



# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO di MEDICINA - DIMED**

**CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN “TECNICHE DI RADIOLOGIA  
MEDICA, PER IMMAGINI E RADIOTERAPIA”**

**Sede di Vicenza**

**Presidente: Professor Roberto Stramare**

**Tesi di Laurea:**

**STUDIO DELLA VARIAZIONE DEL FLUSSO EMATICO MEDIANTE  
SOFTWARE ANEURYSMFLOW DOPO APPLICAZIONE DI STENT FLOW  
DIVERTER**

**Relatore:** Dott. Patricio Alexi Sacchetti

**Laureando:** Sinisa Vukovic

**Matricola:** 2012597

**Anno Accademico 2022/2023**



## INDICE

INTRODUZIONE.....	5
SCOPO DELLA TESI.....	7
1. L'ANGIOGRAFO DIGITALE.....	9
1.1 LA SALA ESAME.....	9
1.1.1 LE CARATTERISTICHE DELL'ANGIOGRAFO.....	9
1.1.2 LA GENERAZIONE DEI RAGGI X.....	11
1.1.3 GLI ACCESSORI DELL'ANGIOGRAFO.....	13
1.1.4 L'INIETTORE DI MEZZO DI CONTRASTO.....	17
1.2 LA SALA DI CONTROLLO.....	19
1.2.1 LE FUNZIONALITÀ DELL'ANGIOGRAFO.....	20
1.3 IL SOFTWARE ANEURYSMFLOW.....	25
2. L'ANATOMIA DELL'ENCEFALO E DEL CIRCOLO INTRACRANICO.....	27
2.1 L'ENCEFALO.....	27
2.2 I VASI SANGUIGNI.....	33
2.3 I TRONCHI SOVRAORTICI.....	36
2.4 IL CIRCOLO ARTERIOSO INTRACRANICO.....	39
2.5 IL SISTEMA VENOSO CEREBRALE.....	41
2.6 LA PATOLOGIA ANEURISMATICA.....	44
3. GLI STENT FLOW DIVERTER.....	47

4. MATERIALI E METODI.....	51
4.1 I MATERIALI UTILIZZATI.....	51
4.2 IL RUOLO DEL TECNICO.....	54
4.3 ANEURYSMFLOW.....	56
4.4 LA CASISTICA.....	67
4.4.1 CASO 1.....	67
4.4.2 CASO 2.....	70
CONCLUSIONI.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	79

## INTRODUZIONE

L'aneurisma cerebrale rappresenta un'anomalia vascolare caratterizzata da una dilatazione patologica delle pareti arteriose, derivante da un indebolimento dello strato muscolare interno della parete del vaso. Questa condizione patologica risulta particolarmente prevalente nelle regioni di biforcazione arteriosa del circolo cerebrale di Willis. Un aspetto di notevole importanza legato all'aneurisma è la prospettiva di rottura, evento in cui la parete aneurismatica, a causa del progressivo assottigliamento, cede, generando una sanguinosa fuoriuscita nello spazio subaracnoideo, noto come emorragia sub-aracnoidea (ESA).

Il cuore del trattamento dell'aneurisma cerebrale è rappresentato dall'obiettivo di isolare la sacca aneurismatica dalla circolazione arteriosa restante. Questo risultato può essere raggiunto attraverso due principali approcci: l'intervento neurochirurgico e l'intervento endovascolare. Mentre l'intervento neurochirurgico rappresenta una procedura più invasiva, richiedendo una craniotomia per accedere all'aneurisma, l'approccio endovascolare si distingue per la sua minore invasività.

Utilizzando un catetere, partendo dall'arteria femorale e risalendo l'albero vascolare, si inseriscono spirali di platino all'interno della sacca aneurismatica. Queste spirali si espandono gradualmente, riempiendo lo spazio aneurismatico. Dopo il posizionamento delle spirali, il flusso di sangue all'interno dell'aneurisma diminuisce, causando una trombosi (coagulo) all'interno della sacca aneurismatica.

Un'innovazione recente nell'ambito degli interventi endovascolari è rappresentata dallo stent a diversione di flusso (Flow Diverter). Questo dispositivo trova particolare utilizzo negli aneurismi di grandi dimensioni, spesso caratterizzati da un'ampia apertura. L'utilizzo dello stent a diversione di flusso consente di

indirizzare il flusso sanguigno in modo da evitare il riempimento della sacca aneurismatica con spirali.

I Flow Diverter stanno guadagnando sempre più popolarità come strumenti di elezione nel trattamento degli aneurismi cerebrali. È perciò cruciale comprendere le dinamiche del flusso all'interno e in prossimità dell'aneurisma, nonché monitorare come il flusso si modifica prima e dopo l'installazione di uno stent a diversione di flusso, al fine di valutare l'efficacia del dispositivo.

Nel corso degli ultimi anni, l'azienda Philips ha introdotto un software innovativo denominato AneurysmFlow. Questo software consente di visualizzare e quantificare le alterazioni del flusso nell'arteria da cui origina l'aneurisma e all'interno della sacca aneurismatica, prima e dopo il posizionamento del Flow Diverter. Questo strumento offre una chiara rappresentazione visiva della velocità del flusso attraverso grafici colorimetrici e vettoriali, contribuendo a valutare in modo dettagliato e preciso gli effetti dell'intervento e l'andamento del flusso sanguigno nell'area coinvolta.

L'impiego di questa tecnologia di imaging avanzato non solo fornisce informazioni cruciali per l'analisi dei risultati clinici, ma apre anche la strada a una migliore comprensione dei meccanismi sottostanti alla terapia con Flow Diverter, consentendo un approccio più personalizzato e mirato nel trattamento di pazienti affetti da aneurismi cerebrali.

## **SCOPO DELLA TESI**

Lo scopo di questa tesi è di mostrare l'utilizzo del software AneurysmFlow, il quale permette di visualizzare e quantificare il flusso presente nella sacca aneurismatica prima e dopo il posizionamento di un Flow Diverter, uno stent costruito appositamente per escludere gli aneurismi dal circolo arterioso.

L'implementazione dei software di ricostruzione e di analisi sull'apparecchiatura angiografica permette al tecnico sanitario di radiologia medica (TSRM) di effettuare le ricostruzioni necessarie per operare durante l'intervento endovascolare e di prendere le misure corrette per elaborare le immagini con il software AneurysmFlow, in modo tale da poter mostrare in tempo reale quanto è diminuito il flusso e quanto è stato escluso l'aneurisma dal flusso arterioso.

Sarà inoltre approfondito il ruolo del tecnico sanitario di radiologia medica (TSRM) nei protocolli di acquisizione e rielaborazione delle immagini nei diversi piani anatomici specifici per la visualizzazione dei vasi del circolo arterioso, del posizionamento dello stent Flow Diverter e del flusso ematico nell'aneurisma.



## **Capitolo 1**

### **L'ANGIOGRAFO DIGITALE**

La sala angiografica dell'U.O. di Neuroradiologia dell'Ospedale "San Bortolo" di Vicenza è costituita da due sale: una sala esame, dove si esegue la procedura ed è presente l'angiografo digitale; ed una sala di controllo, dove sono presenti monitor e comandi per la gestione della procedura.

#### **1.1 LA SALA ESAME**

La sala esame è la sala dove si svolge la procedura (che può essere di tipo diagnostico o interventistico) al cui interno è presente l'angiografo digitale biplano, gli accessori dell'angiografo e l'iniettore di mezzo di contrasto.

##### **1.1.1 LE CARATTERISTICHE DELL'ANGIOGRAFO**

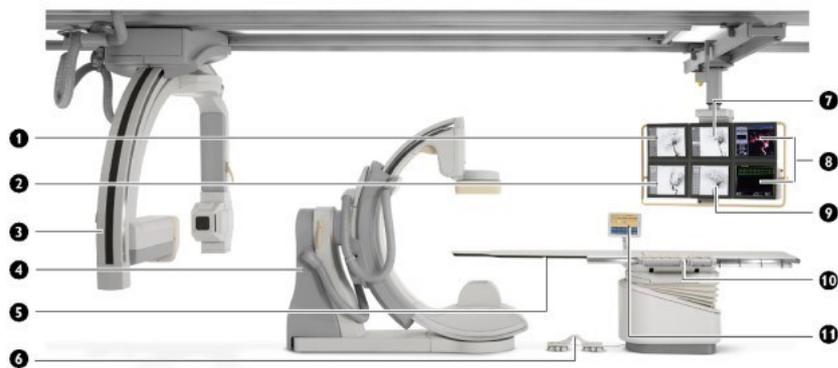
L'angiografo digitale biplano è un'apparecchiatura radiologica costituita da due archi a C, isocentrici ed ortogonali tra di loro su cui sono montati i tubi radiogeni, alimentati dai generatori ad alta tensione, e i detettori. L'isocentricità permette la rotazione dei due archi attorno al paziente mantenendo fisso un punto, il quale corrisponde all'intersezione dei due fasci, al variare delle proiezioni.



Figura 1.1.1a. Angiografo Philips Allura Clarity nell'Unità Operativa di Neuroradiologia a Vicenza.

L'angiografo *Philips Allura Clarity*, installato nell'Unità Operativa di Neuroradiologia dell'ospedale di Vicenza nel 2015, presenta due archi a C. Il primo, frontale, è fissato al pavimento, mentre il secondo, laterale, è mobile e fissato al soffitto su due binari, che permettono di traslarlo lungo l'asse longitudinale del lettino porta paziente al fine di ottenere le proiezioni necessarie. Gli spostamenti lungo gli assi possono essere effettuati con i pulsanti o mediante apposite maniglie presenti sugli archi. Inoltre, entrambi gli archi possono eseguire dei movimenti di rotazione a 360° in senso anteroposteriore e laterolaterale. Quindi è possibile eseguire acquisizioni oblique e, addirittura, volumetriche per ottenere diverse proiezioni, ricavando così la visualizzazione completa dei distretti anatomici studiati durante la procedura. Può essere controllato dal tecnico sanitario di radiologia medica per posizionare la sorgente di raggi X e il detettore in modo da ottenere le migliori immagini.

I generatori ad alta tensione sono situati nel locale tecnico ed alimentano i due tubi radiogeni, i quali permettono una tensione massima, tra anodo e catodo, di 120 kV per lo studio in fluoroscopia e di 125 kV per quello in grafia.



Numero	Descrizione
1	Monitor di esame frontale
2	Monitor di esame laterale
3	ARCO laterale
4	Supporto frontale
5	Piano Xper
6	Comandi a pedale
7	Monitor di riferimento 1 (frontale)
8	Monitor a colori (opzionale)
9	Monitor di riferimento 2 (laterale)
10	Moduli geometria e di imaging Xper
11	Modulo Xper

Figura 1.1.1b. Componenti generali del sistema biplanare nella sala esame.

### 1.1.2 LA GENERAZIONE DEI RAGGI X

I tubi radiogeni sono associati a dei collimatori ed entrambi sono montati sull'arco a C, opposti al rivelatore. L'obiettivo dei diaframmi e dei filtri a cuneo è quello di ridurre l'area del paziente esposta alla regione di interesse (ROI). L'operatore stabilisce la ROI utilizzando i diaframmi e i filtri a cuneo del collimatore. Questo limita l'area del paziente esposta e mantiene al minimo la dose di radiazioni necessaria per l'esame. Inoltre, la riduzione delle radiazioni diffuse contribuisce a migliorare la qualità dell'immagine.

I tubi radiogeni si trovano all'interno di un contenitore di vetro che viene sottoposto a vuoto e inserito in una custodia metallica protetta da un rivestimento di piombo. La radiazione ionizzante viene emessa solo da una piccola area non

protetta chiamata finestra. I raggi X generati attraversano i materiali solidi, venendo assorbiti in parte durante il loro percorso. La loro energia è sufficiente per causare ionizzazioni. Essi sono in grado di attraversare i corpi opachi alla luce; al passaggio, il fascio viene assorbito: l'assorbimento è in rapporto alla quantità e alla qualità della sostanza attraversata. La qualità è rappresentata dal numero atomico (Z) dei costituenti.

L'angiografo monta due detettori, di tipo *flat panel*, digitali a conversione indiretta, nei quali vengono utilizzati materiali semiconduttori, in questo caso si tratta di silicio amorfo. I detettori presentano due componenti principali: il fotosensore, composto principalmente da fotodiodi; e il cristallo scintillatore. La conversione indiretta del fascio ionizzante prevede una prima conversione delle radiazioni in segnale luminoso da parte del cristallo scintillatore, in questo caso si tratta di ioduro di cesio. La struttura colonnare del cristallo indirizza il segnale luminoso verso una matrice di silicio amorfo, il semiconduttore, disposto sulla superficie posteriore del cristallo. Questo segnale verrà raccolto dai fotodiodi, in cui ciascun elemento corrisponde ad un pixel sull'immagine, poi verrà amplificato da una serie di fotomoltiplicatori e, infine, tramite un convertitore analogico-digitale verrà campionato mediante la lettura e la digitalizzazione del segnale in informazione numerica che formerà l'immagine digitale.

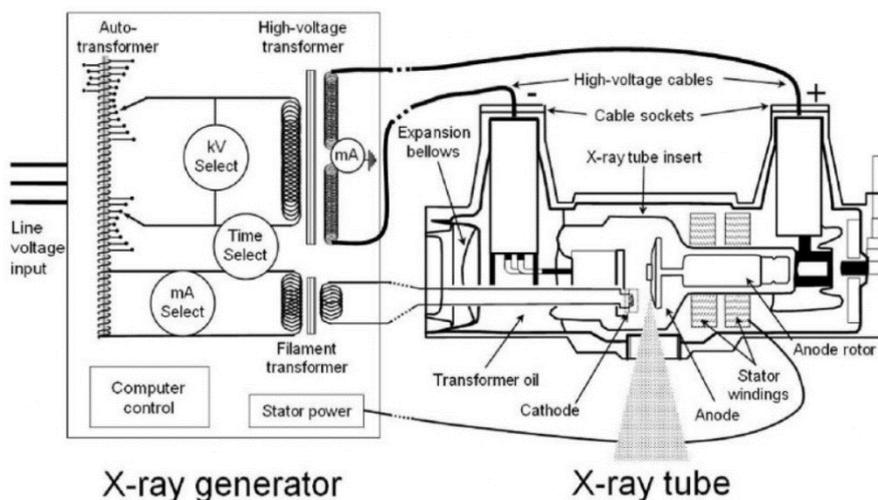


Figura 1.1.2. Principio di funzionamento del generatore ad alta tensione e del tubo radiogeno.

### 1.1.3 GLI ACCESSORI DELL'ANGIOGRAFO

Inoltre, in sala angiografica è presente un monitor LCD, *FlexVision XL/EP Cockpit*, a colori con un grande schermo ad alta risoluzione montato su una struttura pensile, che permette di fare movimenti in orizzontale, verticale e di rotazione sull'asse verticale per poterlo posizionare in modo tale che il medico e il tecnico sanitario di radiologia medica abbiano una visuale comoda ed ottimale. Si visualizzano in tempo reale le immagini appena acquisite sia dal tubo frontale che da quello laterale; sono visibili anche tutti i parametri di acquisizione: kV, mAs, l'angolazione dei tubi e il tempo di acquisizione. Inoltre, si può impostare il layout dello schermo in modo tale da poter visualizzare al meglio le immagini prodotte in fluoroscopia e grafia. È possibile revisionare le immagini durante l'intervento, ma solo relative al paziente per il quale si sta eseguendo l'acquisizione.



Figura 1.1.3a. Configurazione FlexVision XL/EP Cockpit

Per revisionare le immagini è presente un telecomando che permette di scegliere le serie che il medico vuole rivedere per fare le opportune valutazioni, ma sono presenti anche altre funzioni come: lo zoom, la sottrazione,

l'attivazione/disattivazione dei riferimenti anatomici, la riproduzione del file o della seriografia.

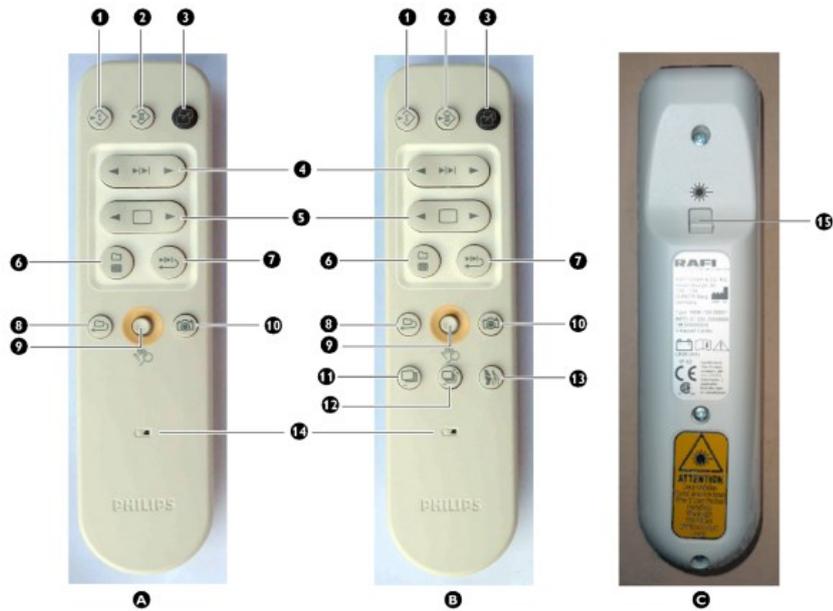
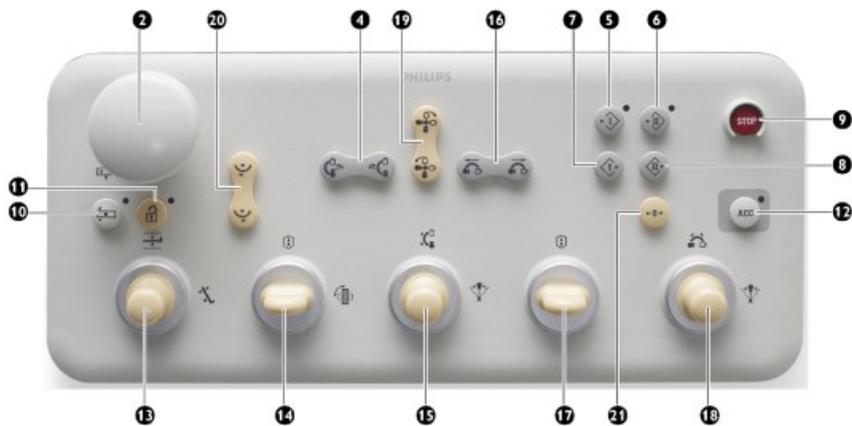


Figura 1.1.3b. Pulsanti di funzione del telecomando.

Di fianco al lettino sono agganciati due moduli che permettono al tecnico sanitario di radiologia medica di effettuare i movimenti nelle diverse direzioni del lettino e dei due archi a C, di modificare l'ingrandimento, di riportare alla posizione iniziale il lettino e di bloccare gli spostamenti.



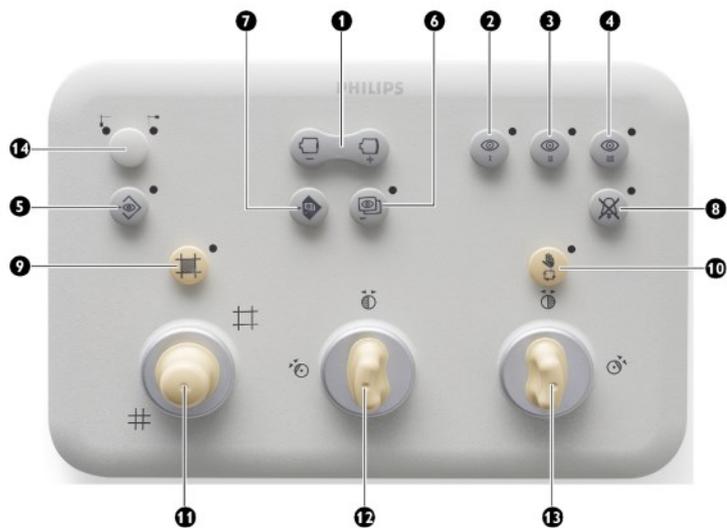


Figura 1.1.3c. e 1.1.3d. Moduli di imaging dei sistemi biplanari.

Per svolgere l'esame è presente un comando a pedale del sistema biplanare dentro la sala esame che permette di acquisire in fluoroscopia o in grafia da un solo arco a C oppure da entrambi contemporaneamente. Inoltre, nella sala comandi si trova anche il comando manuale di acquisizione, il quale permette di eseguire la preparazione degli archi a C e di avviare l'esposizione superando il punto di resistenza.

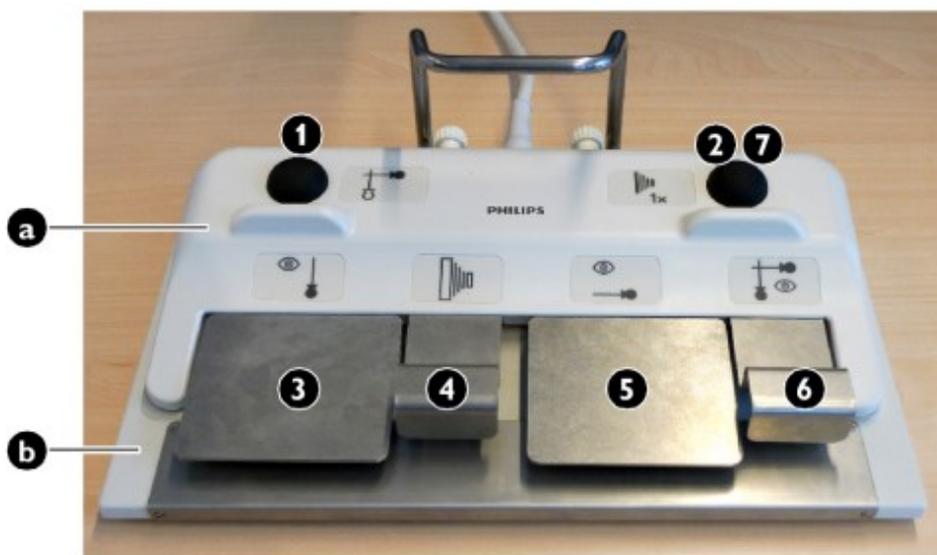


Figura 1.1.3e. Comando a pedale.



Figura 1.1.3f. Comando manuale di acquisizione.

Oltre ai dispositivi di protezione individuale come i camici piombati, la paratiroide e gli occhiali piombati sono presenti anche degli schermi radioprotettivi per un'ulteriore protezione contro le radiazioni disperse, che possono essere montati sul lettino porta paziente oppure si presentano come dei pensili che si muovono in tutte le direzioni per offrire ancora più protezione.

I dispositivi di supporto per le braccia vengono impiegati per assicurare il benessere del paziente che si trova disteso sul piano porta paziente, prevenendo l'eccessiva sollecitazione delle braccia e l'eventuale scomodità che potrebbe derivare dalla loro pendenza laterale. Bisogna far scorrere il supporto tra il piano ed il materasso dopo che è stato sistemato il paziente sul lettino.

Inoltre, sul tavolino è presente un supporto per la testa che serve per dare comodità e stabilità al paziente durante l'intervento; sopra il materasso si trova un materassino più sottile, collegato ad una presa, che viene riscaldato a circa 37°C per far mantenere al paziente la normale temperatura corporea.

#### 1.1.4 L'INIETTORE DI MEZZO DI CONTRASTO

Sul lato inferiore del lettino per i pazienti, si trova l'iniettore di mezzo di contrasto utilizzato in sala angiografica. Questo sistema, chiamato Mark 7 Arterion MEDRAD, è costituito da una pompa e un display che consentono di gestire il flusso di lavoro e interagire con il sistema angiografico durante l'acquisizione di immagini che richiedono l'uso sincronizzato dell'iniettore e della sorgente di raggi X. La pompa di iniezione dispone di diverse funzionalità che consentono di controllare l'iniezione e di interromperla in caso di anomalie o guasti. Il limite di pressione corrisponde alla massima pressione nominale del componente più fragile nella linea di infusione. La pompa può ospitare una singola siringa monouso da 150 ml, realizzata in materiale polimerico trasparente per consentire la visualizzazione della quantità di mezzo di contrasto inserita e garantire l'eliminazione corretta dell'aria presente al suo interno prima del collegamento al catetere. Inoltre, l'iniettore è dotato un dispositivo per mantenere il mezzo di contrasto riscaldato.



Figura 1.1.4a. Iniettore del mezzo di contrasto.

Sul display del sistema di iniezione, il tecnico sanitario di radiologia medica ha la possibilità di attivare o disattivare l'iniettore e gestire diversi protocolli definiti dall'utente. Questi protocolli consentono di regolare la quantità di mezzo di contrasto e il flusso dell'iniezione a seconda del segmento vascolare studiato e del tipo di esame da eseguire. Il sistema di iniezione può essere interfacciato con un dispositivo di imaging, come ad esempio un angiografo digitale.

La schermata principale visualizza diverse finestre, tra cui la sezione "Programmato". In questa sezione sono visibili i seguenti valori: volume di iniezione, flusso di iniezione, limite di pressione massimo, tempo di salita e ritardo applicabile all'avvio della scansione rispetto all'inizio dell'iniezione del mezzo di contrasto. Nella finestra "Valori effettivi" vengono mostrati il picco, il volume erogato e il contrasto totale. Nella finestra "Valori effettivi" vengono mostrati il picco, il volume erogato e il contrasto totale.



Figura 1.1.4b. Display del sistema di iniezione.

## **1.2 LA SALA DI CONTROLLO**

La sala di controllo di una sala angiografica è un ambiente dedicato alla supervisione e al controllo delle procedure.

È progettata per avere due monitor per la visualizzazione: uno dedicato al tubo frontale e l'altro al tubo laterale, questi monitor permettono di vedere le immagini acquisite durante la procedura in tempo reale. Il tecnico sanitario di radiologia medica può regolare la luminosità, il contrasto e altre impostazioni dell'immagine per ottenere la migliore qualità possibile.

Si trova anche una consolle dedicata all'elaborazione e alla ricostruzione delle acquisizioni effettuate durante l'esame.

Sono presenti altri due monitor: uno dedicato alla gestione dei dati del paziente relativi all'esame in corso, mentre l'altro è utilizzato per l'accettazione e la chiusura dell'esame nel sistema RIS.

Inoltre, la sala di controllo è dotata di sistemi di archiviazione e registrazione dei dati, consentendo al tecnico sanitario di radiologia medica di salvare le immagini acquisite durante le procedure per consultazioni cliniche future o per la documentazione dei casi.

Questi sistemi di archiviazione sono integrati con il sistema di gestione delle immagini e delle informazioni sanitarie (PACS) dell'ospedale, agevolando l'accesso rapido ai dati e la possibilità di condividerli.

Accanto ai monitor sono presenti consolle e pannelli di controllo che consentono al tecnico sanitario di radiologia medica di gestire l'apparecchiatura angiografica. Attraverso essi si può regolare l'intensità dei raggi X e gestire l'iniezione di mezzo di contrasto nei pazienti.



Figura 1.2. Foto della sala di controllo.

La sala di controllo è separata dalla sala angiografica dove viene eseguita la procedura, in maniera tale da garantire la sterilità e un'adeguata protezione dagli agenti patogeni.

Inoltre, ospita un sistema di comunicazione bidirezionale, che consente alle figure professionali di comunicare con il personale in sala esame. La comunicazione è essenziale per coordinare le azioni durante la procedura e per garantire la sicurezza del paziente e promuovere il benessere.

### **1.2.1 LE FUNZIONALITÀ DELL'ANGIOGRAFO**

Il sistema angiografico è dotato di diverse funzionalità per lo studio del distretto vascolare cerebrale.

- Il software *2D Perfusion* fornisce informazioni dettagliate sulla perfusione dei tessuti basandosi sull'angiografia a sottrazione digitale (DSA). Grazie a questo software, è possibile visualizzare in modo chiaro e intuitivo i parametri funzionali attraverso un'immagine di perfusione, in cui i valori

dei pixel relativi al parametro specificato vengono rappresentati mediante colori. L'angiografia a sottrazione digitale è una tecnica fluoroscopica utilizzata in radiologia interventistica per ottenere una chiara visualizzazione dei vasi sanguigni all'interno di tessuti ossei o tessuti molli densi. Questa tecnica si basa sulla sottrazione di un'immagine acquisita prima dell'iniezione del mezzo di contrasto (maschera) dalle immagini acquisite successivamente, dopo l'introduzione del mezzo di contrasto nella struttura. In questo modo è possibile ottenere un'immagine dettagliata della struttura vascolare senza la sovrapposizione di altre strutture. Inoltre, permette di confrontare le immagini codificate a colori prima, durante e dopo la procedura. Clinicamente fornisce un'assistenza nella diagnosi delle modificazioni nella perfusione dei tessuti.

- Il software *3D Roadmap* permette di sovrapporre una ricostruzione tridimensionale (3D) dell'albero vascolare alle immagini in tempo reale dello stesso paziente in 2D, consentendo al medico di utilizzare la ricostruzione come una mappa durante le procedure per supportare la manipolazione dei cateteri. L'orientamento della ricostruzione è determinato in base alla proiezione della seriografia fluoroscopica. L'opzione *3D Roadmap* consente di ridurre la quantità di mezzo di contrasto necessaria per tali interventi.
- Il software *Allura 3D-RA* combina le funzionalità di un dispositivo radiologico compatibile con l'imaging radiologico tridimensionale. L'angiografo acquisisce le immagini utilizzando una scansione rotazionale e le esporta in formato *3D-RA* per un'analisi successiva. Dopo l'acquisizione sarà possibile visualizzare una serie di volumi tridimensionali che comprendono: angiografia, vertebroplastica, placca calcifica iperdensa, tessuto molle. Il software mette a disposizione una serie di strumenti di elaborazione per analizzare i volumi tridimensionali. Viene creata una

ricostruzione 3D che consente di visualizzare in dettaglio l'anatomia vascolare, facilitando l'identificazione delle patologie attraverso un solo angiogramma rotazionale con mezzo di contrasto. È utilizzato durante le procedure angiografiche e può coprire qualsiasi regione anatomica, inclusa l'area cerebrale, addominale e periferica. Inoltre, consente una visualizzazione tridimensionale della colonna vertebrale. Ha lo scopo di assistere nella diagnosi e nel trattamento delle patologie endovascolari, quali stenosi, aneurismi e malformazioni arterovenose.

- L'analisi vasale automatica (AVA) è un processo che coinvolge l'uso di strumenti e algoritmi informatici per esaminare le immagini dei vasi sanguigni e ricavare informazioni rilevanti. Affinché sia possibile condurre un'analisi del segmento vasale è necessario specificare i punti di inizio e fine del tratto di interesse. Questa tecnica viene spesso impiegata nell'ambito della diagnostica medica per valutare la salute e il funzionamento dei vasi sanguigni e per identificare eventuali anomalie o patologie, ma consente anche di simulare il posizionamento dello stent nel segmento vasale selezionato.

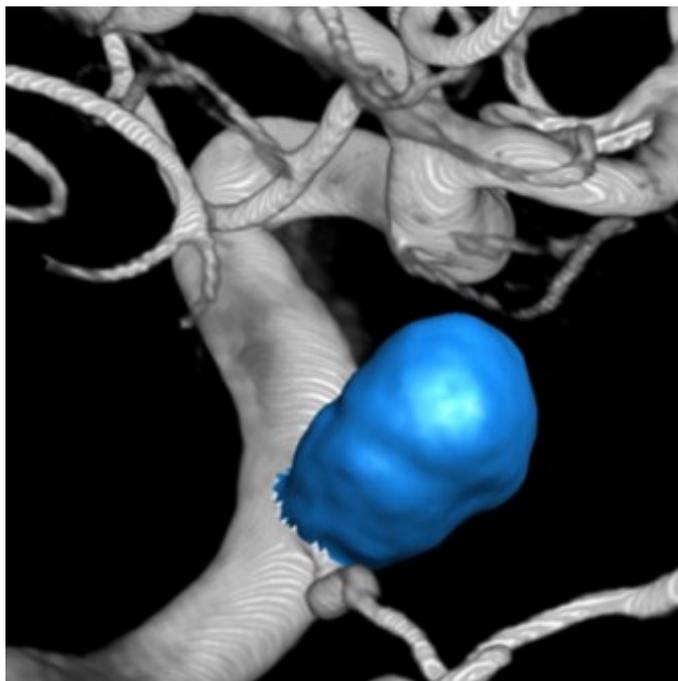
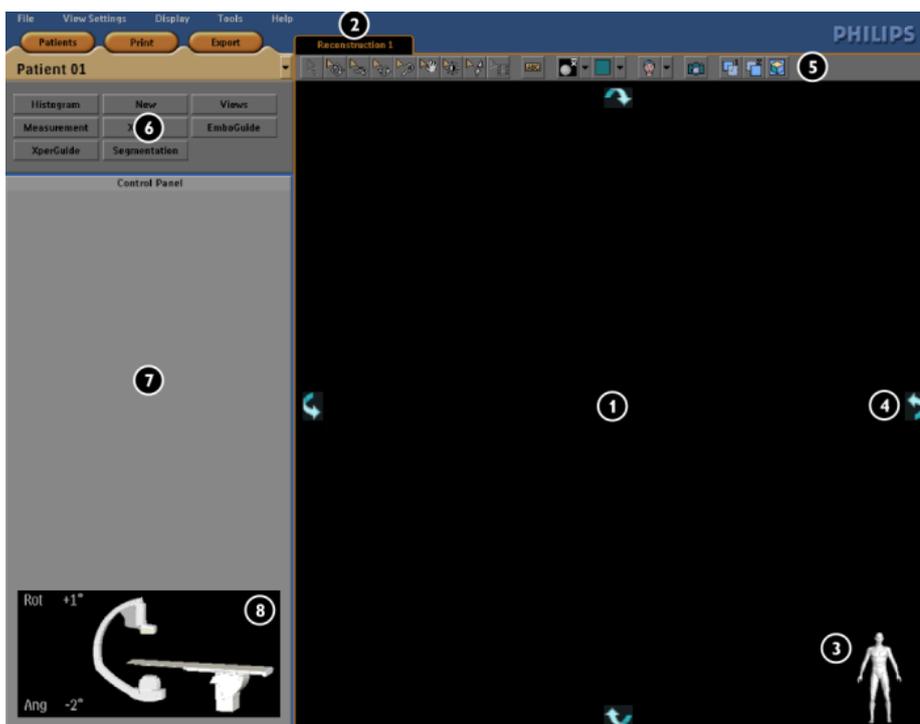


Figura 1.2.1a. Analisi dell'aneurisma.

- Il software *XperCT* offre un'espansione delle funzionalità dell'angiografo che consente l'imaging dettagliato dei tessuti molli e facilita l'identificazione anatomica in diverse aree come il cervello, l'addome, le regioni periferiche attraverso una singola scansione. Le immagini risultanti vengono visualizzate come lastre di volumi, permettendo una qualità di visualizzazione dei tessuti molli molto elevata e paragonabile a quella delle scansioni TC. Durante la rotazione, vengono acquisite diverse immagini a raggi X, che vengono successivamente combinate per creare una rappresentazione tridimensionale del corpo umano. Nonostante la presenza della fluoroscopia, questa metodica consente di ridurre la dose di radiazioni somministrata al paziente rispetto alle tecniche tradizionali di TC. Ciò è particolarmente importante in procedure interventistiche ripetute o in pazienti pediatrici sensibili alla radiazione. Uno dei punti di forza è la presenza di filtri avanzati che migliorano la qualità dell'immagine ricostruita, riducendo il rumore derivante da oggetti metallici o altri elementi che possono assorbire livelli elevati di radiazioni. In sintesi,

*XperCT* rappresenta uno strumento software altamente performante che permette di ottenere immagini ad alta risoluzione in modo rapido e preciso, fornendo informazioni essenziali per una valutazione accurata delle strutture anatomiche.



Legenda	
1	Area di visualizzazione principale
2	Schede Reconstruction (Ricostruzione)
3	Indicatore di orientamento
4	Frecce di rotazione
5	Barra degli strumenti
6	Pannello funzioni
7	Pannello di controllo
8	Orientamento del supporto

Figure 1.2.1b. Panoramica della schermata di visualizzazione.

### **1.3 IL SOFTWARE ANEURYSMFLOW**

L'AneurysmFlow è un software all'avanguardia che ha rivoluzionato il modo in cui medici e ricercatori studiano gli aneurismi cerebrali. Questo software è diventato uno strumento prezioso per aiutare a diagnosticare, trattare e persino prevenire gli aneurismi cerebrali ed è anche il primo software interventistico a dipendere dall'angiografia per visualizzare i modelli di flusso sanguigno in un aneurisma cerebrale e nella sua arteria madre prima e dopo l'applicazione di un Flow Diverter. L'AneurysmFlow fornisce simulazioni ad alta precisione del flusso sanguigno negli aneurismi, che consentono ai medici di comprendere meglio il comportamento e i potenziali rischi associati agli aneurismi.

Simulazioni accurate sono fondamentali nella ricerca e nel trattamento degli aneurismi. I metodi diagnostici tradizionali hanno dei limiti e c'è bisogno di alternative più precise e affidabili. L'AneurysmFlow è un software progettato per affrontare queste limitazioni e migliorare l'accuratezza del rilevamento e dell'analisi degli aneurismi. Il software utilizza la sottrazione digitale (DSA) per creare modelli tridimensionali delle strutture dei vasi sanguigni, consentendo un esame approfondito dell'aneurisma e dei tessuti circostanti. Questo metodo fornisce una comprensione dettagliata delle dimensioni, della forma e della posizione dell'aneurisma, che è fondamentale per scegliere il miglior trattamento. Il programma AneurysmFlow ha il vantaggio di essere non invasivo, il che significa che i pazienti non devono sottoporsi a procedure chirurgiche. Le immagini possono essere visualizzate in due modalità: con scala colorimetrica, dove si visualizza il flusso tramite una scala, il flusso più lento appare con un colore chiaro mentre il flusso elevato con un colore più scuro; oppure con i vettori, utilizzati per indicare la velocità e la direzione del movimento del sangue all'interno della sacca aneurismatica.

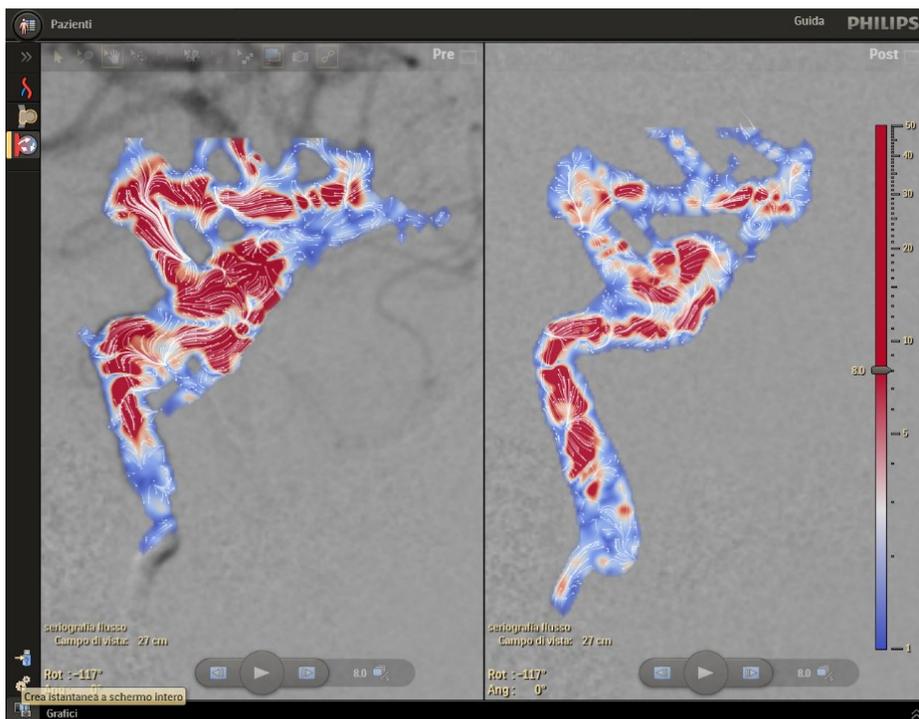


Figura 1.3. Immagini del software AneurysmFlow, scala colorimetrica e vettori.

Il software è in grado di visualizzare e quantificare le variazioni di flusso nel vaso principale e nell'aneurisma prima e dopo l'impiego dello stent Flow Diverter. Questi cambiamenti sono rilevati in una metrica chiamata rapporto MAFA (Mean Aneurysm Flow Amplitude).

Il software fornisce anche una modellizzazione computazionale dell'emodinamica peri-aneurismatica, che di solito viene eseguita con software commerciali senza conoscere la sensibilità del modello alla variazione dei valori di input. L'AneurysmFlow risolve questo problema con un'analisi formale della sensibilità e una strategia di ottimizzazione incentrata sulla variazione.

In conclusione, grazie all'interfaccia intuitiva e al sistema di reportistica completo, il software può essere perfettamente integrato nei flussi di lavoro clinici e facilita la collaborazione tra diverse specialità. Complessivamente rappresenta un'importante svolta nel campo della cura degli aneurismi, fornendo un nuovo livello di precisione, sicurezza ed efficienza prima irraggiungibili.

## Capitolo 2

### L'ANATOMIA DELL'ENCEFALO E DEL CIRCOLO INTRACRANICO

#### 2.1 L'ENCEFALO

L'encefalo si trova all'interno del cranio. Riceve informazioni dal tronco e dagli arti e ne controlla le funzioni, ma possiede anche 12 paia di nervi cranici attraverso i quali comunica con le strutture del capo e del collo. Le principali divisioni in ordine ascendente, partendo dal midollo spinale, sono il rombencefalo o encefalo posteriore, il mesencefalo o encefalo intermedio e il proencefalo o encefalo anteriore.

La scissura longitudinale, nella quale si approfonda la dura madre formando la falce cerebrale, divide il cervello in due metà, destra e sinistra, speculari, dette emisferi cerebrali. Questi sono collegati tra loro da un ampio e appiattito fascio di fibre denominato corpo calloso.

La superficie di ciascun emisfero è segnata da numerosi rilievi, detti circonvoluzioni o giri, separati da solchi quando poco profondi o scissure quando più profondi. La scissura trasversale separa gli emisferi cerebrali dal cervelletto. I vari solchi suddividono ciascun emisfero in lobi dai nomi corrispondenti alle ossa craniche che li ricoprono.

I lobi occipitale, parietale, temporale, non presentano alcun limite distinto.

Il lobo frontale è localizzato immediatamente dietro l'osso frontale. Dalla regione frontale esso si estende caudalmente fino alla scissura centrale. Questa è la sede della nostra coscienza, del pensiero astratto, della memoria esplicita o dichiarativa; dei processi cognitivi ed emotivi come lo stato d'animo, la motivazione, la lungimiranza, la pianificazione, il prendere decisioni, il controllo emotivo e il giudicare un comportamento socialmente appropriato.

Il lobo parietale forma la parte superiore dell'encefalo ed è posto al di sotto dell'osso parietale. Cominciando a livello della scissura centrale, si estende caudalmente fino alla scissura parieto-occipitale visibile sulla faccia mediana di ciascun emisfero. Questo lobo è sede di gusto, sensibilità somatica, percezione spaziale e consapevolezza dell'orientamento corporeo.

Il lobo occipitale è localizzato nella regione posteriore, caudalmente alla scissura parieto-occipitale e al di sotto dell'osso occipitale. È il principale centro visivo.

Il lobo temporale è un lobo laterale disposto orizzontalmente e situato profondamente all'osso temporale, la profonda scissura laterale lo separa dal lobo parietale che gli sta superiormente. È connesso con le funzioni uditive, olfattive, di apprendimento, di comprensione del linguaggio e memoria della grammatica e del vocabolario.

Il telencefalo presiede alle funzioni cerebrali superiori come: l'elaborazione di impulsi sensitivi, l'attività motoria volontaria, la memoria, l'intelligenza e la personalità.

Il diencefalo è situato tra gli emisferi cerebrali sopra il tronco encefalico, circonda il 3° ventricolo ed è costituito di sostanza grigia. Fa parte del prosencefalo (encefalo anteriore), struttura che si sviluppa dalla porzione più anteriore della vescicola cerebrale primaria e si differenzia caudalmente nel diencefalo e rostralmente nel telencefalo.

È composto da talamo (nucleo grigio pari) e ipotalamo (parete inferiore e pavimento del 3° ventricolo), tratti ottici, chiasma ottico, infundibolo, ipofisi posteriore o neuroipofisi, che procede dal pavimento dell'ipotalamo, corpi mammillari e dalla ghiandola pineale o epifisi.

Il talamo consiste di masse ovali di sostanza grigia, accoppiate ed organizzate in nuclei, con tratti intercalati di sostanza bianca, lungo circa 4 millimetri e posto dietro il terzo ventricolo. Contribuisce alle funzioni motorie trasmettendo l'informazione. Ciascuna metà dell'encefalo è provvista di un talamo.

L'ipotalamo si trova inferiormente al talamo e superiormente alla ghiandola pituitaria. È costituito di soli 4 centimetri quadrati di tessuto nervoso. Si estende anteriormente fino al chiasma ottico, dove i nervi ottici si incontrano e posteriormente sino a due formazioni chiamate corpi mammillari. È deputato al mantenimento dell'omeostasi attraverso il controllo di una serie di funzioni viscerali e la correlazione tra i due sistemi nervoso ed endocrino.

L'epitalamo è una porzione di tessuto molto piccola composta principalmente dalla ghiandola pineale (una ghiandola endocrina), dai nuclei mediale e laterale dell'abenula (una stazione intercalata tra il sistema limbico e il mesencefalo), dalla stria midollare del talamo e dalla commissura posteriore.

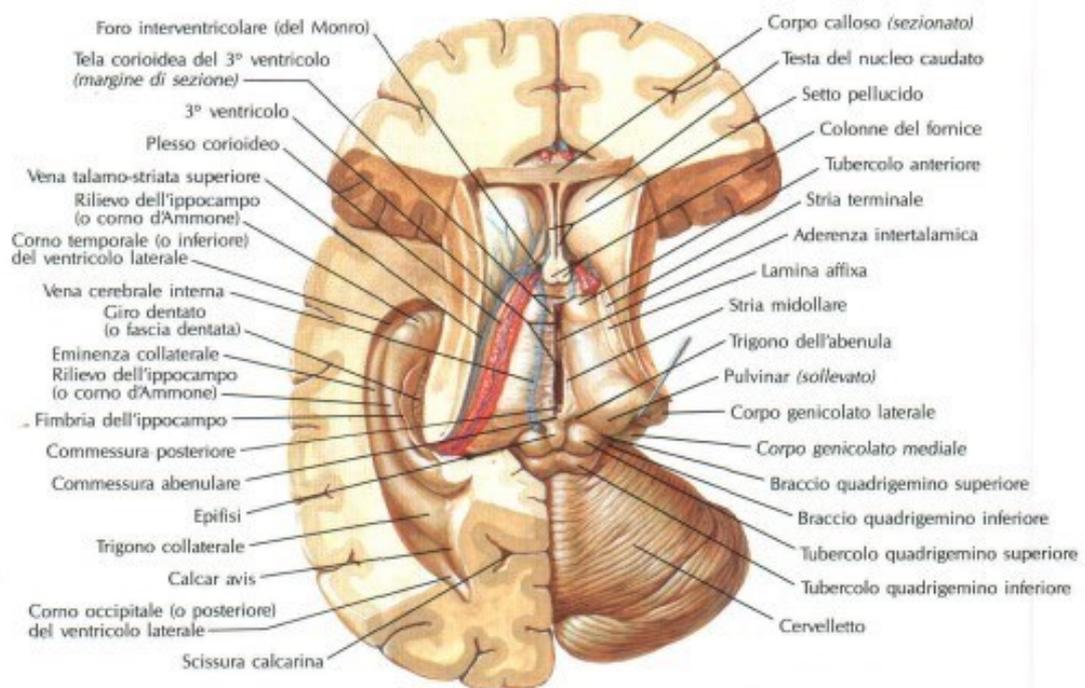


Figura 2.1a. Visione inferiore del talamo.

Il tronco encefalico connette l'encefalo al midollo spinale e risulta costituito da mesencefalo, ponte, midollo allungato: in ognuno di questi organi si descrivono

numerosi tratti nervosi e nuclei grigi. È orientato come un gambo verticale con il cervello appoggiato sulla sua estremità superiore come il cappuccio di un fungo.

La cavità del mesencefalo è rappresentata dall'acquedotto cerebrale o del Silvio, interposto tra 3° e 4° ventricolo. Anteriormente all'acquedotto cerebrale, il mesencefalo è costituito da peduncoli cerebrali, si tratta di due strutture che ancorano il cervello al tronco encefalico. Ciascun peduncolo è costituito da tre componenti principali: tegmento, sostanza nera e crus cerebrale. Sulla superficie superiore sono presenti due paia di rilievi arrotondati: si tratta di 4 tubercoli quadrigemini (*corpora quadrigemina*), che elaborano e trasmettono informazioni visive e uditive. Invece, il nucleo rosso controlla, in modo involontario, il tono muscolare e la posizione degli arti. Mentre la sostanza nera regola l'attività dei nuclei della base.

Il ponte appare come un rigonfiamento arrotondato sul lato inferiore del tronco encefalico e separa il mesencefalo dal midollo allungato, la transizione è chiaramente demarcata da un solco trasversale, il solco bulbo-pontino. Anteriormente è separato dal clivo (corpo dello sfenoide) per mezzo della cisterna pontina. Posteriormente è costituito da due paia di spessi peduncoli chiamati peduncoli cerebellari, i quali connettono il cervelletto con il ponte e il mesencefalo. La metà anteriore del ponte è caratterizzata dalla presenza di fasci di sostanza bianca, comprendenti i fascicoli trasversali che passano a ponte tra la parte destra e sinistra e connettono i due emisferi del cervelletto, e i fascicoli longitudinali che trasportano segnali sensitivi e motori lungo il tronco encefalico, verso l'alto e verso il basso.

Il cervelletto è formato da due emisferi cerebellari, situati nella fossa cranica posteriore e separati dall'encefalo per mezzo del tentorio. I due emisferi sono connessi sulla linea mediana dal verme e sono parzialmente separati da uno strato di dura madre denominato falce cerebellare. Quindi il tentorio cerebellare crea due compartimenti:

1. il compartimento sopratentoriale, che è suddiviso ulteriormente dalla grande falce cerebrale in due parti che contengono gli emisferi cerebrali;

2. il compartimento sottotentoriale che contiene il cervelletto.

La faccia superiore origina dallo sdoppiamento dei due foglietti di dura madre della falce cerebrale, mentre la faccia inferiore origina dai due foglietti della falce cerebellare. Nella parte centrale della faccia inferiore del cervelletto è presente la vallecchia del cervelletto (di Reil), una depressione che accoglie un altro setto della dura madre, la falce cerebellare.

Il margine posteriore della falce segue il decorso della cresta occipitale interna e contiene un altro seno della dura madre il seno occipitale; il margine anteriore della falce è libero e si proietta verso l'ilo del cervelletto.

È diviso dall'incisura cerebellare posteriore e dalla scissura primaria in 3 lobi, ognuno costituito da una porzione centrale nel verme e due porzioni laterali negli emisferi. Scissure secondarie poi dividono ciascun lobulo in lamine.

I lobi sono denominati: anteriore, posteriore e flocculo-nodulare

È principalmente costituito da sostanza bianca rivestita in superficie da sostanza grigia, la corteccia cerebellare, ripiegata su sé stessa forma delle pieghe ed è connessa con fibre nervose mielinizzate che si ramificano al suo interno. La sostanza bianca ha una conformazione arborizzata (arbor vitae). All'interno di ogni emisfero cerebellare è situato un certo numero di nuclei dei quali il più voluminoso è il nucleo dentato.

È collegato al tronco encefalico da tre paia di peduncoli cerebellari: inferiori, medi e superiori.

Il cervelletto integra l'informazione sensoriale riguardante la posizione delle varie parti del corpo e coordina i movimenti dei muscoli scheletrici, contribuendo al mantenimento della postura. Ha il compito di valutare i movimenti intenzionali programmati dalla corteccia cerebrale con quanto accade realmente.

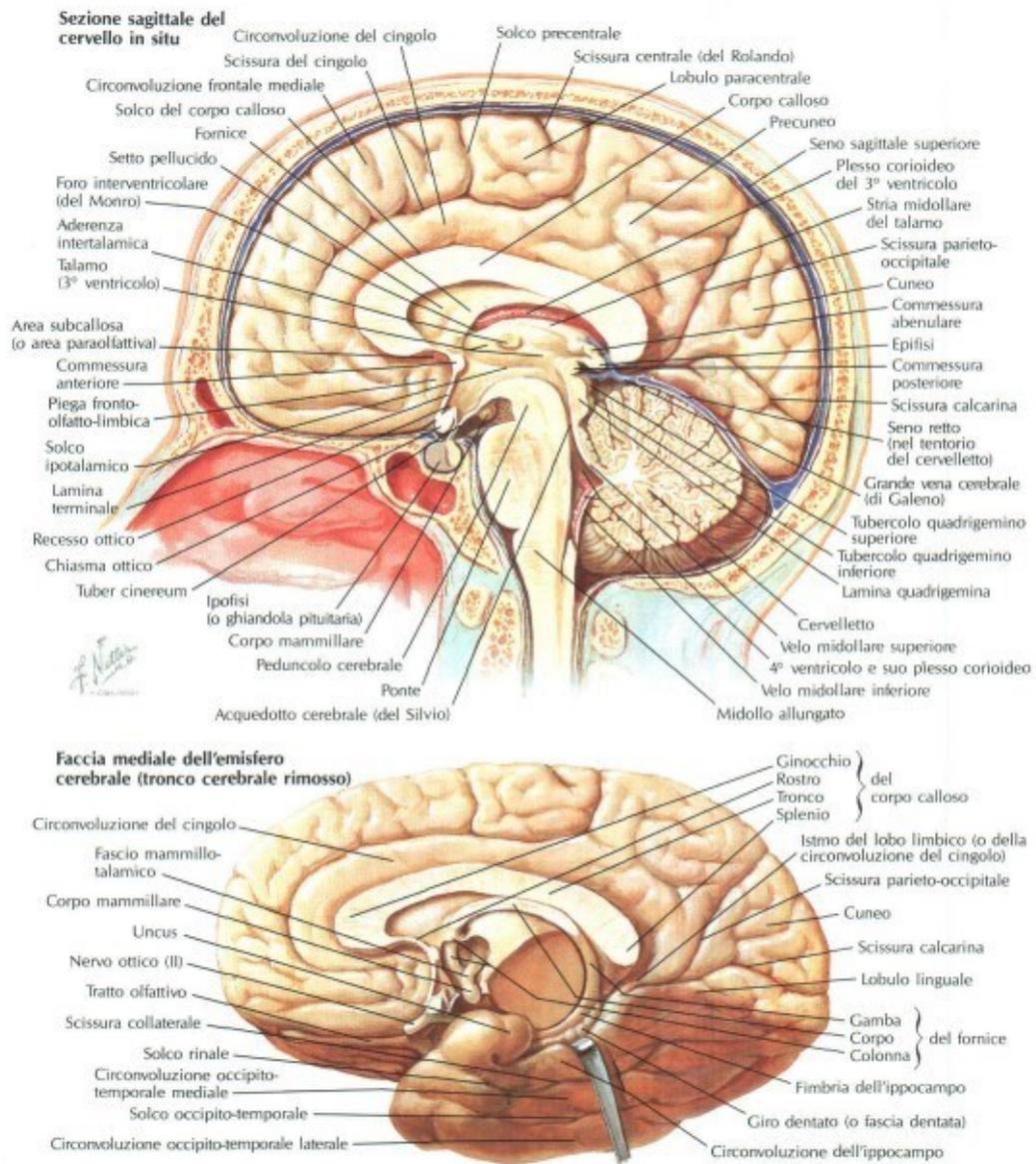


Figura 2.1b. Encefalo, visto medialmente.

## 2.2 I VASI SANGUIGNI

I vasi sanguigni formano un circuito chiuso di tubi attraverso cui il sangue viene condotto dal cuore alle cellule del corpo e viceversa. Le arterie conducono sangue che esce dal cuore, mentre le vene conducono sangue che entra nel cuore.

I vasi sono elastici e robusti e costituiti da una parete suddivisa in tre strati distinti o tuniche; che dall'interno sono:

- l'intima, che consta di uno strato di epitelio squamoso semplice ed agisce come una barriera selettivamente permeabile ai materiali che entrano o escono dal flusso sanguigno, ma secerne anche sostanze chimiche che stimolano la dilatazione o la costrizione dei vasi;
- la media, che forma la maggior parte della parete e comprende sia fibre muscolari lisce sia uno spesso strato di tessuto connettivo elastico, rinforza i vasi e impedisce che la pressione arteriosa li rompa;
- l'avventizia, che è relativamente sottile e costituita principalmente da tessuto connettivo arricchito da fibre elastiche e collagene irregolari, ancora i vasi e fornisce il passaggio per i piccoli nervi, i vasi linfatici e i vasi sanguigni più piccoli.

Le arterie sono chiamate vasi di resistenza del sistema cardiovascolare perché hanno una struttura tissutale relativamente forte resistente alla pressione alta. Ogni battito del cuore crea un aumento di pressione nelle arterie quando il sangue viene espulso in loro. Sono fatte per resistere a questi picchi. Essendo più muscolari delle vene, mantengono la loro forma circolare, anche quando sono vuote, e appaiono relativamente circolari in sezioni di tessuto.

La parete di una arteriola di piccole dimensioni è formata esclusivamente da un rivestimento endoteliale e da alcune fibre muscolari lisce, avvolte da una scarsa quantità di tessuto connettivo. Dalle arteriole in alcuni tessuti si dipartono branche denominate metarteriole, a loro volta congiunte a capillari. Le pareti di arteriole e metarteriole sono adatte alla vasocostrizione e alla vasodilatazione modulando il flusso sanguigno all'interno dei capillari.

I capillari, interposti tra le arteriole e le venule, hanno una sottile parete composta solo dall'endotelio e della sottostante membrana basale. Gli scambi di sostanze tra sangue e liquido interstiziale avvengono attraverso aperture (fenditure) di separazione delle cellule endoteliali.

L'ipofisi e la ghiandola pineale, come pure alcune zone ipotalamiche sono prive di barriera ematoencefalica poiché il loro endotelio è discontinuo.

Le venule sono microscopici vasi che si prolungano dai capillari e convergono a formare vene. Le pareti delle vene sono simili a quelle delle arterie, essendo costituite da tre tuniche distinte ma quella media è scarsamente sviluppata; quindi, le pareti sono più sottili e presentano meno muscolatura liscia e meno tessuto connettivo elastico. Le vene degli arti sono munite di valvole semilunari, che impediscono il reflusso. Il flusso ematico venoso dipende dalla contrazione muscolare, dai movimenti respiratori e dalla vasocostrizione venosa.

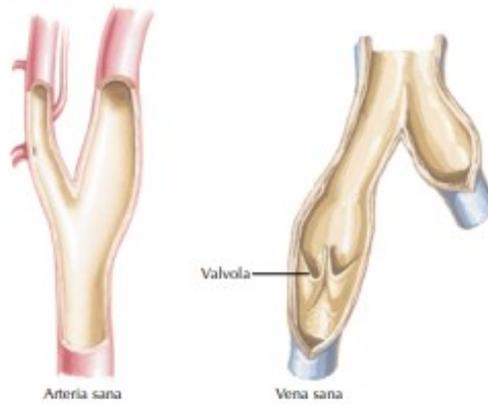
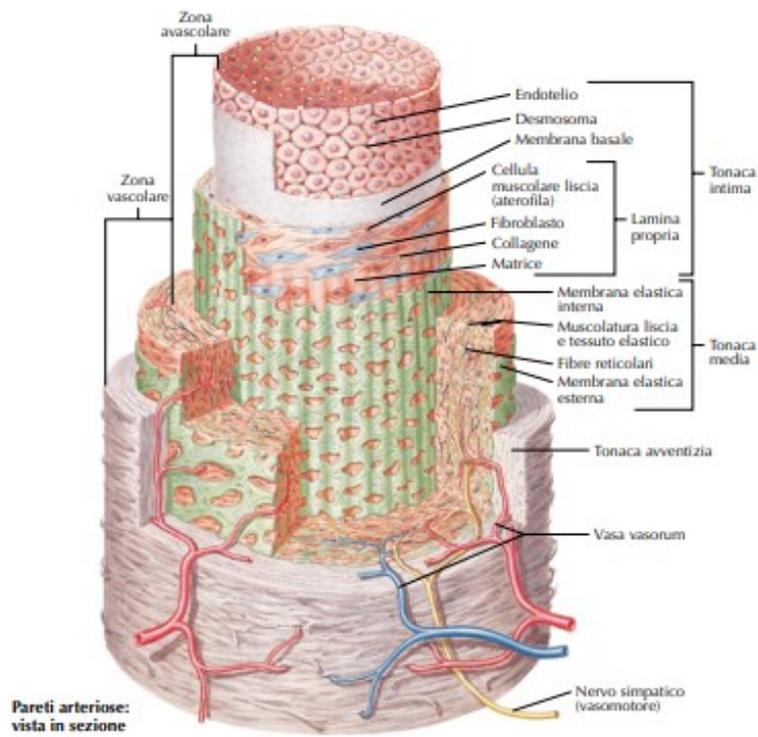


Figura 2.2 Visualizzazione di una sezione dell'arteria e di come risultino un'arteria ed una vena sana.

### **2.3 I TRONCHI SOVRAORTICI (TSA)**

Le branche dell'arteria succlavia sono: le arterie vertebrali, le arterie tireocervicali, le arterie costocervicali; mentre le branche della carotide comune sono: l'arteria carotide interna, l'arteria carotide esterna; le quali trasportano il sangue all'encefalo e ad altre regioni del capo e del collo.

Le arterie vertebrali originano dalle succlavie, risalgono attraverso i fori trasversali delle vertebre cervicali e penetrano nel cranio attraverso il foro occipitale. Vascolarizzano principalmente la parte superiore del midollo spinale, il tronco encefalico ed il cervelletto.

Le arterie vertebrali si congiungono in arteria basilare nel cranio, un vaso mediano di grosso calibro che transita lungo la faccia ventrale del tronco encefalico. L'arteria basilare termina dividendosi nelle due arterie cerebrali posteriori. I rami dell'arteria basilare vascolarizzano il cervelletto, il ponte e l'orecchio interno. Queste due arterie cerebrali posteriori contribuiscono alla formazione del poligono di Willis che connette il sistema delle arterie vertebrali a quello delle arterie carotidi in una struttura circolare «di salvataggio», situata alla base dell'encefalo.

L'unione dei sistemi carotideo e vertebrale nel poligono di Willis permette al sangue di aggirare eventuali blocchi e di raggiungere comunque i tessuti cerebrali. Il poligono è completo solo nel 20-30 % della popolazione.

Le arterie carotidi comuni sono le più estese di tutte le arterie della testa e del collo. Accanto alla prominenza laringea ("pomo di Adamo"), ciascuna carotide comune si divide in un'arteria carotide interna e un'arteria carotide esterna.

Le arterie carotidi comuni destra e sinistra risalgono in profondità lungo il collo su entrambi i lati. In corrispondenza del margine laringeo superiore esse si dividono per formare le arterie carotidi interna ed esterna. Alla base di ciascuna arteria carotide interna compare un'espansione nota come seno o glomo carotideo, che ospita barocettori e corpi carotideo-chemiocettori.

L'arteria carotide esterna risale lungo il lato del capo, dando origine a varie diramazioni, le principali: l'arteria tiroidea superiore, l'arteria linguale, l'arteria mascellare esterna o facciale, l'arteria occipitale, l'arteria auricolare posteriore, e termina dividendosi in arteria mascellare e arteria temporale superficiale.

L'arteria carotide interna decorre in profondità risalendo lungo la faringe, per penetrare nel cranio (principale apporto ematico arterioso al cervello). Una volta entrata nella cavità cranica, ciascuna delle due carotidi interne dà origine alle seguenti arterie: oftalmica diretta all'orbita, al naso e alla fronte; cerebrale anteriore alla faccia mediale dell'emisfero cerebrale; cerebrale media, che si estende lungo il solco laterale del telencefalo, irrorata l'insula e poi emette numerosi rami per le regioni laterali dei lobi frontali, temporali e parietali dell'encefalo.

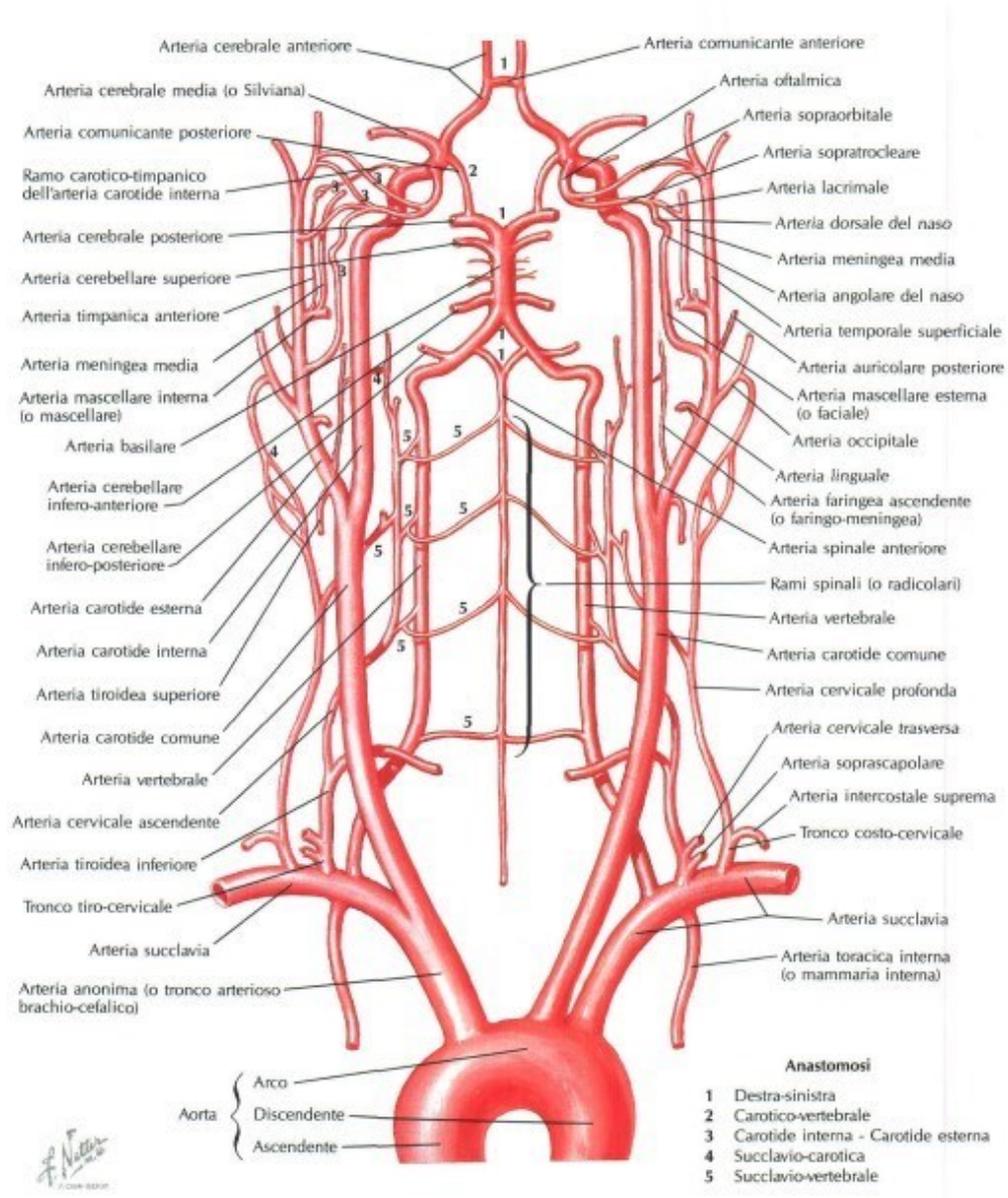


Figura 2.3. Trochi Sovraortici.

## 2.4 IL CIRCOLO ARTERIOSO INTRACRANICO

La vascolarizzazione dell'encefalo è così critica da essere assicurata da diverse arterie anastomizzate, soprattutto un insieme di arterie cerebrali chiamate circolo arterioso cerebrale (circolo di Willis), che circonda la ghiandola pituitaria e il chiasma ottico nello spazio subaracnoideo all'interno della cisterna interpeduncolare. Il circolo riceve sangue principalmente dalla carotide interna e dall'arteria basilare. Molte persone mancano di una o più di queste componenti; solo il 20% presenta un circolo arterioso completo. Le arterie cerebrali anteriori e posteriori e l'arteria cerebrale media forniscono il principale apporto ematico all'encefalo.

Due arterie cerebrali posteriori originano dall'arteria basilare, si estendono posteriormente alla porzione posteriore dell'encefalo, vascolarizzando le regioni inferiore e mediale dei lobi occipitale e temporale così come il mesencefalo e il talamo. Si tratta di arterie con calibro superiore a quelle anteriori, dalle quali è separata alla sua origine dal nervo oculomotore e lateralmente al mesencefalo dal nervo trocleare.

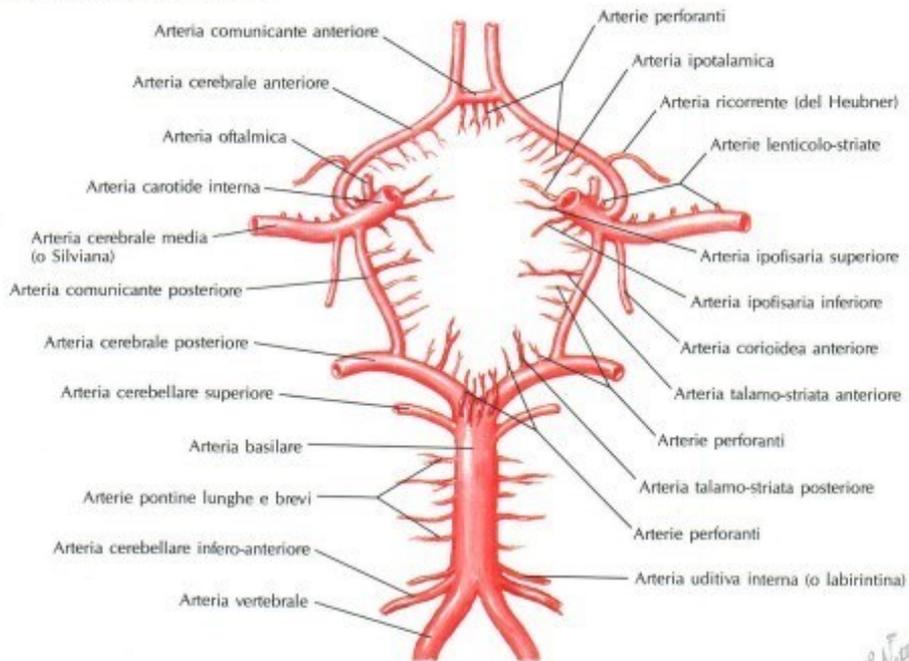
Due arterie cerebrali anteriori originano dalle carotidi interne, si muovono anteriormente e poi si inarcano posteriormente al di sopra del corpo calloso fino al limite posteriore del lobo parietale. Esse danno origine a rami per i lobi frontali e parietali. Rappresentano i rami terminali di minor calibro dell'arteria carotide interna.

Le due arterie cerebrali medie rappresentano i rami terminali di maggior calibro delle arterie carotidi interne. Scorrono in un primo momento nella scissura laterale, poi postero-superiormente sull'insula e si dividono in rami che si distribuiscono all'insula e all'adiacente superficie laterale dell'encefalo.

L'arteria comunicante anteriore è una corta anastomosi di circa 4 millimetri tra le arterie cerebrali anteriori destra e sinistra.

Le due arterie comunicanti posteriori sono piccole anastomosi tra le arterie cerebrale posteriore e la carotide interna.

**Vasi dissecati, visti inferiormente**



**Vasi in situ, visti inferiormente**

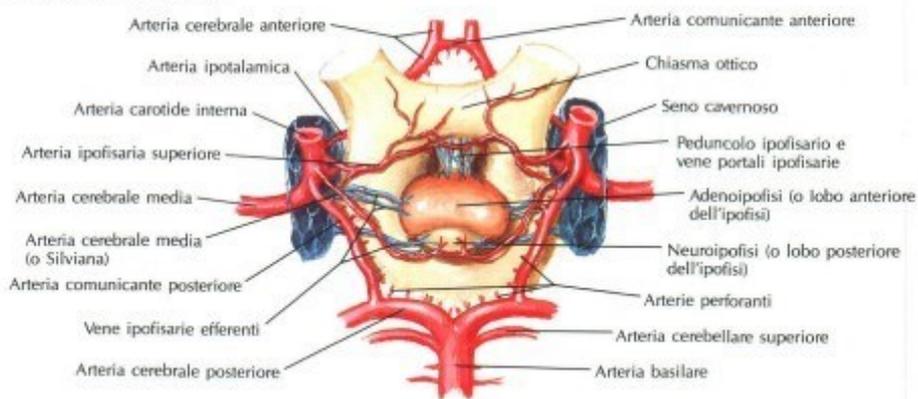


Figura 2.4. Circolo di Willis.

## 2.5 IL SISTEMA VENOSO CEREBRALE

La testa e il collo sono drenate principalmente da tre paia di vene: la vena giugulare interna, la vena giugulare esterna e la vena vertebrale, ciascuna delle quali si svuota nella vena succlavia.

Dopo che il sangue è circolato nell'encefalo, si accumula nei seni venosi durali, ampie vene con pareti sottili. Tra i due emisferi cerebrali la dura madre costituisce una parete verticale a forma di falce chiamata falce cerebrale, che contiene due seni. Ci sono in tutto 13 seni venosi.

Il seno sagittale superiore è contenuto nel margine superiore della falce cerebrale e sovrasta la fessura longitudinale dell'encefalo. Esso origina anteriormente in prossimità della crista galli del cranio e si estende posteriormente, termina a livello della protuberanza occipitale posteriore del cranio. Qui esso si flette, di solito a destra, e drena nel seno trasverso.

Il seno sagittale inferiore è contenuto nel margine inferiore della falce cerebrale e scavalca il corpo calloso, profondamente nella fessura longitudinale. Posteriormente si congiunge con la vena grande cerebrale e la loro unione forma il seno retto, che continua posteriormente nella testa. Qui il seno sagittale superiore e il seno retto si incontrano in uno spazio chiamato confluenza dei seni.

I seni trasversi destro e sinistro originano dalla confluenza e circondano l'interno dell'osso occipitale fino a raggiungere le orecchie. Il loro percorso è evidenziato da un solco nella superficie interna dell'osso occipitale. Il seno trasverso destro riceve sangue principalmente dal seno sagittale superiore, il sinistro drena soprattutto il seno retto. Lateralmente, ciascun seno trasverso compie una curva a forma di S, il seno sigmoideo, e poi lascia il cranio attraverso il foro giugulare. Da qui il sangue fluisce nella vena giugulare interna.

I seni cavernosi sono spazi a nido d'ape ripieni di sangue, su ciascun lato del corpo dell'osso sfenoide. Essi ricevono sangue dalla vena oftalmica superiore dell'orbita e dalla vena cerebrale media superficiale dell'encefalo. Essi drenano nel seno trasverso, nella vena giugulare interna e nella vena facciale.

Le vene giugulari esterne drenano volto, cuoio capelluto e le regioni superficiali del collo. Corrono lungo il collo superficialmente al muscolo sternocleidomastoideo e si svuotano nella vena succlavia.

Le vene giugulari interne sono più ampie delle precedenti, traggono origine da molte vene e seni venosi del cervello e dalle vene profonde di alcune porzioni del volto e del collo. Discendono nel collo di fianco alle arterie carotidi comuni e sfociano nelle vene succlavie.

La vena vertebrale viaggia con l'arteria vertebrale nei fori trasversi delle vertebre cervicali. Sebbene l'arteria raggiunga l'encefalo, la vena non viene da lì. Essa drena le vertebre cervicali, il midollo spinale e alcuni dei piccoli muscoli profondi del collo e si svuota nella vena succlavia.

Unendosi la vena giugulare interna e la vena succlavia formano, bilateralmente, le grosse vene brachiocefaliche che, a loro volta, convergono nel mediastino, generando la vena cava superiore.

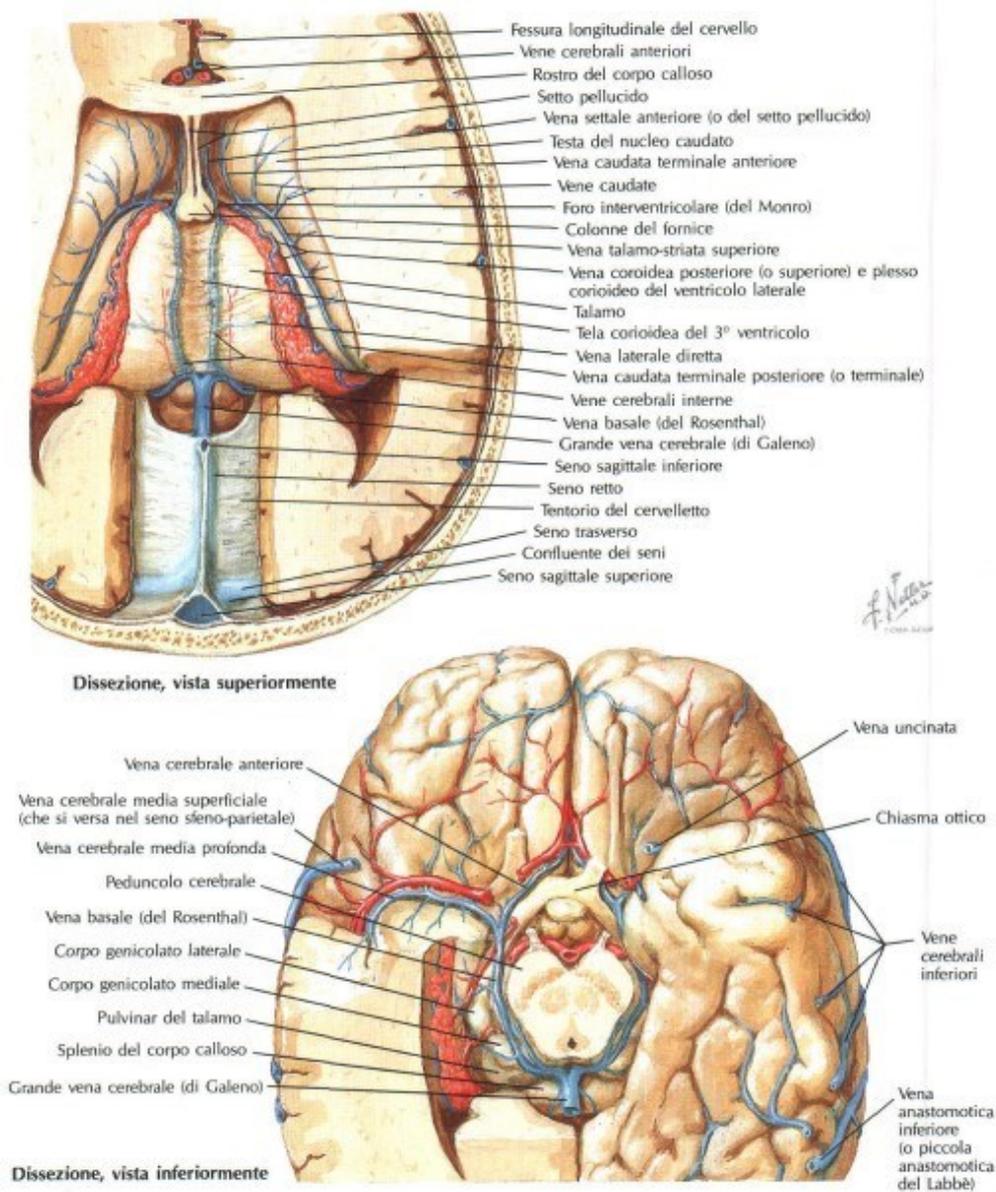


Figura 2.5. Visualizzazione delle vene profonde dell'encefalo.

## 2.6 LA PATOLOGIA ANEURISMATICA

L'aneurisma cerebrale è una dilatazione patologica delle pareti arteriose che interessa una regione del vaso e ha origine da un indebolimento dello strato muscolare interno della parete vascolare. Gli elevati flussi e le maggiori pressioni presenti nelle arterie possono indebolire questi tre strati che compongono il vaso, determinando una perdita di forza del tratto vasale e, di conseguenza, la formazione di dilatazioni aneurismatiche. Queste dilatazioni patologiche interessano maggiormente le biforcazioni arteriose del circolo di Willis, dove la parete è sottoposta a uno stress maggiore dovuto proprio al flusso sanguigno. Può restare invariato per il resto della vita o può aumentare di dimensioni senza però diventare di rilevanza clinica. Il maggiore rischio correlato alla patologia aneurismatica è la rottura dell'aneurisma: la sua parete, infatti, può assottigliarsi e rompersi causando un sanguinamento nello spazio subaracnoideo, noto come emorragia sub-aracnoidea (ESA) e conseguente ischemia della zona meno perfusa. Le possibili cause che portano alla formazione di un aneurisma non sono del tutto note. Tuttavia, vi sono numerosi fattori che contribuiscono alla loro crescita e al rischio di rottura, tra cui: ipertensione, aterosclerosi, fumo, consumo di alcool, predisposizione genetica e lesioni o traumi vascolari. Attualmente, grazie alle moderne e sempre più avanzate tecniche di imaging, come l'angio RM e l'angio TC, è aumentata la diagnosi di aneurismi cerebrali. Diventa quindi essenziale la valutazione della morfologia, delle caratteristiche e dei rischi associati alla patologia aneurismatica, al fine di prevedere l'outcome di un eventuale intervento. L'angiografia dei vasi intracranici è l'esame di elezione per la diagnosi di aneurisma cerebrali e per un successivo intervento di embolizzazione tramite riempimento della sacca aneurismatica con spirali o l'applicazione di stent a diversione di flusso. In alternativa al trattamento intravascolare può essere eseguito un intervento chirurgico che consiste nell'applicazione di una clip sul colletto dell'aneurisma per escluderlo dal circolo arterioso.



Figura 2.6. Patologia aneurismatica.



## Capitolo 3

### GLI STENT FLOW DIVERTER

Lo stent Flow Diverter è un tipo di dispositivo medico progettato per trattare gli aneurismi deviando il flusso sanguigno da essi e migliorando così la circolazione del sangue nella zona interessata. Questi dispositivi possono essere utilizzati per trattare aneurismi sia intracranici che extracranici.

In genere sono stent metallici con un rivestimento cilindrico a rete, progettato per ridurre le dimensioni dell'aneurisma e quindi prevenire le complicazioni.

Lo stent viene inserito nell'arteria in cui si trova l'aneurisma con una procedura minimamente invasiva. Questa procedura consente un dispiegamento sicuro ed efficace dello stent, rendendola un'opzione terapeutica promettente per chi soffre di questa patologia. Sono in genere più efficaci di altri trattamenti come l'embolizzazione o il clipping convenzionale. È stato inoltre riscontrato che hanno meno complicanze rispetto ad altri trattamenti.

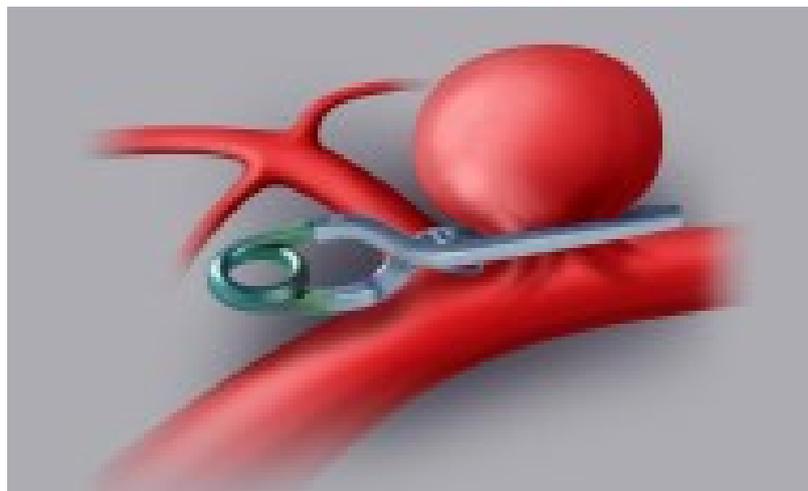


Figura 3.1. Clipping convenzionale dell'aneurisma.

Inoltre, sono ideali per il trattamento di aneurismi complessi o di grandi dimensioni in quanto consentono un trattamento più completo e sicuro rispetto

alle terapie tradizionali. Questa procedura permette l'esclusione dell'aneurisma attraverso l'endotelizzazione, qualsiasi fattore che interferisca con esso determinerà una riduzione dell'efficacia. In linea di massima, questi fattori possono essere suddivisi in due categorie:

1. copertura metallica insufficiente dovuta a un sovradimensionamento o all'uso di un numero insufficiente di dispositivi;
2. fonte alternativa di afflusso o deflusso aneurismatico dovuta a vasi incorporati nel compartimento aneurismatico e gli endoleak dati da una cattiva apposizione del dispositivo alla parete.

Lo scopo principale è quello di ridurre la velocità del flusso nella sacca dell'aneurisma, con conseguente trombosi, pur mantenendo il flusso dell'arteria e dei vasi secondari. Esistono due tipi principali di stent Flow Diverter: lo stent Pipeline e lo stent Silk.

Lo stent Pipeline è il primo stent del suo genere ed è una scelta sicura, durevole e curativa per gli aneurismi grandi, a collo largo e giganti.

Anche lo stent Silk è uno dei più popolari deviatori di flusso disponibili ed è specificamente progettato per aneurismi fusiformi o a collo largo non rotti. Questo tipo di stent è stato utilizzato in studi clinici che hanno riportato un basso tasso di morbilità e mortalità, rispettivamente circa il 3,7% e il 2,8%.

È sicuro ed efficace in ambito clinico grazie alla sua durata e alla sua capacità di promuovere la trombosi pur consentendo il flusso dei vasi e delle arterie secondarie. Le complicazioni sono generalmente lievi e comprendono trombosi acuta, emorragia, occlusione ritardata e migrazione.



Figura 3.2. Stent Flow Diverter in sede nell'arteria.

I potenziali vantaggi dell'uso degli stent Flow Diverter sono numerosi e vari. In particolare il miglioramento della circolazione sanguigna e la riduzione del rischio di rottura dell'aneurisma e di ictus. I metodi di deviazione del flusso sono stati sviluppati per offrire una maggiore sicurezza e tempi di recupero più brevi, in quanto eliminano la necessità per i medici entrare nell'aneurisma stesso.

La trombosi post-procedurale è una complicanza rara dopo l'impianto dello stent a diversione di flusso. Analogamente, la stenosi interna allo stent è una complicanza a rischio del trattamento per gli aneurismi cerebrali. Inoltre, la doppia terapia antiplastrinica perioperatoria combinata con aspirina e clopidogrel è stata utilizzata per migliorare i risultati post-procedurali.

Gli stent Flow Diverter sono un dispositivo medico prezioso per il trattamento degli aneurismi. Sono disponibili in numerose varietà, ognuna delle quali presenta caratteristiche individuali e viene utilizzata in diverse procedure mediche. Questo dispositivo medico ha rivoluzionato il trattamento degli aneurismi e ha permesso di ottenere risultati migliori per i pazienti con condizioni che in precedenza erano considerate non trattabili. Inoltre, l'uso di questi strumenti può ridurre il costo

complessivo del trattamento per i pazienti e aiutare i professionisti del settore medico ad affrontare queste malattie difficili con maggiore precisione ed efficacia.

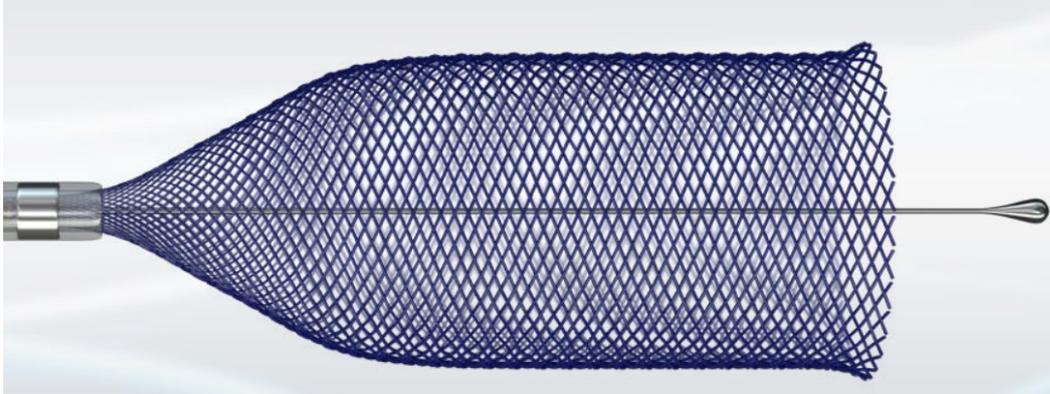


Figura 3.3. Stent Flow Diverter "phenox p64 MW (HPC).

## Capitolo 4

### MATERIALI E METODI

#### 4.1 I MATERIALI UTILIZZATI

All'interno della sala esame troviamo il tavolo preparatorio, sul quale viene allestito il campo sterile per la procedura.



Figura 4.1a. Foto del campo sterile in sala angiografica.

Il trattamento della patologia aneurismatica è una procedura che prevede la preparazione e l'utilizzo di diversi materiali.

Il primo è il pacco vascolare: si tratta di un kit sterile confezionato, che include al suo interno 5 ciotole, tre piccole e due grandi, le quali andranno a contenere lo iodopovidone, il mezzo di contrasto e la soluzione fisiologica eparinata (3000ui/500ml); i copri detettori, i copri barriera, le spugnette che serviranno per la disinfezione della zona di ingresso dei materiali ed il telo che servirà per coprire il paziente e lasciare scoperto l'introduttore.

Dopo il pacco vascolare verranno preparati materiali comuni per tutte le procedure interventistiche e chirurgiche come i camici sterili, sia per il medico che per l'infermiere; i guanti sterili per entrambe le figure, le garze sterili, il tegaderm, che è una barriera sterile e impermeabile che protegge il punto di inserimento e la ferita da agenti contaminanti esterni, come virus, batteri, sangue e fluidi corporei, mentre il film traspirante, da cui è composta, permette lo scambio di ossigeno e vapore acqueo; e siringhe di varie misure.

Inoltre, bisogna aggiungere un introduttore (comunemente da 8 French), un ago cannula da 16 Gauge ed un rubinetto a tre vie per poter iniettare il mezzo di contrasto, la soluzione fisiologica eparinata o dei farmaci in caso di bisogno.

La quinta ciotola, di colore bianco generalmente, deve contenere un'estensore per l'iniettore del mezzo di contrasto, una guida (comunemente una Terumo da 0.035"), tre deflussori da 240 cm ed un Guardian con un rubinetto tre vie da 10 cm.



Figura 4.1b. Foto della guida Terumo da 0.035".

Inoltre, bisogna preparare tre sacche di soluzione fisiologica eparinata (3000ui/500ml) con spremi sacca, per far defluire il contenuto; un AngioSeal, uno

strumento impiegato per ottenere una rapida ed efficace emostasi del punto di accesso arterioso dopo l'esecuzione di procedure percutanee e che abbia la stessa misura dell'introduttore.

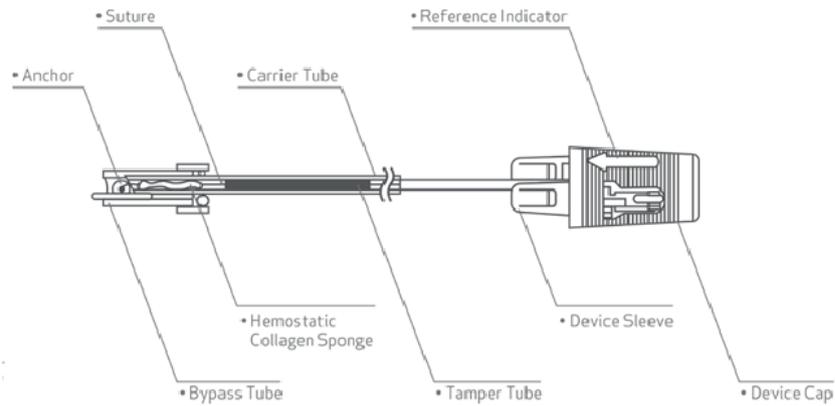


Figura 4.1c. Schema dell'AngioSeal.

Oltre a questi materiali vengono impiegati anche i cateteri, strumenti che servono per portare il necessario alla sede da trattare e per l'iniezione del mezzo di contrasto. Solitamente presentano un rivestimento idrofilo, che permette un passaggio fluido attraverso il vaso sanguigno. Sono costruiti in nylon ad alta resistenza e presentano un intrecciato, il quale dà forza e flessibilità al catetere per avere un massimo controllo tattile.

## 4.2 IL RUOLO DEL TECNICO

Nel contesto delle moderne procedure diagnostiche e interventistiche, il ruolo del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica (TSRM) in sala angiografica riveste un'importanza cruciale. Il presente studio analizza in dettaglio le attività svolte dal TSRM durante l'intero processo, dalla preparazione iniziale fino alla conclusione dell'esame, evidenziando la loro rilevanza nell'ottica della sicurezza del paziente e della qualità delle immagini acquisite.

Quando il TSRM giunge in sala angiografica, la prima fase dell'operazione consiste nell'accendere i computer e l'angiografo stesso, procedendo ad una calibrazione del sistema. Una volta completate queste procedure iniziali, il TSRM inserisce i dati relativi all'intervento e alle procedure nel software dedicato, al fine di integrare le informazioni del paziente nel sistema di informazione radiologica (RIS). Questa fase è fondamentale per garantire la tracciabilità dei dati e la disponibilità delle informazioni nei computer destinati all'apparecchiatura radiologica.

Un altro passaggio cruciale nel percorso del TSRM è l'assistenza nella preparazione del paziente per l'intervento. In collaborazione con il personale infermieristico, il TSRM verifica la cartella clinica, fornisce i materiali necessari e contribuisce alla corretta disposizione del paziente sul lettino radiologico. Questa fase richiede un'attenta attenzione ai dettagli, compresa l'identificazione accurata dell'identità del paziente tramite comunicazione verbale o attraverso la verifica del braccialetto identificativo. Inoltre, vengono controllati e mostrati al medico che esegue la procedura interventistica eventuali esami precedenti che sono stati svolti per avere un approccio più corretto all'intervento. Il TSRM si assicura che lo schermo touch screen e l'iniettore siano posizionati ai piedi dei pazienti e si premura di caricare l'iniettore con il mezzo di contrasto e verifica, sia prima che durante la procedura, che siano impostati i protocolli corretti di scopia e di iniezione sull'iniettore. Aiuta nella vestizione del camice sterile il personale medico ed infermieristico che effettuerà la procedura.

Durante lo svolgimento dell'intervento, il TSRM assume un ruolo attivo nell'adeguamento dei protocolli dell'iniettore e di scopia secondo le necessità. Inoltre, offre un supporto tecnico al personale medico e infermieristico presenti in sala. Quando, durante la procedura in esame, si esegue l'acquisizione 3D-RA verifica che ci sia lo spazio libero per la rotazione dell'angiografo. La gestione dei protocolli e delle impostazioni dell'angiografo è di fondamentale importanza per garantire la qualità delle immagini acquisite e la sicurezza del paziente durante l'intera procedura.

Il TSRM ha un ruolo cruciale anche nella gestione delle immagini generate durante l'esame. Egli esegue le necessarie ricostruzioni al fine di ottenere una visione completa dell'anatomia esaminata, facilitando una refertazione precisa da parte del medico interventista. Una volta completata l'acquisizione, il TSRM chiude l'esame sia sul macchinario che nel sistema RIS, archiviando le immagini ottenute nel Picture Archiving and Communication System (PACS) e, per un periodo limitato, nell'archivio locale del computer dell'angiografo.

Al termine dell'esame, il TSRM collabora con il personale di sala per spostare il paziente sul lettino e avvia le procedure di pulizia e preparazione della sala per il prossimo intervento. Questa fase è cruciale per garantire l'igiene e la sicurezza del contesto operativo e per accogliere al meglio il paziente successivo.

L'organizzazione delle attività del TSRM in sala angiografica si rivela essere un processo altamente strutturato e coordinato, fondamentale per garantire il successo delle procedure diagnostiche e interventistiche. Il ruolo del TSRM va oltre la semplice operazione tecnica, abbracciando aspetti di sicurezza, collaborazione multidisciplinare e gestione delle immagini radiologiche, tutti elementi che concorrono a fornire una cura di elevata qualità al paziente.

### 4.3 ANEURYSMFLOW

La metodologia adottata prevede l'utilizzo dell'angiografia tridimensionale rotazionale (3D-RA) prima dell'applicazione del software di visualizzazione. Questo passo preliminare permette di ottenere un set di dati 3D ad alta risoluzione che rappresenta l'anatomia vascolare del paziente. L'obiettivo principale è identificare l'angolazione ottimale da cui visualizzare l'aneurisma nella sua massima estensione con particolare attenzione alla chiara rappresentazione del colletto, che costituisce un elemento critico per la pianificazione del trattamento. L'utilizzo dell'angiografia tridimensionale rotazionale (3D-RA) come fase iniziale nell'analisi di aneurismi rappresenta un progresso significativo nell'ambito della diagnosi e della pianificazione dei trattamenti. Questo approccio si prospetta come uno strumento prezioso per gli specialisti nella gestione di patologie vascolari complesse, contribuendo a migliorare l'efficacia dei trattamenti e la prognosi complessiva dei pazienti.



Figura 4.3a. Acquisizione 3D-RA per scegliere l'angolazione.

Dopo la selezione dell'angolazione adeguata dell'angiografo, l'acquisizione 2D dell'aneurisma viene eseguita attraverso il software AneurysmFlow. Questo software è configurato con parametri specifici, quali un flusso di 1,5 ml/s, un volume di 6 ml, un limite di pressione di 100 psi e un ritardo dei raggi X di 0 secondi.



Figura 4.3b. Parametri dell'iniettore per l'acquisizione con AneurysmFlow.

Viene eseguito, da parte del medico interventista, il posizionamento dello stent Flow Diverter e dopo aver verificato la corretta esecuzione della procedura, l'angiografo viene riportato nell'angolazione, scelta precedentemente, per effettuare l'acquisizione con l'AneurysmFlow dopo la procedura, al fine di controllare e paragonare il flusso ematico nell'aneurisma.

Una volta avviato il software AneurysmFlow sul sistema di ricostruzione, il primo passaggio è la segmentazione dell'arteria coinvolta nell'aneurisma. Tale segmentazione può essere eseguita sia nella regione prossimale che distale dell'arteria. Questo processo è fondamentale per calcolare il flusso arterioso e implica la definizione di una lunghezza utilizzabile in millimetri, che deve essere

comparabile nelle immagini pre e post posizionamento dello stent. Inoltre, i flussi massimi calcolati devono presentare somiglianze. La segmentazione può essere condotta in modalità automatica o manuale, consentendo la selezione dei tratti arteriosi rilevanti per l'analisi dei parametri. La segmentazione arteriosa, se eseguita in modo accurato, consente una valutazione quantitativa e comparativa del flusso, contribuendo a comprendere l'impatto del trattamento sulle caratteristiche del flusso.



Figura 4.3c. Schermata della funzione di segmentazione.

Il secondo passo cruciale consiste nella selezione accurata della regione di interesse. Questa regione deve comprendere l'aneurisma stesso, nonché i segmenti delle arterie a valle e a monte dell'aneurisma. È imperativo che entrambe queste regioni siano conformi e simili nelle immagini pre e post procedura. Il software AneurysmFlow fornisce strumenti per l'interazione e la manipolazione delle immagini acquisite. In questo contesto, il TSRM è responsabile della delineazione accurata della regione di interesse, in cui

l'aneurisma è il punto focale. Allo stesso tempo, i segmenti delle arterie a valle e a monte dell'aneurisma devono essere inclusi nella regione di interesse. È essenziale che queste strutture vascolari siano rappresentate in maniera coerente sia nelle immagini pre che post procedura, consentendo di rilevare e valutare con precisione eventuali cambiamenti nell'emodinamica causati dal trattamento.

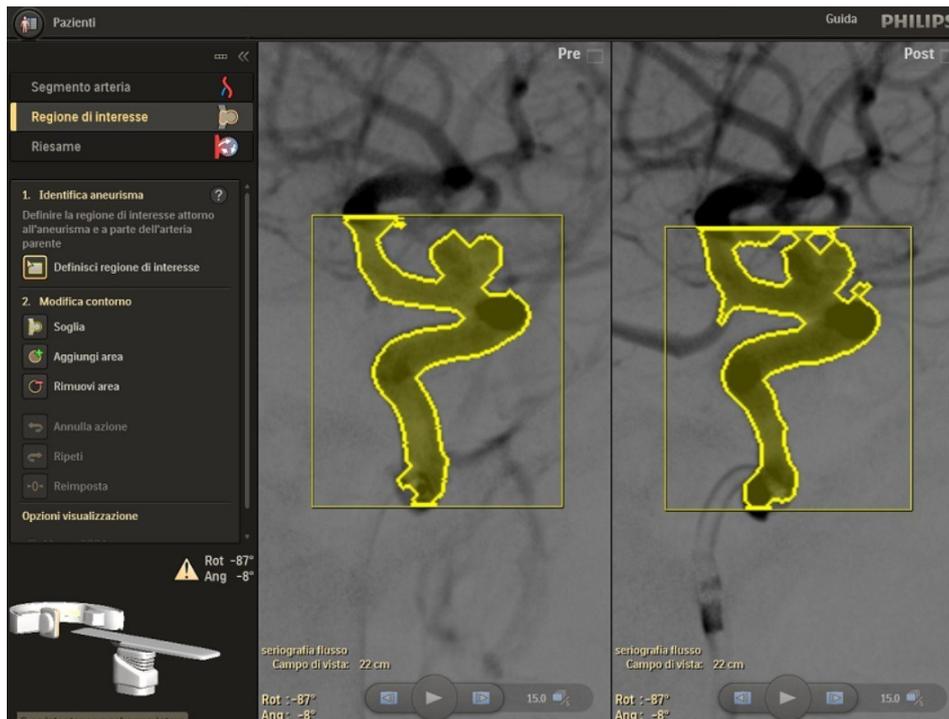


Figura 4.3d. Schermata della funzione di selezione della regione di interesse.

La fase di riesame delle immagini rappresenta un passo essenziale nel processo di valutazione medica e diagnostica. Durante questa fase, le immagini pre e post-intervento vengono analizzate attentamente per identificare eventuali cambiamenti, miglioramenti o alterazioni delle condizioni del paziente. Questo processo si avvale di sofisticati software di elaborazione delle immagini, che consentono una visualizzazione precisa e dettagliata delle strutture anatomiche coinvolte. Un aspetto cruciale della riesaminazione è la possibilità di visualizzare le immagini pre e post-intervento sulla stessa schermata. Questo approccio comparativo agevola la valutazione diretta dei cambiamenti intervenuti a seguito

dell'intervento. La possibilità di visualizzare le immagini nella stessa schermata e di scegliere tra diverse opzioni di colorazione e modalità di visualizzazione contribuisce notevolmente all'accuratezza e all'efficacia di questo processo, fornendo un prezioso supporto nella cura e nella gestione dei pazienti.

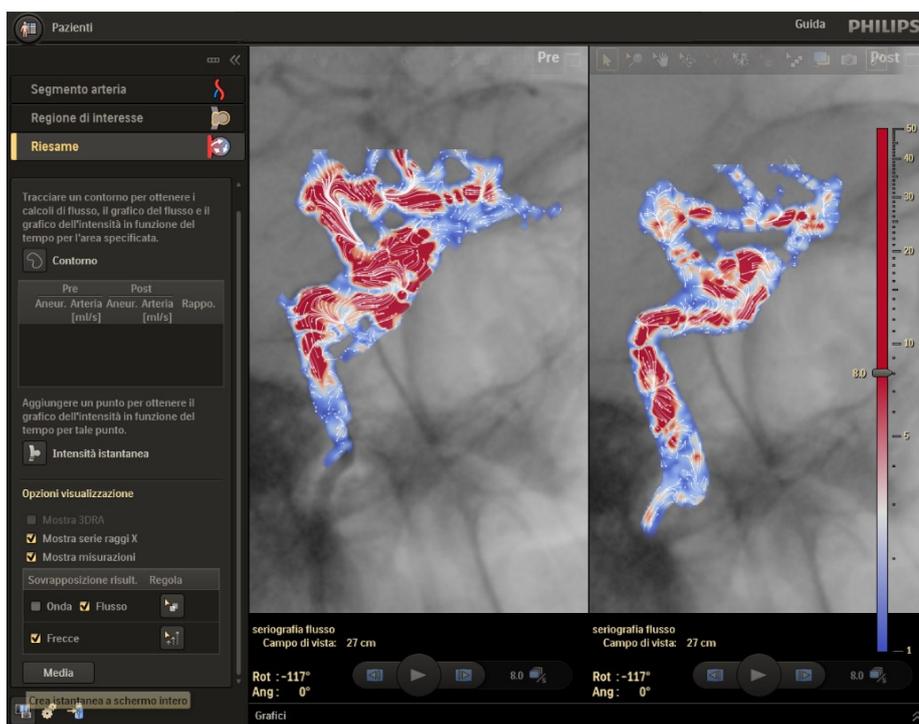


Figura 4.3e. Schermata della funzione di riesame.

Nel contesto dell'analisi ematica, emergono diverse modalità di visualizzazione che offrono un approccio iniziale per l'interpretazione accurata dei dati. Questo studio si propone di esaminare due modalità di visualizzazione fondamentali: la modalità "onda" e la modalità "flusso", con particolare attenzione alle loro rappresentazioni cromatiche e ai meccanismi di rappresentazione del flusso sanguigno.

La prima modalità, denominata "onda", adotta una scala colorimetrica che varia dall'ombra del giallo chiaro all'intenso bordeaux scuro. Questa scala di colori è impiegata per evidenziare visivamente le variazioni di densità ematica e permette una percezione intuitiva delle differenze nella circolazione sanguigna. In questa

modalità, le immagini sono arricchite da frecce direzionali che indicano il movimento del flusso sanguigno, offrendo così un'ulteriore dimensione di comprensione.

La seconda modalità, denominata "flusso", si basa su una scala cromatica che si estende dal blu scuro al rosso scuro. Questa scala è impiegata per rappresentare i differenti livelli di velocità del flusso ematico. In particolare, il blu scuro rappresenta una velocità ridotta del flusso, mentre il rosso scuro indica un flusso ad alta velocità. Anche in questa modalità, le frecce direzionali vengono utilizzate per evidenziare il movimento del flusso sanguigno e consentono un'analisi dettagliata delle variazioni di velocità.

Un'ulteriore opzione di visualizzazione consiste nell'utilizzo esclusivo delle frecce direzionali vettoriali, eliminando le scale colorimetriche. Questa opzione focalizza l'attenzione esclusivamente sulla direzione del flusso, consentendo una valutazione più precisa delle dinamiche ematiche senza distrazioni cromatiche.

In sintesi, l'analisi ematica attraverso le immagini mediche offre diverse modalità di visualizzazione per facilitare l'interpretazione accurata dei dati. La modalità "onda" e la modalità "flusso" con le relative rappresentazioni cromatiche e frecce direzionali vettoriali costituiscono approcci complementari per valutare la circolazione sanguigna. La possibilità di escludere le scale colorimetriche in favore delle sole frecce direzionali vettoriali rappresenta un'opzione focalizzata per l'analisi dettagliata del movimento ematico.

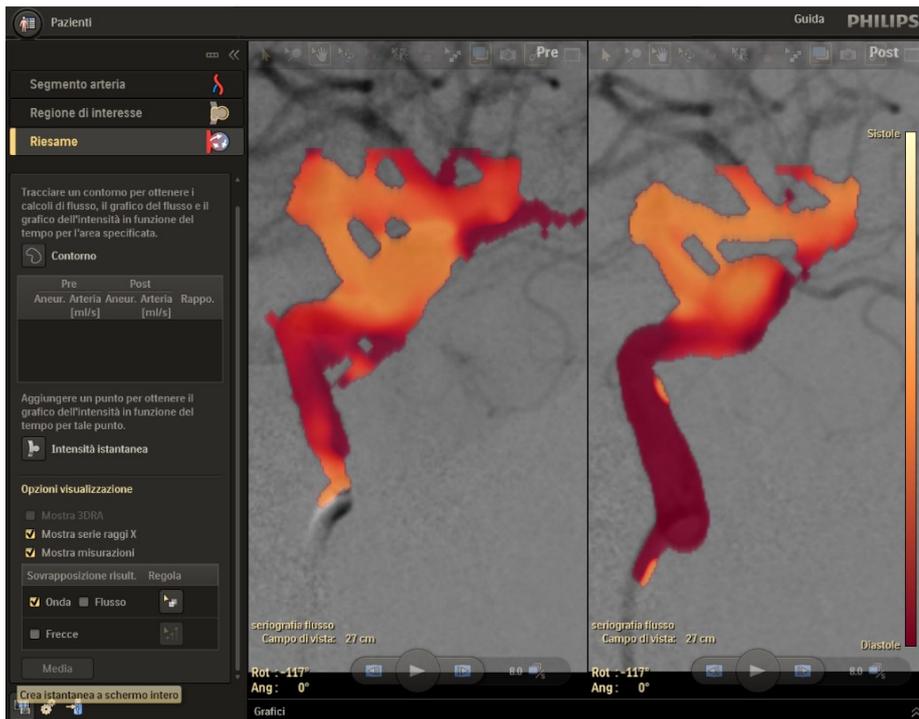


Figura 4.3f. Prima modalità senza frecce vettoriali.

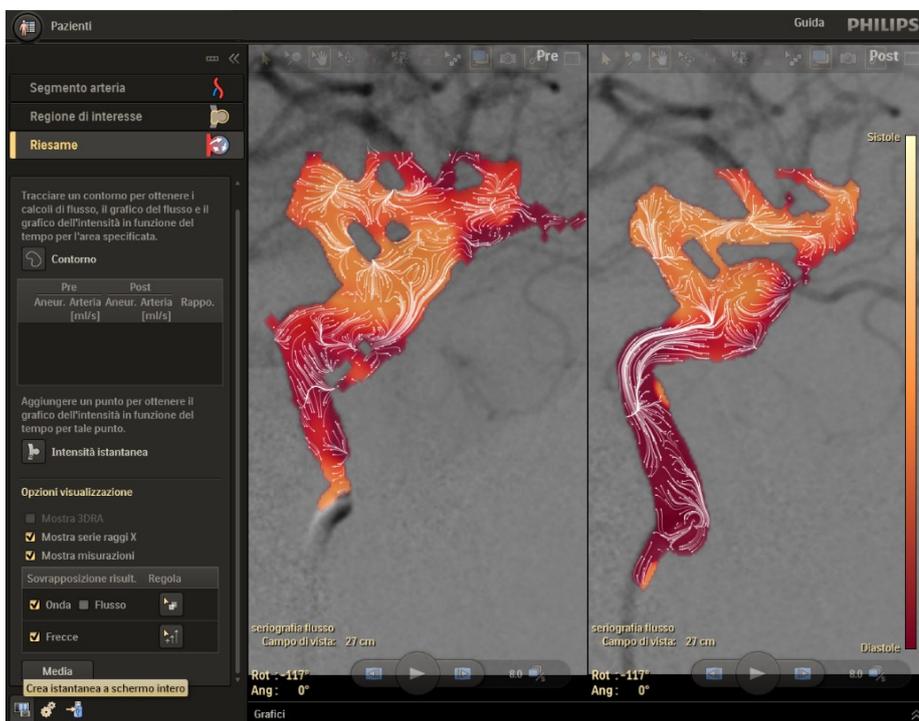


Figura 4.3g. Prima modalità con le frecce vettoriali.

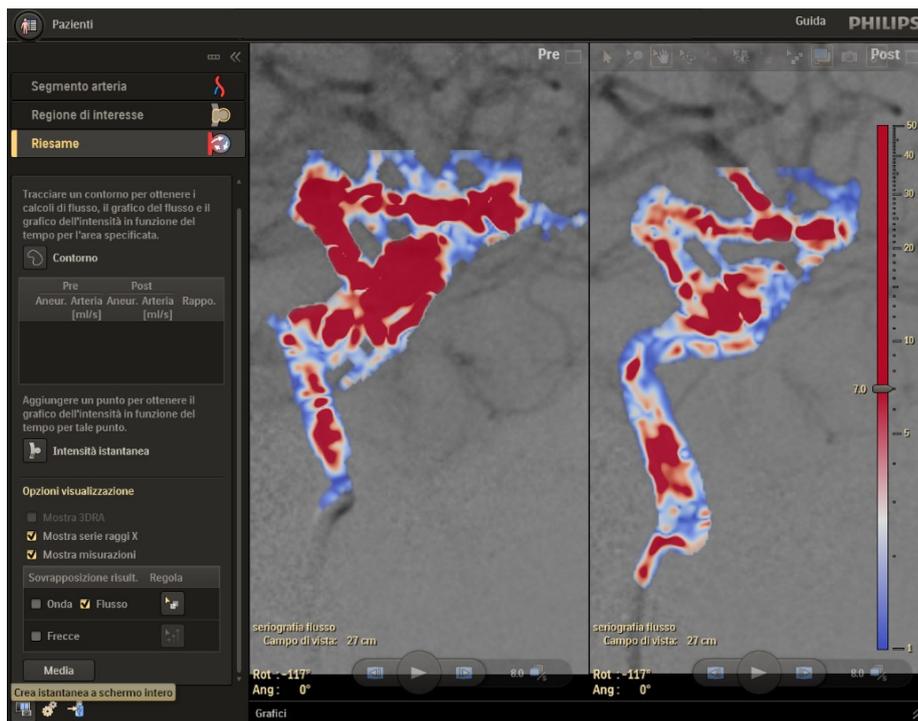


Figura 4.3h. Seconda modalità senza frecce vettoriali.

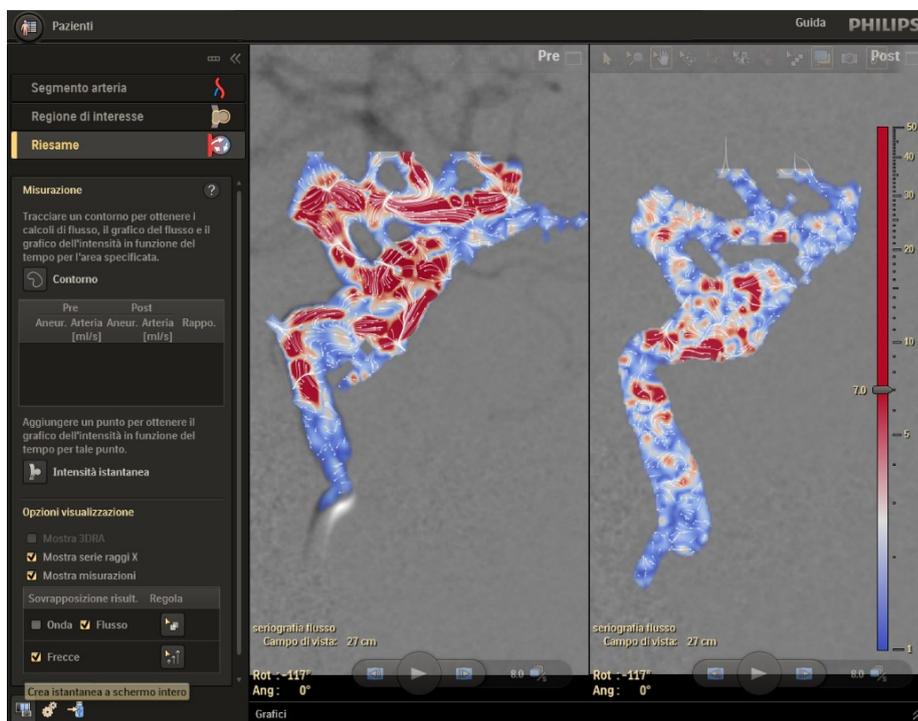


Figura 4.3i. Seconda modalità con le frecce vettoriali.

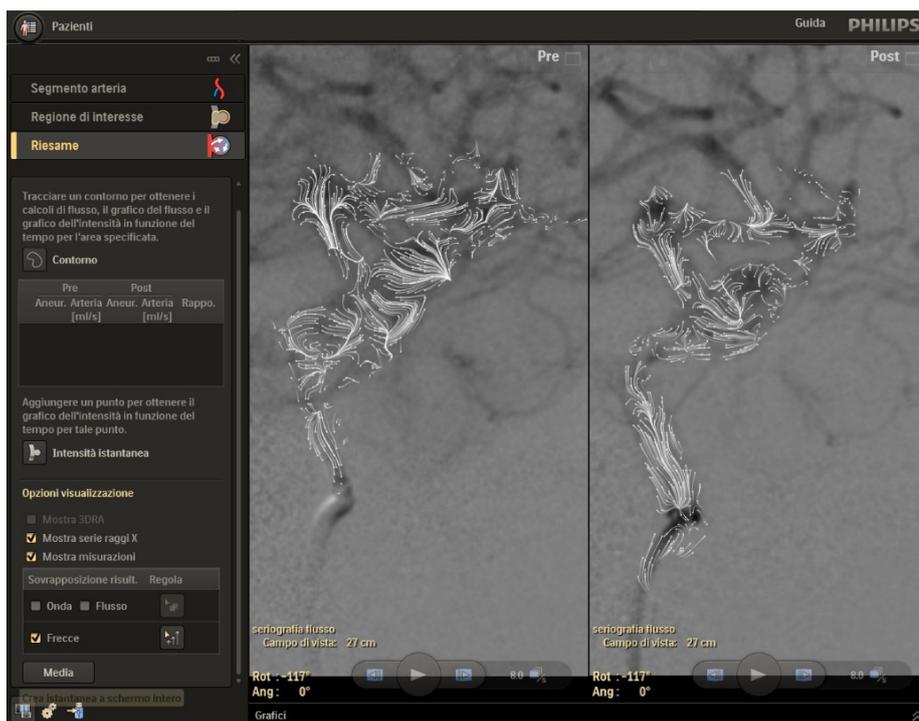


Figura 4.3I. Terza modalità di rappresentazione.

Inoltre, è possibile individuare dei contorni nelle regioni che si vogliono paragonare per creare due grafici.

Il primo approccio consiste nella creazione di un grafico che mette in relazione il flusso arterioso e l'andamento temporale. Questo grafico consente di confrontare la situazione pre-intervento, quando lo stent a diversione di flusso non è ancora posizionato, con la situazione post-intervento. Attraverso questa rappresentazione, è possibile osservare e quantificare eventuali cambiamenti nell'andamento del flusso arterioso nel corso del tempo, mettendo in luce l'efficacia dell'intervento stesso.

Parallelamente, il secondo grafico è incentrato sulla correlazione tra la percentuale di flusso e l'andamento temporale. Anche in questo caso, si esegue un confronto tra le due situazioni - pre e post intervento - ma questa volta focalizzandosi sulla distribuzione percentuale del flusso sanguigno. Tale rappresentazione grafica consente di valutare le variazioni nella distribuzione di flusso arterioso nell'arco temporale considerato.

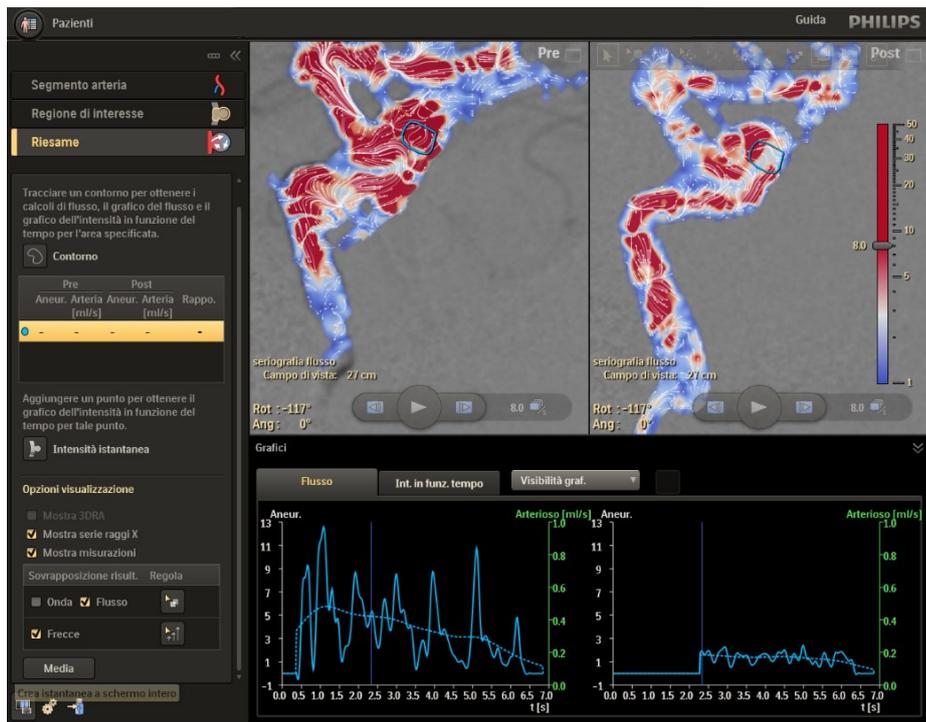


Figura 4.3m. G grafico che mette in relazione il flusso arterioso e l'andamento temporale.

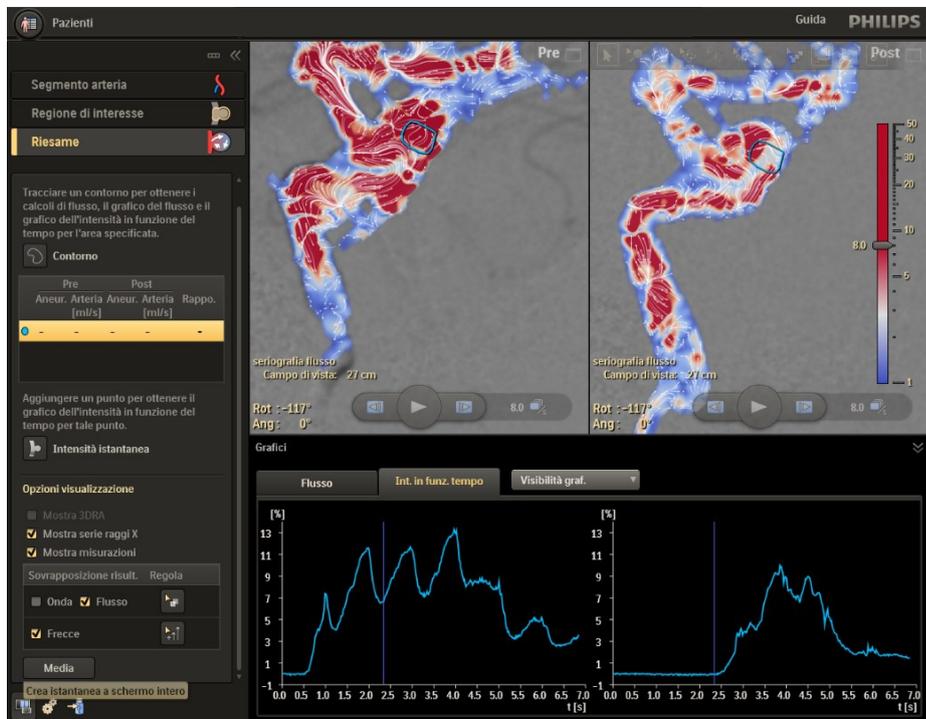


Figura 4.3n. Grafico che correla la percentuale di flusso e l'andamento temporale.

L'utilizzo di grafici correlativi emerge come un valido strumento per analizzare e comparare l'efficacia degli interventi di stent a diversione di flusso. La loro capacità di visualizzare chiaramente le variazioni temporali e quantitative nei parametri emodinamici permette di trarre conclusioni basate su evidenze visive e quantitative, contribuendo così alla comprensione delle dinamiche vascolari legate a questo tipo di interventi.

## **4.4 LA CASISTICA**

### **4.4.1 CASO 1**

Nel presente studio è stato analizzato un caso di paziente affetto da un aneurisma del sifone carotideo sinistro sottoposto a procedura di embolizzazione. Il paziente è stato mantenuto sotto doppia antiaggregazione e in anestesia generale con respiro controllato. Attraverso un accesso transfemorale destro è stato inserito un introduttore di calibro 6F.

L'angiografia preliminare ha confermato la presenza di un'espansione aneurismatica irregolare con ampio colletto nel tratto oftalmico del sifone carotideo sinistro.

La procedura ha coinvolto il posizionamento sequenziale di cateteri, inclusi un catetere portante Envoy 6F nella carotide interna sinistra e un catetere distale Sofia 5F. Inoltre, è stato inserito un microcatetere Phenom 21 nel tratto M1 di sinistra. Successivamente, è stato rilasciato uno stent a diversione di flusso P64 4.5x21 nel tratto oftalmico per coprire il colletto aneurismatico.

L'angiografia di controllo ha evidenziato una normale perfusione parenchimale e il ritorno venoso dalle arterie cerebrali media ed anteriore di sinistra. Al termine dell'intervento e dei controlli necessari, è stato posizionato un sistema di emostasi femorale Angioseal 6F a destra.

Questo studio fornisce dettagli sul procedimento e sui risultati ottenuti nell'embolizzazione dell'aneurisma del sifone carotideo sinistro, sottolineando l'importanza dell'approccio multidisciplinare nell'affrontare tali condizioni patologiche complesse.

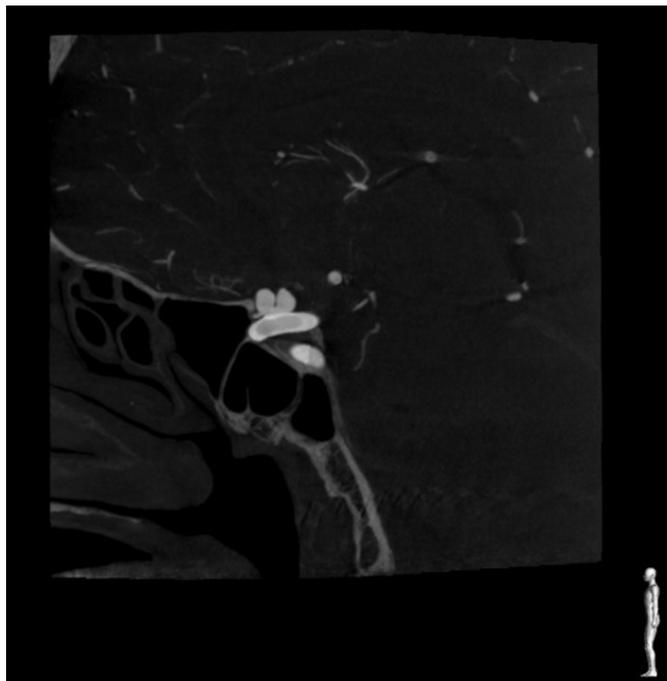
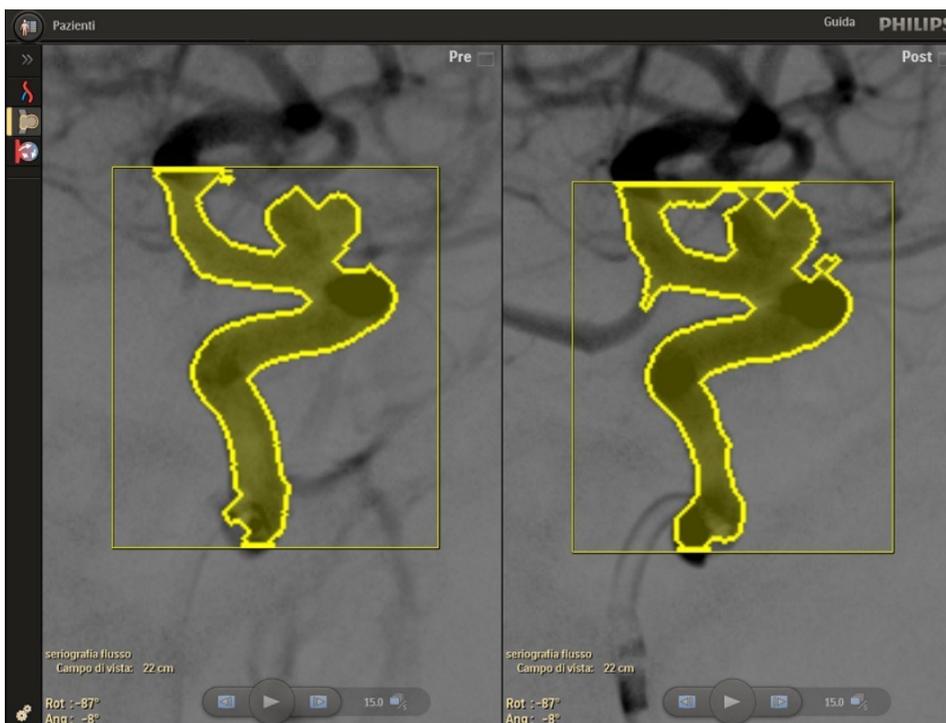
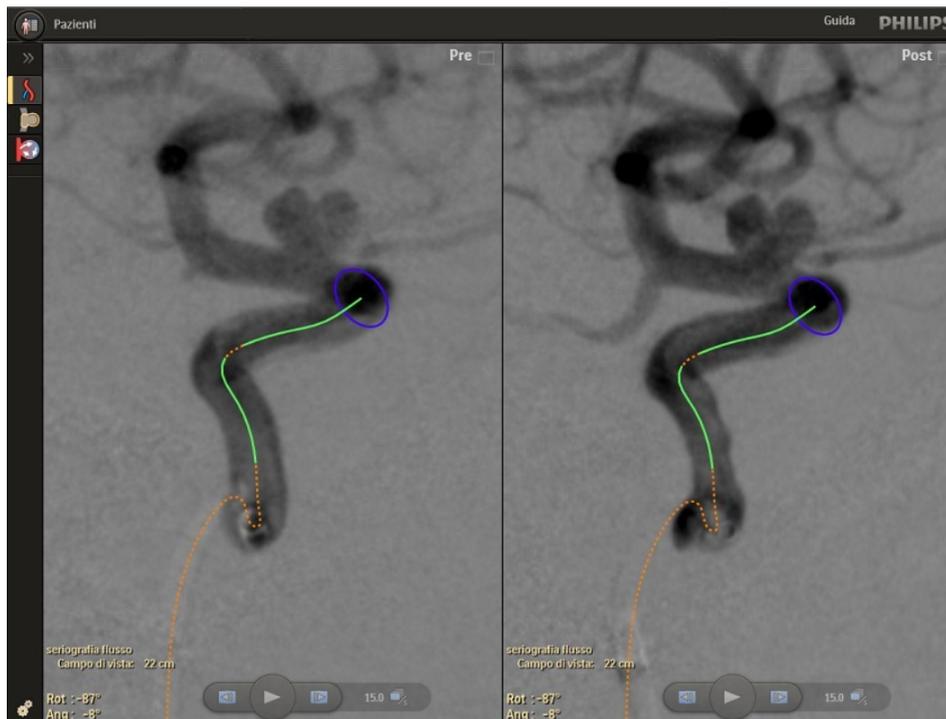


Figura 4.4.1a e 4.4.1b. Calcolo dei colletti degli aneurismi e visualizzazione dello stent post-intervento.



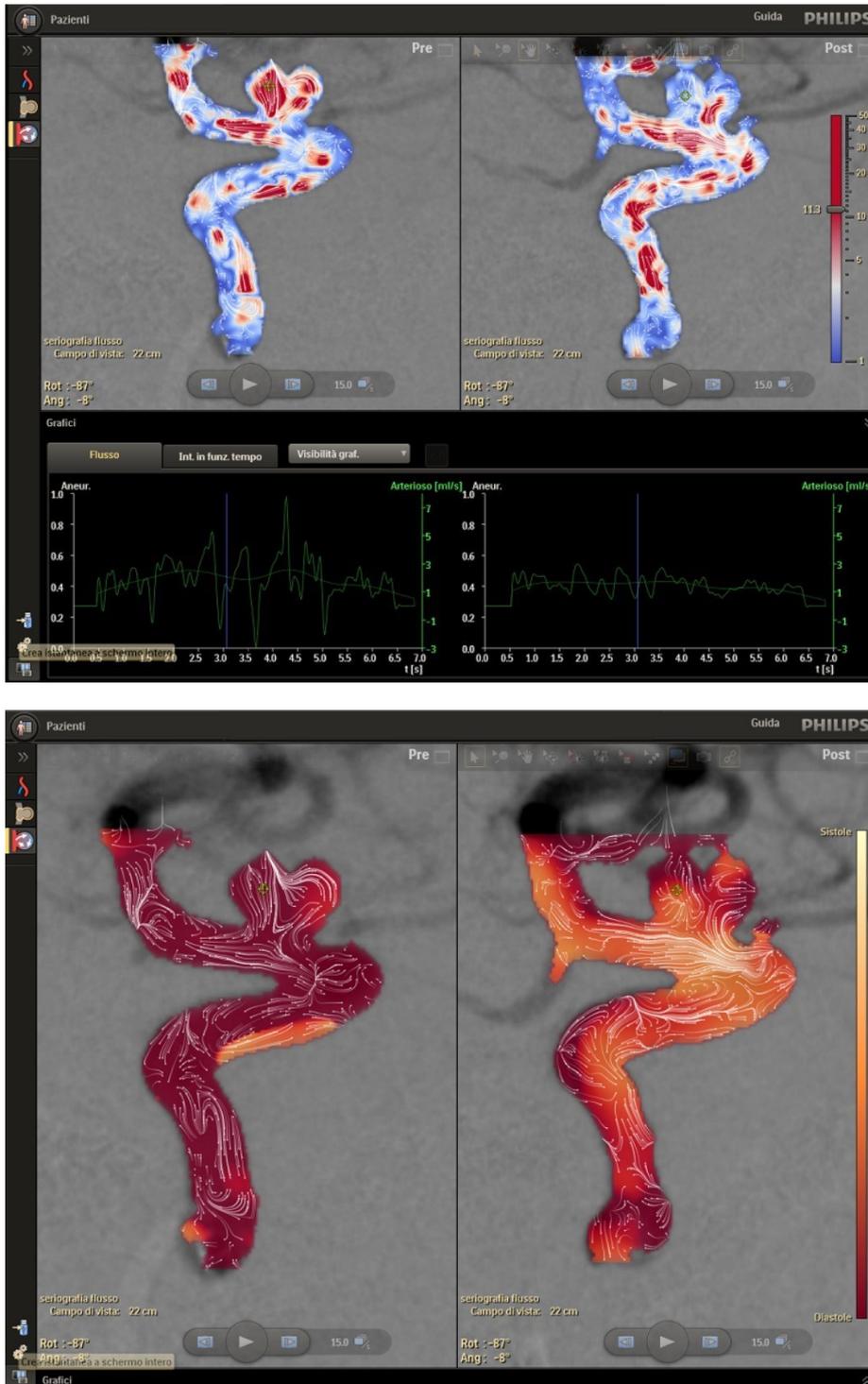


Figura 4.4.1c/d/e/f. Processi di sviluppo e visualizzazione dei risultati del primo paziente.

#### 4.4.2 CASO 2

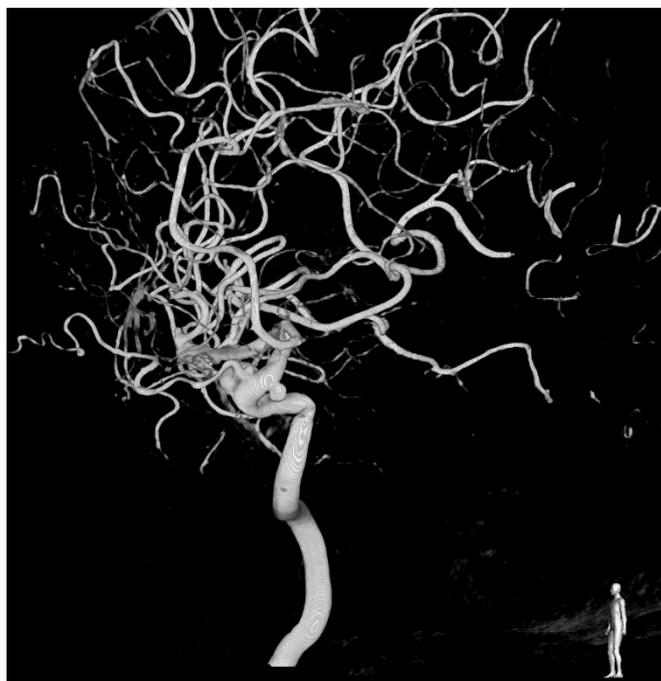
Nel contesto del presente studio è stato esaminato un caso di intervento di embolizzazione dell'aneurisma del sifone carotideo sinistro. Il paziente è stato

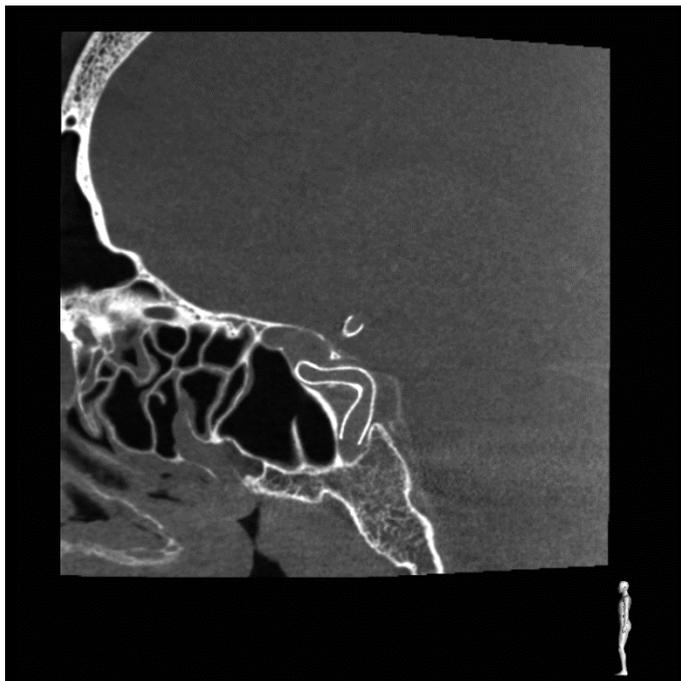
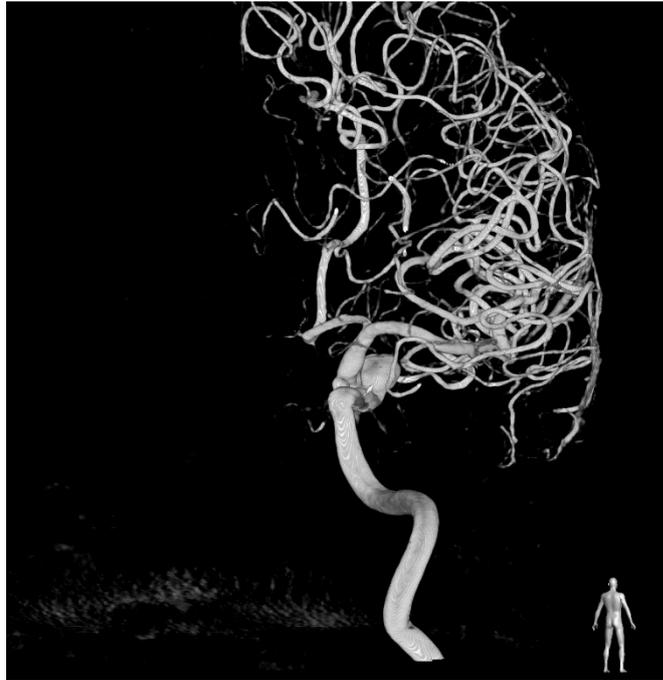
gestito con una terapia a base di doppia antiaggregazione, sotto anestesia generale e controllo respiratorio. Attraverso un accesso transfemorale destro, è stato posizionato un introduttore di calibro 7F.

L'angiografia preliminare ha confermato la presenza di un'espansione aneurismatica di forma irregolare nel tratto oftalmico del sifone carotideo sinistro.

Il procedimento ha comportato l'impiego di cateteri, incluso un catetere portante Envoy da 6F nella carotide interna, seguito da un catetere distale Catalyst da 5F. Attraverso un approccio coassiale, è stato inserito un microcatetere XT27 nel tratto M1 di destra. Successivamente, è stato rilasciato uno stent a diversione di flusso Pipeline con dimensioni 4.5x30 nel tratto oftalmico del sifone carotideo destro, al fine di coprire il colletto aneurismatico.

L'angiografia di controllo ha dimostrato una normale perfusione parenchimale e il ritorno venoso dalle arterie cerebrali media ed anteriore del lato destro. Al termine dell'intervento e delle necessarie verifiche, è stato applicato un sistema di emostasi femorale Angioseal da 6F sul lato destro.





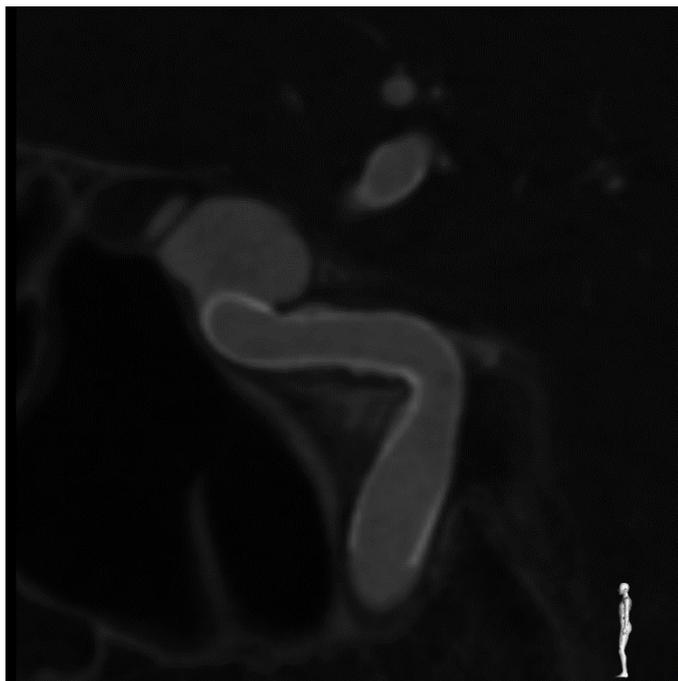
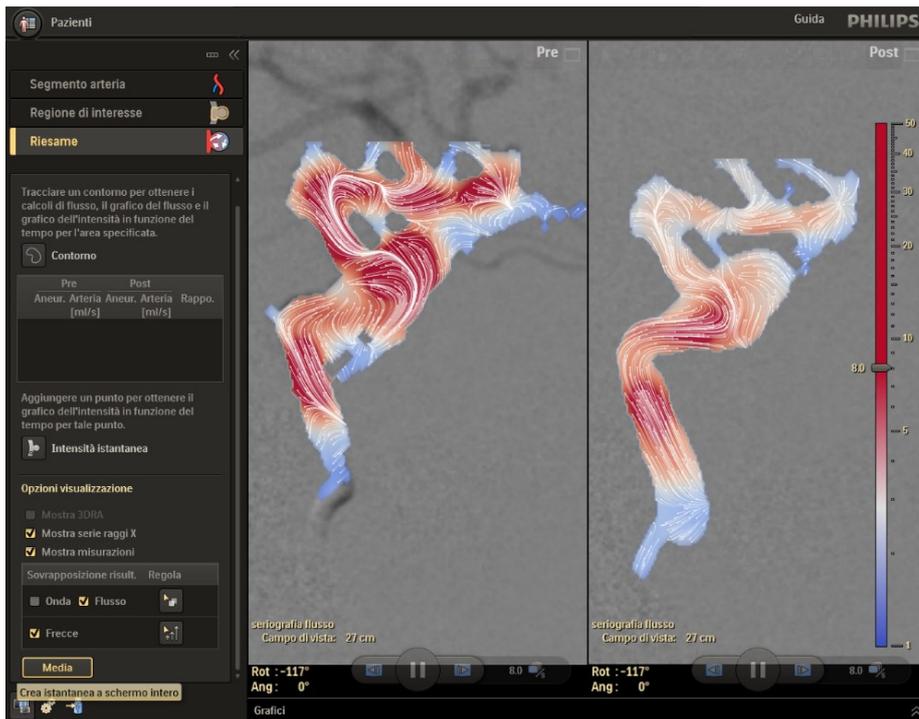
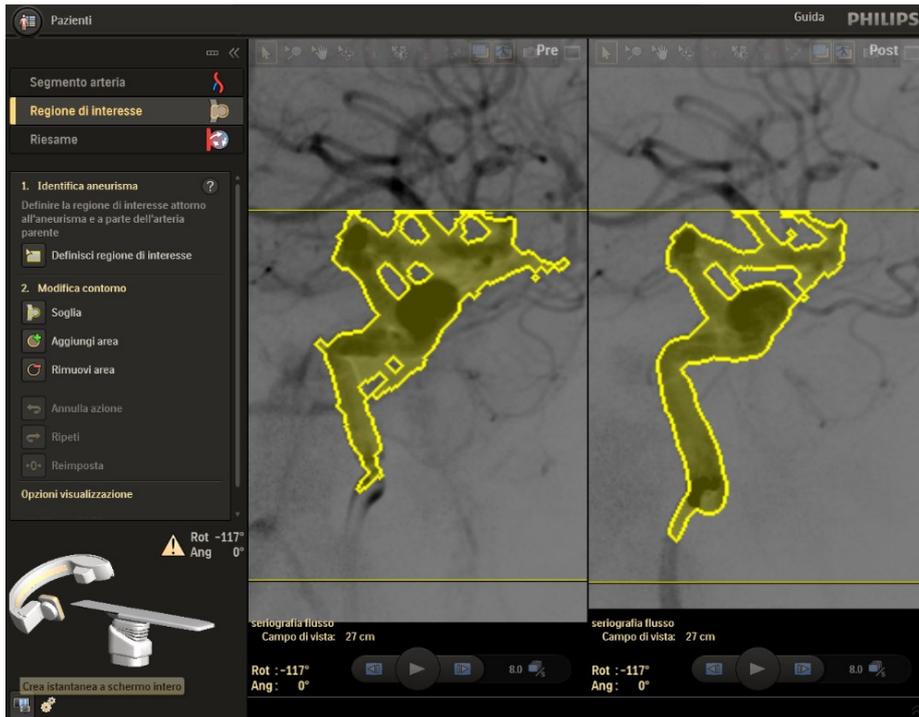


Figura 4.4.2a/b/c/d. Visualizzazione degli aneurismi e del posizionamento dello stent.





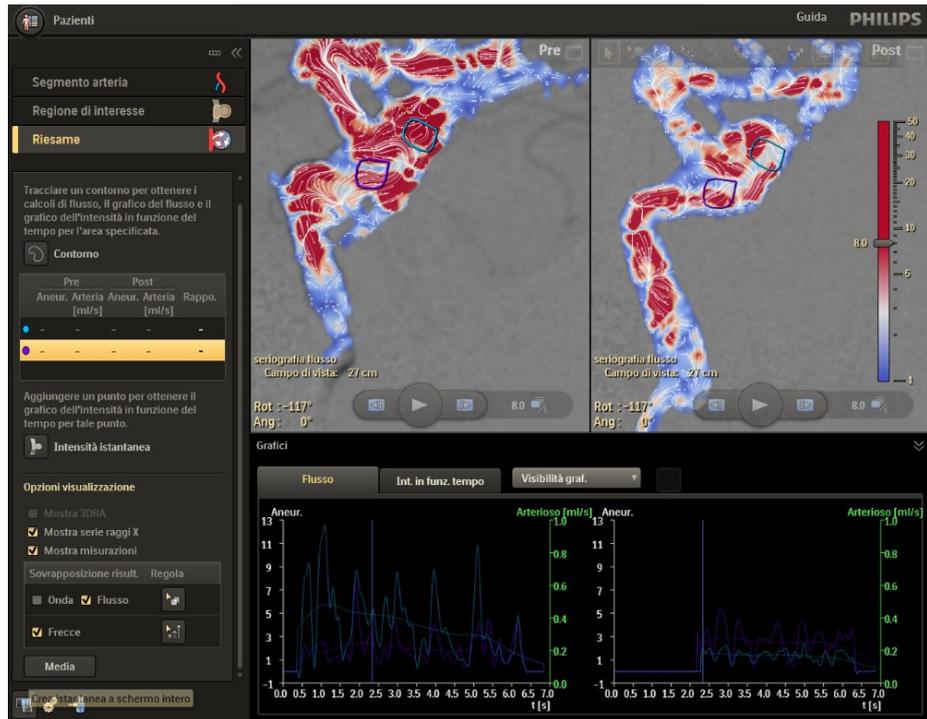


Figura 4.4.2 e/f/g/h. Processi di sviluppo e visualizzazione dei risultati del secondo paziente.



## CONCLUSIONI

Le tecniche di acquisizione tradizionali, basate sull'angiografia a sottrazione digitale (DSA), presentano alcune limitazioni, come la mancata valutazione dinamica del flusso e la necessità di esposizioni ripetute a radiazioni ionizzanti. Per superare tali limiti, sono state sviluppate nuove tecniche di acquisizione che consentono una visione più accurata e dettagliata delle dinamiche del flusso ematico. L'introduzione del software AneurysmFlow ha permesso di ottenere una valutazione quantitativa del cambiamento di flusso all'interno dell'aneurisma in seguito al posizionamento dello stent Flow Diverter. Questa innovazione ha notevolmente migliorato la capacità di prevedere l'efficacia del trattamento e monitorarne i risultati nel tempo.

Nel contesto di questa avanzata tecnologia, il ruolo del tecnico sanitario di radiologia medica riveste un'importanza fondamentale. Le competenze e le conoscenze di questo professionista sono essenziali per garantire la corretta preparazione, esecuzione, ottimizzazione e post-elaborazione delle tecniche di acquisizione. La capacità di ottenere immagini diagnostiche precise e fedeli alla realtà patologica dell'aneurisma richiede una profonda comprensione delle apparecchiature radiologiche e delle tecniche di imaging avanzate.

Il TSRM svolge un ruolo cruciale nel garantire la qualità e l'affidabilità delle immagini utilizzate per il monitoraggio e la valutazione del trattamento endovascolare degli aneurismi intracranici.



## BIBLIOGRAFIA

Alderazi YJ, Shastri D, Kass-Hout T, Prestigiacomo CJ, Gandhi CD. Flow diverters for intracranial aneurysms. *Stroke Res Treat.* 2014;2014:415653. doi:10.1155/2014/415653

Augsburger L, Reymond P, Fonck E, et al. Methodologies to assess blood flow in cerebral aneurysms: current state of research and perspectives. *J Neuroradiol.* 2009;36(5):270-277. doi:10.1016/j.neurad.2009.03.001

Bayer HealthCare LLC (2016) - MEDRAD® Mark 7 Arterion Injection System, Bayer HealthCare LLC, Whippany, 9 pp.

Bhogal P, Petrov A, Rentsenkhu G, et al. Early clinical experience with the p48MW HPC and p64MW HPC flow diverters in the anterior circulation aneurysm using single anti-platelet treatment. *Interv Neuroradiol.* 2022;28(3):266-276. doi:10.1177/15910199211029503

Binh NT, Luu VD, Thong PM, et al. Flow diverter stent for treatment of cerebral aneurysms: A report of 130 patients with 134 aneurysms. *Heliyon.* 2020;6(2):e03356. Published 2020 Feb 4. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03356

Bonafe A, Perez MA, Henkes H, et al. Diversion-p64: results from an international, prospective, multicenter, single-arm post-market study to assess the safety and effectiveness of the p64 flow modulation device. *Journal of NeuroInterventional Surgery.* 2022;14:898-903.

Briganti F, Leone G, Marseglia M, et al. Endovascular treatment of cerebral aneurysms using flow-diverter devices: A systematic review. *Neuroradiol J.* 2015;28(4):365-375. doi:10.1177/1971400915602803

Brinjikji W, Murad MH, Lanzino G, Cloft HJ, Kallmes DF. Endovascular treatment of intracranial aneurysms with flow diverters: a meta-analysis. *Stroke.* 2013;44(2):442-447. doi:10.1161/STROKEAHA.112.678151

Brown RD. Unruptured intracranial aneurysms. *Semin Neurol.* 2010;30(5):537-544. doi:10.1055/s-0030-1268858

Cornelis FH, Solomon SB. Image guidance in interventional radiology: Back to the future?. *Diagn Interv Imaging.* 2020;101(7-8):429-430. doi:10.1016/j.diii.2020.06.003

Duman E, Coven I, Yildirim E, Yilmaz C, Pinar HU. Endovascular Treatment of Wide Necked Ruptured Saccular Aneurysms with Flow-Diverter Stent. *Turk Neurosurg.* 2017;27(3):362-367. doi:10.5137/1019-5149.JTN.16324-15.1

Etminan N, Rinkel GJ. Unruptured intracranial aneurysms: development, rupture and preventive management [published correction appears in *Nat Rev Neurol.* 2017 Feb 1;13(2):126]. *Nat Rev Neurol.* 2016;12(12):699-713. doi:10.1038/nrneurol.2016.150

Heiferman DM, Billingsley JT, Kasliwal MK, et al. Use of flow-diverting stents as salvage treatment following failed stent-assisted embolization of intracranial aneurysms. *J Neurointerv Surg.* 2016;8(7):692-695. doi:10.1136/neurintsurg-2015-011672

Hellstern V, Aguilar Pérez M, Henkes E, et al. Use of a p64 MW Flow Diverter with Hydrophilic Polymer Coating (HPC) and Prasugrel Single Antiplatelet Therapy for the Treatment of Unruptured Anterior Circulation Aneurysms: Safety Data and Short-term Occlusion Rates. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2022;45(9):1364-1374. doi:10.1007/s00270-022-03153-8

Journal Of Advanced Health Care (2022) – Studio del cambiamento di flusso nell'aneurisma cerebrale post impianto di Flow Diverter. Volume 4, Special Issue 3, JAHC, pagina 37

Lobsien D, Clajus C, Behme D, et al. Aneurysm Treatment in Acute SAH with Hydrophilic-Coated Flow Diverters under Single-Antiplatelet Therapy: A 3-Center Experience. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2021;42(3):508-515. doi:10.3174/ajnr.A6942

Maybaum J, Henkes H, Aguilar-Pérez M, et al. Flow Diversion for Reconstruction of Intradural Vertebral Artery Dissecting Aneurysms Causing Subarachnoid Hemorrhage-A Retrospective Study From Four Neurovascular Centers. *Front Neurol.* 2021;12:700164. Published 2021 Jul 1. doi:10.3389/fneur.2021.700164

Murthy SB, Shah S, Shastri A, Venkatasubba Rao CP, Bershah EM, Suarez JI. The SILK flow diverter in the treatment of intracranial aneurysms. *J Clin Neurosci.* 2014;21(2):203-206. doi:10.1016/j.jocn.2013.07.006

Netter F. H. (2018) – Atlante di anatomia umana. 6<sup>a</sup> Edizione, Edra S.p.A., Milano, 672 pp.

Philips Medical Systems Nederland B.V. (2014) – Istruzioni per l'uso. Accessori, Philips Medical Systems Nederland B.V., Best, 76 pp.

Philips Medical Systems Nederland B.V. (2014) – Istruzioni per l'uso. Allura 3D-RA, Philips Medical Systems Nederland B.V., Best, 38 pp.

Philips Medical Systems Nederland B.V. (2014) – Istruzioni per l'uso. XperCT, Philips Medical Systems Nederland B.V., Best, 40 pp.

Philips Medical Systems Nederland B.V. (2014) – Istruzioni per l'uso. 2D Perfusion, Philips Medical Systems Nederland B.V., Best, 30 pp.

Philips Medical Systems Nederland B.V. (2014) – Istruzioni per l'uso. 3D Roadmap, Philips Medical Systems Nederland B.V., Best, 36 pp.

Pierot L, Lamin S, Barreau X, et al. Coating (Coating to Optimize Aneurysm Treatment in the New Flow Diverter Generation) study. The first randomized controlled trial evaluating a coated flow diverter (p64 MW HPC): study design. *J Neurointerv Surg.* 2023;15(7):684-688. doi:10.1136/neurintsurg-2022-018969

Ribo M, et al. (2017) Direct transfer to angi suite to reduce door-to-puncture time in thrombectomy for acute stroke. *J Neurointerv Surg.* 2017 Apr 26. pii: neurintsurg-2017-013038. doi: 10.1136/ neurintsurg-2017-013038

Saladin K. S. (2019) – Anatomia & Fisiologia. 2<sup>a</sup> Edizione italiana, Piccin Nuova, Padova, 1125 pp.

Sforza DM, Putman CM, Cebal JR. Hemodynamics of Cerebral Aneurysms. *Annu Rev Fluid Mech.* 2009;41:91-107. doi:10.1146/annurev.fluid.40.111406.102126

Standring S. (2009) – Anatomia del Grey. Le basi anatomiche per la pratica clinica, Elsevier Srl, Milano, 747 pp.