

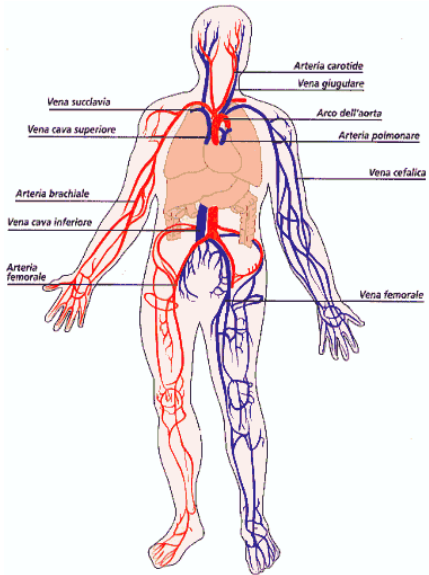
Anomalie delle coronarie e morte improvvisa: ipotesi e modellazione biomeccanica

Candidato: **Giulia Dettori**

Docente tutore: Dott. **Michele Conti**

Anno Accademico: 2015/2016

Circolazione sanguigna e arterie



CUORE

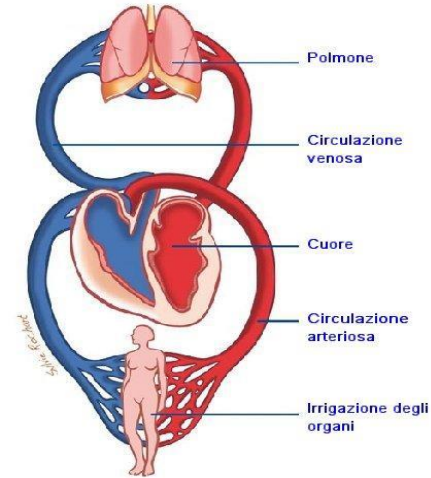


organo muscolare che svolge la funzione di pompa spingendo il sangue nelle

ARTERIE



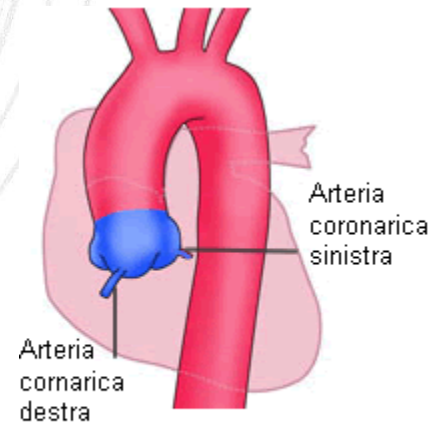
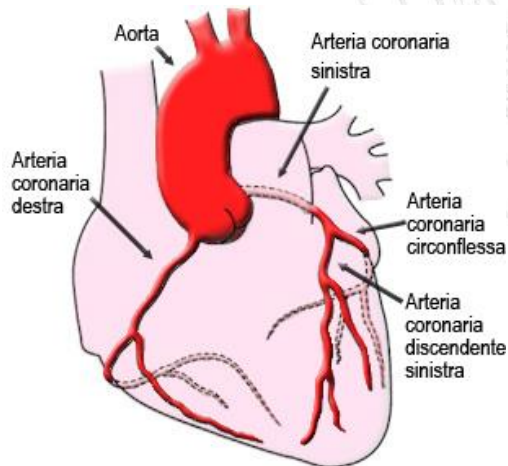
trasportano il sangue ricco di ossigeno a tutte le cellule del corpo



ARTERIE CORONARIE



vasi specializzati che partono dall'aorta e decorrono sulla superficie del muscolo cardiaco con lo scopo di rifornirlo di sangue ricco di ossigeno



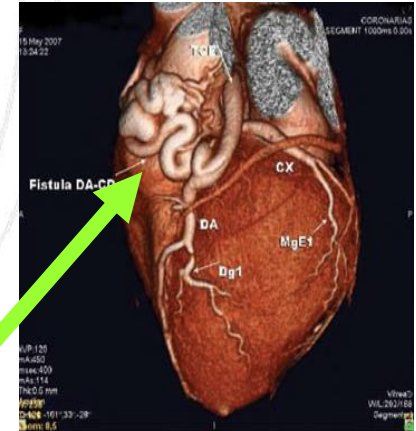
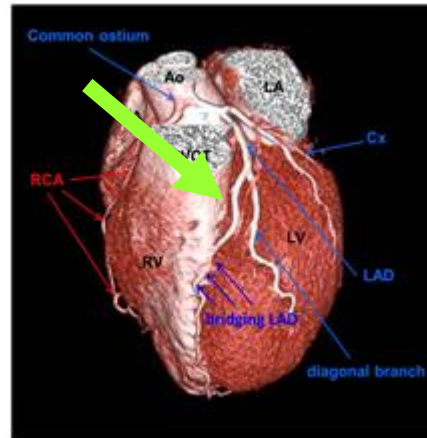
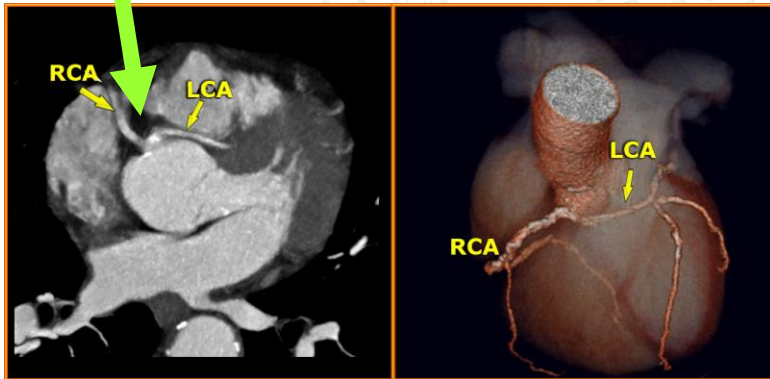
Radice dell'aorta

ANOMALIE CORONARICHE

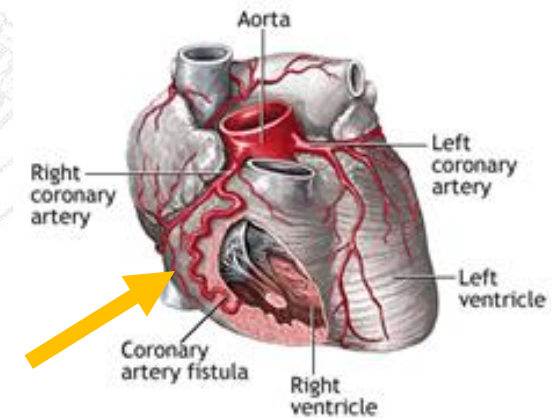
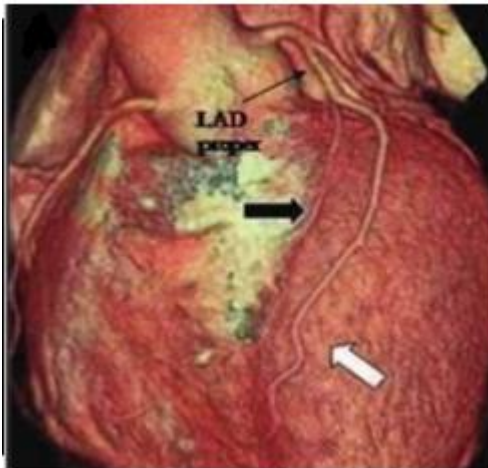
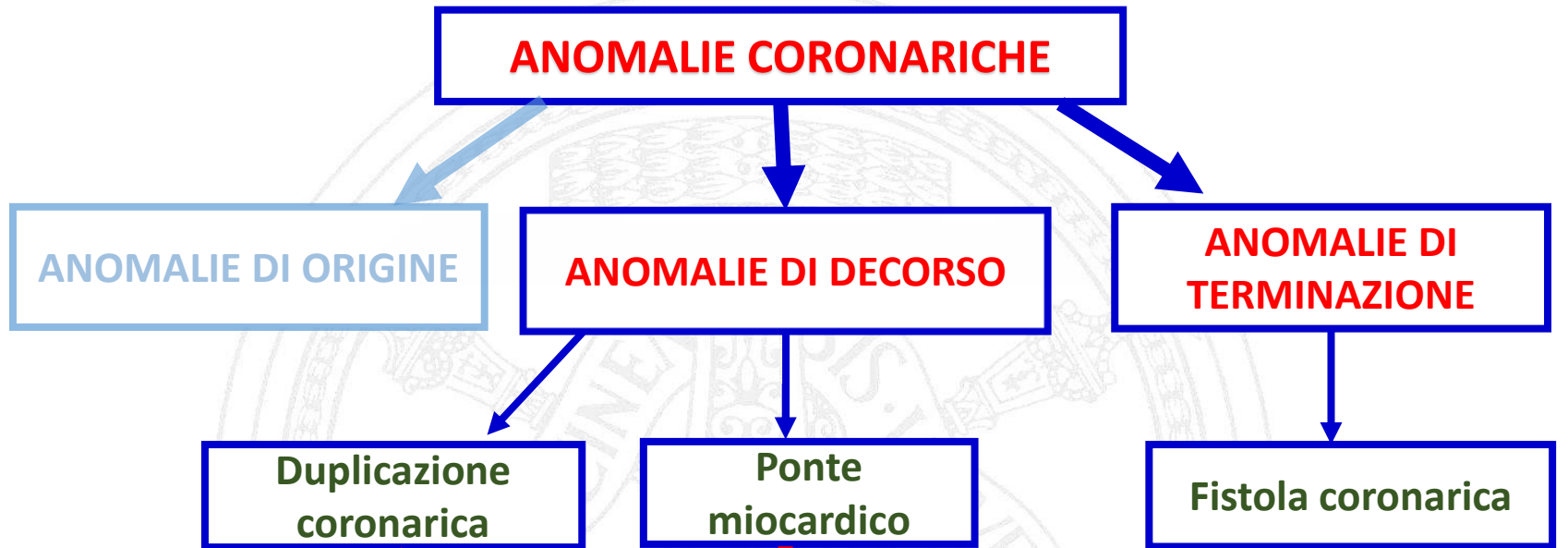
ANOMALIE DI ORIGINE

ANOMALIE DI DECORSO

ANOMALIE DI TERMINAZIONE



Anomalie di decorso e terminazione



ANOMALIE CORONARICHE

ANOMALIE DI ORIGINE

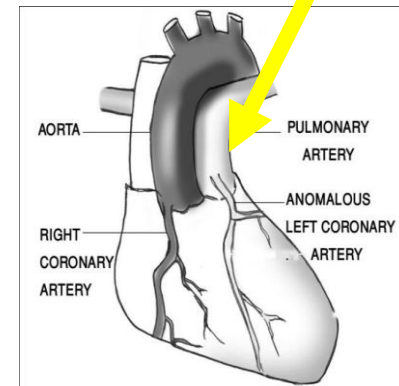
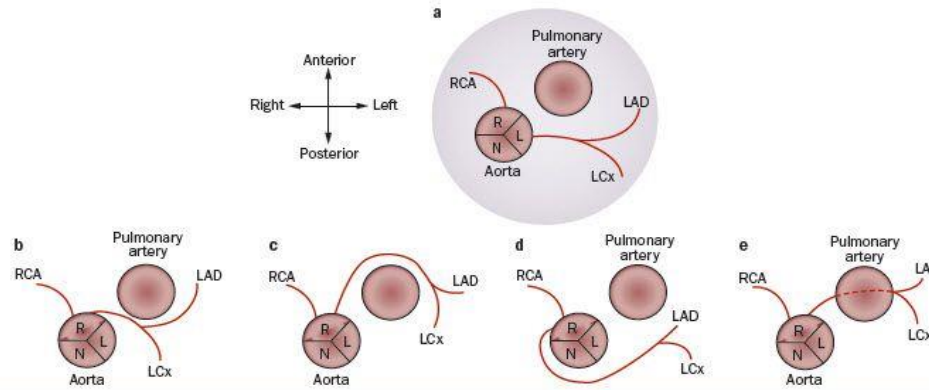
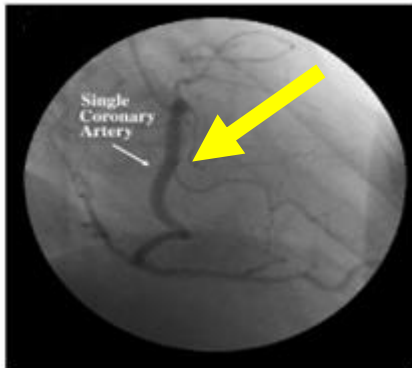
ANOMALIE DI DECORSO

ANOMALIE DI TERMINAZIONE

Arteria coronaria
singola

Origini coronariche
dal seno aortico opposto

Origine dall'arteria
polmonare



Le anomalie delle coronarie compaiono:

- nello **0.3-0.9%** della popolazione senza difetti strutturali cardiaci
- nel **3-6%** della popolazione con difetti cardiaci congeniti
- nel **1%** della popolazione sottoposta a cateterizzazione del cuore

Coronary anomaly	Number of patients (n=79)	Angiographic incidence (%)	Anomaly incidence (%)
A. Anomalies of coronary origin and distribution	75	1.24	94.94
Separate ostia of LAD & LCX	42	0.69	53.16
LCX arising from RCS/RCA	11/6	0.18/0.10	13.92/7.59
RCA arising from LCS	6	0.10	7.59
LCA arising from RCS	3	0.05	3.8
Single coronary artery type I	2	0.03	2.53
Single coronary artery type II	1	0.02	1.27
All 3 coronary arteries arising from RCS by separate ostia	1	0.02	1.27
ALCAPA	1	0.02	1.27
Divided LAD	1	0.02	1.27
Divided LCX	1	0.02	1.27
B. Coronary artery fistulae	4	0.06	5.06

“The incidence and pattern of coronary artery anomalies in the north-west of Iran: A coronary arteriographic study” *Sohrabi et al*

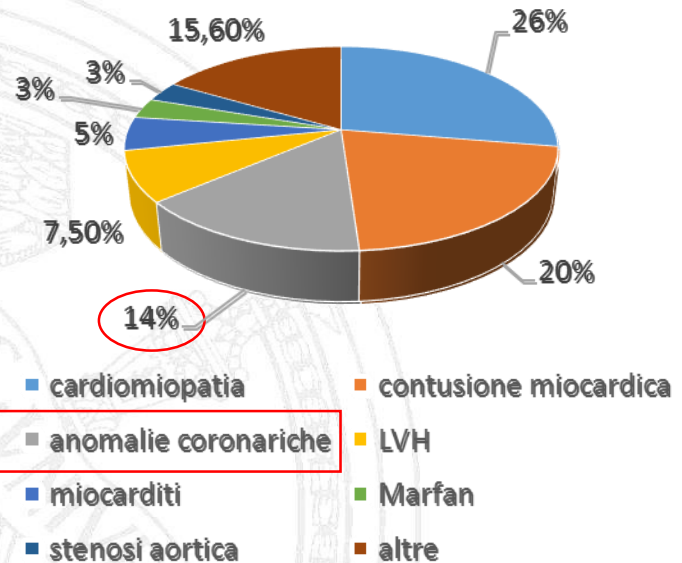
Dati riportati in letteratura

- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Barriales Villa et al : ➤ Riscontrati 75 pazienti con anomalie coronariche in 13500 coronografie effettuate ➤ 54 maschi vs 21 femmine | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Studio effettuato nel 1990 presso la Cleveland Clinic nel Nord America: ➤ Su 126.595 pazienti sottoposti ad angiografia coronarica incidenza di AC dell'1,3% | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Angelini et al e Diez et al : ➤ AC più comuni nelle donne (7.6%) rispetto agli uomini (4.8%) |
|--|---|--|

Morte improvvisa nei giovani atleti

CAUSE	PERCENTUALI
Cardiomiopatia	26 %
Contusione miocardica	20 %
Anomalie coronariche	14 %
LVH	7,5 %
Miocarditi	5 %
Sindrome di Marfan	3 %
Stenosi aortica	3 %
Altre	15,6%

Maron B.J N. England J. Med 2003



Casi più emblematici:

- **2012** Piermario Morosini muore sul campo a causa di una cardiomiopatia
- **2012** Alexander Dale Oen muore a causa di una aterosclerosi coronarica



Legame tra anomalie coronariche e morte improvvisa

ANOMALIE CORONARICHE



un ridotto flusso sanguigno, soprattutto in caso di **sforzo fisico elevato**, può portare al deterioramento della funzione di pompa del cuore



MORTE IMPROVVISA



Meccanismi che conducono a morte improvvisa

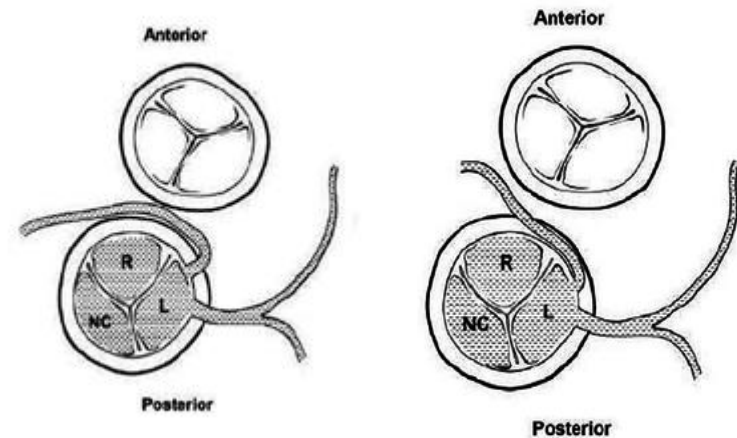
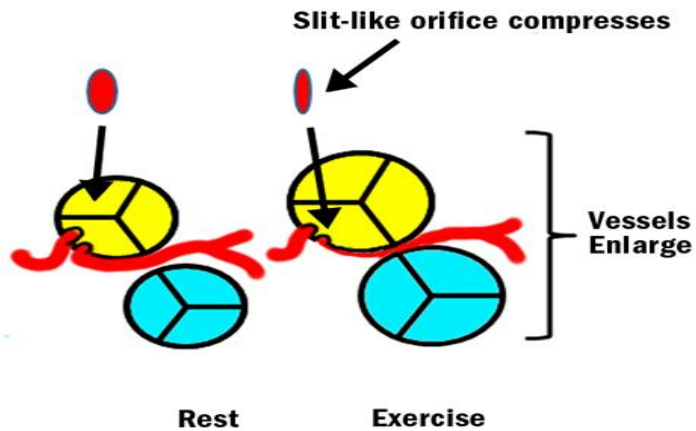
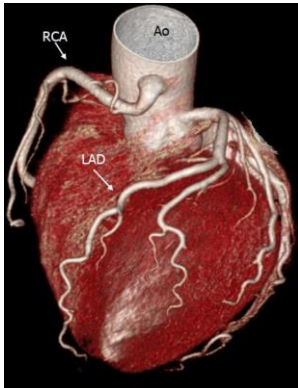
IPOSTESI BIOMECCANICHE RIPORTATE IN LETTERATURA

ORIGINE
AORTICA ALTA

ANOMALIE OSTIALI

DECORSO
INTERARTERIOSO

DECORSO
INTRAMURALE

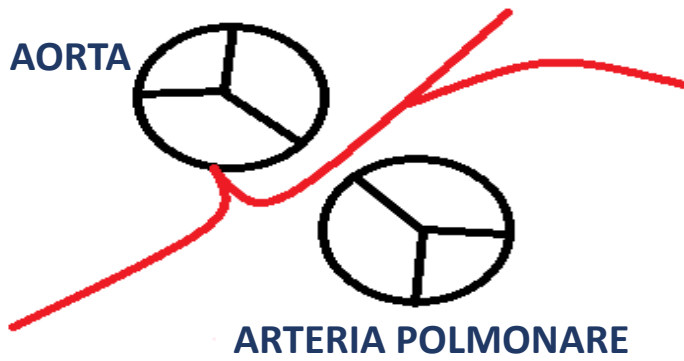
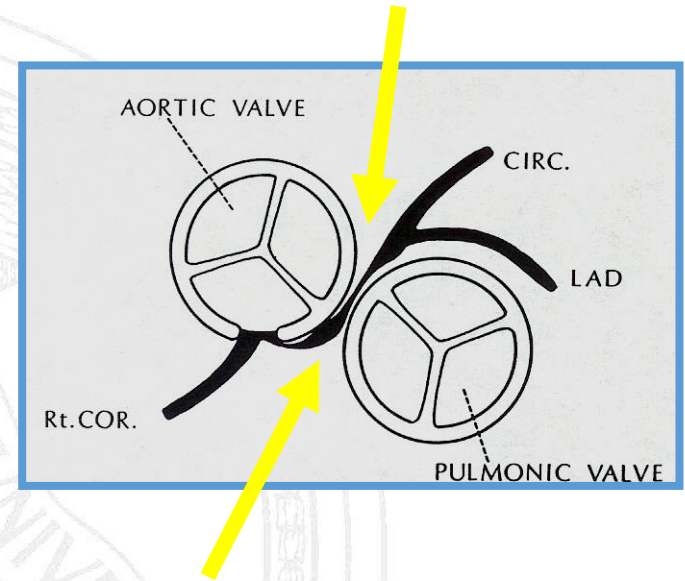


DECORSO ANOMALO DELLA CORONARIA TRA L'AORTA E L'ARTERIA POLMONARE

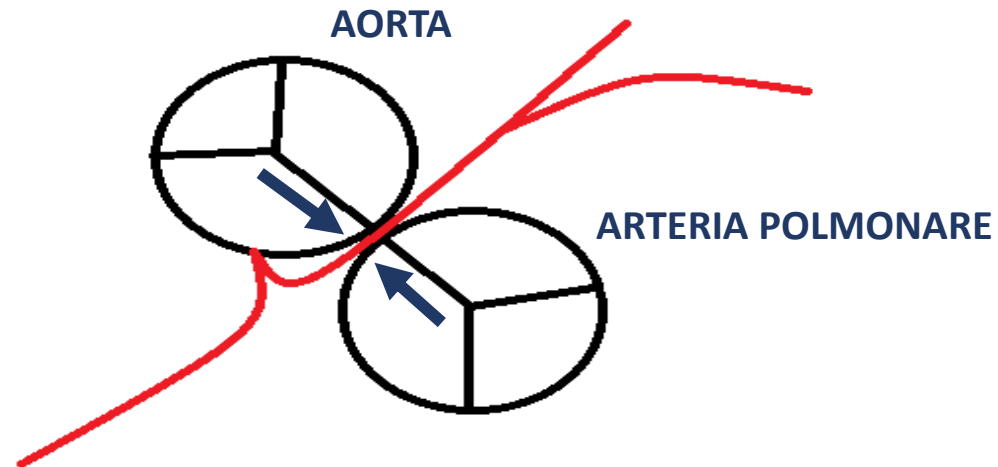
↓
aumento della pressione nei due vasi
durante **sforzo fisico**

↓
compressione della coronaria

↓
ISCHEMIA MIOCARDICA

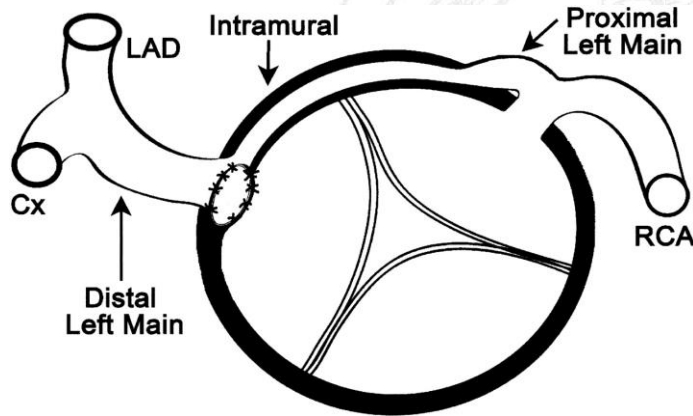


IN CONDIZIONI NORMALI

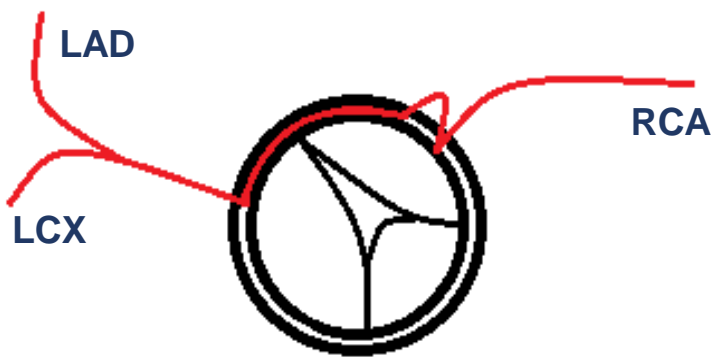


IN CONDIZIONI DI SFORZO FISICO INTENSO

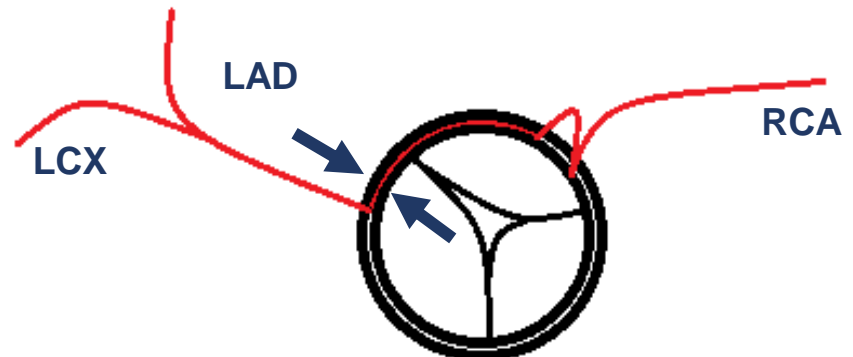
SEGMENTO INIZIALE DELLA CORONARIA
INGLOBATO ALL'INTERNO DELLA TUNICA MEDIA
DELL'AORTA



IPOTESI:
L'ESPANSIONE AORTICA DURANTE
LO SFORZO COMPRIME LA
PORZIONE INTRAMURALE DELLA
CORONARIA

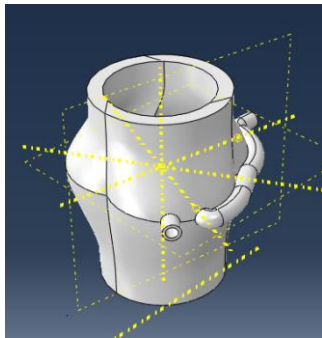


IN CONDIZIONI NORMALI

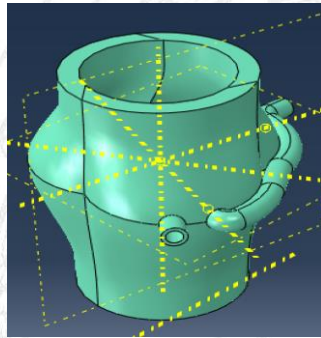


IN CONDIZIONI DI SFORZO FISICO INTENSO

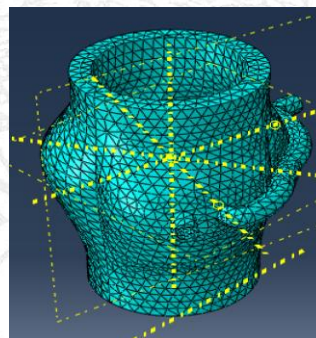
- modello tridimensionale parametrico della radice aortica implementato in Abaqus (Simulia)
- utilizzo dell'analisi agli elementi finiti per capire gli effetti dell'espansione della radice aortica nei pazienti con anomalie delle coronarie



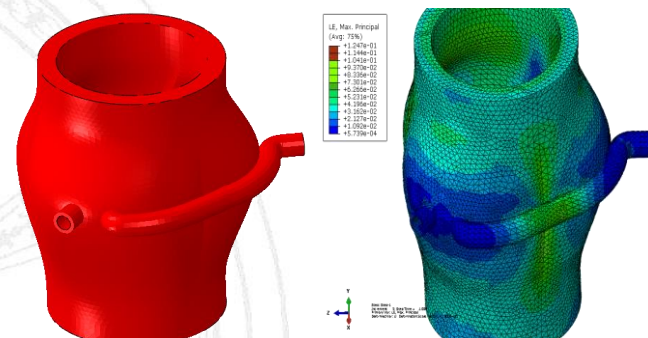
Modello idealizzato parametrico



materiale del modello
Modulo di Young: 1 Mpa
Coeff. Poisson: 0.33



Mesh part

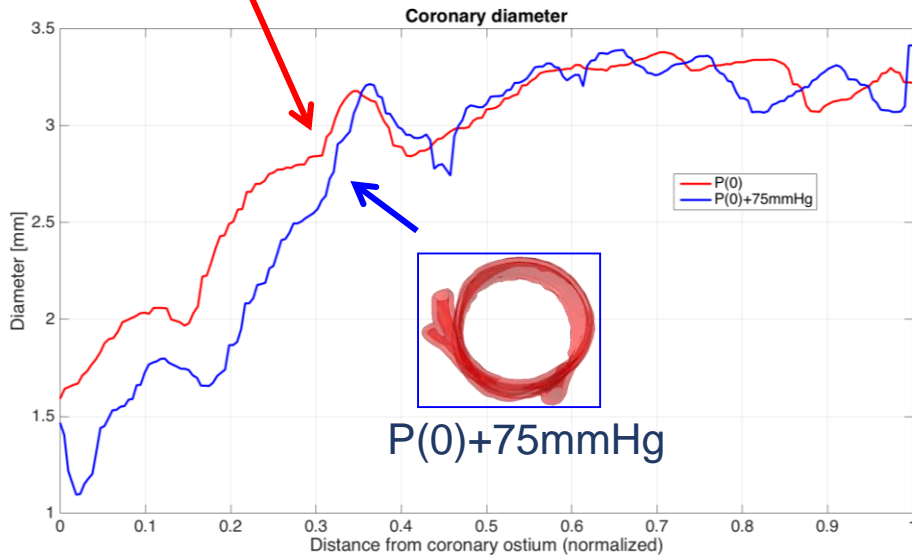


Risultati

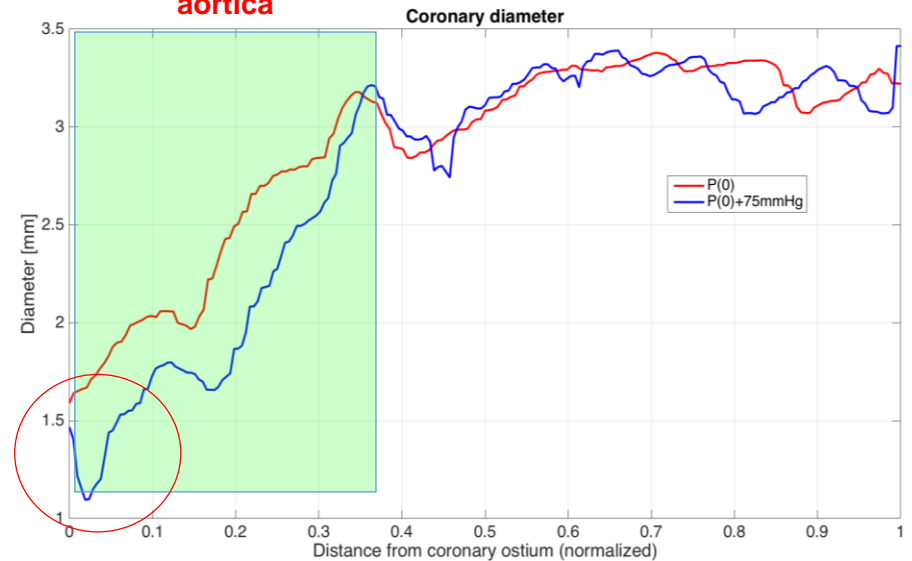
Realtà	Modello
P(0) non è 0 a causa della pressione alla base	P(0)=0
Il tessuto aortico ha un comportamento non lineare anisotropico	Materiale elastico lineare
Variazioni locali dello spessore e delle proprietà meccaniche del tessuto	Materiale omogeneo, spessore costante
Pressione aortica/coronarica e flusso non uniforme	Pressione uniforme applicata solo sulla radice aortica



$P(0)$



Parte della coronaria
attaccata alla parete
aortica



aumento della pressione dell'aorta

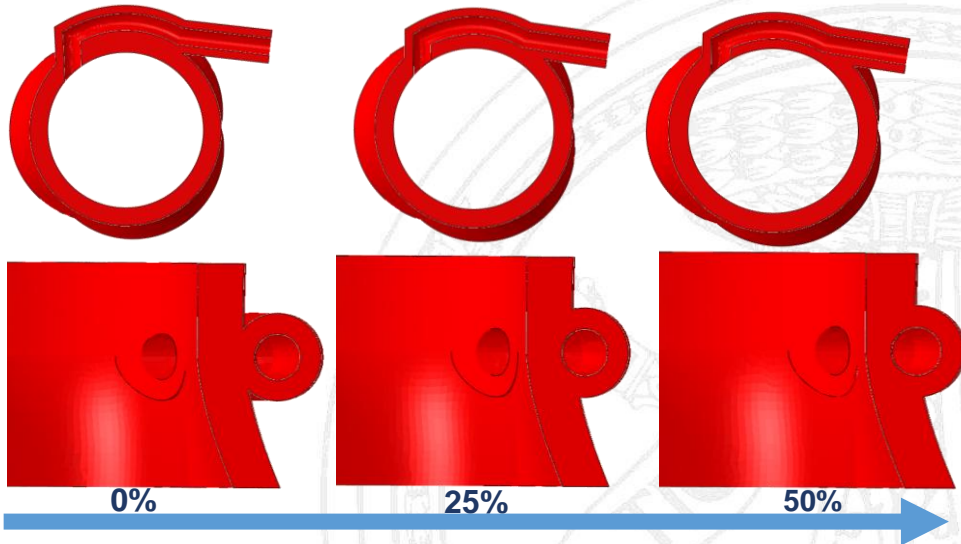


riduzione del diametro nel tratto della coronaria attaccato alla radice

Modello 1

Modello 2

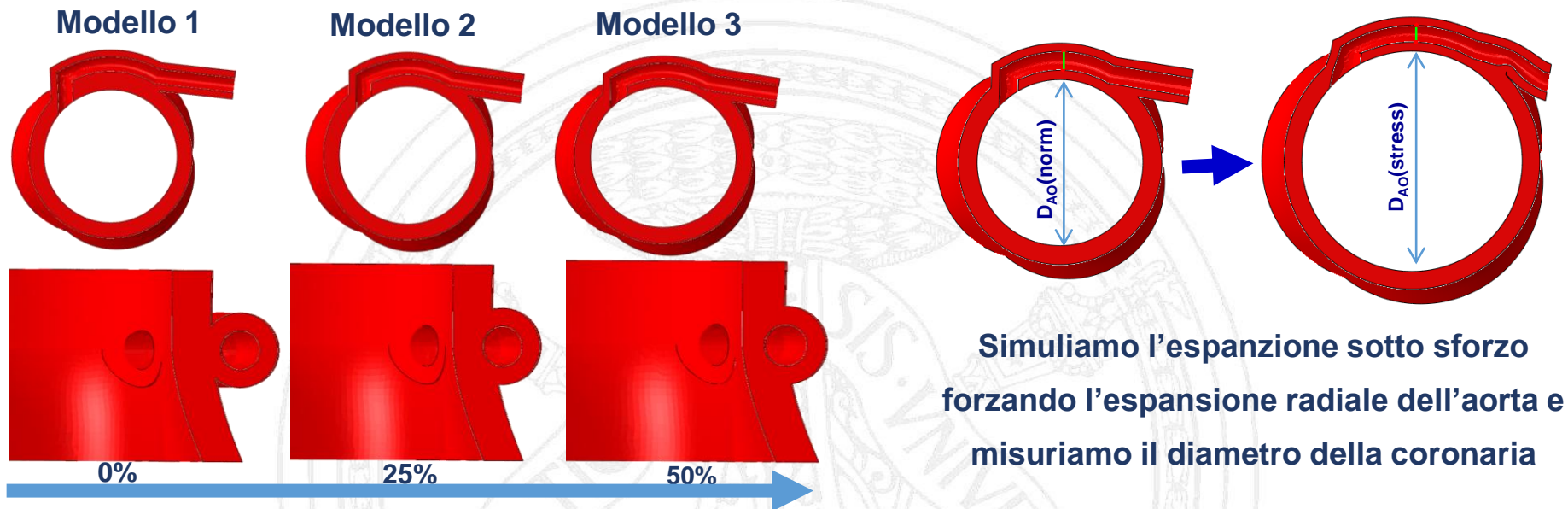
Modello 3

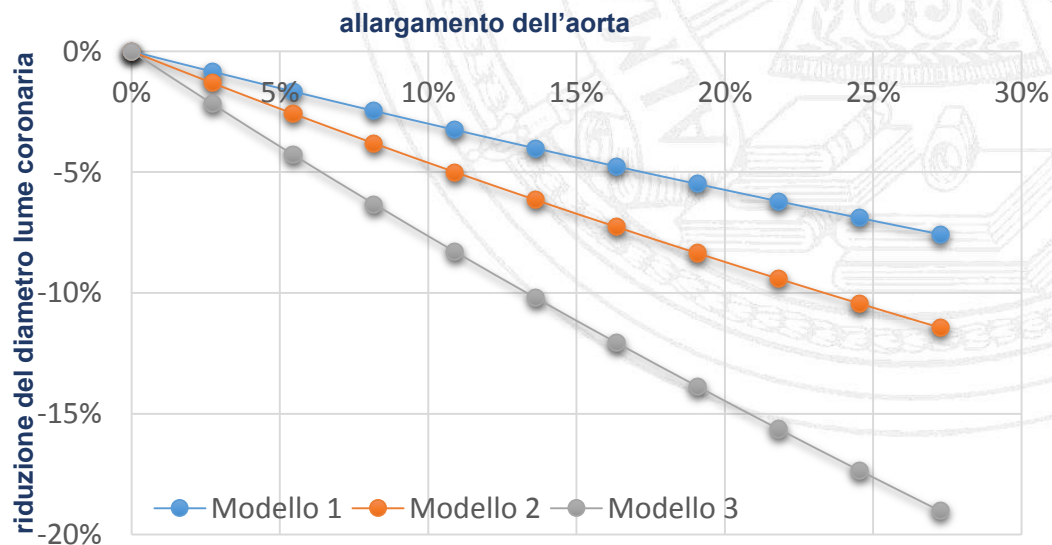
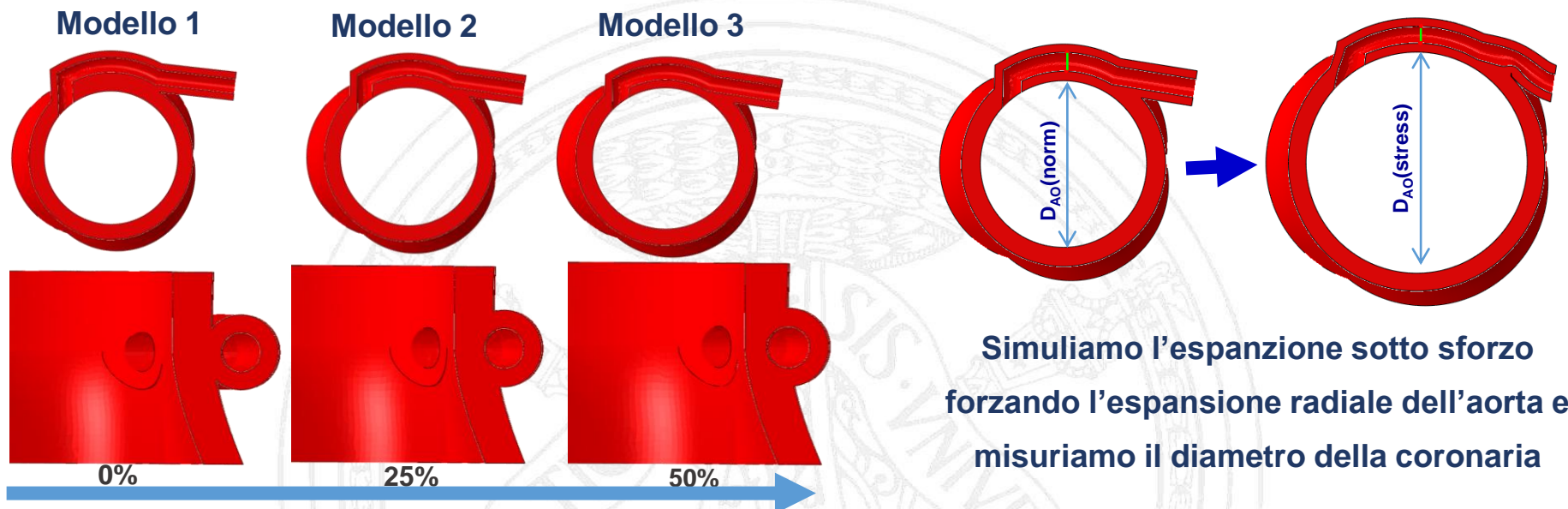


0%

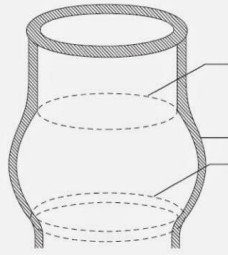
25%

50%





Maggiore è l'inclusione della coronaria nella parete aortica maggiore è l'effetto di occlusione coronarica indotta dall'espansione aortica



giunzione
sinotubulare

seni di Valsalva
anulus

DIAMETRO RADICE AORTICA

TITOLO	RIVISTA	PARAMETRI	NOTE
Aortic root dimensions in healthy subjects: clinical and echocardiographic correlates	<i>Olga Vritz et al, Circulation. 2012;126:A15437</i>	anulus: maschi: 22.56±2.15 mm femmine: 22.08±2.63 mm seni: maschi: 31.29±2.82 mm femmine: 30.34±2.83 mm	campione di 1236 soggetti giovani sani: 791 maschi, 445 femmine
Aortic root dimension changes during systole and diastole: evaluation with ECG-gated multidetector row computed tomography	<i>Abbas Arjmand Shabestari et al Int J Cardiovasc Imaging (2013) 29:1391–1400</i>	Sistole: Anulus: 25.1± 3.3 Seni: 33.5±3.6 Diastole: Anulus: 24.0±3.1 Seni: 32.83.6	Diametro radice aortica in sistole e in diastole (mm)

SPESSORE PARETE AORTICA

TITOLO	RIVISTA	PARAMETRI	NOTE
Using MRI to Assess Aortic Wall Thickness in the Multiethnic Study of Atherosclerosis: Distribution by Race, Sex, and Age	<i>Arthur E. Li et al American journal of Roentgenology</i>	Media: Maschi: 2.32 mm Femmine: 2.11 mm	196 partecipanti senza malattie cardiache: 98 uomini 98 donne
Measurement of the aortic wall thickness using transesophageal echocardiography in patients with aortic dissection	<i>JZaher Fanar et al, ACC March 27, 2012</i>	2.46 mm	spessore parete aortica

Parametri riportati in letteratura

DIAMETRO DELLE CORONARIE

TITOLO	RIVISTA	PARAMETRI	NOTE
Lumen diameter of normal human coronary arteries. Influence of age, sex, anatomic variation, and left ventricular hypertrophy or dilation.	<i>J. Theodore Dodge Jr et al, Circulation. 1992;86:232-246</i>	RCA: 3.9 +/- 0.6 mm maschi 3.3 +/- 0.6 mm femmine LCx: 3.4 +/- 0.5 mm maschi 2.9 +/- 0.6 mm femmine	RCA: arteria coronaria destra LCx: arteria circonflessa sinistra
Coronary artery: quantitative evaluation of normal diameter determined with electron-beam CT compared with Cine coronary angiography	<i>Nobusada Funabashi et al, Radiology 2003; 226:263-271</i>	RANGE: LM 3.82-6.09 mm LAD 1.46-5.28 mm LCx 1.52-5.27 mm RCA 2.71-5.67 mm	LM coronaria sinistra principale LAD arteria discendente anteriore LCx arteria circonflessa RCA arteria coronaria destra

SPESSORE PARETE CORONARICA

TITOLO	RIVISTA	PARAMETRI	NOTE
Coronary Artery Wall Thickness of the Left Anterior Descending Artery Using High Resolution Transthoracic Echocardiography – Normal Range of Values	<i>Rebecca Perry et al © 2013, Wiley Periodicals, Inc.</i>	parete anteriore e posteriore: 1.1 +/- 0.2 mm	Spessore parete coronarica
Left anterior descending coronary artery wall thickness measured by high-frequency transthoracic and epicardial echocardiography includes adventitia.	<i>Gradus-Pizlo et al Am J. Cardiol 2003 Jan</i>	1.0 +/- 0.1 mm (HR-2DTTE) 1.0 +/- 0.2 mm (HFEE)	HR-2DTTE:ecg transtoracico HFEE: ecg epicardico

Parametri in caso di sforzo elevato e dilatazione aortica negli atleti

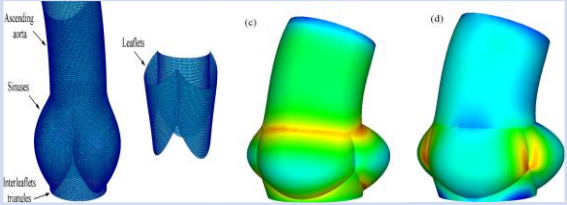
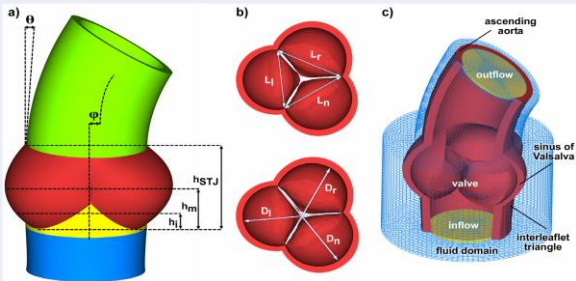
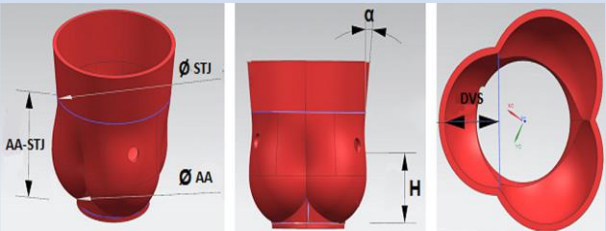
- Frequenza cardiaca da 65 a 180 battiti
- Portata cardiaca da 5 a 22 L/m
- Gettata sistolica da 77 a 122cc
- Pressione arteriosa da 111 a 140 mm/Hg

(Mitchell JH et al, Circulation 2000)

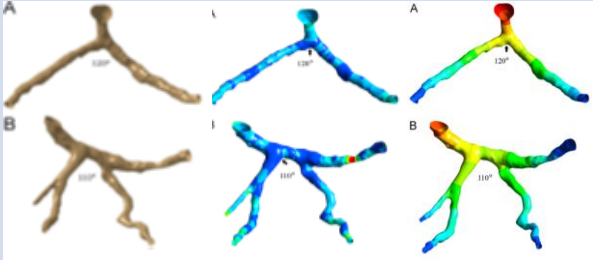
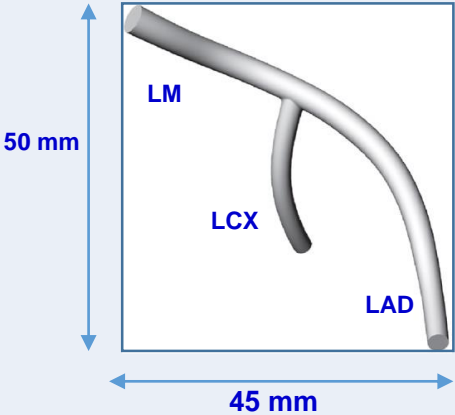


TITOLO	RIVISTA	PARAMETRI	NOTE
Determination of stroke volume and cardiac output during exercise: comparison of two-dimensional and Doppler echocardiography, Fick oximetry, and thermodilution	Jeffrey Christie et al <i>Circulation</i> Vol. 76, No. 3, September 1987	SISTOLE: A RIPOSO: 29.7 mm SOTTO SFORZO: 30.8 mm DIASTOLE: A RIPOSO: 29 mm SOTTO SFORZO: 30.2 mm	Diametro della radice aortica misurato a riposo e sotto sforzo (anulus)
Enlargement of the aorta: an occupational disease?	Mustafa Aparci et al <i>Exp Clin Cardiol</i> Vol 18 No 2 (2013)	diametro radice aortica: 35.6±3.0 mm vs 33.5±1.9 mm (al livello dei seni)	Diametro radice aortica in atleti e gruppo di controllo
Aortic root dimensions in elite athletes	Antonello D'Andrea et al <i>Am J Cardiol</i> 2010;105:1629–1634	anulus: media: 25 mm seni: media: 36 mm	Intenso sforzo fisico
Aortic root disease in athletes: aortic root dilation, anomalous coronary artery, bicuspid aortic valve, and Marfan's syndrome	Eugene Sun Yim <i>Springer International Publishing Switzerland</i> 2013	Percentuale aumento diametro radice aortica: 1.3% maschi 0.9% femmine	Popolazione oggetto di studio: giovani atleti

Radice aortica – lavori di biomeccanica

LAVORO	RIVISTA-ANNO	MODELLO	NOTE
Dynamic finite element analysis of the aortic root from MRI-derived parameters	<i>Medical Engineering & Physics</i> 32 (2010) 212–221	 <p>3D FE model circumferential and longitudinal stresses</p>	<p>Diametro al livello dell' anulus: destro: 23.9 ± 3.8 mm, sinistro: 25.6 ± 4.7 mm, non-coronarico 25.6 ± 3.2 mm al livello della giunzione sino-tubulare: destro: 27.1 ± 6.6 mm, sinistro: 25.9 ± 5.8 mm, non-coronarico: 29.9 ± 4.1 mm</p>
Impact of modeling fluid–structure interaction in the computational analysis of aortic root biomechanics	<i>Medical Engineering & Physics</i> 35 (2013) 1721– 1730		<p>Spessore parete aortica: ostio coronarico destro: 1.025 mm ostio coronarico sinistro: 1.076 mm</p>
Computer-aided design of the human aortic root	<i>Computers in Biology and Medicine</i> 54 (2014) 109–115	 <p>modello 3D radice aortica</p>	<p>diametro AA (anulus): 18.5 mm STJ (giunzione sino-tubulare): 29.1 mm AA-STJ: 10.5 mm H (altezza ostio coronarico): 15.9 mm α: 6.5°</p>

Coronarie – lavori di biomeccanica

LAVORO	RIVISTA-ANNO	MODELLO	NOTE
<p>Computation of hemodynamics in the left coronary artery with variable angulations</p>	<p><i>Journal of Biomechanics</i> 44 (2011) 1869–1878</p>		<p>Parametri coronarie: LMS 3 mm, LAD 2 mm, LCx 1.5 mm</p> <p>Distanza tra la biforcazione e il segmento prossimale/distale:</p> <p>LMS: 35 mm LAD: 25 mm LCx: 20 mm</p> <p>LM coronaria sinistra principale LAD arteria discendente anteriore LCx arteria circonflessa</p>
<p>Unsteady blood flow and mass transfer of a human left coronary artery bifurcation: FSI vs. CFD</p>	<p><i>International Communications in Heat and Mass Transfer</i> 39 (2012) 745–751</p>	 <p>modello di arteria coronaria sinistra</p>	<p>LCA ricostruita da scansioni TC</p> <p>LCA principali diametri:</p> <p>DLM≈0.005 mm DLCx≈0.00325 mm DLAD≈0.00375 mm</p>

- il meccanismo esatto che spieghi **la correlazione tra anomalie delle coronarie e morte improvvisa** non è stato ancora chiarito e ci sono numerose controversie
- **due ipotesi più plausibili:**
 - decorso interarterioso
 - decorso intramurale
- in letteratura non si trovano articoli biomeccanici su modelli di coronarie anomale che possano confermare o meno l'ipotesi intramurale del nostro modello, questo ci fa capire come questo argomento sia ancora del tutto da sviluppare
- analisi clinica dei parametri: diametro della radice aortica maggiore in condizioni di sforzo fisico intenso



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Un ringraziamento particolare al Dott. Michele Conti