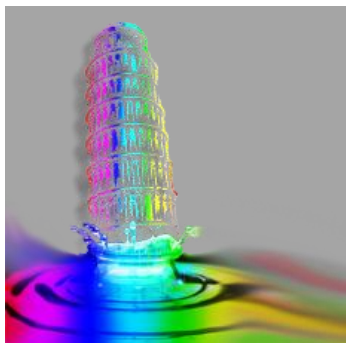




Centro E. Piaggio
bioengineering and robotics research center

Stampa 3D e biofabbricazione in ambito biomedicale



Irene Chiesa
Università di Pisa
Centro di ricerca “Enrico Piaggio”

irene.chiesa@phd.unipi.it

+ Outline

- **Introduzione alla stampa 3D**

- **Pipeline di stampa**

- **Modelli 3D da immagini biomedicali**

- **Introduzione al CAD**

- Descrizione delle varie tecniche di fabbricazione

- Stampa 4D

- Slicing con cura

- Introduzione **all'ingegneria dei tessuti**

- Definizione di **biofabbricazione, bioassembly e bioprinting**

- Stampa di **materiale vivente**

- Focus sulla **stampa 3D ad estrusione**

- **Nuovi trend** nel bioprinting (in situ, scaffold funzionalmente graduati e 4D bioprinting)

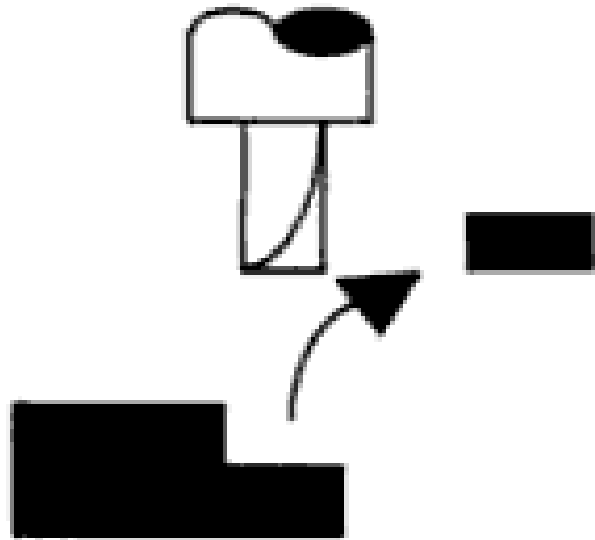
- Introduzione ai bioreattori

- Clinical translation dei costrutti biostampati

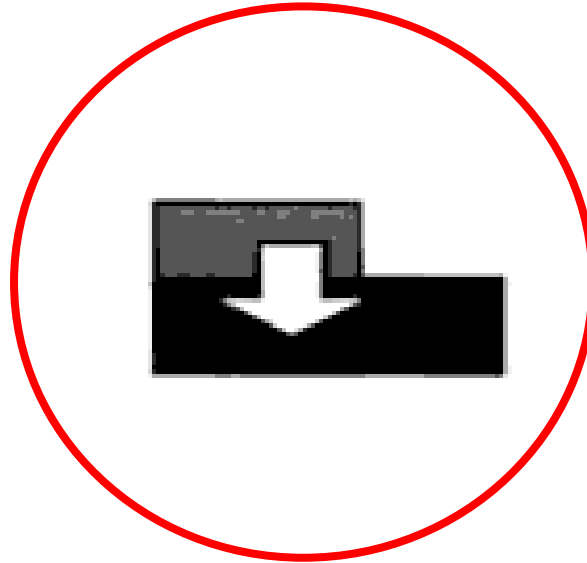
- Esempi significativi in letteratura



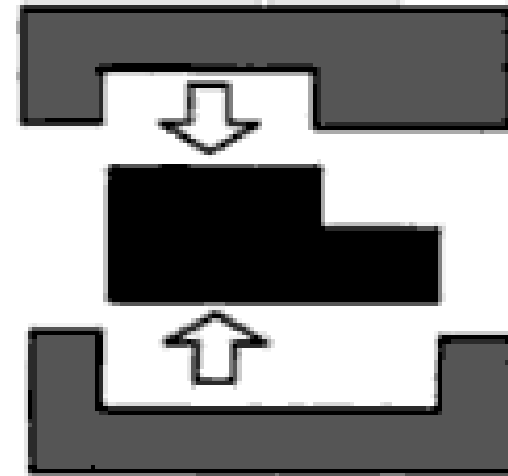
+ Fabbricazione di un oggetto 3D



Subtractive



Additive

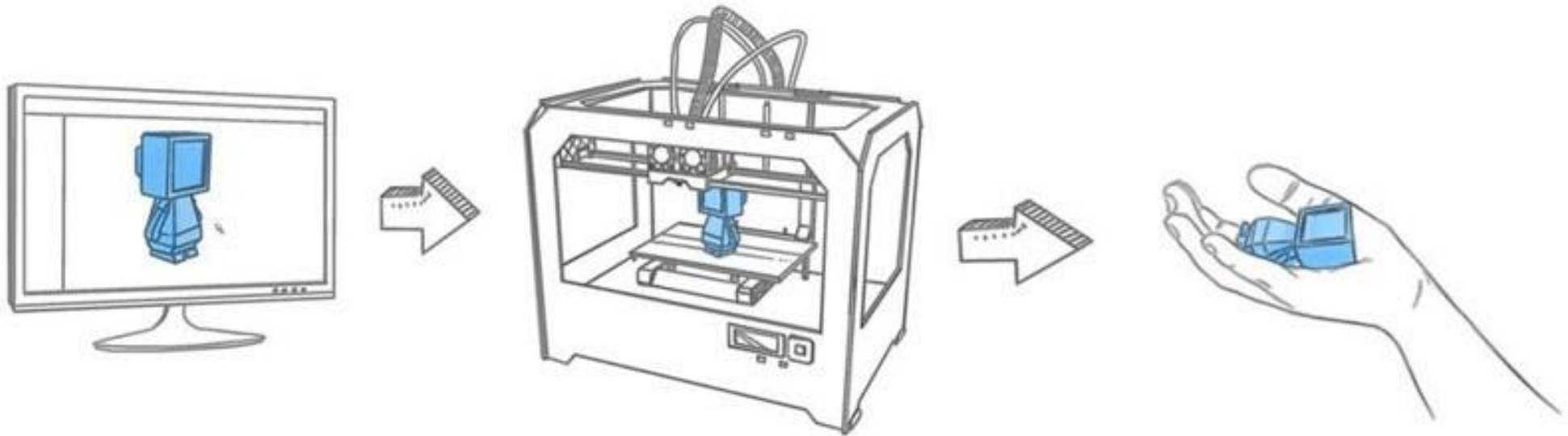


Formative

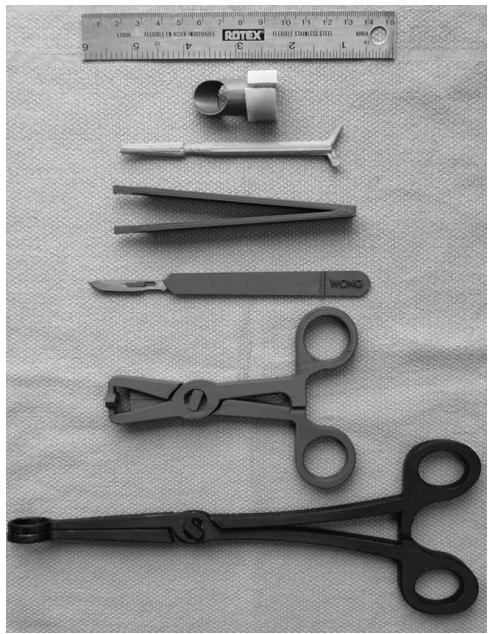
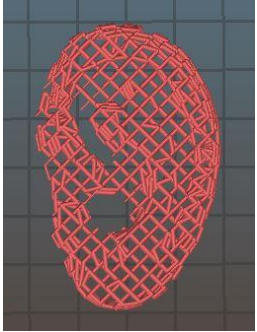
+ Stampa 3D

La stampa 3D (fabbricazione additiva) è un processo di fabbricazione di un **oggetto solido 3D** a partire **da un modello digitale** dell'oggetto stesso.

Si ottiene attraverso un **processo additivo**, dove successivi strati di materiale sono depositati l'uno sull'altro fino ad ottenere la forma finale



+ Stampa 3D in ambito biomedicale



+ Pipeline di stampa

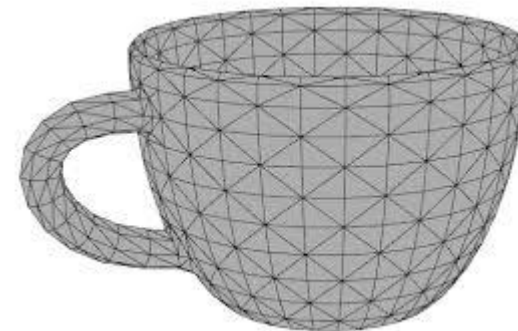
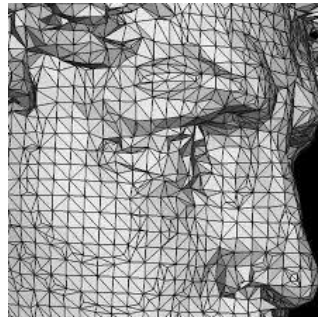
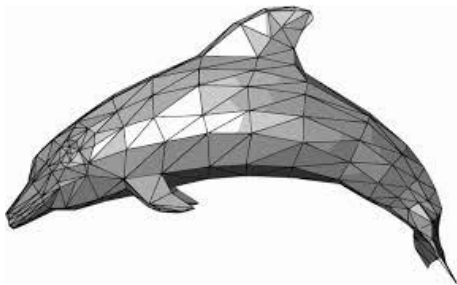
1. Definizione dell'oggetto tridimensione che si vuole stampare
2. Tessellazione
3. Slicing del modello
4. Fabbricazione fisica del modello (fase di stampa)
5. Pulitura e post processing
6. Finitura superficiale



+ Pipeline di stampa

1. Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

- **Modello digitale** è una **rappresentazione digitale** di un **oggetto reale**.
 - Un modello digitale è
 - **Chiuso**
 - **Discretizzato**
- Generalmente rappresentazione della sua **superficie esterna, che viene discretizzata in un'insieme di poligoni** → prendono il nome di **mesh**
- La mesh poligonale più utilizzata si base su **triangoli**
- Il formato dei modelli digitali è l'**STL** (Standard Triangle Language)
L' STL rappresenta solo la geometria dell'oggetto senza alcuna informazione sul colore o la texture.



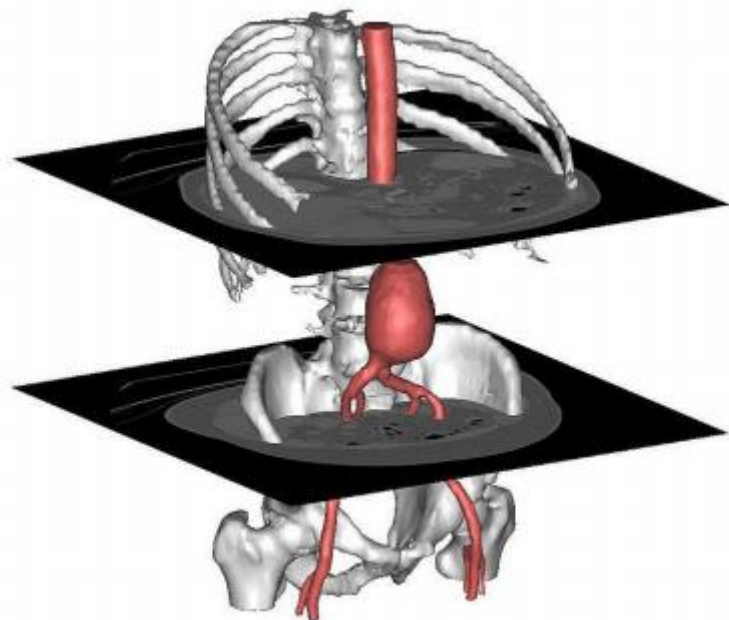
+ Pipeline di stampa

1. Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

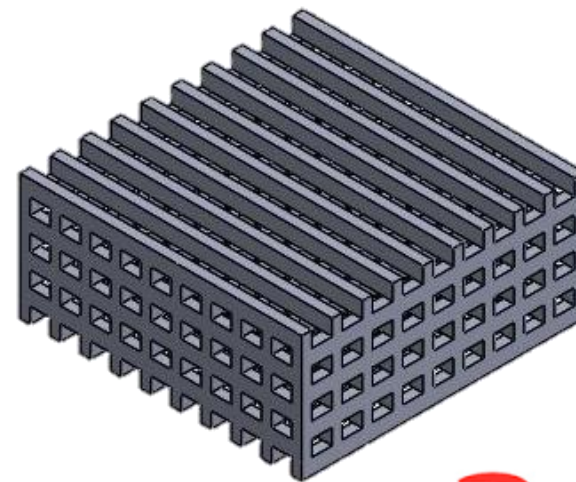
Il modello può essere direttamente scaricato da internet



Il modello può essere ottenuto da **un set di immagini** (CT, risonanze magnetiche, ...)

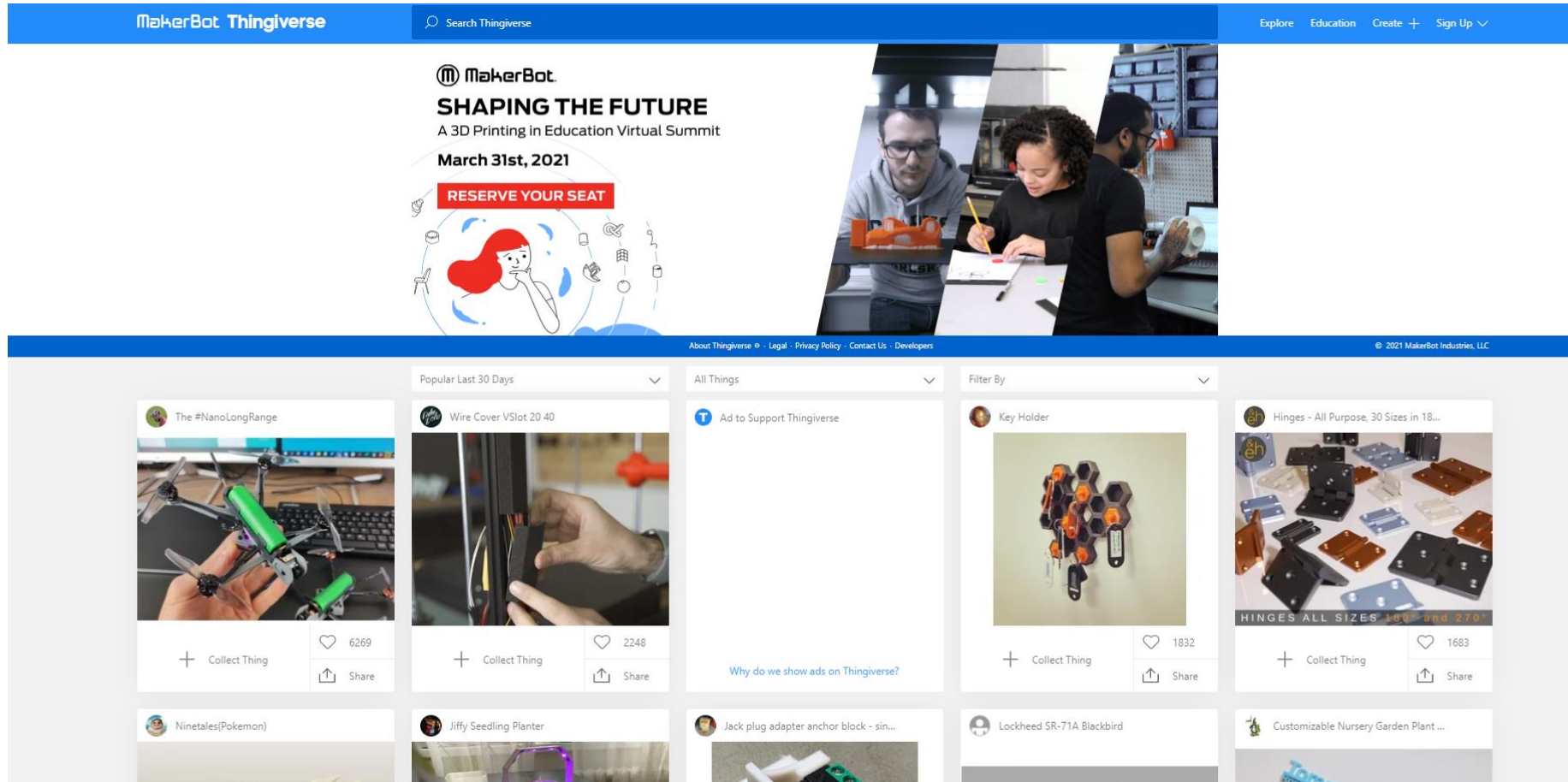


Il modello può essere ottenuto attraverso **software di disegno CAD**



+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modelli scaricabili da internet: **Thingiverse**

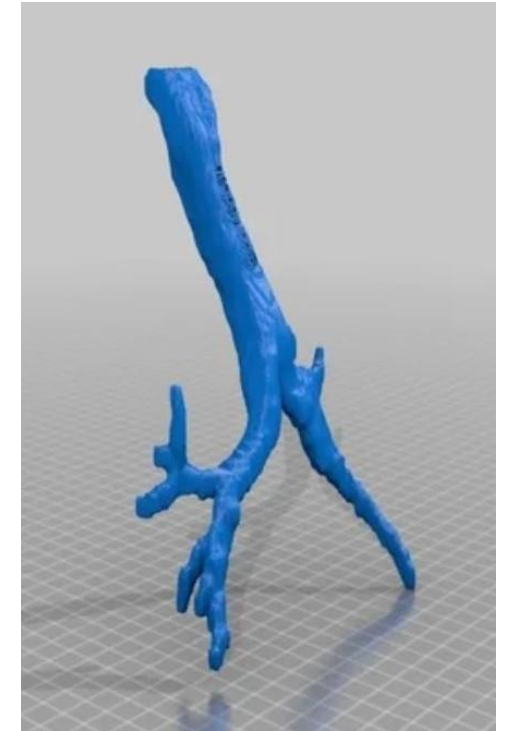
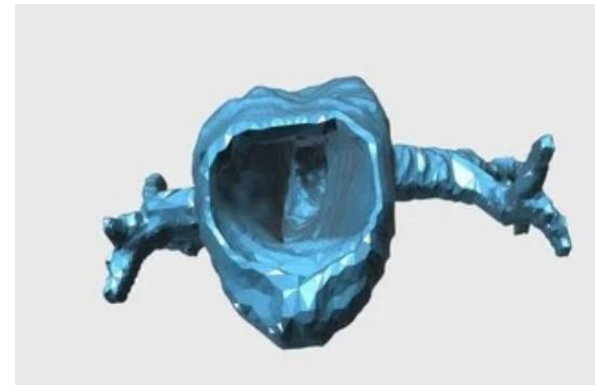
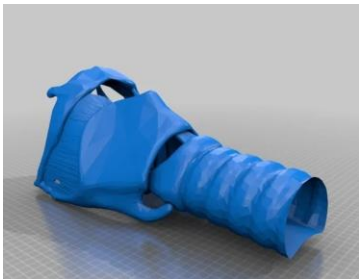


<https://www.thingiverse.com/>

+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modelli scaricabili da internet: **Thingiverse**

Case of study: phantom di trachea




+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modelli scaricabili da internet: **GrabCAD** e **3DCult**



The largest online community of professional designers, engineers, manufacturers, and students.



[JOIN THE COMMUNITY](#) [BROWSE CAD LIBRARY >](#)

Connect with over **8,660,000** members.
Share your ideas and CAD models.



Free CAD Library

Download and upload to the largest collection of professional CAD models.



Tutorials

An online resource to learn from engineers and designers like you.



Challenges

Compete in design challenges sponsored by companies like NASA, GE and Stratasys.



Groups

Connect with other engineers that have interests in the same topics as you.



Questions

Get your questions answered by experts in an array of industries, including engineering and CAD.

<https://grabcad.com/>



The screenshot shows the Cults3D website header. It features the Cults logo in purple, a navigation menu with items like 'UPLOAD', 'CREATIONS', 'MAKES', 'NEW CONTEST', 'COMMUNITY', and 'BLOG', a search bar, and a 'LOGIN' button. Below the navigation is a purple banner with a white cube icon and the text 'FIND AND DOWNLOAD THE GREATEST 3D MODELS FOR YOUR 3D PRINTER.'

FEATURED



3D PRINT FILE OF TUGGY THE RC TUGBOAT

By kozakm

With the return of the beautiful days and the walks, this project should delight you. It is a small radio-controlled boat entirely 3D printed. With its retro look, as if it came out of a comic book, this little boat will please both children and adults!

[DOWNLOAD 3D MODEL](#)

<https://cults3d.com/en>

+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modelli scaricabili da internet: **3dprint.NIH**



NIH

Collections



COVID-19 Response

A partnership with the FDA, VA,
and America Makes



Outbreak

Created for the Smithsonian National
Museum of Natural History



Prosthetics

Curated by e-NABLE



Neuroscience

Curated by EyeWire



Heart Library

Sponsored by Jump Simulation



RCSB MOM

RCSB PDB
Molecule of the Month

create and share 3D-printable models related to
biomedical science.

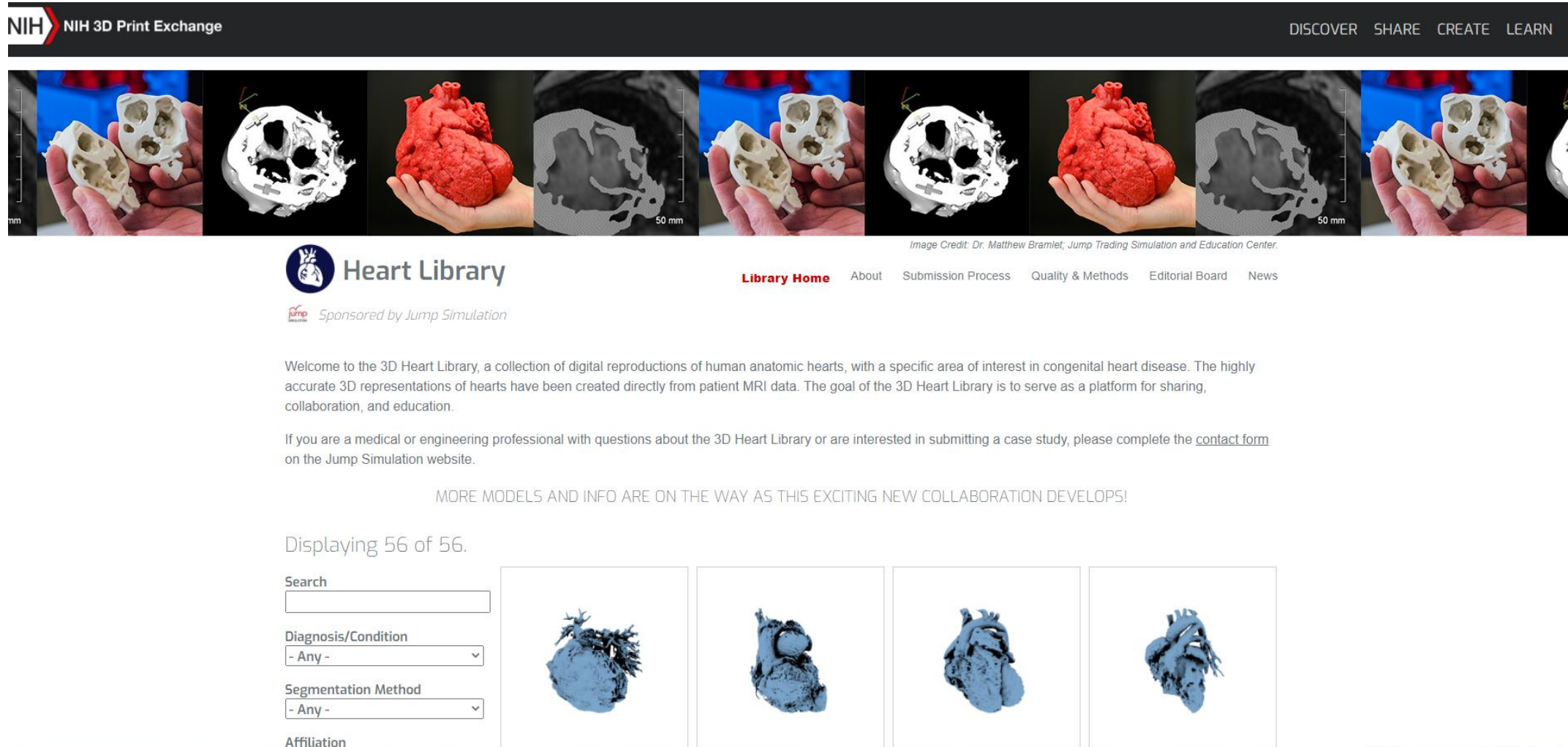
Guarda su  YouTube



<https://3dprint.nih.gov/>

+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modelli scaricabili da internet: **3dprint.NIH**

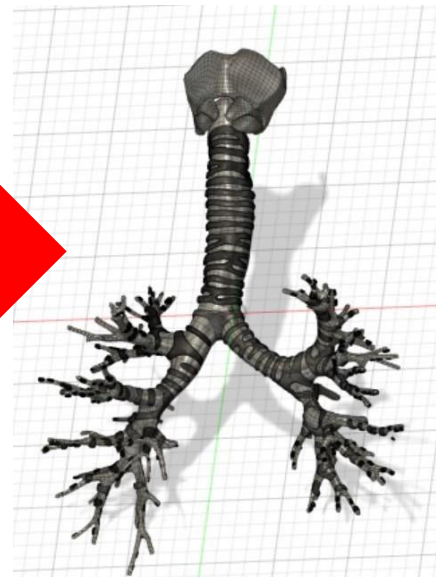
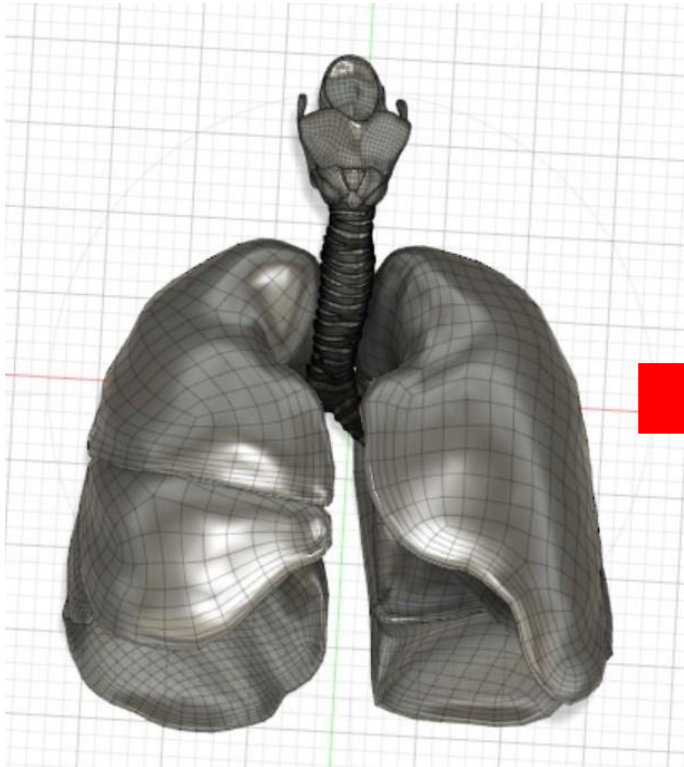


The screenshot displays the NIH 3D Print Exchange website. At the top, the NIH logo and "NIH 3D Print Exchange" text are on the left, and navigation links "DISCOVER", "SHARE", "CREATE", and "LEARN" are on the right. Below the header is a banner image showing various 3D models: a white skull, a red heart, and a grey cross-section of a skull, each with a 50 mm scale bar. Below the banner is the "Heart Library" logo and navigation menu including "Library Home", "About", "Submission Process", "Quality & Methods", "Editorial Board", and "News". A sponsorship logo for "Jump Simulation" is also present. The main text reads: "Welcome to the 3D Heart Library, a collection of digital reproductions of human anatomic hearts, with a specific area of interest in congenital heart disease. The highly accurate 3D representations of hearts have been created directly from patient MRI data. The goal of the 3D Heart Library is to serve as a platform for sharing, collaboration, and education." Below this, it says: "If you are a medical or engineering professional with questions about the 3D Heart Library or are interested in submitting a case study, please complete the [contact form](#) on the Jump Simulation website." A note states: "MORE MODELS AND INFO ARE ON THE WAY AS THIS EXCITING NEW COLLABORATION DEVELOPS!". At the bottom, it says "Displaying 56 of 56." and shows a search bar and filters for "Diagnosis/Condition", "Segmentation Method", and "Affiliation". Four 3D heart models are displayed in a row.

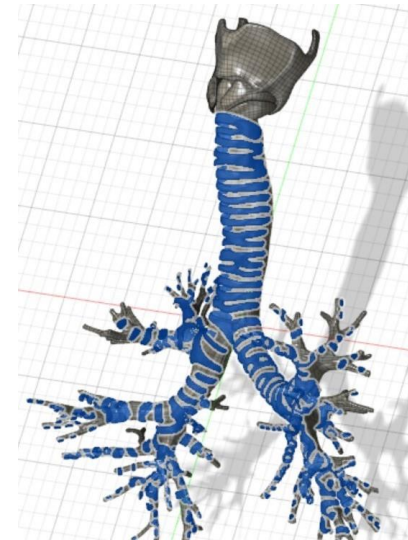
+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modelli scaricabili da internet: **3dprint.NIH**

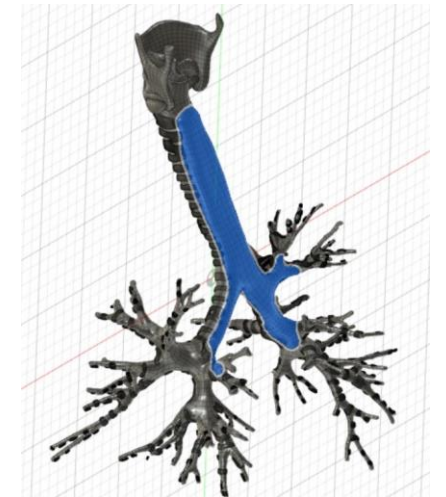
Case of study: phantom di trachea



Laringe, trachea
e bronchi



Anelli
tracheali

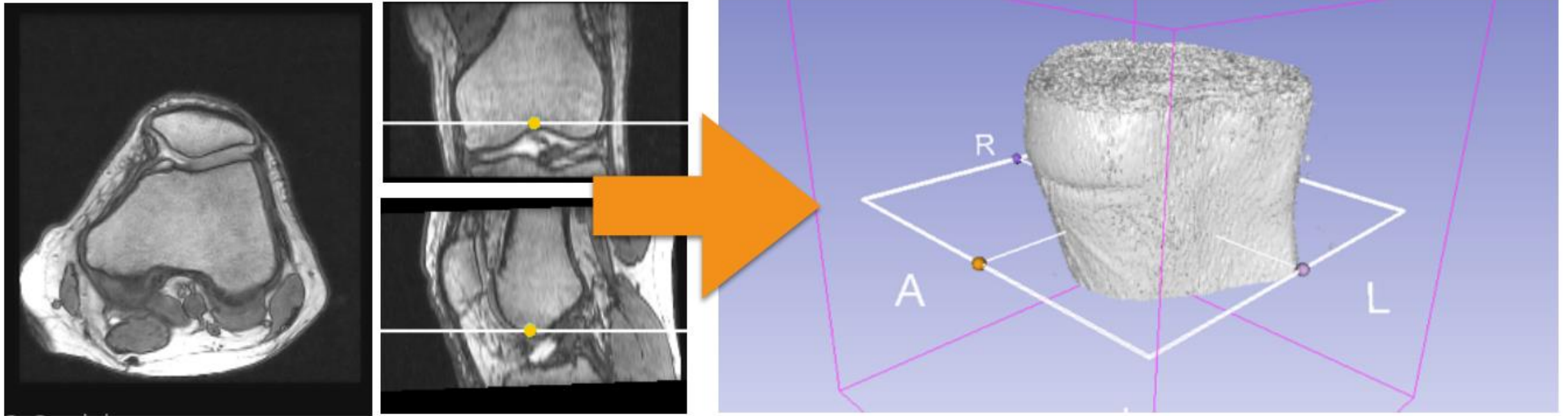


Parete
membranosa

•È possibile scaricare un **unico file** che contiene un **set di modelli separati** di **tutte** le componenti del sistema respiratorio

+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di immagini medicali



MRI stacks

3D Model

+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di **immagini medicali**

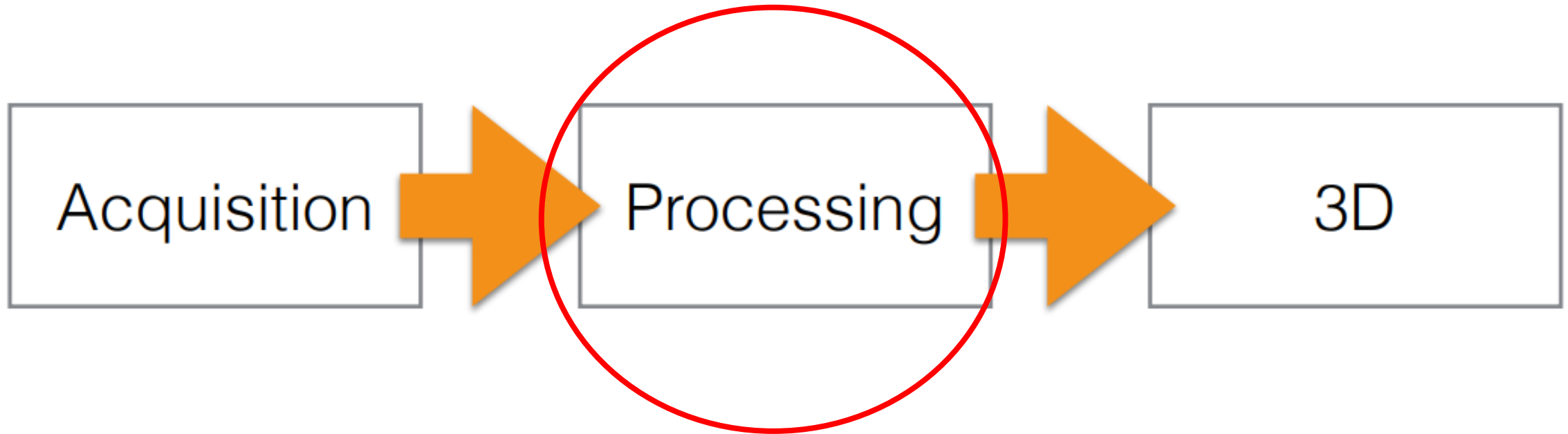
Formato delle immagini mediche: **DICOM** (**D**igital **I**maging and **C**ommunications in **M**edicine)

- Formato **standard**
- Composto da una serie di **immagini 2D + metadati** (informazioni personali del paziente, data dell'esame, etc).
- Ci sono una serie di **software di elaborazione di immagini** (3D slicer o MATLAB) che sono in grado di aprire file di tipo DICOM



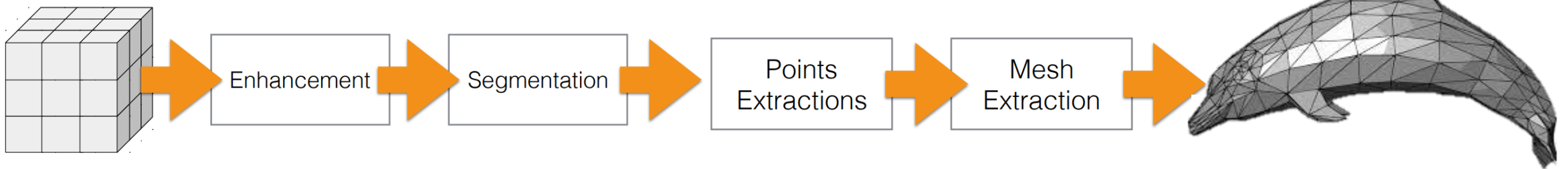
+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di immagini medicali: pipeline



+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di immagini medicali: pipeline



RAW Volume

+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di **immagini medicali**

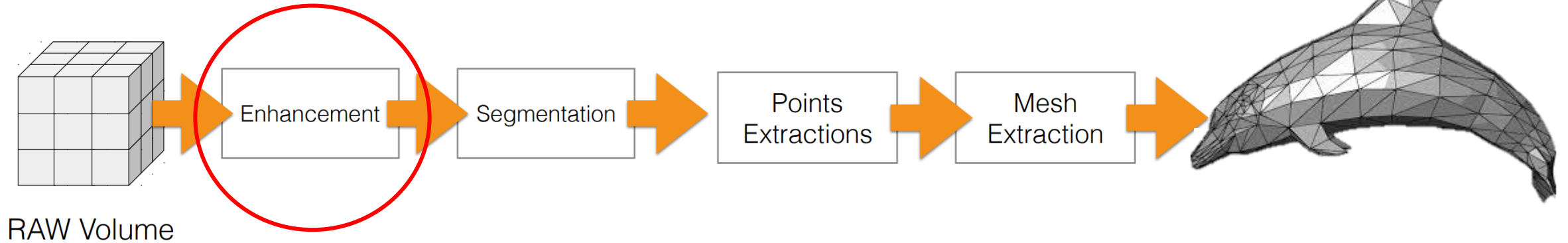
- Un'immagine monocromatica (in scala di grigi) può essere definita come una **funzione bidimensionale** $f(x, y)$, dove x e y sono le **coordinate spaziali**. Ad ogni **coordinata** è associato un **valore f** che indica il **livello di grigio dell'immagine** in quel determinato punto, che prendere il nome di **intensità**.
- Generalmente, le immagini digitali utilizzato 8 bit \rightarrow in un immagine a scala di grigi i valori di intensità posso valore 0 – 255



230	229	232	234	235	232	148
237	236	236	234	233	234	152
255	255	255	251	230	236	161
99	90	67	37	94	247	130
222	152	255	129	129	246	132
154	199	255	150	189	241	147
216	132	162	163	170	239	122

+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di immagini medicali: pipeline

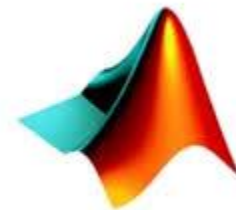


Miglioramento dell'immagine:

- **Aumentare il contrasto** nel volume di dati
- **Rimuovere il rumore** con appositi filtri



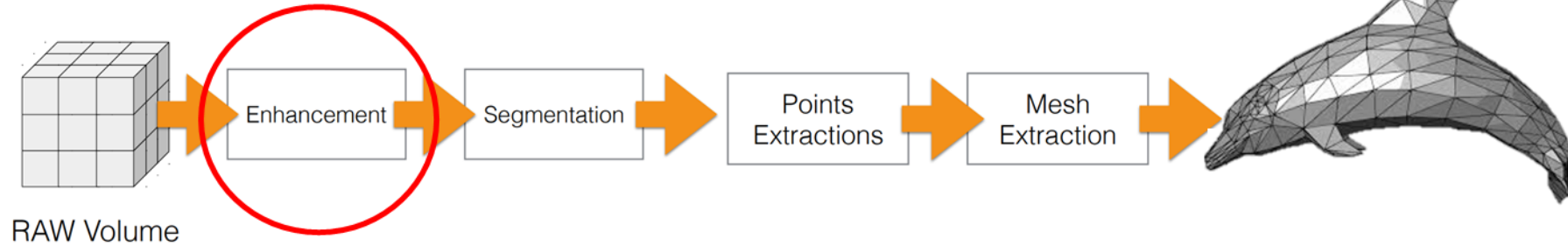
ImageJ



MATLAB

+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

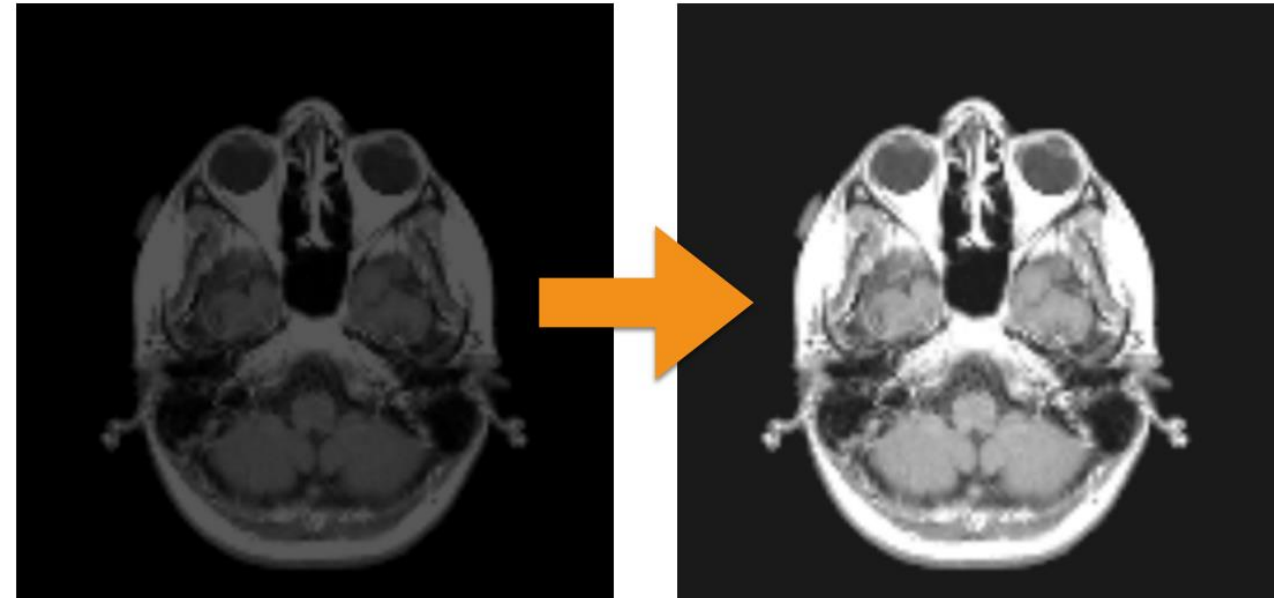
Modello 3D da set di immagini medicali: pipeline



1. Contrast Stretching

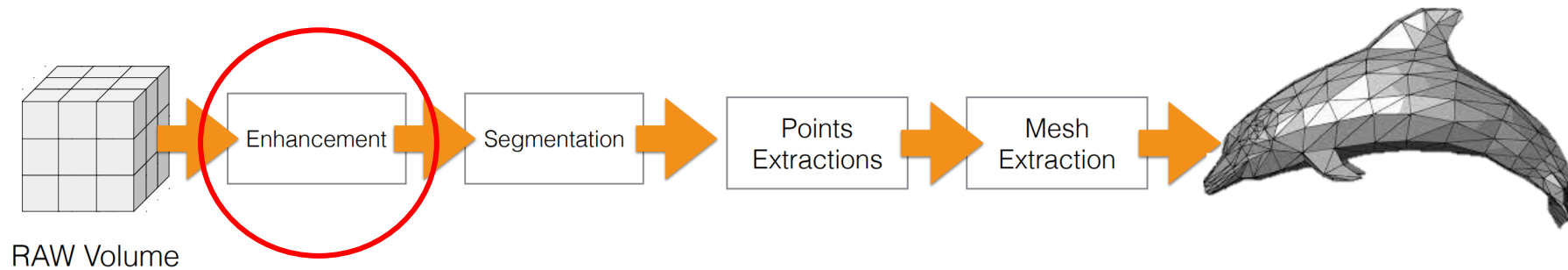
Miglioramento dell'immagine:

- **Aumentare il contrasto** nel volume di dati
- **Rimuovere il rumore** con appositi filtri



+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

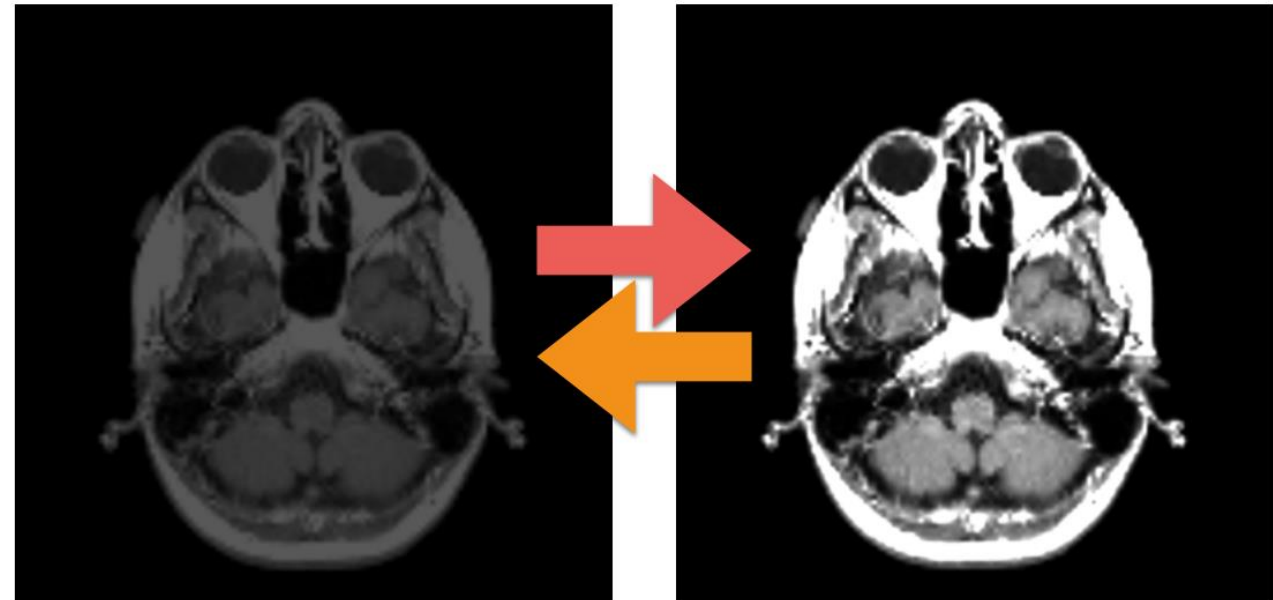
Modello 3D da set di immagini medicali: pipeline



2. Gamma Stretching

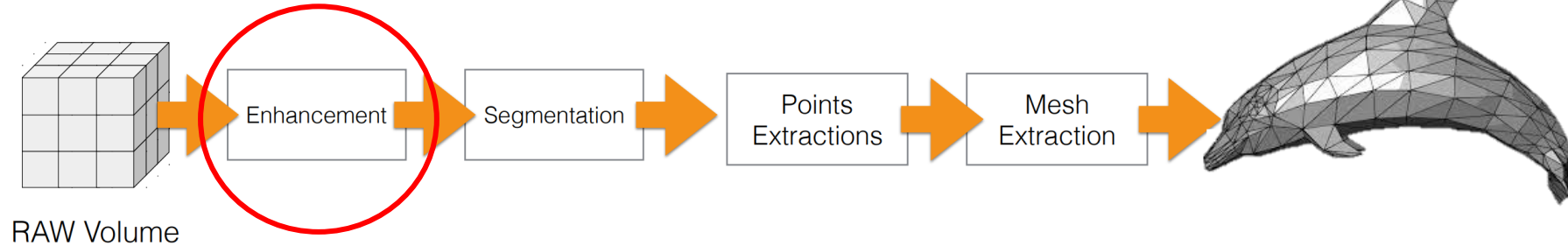
Miglioramento dell'immagine:

- **Aumentare il contrasto** nel volume di dati
- **Rimuovere il rumore** con appositi filtri



+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

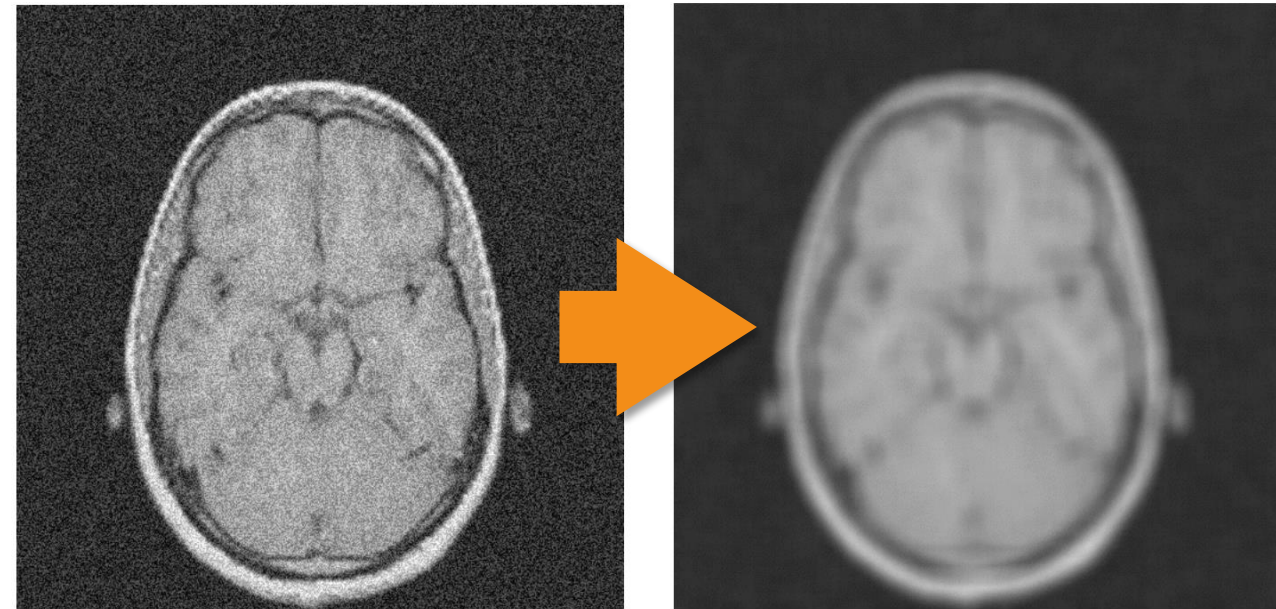
Modello 3D da set di immagini medicali: pipeline



1. Filtro Media

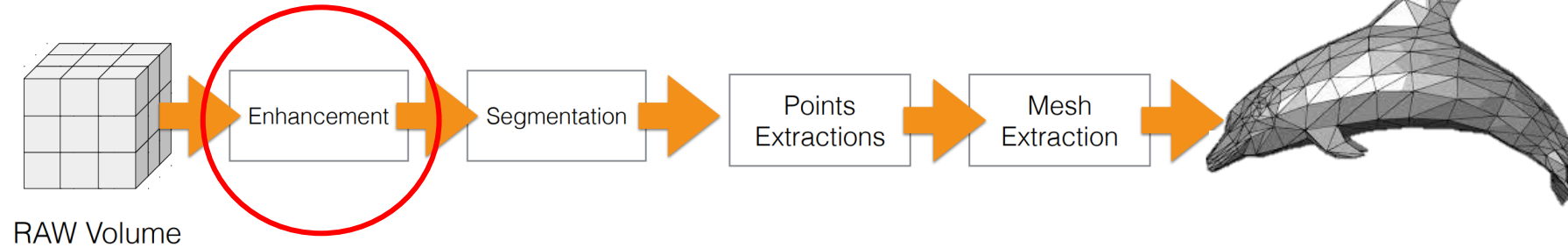
Miglioramento dell'immagine:

- **Aumentare il contrasto** nel volume di dati
- **Rimuovere il rumore** con appositi filtri



+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

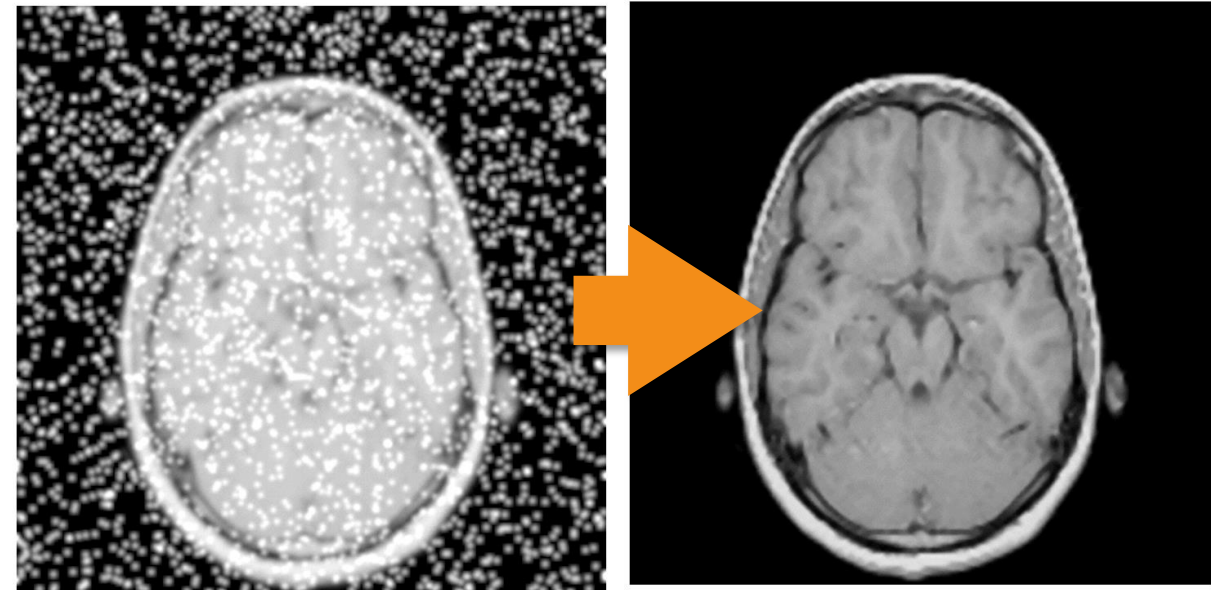
Modello 3D da set di immagini medicali: pipeline



2. Filtro Mediana

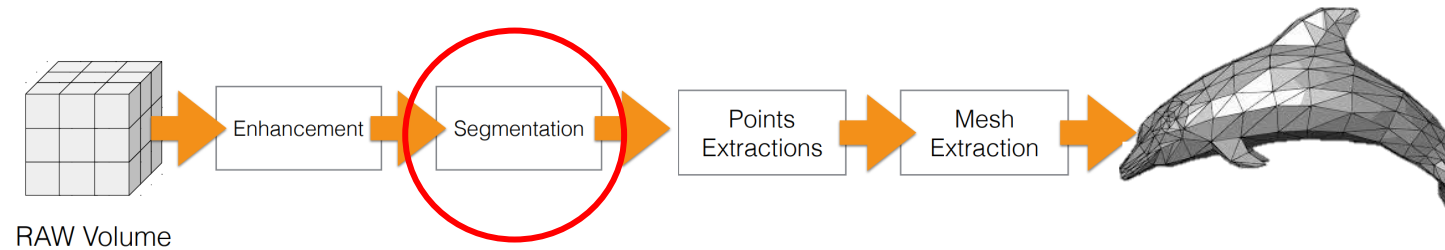
Miglioramento dell'immagine:

- **Aumentare il contrasto** nel volume di dati
- **Rimuovere il rumore** con appositi filtri



+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di **immagini medicali: pipeline**

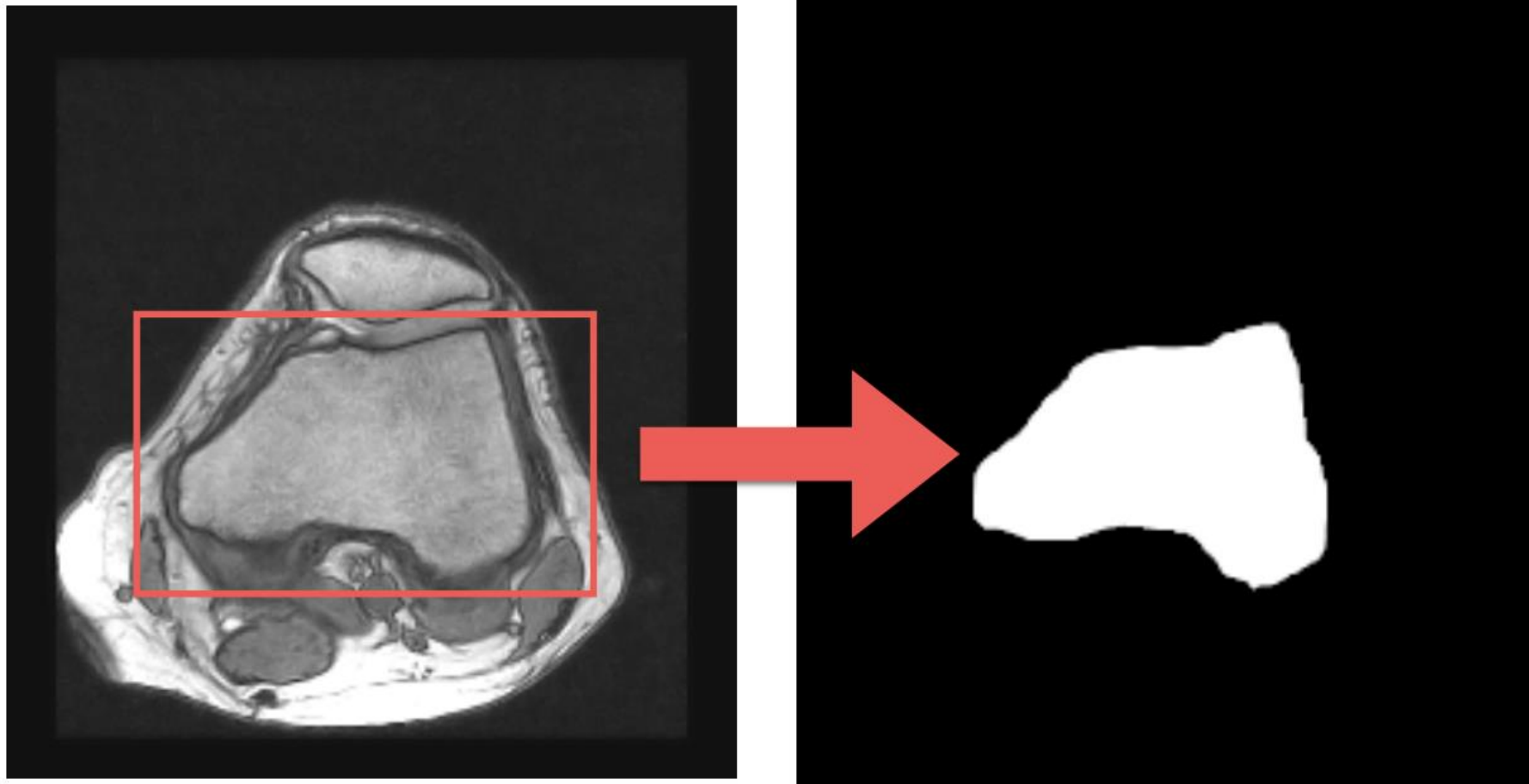


SEGMENTAZIONE

- Elaborazione digitale delle immagini che consiste nella **partizione di un'immagine in regioni significative**.
- Viene utilizzata per **estrarre degli oggetti di interesse**: processo con il quale **si classificano i pixel dell'immagine che hanno caratteristiche comuni**
- Un immagine segmentata è un'immagine binaria (in bianco e nero) in cui pixel possono valere 0 o 1
 - 1 = oggetto di interesse
 - 0 = sfondo
- Per uno stack di immagini (segmentazione 3D) si può segmentare ogni immagine 2D separatamente oppure segmentare una singola immagine e poi propagare la segmentazione

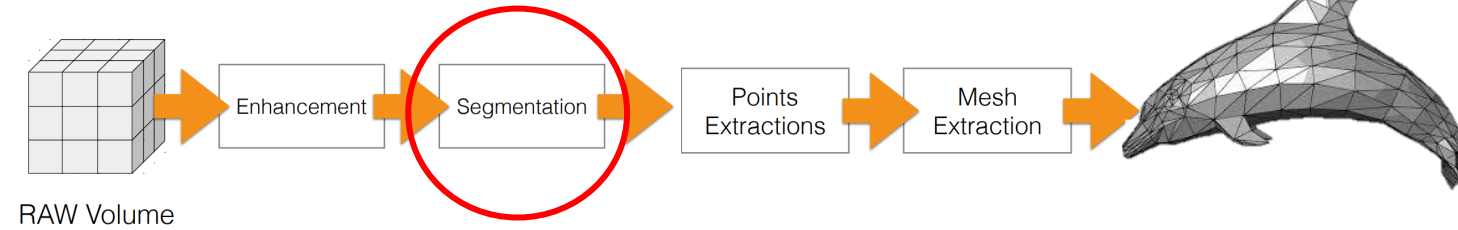
+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di immagini medicali: segmentazione



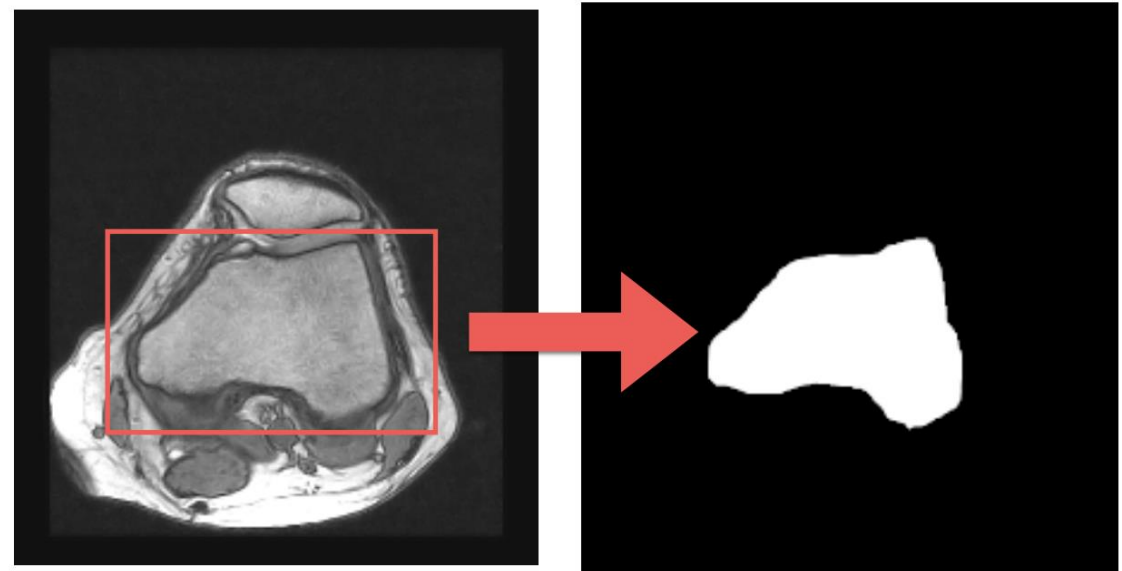
+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di immagini medicali: pipeline



Algoritmi di segmentazione:

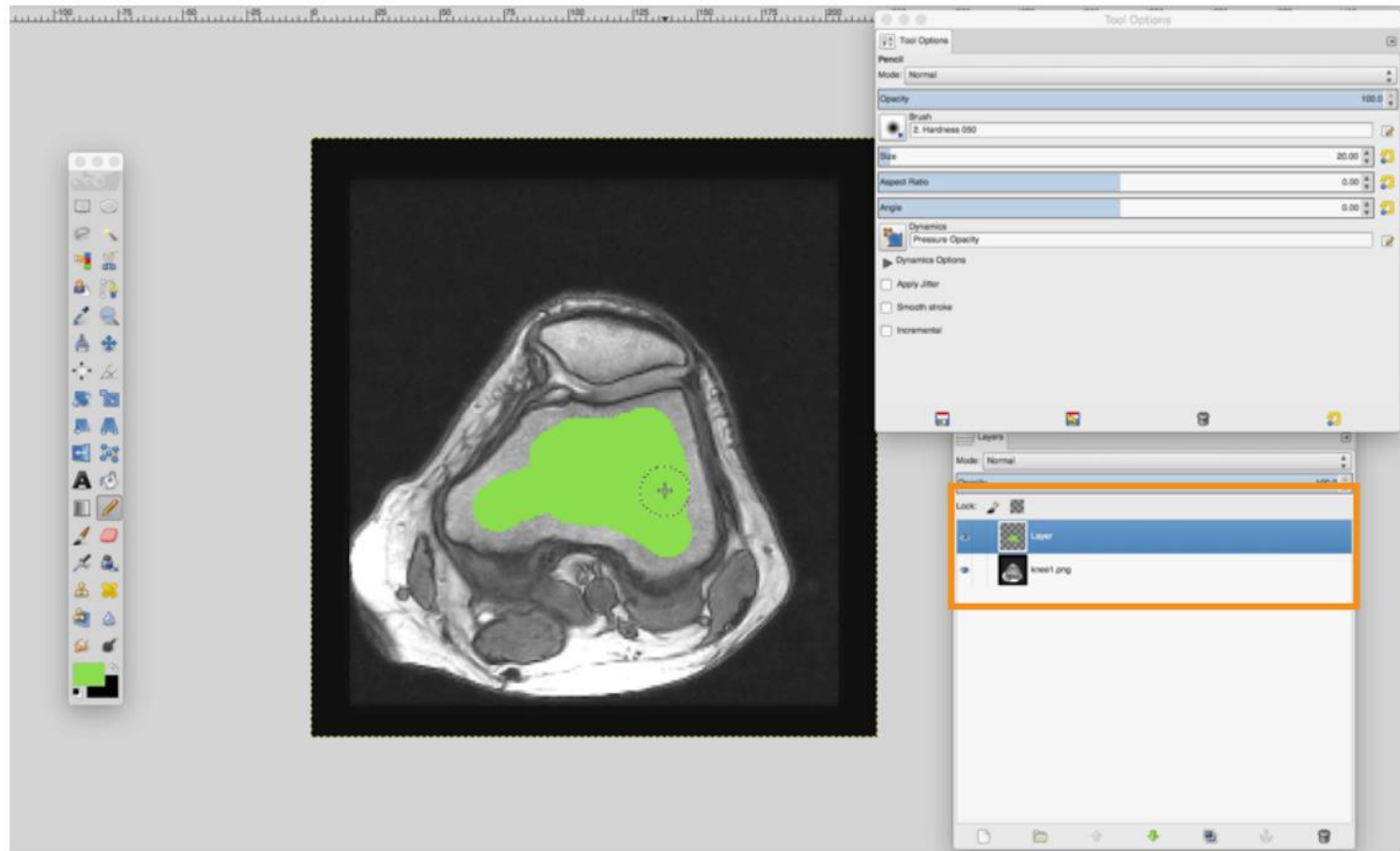
- Segmentazione manual
- Segmentazione a soglia
- Active contour Model
- Region Growing
- Machine learning
- ...



+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di immagini medicali: segmentazione

1. Segmentazione manuale

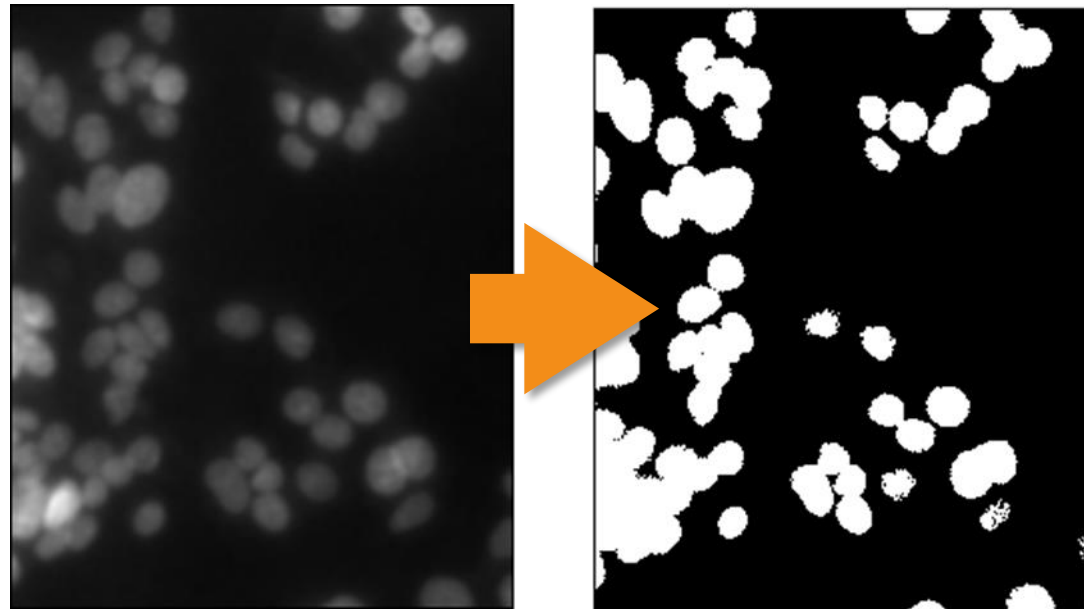


+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di immagini medicali: segmentazione

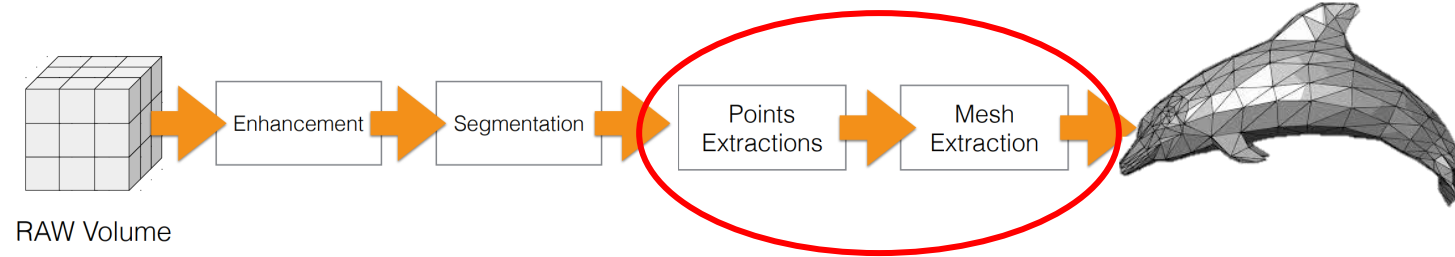
2. Segmentazione a soglia

- Si parte dall'idea che **l'oggetto di interesse** ha un **intensità definita (soglia)** che lo **distingue dallo sfondo**.
- Tutti i pixel con un'intensità vicino a quella di soglia vengono identificati come oggetto di interesse, tutti gli altri come sfondo.

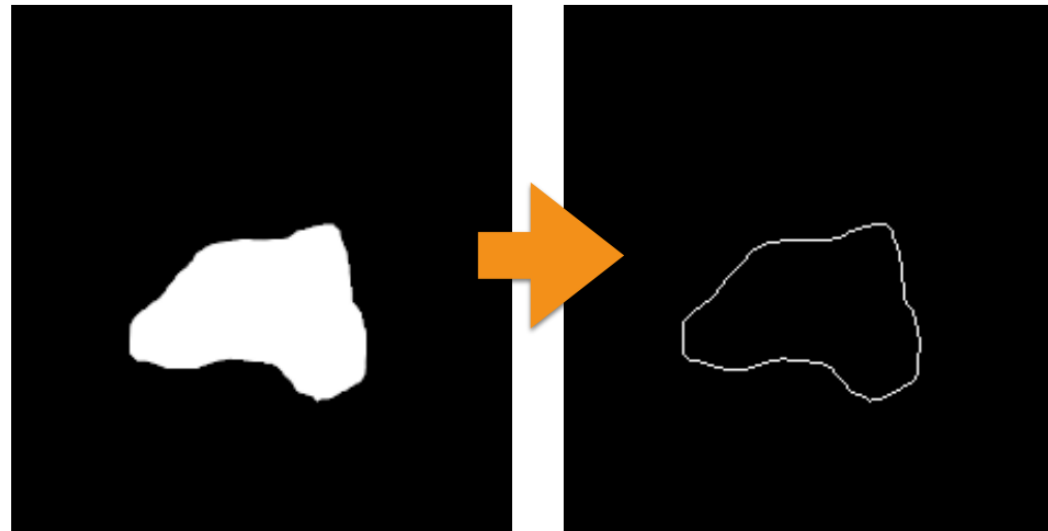


+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di **immagini medicali: pipeline**

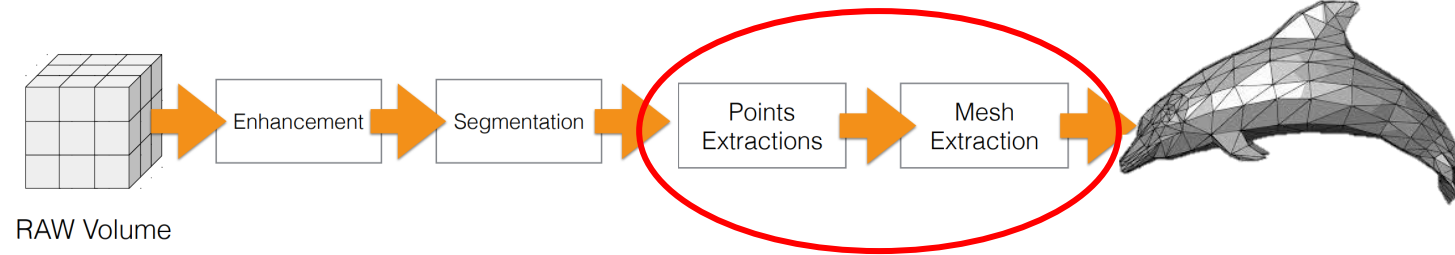


Estrazione dei punti = Per ogni immagine 2D si estraggono i punti che rappresentano i bordi della regione segmentata



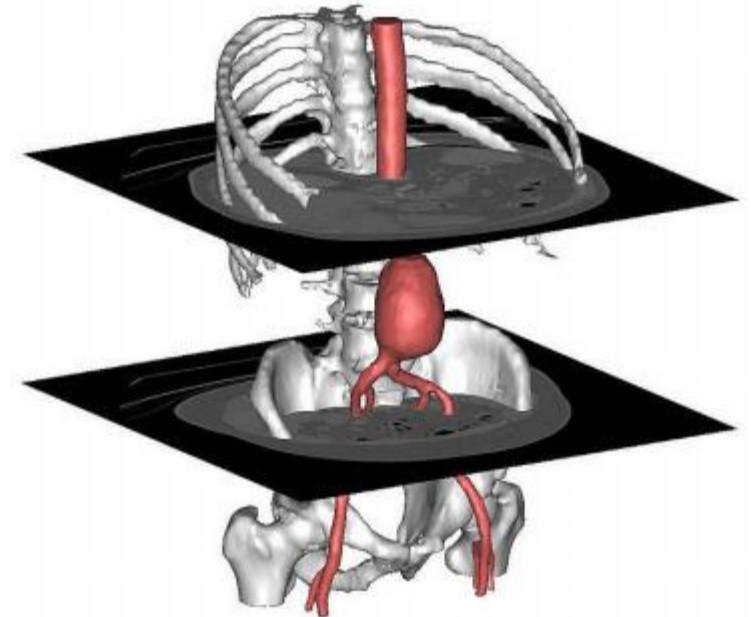
+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D da set di **immagini medicali: pipeline**



Estrazione della mesh = i punti estratti vengono uniti per creare la mesh. Ci sono diversi algoritmi che consentono di farlo:

- Edges triangulation
- Marching Cubes
- Poisson Reconstruction



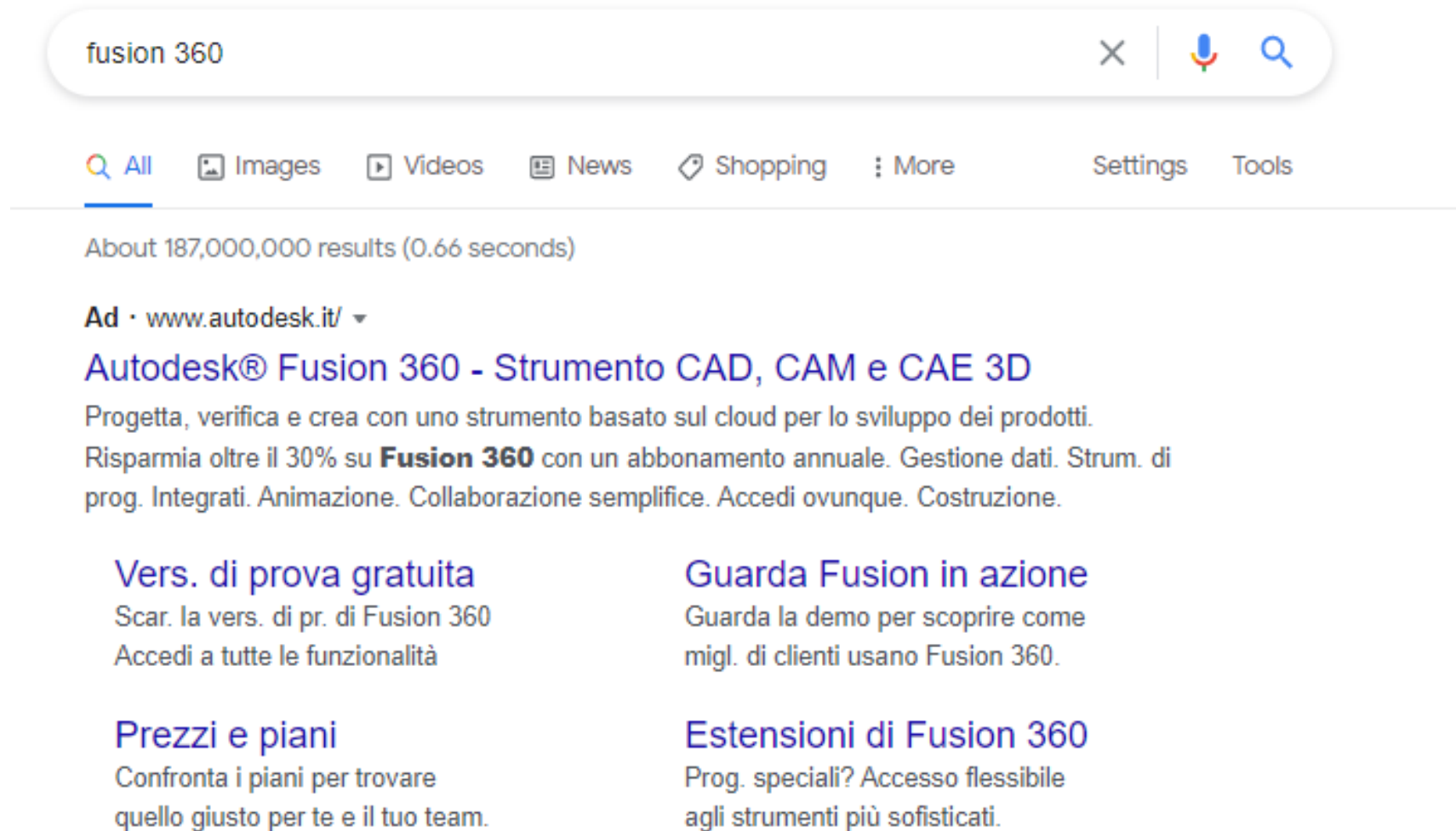
+ Definizione del modello 3D digitale dell'oggetto desiderato

Modello 3D tramite software CAD

- CAD = computer aided design
- Utilizzo di **software di computer grafica** per supportare l'attività di **progettazione di oggetti**, con lo scopo finale **di creare un modello 3D** dell'oggetto



+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



fusion 360

All Images Videos News Shopping More Settings Tools

About 187,000,000 results (0.66 seconds)

Ad · www.autodesk.it/ ▾

Autodesk® Fusion 360 - Strumento CAD, CAM e CAE 3D

Progetta, verifica e crea con uno strumento basato sul cloud per lo sviluppo dei prodotti. Risparmia oltre il 30% su **Fusion 360** con un abbonamento annuale. Gestione dati. Strum. di prog. Integrati. Animazione. Collaborazione semplifica. Accedi ovunque. Costruzione.

<h3>Vers. di prova gratuita</h3> <p>Scar. la vers. di pr. di Fusion 360 Accedi a tutte le funzionalità</p>	<h3>Guarda Fusion in azione</h3> <p>Guarda la demo per scoprire come migl. di clienti usano Fusion 360.</p>
<h3>Prezzi e piani</h3> <p>Confronta i piani per trovare quello giusto per te e il tuo team.</p>	<h3>Estensioni di Fusion 360</h3> <p>Prog. speciali? Accesso flessibile agli strumenti più sofisticati.</p>

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



FUSION 360 PIANI E PREZZI FUNZIONALITÀ PERCHÉ SCEGLIERE FUSION 360? FORMAZIONE E SUPPORTO [ABBONATI](#) [PROVA GRATUITA](#)

FUSION 360

Software CAD, CAM e CAE integrato.

Elimina il processo di sviluppo del prodotto scollegato. Progettazione, ingegnerizzazione, elettronica e produzione in un'unica piattaforma.

[ABBONATI](#) >

[SCARICA LA VERSIONE DI PROVA GRATUITA](#) >

Parla con il team delle vendite. Opzioni di finanziamento disponibili. +39 02 12 412 0560

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



Seleziona la modalità di utilizzo di Fusion 360



USO PERSONALE

Gli utenti idonei possono ottenere un abbonamento annuale gratuito per uso personale.



VERSIONE DI PROVA GRATUITA PER USO COMMERCIALE

Ottieni una prova gratuita di 30 giorni, comprese tutte le funzionalità e 300 crediti cloud.



USO DIDATTICO

Ottieni un abbonamento annuale gratuito per studenti, docenti e istituti didattici.

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360

Accedi'." data-bbox="136 187 829 957"/>

AUTODESK.

Prodotti ▾ Supporto ▾ Impara ▾ Community ▾

Education Community [Scarica i prodotti](#)

➔ Opzioni di prodotto Autodesk per l'apprendimento in remoto. Per saperne di più.

Ottieni l'accesso didattico ai prodotti Autodesk

Gli studenti e i docenti possono ottenere l'accesso didattico gratuito per un anno ai prodotti e ai servizi Autodesk. L'accesso potrà essere rinnovato dagli utenti che continueranno a soddisfare i requisiti di idoneità. Verifica subito la tua idoneità.

INIZIA > Disponi già dell'accesso didattico? [Accedi](#)

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



Ottieni vantaggi Education



Autodesk offre software gratuito a studenti, docenti e istituti idonei. Occorre fornire una prova che dimostri di essere iscritti o dipendenti presso un [istituto didattico qualificato](#).

Paese, territorio o regione dell'istituto didattico

Paese, territorio o regione

Ruolo didattico

[GUIDA RAPIDA](#)

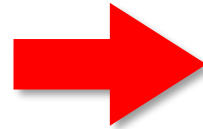
Ruolo didattico

Tipo di istituto

Tipo di istituto

AVANTI

SI DISPONE GIÀ DI UN ACCOUNT? [ACCEDI](#)



Crea account



Nome

Cognome

E-mail

Conferma e-mail

Password

Accetto le [Condizioni d'uso di Autodesk](#) e acconsento all'uso dei miei dati personali in conformità all'[Informativa sulla privacy](#) (inclusi i trasferimenti all'estero, come indicato nell'informativa).

CREA ACCOUNT

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



Verifica richiesta

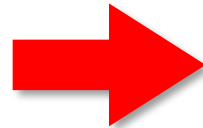
Controllare la casella di posta in arrivo e seguire il collegamento nell'e-mail per verificare il proprio account per:

irene.chiesa@phd.unipi.it



NESSUNA E-MAIL? [RINVIA](#)

O GIÀ VERIFICATO? [CONTINUA](#)



Account verificato

Questo singolo account consente di accedere a tutti i prodotti Autodesk



+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



Solo un altro passaggio



Indicare l'istituto didattico e come si prevede di utilizzare il software gratuito.

Nome dell'istituto didattico

Area di studio

- Architettura, ingegneria e costruzione
- Prodotti multimediali e intrattenimento
- Progettazione e produzione di prodotti
- Altri

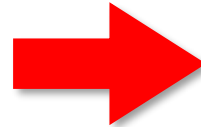
Iscritto da

Mese ▼ Anno ▼

Laureato in

Mese ▼ Anno ▼

AVANTI



Impostazione account


L'account è stato ora aggiornato per l'accesso ad Autodesk Education Community



CONTINUA

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



 AUTODESK.

Prodotti ▾ Supporto ▾ Impara ▾ Community ▾

Education Community [Scarica i prodotti](#)

➔ Opzioni di prodotto Autodesk per l'apprendimento in remoto. Per saperne di più.

Gentile irene,

la tua idoneità per l'accesso didattico ai prodotti Autodesk non è ancora stata verificata. Visualizza ulteriori informazioni o fai clic su Inizia per avviare il processo.

INIZIA >



+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



E-mail

irene.chiesa@phd.unipi.it

L'indirizzo e-mail non è corretto? [Aggiorna l'indirizzo](#)

Nome

irene

Cognome

chiesa

Paese o area geografica dell'istituto didattico

Italia



Tipo di istituto

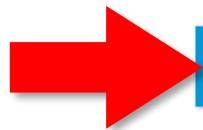
Università/Scuola secondaria di secondo grado



Nome dell'istituto didattico

Università di PISA (PISA)

Data di nascita



VERIFICA



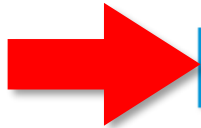
[Annulla](#)

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



Verifica l'idoneità usando le credenziali dell'istituto didattico

Abbiamo bisogno di ulteriori informazioni per verificare la tua idoneità per l'accesso ai prodotti Autodesk. Usa la funzionalità SSO del tuo istituto didattico per verificare il tuo stato.



VERIFICA L'IDONEITÀ CON SINGLE SIGN-ON DEL TUO ISTITUTO DIDATTICO >

Annulla

Servizi di identità con tecnologia SheerID [Domande frequenti su SheerID](#)

[Informativa sulla privacy](#)

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



AUTODESK.

Supporto ▾ Impara ▾ Community ▾

Education Community

Opzioni di prodotto Auto

gentile irene,

tua idoneità per l'accesso dida

teriori informazioni o fai clic su

INIZIA >

Tutti i prodotti

Piattaforma

Ordina pe

In evide

AUTODESK.

La tua idoneità è stata verificata!

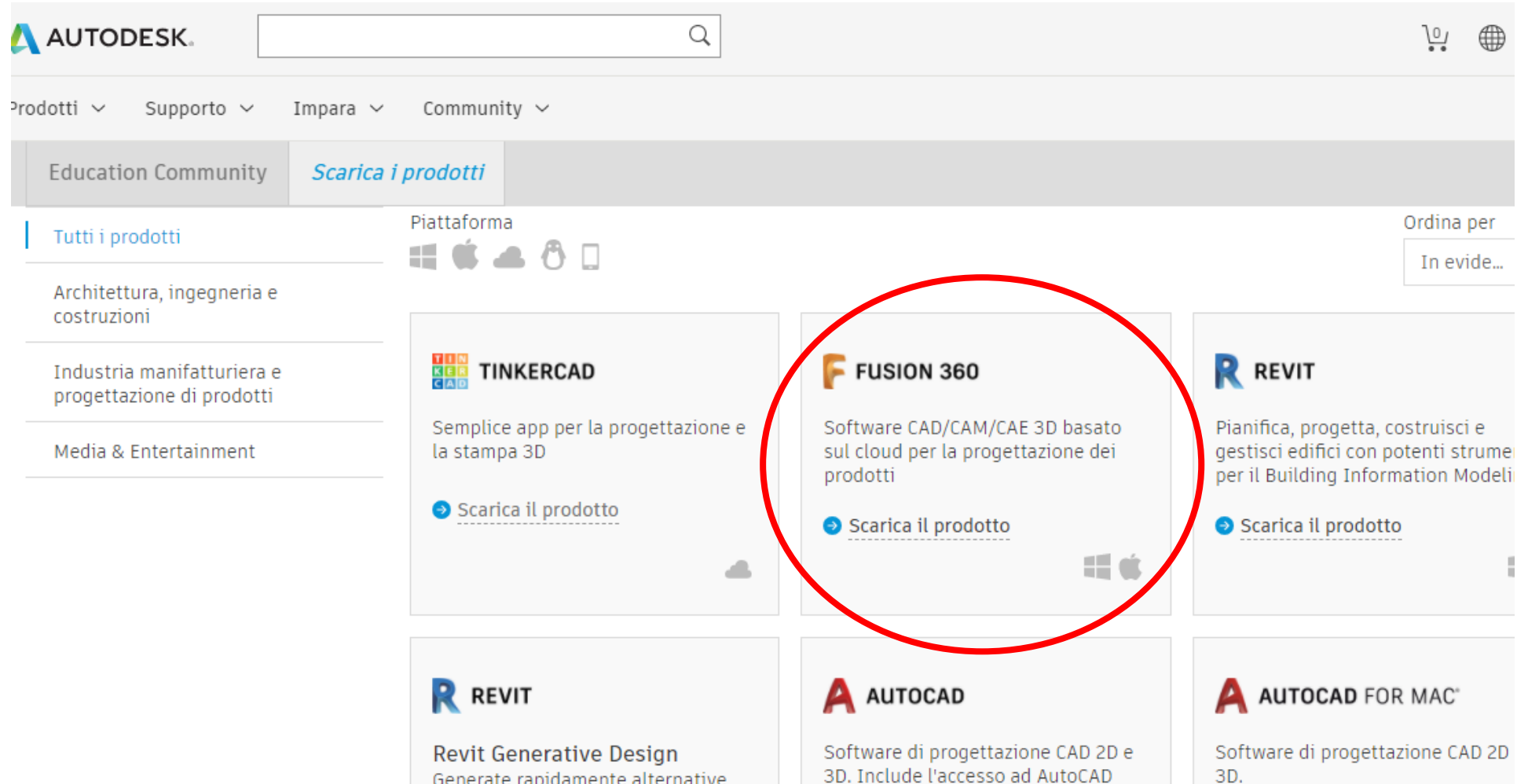
Congratulazioni. Abbiamo verificato la tua idoneità per l'accesso didattico ai prodotti Autodesk e lo stato del tuo account è ora aggiornato.

Il tuo accesso durerà 12 mesi a partire da oggi, al termine dei quali potrai rinnovarlo se ne avrai diritto. Adesso puoi iniziare a creare i tuoi progetti.

OTTIENI IL SOFTWARE AUTODESK >

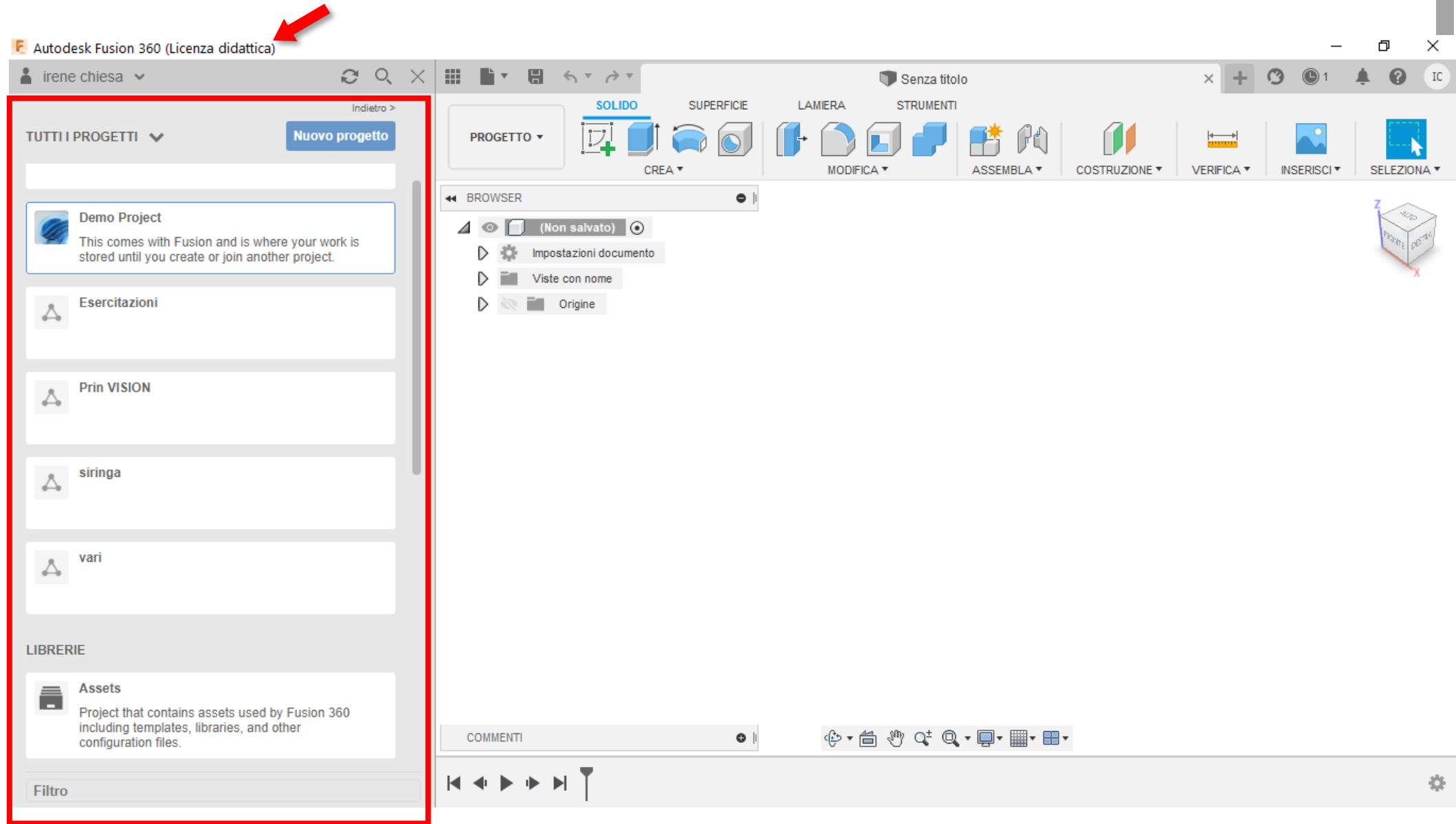
A red arrow points to the button.

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360



The screenshot displays the Autodesk website's product page for Fusion 360. The top navigation bar includes the Autodesk logo, a search bar, and icons for shopping and global settings. Below the navigation, there are dropdown menus for 'Prodotti', 'Supporto', 'Impara', and 'Community'. A secondary navigation bar features 'Education Community' and 'Scarica i prodotti'. The main content area is organized into a grid of product cards. The 'FUSION 360' card is highlighted with a red circle. It features the Fusion 360 logo, a description: 'Software CAD/CAM/CAE 3D basato sul cloud per la progettazione dei prodotti', and a 'Scarica il prodotto' button. To the left of the main grid, there is a sidebar with 'Tutti i prodotti' and three categories: 'Architettura, ingegneria e costruzioni', 'Industria manifatturiera e progettazione di prodotti', and 'Media & Entertainment'. Above the product cards, there is a 'Piattaforma' section with icons for Windows, Apple, Linux, and mobile devices, and an 'Ordina per' dropdown menu set to 'In evidenza...'. Other visible product cards include TINKERCAD, REVIT, REVIT Generative Design, AUTOCAD, and AUTOCAD FOR MAC.

+ Modello 3D tramite software CAD: FUSION 360





Centro E. Piaggio
bioengineering and robotics research center

Thanks for your attention!

Questions?

Irene Chiesa

irene.chiesa@phd.unipi.it

Alcune immagini sono state ricavate dalle lezioni di “Sviluppo di Modelli Computazionali 3D” del Professor Francesco Banterle.

https://unimap.unipi.it/cercapersona/dettaglio.php?ri=121760&template=dett_didattica.tpl

**Biofabrication group
University of Pisa**

- Prof. Giovanni Vozzi, Ph.D
- Carmelo De Maria, Ph.D
- Aurora De Acutis, Ph.D
- Gabriele Maria Fortunato, M.Sc
- Amedeo Franco Bonati, M.Sc
- Simone Micalizzi, M.Sc
- Francesca Montemurro, Ph.D
- Anna Lapomarda, M.Sc
- Francesco Biagini, M.Sc
- Irene Chiesa, M.Sc



@BioFabUNIPi



www.centropiaggio.unipi.it/research/biofabrication.html

