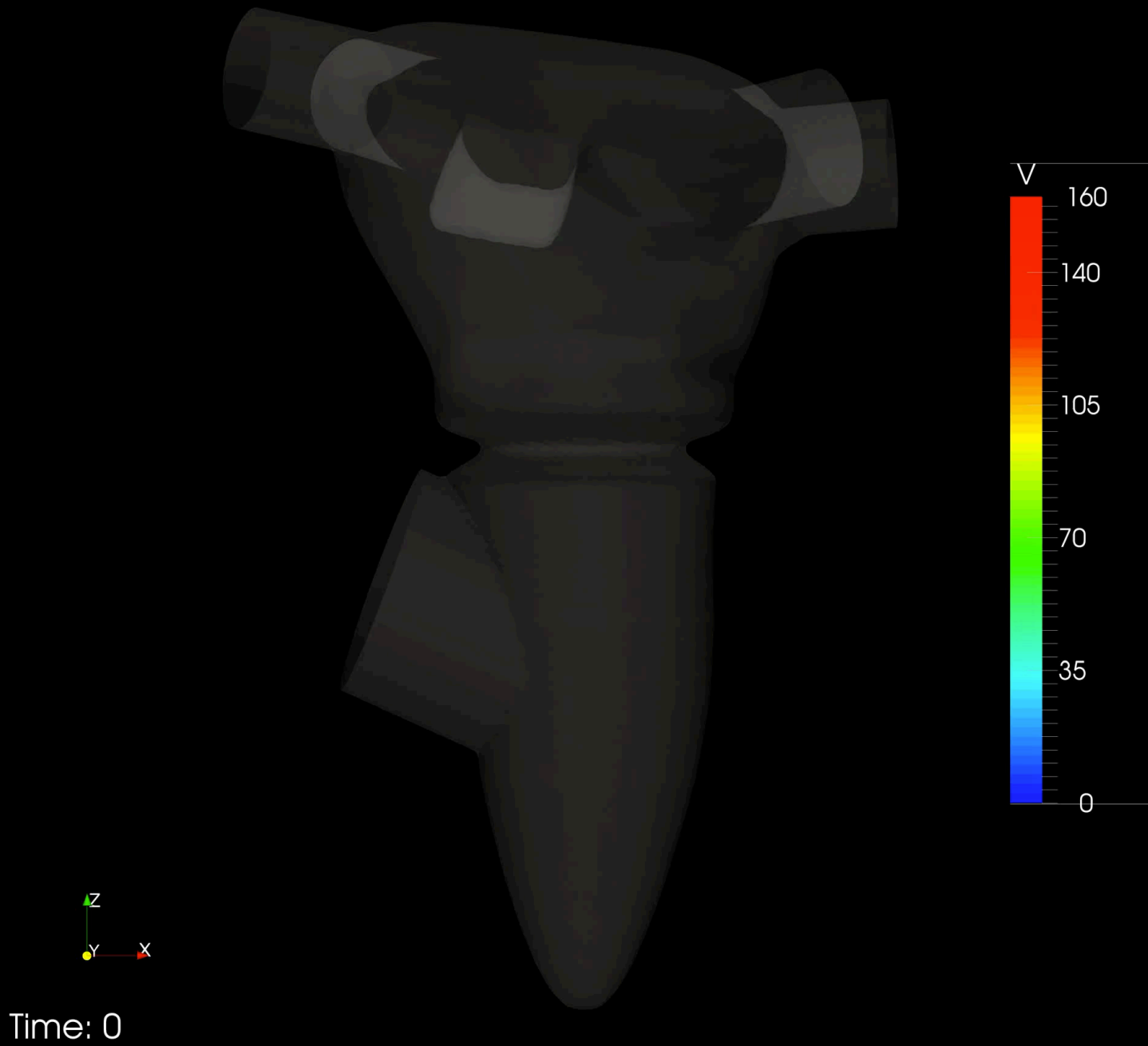
The **End Systolic Pressure-Volume Relationship (ESPVR)** is a clinical indicator of the **inotropic state** of the LV.

[A. Gerbi, PhD thesis, EPFL 2018]

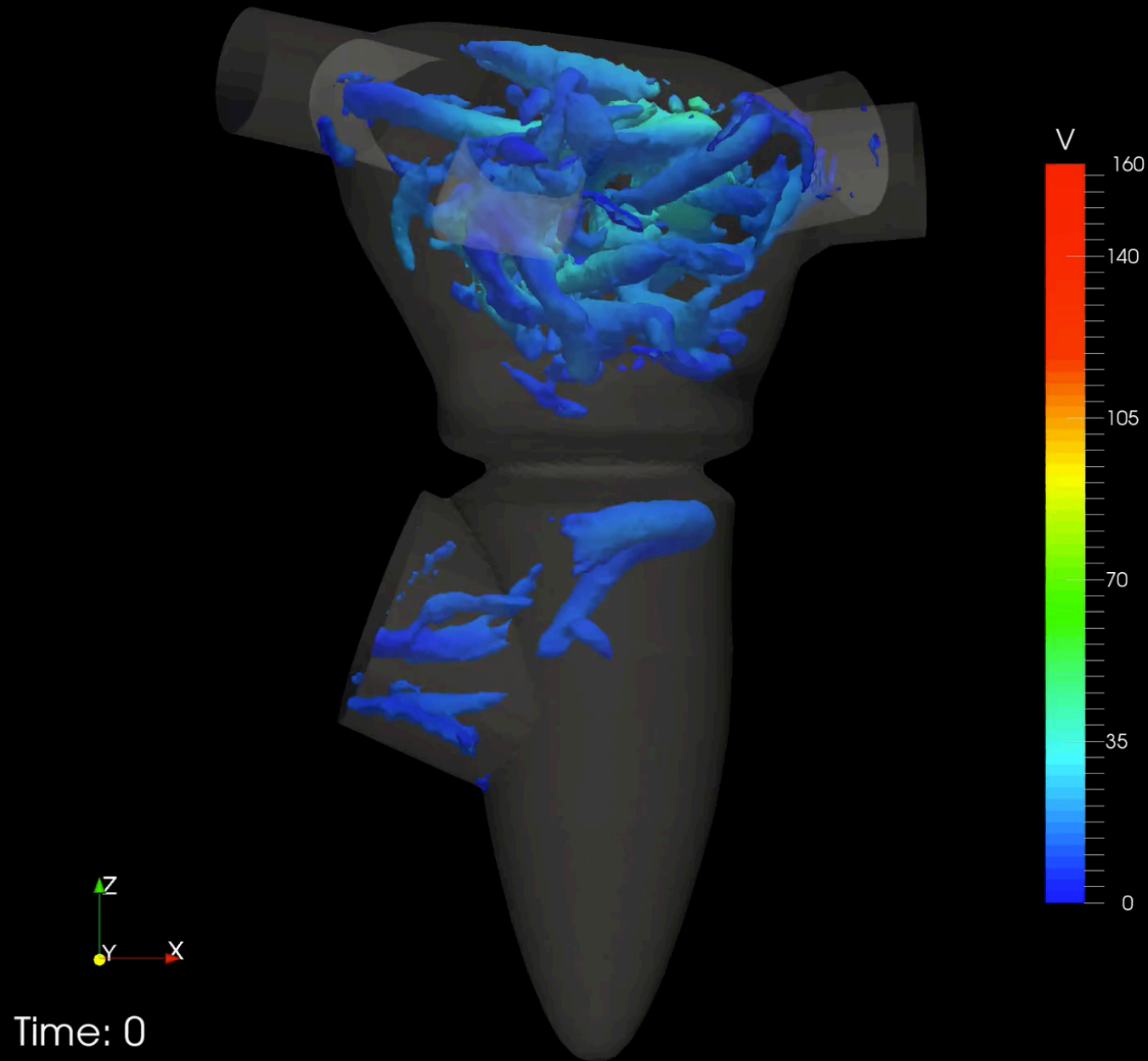
Il modello elettromeccanico: simulazione della propagazione elettrica nel caso di una patologia di tipo LBBB

*Active strain
electromechanics
Reentrant waves*

Atrioventricular flow (left heart)



Atrioventricular flow (left heart): Q criterion



Simulazione della dinamica della valvola aortica

Velocity, pressure on the leaflets, pathlines, & particles residency time

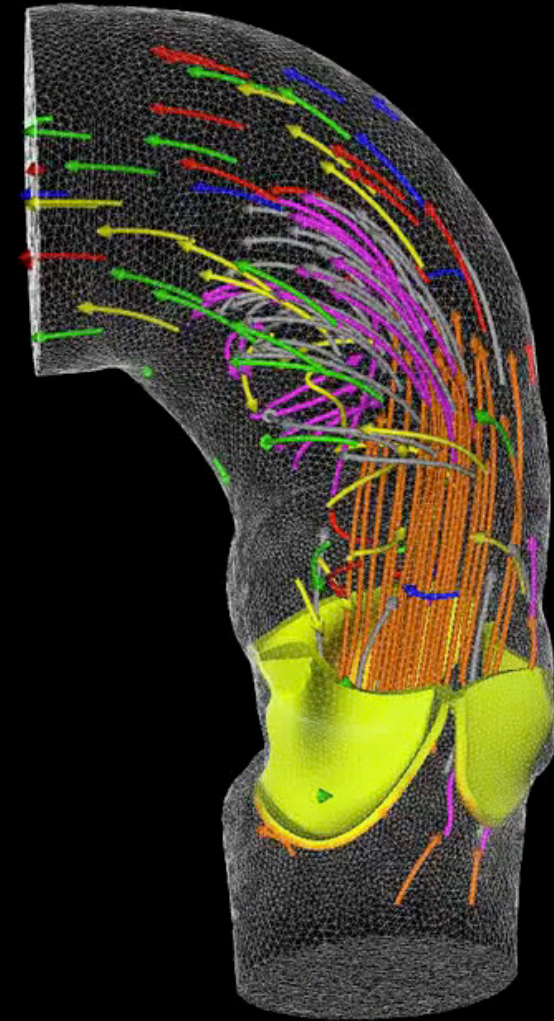
Patient-specific numerical simulation
of the aortic valve

M. Fedele^{1 2},

E. Faggiano², L. Dedè¹, S. Deparis¹, D. Forti¹, A. Laadhari¹, A. Quarteroni^{1 2}

Scientific Visualization by J. M. Favre³

¹ EPFL Lausanne, ² Politecnico di Milano, ³ CSCS

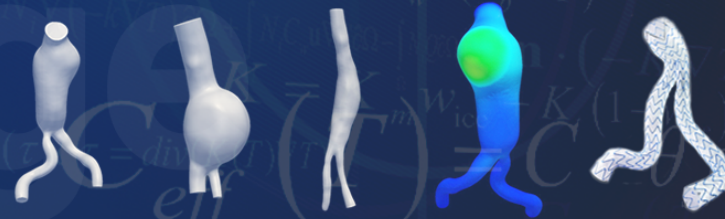


VMS-SUPG stabilization, P1-P1 FEM, BDF2

aXurge

THE ULTIMATE PLATFORM FOR VASCULAR SPECIALISTS

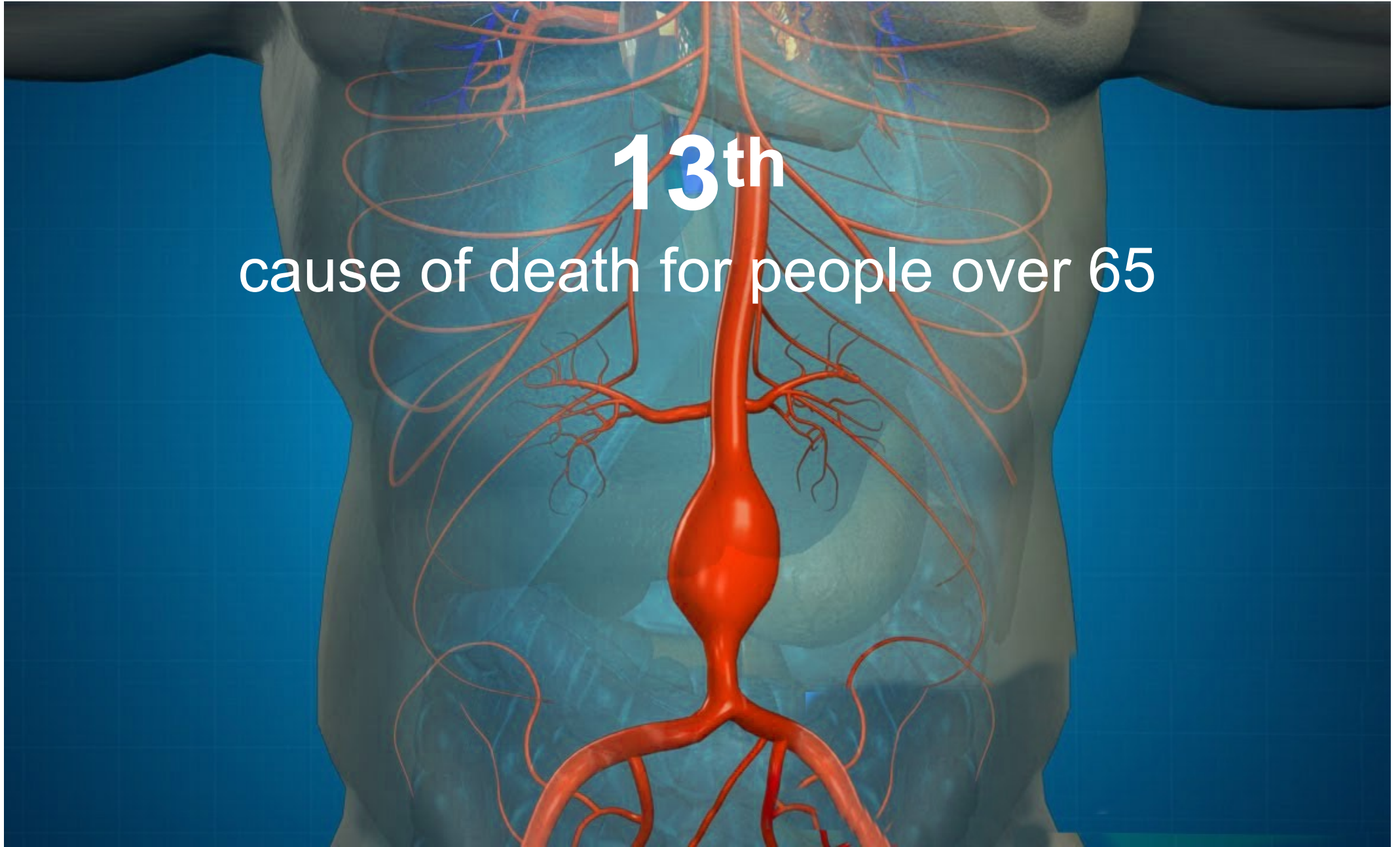
ABDOMINAL AORTIC ANEURYSM




Abdominal Aortic Aneurysm (AAA)

13th

cause of death for people over 65



Social impact



Within **20 years**
100 million AAA cases

The vascular specialist issues

Partial
measurements

Prosthesis
configuration



Limited time
for decision

The solution

aXurge

Platform for AAA treatment



Numerical simulations for AAA

NUMERICAL MODEL SETUP - DISCRETIZATION

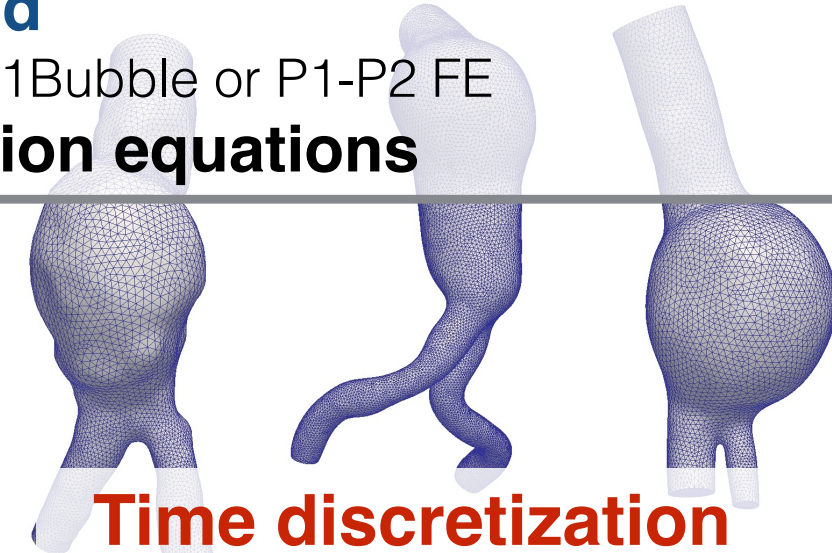
Fluid

P1-P1Bubble or P1-P2 FE
million equations

Finite Element Method

Structure

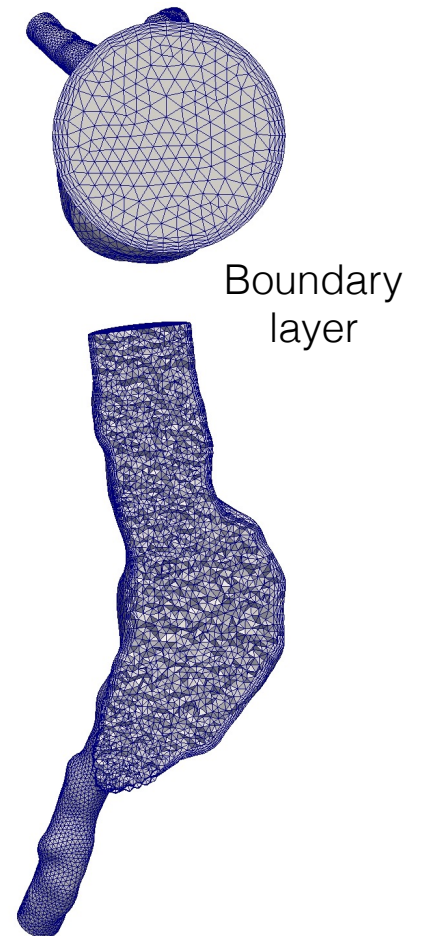
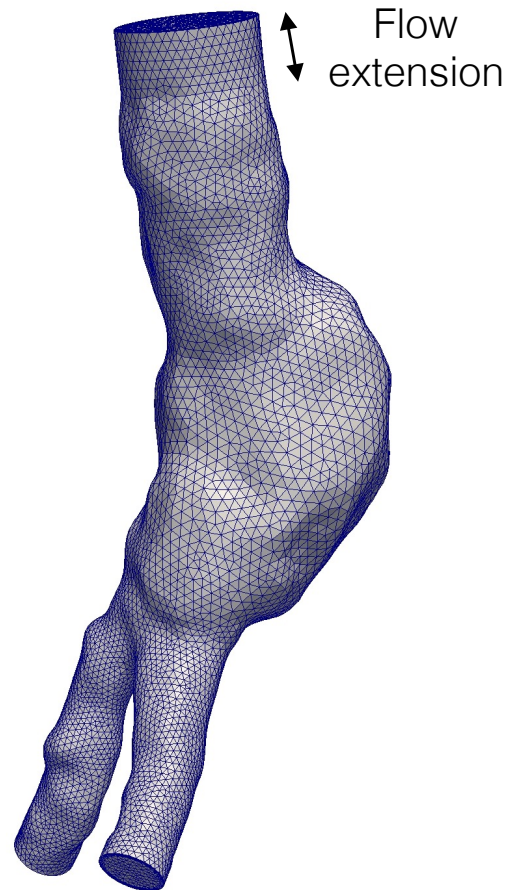
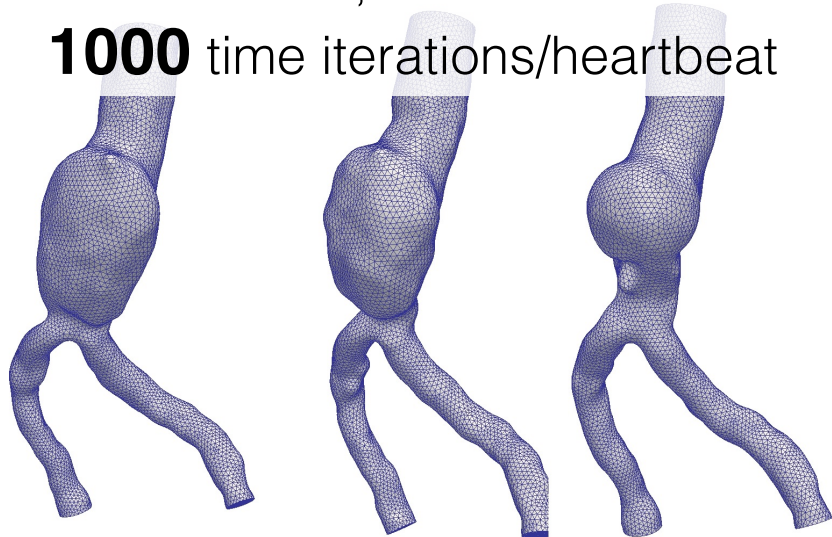
P2 Finite Elements
hundred thousand equations



Time discretization

BDF2, $dt = 1e-3$

1000 time iterations/heartbeat



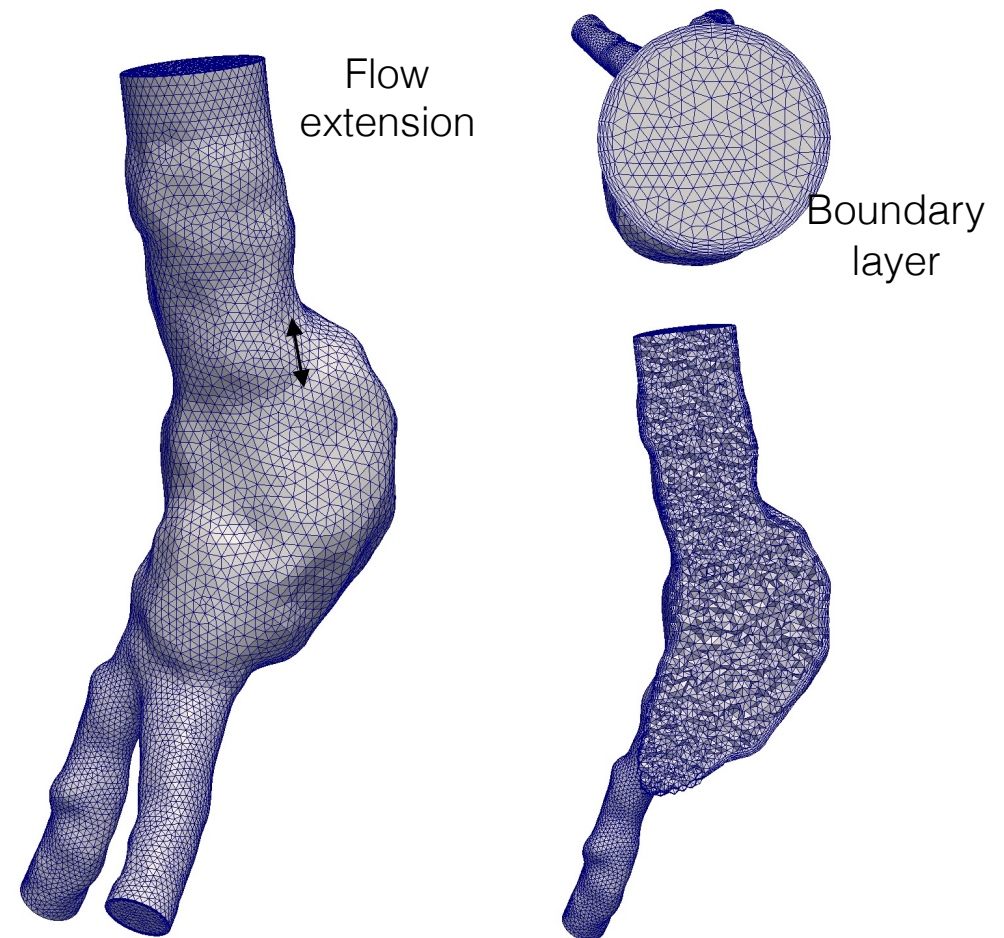
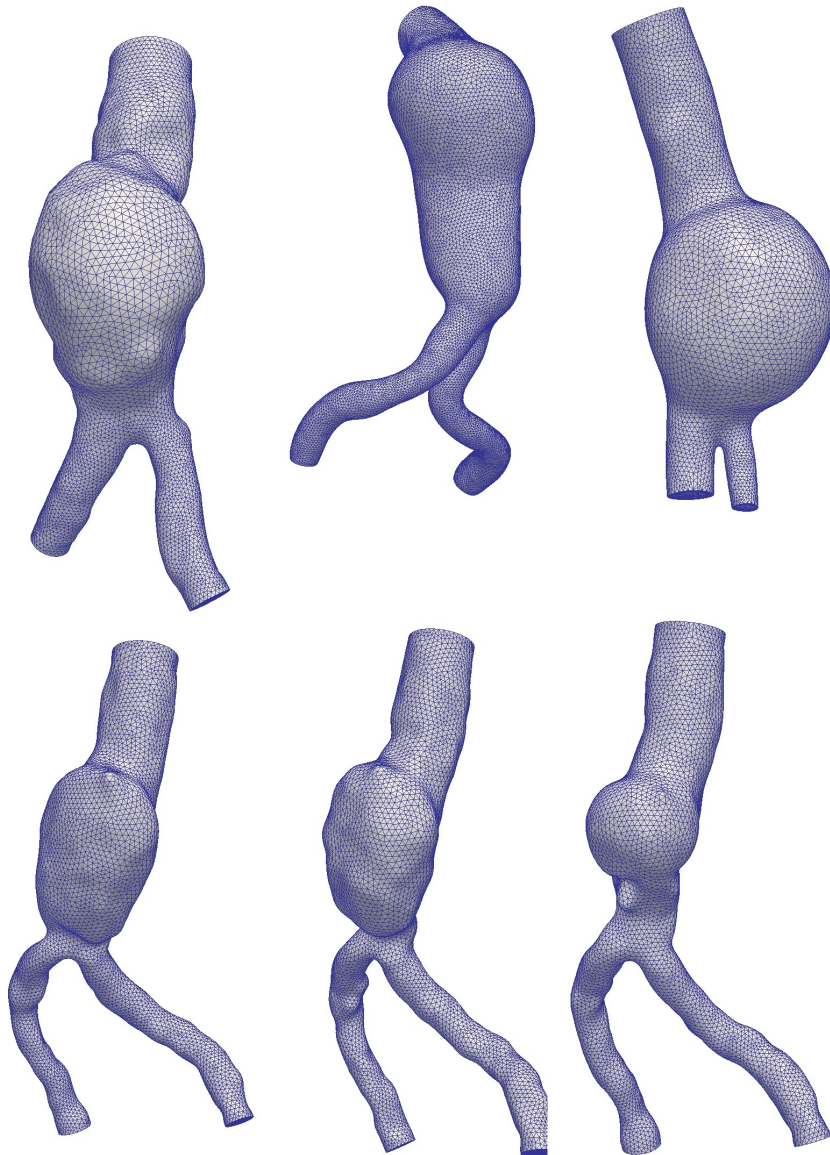
Finite Element Method

Fluid

P1-P1Bubble or P1-P2 FE
million equations

Structure

P2 Finite Elements
hundred thousand equations

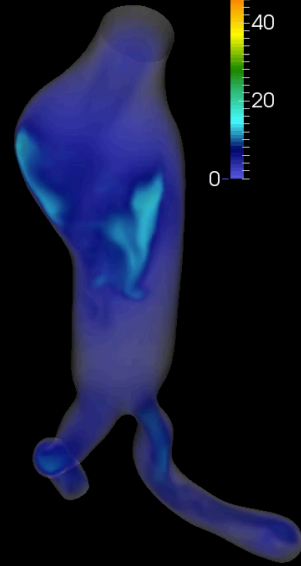
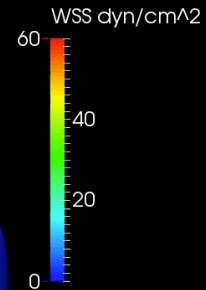
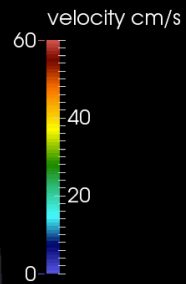
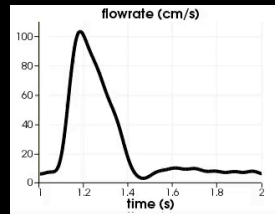


Time discretization

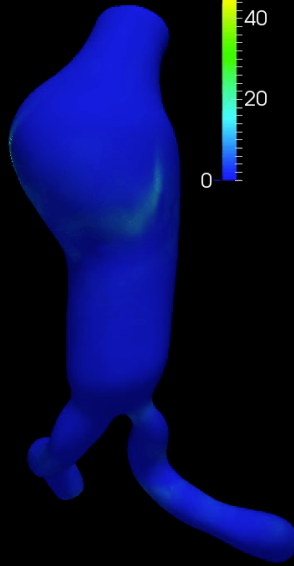
BDF2, $dt = 1e-3$

1000 time iterations/heartbeat

Numerical simulations for AAA



Time: 1.00 s

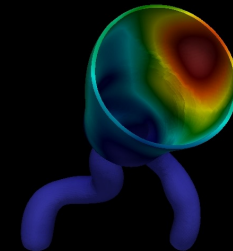
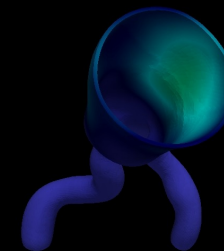
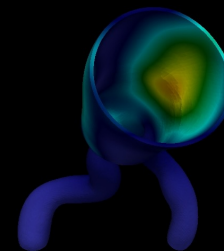
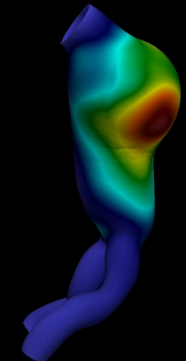
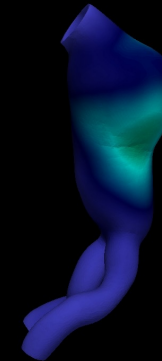
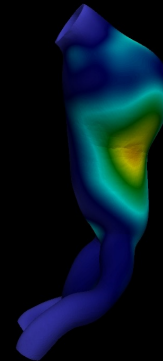
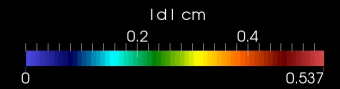


No ILT

ILT
+ Membrane1

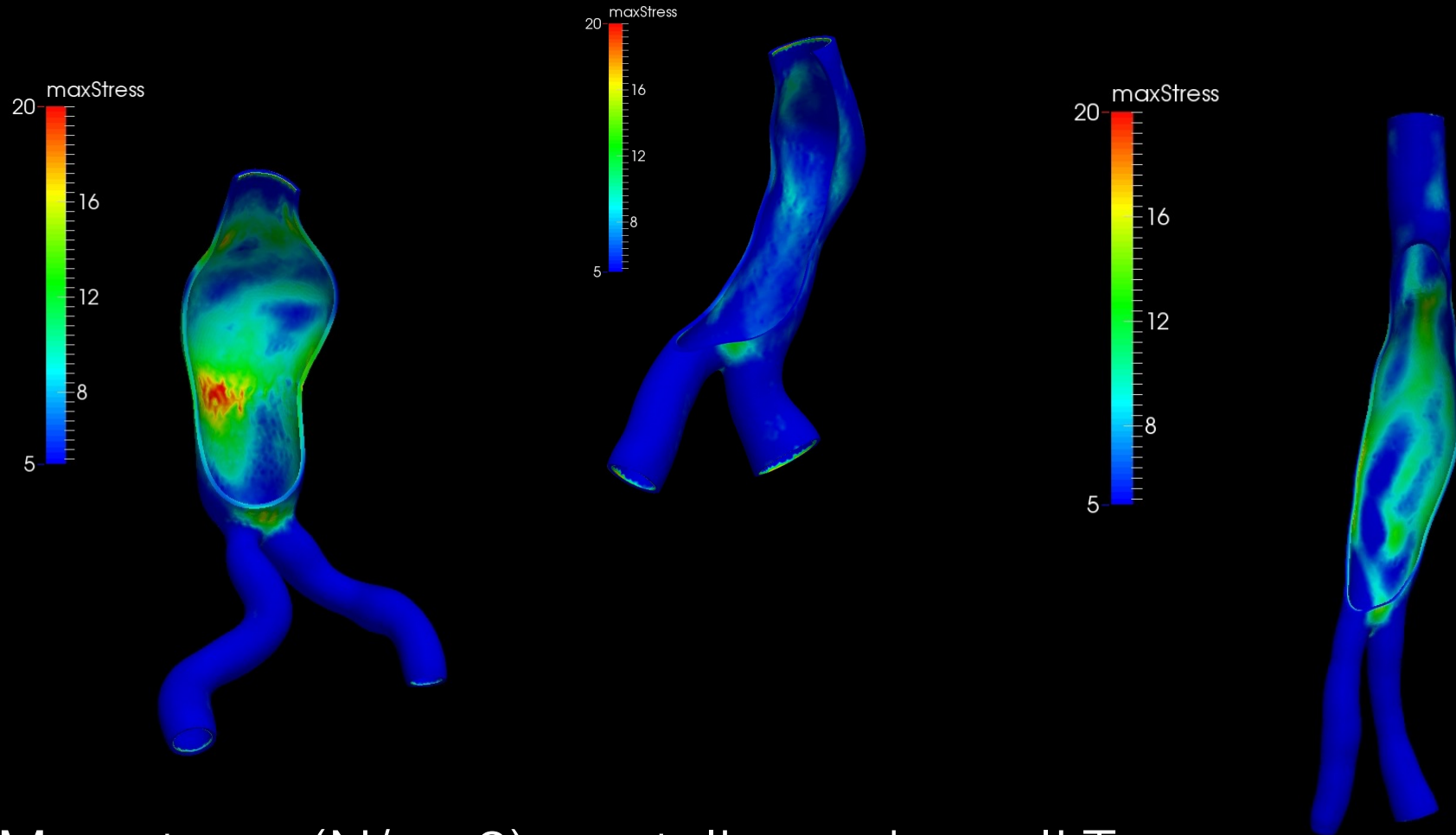
ILT
+ Membrane2

Time: 0.210 s



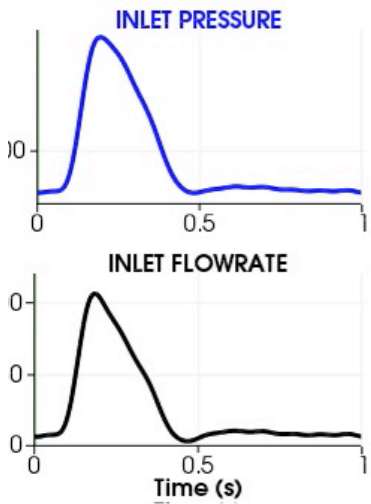
Numerical simulations for AAA

NUMERICAL RESOLUTION - OUTPUT VISUALIZATION



Max stress (N/cm²), systolic peak, no ILT
steady simulations

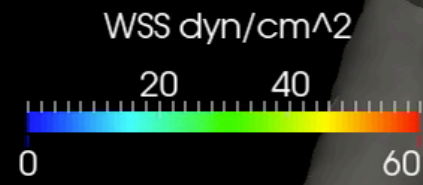
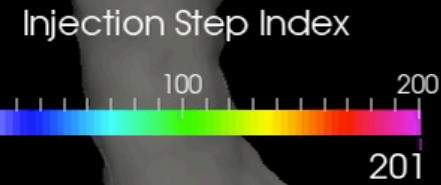
Numerical simulations for AAA



Patient : p057
Age : 64
Sex : M
Pressure : 140/85
Aortic Aneurysm (AAA) : none
Medical History : NA

aXurge

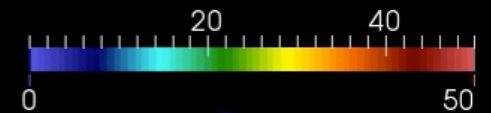
@cmcs-epfl



Systolic peak

Time: 0.2 s

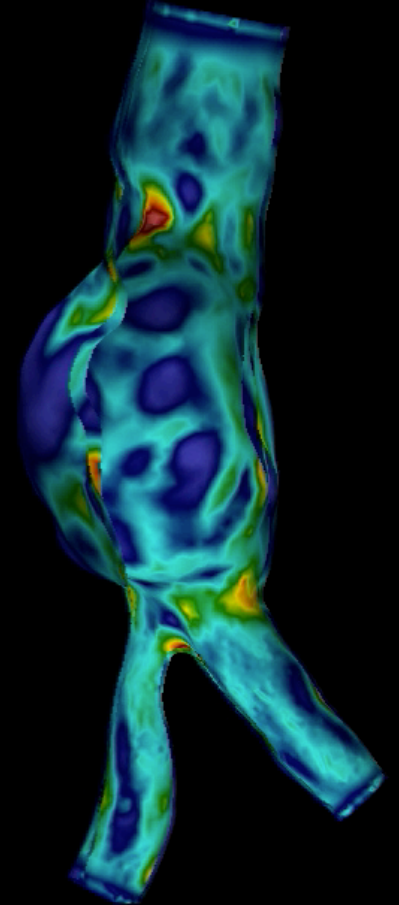
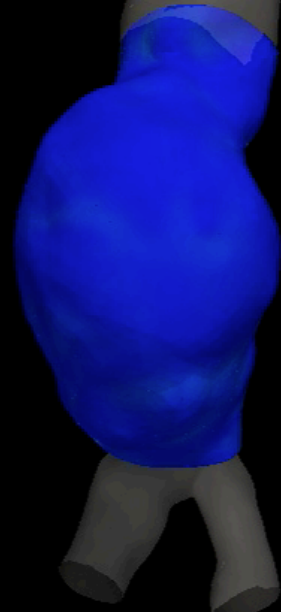
VonMises Stress N/cm²



Inlet section



Time: 0.00 s



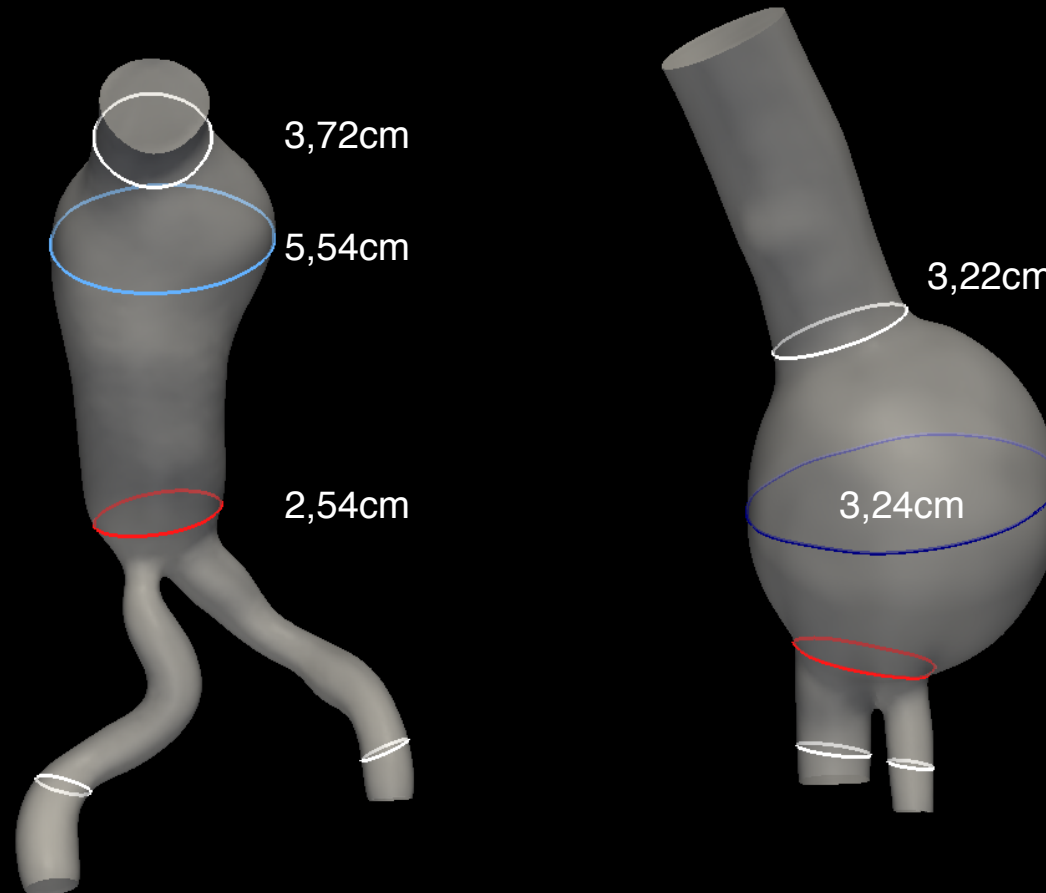
Platform Features



Chiara Riccobene
Computational Scientist
MOX/OFF

Imaging & Automatic Sizing

Accurate
measurement of
the aneurysm size



Platform Features

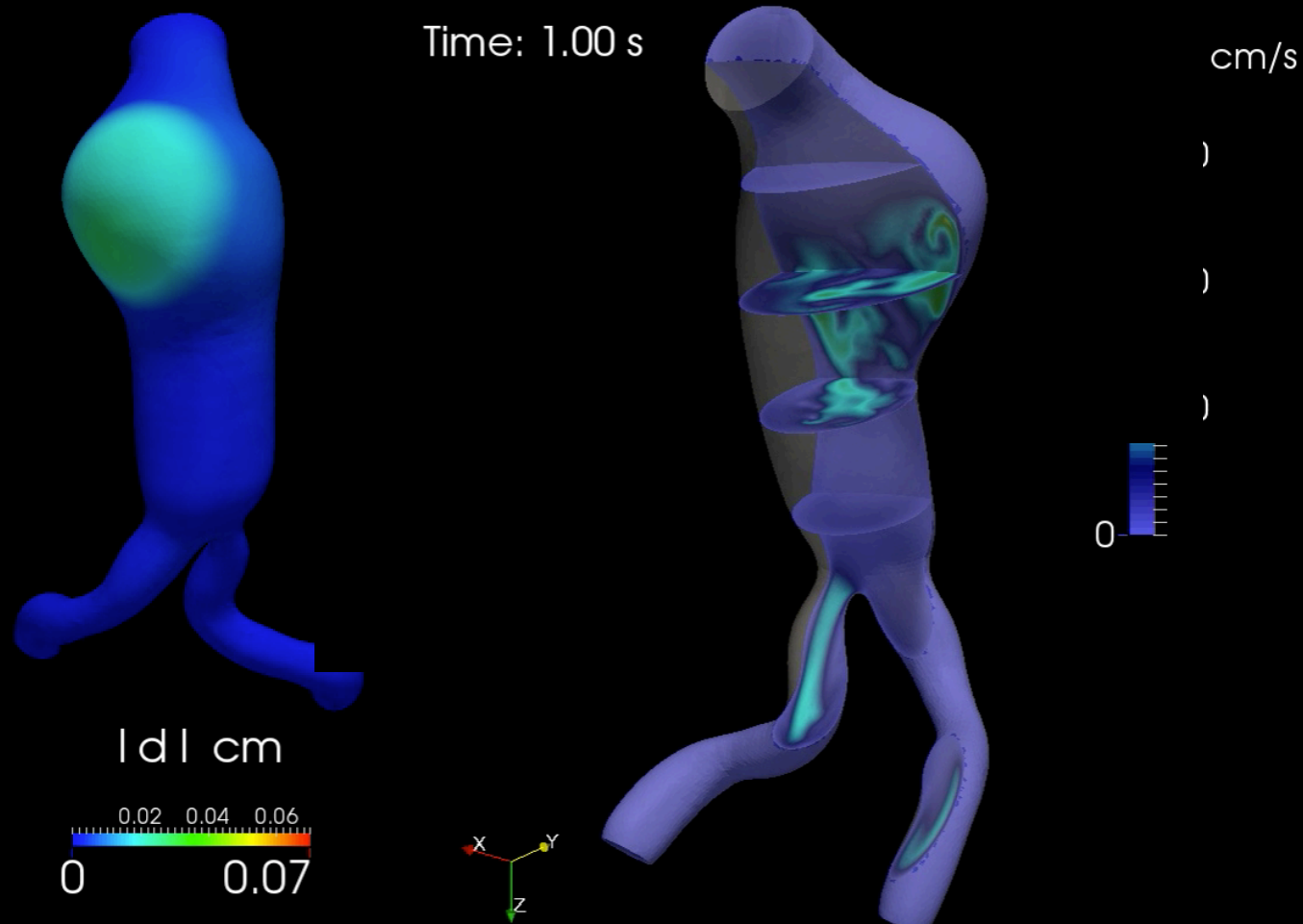


Claudia Colciago
Mathematics PHD



Advanced Numerical Simulation

Accurate, real time and easy to understand



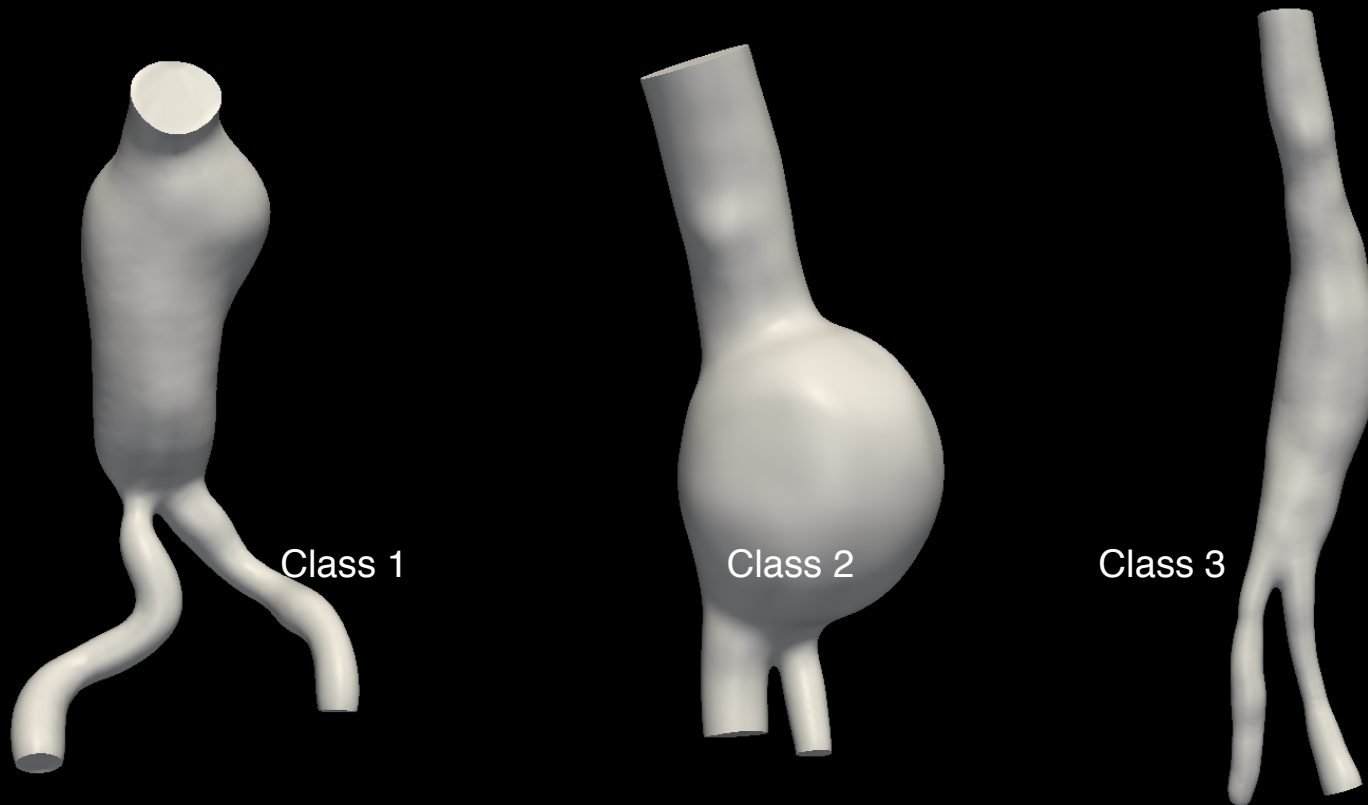
Platform Features



Valeria Di Marco
Data Scientist
MOXOFF

Statistical Analysis & Cloud

By comparing each case with case history database the statistical analysis enables **more accurate** decisions



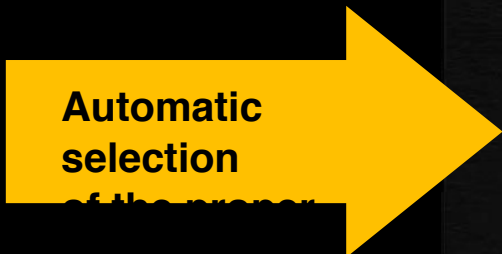
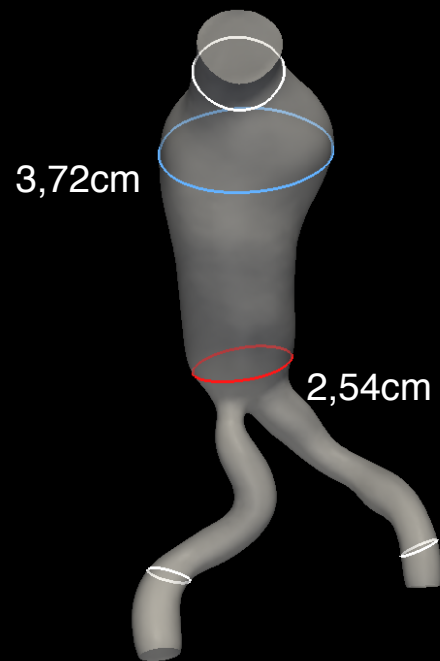
Platform Features



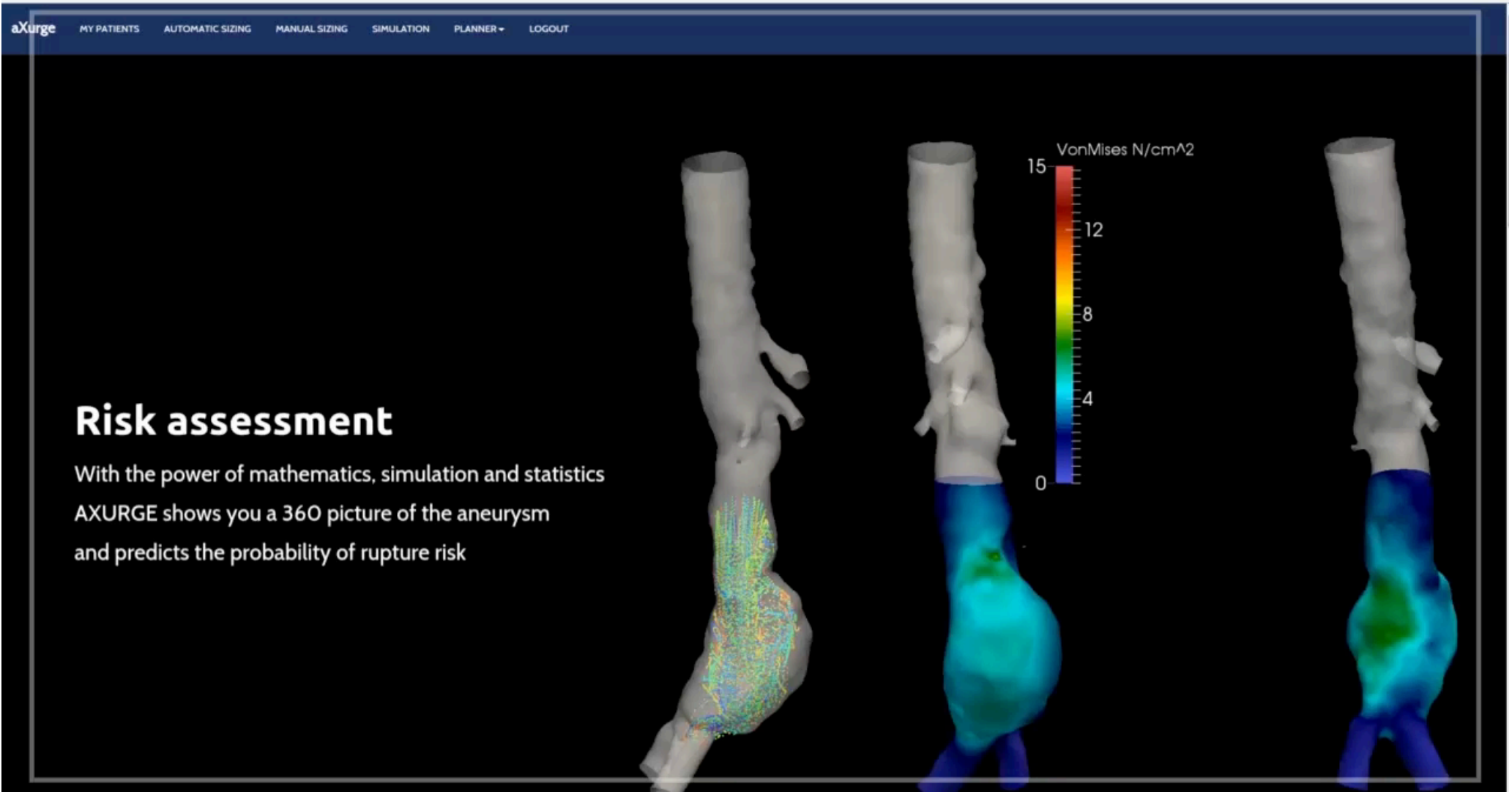
Maurizio Domanin
Vascular Surgeon



Smart Surgical Planner

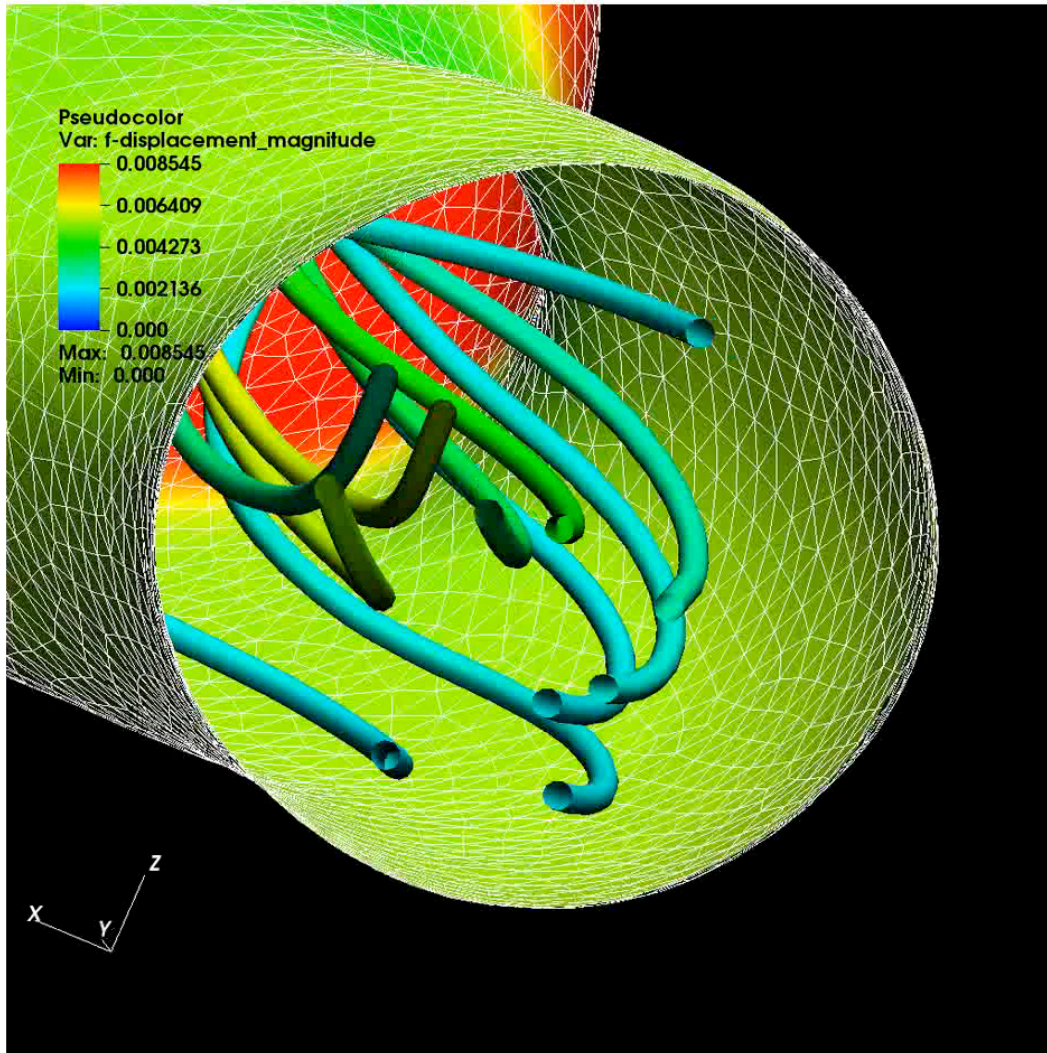


aXurge platform

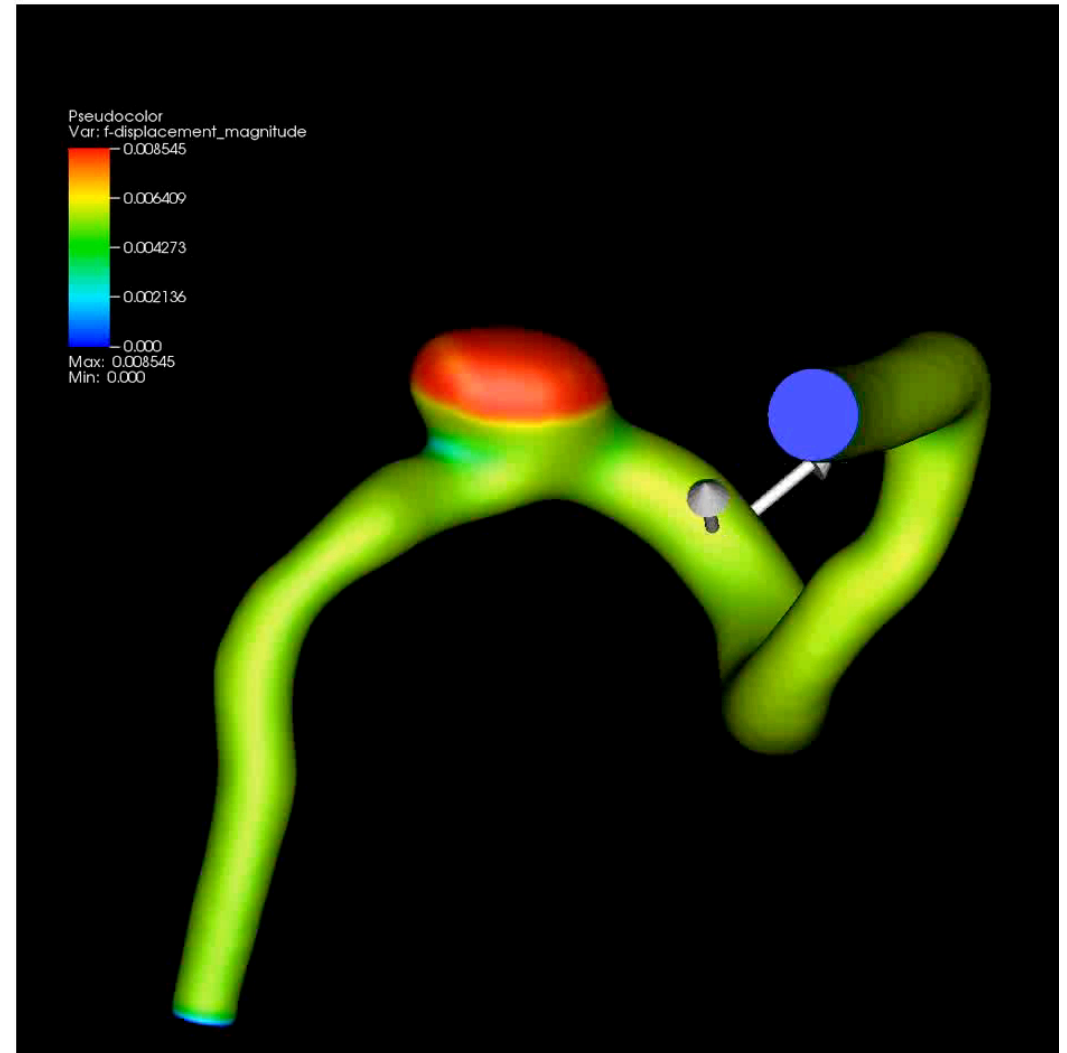


Fluid-Structure Interaction of Cerebral Aneurysms

Animation of the camera view inside the artery



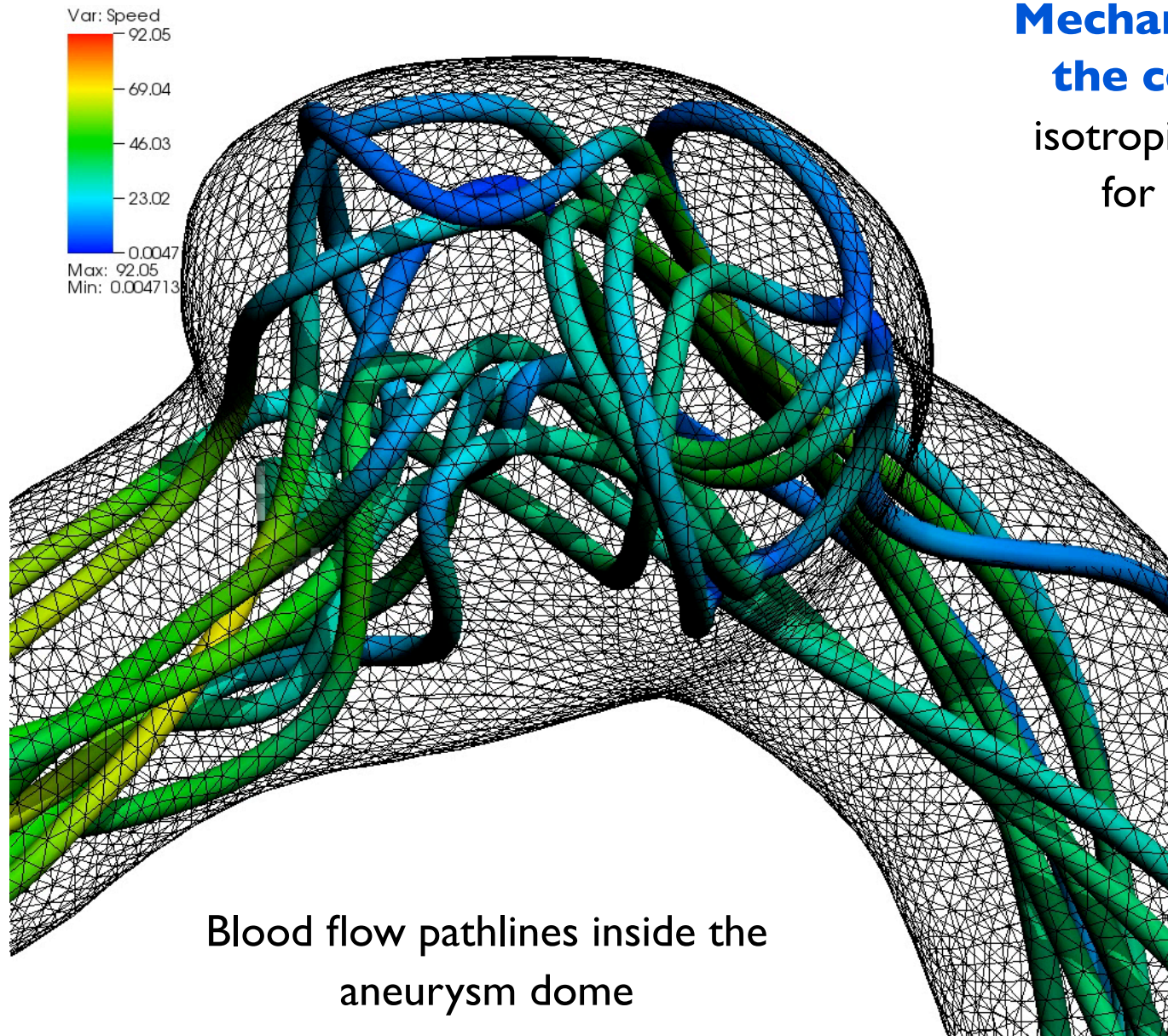
Internal view



External view

[P. Triccerri, L. Dede', S. Deparis, A.M. Robertson, A.Q., A. Sequeira]

[Scientific visualization by J. Favre (CSCS, CH)]



Mechanical characterization of the cerebral arterial tissue:
isotropic first order exponential law
for an homogenized material
(reduced model)

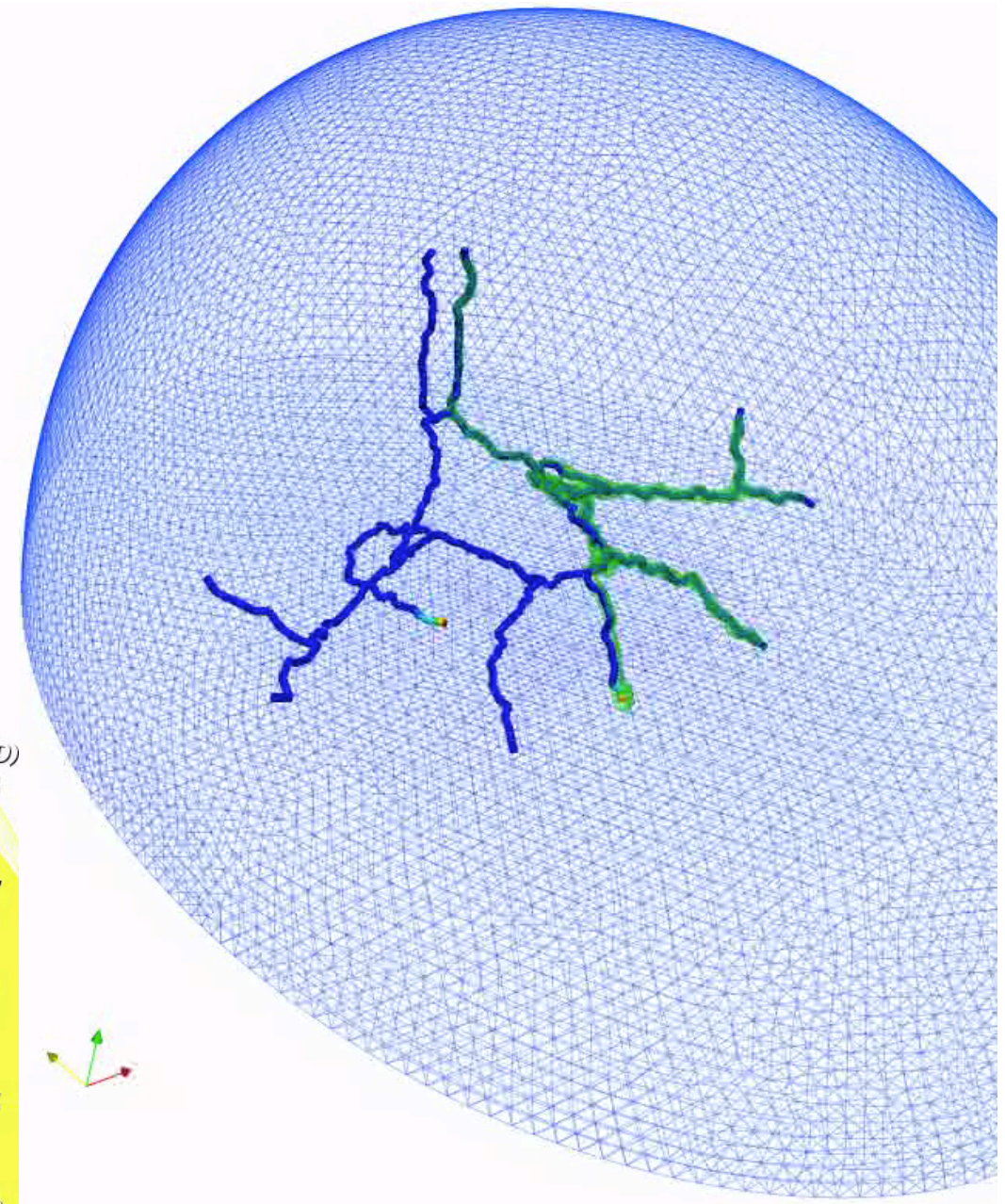
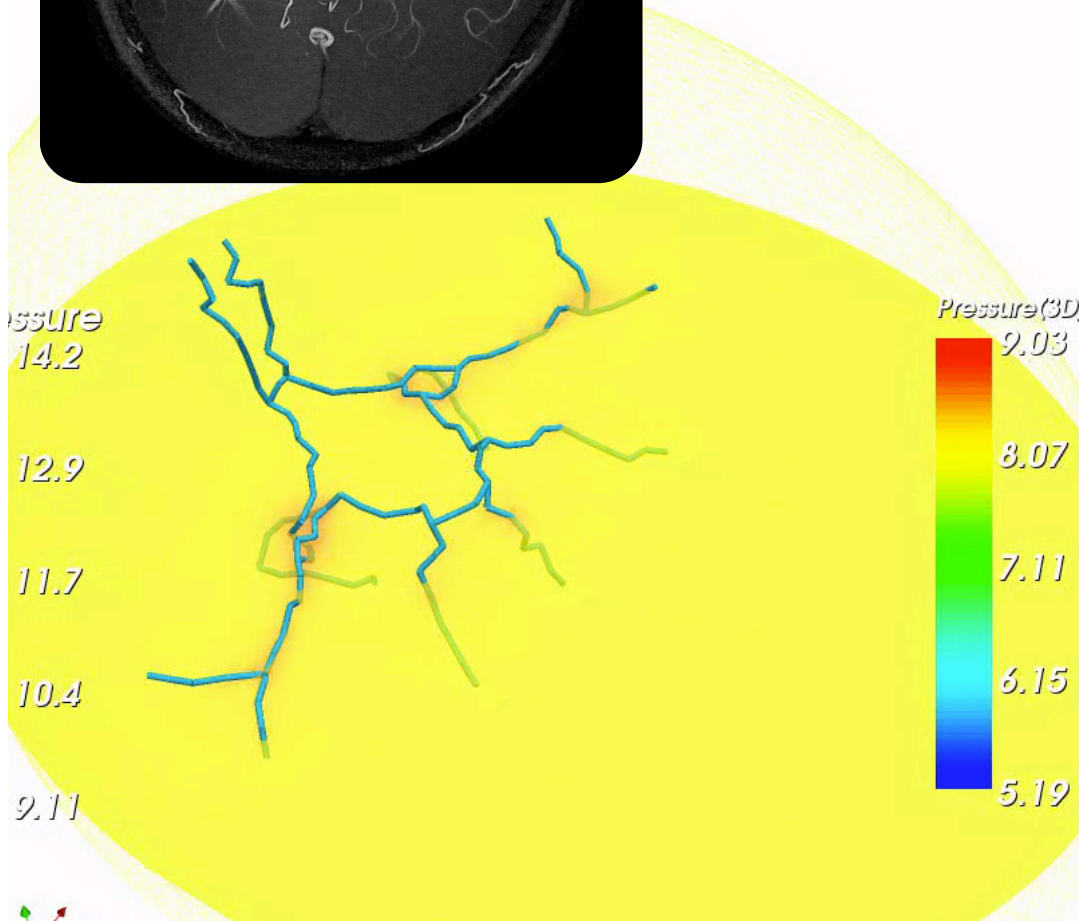
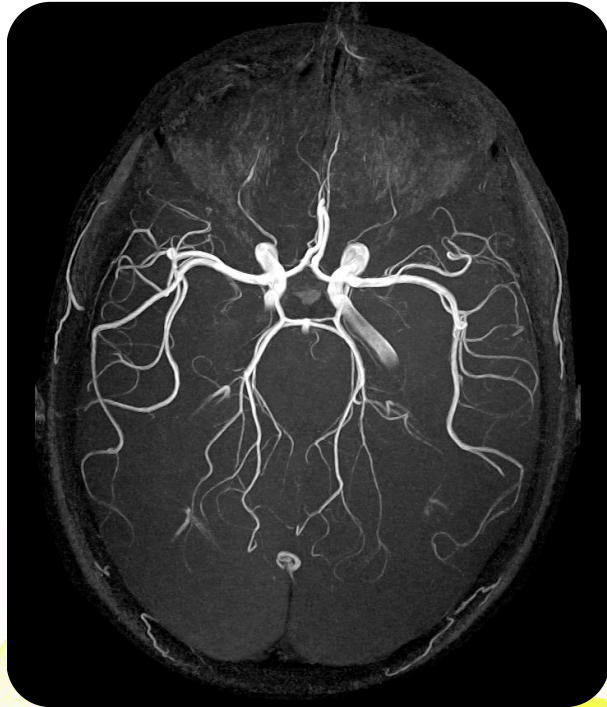
[P. Tricerri, L. Dede',
S. DeParis, A.M. Robertson,
A.Q., A. Sequeira]

[Scientific visualization by
J. Favre (CSCS, CH)]

Matematica è la sfida
di meglio comprendere
come funziona il nostro cervello

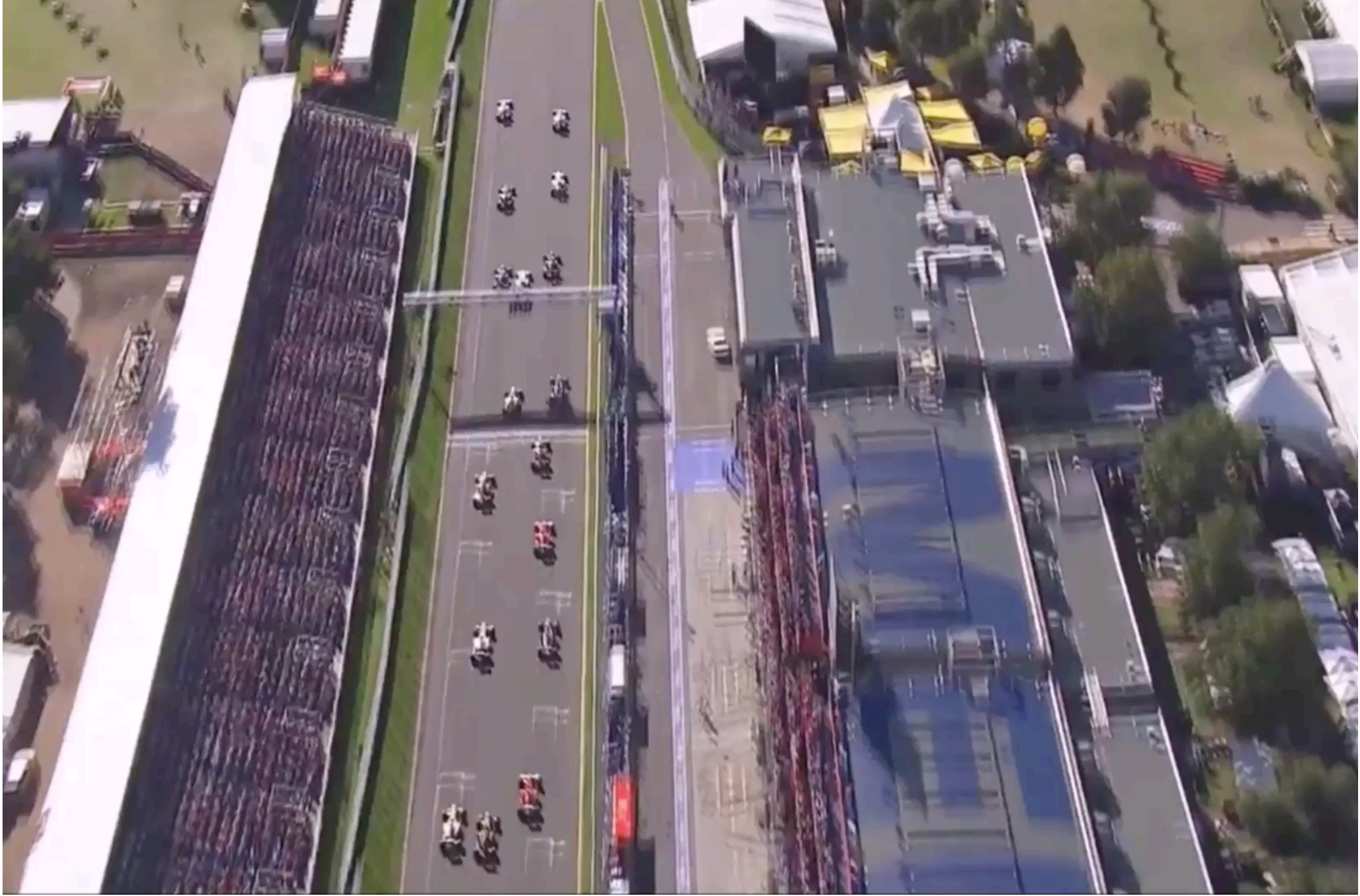


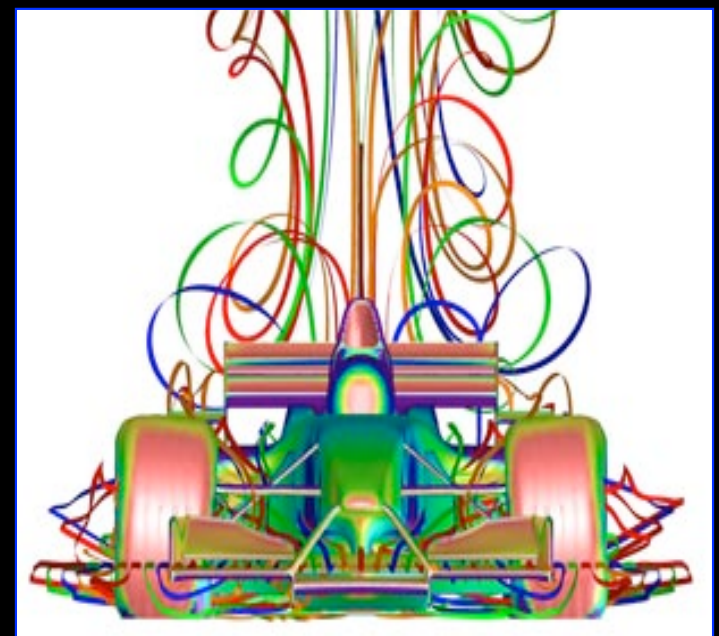
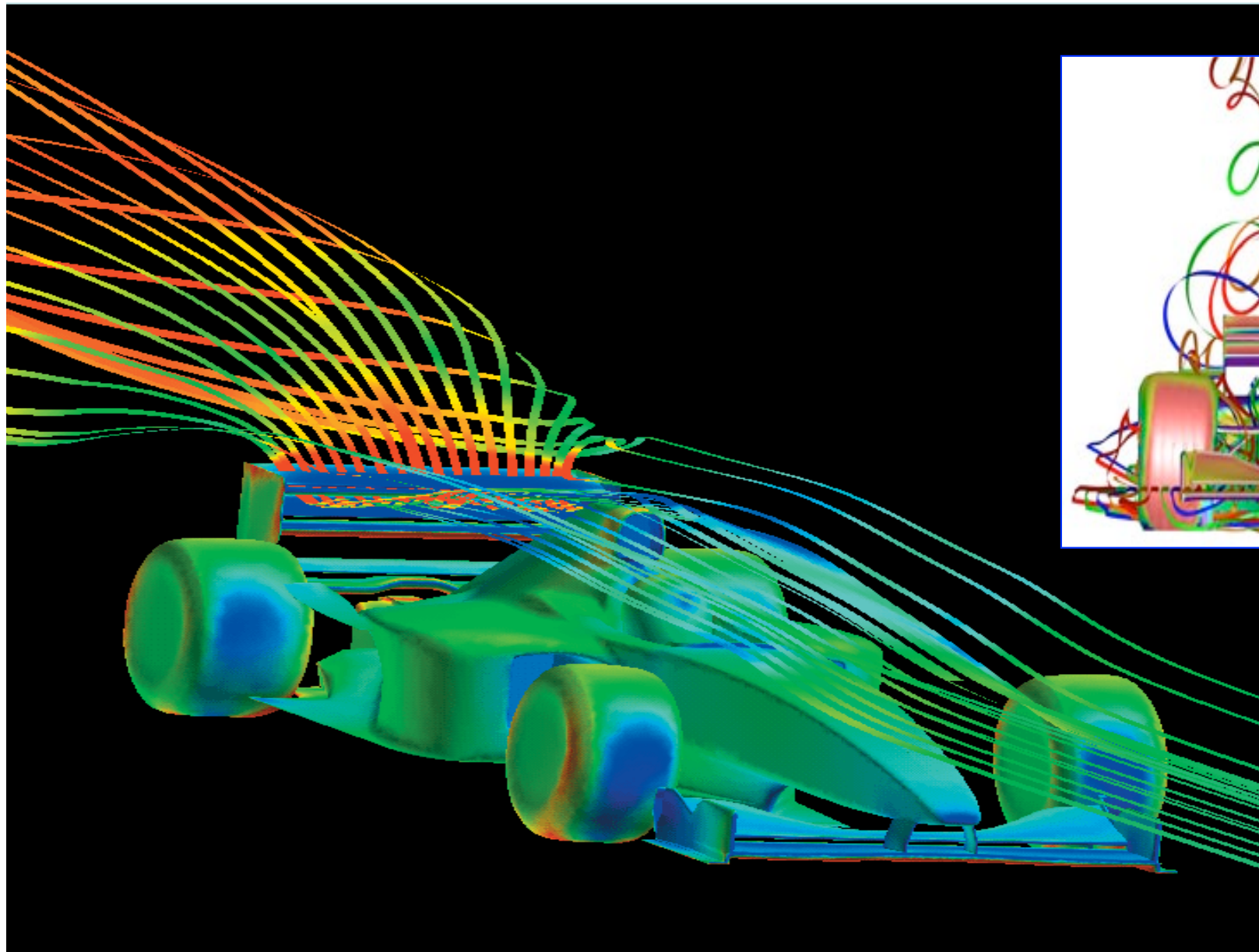
Diffusione di ossigeno, distribuzione della pressione

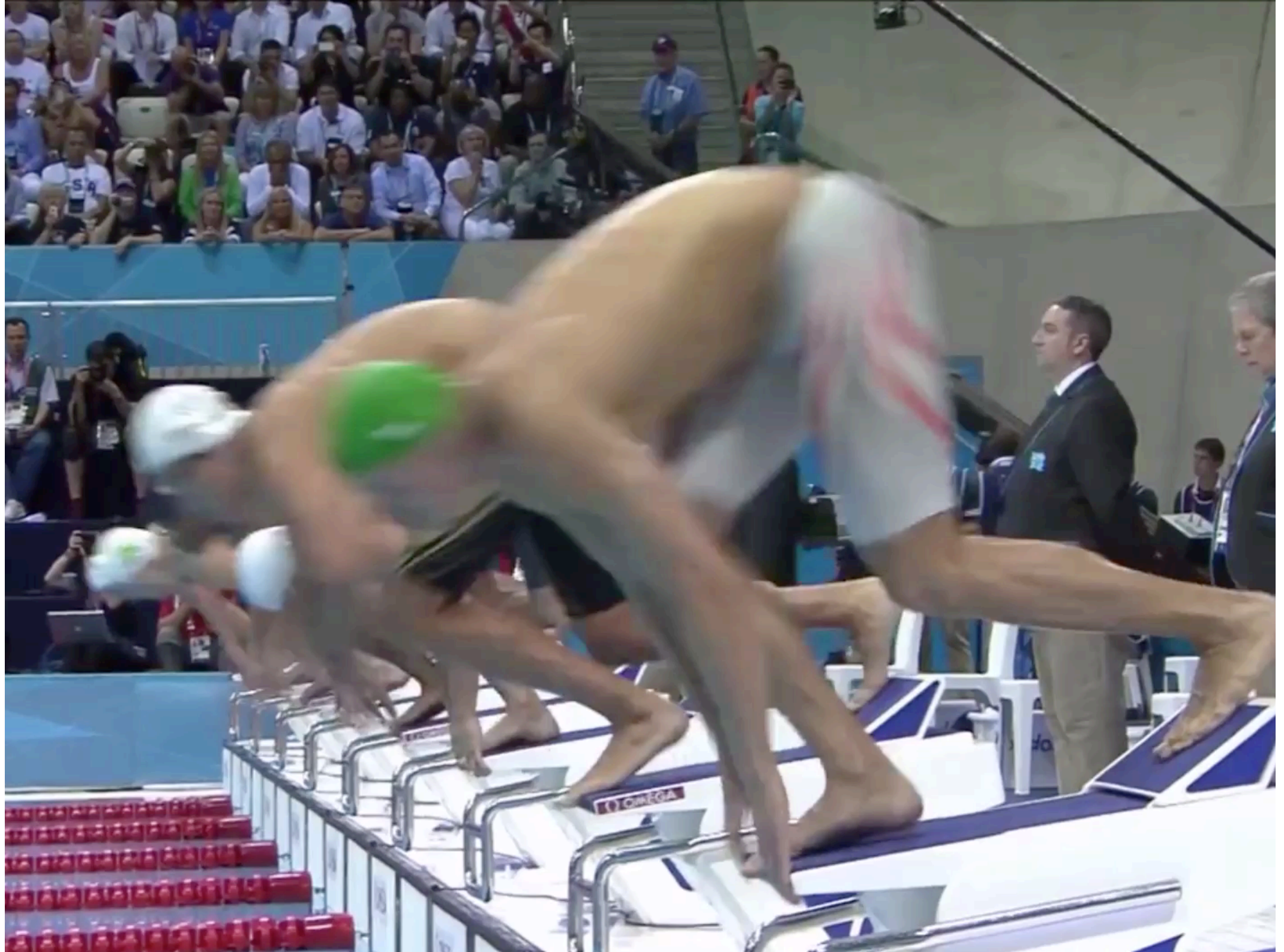


Matematica per lo Sport

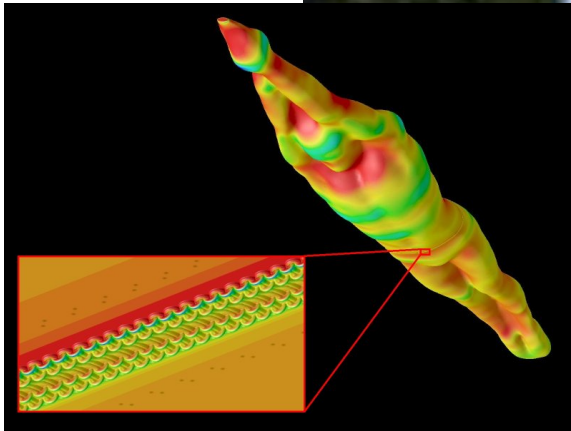








Nuotatori reali e virtuali... (N.Parolini, A.Veneziani)



POWER SKIN *Extreme*



Coppa America di Vela

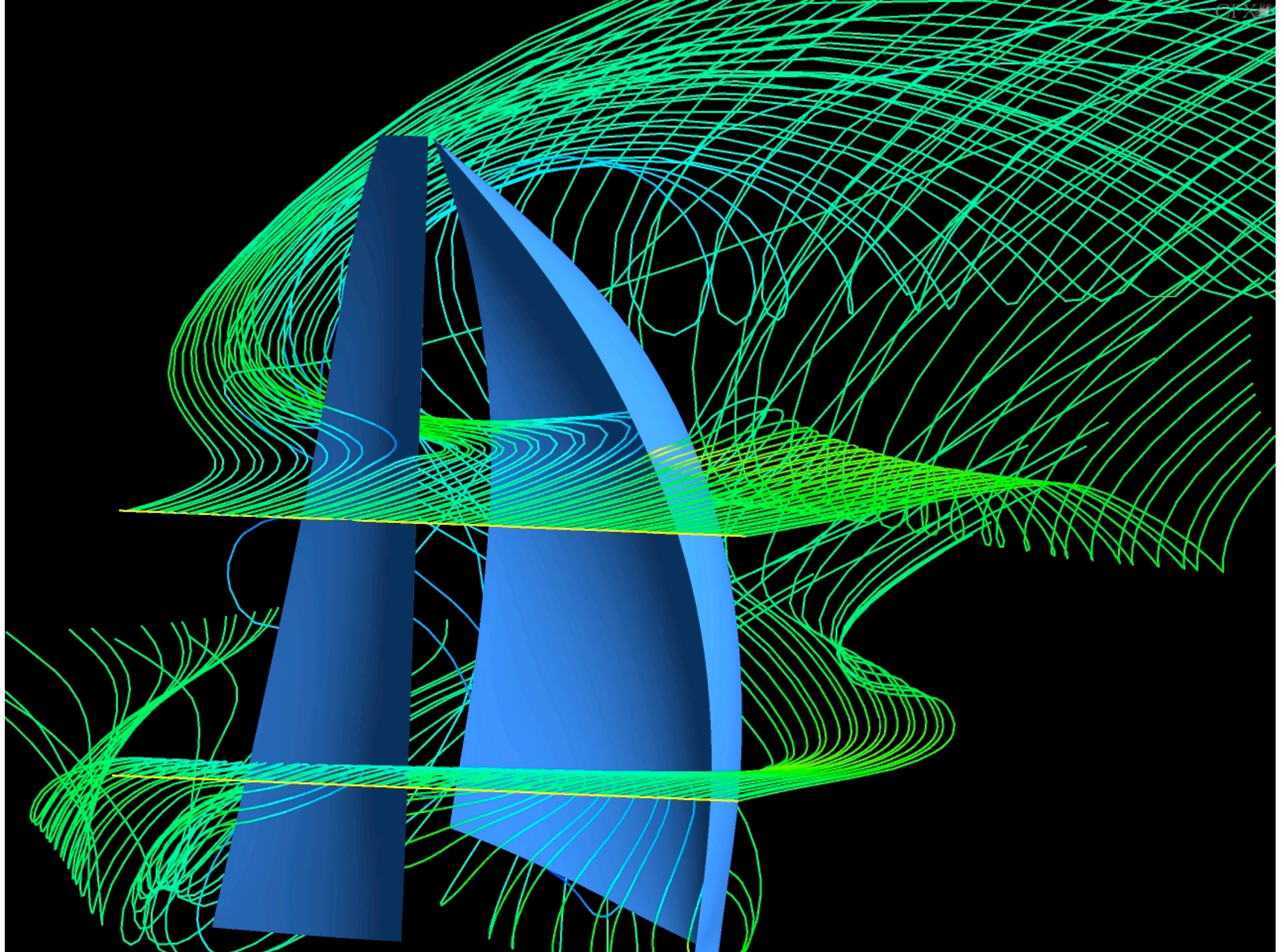


(N.Parolini, D.Detomi, L.Lombardi)



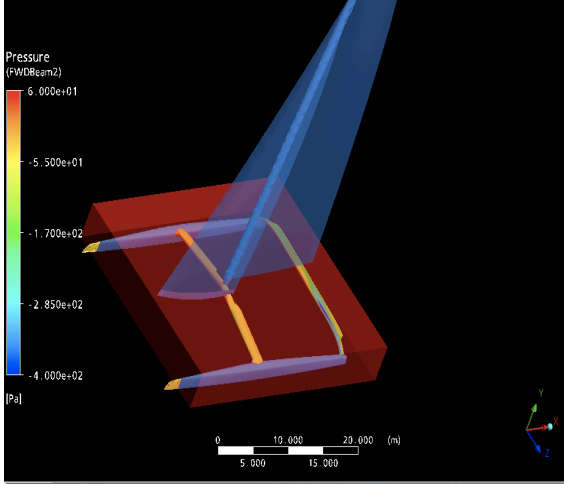
Alinghi



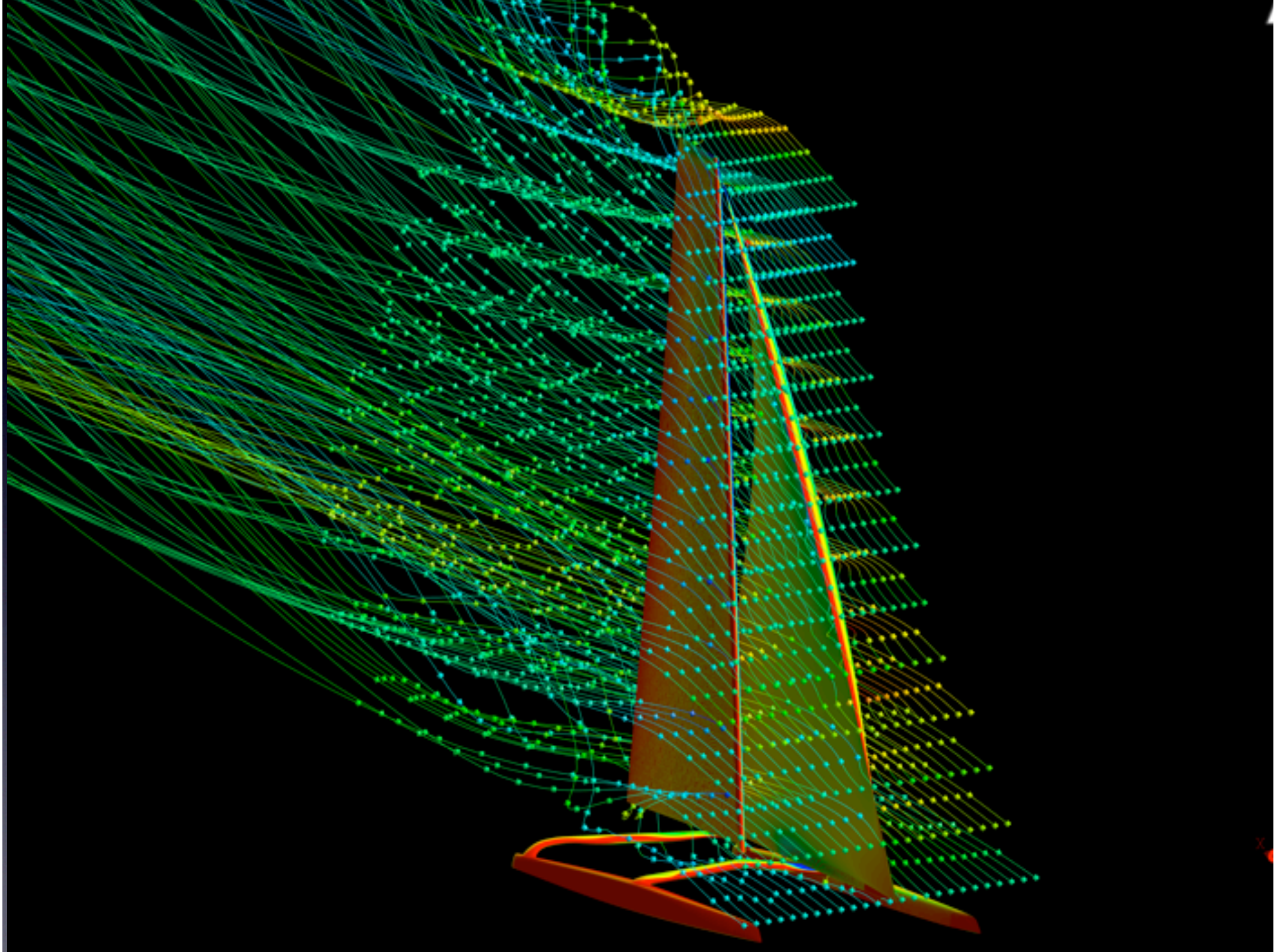


AC33-2010

AC 2010 ALINGHI 5 il catamarano









 **MOX**  **OF**

MATHEMATICS FOR INNOVATION

applied
Mathematics

to create

LAB VIRTUAL COACH

math&sport

SQUADRA

REPARTO

GIOCATORE

EFFICACIA

COPERTURA

PRESSING

RITMO

OPZIONI
PASS

....



SQUADRA

REPARTO

GIOCATORE

EFFICACIA

COPERTURA

PRESSIONE

RITMO

RETE
PASSAGGI

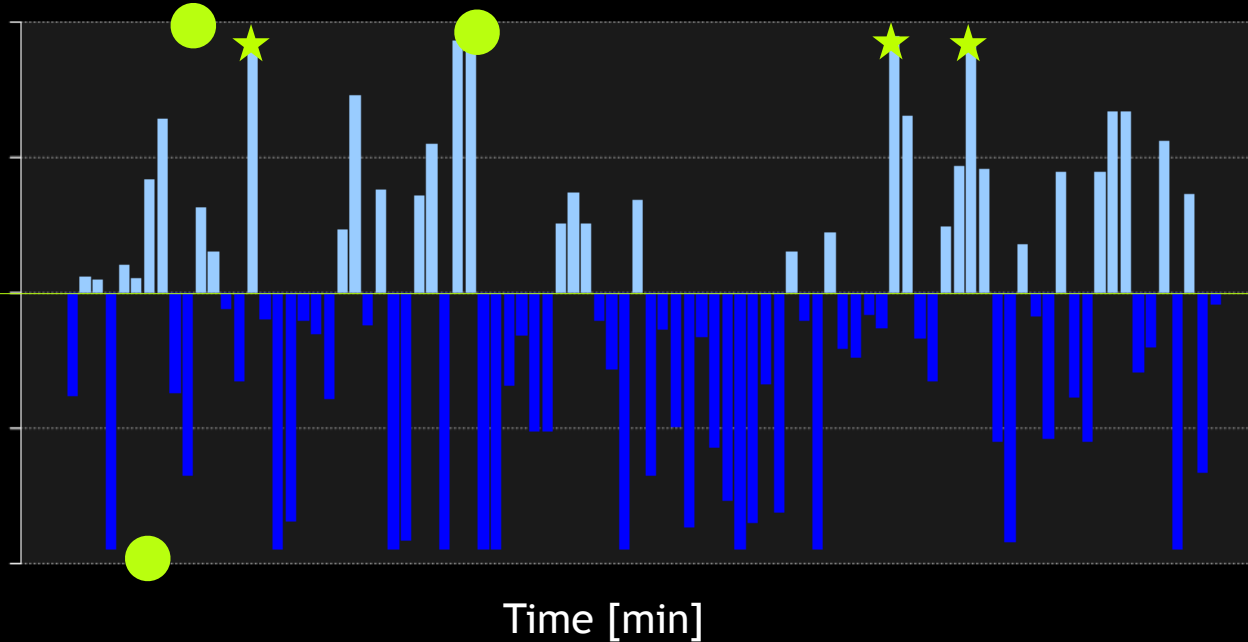
....

Analisi efficacia delle azioni

ITALIA

EFFICACIA
OFFENSIVA

EFFICACIA
DIFENSIVA



Algoritmo di efficacia proprietario e customizzabile

MATH&SPORT

Via Giovanni Durando, 38/a
20158 Milano - Italy

www.mathandsport.com
info@mathandsport.com

math&sport