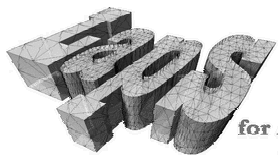


Prototipazione rapida di un segmento di carotide con tecnica FDM (Fused Deposition Modelling)

Fabrizio Murgia



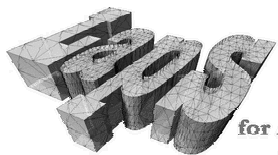
Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS

– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

6 Giugno 2002

Prototipazione rapida di un segmento di carotide con tecnica FDM (Fused Deposition Modelling)

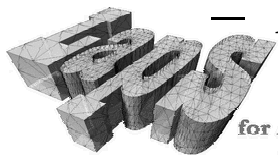


Sommario

- Rapid Prototyping:
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata:
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Conclusioni

Sommario

- Rapid Prototyping:
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro

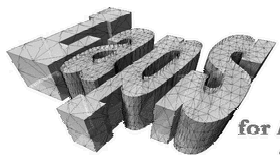


Rapid Prototyping (1/2)

Insieme di processi rapidi, flessibili e altamente automatizzati che realizzano modelli 3-D per addizione di materiale *layer-by-layer*, direttamente a partire da un modello matematico tridimensionale ottenuto da un sistema CAD, senza l'uso di utensili.

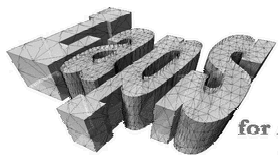
Il prototipo può essere utilizzato per:

- Verifiche di stile;
- Prove funzionali;
- Prove di montaggio;



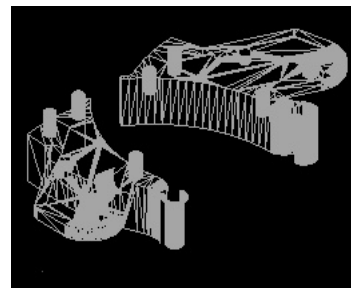
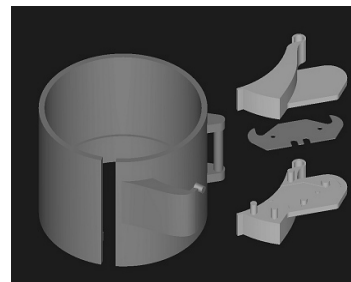
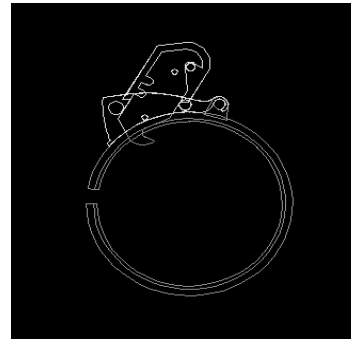
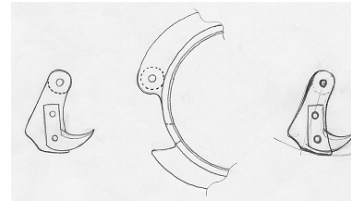
Rapid Prototyping (2/2)

- Progettazione:
 - Miglioramento della comunicazione efficace fra i diversi settori dello sviluppo
 - Diminuzione del numero degli errori
- Marketing
 - Verifica delle risposte del mercato a costi contenuti
 - Estensione del tempo di vita del prodotto.
- Produzione:
 - Possibilità di modifiche quando il processo è ancora nelle prime fasi, e le modifiche hanno costi inferiori.
 - Verifica del ciclo di produzione prima che la stessa abbia inizio



Prototipazione Fisica in Ambito Meccanico mediante RP

- Prototipazione Fisica parti meccaniche mediante dispositivo di Prototipazione Rapida: *Fused Deposition Modelling (FDM2000)*

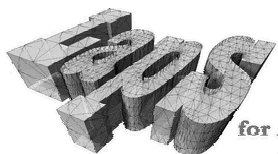
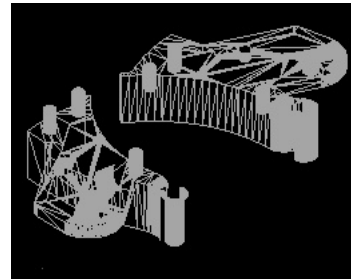
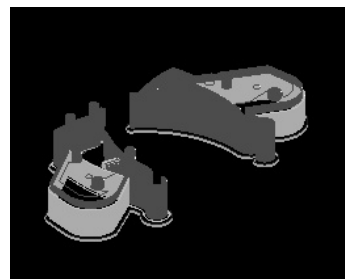
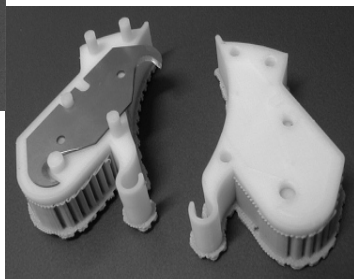


• Prototipazione Virtuale:

- schizzo dell'idea di prodotto;
- definizione modello matematico 3D;
- scrittura della geometria nel formato di ingresso (STL) dispositivo di Prototipazione Rapida;

• Prototipazione Fisica:

- generazione piani di produzione (formato SSL) dispositivo FDM;
- produzione singole componenti in materiale plastico ABS;
- realizzazione prototipo mediante assemblaggio delle parti stampate;



Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

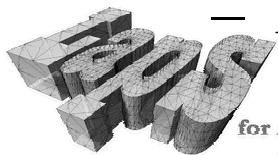
AREA GEMMS

– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

6 Giugno 2002

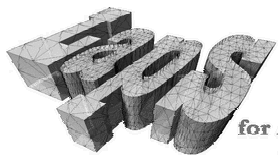
Sommario

- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro

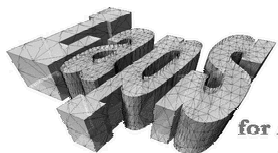
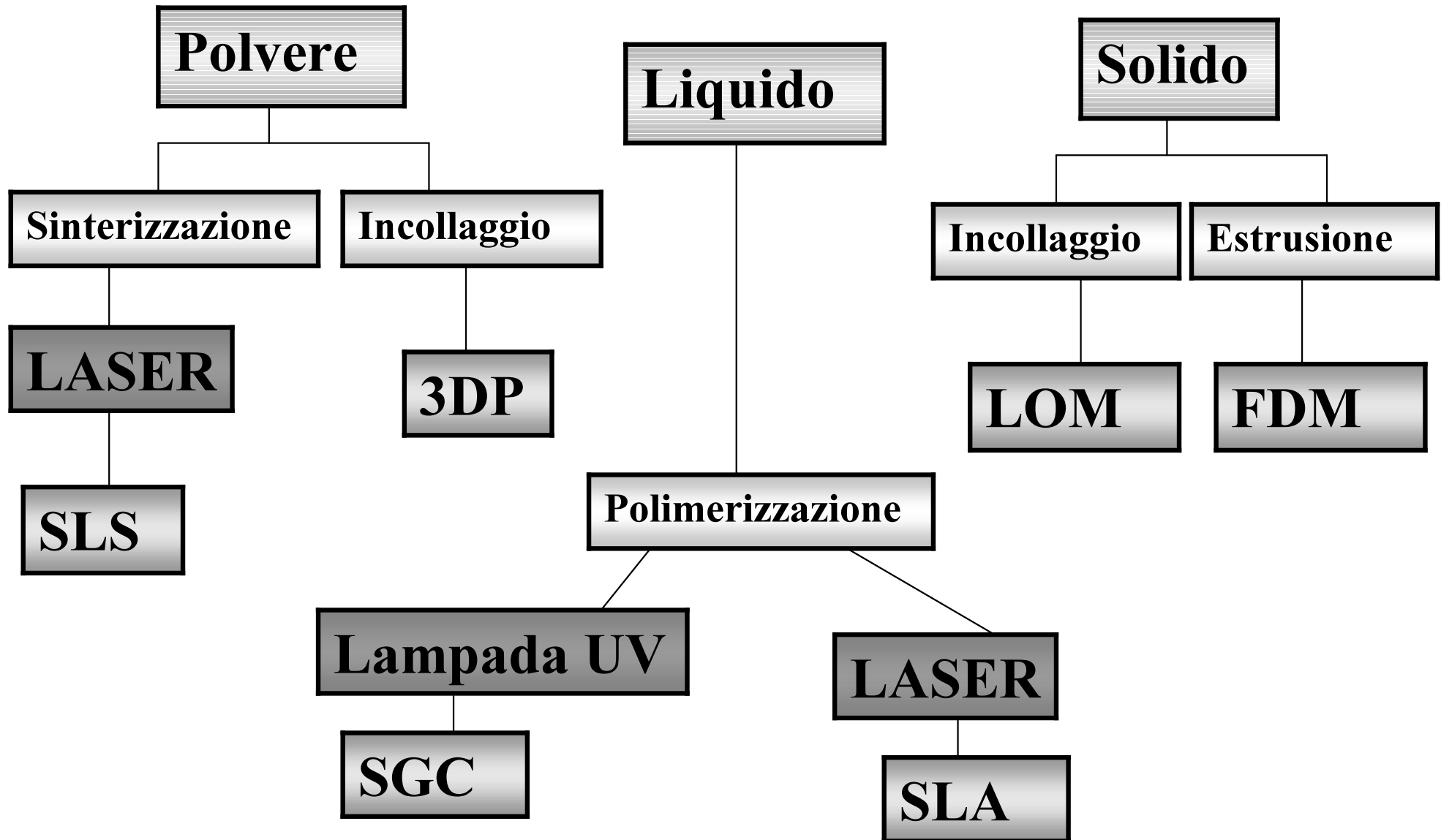


Tecniche di Rapid Prototyping

- SLA – StereoLithography
- SLS – Selective Laser Sintering
- FDM – Fused Deposition Modelling
- LOM – Laminated Object Manufacturing
- SGC – Solid Ground Curing
- 3DP – 3D Printing

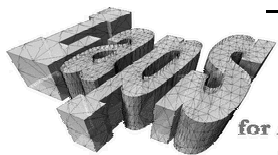
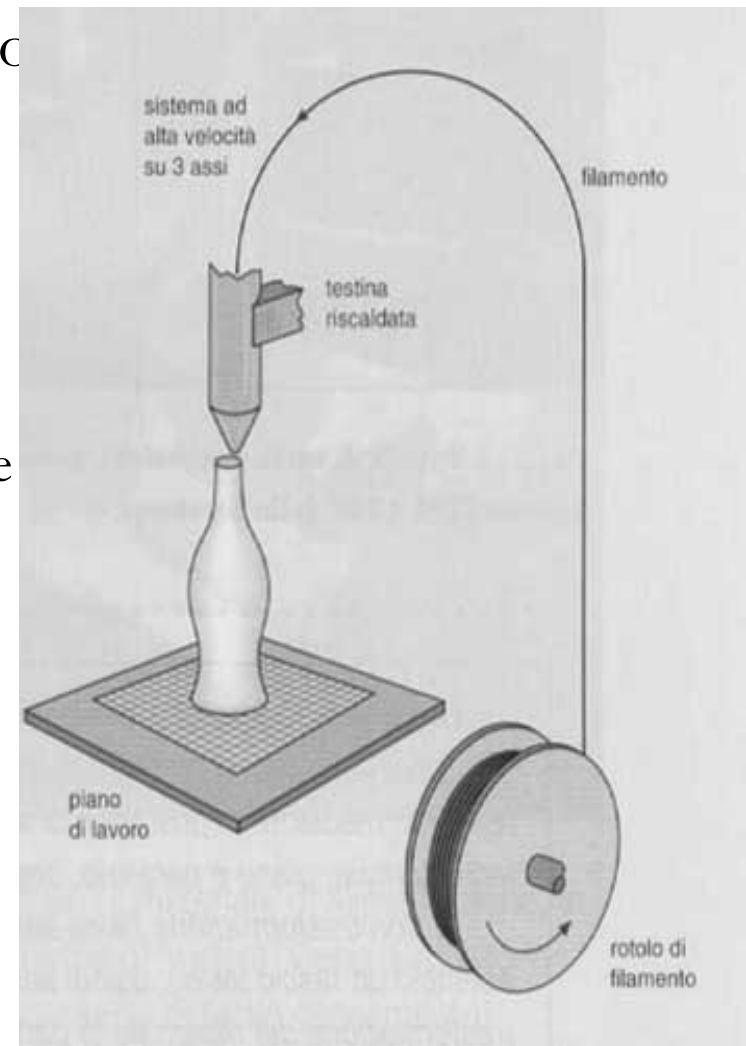


Tecniche di Rapid Prototyping (2/4)



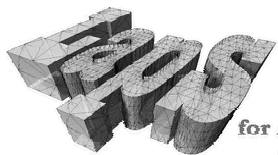
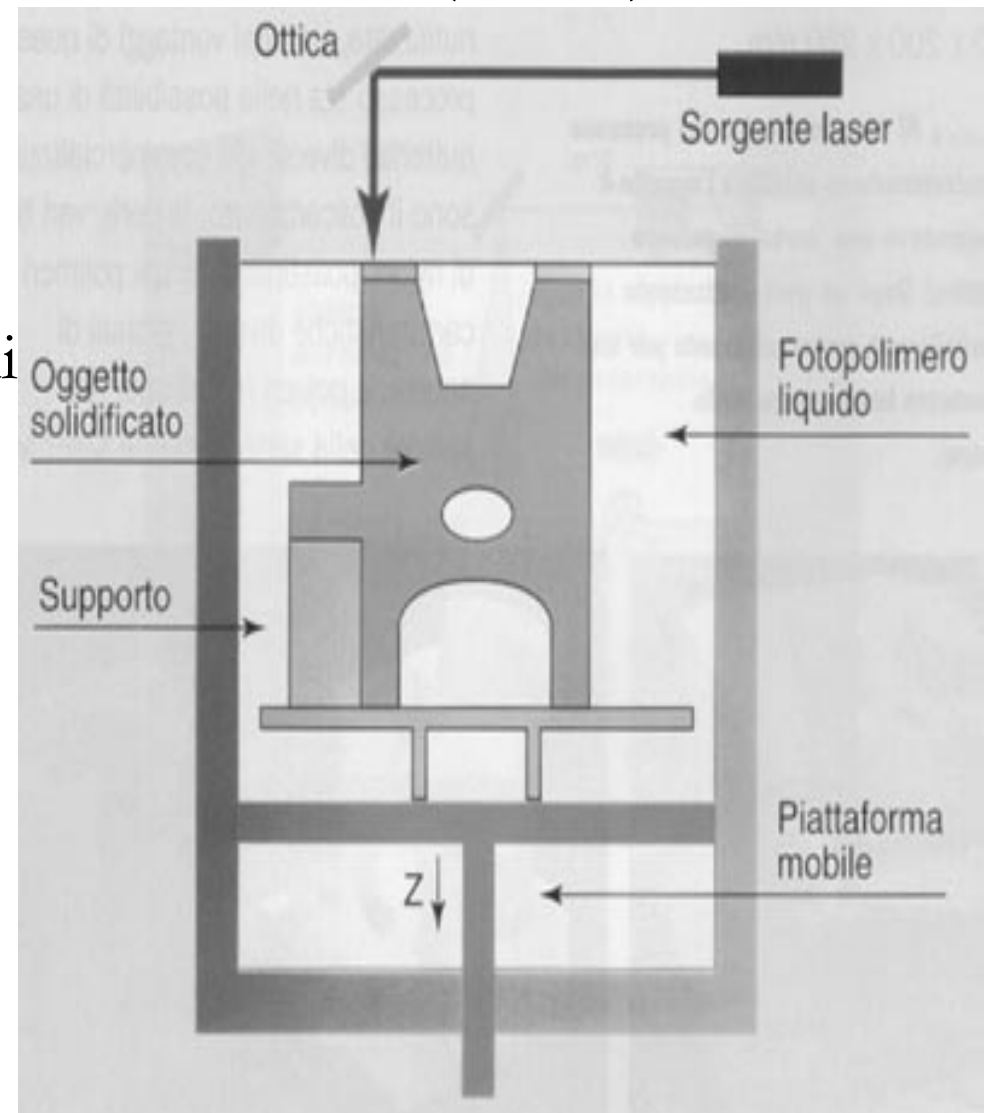
Tecniche RP – FDM (3/4)

- Preparazione percorso testa estrusione da parte di un operatore specializzato
- Fusione del materiale lungo perimetro (270°)
- Scorrimento piano di lavoro
- Riempimento spazio
- Pregi
 - Funziona bene per piccole geometrie cave
 - Post-trattamento non necessario.
 - Molti materiali a disposizione
 - Utilizzo di materiali diversi
- Difetti
 - Supporti necessari.
 - Lento per grandi dimensioni
 - Impiego materiali costosi



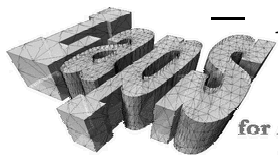
Tecniche RP – SLA (4/4)

- Preparazione del percorso LASER CO₂
- Polimerizzazione
- Scorrimento cilindro
- Preparazione nuova pellicola di monomero
- Pregi
 - Geometrie precise
 - Buona qualità delle superfici
- Difetti
 - Post-trattamento UV
 - Supporti necessari
 - Finitura del pezzo
 - Deformazione resine nel tempo
 - Allestimento laboratorio

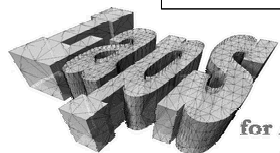
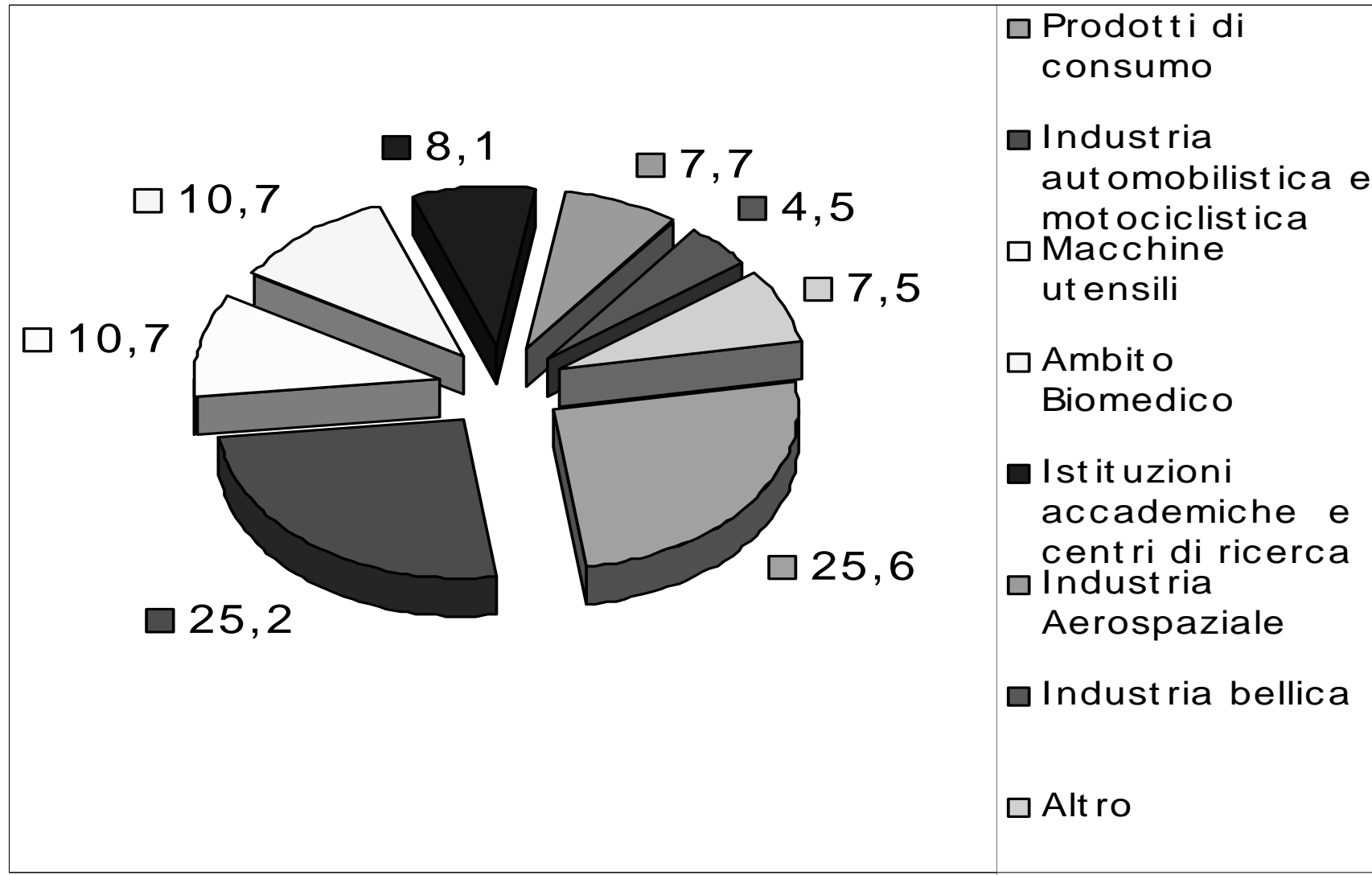


Sommario

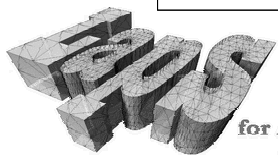
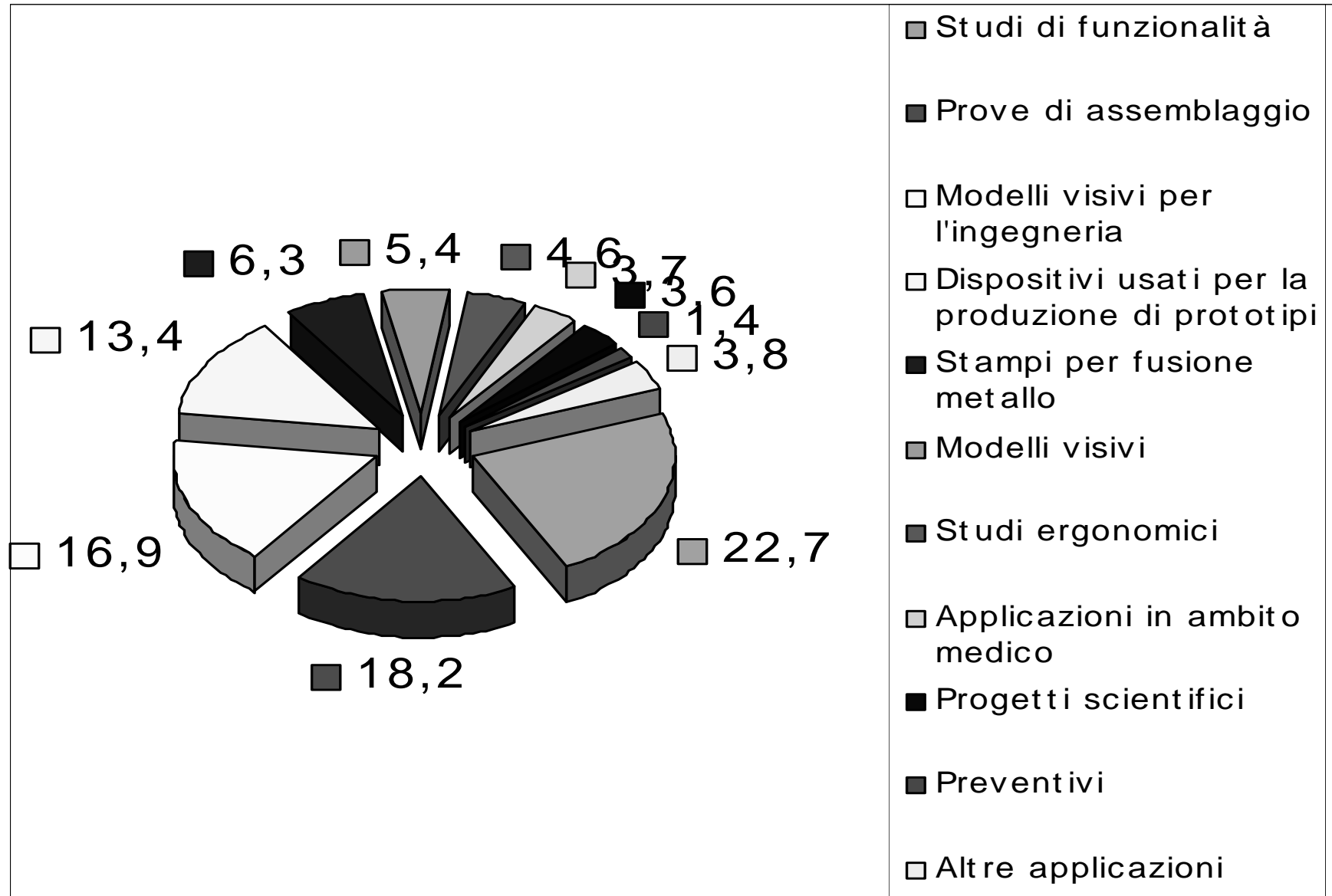
- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro



Settori che utilizzano il RP



Modalità di utilizzo dei prototipi



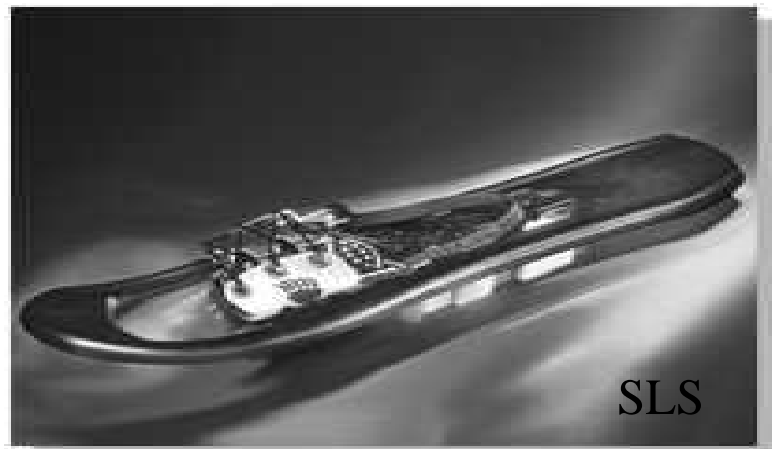
Esempi RP (1/2)



LOM



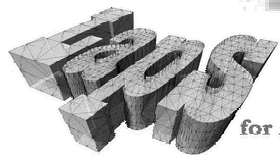
SGC



SLS



SLA



Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS

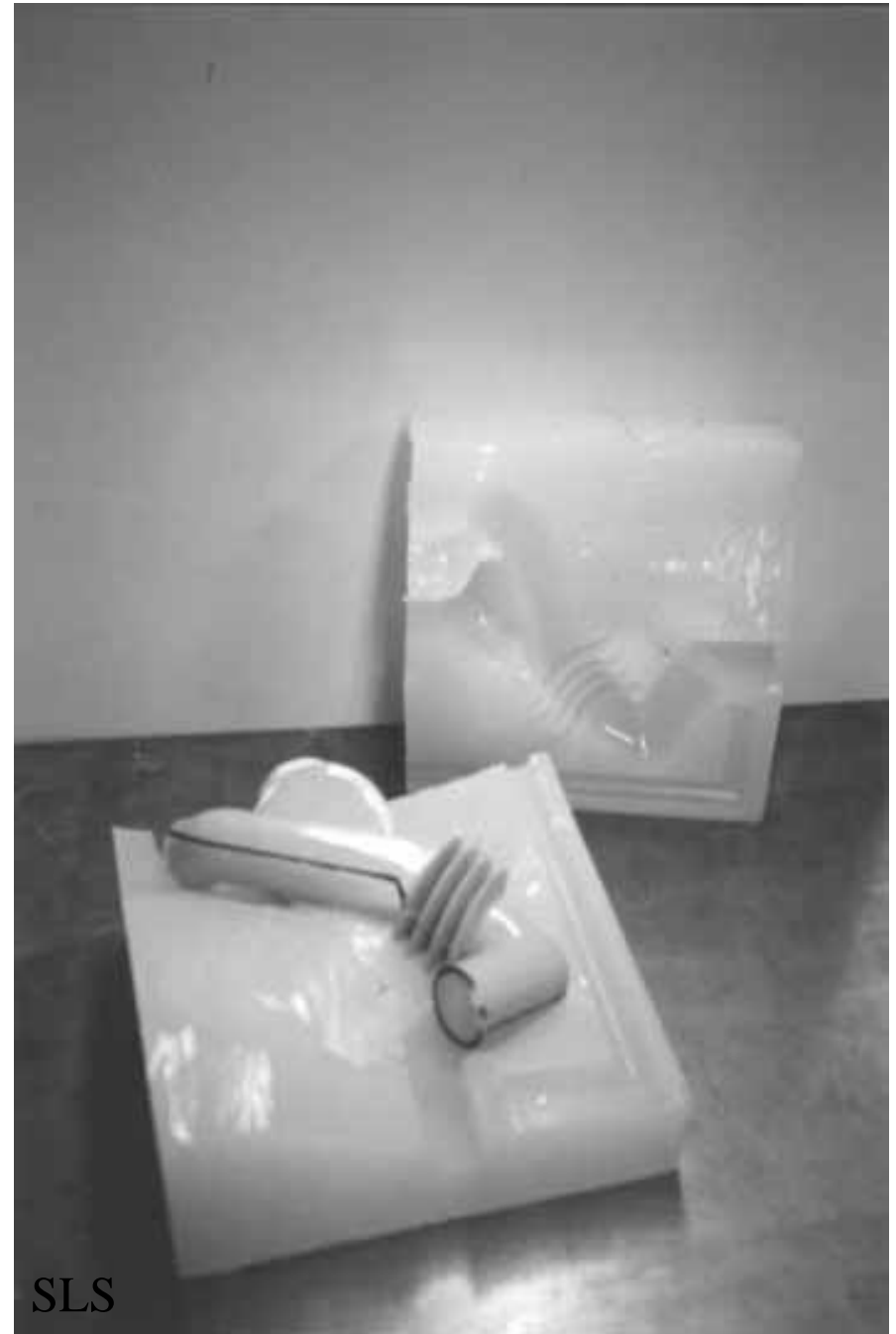
- GEometric Modelling & Montecarlo Simulations -

6 Giugno 2002

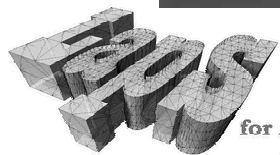
Esempi RP (2/2)



SLS



SLS



Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS

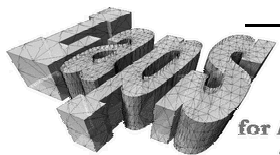
– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

6 Giugno 2002

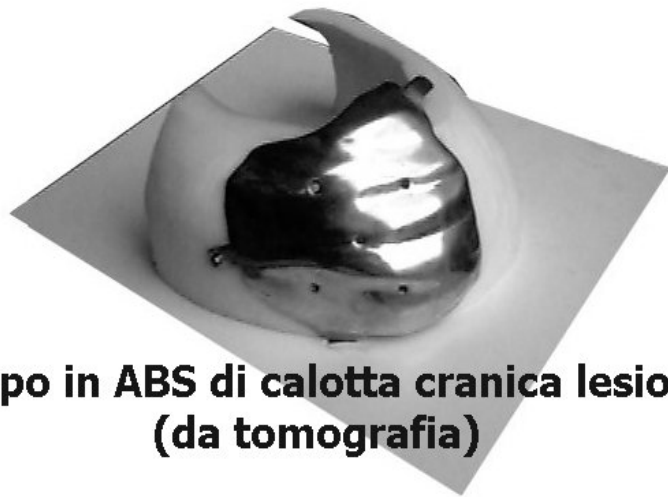
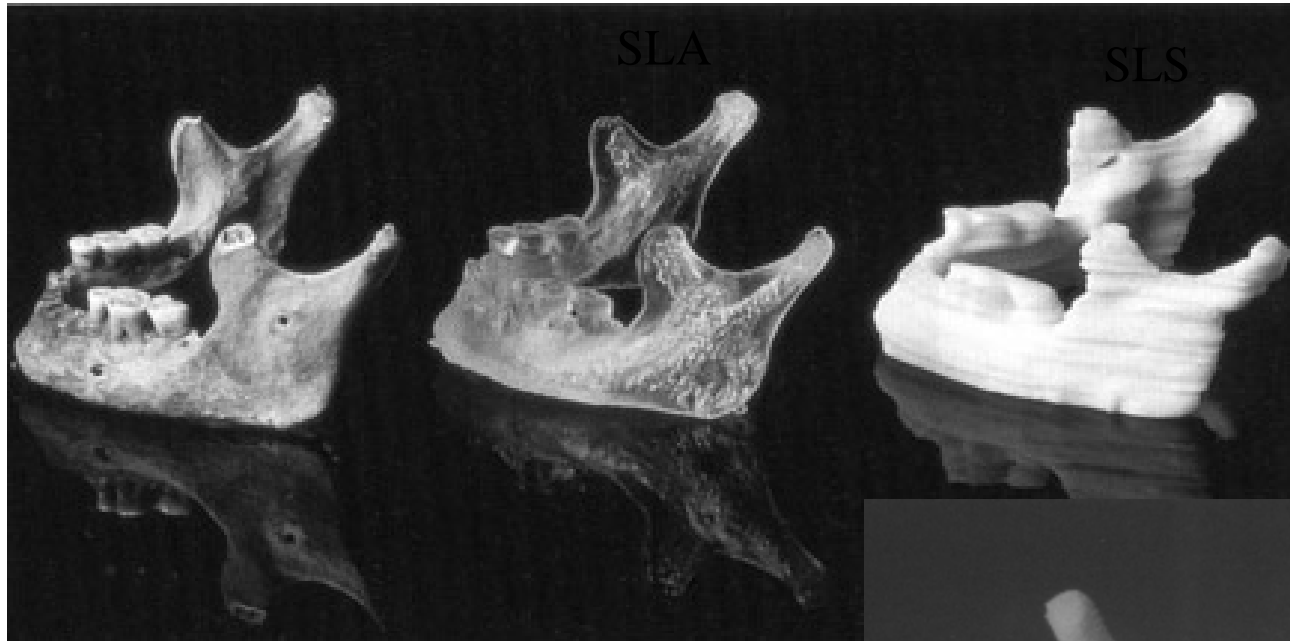
Applicazioni RP in Medicina (1/2)

Sviluppo modelli anatomici 3D accurati.

- Informazioni più immediate sul problema
- Organizzazione intervento più accurata
 - Es. :Intervenire o meno invasivamente
 - Riduzione imprevisti
 - Selezione équipe
- Esercitazioni dei neomedici
- Supporto intraoperatorio
- Miglioramento comunicazione paziente-medico
- Realizzazione protesi direttamente da dati ottenuti con procedure non invasive
 - Realizzazione protesi su misura
 - Utilizzo materiali biocompatibili per produzione protesi
- Sostituzione artigiani modellatori.



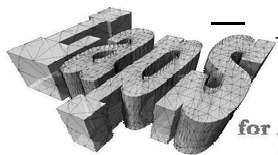
Applicazioni RP in Medicina (2/2)



**Prototipo in ABS di calotta cranica lesionata
(da tomografia)**

Sommario

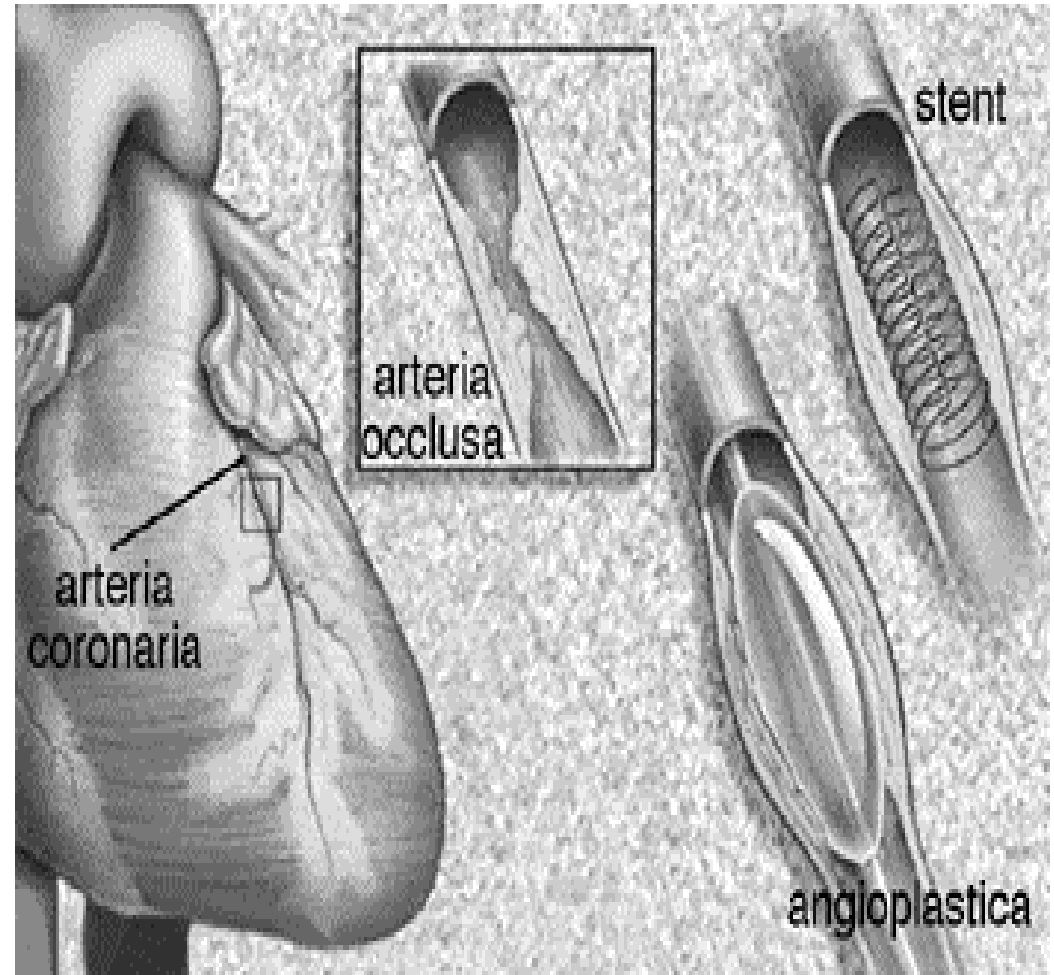
- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro



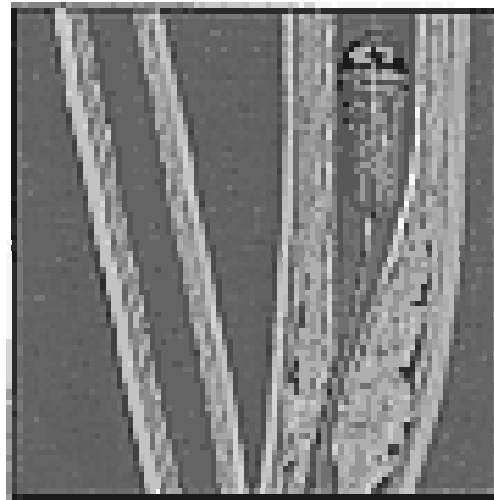
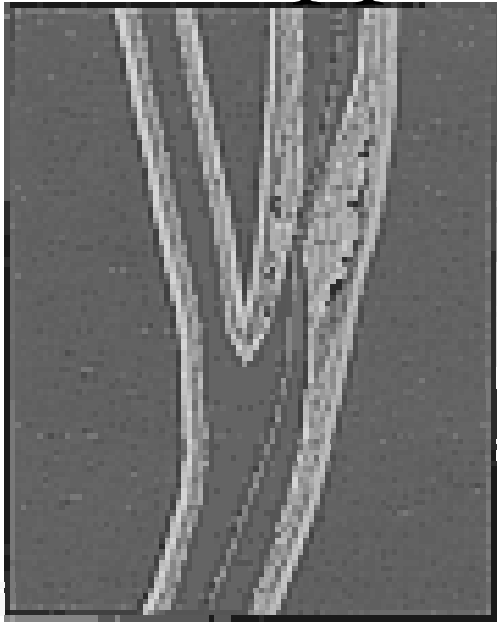
RP in chirurgia vascolare

Ricostruzione e stampa dei vasi

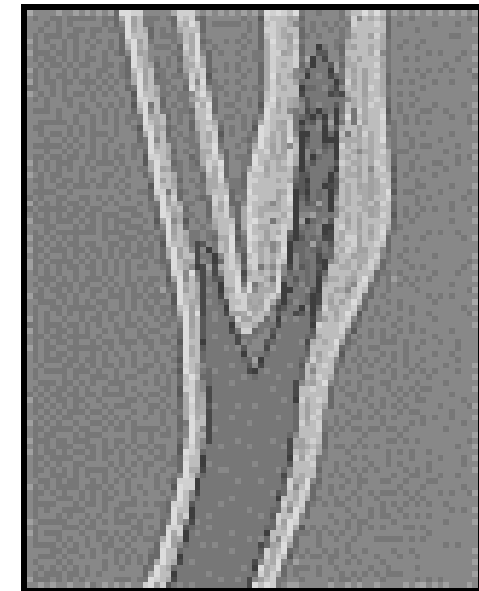
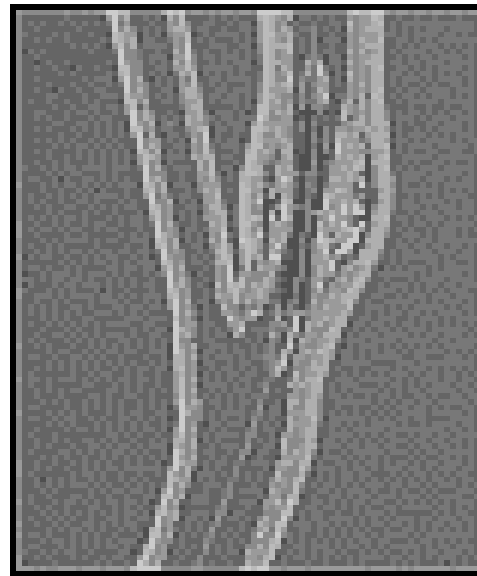
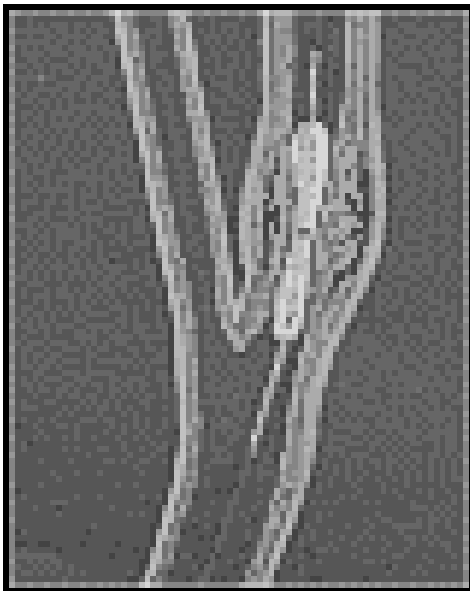
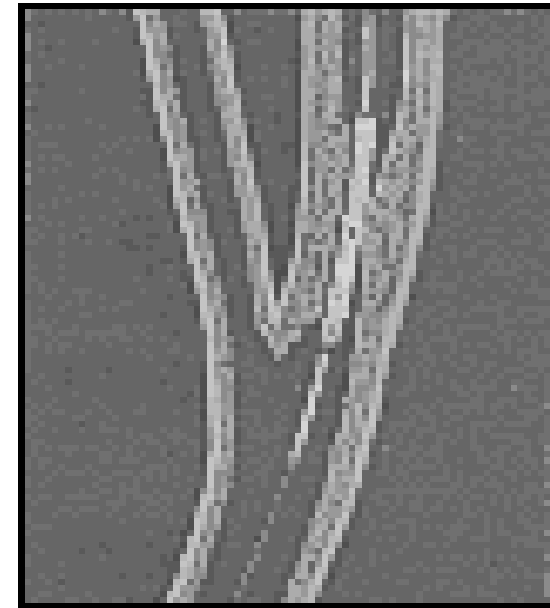
- Simulazione procedure chirurgiche
- Realizzazione stent-grafts su misura
- Studi di Fluidodinamica del sangue



Applicazione di uno stent-graft

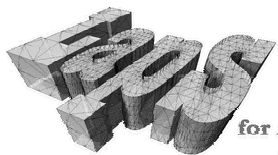


Eventuale sistema di protezione



AREA GEMMS

6 Giugno 2002

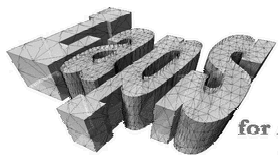


Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

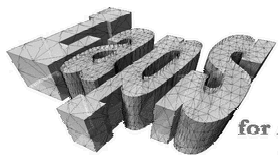
Sommario

- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro

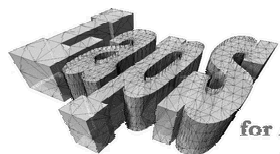
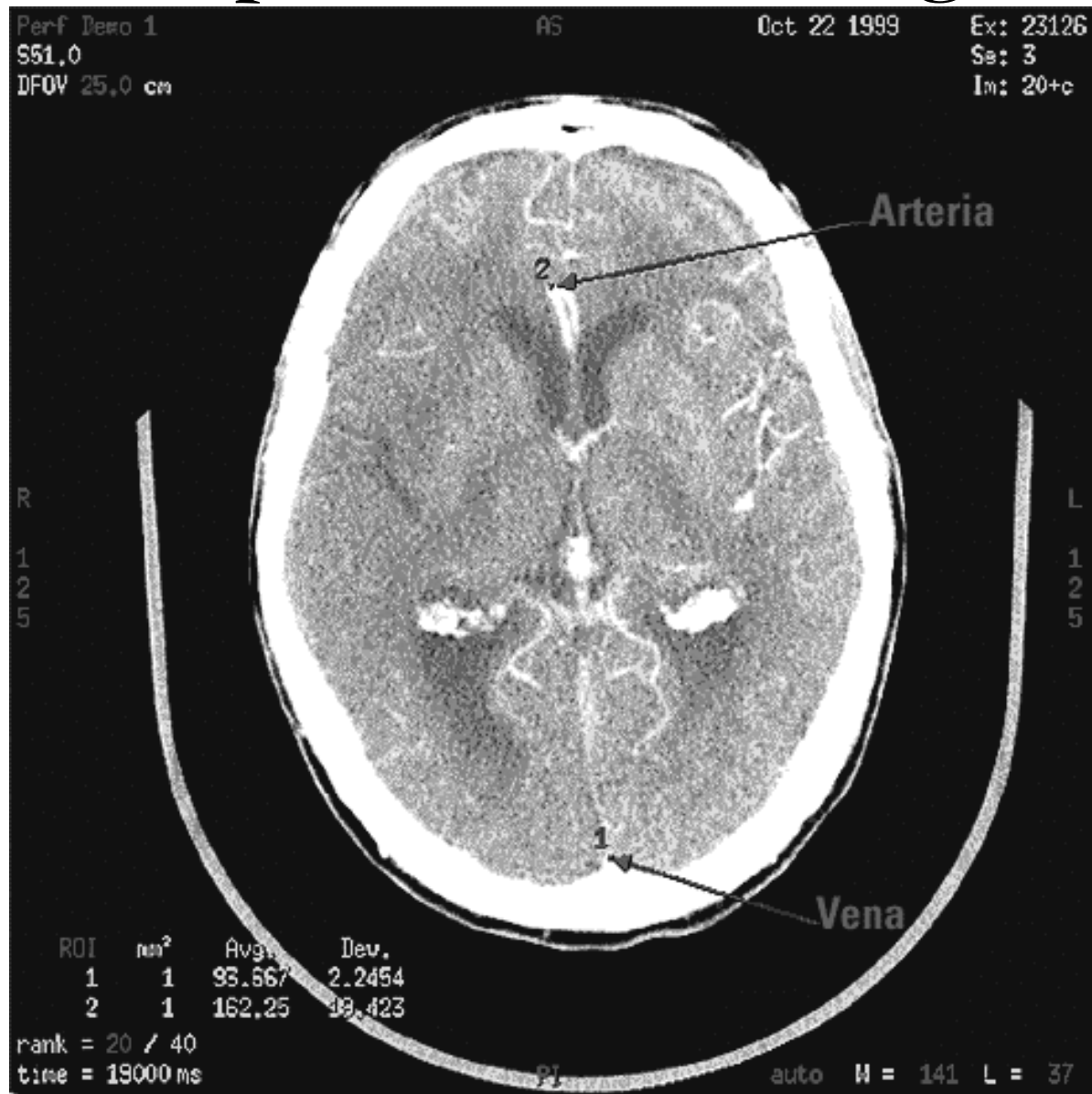


Sommario

- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro

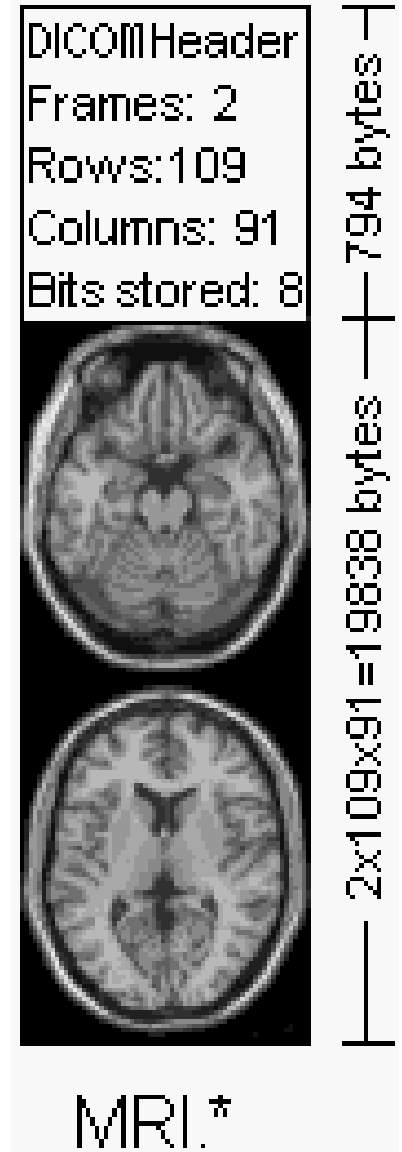


Acquisizione immagini



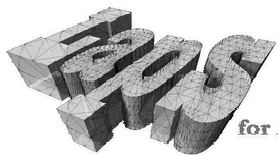
Acquisizione immagini

- Immagini da **CT** (Computer Tomography) eseguita senza mezzo di contrasto
- Formato DICOM3 (Digital Imaging and COmmunication in Medicine)
 - Formato standard;
 - Contiene informazioni relative al paziente, al dispositivo, alla modalità di acquisizione;
 - dati relativi all'immagine bidimensionali;



Sommario

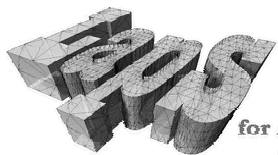
- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro



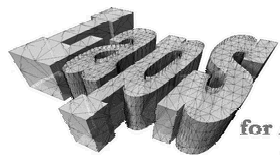
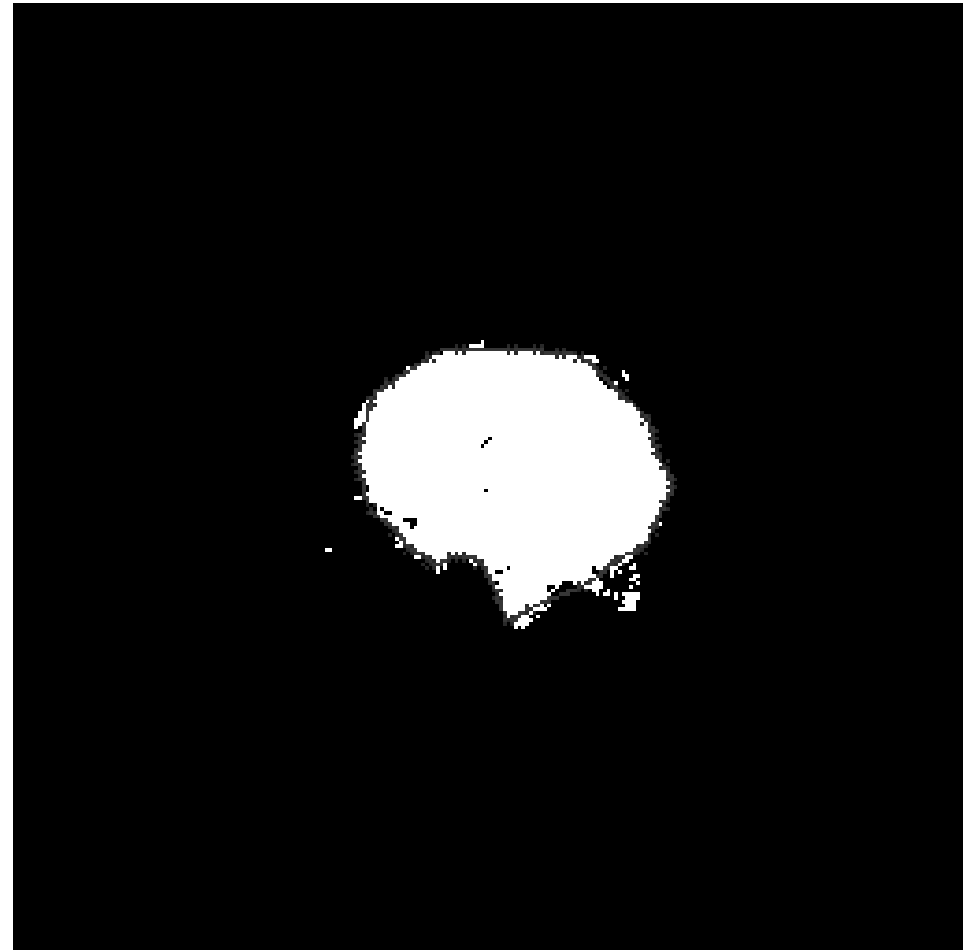
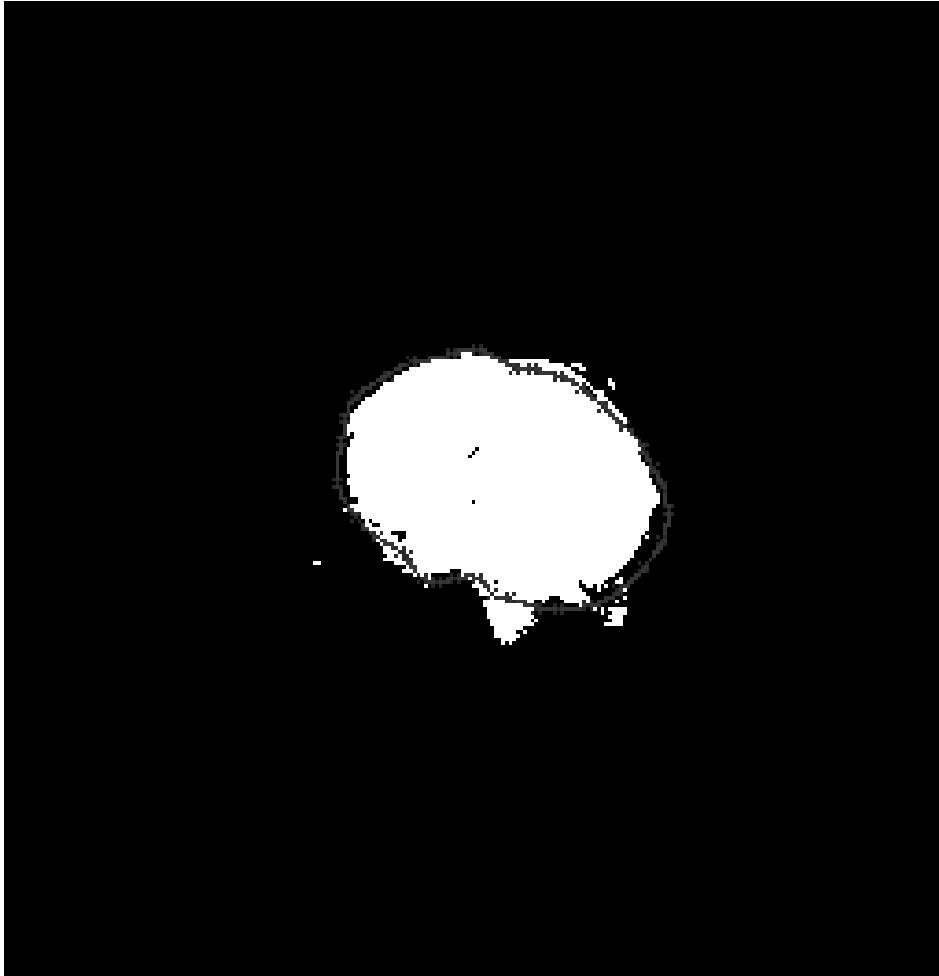
Segmentazione

Procedura per la selezione di informazioni interne all'immagine:

- Cut delle parti di immagine esterne alla zona di interesse
- Generazione di un contorno formato da un insieme di punti
- Evoluzione del contorno secondo il gradiente della scala dei colori presenti nell'immagine
- Fitting del contorno col lumen della carotide
- Estrazione coordinate punti
- Ripetizione su ogni slide



Segmentazione



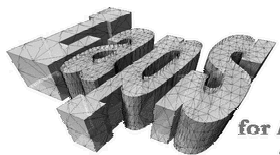
Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS
– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

6 Giugno 2002

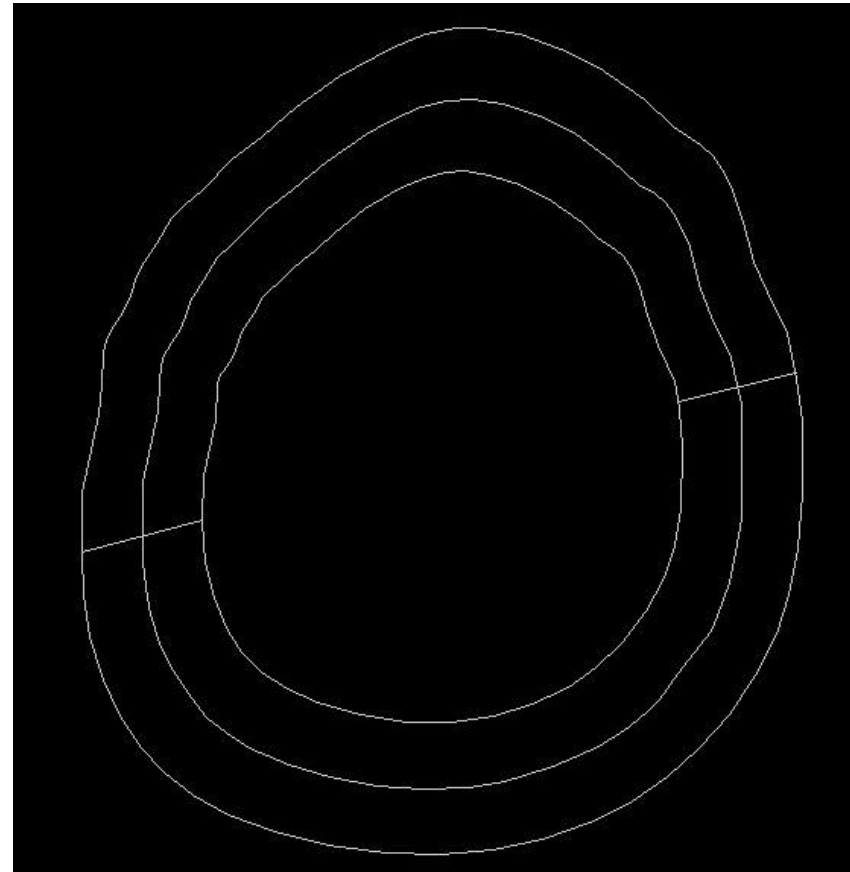
Sommario

- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro



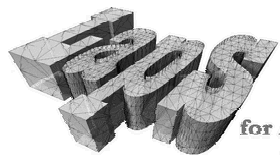
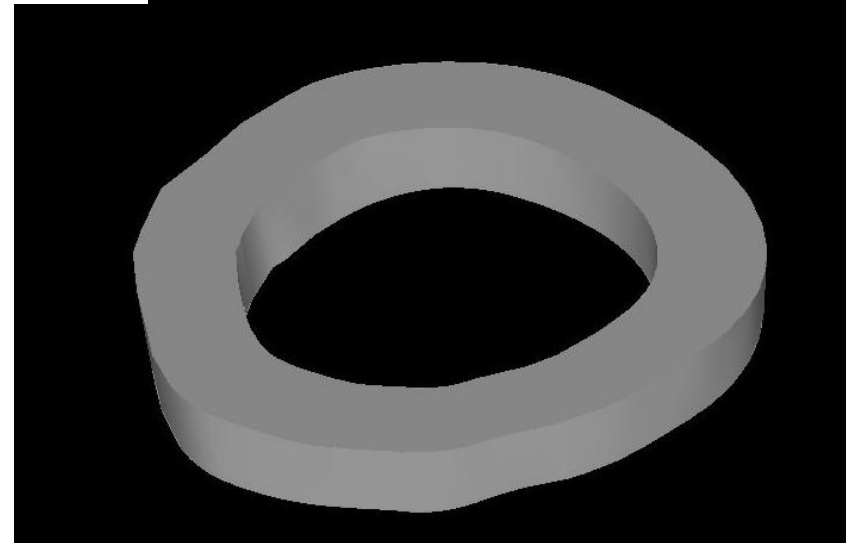
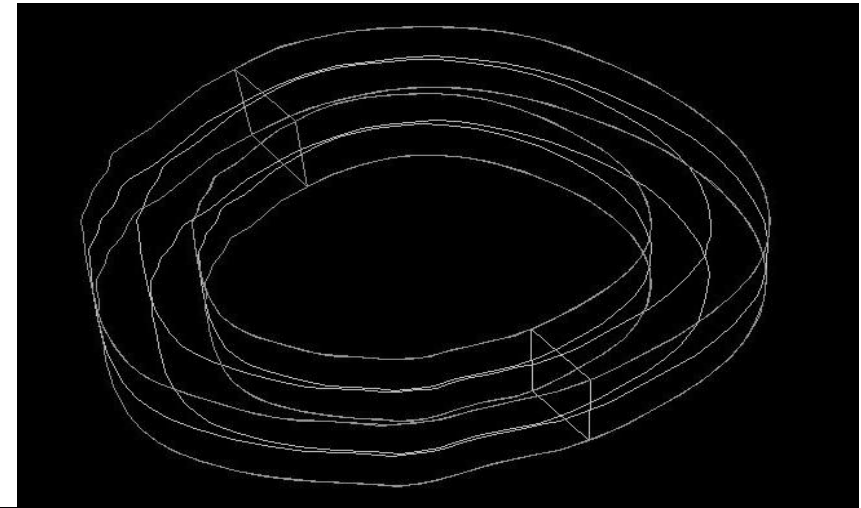
Fasi della ricostruzione (1/3)

- Lettura coordinate punti
- Operazione di “scaling” per ottenere il profilo esterno
- Interpolazione profili interno ed esterno tramite B-Spline
- Verifica consistenza



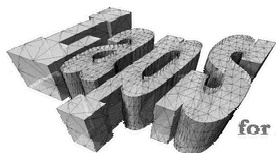
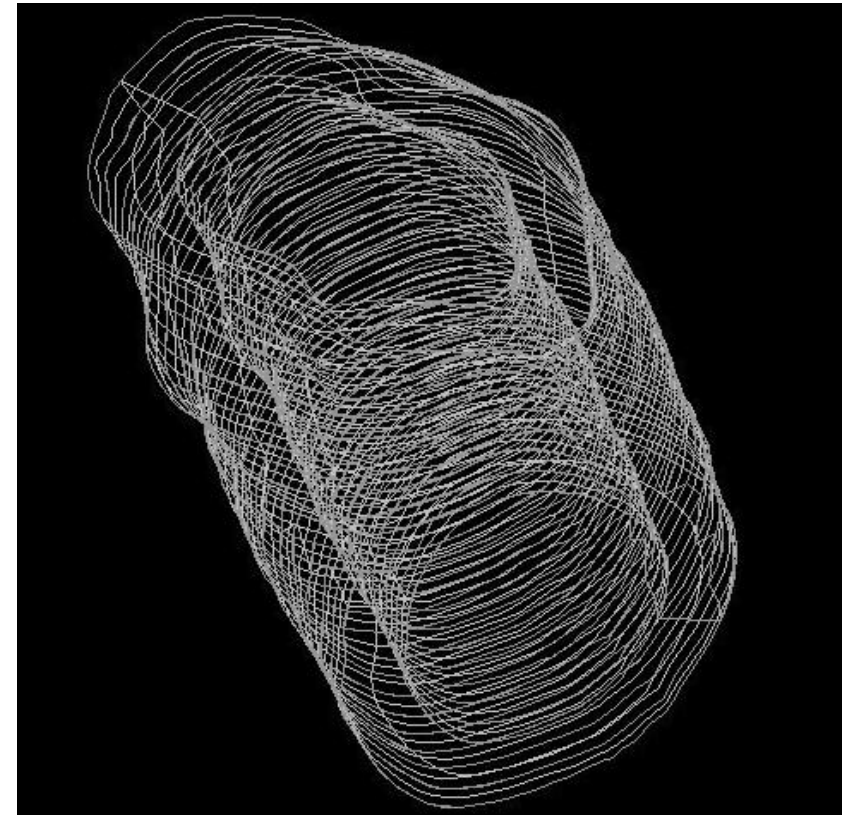
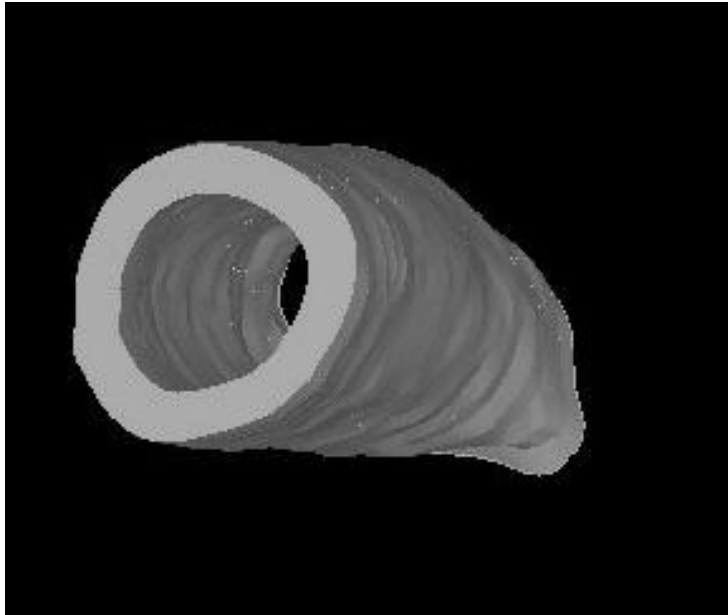
Fasi della ricostruzione (2/3)

- Creazione superfici B-Spline fra slides adiacenti (continuità C2)



Fasi della ricostruzione (3/3)

- Applicazione fase 1 e fase 2 lungo tutto il lumen del tronco principale
- Creazione solido B-Rep



Struttura dati BREP

SOLIDO



SHELL



FACCIA → Superficie



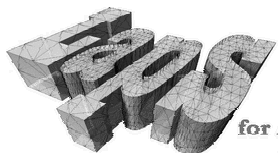
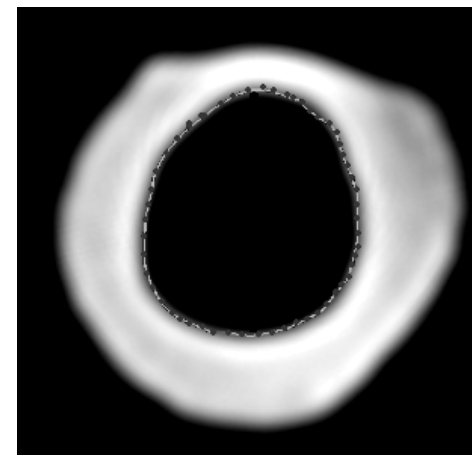
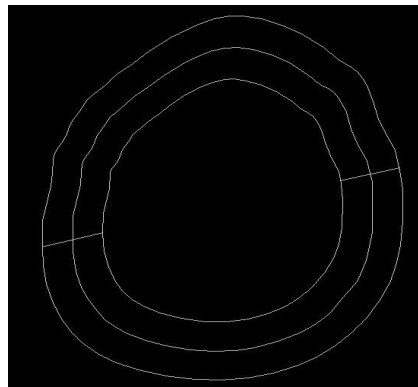
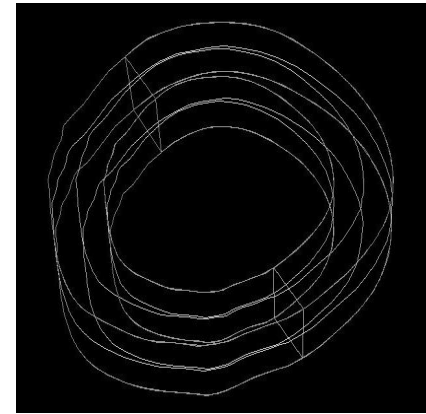
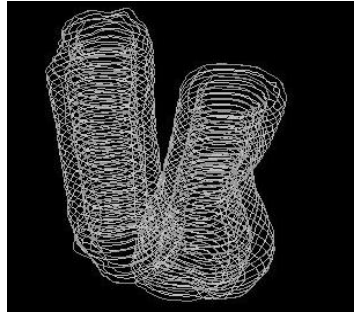
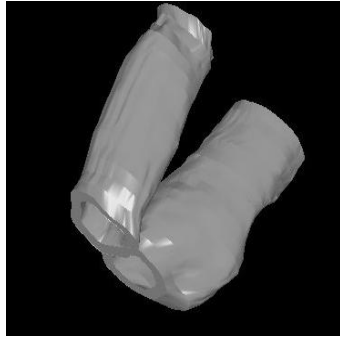
LOOP



SPIGOLO → Curva

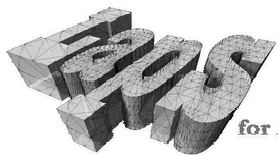


VERTICE → Punto



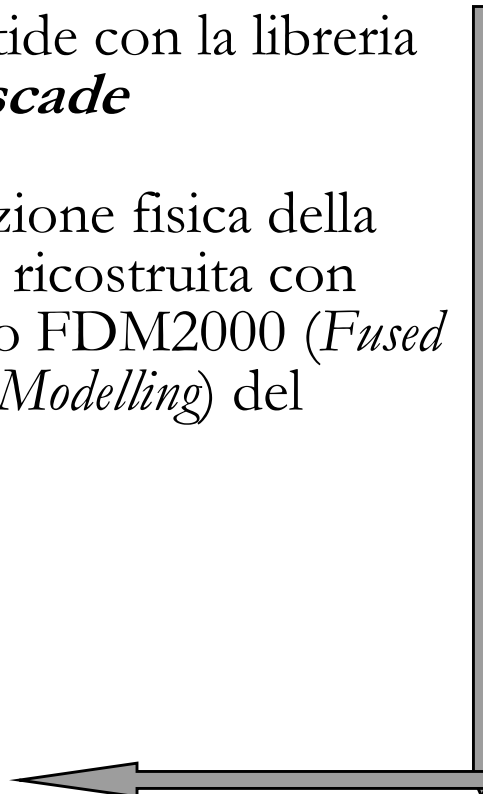
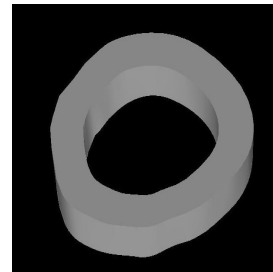
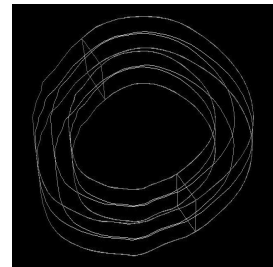
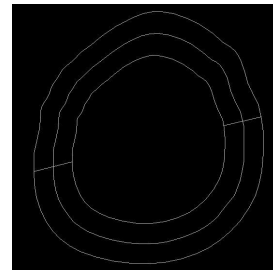
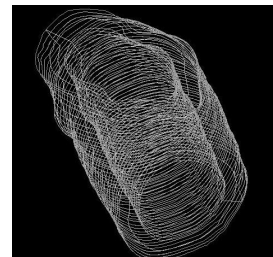
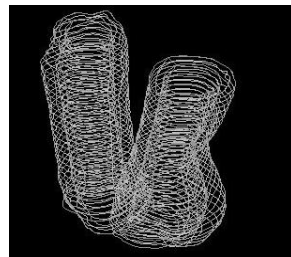
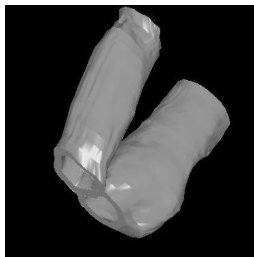
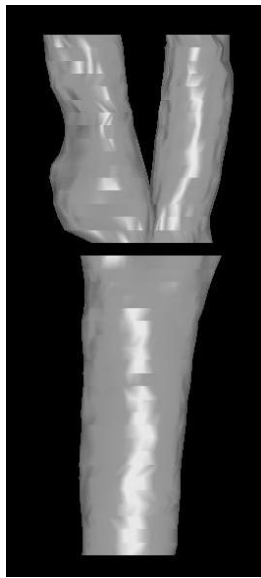
BREP => Boundary REPresentation

- Il solido è definito in modo indiretto tramite gli elementi di contorno (superfici, facce) che lo delimitano e le relazioni esistenti fra essi;
- Le facce sono a loro volta rappresentate come insiemi di spigoli e vertici;
- Ogni faccia ha un'orientazione data da un vettore normale alla superficie;
- Rappresentazione basata sulla struttura topologica, esplicita e valutata;
- Dato un punto si conosce la sua collocazione rispetto al modello;

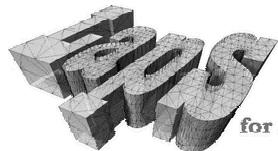


Dalla Ricostruzione Geometrica Vascolare al RP

- Ricostruzione biforcazione della carotide con la libreria *OpenCascade*
- Prototipazione fisica della geometria ricostruita con dispositivo FDM2000 (*Fused Deposition Modelling*) del Proto21

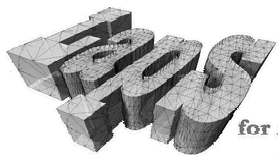


- Segmentazione immagini (punti sulla sezione)
- *Offset* del profilo per ottenere uno spessore
- Ricostruzione di profilo (continuità C2) tramite Curve B-Spline
- Unione dei profili tramite superfici B-Spline, (continuità C2);
- Unione delle superfici in *Boundary-Representation* (BRep) per rappresentare il ramo principale (quello sotto l'arco carotideo);
- Ricostruzione dei 2 rami sopra l'arco carotideo seguendo la stessa procedura descritta nei punti precedenti
- Fusione parti comuni in un unico solido BRep



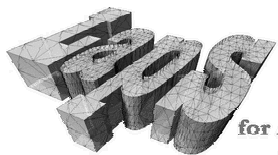
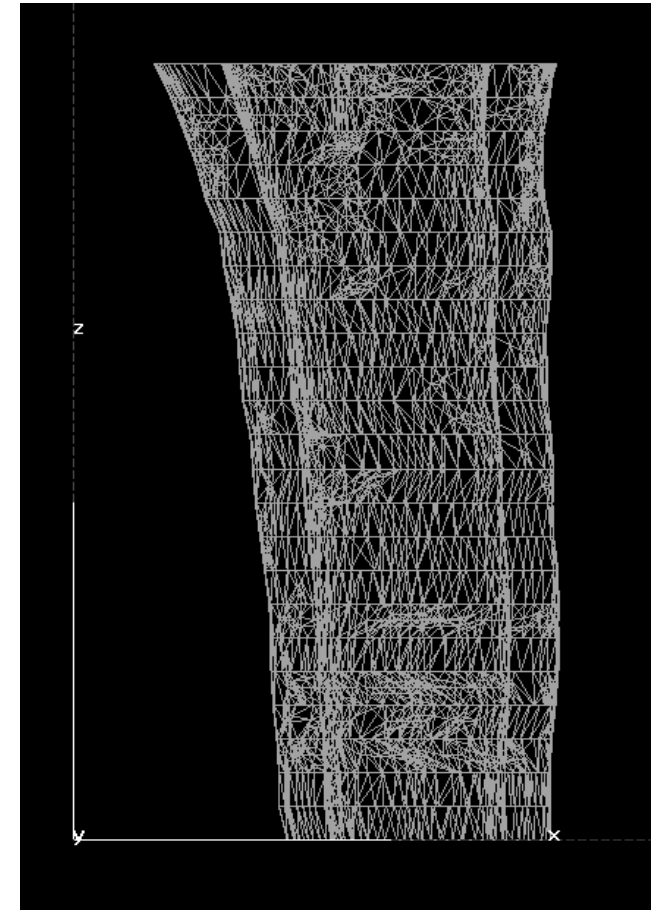
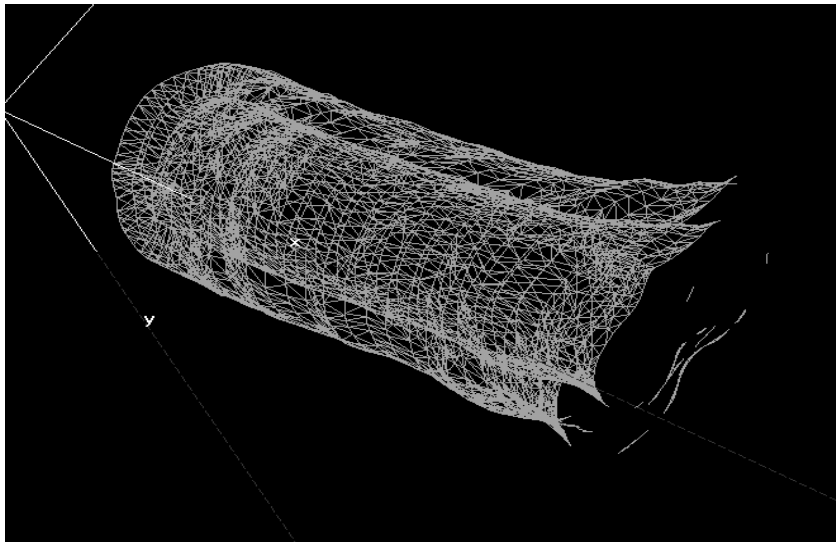
Sommario

- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro



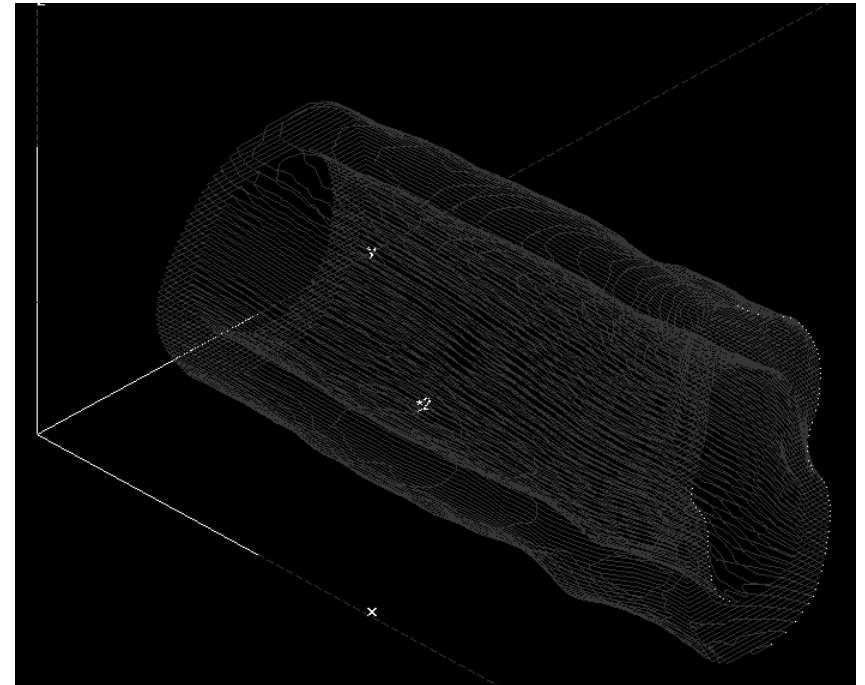
Fasi preparazione stampa 3D (1/4)

- OpenCascade=> Realizzazione file STL da B-Rep
- QuickSlice=> Orientamento file STL in funzione della direzione di produzione



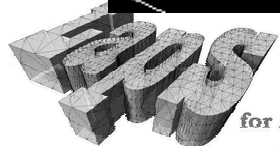
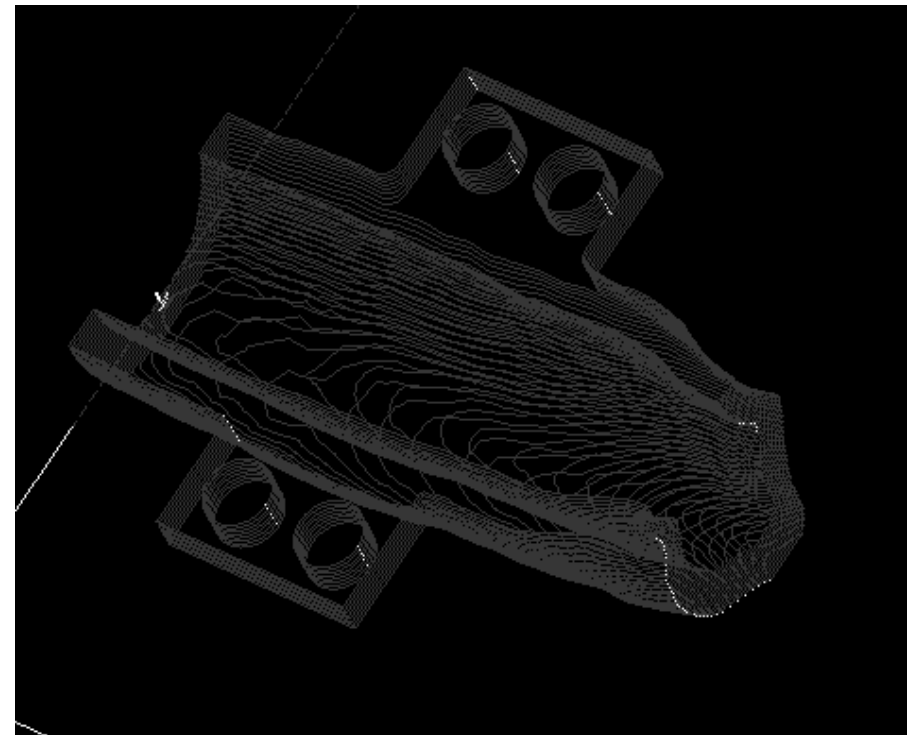
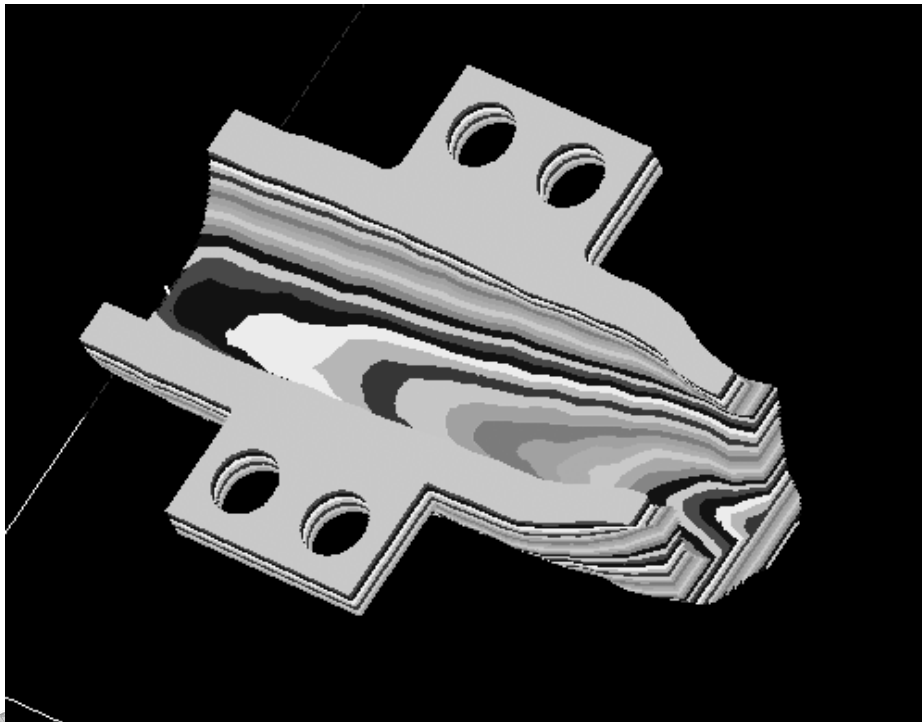
Fasi preparazione stampa 3D (2/4)

- Sezionamento per piani paralleli
- Creazione file SSL (StrataSys Layer interface)
- Verifica consistenza oggetto da stampare (presenza curve aperte, curve troppo piccole, definizione spessori)
- Correzione eventuali errori



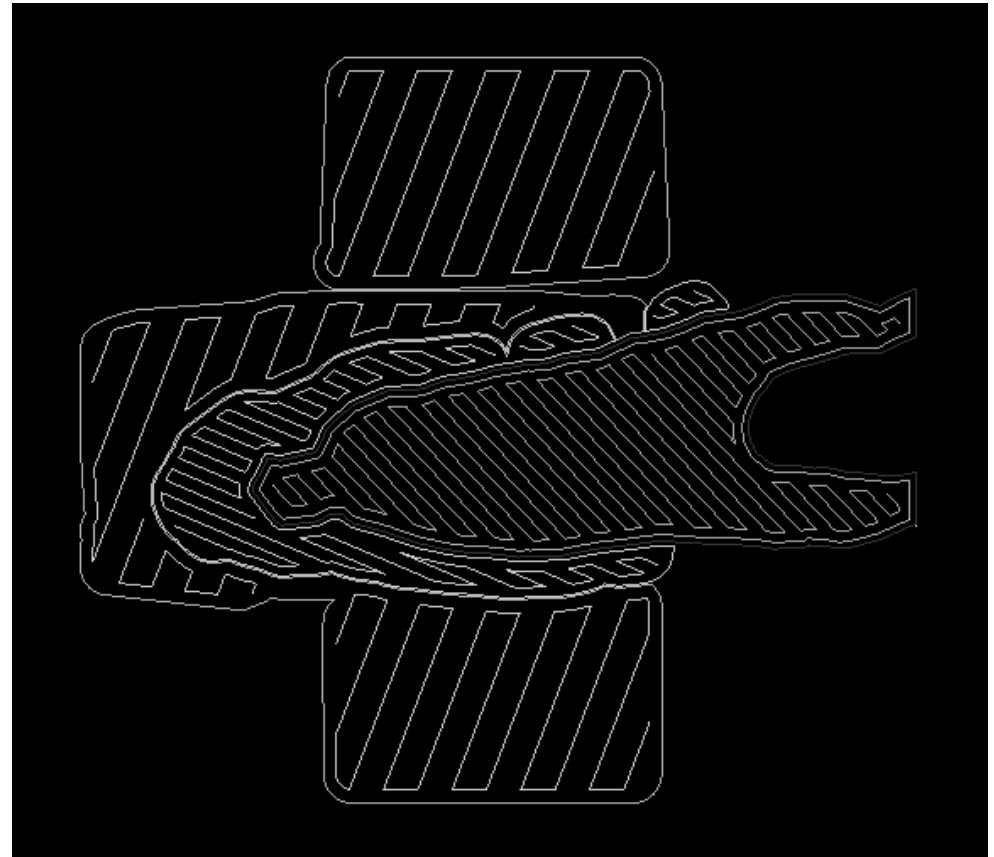
Fasi preparazione stampa 3D (3/4)

- Esempi di file SSL



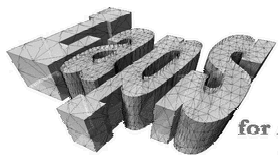
Fasi preparazione stampa 3D (4/4)

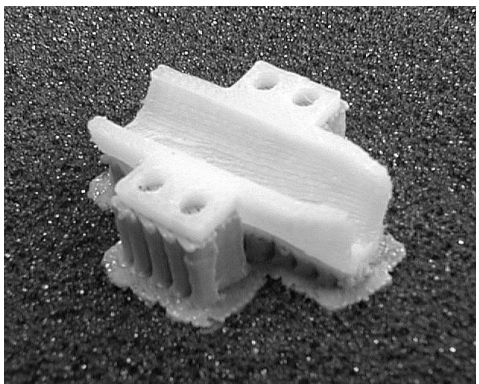
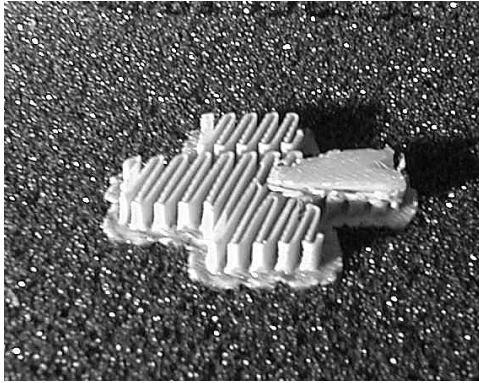
- Generazione dei supporti dall'alto verso il basso
- Verifica consistenza
- Creazione percorso macchina
- Esportazione oggetto finito in formato SML



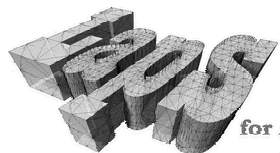
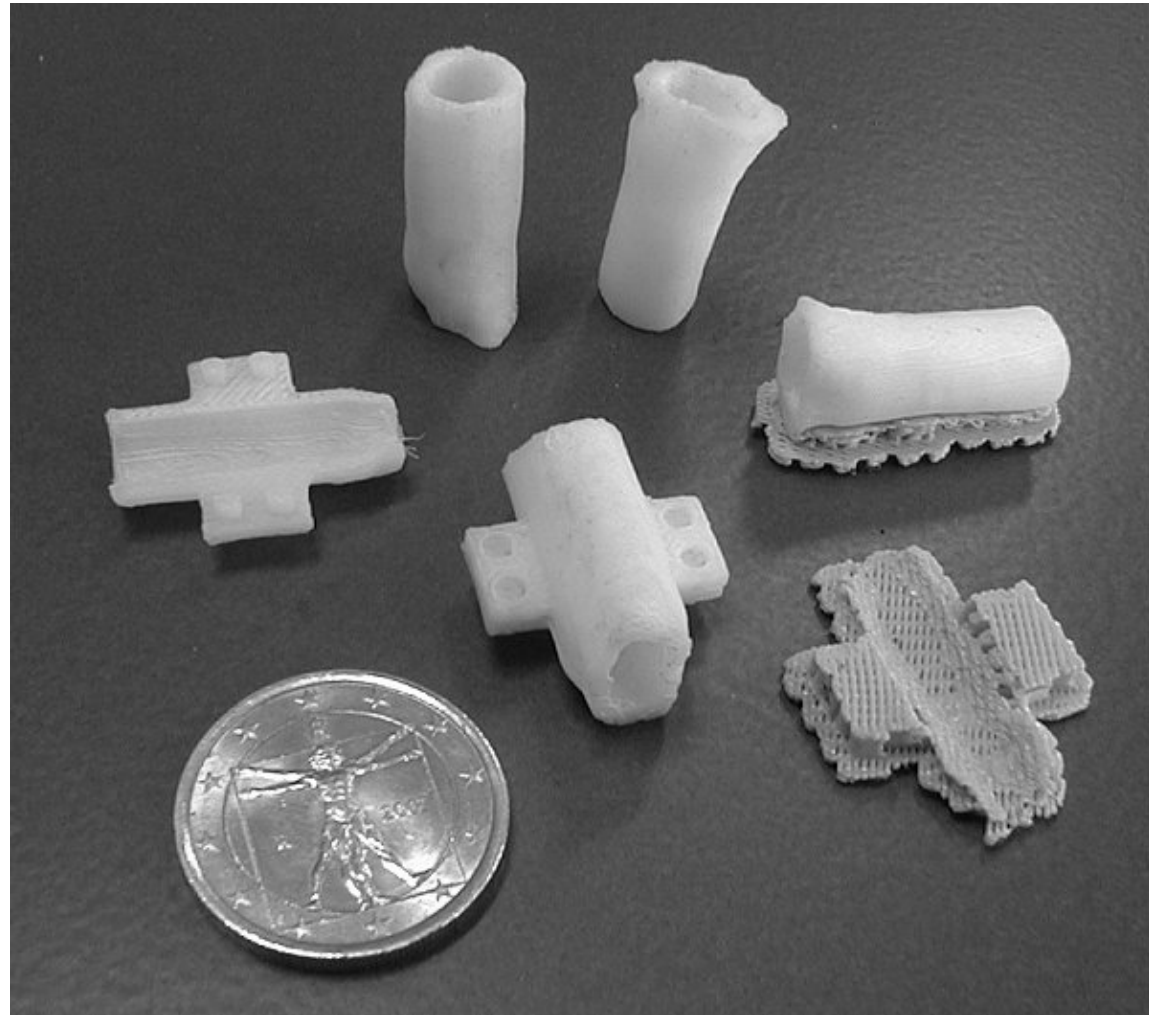
Stampa (1/2)

- Macchinario FDM2000
Stratasys
- Dimensioni volume di lavoro: 254*254*254 mm³
- Spessore slices:
0.18 < d < 0.50 mm
- Tolleranza 0.0127 mm
- Materiale utilizzato: ABS.





Stampa (2/2)

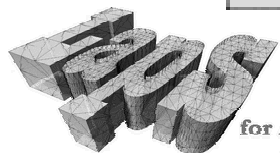
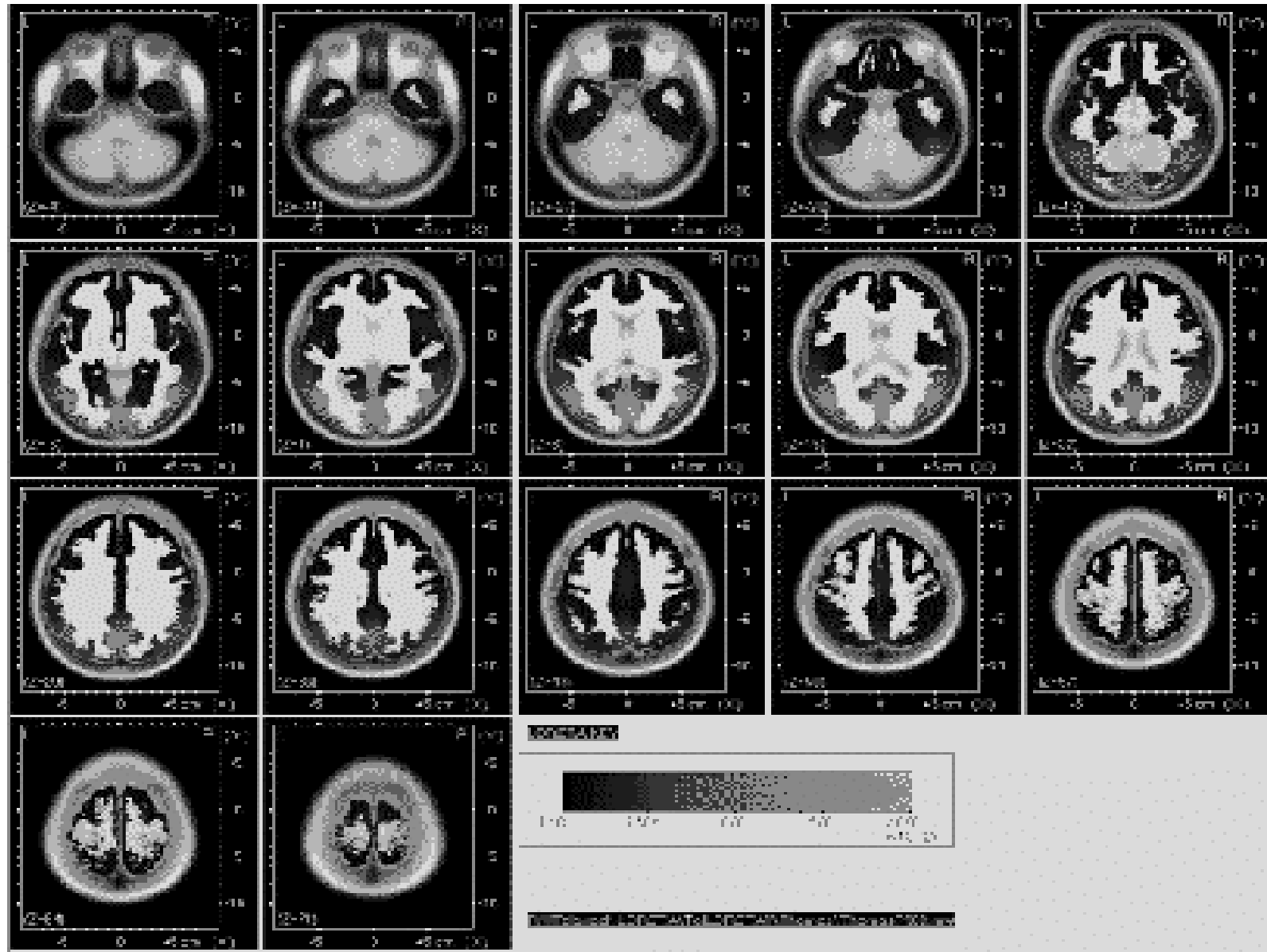


Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS
– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

6 Giugno 2002

Conclusioni



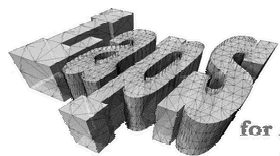
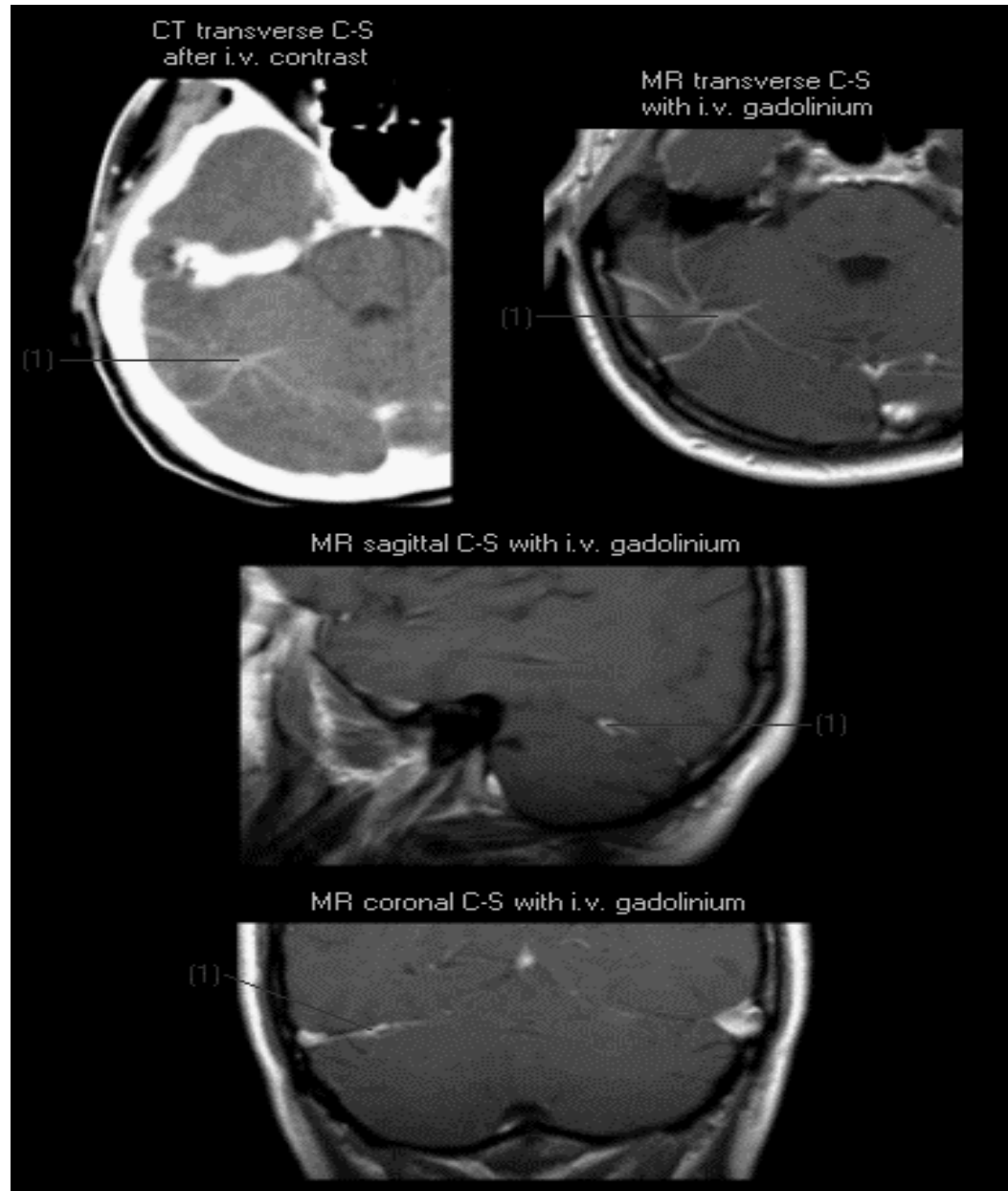
Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS

– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

6 Giugno 2002

Conclusioni



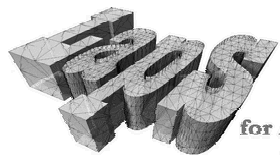
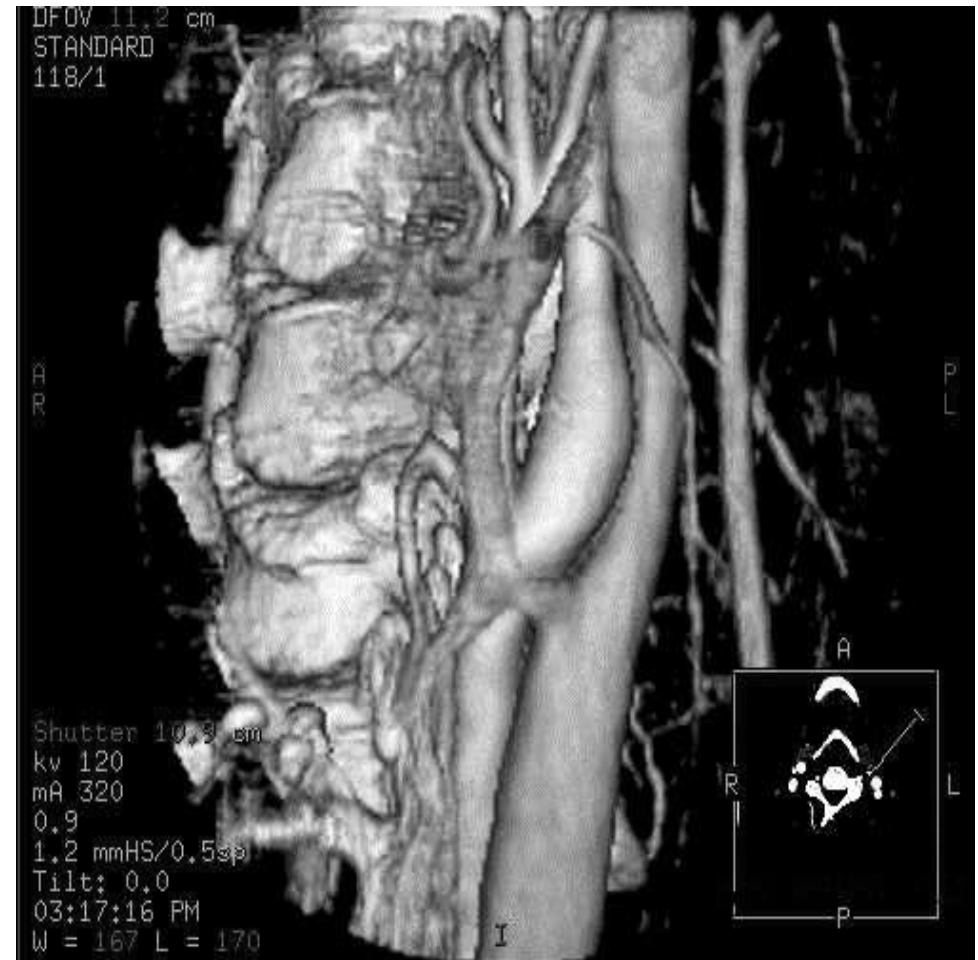
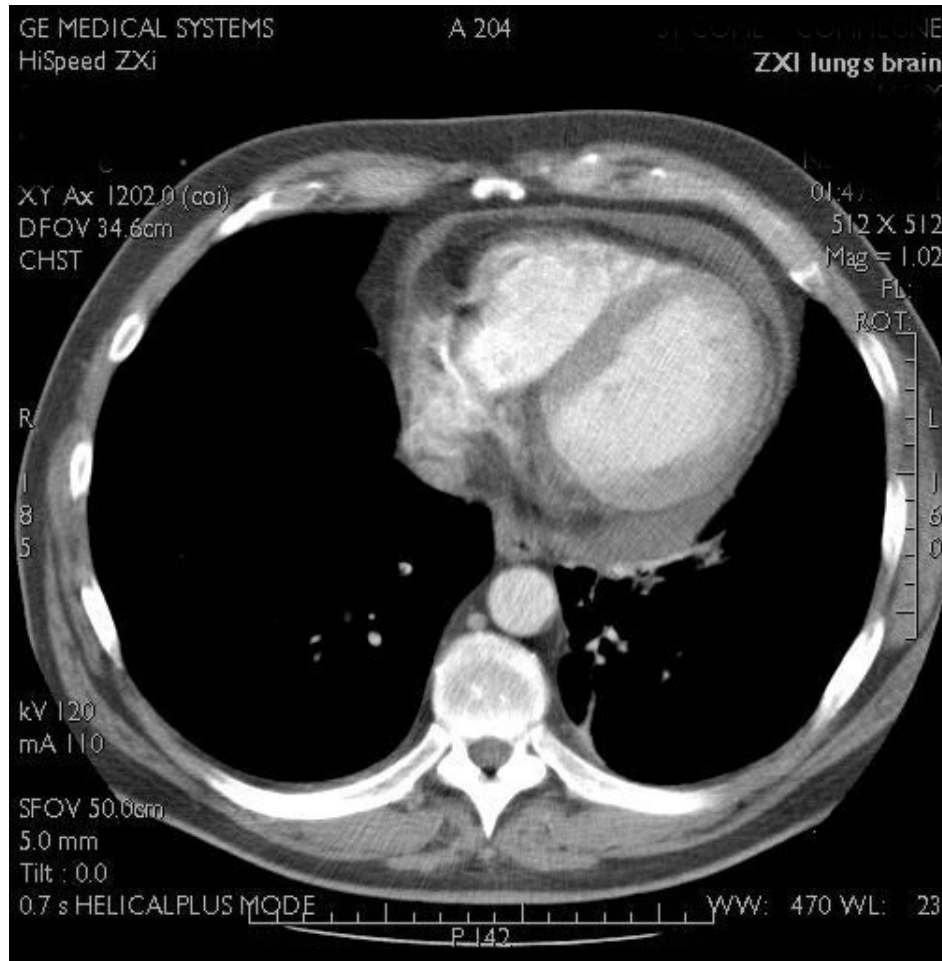
Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS

– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

6 Giugno 2002

Conclusioni



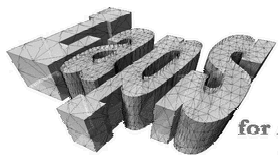
Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS
- GEometric Modelling & Monte Carlo Simulations -

6 Giugno 2002

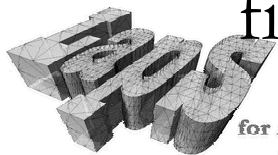
Sommario

- Rapid Prototyping
 - Introduzione
 - Tecniche RP
 - Utilizzi ed esempi
- Applicazione realizzata
 - Applicazione clinica
 - Pipeline lavoro
 - Acquisizione immagini
 - Segmentazione immagini
 - Ricostruzione Geometria
 - Produzione prototipi con tecnica FDM
 - Conclusioni
 - Problematiche aperte
 - Lavoro futuro

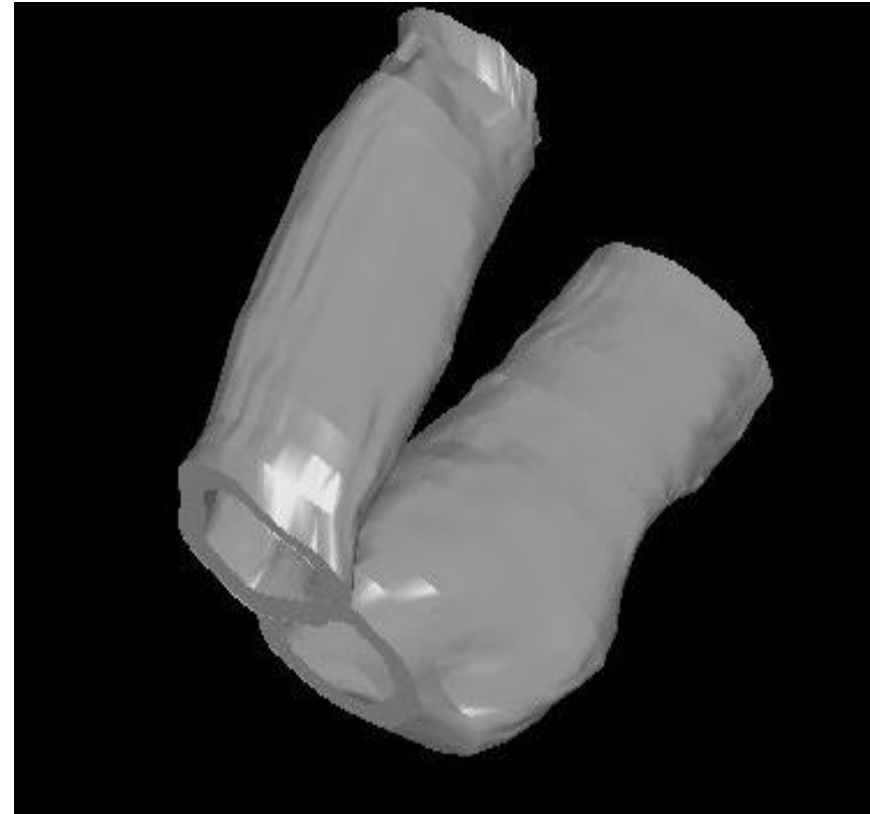
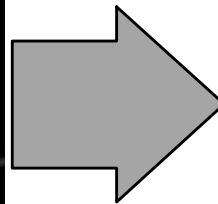
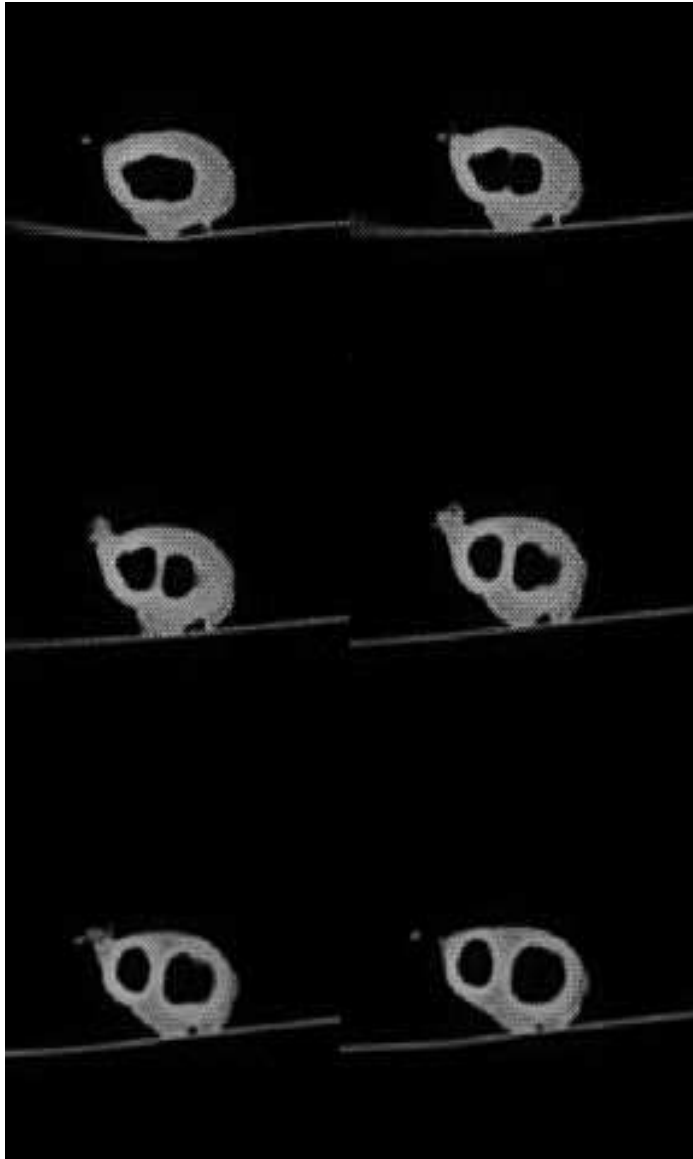


Problematiche aperte

- Difficile segmentazione del lumen:
 - Contorni non netti
 - Presenza di turbolenze nel flusso sanguigno
 - Presenza tessuti omogenei
- Presenza punti a sella
- Maggiore sensibilità e risoluzione spaziale sul piano x-y, rispetto all'asse z:
 - Variazione contorni notevole fra una slide e l'altra;
 - Approssimazioni meno accurate;
 - Rischio perdita dettagli anatomici durante interpolazione;
- Utilizzo OpenCascade
- Controllo delle approssimazioni da parte dell'utente finale

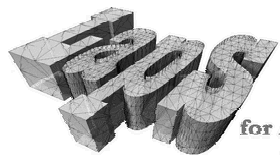


Biforcazione



Ricostruzione Geometrica 3D in Boundary Representation

Dati Tomografia Computerizzata



Laboratory
for Advanced Planning
and Simulation

AREA GEMMS

– GEometric Modelling & Montecarlo Simulations –

6 Giugno 2002

Lavoro Futuro (1/2)

- Acquisizione immagini con nuove tecniche;
- Perfezionamento delle tecniche di segmentazione;
- Realizzazione prototipi con materiali e tecniche diversi;
- Case-Study su 20 pazienti;
- Confronto fra prototipi realizzati con tecniche diverse di prototipazione e con le geometrie originali (parti anatomiche autoptiche);

Lavoro Futuro (2/2)

- Realizzazione algoritmo automatico per la biforcazione;
- Realizzazione dei prototipi senza ricostruzione delle geometrie (STL) e successivo slicing: generazione diretta percorso e supporti da immagine;
- Ricerca su nuovi materiali;