



# **Università degli Studi di Padova**

**DIPARTIMENTO DI MEDICINA - DIMED**

**Corso di Laurea Triennale in:**

**TECNICHE DI RADIOLOGIA MEDICA, PER IMMAGINI  
E RADIOTERAPIA**

**Anno Accademico 2023/24**

**Sede di Rovigo**

**Presidente: Prof. Roberto Stramare**

**TESI DI LAUREA:**

**Angiografia coronarica guidata dal Quantitative Flow Ratio:  
il ruolo del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica**

**Relatore:**

**Dott. Filippo Gianese**

**Laureando:**

**Riccardo Cavraro**

**Correlatore:**

**Dott. Emiliano Bedendo**







## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANATOMIA CARDIACA NORMALE .....</b>	<b>3</b>
2.1 Anatomia coronarica .....	5
2.2 Arteria coronaria sinistra .....	7
2.3 Arteria coronaria destra .....	9
2.4 Generalità del circolo venoso.....	11
<b>3. MALATTIA CORONARICA.....</b>	<b>13</b>
3.1 Fattori di rischio .....	14
3.2 Diagnosi.....	15
<b>4. CORONAROGRAFIA .....</b>	<b>19</b>
4.1 Principi tecnici generali .....	22
4.2 Studio della coronaria sinistra.....	25
4.3 Studio della coronaria destra .....	35
<b>5. ACCENNI DI FISILOGIA DEL CORCOLO CORONARICO .....</b>	<b>43</b>
<b>6. FRACTIONAL FLOW RESERVE - FFR.....</b>	<b>45</b>
6.1 Istruzioni operative sull'utilizzo del Fractional Flow Reserve .....	47
6.2 Limiti del Fractional Flow Reserve .....	49
<b>7. QUANTITATIVE FLOW RATIO - QFR.....</b>	<b>51</b>
7.1 Istruzioni operative sull'utilizzo del Quantitative Flow Ratio .....	52
7.2 Acquisition Aid .....	62

<b>8. IL RUOLO DEL TECNICO SANITARIO DI RADIOLOGIA MEDICA: TEORESI - TEORIA – PRATICA .....</b>	<b>65</b>
8.1 Riferimenti .....	65
8.2 Teoresi .....	68
8.3 Teoria .....	69
8.4 Pratica: proposta operativa .....	70
<b>9. CONCLUSIONI .....</b>	<b>75</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>77</b>

# 1. INTRODUZIONE

Le malattie cardiovascolari, con 17,6 milioni di decessi ogni anno, rappresentano la principale causa di morte a livello globale. La tendenza della curva statistica non restituisce speranze: entro il 2030 i morti attesi saranno 24 milioni. Solo in Italia, la cardiopatia ischemica è responsabile del 10,4% di tutte le morti. In un quadro siffatto, con una media italiana di 35.000 interventi di angioplastica coronarica primaria ogni anno, la rilevanza dell'interventistica cardiologica endovascolare è fuori questione. [1] [2] [3]

L'angiografia coronarica si è imposta nel tempo come *gold standard* per la diagnosi di malattia coronarica. Con il progredire della tecnologia, alla coronarografia classica si sono affiancati *softwares* e procedure in grado di sostenere i cardiologi interventisti nelle decisioni terapeutiche più opportune, in particolar modo nel caso di quadri clinici particolarmente complessi.

*Ab ovo usque ad mala*, figura essenziale di tutto il processo diagnostico-terapeutico è il tecnico di radiologia medica: professionista sanitario esercente professione intellettuale, responsabile nei confronti della persona degli atti tecnici e sanitari degli interventi radiologici aventi finalità di prevenzione, diagnosi e terapia, garante della qualità delle immagini diagnostiche, guardiano della radioprotezione. Il tecnico di radiologia medica è la figura professionale, altamente specializzata, che assume un ruolo attivo nella giustificazione e nell'ottimizzazione dell'*imaging* medico: secondo il principio ALARA, mantiene il detrimento della popolazione al livello più basso ottenibile e interviene migliorando le procedure diagnostiche, al fine di renderle il più efficaci possibile. La formazione continua, intimamente legata al profilo professionale, permette al tecnico di radiologia medica di tenere il passo con le tecnologie in continua evoluzione. Tutto ciò si traduce in prestazioni sanitarie di alto livello e in garanzia, per i pazienti, di trovare il meglio a livello umano, impiantistico,

clinico-infermieristico, tecnico-diagnostico. A questa figura professionale spetta affiancare il cardiologo interventista nelle procedure diagnostiche e terapeutiche, utilizzando un'ampia gamma di tecnologie sofisticate e facendo da interfaccia tra il paziente e il mondo dell'*imaging* medico.

Cionondimeno, il tecnico di radiologia medica può, e potendo deve, fare di più: utilizzando un *software* originariamente concepito per altri scopi, può assistere il medico interventista nella scelta delle proiezioni angiografiche più opportune, portando la personalizzazione dell'esame diagnostico ad un livello successivo. Attraverso il sapiente uso della tecnologia, può ricercare le viste più adatte per ogni singolo paziente, in quel preciso momento, in quelle specifiche condizioni, con quel peculiare problema clinico. Fornendo al medico specialista soltanto immagini utili, eleva il potere diagnostico della procedura e, attraverso la conseguente riduzione di dose radiante a pazienti e operatori, sublima il proprio ruolo professionale.

Il *Quantitative Flow Ratio* (QFR), *software* originariamente creato per la valutazione funzionale *off line* delle stenosi coronariche, può essere nondimeno utilizzato di *routine*, in corso di procedura di angiografia coronarica. L'utilizzo *on line* del suddetto applicativo, di pertinenza squisitamente tecnica, permette, nel vivo corso della procedura angiografica, l'elaborazione delle immagini ottenute e restituisce come risultato, al medico specialista e al tecnico di radiologia, le proiezioni più idonee allo studio del peculiare problema clinico che si sta affrontando. Tutto questo permette di ottenere soltanto immagini utili alla diagnosi, portando così ad una riduzione della quantità di mezzo di contrasto somministrato e della dose radiante a pazienti e operatori. [33] [34]



## 2. ANATOMIA CARDIACA NORMALE

Il cuore è un organo dalla costituzione prevalentemente muscolare. Le sue contrazioni ritmiche e autonome assicurano la circolazione ematica nei vasi sanguigni. È caratterizzato da quattro camere: due atri e due ventricoli, abbinati in coppie atrio-ventricolo collegati tra loro da apparati valvolari. Tra i due sistemi atrioventricolari di destra e di sinistra si interpongono, rispettivamente, il circolo polmonare e il circolo sistemico. [4] [5]

Il sangue venoso sistemico, tramite le vene cave superiore e inferiore, arriva nell'atrio destro e da qui, attraverso la valvola tricuspide, giunge al ventricolo destro. Durante la sistole il sangue viene spinto, attraverso la valvola polmonare, nell'arteria polmonare, che lo porta fino al circolo alveolare. Il sangue ossigenato ritorna quindi al cuore tramite le multiple (solitamente 4) vene polmonari che drenano nell'atrio sinistro. Da qui il sangue, attraverso la valvola mitrale, giunge nel ventricolo sinistro. Durante la fase sistolica il sangue viene nuovamente spinto, attraverso la valvola aortica, nel circolo sistemico. [5]

Il cuore è situato nel mediastino, avvolto dal pericardio fibroso e sieroso: un sacco che lo fissa al diaframma e lo protegge, isolandolo al contempo dagli organi circostanti. Caudalmente riposa sulla cupola diaframmatica che lo separa dai visceri addominali. Anteriormente è protetto dallo sterno e dalle cartilagini costali. Posteriormente corrisponde alle vertebre toraciche, dalla quinta all'ottava: le vertebre cardiache di Giacomini. Cranialmente si prolunga verso l'apertura superiore del torace mediante il peduncolo vascolare, costituito da aorta ascendente, tronco polmonare e vena cava superiore.

Il muscolo cardiaco ha forma di cono, con la base, corrispondente alla porzione atriale, rivolta in alto, a destra e all'indietro. L'apice, costituito dalla componente ventricolare, è diretto verso il basso, a sinistra e in avanti. Rispetto al piano sagittale mediano, circa un terzo dell'organo è

situato a destra, mentre i due terzi si trovano a sinistra. La grandezza del cuore varia in funzione dell'età, del sesso e delle condizioni individuali, ed è almeno pari alla grandezza del pugno del soggetto cui appartiene. Il suo asse maggiore, che congiunge il centro della base con l'apice, misura, in media nel soggetto adulto, circa 13 cm e forma un angolo di circa 45° con l'asse longitudinale del corpo. Il diametro trasversale, perpendicolare all'asse sopracitato e calcolato in corrispondenza della base, misura, in media nel soggetto adulto, circa 10 centimetri. Lo spessore raggiunge i 5-6 cm. Nell'adulto, il suo peso è compreso fra i 280gr e i 340gr nell'uomo, fra i 230 gr e i 280 gr nella donna. Ha un colorito rossastro simile a quello dei muscoli scheletrici, ma presenta macchie giallastre di grandezza variabile, dovute ad accumuli di grasso e localizzate prevalentemente lungo il decorso dei vasi coronarici. La superficie esterna del cuore, rivestita dal foglietto viscerale (epicardio) della sierosa cardiaca (pericardio sieroso) presenta una faccia sternocostale, una faccia diaframmatica, una base, un apice e due margini: uno destro, o acuto, e uno sinistro, o ottuso. Nei rari casi di dextrocardia, associata o meno a condizioni di *situs viscerum inversus*, il cuore assume nel torace una posizione esattamente simmetrica rispetto alla norma. [4]

Esternamente, in corrispondenza dei limiti delle cavità interne che lo compongono, si identificano il solco coronario (o atrioventricolare), i solchi interventricolari anteriore e posteriore, e i solchi interatriali. La *crux cordis* è un solco crociforme, situato nella faccia diaframmatica del cuore, che segna l'incontro tra il solco atrioventricolare, che separa gli atri dai ventricoli, e il solco interventricolare posteriore. [8]

Il complesso degli eventi muscolovalvolari che si susseguono ritmicamente nel cuore costituisce il ciclo cardiaco. Ogni ciclo è caratterizzato dalla contrazione simultanea degli atri (sistole atriale), che spinge il sangue nelle rispettive cavità ventricolari. Fa seguito la contrazione, anch'essa pressoché simultanea, dei ventricoli (sistole ventricolare), che causa l'immissione di sangue nelle grosse arterie. Alle fasi sistoliche, sia atriale che ventricolare, fa seguito una fase di

rilassamento muscolare chiamata, rispettivamente, diastole atriale e diastole ventricolare. Gli eventi del ciclo cardiaco determinano nelle cavità cardiache e nei grossi vasi a esse connessi importanti variazioni pressorie che sono a loro volta responsabili dei movimenti valvolari. La funzione principale delle valvole cardiache è quella di impedire il reflusso del sangue verso gli atri durante la sistole ventricolare (valvola tricuspide e mitrale), e impedire il reflusso del sangue verso i ventricoli durante la fase diastolica. In media, nei soggetti adulti a riposo, si instaurano 60-70 battiti al minuto. [4] [8]

Il sangue immesso nelle rispettive arterie ad ogni battito cardiaco costituisce la gittata pulsatoria ed è pari, in media nel soggetto a riposo, a 70 mL per ciascun ventricolo. La portata cardiaca è invece rappresentata dal volume di sangue che viene espulso da ciascun ventricolo nell'arco di un minuto, e si ottiene moltiplicando la gittata pulsatoria per la frequenza cardiaca. In tal modo si ottengono valori di circa 4,5 L al minuto. [4]

## **2.1 Anatomia coronarica**

Il cuore riceve apporto sanguigno nutritivo quasi esclusivamente dalle due arterie coronarie: solamente la parte più interna della superficie endocardica, per uno spessore di circa 0,1 mm, può ricevere un apporto significativo di nutrienti direttamente dal sangue presente nelle cavità cardiache. [8]

Dalla radice dell'aorta toracica ascendente, in corrispondenza delle cuspidi della valvola aortica, si aprono i seni aortici di Valsalva. Da qui originano le due arterie coronarie: l'arteria coronaria sinistra dal seno di Valsalva posteriore sinistro e l'arteria coronaria destra dal seno di Valsalva destro, più anteriore e caudale. Sebbene i seni valvari aortici siano tre, le arterie coronarie traggono origine solo dai due che sono adiacenti alla radice del tronco polmonare. I rami principali delle arterie coronarie decorrono in sede epicardica, generalmente circondate dal grasso ivi

presente. Alcuni rami distali, quali i rami settali, decorrono invece internamente al miocardio. Nel 5-22% dei casi, tuttavia, nell'arteria interventricolare anteriore possono essere presenti dei ponti muscolari di lunghezza variabile, nei quali le arterie epicardiche diventano murali per alcuni tratti. Ciò vale anche, nell'86% dei casi, per tutti gli altri rami coronarici. Si parla, in questi casi, di *bridging* intracardiaco. [5] [6] [7] [8]

Il calibro delle arterie coronarie misura in media 3-4 mm e, nell'80% dei casi, l'arteria coronaria sinistra ha un diametro leggermente superiore a quello della destra. Per convenzione, si parla di arteria dominante in base all'origine delle arterie interventricolare posteriore (IVP) e postero-laterale (PL). Nella maggior parte degli individui, circa nel 90% di essi, sussiste una dominanza destra, poiché IVP e PL originano dall'arteria coronaria destra. Nel 7-8% dei casi IVP e PL derivano dall'arteria coronaria sinistra e si parla, dunque, di dominanza sinistra. Nel 2-3% dei casi, invece, sussiste una circolazione bilanciata in quanto IVP origina dall'arteria coronaria destra, mentre PL deriva da quella di sinistra. [4] [16]

Tra le arterie coronarie, come pure fra i rami di una stessa arteria coronaria, sono presenti anastomosi, anche se spesso queste sono rappresentate da vasi molto sottili e dunque inadatti a stabilire un valido circolo collaterale. [4]

Distinguiamo a tal proposito, tra i vasi collaterali, i rami intramurali che appartengono allo stesso vaso coronarico (circolo omocoronarico), vasi intramurali derivanti da due o più arterie coronarie (circolo intercoronarico), vasi intramurali che comunicano con le cavità ventricolari (vasi arterioluminari), e vasi atriali che si collegano con i *vasa vasorum* dell'aorta o di altre arterie (circolo extracardiaco). [8]

Conseguenza diretta della ritmica contrattilità del miocardio è un flusso coronarico fasico: durante la sistole vengono a crearsi elevate pressioni intraventricolari e intramurali, a causa delle quali i vasi coronarici subendocardici intramurali risultano compressi. L' 85% del flusso

coronarico totale, pertanto, si verifica durante la diastole. Il rimanente 15% ha luogo durante la fase sistolica. [8]

## **2.2 Arteria coronaria sinistra**

Il primo tratto dell'arteria coronaria sinistra, il tronco comune (TC), dopo l'origine dal seno aortico sinistro, si dirige obliquamente in basso e a destra, coperto dal tratto iniziale del tronco polmonare e immerso nel grasso che circonda la prima parte dell'aorta. In due terzi dei soggetti si biforca, al di sotto dell'auricola sinistra, in arteria interventricolare anteriore (IVA) e in arteria circonflessa (ACX). La sua lunghezza può variare ma comunemente è circa uguale a 1-2 cm. Nel suo percorso non dà origine a rami significativi. Nel 30% circa dei casi, in corrispondenza della biforcazione del tronco comune, ha origine un terzo ramo: l'arteria intermedia (o ramo intermedio, RI). Questa si porta in basso, obliquamente, sulla faccia sternocostale del ventricolo sinistro. [4] [5]

L'arteria interventricolare anteriore origina ad angolo ottuso dal tronco comune e discende, accolta dall'omonimo solco, fino all'incisura cardiaca del margine destro del cuore, che oltrepassa, per fornire brevi rami alla superficie diaframmatica dell'apice del cuore. Fornisce rami per la faccia sternocostale dei ventricoli destro e sinistro e per il setto interventricolare anteriore. Nel 70% dei casi risale per circa un quarto del solco interventricolare posteriore con il ramo ricorrente posteriore (o apicale), perfondendo l'apice e la porzione inferiore del setto interventricolare. L'arteria discendente anteriore dà origine a due gruppi di rami: i rami diagonali (DIAG) e i rami perforanti settali (SP), che irrorano rispettivamente la superficie antero-laterale del ventricolo sinistro e la porzione anteriore del setto interventricolare. Per convenzione il primo ramo diagonale divide l'IVA prossimale da quella intermedia, mentre il secondo ramo divide l'IVA intermedia da quella distale. Il numero e il decorso dei rami diagonali sono variabili: generalmente sono tre, originano

ad angolo acuto dall'IVA e il loro calibro è inversamente proporzionale al loro numero. Si dirigono, di norma, verso la parete anteriore del ventricolo sinistro. [4] [5] [8]

I rami settali nascono ad angolo retto dalla porzione ventrale dell'arteria discendente anteriore e sono di calibro inferiore rispetto ai rami diagonali. Forniscono vascolarizzazione ai due terzi anteriori del setto interventricolare.

La parte terminale dell'IVA circonda l'apice del cuore e vascolarizza la porzione inferiore del ventricolo sinistro. Ciò non avviene quando l'arteria coronaria destra è estesa e i suoi rami distali arrivano a vascolarizzare l'apice del cuore.

L'arteria circonflessa (ACX), normalmente più piccola dell'IVA, poco dopo la sua origine si dirige posteriormente per seguire il solco atrioventricolare sinistro e circondare l'*anulus* della valvola mitrale. Essa vascolarizza la parete laterale e posterolaterale del cuore. Nei casi di dominanza sinistra l'ACX raggiunge la *crux cordis* e dà origine al ramo postero-laterale sinistro e all'arteria interventricolare posteriore sinistra.

L'arteria circonflessa, in corrispondenza del margine sinistro del cuore, dà origine ad alcuni rami definiti "marginali" (o per il margine cardiaco ottuso, MO), di calibro considerevole, che perfondono la parete laterale del ventricolo sinistro fino alla porzione apicale. Essi sono solitamente in numero di tre e il primo di questi è il più cospicuo e costante: decorre sulla parete postero-laterale del ventricolo sinistro in direzione dell'apice. Il suo sviluppo è inversamente proporzionale a quello della coronaria destra sulla superficie postero-laterale del ventricolo sinistro, e al numero e allo sviluppo dei rami diagonali dell'IVA. Si può dunque, per convenzione, suddividere l'ACX in tre diversi tratti. Si individuano un tratto prossimale, dall'origine fino al primo ramo marginale, un tratto medio, dal primo ramo marginale all'origine del secondo, e un tratto distale. Per quanto riguarda il tratto distale, in caso di dominanza destra esso termina semplicemente, senza dare origine ad altri rami degni di nota; in caso di dominanza

sinistra, invece, si estende fino alla *crux cordis* dando origine a IVP e PL. In presenza di circolo bilanciato il tratto distale di ACX dà origine a IVP, mentre PL origina dalla coronaria destra. Alcuni piccoli rami possono essere individuati nella parte prossimale dell'arteria. [4] [5]

Il ramo atriale circonflesso solitamente origina alla fine del tratto prossimale dell'arteria circonflessa, a livello del margine ottuso, e vascolarizza la parete infero-posteriore dell'atrio sinistro. [8]

### **2.3 Arteria coronaria destra**

L'arteria coronaria destra (ACDx) nasce dal seno di Valsalva destro, più anteriore e caudale del sinistro. Essa decorre per pochi millimetri anteriormente al tronco polmonare. Si piega poi verso il basso a decorrere nel solco atrioventricolare, circondando l'*anulus* della valvola tricuspide in modo speculare rispetto all'ACX, per raggiungere finalmente la *crux cordis*. Si divide qui, in caso di dominanza destra, nei suoi due rami terminali: arteria interventricolare posteriore (IVP) e ramo arterioso postero-laterale (PL).

Il primo ramo della ACDx è l'arteria del cono, o infundibolare, che decorre sulla superficie anterolaterale del tratto di efflusso del ventricolo destro. In una buona percentuale di casi questa arteria origina direttamente dall'aorta ascendente in prossimità dell'ostio dell'arteria coronaria destra. Essa rappresenta la fonte di un importante circolo collaterale per l'IVA: il circolo anastomotico di Vieussens

Rami atriali minori originano subito dopo il ramo del cono: questi sono il ramo anteriore destro, il ramo intermedio o marginale e il ramo posteriore.

Il secondo ramo di rilievo è, solitamente, l'arteria del nodo del seno: se questa non è presente, in alternativa, il nodo del seno viene vascolarizzato da un ramo prossimale dell'ACX. In alcuni casi entrambe le vie sono

presenti. Nel 10% dei casi, invece, sono presenti due arterie del nodo del seno ed originano da entrambe le coronarie. [5] [8]

Nel secondo tratto dell'arteria coronaria destra traggono origine i rami ventricolari destri (RV): essi decorrono sulla superficie del ventricolo destro e si dirigono verso il solco interventricolare anteriore.

A livello del margine acuto del cuore trae origine il vaso più costante della coronaria destra: il ramo per il margine acuto (MA). Esso decorre sulla superficie del ventricolo destro in direzione dell'apice.

L'arteria del nodo atrioventricolare (*AV Nodal*), solitamente presente, nasce distalmente dalla coronaria destra, ha decorso rettilineo e vascolarizza il setto interventricolare posteriore e il nodo atrioventricolare.

Nell'80-90% della popolazione l'arteria interventricolare posteriore (IVP) origina dalla coronaria destra. Esso è il ramo più importante della ACDx e decorre nell'omonimo solco senza raggiungere, però, l'apice del cuore. Da questo ramo originano le branche settali perforanti che perfondono il setto interventricolare nella sua porzione posteriore. [8]

Quando la dominanza coronarica è del sistema destro, l'ACDx dà origine al ramo postero-laterale destro (PL). Esso origina subito dopo il ramo IVP e viene considerato la normale prosecuzione dell'arteria coronaria destra. Il ramo PL ha notevole importanza in quanto, in caso di occlusione della coronaria sinistra, può essere in grado di sostenere la vascolarizzazione della parete postero-laterale del ventricolo sinistro. [5]



<i>Territorio di distribuzione</i>	<i>Arteria coronaria sinistra</i>	<i>Arteria coronaria destra</i>
Atrio sinistro	Rami atriali e ramo atriale intermedio emessi dal ramo circonflesso	
Atrio destro		Rami atriali e ramo atriale intermedio
Ventricolo sinistro		
• parte anteriore	Arteria interventricolare anteriore e ramo laterale emesso dall'arteria interventricolare anteriore	
• parte laterale	Ramo marginale sinistro emesso dal ramo circonflesso*	
• parte posteriore	Ramo posteriore del ventricolo sinistro emesso dal ramo circonflesso	Ramo posterolaterale destro
Ventricolo destro		
• parte anteriore	Ramo per il cono arterioso emesso dall'arteria interventricolare anteriore per la porzione in vicinanza del setto interventricolare nonché piccole diramazioni dell'arteria interventricolare anteriore	Ramo per il cono arterioso nonché piccole diramazioni e ramo marginale destro
• parte laterale		Ramo marginale destro
• parte posteriore		Arteria interventricolare posteriore
Setto interventricolare	Rami settali interventricolari emessi dall'arteria interventricolare anteriore per la porzione maggiore anteriore del setto interventricolare	Rami settali interventricolari emessi dall'arteria interventricolare posteriore per la porzione minore posteriore del setto interventricolare
Nodo senoatriale	Ramo del nodo senoatriale emesso dal ramo circonflesso	Ramo del nodo senoatriale
Nodo atrioventricolare		Ramo del nodo atrioventricolare

\* L'origine del ramo marginale sinistro è variabile: di solito esso ha origine dal ramo circonflesso, spesso però può sfociarsi dall'arteria interventricolare anteriore.

*Figura 1*  
*Arterie coronarie e territori di irrorazione [4]*

Il modello vascolare sopra descritto può essere ritenuto valido, in generale, a scopo accademico. Nella realtà, però, l'anatomia del circolo arterioso coronarico è molto variabile e difficilmente due individui diversi presentano la stessa conformazione vasale. Le diverse possibili varianti anatomiche fanno comunque parte di un quadro di normalità e non pregiudicano in alcun modo la bontà del circolo che le arterie sostengono. [4]

## **2.4 Generalità del circolo venoso**

Parallelamente a quello delle arterie coronarie, nel cuore è presente anche un sistema venoso che raccoglie il sangue refluo della circolazione

coronarica. Il più importante, di questo sistema, è un grosso e breve vaso venoso situato sulla faccia diaframmatica del cuore e accolto nella parte sinistra del solco coronario, insieme al ramo circonflesso dell'arteria coronaria sinistra: il seno coronario. Le vene che si raccolgono nel seno coronario seguono, a ritroso, il decorso dei principali rami arteriosi e sono: vena cardiaca *magna*, vena marginale sinistra, vena obliqua dell'atrio sinistro, vena cardiaca media e vena cardiaca *parva*. Altre vene, chiamate vene anteriori del ventricolo destro (o vene cardiache anteriori) sboccano direttamente nell'atrio destro. Più piccole sono, invece, le vene cardiache minime (o vene di Tebesio) che raccolgono il sangue da limitati distretti del miocardio e si aprono, senza un ordine preciso, nella cavità cardiaca più vicina mediante piccoli orifizi. Sono più numerose in corrispondenza dell'atrio destro. [4]

### 3. MALATTIA CORONARICA

Per malattia coronarica, o coronaropatia, si intende una sindrome che implica una parziale o completa ostruzione dell'afflusso sanguigno al muscolo cardiaco. Il miocardio necessita di un costante apporto di sangue ossigenato. Garanti di questo sono le arterie coronarie. La coronaropatia, restringendo il lume delle suddette arterie, può ostruire il flusso ematico causando dolore toracico, conosciuto come angina, o infarto miocardico.

Lo studio di questa affezione è di particolare rilevanza in quanto costituisce la principale causa di morte nei paesi ad alto reddito, sia nella popolazione maschile che in quella femminile, ed è altresì responsabile di un terzo di tutti i decessi.

La coronaropatia, e più precisamente l'aterosclerosi coronarica, comporta un accumulo di depositi di grassi nelle pareti interne dei vasi. Questa condizione può progredire provocando un restringimento, finanche la completa ostruzione del flusso di sangue nell'arteria.

Il tasso di decessi aumenta di pari passo con l'età e, in generale, è più elevato negli uomini che nelle donne, specialmente se si considera la fascia di età tra i 35 e i 55 anni. Dopo i 55 anni il tasso di mortalità si riduce negli uomini mentre nelle donne continua ad aumentare. Passati i 70-75 anni, il tasso di mortalità nel sesso femminile è pressoché sovrapponibile a quello che si riscontra nel sesso maschile.

La coronaropatia è quasi sempre dovuta ad accumuli di colesterolo e altri grassi sulle pareti delle arterie coronarie. Queste placche sono chiamate "ateromi", o "placche aterosclerotiche". Questo processo prende dunque il nome di "aterosclerosi": letteralmente "indurimento delle arterie".

Il motivo più comune di riduzione anomala del flusso di sangue al cuore è, dunque, l'aterosclerosi. Altre cause meno comuni devono però essere menzionate. Queste sono: spasmo di un'arteria coronaria, che può insorgere spontaneamente o in seguito all'assunzione di alcune sostanze

quali nicotina o cocaina; disfunzione endoteliale, ovvero l'arteria non si dilata in risposta ad una necessità di maggiore afflusso sanguigno; difetti congeniti; dissezione di arteria coronaria; *lupus* eritematoso sistemico; arterite; coagulo di sangue derivante da una camera cardiaca; danno fisico a causa di un trauma o di radioterapia.

La crescita di un ateroma ne può determinare la sporgenza dalla parete arteriosa con conseguente riduzione del lume coronarico e parziale ostruzione del flusso ematico. Con il passare del tempo si costituiscono depositi di calcio all'interno dell'ateroma stesso, che tendono ad ostruire sempre più il flusso di sangue ossigenato destinato al miocardio. Questo processo evolve nel tempo fino a rendere insufficiente l'apporto ematico, in particolar modo in condizioni di sforzo, quando il muscolo cardiaco richiede una maggiore quantità di sangue. Un inadeguato apporto di sangue al muscolo cardiaco viene definito "ischemia miocardica": se il cuore non riceve sufficiente sangue non può contrarsi e di conseguenza svolgere normalmente la propria funzione. [9] [12]

L'ateroma, anche se non ostruisce completamente il flusso sanguigno, può rompersi bruscamente e causare la formazione di un trombo che restringe ulteriormente, o ostruisce completamente, l'arteria, dando luogo ad un'ischemia miocardica acuta che porta ad angina instabile o ad attacco cardiaco. Questo, a sua volta, porta a morte l'area del muscolo cardiaco perfusa dall'arteria ostruita: il cosiddetto "infarto miocardico". [9] [12]

### **3.1 Fattori di rischio**

Esistono molteplici fattori che concorrono ad aumentare il rischio di sviluppare una coronaropatia. Alcuni non sono modificabili. Tra questi troviamo l'avanzare dell'età, l'appartenere al sesso maschile e l'aver un'anamnesi familiare di coronaropatia precoce. Per familiarità di coronaropatia precoce è da intendersi l'aver un parente prossimo che

abbia sviluppato la malattia prima dei 55 anni, se di sesso maschile, o dei 65 anni se di sesso femminile. Altri fattori di rischio sono invece modificabili. Questi si prestano allo studio e sono particolarmente importanti: sono infatti gli elementi sui quali si può intervenire al fine di ridurre il rischio di malattia coronarica e, conseguentemente, di morte. Particolare rilevanza assumono gli alti livelli ematici di colesterolo veicolato dalle lipoproteine a bassa densità (LDL), gli alti livelli ematici di lipoproteina (a), e i bassi livelli ematici di colesterolo veicolato da lipoproteine ad alta densità (HDL). Altri fattori di rischio sono rappresentati dal diabete mellito, dal fumo (anche passivo), dall'ipertensione arteriosa e dall'obesità, dall'inattività fisica, da fattori dietetici e da alti livelli ematici di proteina C-reattiva (CRP). In particolare, il fumo aumenta di più del doppio il rischio di coronaropatia e di attacco cardiaco. Per quanto riguarda i fattori dietetici, invece, si riscontra un aumento del rischio dovuto a diete povere di fibre, di fitochimici e di vitamine C, D ed E. Alcuni soggetti risentono di diete povere di acidi grassi polinsaturi omega-3. Altri fattori di rischio comprendono l'ipotiroidismo, l'iperomocisteinemia e un alto livello di apolipoproteina B (apo B). Non è noto se l'infezione di certi organismi contribuisca o meno allo sviluppo della malattia coronarica. [9] [10]

### **3.2 Diagnosi**

Al fine di valutare l'apporto di sangue al muscolo cardiaco e stabilire l'eventuale presenza ed estensione di coronaropatia, il personale medico si avvale di specifiche procedure.

Il test della "tolleranza alla prova sotto sforzo" si basa su un principio: se le arterie coronarie sono parzialmente ostruite, il cuore può ricevere apporto ematico adeguato in condizioni di riposo ma non in condizioni di stress fisico o farmacologico. In questo frangente, infatti, la richiesta di sangue al miocardio è massima e l'apporto coronarico, se alterato, risulta insufficiente. Durante l'esame il paziente viene continuamente monitorato

tramite ECG, ricercando eventuali alterazioni che suggeriscano presenza di ischemia. In caso il test da sforzo risulti positivo, si eseguono solitamente esami più specifici, come la scintigrafia miocardica di perfusione, al fine di identificare le porzioni di cuore che non ricevono adeguato apporto di ossigeno. Questa procedura può essere d'aiuto per stabilire se sia necessaria una angiografia coronarica.

Altro valido strumento è il monitoraggio con ECG continuo mediante monitor Holter. Questo consente di accertare alterazioni, indicative di ischemia sintomatica o silente, o angina variante, che di solito si presenta a riposo.

Un esame di relativa veloce esecuzione, che fa uso di onde meccaniche per riprodurre immagini del cuore, è l'ecocardiografia. Tale procedura mostra le dimensioni del cuore, il flusso sanguigno attraverso le valvole cardiache e la funzione valvolare. Può essere eseguita sia a riposo sia sotto sforzo e, in caso di ischemia, la contrattilità del ventricolo sinistro risulta alterata. [11]

Nella diagnostica per immagini cardiaca, la risonanza magnetica è una procedura costosa e sofisticata. Questa viene utilizzata soprattutto per la diagnosi di cardiopatie complesse congenite e per discriminare il tessuto anomalo da quello normale. Sebbene sia un esame che non espone il paziente a radiazioni ionizzanti, l'acquisizione di immagini con tecniche di RM è notevolmente lunga e complessa. Sono necessarie apparecchiature che supportino acquisizioni *gated*, ovvero sincronizzate con il battito cardiaco del paziente, e vanno inoltre considerati tutti gli svantaggi dell'*imaging* a risonanza magnetica: pazienti claustrofobici, eccessivamente pingui, portatori di impianti cocleari o di *pacemaker*, con pompe per il rilascio di farmaci o neurostimolatori impiantati, con *clips* endocerebrali utilizzate per il trattamento degli aneurismi, schegge o parti metalliche in genere, non possono accedere alla risonanza magnetica. [13]

La tomografia computerizzata (TC) è in grado di rilevare la quantità di depositi di calcio nelle arterie coronarie. La quantità di calcio presente (*calcium score*) è approssimativamente proporzionale alla probabilità che il soggetto sviluppi angina o attacco cardiaco. Tuttavia, poiché depositi del minerale possono essere presenti anche in soggetti con grado non elevato di stenosi coronarica, il “punteggio del calcio” non è un fattore predittivo della necessità di interventi cardiaci percutanei (ICP).

Ricorrendo all'acquisizione di immagini in alta definizione, senza e con mezzo di contrasto, la metodica TC consente di fare diagnosi di malattia coronarica, permettendo di caratterizzare anche la morfologia della placca. Tuttavia, in pazienti ad elevato rischio cardiovascolare, di età avanzata o con aritmie come la fibrillazione atriale, la TC non ha lo stesso potere diagnostico della coronarografia tradizionale, che per questi soggetti rappresenta ancora oggi il *gold standard*. Inoltre, a differenza della coronarografia, la TC consente la diagnosi ma non il trattamento della patologia coronarica che, se necessaria e ove possibile, viene solitamente svolta contestualmente alla coronarografia. La TC coronarica è dunque indicata nello *screening* in fase iniziale, in pazienti con lieve o moderata malattia coronarica. In caso di coronaropatia critica, invece, la coronarografia è attualmente l'esame definitivo. [11]

La coronarografia è una angiografia delle arterie coronarie ottenuta in modo invasivo. È una metodica radiologica che impiega raggi X e che consente, mediante l'iniezione selettiva di mezzo di contrasto nelle arterie coronarie epicardiche, l'opacizzazione dell'albero coronarico. Essa consente di stabilire la presenza, la sede e la severità di eventuali lesioni coronariche e di eventuali stenosi, che possono alterare il flusso sanguigno nel miocardio. I recenti notevoli progressi scientifici e tecnologici hanno reso l'angiografia coronarica il *gold standard* per lo studio delle coronarie, per la diagnosi di coronaropatia, nonché il passaggio obbligato per ogni possibile rivascolarizzazione percutanea o chirurgica [14] [15]





## 4. CORONAROGRAFIA

Nell'elenco delle numerose indicazioni per la coronarografia, alcune sono universalmente riconosciute e formalizzate, altre sono ancora oggetto di discussione. In linea generale, si può affermare che la coronarografia non è mai uno strumento di *screening* e che il cardiologo interventista deve sempre analizzare, prima dell'esame, il rapporto rischio-beneficio. Si citano, di seguito, le principali indicazioni:

- pazienti ad alto rischio: angina instabile o che non risponde al trattamento medico, angina residua dopo infarto o post-rivascolarizzazione, angina e insufficienza cardiaca, sindrome coronarica acuta con o senza elevazione del tratto ST;
- pazienti con test funzionali (ECG ed ecocardiografia sotto stress) positivi o non derimenti;
- quadro evocativo di una malattia coronarica spastica, o angina di Prinzmetal, nei soggetti giovani e fumatori;
- grave alterazione della funzione ventricolare sinistra di origine indeterminata, con frazione di eiezione inferiore al 40%;
- individuazione delle malattie valvolari, in caso di discordanza tra i sintomi e il grado di gravità dettato dagli esami non invasivi;
- valutazione preliminare alla chirurgia valvolare in pazienti di età superiore ai 40 anni;
- valutazione preoperatoria, prima di un intervento chirurgico vascolare importante come, ad esempio, la resezione di un aneurisma dell'aorta addominale;
- valutazione preoperatoria, prima dell'intervento chirurgico, per il trattamento di una cardiopatia congenita.

Non esistono vere e proprie controindicazioni assolute alla realizzazione di una coronarografia, a condizione che il beneficio atteso possa superare il

rischio sostenuto e che il paziente venga adeguatamente informato sulla procedura, accettandola.

Prima della procedura i pazienti devono sospendere l'eventuale assunzione di anticoagulanti. Non va invece interrotta l'assunzione di antiaggreganti. Vista la nefrotossicità del mezzo di contrasto iodato impiegato, viene proposta, per i pazienti con insufficienza renale, una iperidratazione nel periodo immediatamente precedente e successivo alla procedura. In caso di allergia nota o sospetta al mezzo di contrasto, si esegue un'adeguata premedicazione a base di corticosteroidi e antistaminici. L'esame viene eseguito, se le circostanze lo permettono, dopo 4-6 ore di digiuno. [14]

La coronarografia viene eseguita in una sala angiografica appositamente attrezzata. La sala di emodinamica deve essere dotata di un poligrafo che permetta il monitoraggio continuo del paziente tramite la visualizzazione dell'ECG, delle pressioni invasive ottenute mediante cateteri e trasduttori di pressione, e della pulsossimetria. Devono essere presenti farmaci e strumenti per la rianimazione cardiorespiratoria. La sala di emodinamica è composta da un lettino radiotrasparente, sul quale giace il paziente, al cui lato sono presenti i comandi che consentono il movimento del tavolo e del tubo radiogeno in tutte le direzioni. Sullo stesso asse longitudinale del lettino è presente un arco a C. Alle sue estremità sono presenti il tubo radiogeno, da un lato, e il detettore, dall'altro. I detettori di ultima generazione sono detettori digitali *flat panel*. I raggi X originano dal tubo radiogeno, attraversano il lettino, quindi il paziente, e raggiungono il detettore. Le immagini rielaborate vengono visualizzate su uno schermo che si trova in sala, di fronte agli operatori, oltre che esternamente alla sala. I comandi per il lettino e per il complesso tubo-detettore sono estremamente responsivi e fluidi, in modo tale da permettere di ottenere rapidamente diverse immagini da più angolazioni. A tal proposito, è da rilevare come le immagini ottenute siano bidimensionali e che, per tale motivo, più proiezioni sono necessarie per una corretta valutazione, non solo dell'albero arterioso, ma anche delle stenosi coronariche. In caso di

stenosi di tipo eccentrico, ad esempio, se si osserva il restringimento vasale da un'unica angolazione, si può facilmente sovra o sottostimare la malattia. [15]

Durante la procedura il paziente è generalmente sveglio e l'esame inizia con la scelta della via vascolare più idonea per l'accesso arterioso percutaneo. L'accesso arterioso preferenziale, in Europa utilizzato nell'80% dei casi, è quello radiale: questo riduce la probabilità di complicanze vascolari e di emorragie maggiori, che sono invece primariamente associate agli accessi femorali. Avvalersi del test di Allen prima dell'inizio della procedura è, tutt'ora, una pratica dibattuta.

Successivamente, viene sistematicamente eseguita una anestesia locale con lidocaina 2%. Per la puntura arteriosa, la metodica di prima scelta è quella descritta dal Seldinger. Tale tecnica prevede che il vaso da incannulare sia perforato tramite un ago, seguendo punti di repere anatomici o sotto guida ecografica. Una volta punto il vaso, si inserisce all'interno dell'ago un filo guida che viene fatto avanzare nel lume vasale. Si rimuove successivamente l'ago e, sul filo guida, si fa avanzare un introduttore dotato di dilatatore. A questo punto si rimuovono il filo guida e il dilatatore, lasciando l'introduttore valvolato in sede. Attraverso questo introduttore valvolato, si inserisce un filo guida angiografico che viene portato fino al piano valvolare aortico. Sul filo guida si procede, quindi, all'avanzamento del catetere diagnostico, di circa 2 mm di diametro (6 French), fino al seno coronarico desiderato. Si rimuove, a questo punto, il filo guida e si procede al cateterismo selettivo dell'arteria coronaria desiderata. Una volta controllata la posizione del catetere sotto guida fluoroscopica, e dopo aver visionata la curva pressoria per verificare che la punta del catetere sia coassiale all'ostio del vaso scelto, viene iniettato il mezzo di contrasto. A questo punto, l'acquisizione digitale di immagini in alta qualità fornisce le informazioni attese sull'anatomia coronarica. [14]  
[15]

## 4.1 Principi tecnici generali

Per ragioni geometriche e di radioprotezione, le immagini angiografiche delle arterie coronarie vengono ottenute con il tubo radiogeno posto posteriormente al paziente, mentre il detettore è tenuto il più vicino possibile al torace. Si riesce, in tal modo, a tenere sotto controllo l'esposizione alle radiazioni del paziente e del personale di sala e, al contempo, evitare ingrandimenti e distorsioni nelle immagini acquisite. Il nome, alle proiezioni angiografiche, viene dato in base alla posizione del detettore rispetto al piano frontale del paziente. Il grado delle angolazioni destra e sinistra, invece, è dato dall'angolo formato dalla sorgente di raggi X con il piano sagittale mediano del paziente. Gli angoli craniale e caudale sono dati dall'angolo formato dalla sorgente di raggi X con il piano trasversale mediano del paziente. [16]

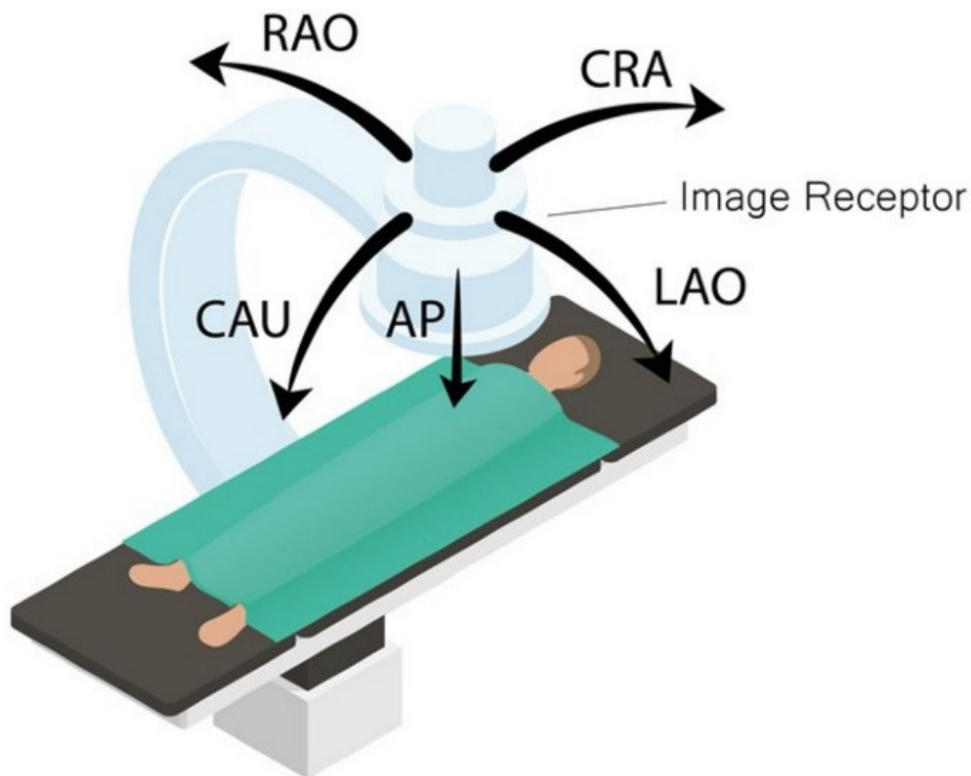


Figura 2

*Nome delle proiezioni in funzione della posizione del detettore rispetto al piano sagittale mediano del paziente [16]*

Contrariamente alla radiologia tradizionale, visti i decorsi delle arterie coronarie, è necessario ricorrere a proiezioni oblique per avere un'ottimale rappresentazione dei vasi. Le due arterie coronarie, infatti, decorrendo sui solchi atrioventricolari e interventricolari, risultano orientate, rispetto al piano sagittale mediano del paziente, a circa 30°-40° la destra, e a circa 45°-60° la sinistra. Conseguenza di ciò è che le due proiezioni ortogonali, secondo gli assi maggiori di riferimento del cuore, risultano essere le viste "obliqua anteriore destra" (OAD) e "obliqua anteriore sinistra" (OAS). Sono, come sempre, necessarie due diverse proiezioni ortogonali per valutare la presenza di eventuali lesioni vascolari, a maggior ragione perché le placche ateromasiche delle arterie coronarie sono spesso di natura eccentrica. A ragione di questo, con una singola vista angiografica le stenosi potrebbero essere mascherate o sottostimate, o il vaso potrebbe apparire accorciato. [16]

Poiché la coronarografia è il primo passo obbligato per qualsiasi tipo di trattamento chirurgico o percutaneo, si rende necessario seguire alcune regole generali per garantire l'adeguatezza dell'esame angiografico:

- deve essere garantita la visualizzazione di tutti i segmenti delle coronarie in esame e degli eventuali circoli collaterali;
- i movimenti del lettino devono essere mantenuti al minimo. Se non è possibile la visualizzazione dell'intera coronaria, è consigliato iniziare con il tratto prossimale per poi giungere, spostandosi, a quello distale;
- il fascio radiante va collimato alla *silhouette* cardiaca;
- si devono attendere, dall'inizio della grafia, uno o due secondi prima di comandare l'iniezione del mezzo di contrasto, al fine di valutare eventuali *stents* o la presenza di calcificazioni;
- prima dell'iniezione del mezzo di contrasto, ci si deve assicurare della presenza del reflusso del catetere in aorta e che la curva pressoria non

indichi un cateterismo ostruttivo, al fine di evitare dissezioni vasali e documentare eventuali lesioni ostiali;

- l'iniezione e la conseguente acquisizione angiografica devono avere una opportuna durata, al fine di poter valutare gli eventuali vasi collaterali e il microcircolo coronarico. [16]

Una angiografia coronarica ideale dovrebbe, dunque, svolgersi per fasi: nella prima fase, senza ausilio di mezzo di contrasto, si valutano eventuali *stents* e calcificazioni. Nella seconda fase, che inizia con l'iniezione del mezzo di contrasto, si valutano la velocità e i difetti di riempimento delle arterie coronarie, prendendo atto di eventuali restringimenti o occlusioni. Nella terza fase si valuta la velocità di svuotamento delle arterie dal mezzo di contrasto e il suo eventuale ristagno all'interno dei vasi. Nell'ultima fase si valutano in maniera ottimale i circoli collaterali e il microcircolo, finendo con la visualizzazione del circolo venoso. Per meglio visualizzare le coronarie, visto il loro calibro ridotto (2-3 mm circa), si utilizza solitamente un campo di vista 16x16 cm o 17x17 cm. [16]

I fattori soggettivi che concorrono a definire l'individualità del paziente quali *habitus* costituzionale, variazione delle dimensioni del cuore in relazione alle diverse fasi del ciclo cardiaco e della respirazione, eventuale cardiopatia sottostante o precedenti interventi cardiocirurgici, rendono impossibile una definizione precisa e univoca degli angoli proiettivi. [16]

Nonostante questa variabilità, in linea generale, le coronarie possono essere visualizzate in ogni loro segmento utilizzando tre proiezioni per la coronaria sinistra e due proiezioni per la coronaria destra. Considerata tuttavia la variabilità della struttura cardiaca, in caso di anatomie vascolari complesse o sovrapposizione di rami coronarici nella visualizzazione grafica, possono rendersi necessarie alcune proiezioni aggiuntive. La scelta dei diversi angoli proiettivi dipende da un insieme di fattori geometrici e dalle relazioni che tra questi sussistono: decorso, curvatura, tortuosità dei vasi, sovrapposizioni, presenza di rami collaterali e morfologia dell'eventuale lesione in esame. [16]

## 4.2 Studio della coronaria sinistra

Lo studio dell'albero coronarico può indifferentemente iniziare dall'arteria coronaria destra o da quella sinistra, a seconda delle circostanze. Solitamente si preferisce iniziare dalla sinistra. [17]

A ragione del fatto che il tronco comune della coronaria sinistra si sviluppa sul piano orizzontale, per l'incannulamento selettivo di suddetto vaso il cardiologo interventista si avvale di una vista in antero-posteriore (AP) o, in alcune circostanze, di una vista obliqua anteriore sinistra (OAS) di 30°. Lo scopo dell'incannulamento è quello di allineare la punta del catetere in maniera tale che risulti coassiale all'ostio della coronaria in esame, facendo conseguentemente registrare una curva pressoria arteriosa invasiva normale e continua, prima di procedere con l'iniezione del mezzo di contrasto. A motivo di questo, durante il processo di incannulazione, vanno continuamente controllati l'ECG e la curva pressoria del paziente. Va inoltre eseguita una piccola iniezione test di MDC (*scout*), per verificare che il vaso sia correttamente incannulato, che sia presente il *backflow* aortico e che siano assenti lesioni ostiali prossimali. [16]

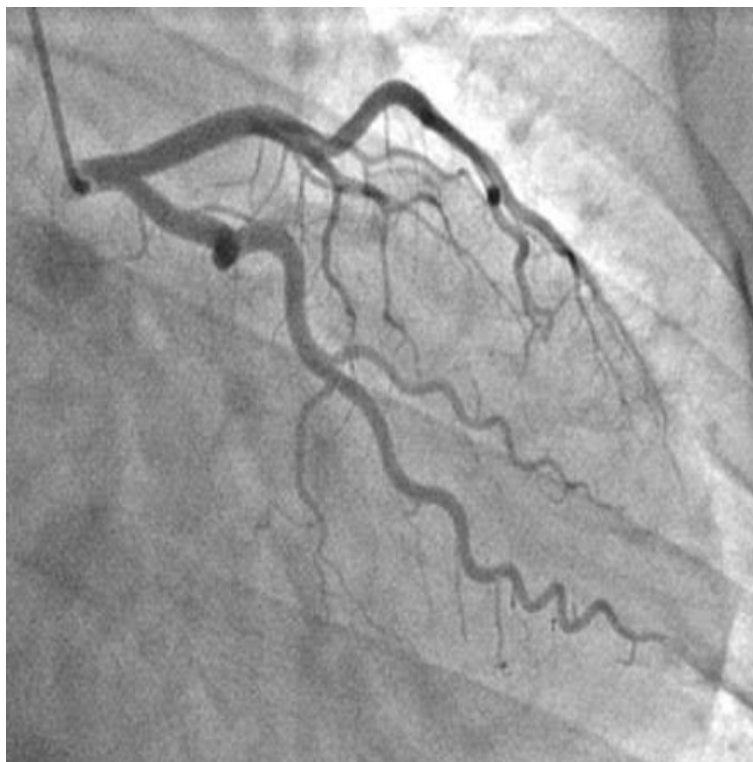
Una volta correttamente incannulato il tronco comune della coronaria sinistra, si può procedere con l'iniezione del mezzo di contrasto e con la conseguente acquisizione di immagini angiografiche a scopo diagnostico. I parametri da utilizzare per l'iniezione del MDC sono configurabili a monitor dell'iniettore automatico. Iniezioni troppo lente del mezzo di contrasto possono portare ad una non ottimale opacizzazione delle arterie, mentre iniezioni troppo vigorose possono provocare uno spostamento del catetere dall'ostio e provocare dissezioni coronariche: la velocità dell'iniezione potrà, dunque, variare in base alle dimensioni del vaso e alla resistenza opposta dall'arteria. Un volume di 3-10 mL di MDC è spesso sufficiente a riempire rapidamente l'arteria, delinearne i bordi e valutare il deflusso. [16]

In linea generale, per la coronaria sinistra, potranno essere utilizzati valori attorno agli 8 mL di volume e 4 mL/sec di flusso, con una rampa di salita (tempo impiegato dall'iniettore a raggiungere il flusso impostato) di 0,5 sec e una pressione massima raggiungibile di 600 psi. [17]

Le tre proiezioni di base, elettive per lo studio della coronaria sinistra, di un possibile protocollo, sono la vista OAD 30° CAU 20°, la vista AP CRA 35° e la vista OAS 45°-50° CAU 30°-35° (*spider*). [16]

Per una ottimale centratura dell'acquisizione in OAD 30° CAU 20°, la punta del catetere andrà visualizzata nella zona superiore sinistra dello schermo. Questa proiezione consente una buona visualizzazione della ACX (origine e decorso), compresi i suoi rami marginali ottusi, del tronco comune e della sua biforcazione, dell'IVA prossimale e del suo tratto distale e, se presente, del tratto prossimale del ramo intermedio. Il grado di caudalizzazione, precedentemente fissato a 20°, è in realtà determinato dall'angolo richiesto per svolgere la biforcazione tra ACX e IVA, ottenendo così un'ottimale rappresentazione dei tratti prossimali e medi dell'ACX e della sua biforcazione con i rami MO. [16]

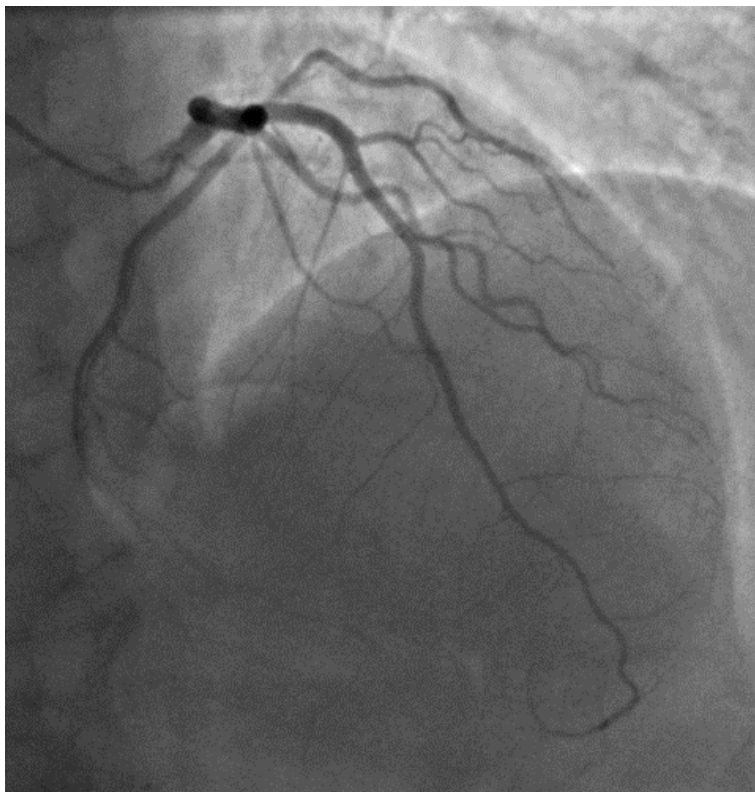




*Figura 3*  
*Proiezione OAD 30° CAU 20° [16]*

Lo studio può proseguire con l'acquisizione in AP CRA 35°. La punta del catetere, come per la proiezione precedente, andrà visualizzata nella parte superiore sinistra dello schermo. Questa proiezione consente un'ideale visualizzazione dell'ostio del tronco comune, dell'IVA (in particolare del suo tratto medio), dell'origine e del decorso dei rami perforanti settali, e dei tratti medio e distale dei rami diagonali. Generalmente, seppur sovrapponendo i tratti prossimali dell'ACX, è tuttavia utile per il suo tratto distale e per il suo eventuale ramo PL. La cranializzazione, in questa vista, serve a separare i rami DIAG e SP, che si proietteranno in direzioni opposte senza sovrapposizioni, dai tratti prossimale e medio dell'IVA. Al fine di ottenere un ulteriore allungamento proiettivo dell'IVA e di togliere la sovrapposizione del diaframma dall'immagine, si può chiedere al paziente di mantenere l'apnea inspiratoria profonda durante l'acquisizione delle immagini. Per ovviare

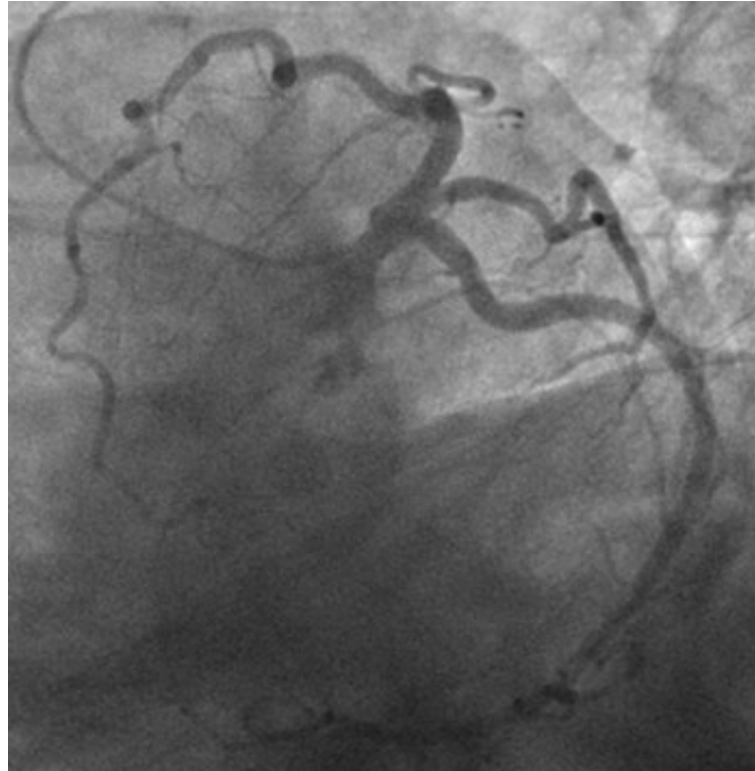
alla sovrapposizione del catetere e della colonna vertebrale con l'IVA è, spesso, utile una leggera obliquità destra di 5°-10°. [16]



*Figura 4*  
*Proiezione AP CRA 35° [16]*

La terza proiezione è, solitamente, l'OAS 45°-50° CAU 30°-35°, denominata "spider" a causa della caratteristica forma che assumono sull'immagine le arterie opacizzate. Per la corretta centratura ci si posizionerà, questa volta, con la punta del catetere al centro dell'immagine mostrata sullo schermo. Questa vista consente una buona visualizzazione del tronco comune, in particolar modo della sua biforcazione, del tratto prossimale dell'IVA e dell'origine del suo primo ramo diagonale, dei tratti prossimale e medio dell'ACX e dell'origine dei suoi rami marginali ottusi. Se presente, consente anche una buona visualizzazione dell'origine e del tratto prossimale del ramo intermedio. La lateralità e la caudalizzazione della proiezione possono essere aumentate,

per ottenere un risultato ottimale, nel caso in cui il cuore in esame assuma una posizione più orizzontale all'interno del torace. [16]

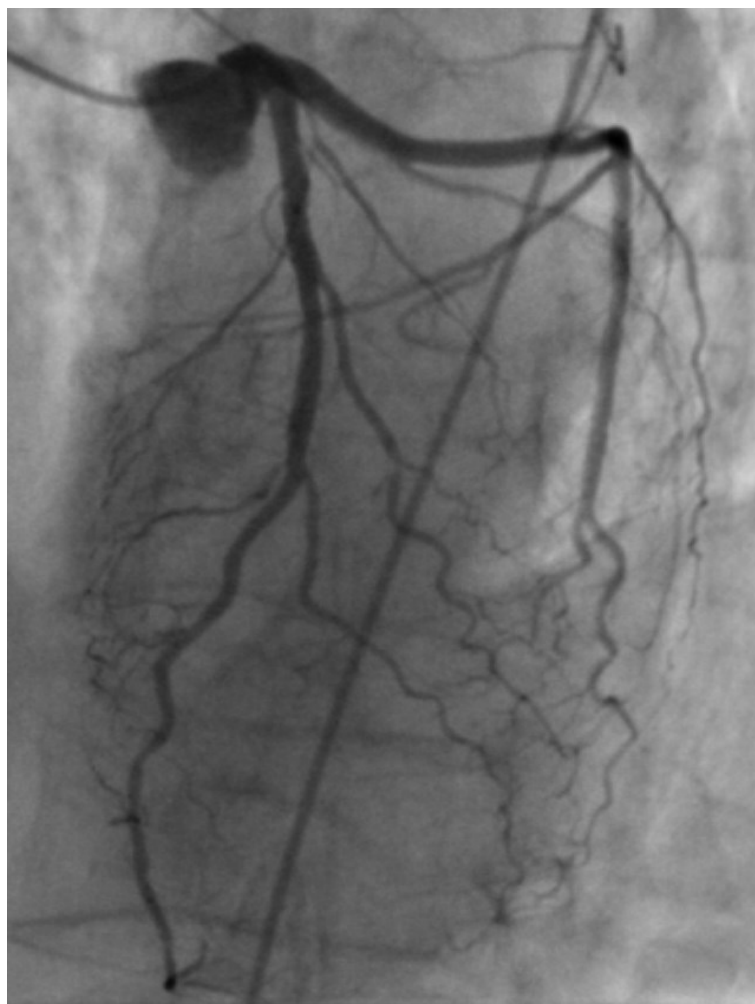


*Figura 5*  
*Proiezione "Spider" [16]*

Nonostante, il più delle volte, queste tre proiezioni siano sufficienti per uno studio ottimale della coronaria sinistra nella sua interezza, si possono aggiungere, in un possibile protocollo operativo, varie proiezioni per enfatizzare alcuni tratti di particolare rilevanza diagnostica.

Nella lista di queste proiezioni aggiuntive troviamo la OAS 45° CRA 35°. La corretta centratura prevede che la punta del catetere venga portata in alto e al centro dello schermo. Questa proiezione ottimizza la visualizzazione dell'ostio del TC, dei tratti prossimale e medio dell'IVA e separa ad arte i rami DIAG e SP. Sebbene non offra una buona visualizzazione del primo tratto dell'ACX, offre una buona visualizzazione dei suoi tratti medio e distale, soprattutto in caso di dominanza sinistra, evidenziandone il ramo IVP. Il grado di cranializzazione della proiezione

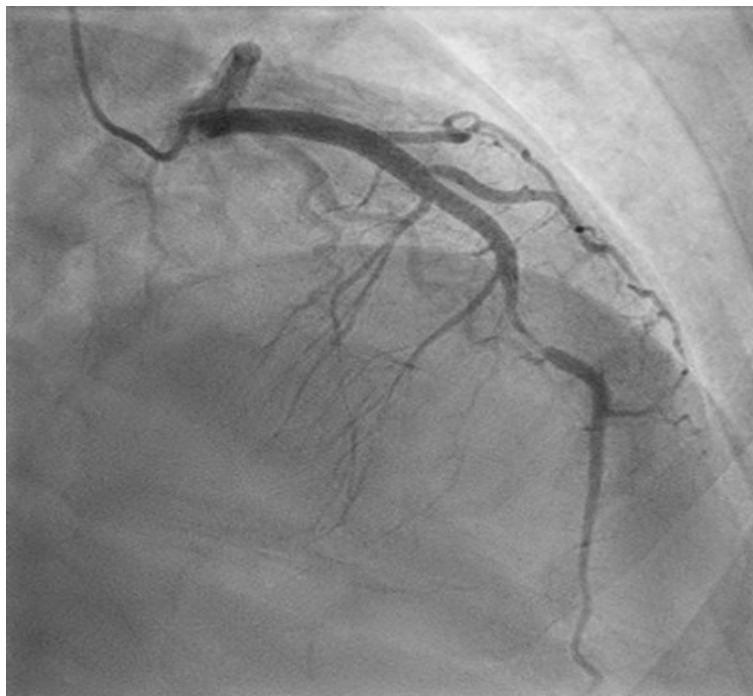
va aumentato in caso di pronunciata verticalità del cuore. A causa della posizione del tubo radiogeno, purtroppo, si associa a questa proiezione una dose di radiazioni piuttosto elevata agli operatori sanitari e al paziente. [16]



*Figura 6*  
*Proiezione OAS 45° CRA 35° [16]*

Una seconda possibile proiezione è la OAD 30° CRA 35°. Per una ottimale visualizzazione di tutta la coronaria, la punta del catetere deve comparire in alto e a sinistra dello schermo. Questa proiezione offre una buona visualizzazione dei tratti medio e distale dell'IVA e dell'origine dei suoi rami diagonali. Offre altresì una buona visualizzazione del tratto

distale dell'ACX e, di conseguenza, in caso di dominanza sinistra, dei suoi rami PL e IVP. [16]



*Figura 7*

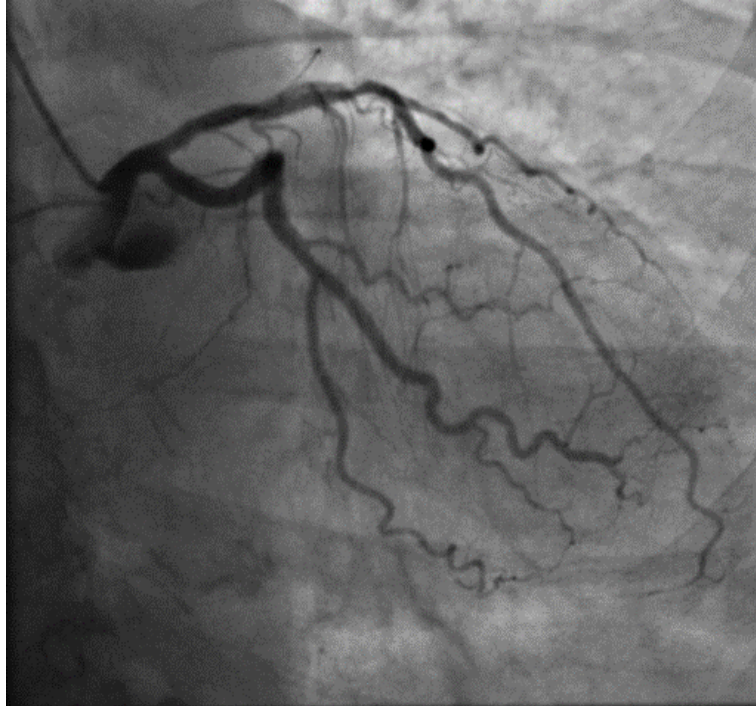
*Proiezione OAD 30° CRA 35° [16]*

Ulteriore possibile proiezione è la LL, con tubo radiogeno posizionato alla destra del paziente. A questa proiezione si associa, come alla proiezione OAS 45° CRA 35°, una dose rilevante a operatori e paziente. La presenza degli arti superiori del paziente può, inoltre, ostacolare la bontà della vista. La punta del catetere dovrebbe essere posizionata in alto e al centro dello schermo. Questa proiezione offre un'ottima visualizzazione del tratto medio dell'IVA e, soprattutto, del suo tratto distale, così fornendo, a tutti gli effetti, una vista complementare a quella della proiezione OAD 30° CAU 20°. Il tratto medio dell'ACX è anch'esso visualizzato. [16]



*Figura 8*  
*Proiezione LL sinistra [16]*

La proiezione AP CAU 30° può essere utilizzata per ottimizzare la visualizzazione di tutto il tronco comune, fino a valorizzare i tratti prossimali di IVA e ACX. L'ACX è rappresentata completamente e in maniera ottimale, soprattutto nei suoi rami MO. La punta del catetere va mantenuta in alto e a sinistra dello schermo. [16]



*Figura 9*  
*Proiezione AP CAU 30° [16]*

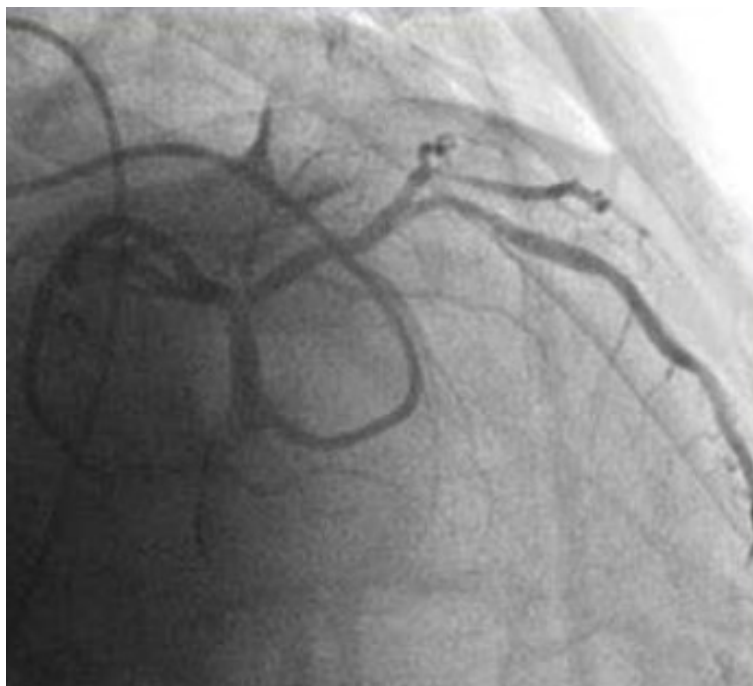
La proiezione AP, oltre ad offrire il supporto ideale per la cateterizzazione selettiva della coronaria sinistra, offre anche una buona visualizzazione del tronco comune, in particolar modo dei suoi ostio e corpo. La punta del catetere, per una centratura ottimale, deve comparire in alto e a sinistra dello schermo. [16]



*Figura 10*  
*Proiezione AP [16]*

Ulteriore proiezione possibile è la OAD 90°-120° CRA 30°-40°, recentemente battezzata “*reverse spider*”. La punta del catetere deve comparire al centro dello schermo. Questa vista offre una visualizzazione ottimale della biforcazione del TC o, se presente il ramo intermedio, della sua triforcazione. La *reverse spider* è utile quando non sia possibile ottenere una buona rappresentazione della bi-triforcazione del TC con le altre proiezioni convenzionali. Offre altresì una buona visualizzazione della separazione tra IVA e il suo primo ramo diagonale. [16]





*Figura 11*  
*Proiezione "Reverse Spider" [16]*

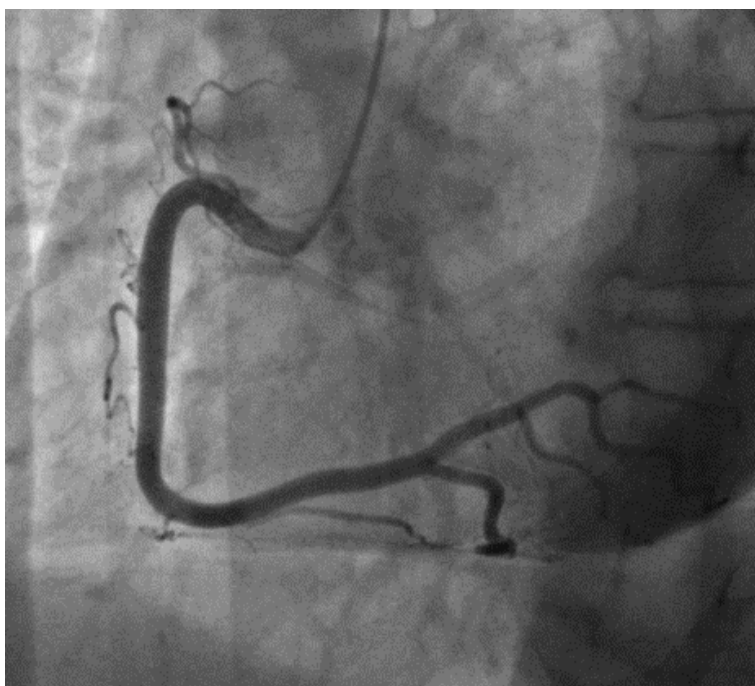
### **4.3 Studio della coronaria destra**

Concluso lo studio dell'arteria coronaria sinistra si procede con lo studio selettivo dell'arteria coronaria destra. A ragione del fatto che il tratto prossimale della coronaria destra si sviluppa lungo un piano inclinato di  $45^\circ$  rispetto al piano sagittale mediano, l'incannulazione selettiva della suddetta arteria va effettuata avvalendosi di una vista OAS  $45^\circ$ . Il fine ultimo della corretta incannulazione è lo stesso che per la coronaria sinistra e la prassi da adottare è la medesima.

Viste le minori dimensioni della coronaria destra rispetto alla sinistra, in linea generale, i parametri da utilizzare per l'iniezione del MDC potranno essere impostati attorno ai 6 mL di volume e 3 mL/sec di flusso, con una rampa di salita di 0,5 sec e una pressione massima raggiungibile di 500 psi. [16]

Le due proiezioni di base, elettive per lo studio della coronaria destra, di un possibile protocollo, sono la vista OAS 45° e la vista AP CRA 35°. [16]

Per una ottimale centratura dell'acquisizione in OAS 45°, la punta del catetere va mantenuta in alto e al centro dello schermo. Questa proiezione permette un'ottima visualizzazione generale dell'ACDx, dando particolare risalto all'ostio e al suo tratto prossimale, all'origine del ramo del cono, ai rami ventricolari destri e al ramo per il margine acuto. [16]



*Figura 12*  
*Proiezione OAS 45° [16]*

A seguire, per la proiezione AP CRA 35°, la punta del catetere andrà posizionata in alto e al centro dello schermo, come per la proiezione precedente. Questa vista permette una chiara visualizzazione della porzione più distale della coronaria destra e della *crux cordis*, offrendo, in caso di dominanza destra, un'ottimale iconografia dei rami IVP e PL. Consente altresì una buona valutazione di una eventuale collateralizzazione della coronaria destra con l'IVA. [16]



*Figura 13*  
*Proiezione AP CRA 35° [16]*

A queste proiezioni, in caso di necessità, possono essere aggiunte, in un possibile protocollo operativo, altre viste.

Una possibile proiezione aggiuntiva è la vista OAD 30°. Per una ottimale centratura, la punta del catetere va mantenuta in alto e al centro dello schermo. Questa vista offre una chiara rappresentazione del tratto medio dell'ACDx e dei suoi rami ventricolari, di tutto il ramo discendente posteriore e dei suoi rami perforanti settali. Anche con questa proiezione si può ben studiare una eventuale collateralizzazione, dell'IVP a favore dell'IVA. [16]



*Figura 14*  
*Proiezione OAD 30° [16]*

Una ulteriore proiezione aggiuntiva, per lo studio della coronaria destra, è quella OAS 25° CRA 30°. La punta del catetere va sempre mantenuta in alto e al centro dello schermo. Questa vista offre un'ottima iconografia di tutta la regione della *crux cordis*, dissociando i rami IVP, PL ed MA e visualizzandoli nella loro interezza. Offre altresì un'ideale rappresentazione dell'ostio e del tratto prossimale dell'ACDx. Estremizzando la proiezione (OAS 75°-85° CRA 35°-45°), si può enfatizzare la visualizzazione dell'ostio della coronaria destra. [18]



*Figura 15*

*Proiezione OAS 25° CRA 30° [16]*

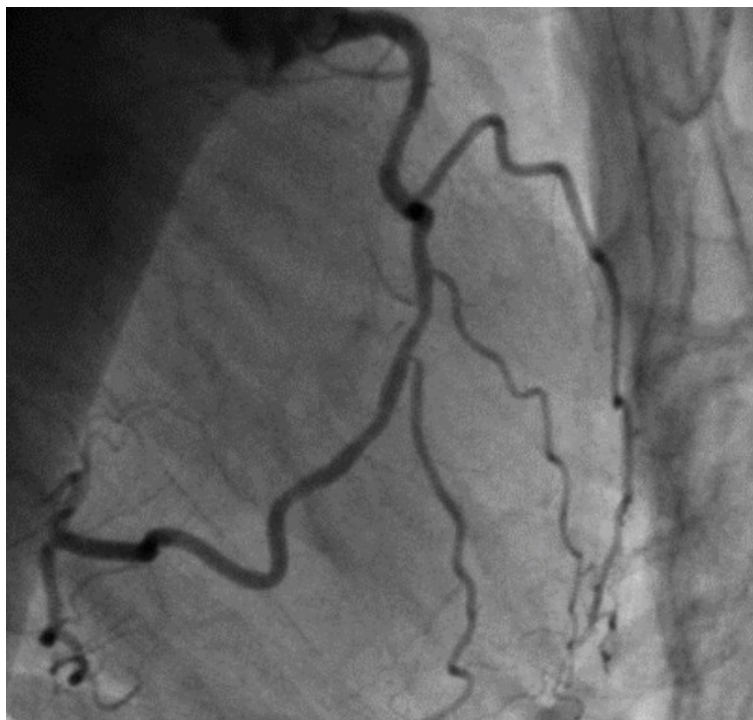
Altra possibile proiezione è la OAD 30° CRA 35°. Punta del catetere in alto e al centro dello schermo. Questa vista permette una buona valutazione del tratto prossimale dell'ACDx, del ramo per il margine acuto e della biforcazione IVP-PL. [16]



*Figura 16*

*Proiezione OAD 30° CRA 35° [16]*

Ulteriore possibile proiezione è la OAD 80° CAU 10°. Questa vista consente una buona valutazione del tratto medio dell'ACDx. Se l'origine della coronaria in questione è orientata anteriormente, questa acquisizione permette anche una altrettanto buona valutazione dell'ostio e del suo tratto più prossimale. A discapito di un accorciamento proiettivo dei rami IVP e PL, la proiezione ne rappresenta bene la loro biforcazione e, altrettanto bene, rappresenta il ramo per il margine acuto. La vista permette una buona valutazione anche del circolo collaterale a favore dell'IVA. [16]



*Figura 17*  
*Proiezione OAD 80° CAU 10° [16]*

Ridurre al minimo la dose radiante durante l'angiografia coronarica è di fondamentale importanza per la sicurezza globale della procedura. [19]

In linea generale, oltre ai molteplici dispositivi di protezione collettiva e individuale che vanno sempre e sistematicamente impiegati per tenere sotto controllo la dose agli operatori sanitari, andrebbe valutata, caso per caso, anche l'effettiva inderogabilità delle proiezioni effettuate con il detettore posizionato dalla parte opposta rispetto agli operatori. A queste proiezioni si associa, infatti, una dose notevolmente maggiore a carico di medici, infermieri e TSRM. Secondo questo principio, se possibile, sono dunque da preferire le proiezioni caudali rispetto a quelle craniali, e con obliquità destra rispetto alla sinistra. [16]





## 5. ACCENNI DI FISIOLOGIA DEL CORCOLO CORONARICO

Il cuore, in condizioni basali, si trova pressoché già nella sua condizione massimale di efficienza. Il miocardio estrae infatti la quasi totalità dell'ossigeno dal sangue arterioso a lui destinato. A questo, è da aggiungere il fatto che il cuore è un organo aerobico che non contiene riserve apprezzabili di ossigeno: il suo metabolismo è dettato dalla sua capacità di consumare l'ossigeno derivante dal flusso coronarico e, dunque in ultima analisi, dal flusso coronarico stesso. In condizioni di aumentata necessità di ossigeno da parte del muscolo cardiaco, questa può essere soddisfatta soltanto tramite un aumento del flusso coronarico. Così come il flusso sanguigno, all'interno di una arteria coronaria sana, è proporzionale alla pressione che si sviluppa all'interno del vaso, il flusso all'interno di una coronaria stenotica dipende dalle pressioni riscontrate a monte e a valle della stenosi stessa. Le limitazioni imposte dall'aterosclerosi influenzano, dunque, in modo importante il flusso e, di conseguenza, il metabolismo cardiaco. [8]

Ischemia è squilibrio tra apporto e richiesta di ossigeno e può essere evitata, nei territori a valle di una stenosi, soltanto grazie ai vasi collaterali che collegano le arterie epicardiche. Questi vasi, in condizioni non patologiche, sono generalmente chiusi, vista l'assenza di gradiente pressorio. Nel caso in cui si formi progressivamente una placca ateromasica, invece, si assiste ad un graduale aumento delle resistenze all'interno del vaso principale e il flusso viene deviato con più forza nei vasi collaterali, che si aprono. Questi vasi sono di notevole importanza in quanto possono mitigare, anche in modo rilevante, gli effetti di una stenosi, prevenendo l'ischemia. A queste valutazioni è da aggiungere che il flusso coronarico basale rimane inalterato fino a che la stenosi non arriva ad occupare circa l'85% del lume vasale. In condizioni di aumentato consumo di ossigeno, invece, la capacità di aumentare il flusso coronarico viene meno quando la stenosi raggiunge o supera il 90% del volume del vaso, e inizia a diminuire già quando la placca ne occupa il 35-40%.

Stenosi non particolarmente voluminose ma estese, poi, possono comunque pregiudicare l'apporto di ossigeno. Importante, nella valutazione clinica di una stenosi coronarica, quindi, non è solo la valutazione della stenosi stessa, ma anche la frazione di flusso preservata nonostante la presenza di quest'ultima. [8]

L'angiografia coronarica, dunque, pur rappresentando ad oggi il *gold standard* per la valutazione dell'anatomia coronarica normale e patologica, presenta due limiti non superabili. *In primis*, nonostante l'avvento dell'angiografia coronarica quantitativa (QCA), la stima della stenosi coronarica resta operatore-dipendente, limitando l'accuratezza diagnostica della sola angiografia. Il secondo limite è che l'angiografia coronarica, da sola, non fornisce alcuna informazione circa la criticità funzionale delle lesioni coronariche. Questo aspetto, meno importante nel contesto delle sindromi coronariche acute, acquista notevole importanza nell'ambito della coronaropatia stabile. [21]

## 6. FRACTIONAL FLOW RESERVE - FFR

La riserva frazionale di flusso, nota come *fractional flow reserve* (FFR), è una metodica invasiva per la valutazione funzionale delle stenosi coronariche. Le informazioni derivanti da tale indagine sono cruciali nella pianificazione di una procedura di rivascolarizzazione percutanea coronarica. Questo strumento permette di identificare la criticità funzionale di una lesione senza dover ricorrere ad altri test, come la scintigrafia miocardica di perfusione, l'ecocardiografia da stress o il test ergometrico, per la ricerca di ischemia miocardica inducibile o di ridotta riserva coronarica. L'indicazione generale per la FFR è la valutazione funzionale delle stenosi coronariche di entità angiografica dubbia, nel soggetto che non presenti chiara evidenza di ischemia al test non invasivo o all'*imaging*. [20] [21]

La FFR è il rapporto tra la pressione media a valle di una stenosi e la pressione media a monte della stessa, in un contesto di massima iperemia. Visto il rapporto esistente tra pressione e flusso, la FFR misura direttamente il gradiente pressorio transtenotico per misurare indirettamente il flusso transtenotico. [20]

La FFR può essere schematizzata con una formula:

$$\text{FFR} = \frac{\text{Flusso coronarico durante iperemia  
massimale in presenza di stenosi}}{\text{Flusso coronarico durante iperemia  
massimale in assenza di stenosi}}$$

ovvero

$$\text{FFR} = \frac{Q_{\text{stenosi}}}{Q_{\text{normale}}}$$

dove  $Q$  è il flusso coronarico attraverso la lesione o il vaso normale, ed è uguale al *delta* pressorio (pressione a valle – pressione a monte) diviso la resistenza al flusso ematico nel tessuto miocardico.

Tale formula, pertanto, deriva dalla seguente:

$$FFR = \frac{(Pd - Pv) / R_{mio}}{(Pa - Pv) / R_{mio}}$$

dove  $Pd$  è la pressione a valle della stenosi,  $Pv$  la pressione atriale,  $Pa$  la pressione aortica,  $R_{mio}$  la resistenza miocardica. La pressione aortica, essendo relativamente bassa e soggetta a minime variazioni istantanee, e la resistenza miocardica, che durante iperemia massimale è costante, possono essere eliminate dalla formula. Se ne deduce che:

$$FFR = \frac{Pd}{Pa}$$

Il valore di  $FFR = 1$  rappresenta, pertanto, la condizione di un vaso normale, scevro di malattia. Per valori superiori a 0.80 la lesione è da ritenersi funzionalmente non significativa, mentre una lesione che si associ ad un valore di  $FFR$  minore o uguale di 0.80 è da ritenersi funzionalmente significativa. [21]

Fino ad oggi, e a partire dagli anni '90, sono stati pubblicati numerosi studi clinici circa l'utilità e l'efficacia dell' $FFR$  per la valutazione funzionale della malattia coronarica. A livello europeo, le linee guida sulla vascolarizzazione miocardica pongono l'utilizzo dell' $FFR$  in classe di raccomandazione "I", con livello di evidenza "A". Tale indicazione, per identificare stenosi coronariche emodinamicamente rilevanti, è dettata dal fatto che è stato dimostrato che è sicuro differire la rivascolarizzazione coronarica sulla base dei risultati dell' $FFR$ . Oltre a questo, è stato dimostrato che la rivascolarizzazione percutanea delle sole stenosi funzionalmente significative fornisce risultati migliori, rispetto alle

procedure effettuate su tutte le lesioni angiograficamente significative. In particolare, va sottolineato come dagli studi emerga che, a seguito di PCI guidata da FFR con *cut-off* di 0,80, il tasso di eventi avversi maggiori, ad un anno dall'intervento, è inferiore rispetto al tasso di eventi avversi maggiori che seguono a PCI guidata da sola angiografia coronarica. I *follow-ups* dei pazienti arruolati per gli studi, a cinque e quindici anni dall'intervento o dalla scelta di differire la rivascolarizzazione, confermano che le decisioni prese sulla base dei risultati dell'FFR portano ad una minore incidenza di eventi avversi, rispetto alle decisioni prese a seguito di sola angiografia coronarica. [21]

## **6.1 Istruzioni operative sull'utilizzo del Fractional Flow Reserve**

Per la misurazione dell'FFR viene generalmente utilizzato un catetere guida che permette, rispetto al catetere diagnostico, una manipolazione più agevole, interferendo di meno con la misurazione della pressione di riferimento aortica e rendendo possibile l'esecuzione diretta di una eventuale PCI *ad hoc* utilizzando la stessa guida di pressione come guida per la PCI. Le guide di pressione attualmente disponibili ed approvate per uso clinico sono prodotte da *St. Jude Medical*, da *Abbott Vascular*, da *Volcano Corp.* e da *Boston Scientific*. Le guide di pressione fornite sono 0.014", utilizzabili anche come guida per PCI. [21]

La connessione alla *consolle*, sia essa via cavo o *wireless*, e il successivo azzeramento per le guide di pressione devono essere svolti mantenendo le guide all'interno del loro stesso contenitore, riempito di soluzione fisiologica, poggiato su una superficie piana alla stessa altezza del trasduttore di pressione. Effettuato il collegamento, compare la conferma a *monitor*. Una volta incannulata la coronaria di interesse tramite catetere guida, il cardiologo interventista procede facendo avanzare la guida per FFR fino a quando la sua punta sporga appena fuori dal lume del catetere.

Segue controllo in fluoroscopia per assicurarsi della posizione della guida FFR. Garantita la corretta posizione, si può procedere con l'equalizzazione. Questa procedura consiste nel far coincidere la pressione misurata dalla guida di pressione (Pd) con quella aortica (Pa), mostrata anche a poligrafo. L'equalizzazione va effettuata mantenendo il sensore di pressione sull'ostio del catetere guida a monte di eventuali stenosi. Effettuata l'equalizzazione, la guida di pressione è fatta avanzare fino ad oltrepassare, con il trasduttore di pressione, la stenosi che deve essere valutata. Sotto continuo controllo del rapporto Pd/Pa, espressione del gradiente transtenotico prima dell'iperemia indotta, è consigliata la somministrazione di nitrati intracoronarici (1-2 mg di isosorbide dinitrato) per eliminare qualsiasi componente di stenosi dinamica dovuta a vasospasmo. Si procede, a questo punto, a indurre iperemia massimale. Il farmaco più utilizzato è l'adenosina, somministrata tramite infusione continua da accesso venoso. L'adenosina può essere somministrata anche per via intracoronarica ma l'infusione continua permette una più semplice misurazione delle pressioni, in particolar modo nel caso in cui si debbano valutare più lesioni durante il *pull-back*. Il dosaggio standard per l'induzione dell'iperemia massimale, con adenosina in infusione continua, è di 140 µg/kg/min. In presenza di stenosi, l'iperemia indotta determina una caratteristica modificazione delle curve pressorie, con progressivo discostamento della pressione aortica da quella coronarica distale. Le curve e i valori pressori si stabilizzano quando viene raggiunta l'iperemia stabile. Raggiunta la massima iperemia, si prosegue con la registrazione delle curve pressorie e del rapporto Pd/Pa. A *monitor* viene mostrato il valore minimo raggiunto dal rapporto Pd/Pa: se il valore è inferiore a 0,80 la stenosi è funzionalmente significativa e va trattata con angioplastica.

[21]

## 6.2 Limiti del Fractional Flow Reserve

La strategia di rivascolarizzazione basata sull'intervento coronarico percutaneo guidato da FFR, per lesioni al di sotto di una soglia di 0,80, si è dimostrata sicura. Sebbene l'FFR sia un utile strumento per la misurazione quantitativa della severità funzionale di una stenosi coronarica, soprattutto in caso di stenosi intermedie o dubbie, esso presenta tuttavia alcuni limiti intrinseci. Innanzitutto, l'FFR allunga i tempi di esecuzione di un esame angiografico, già di per sé invasivo. L'FFR richiede, poi, la somministrazione di farmaci, come l'adenosina, per indurre l'iperemia massimale: questo farmaco, sebbene usato di *routine*, non è esente da possibili effetti avversi, potendo provocare *discomfort*, aritmia ed essendo particolarmente pericoloso nel caso di pazienti affetti da asma bronchiale. È, inoltre, da considerare anche l'alto costo delle guide di pressione utilizzate per l'esecuzione dell'FFR. Nonostante le solide prove a sostegno dell'uso della FFR, dunque, la sua adozione non è estesa a livello globale. La maggior parte dei cardiologi interventisti basa ancora la strategia di rivascolarizzazione esclusivamente sui risultati angiografici. Le ragioni sono molteplici, ma le maggiori sono probabilmente da ricercare, appunto, nella necessità di far avanzare un filo, attualmente ben lungi dal presentare una buona navigabilità, all'interno di un'arteria coronaria, nei rischi della somministrazione di adenosina, nell'investimento di tempo e nei costi da sostenere. I sistemi di rimborso del Sistema Sanitario Nazionale, inoltre, non favoriscono le strategie diagnostiche basate sulla FFR. [23] [24]





## 7. QUANTITATIVE FLOW RATIO - QFR

Per ovviare a questi limiti, è recentemente stato implementato un nuovo metodo che permette di effettuare un rapido calcolo dell'FFR attraverso l'angiografia coronarica quantitativa tridimensionale, senza dover ricorrere all'uso di farmaci per indurre iperemia massimale e a guide di pressione. Il Rapporto di Flusso Quantitativo (QFR) è un *software*, per uso medico, destinato ad essere utilizzato per eseguire calcoli sulle immagini angiografiche relative ai vasi coronarici. In particolare, il QFR fornisce la ricostruzione di un modello tridimensionale del segmento coronarico in esame, basato sui contorni vascolari rilevati in automatico da due proiezioni angiografiche del vaso, e dal quale è possibile ricavare quantificazioni anatomiche relative ad una o più lesioni. Il *software*, inoltre, è in grado di determinare il significato funzionale delle eventuali stenosi del tratto vascolare in esame, quantificando la caduta pressoria all'interno dei vasi coronarici a partire dalla stima della velocità del flusso sanguigno, attraverso equazioni riferite alla dinamica dei fluidi. [22]

In questo modo, sostiene i medici nella valutazione della significatività delle lesioni individuate al fine di supportare il processo decisionale clinico, in riferimento alla diagnosi e alle possibili opzioni per il trattamento dei vasi coronarici. Molti studi e una recente meta-analisi hanno mostrato una grande concordanza e accordo tra risultati FFR e QFR e, in una revisione sistematica sulla valutazione CAD (malattia coronarica acuta), il QFR è stato suggerito come uno degli strumenti principali. Purtroppo, nonostante il marchio CE e l'approvazione CFDA per l'uso clinico nel 2017 e nel 2018, l'utilizzo del QFR è ancora limitato. [23]

## 7.1 Istruzioni operative sull'utilizzo del Quantitative Flow Ratio

Al fine di ottenere una ottimale ricostruzione tridimensionale dei vasi, sono necessarie due proiezioni angiografiche, ottenute con angolazioni del tubo radiogeno che differiscono tra loro di almeno 25° e fino a 50°. Le proiezioni devono essere il più possibile perpendicolari al tratto di interesse del vaso in esame.

Per svolgere l'intera procedura in modo ottimale sono da rispettare alcune regole di base:

- somministrare nitroglicerina intracoronarica prima dall'acquisizione degli angiogrammi;
- usare un *frame rate* di almeno 12,5 immagini al secondo;
- usare un catetere di almeno 4F, cateteri di 5F o più sono raccomandati per sostenere iniezioni di mezzo di contrasto particolarmente vigorose;
- assicurarsi che il catetere sia riempito completamente, e solamente, di mezzo di contrasto prima di procedere con l'iniezione, prevenendo altresì perdite premature dello stesso;
- servirsi di iniezioni vigorose, continue e veloci di mezzo di contrasto, ponendo come obiettivo l'acquisizione delle arterie opacizzate per tre cicli cardiaci completi;
- minimizzare la sovrapposizione dei segmenti di interesse, in special modo delle lesioni da studiare;
- evitare l'accorciamento proiettivo (*foreshortening*) dei vasi in esame;
- evitare di muovere il lettino porta paziente (*panning*), anche nei momenti finali dell'acquisizione;
- assicurarsi che sia compreso l'intero vaso in esame, in entrambe le acquisizioni.

Per quanto riguarda le proiezioni, alcune possono essere considerate di *default* e sono raccomandate in presenza di una normale anatomia coronarica. Per una ricostruzione ottimale del tronco comune, dell'IVA e dell'ACX, sono consigliate due diverse viste: la prima è una obliqua anteriore destra, con obliquità di 20° e caudalizzazione di 45°, la seconda è una vista AP, caudalizzata di 10°.

Nel caso in cui l'attenzione clinica sia invece rivolta all'IVA e ai suoi diagonali, le acquisizioni consigliate sono una AP cranializzata di 45°, seguita da una acquisizione obliqua anteriore destra, con obliquità di 30° e cranializzata di 20°.

Per la ricostruzione ottimale dell'ACX e dei suoi marginali ottusi sono proposte le acquisizioni obliqua anteriore sinistra 10°, caudalizzata di 20°, e quella obliqua anteriore destra 25°, caudalizzata di 25°.

Per la ricostruzione dell'arteria coronaria destra, infine, sono preferibili l'acquisizione obliqua anteriore sinistra 45°, caudalizzata di 10°, e l'acquisizione obliqua anteriore sinistra 20°, cranializzata di 20°. [25]

<b>Vaso/Biforcazione</b>	<b>Prima Proiezione</b>	<b>Seconda Proiezione</b>
<b>TC + IVA/ACX</b>	OAD 20, CAU 45	AP, CAU 10
<b>IVA/DIAG</b>	AP, CRA 45	OAD 30, CRA 20
<b>ACX/MO</b>	OAS 10, CAU 25	OAD 25, CAU 25
<b>ACDx</b>	OAS 45, CAU 10	OAS 20, CRA 20

*Figura 18*

*Raccomandazioni per la prima e la seconda proiezione, per la ricostruzione 3D dei vasi e successiva analisi QFR [25]*

Il flusso di lavoro è caratterizzato da diverse fasi.

Una volta concluso l'esame angiografico, disponendo di tutte le immagini rilevanti di un paziente, è necessario richiamare gli angiogrammi e

selezionare l'opportuna iconografia del vaso in esame. Nel caso le acquisizioni riferite al singolo vaso di interesse siano soltanto due, o se l'acquisizione scelta fa parte di un'acquisizione biplanare, la seconda immagine verrà caricata automaticamente come "seconda acquisizione", a condizione che l'angolo tra le due differenti viste sia di almeno 25°. Se sono disponibili, invece, più di due acquisizioni, si rendono disponibili tutte le altre immagini, a condizione che siano state ottenute entro due ore dalla prima e che il loro angolo di vista differisca da quello di riferimento di almeno 25°.

Una volta confermata la somministrazione di nitroglicerina intracoronarica prima dell'acquisizione delle immagini, si può procedere con il passaggio successivo.

Scelte le serie più idonee, è necessario selezionare, per ciascuna delle due immagini, il *frame* più adeguato a fungere da *input* per effettuare l'analisi QFR, ossia quello corrispondente alla fine della fase diastolica del ciclo cardiaco, quando cioè il cuore è in condizioni di riposo. Il *software* QFR è già automaticamente sincronizzato con la fase telediastolica, cionondimeno è possibile, a causa di eventuali sovrapposizioni (*overlap*), selezionare immagini che anticipino tale fase di 1, 2 o 3 *frames*. In questo caso è necessario selezionare la stessa fase anche per le altre immagini scelte, in modo da garantire la ricostruzione più realistica possibile. La sincronizzazione con la fase telediastolica, o con altre fasi del ciclo cardiaco in caso di necessità, può essere effettuata anche tramite visualizzazione del tracciato ECG, a sostegno della scelta più opportuna. In questo caso la seconda immagine sarà sincronizzata automaticamente con la stessa identica fase del ciclo cardiaco. [26]

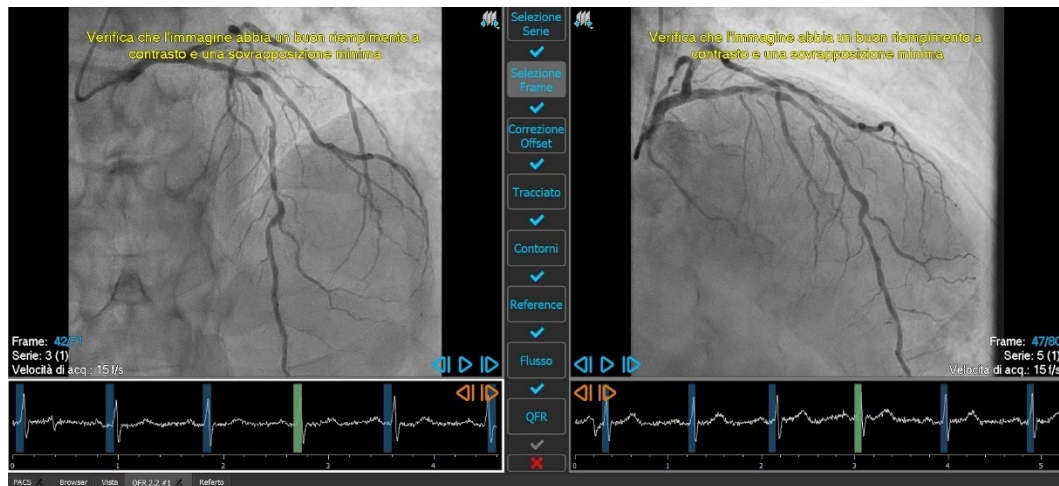


Figura 19

*Selezione della fase di telediastole*

La successiva fase dell'analisi, definita "correzione dell'offset", ha come obiettivo quello di aiutare il software a stabilire la giusta correlazione tra le due immagini e quella tra queste e il paziente, inteso come spazio tridimensionale. A tal fine, si procede indicando un punto di repere anatomico vicino alla lesione di interesse. È sconsigliato avvalersi, come punto di riferimento, del filo guida o della punta del catetere, in quanto questi possono muoversi e cambiare la propria posizione tra un'acquisizione e l'altra. Si possono dunque utilizzare, ad esempio, dei punti di riferimento anatomici che siano vicini alla lesione bersaglio, come un ramo laterale o il centro della lesione stessa: questo garantisce che la ricostruzione tridimensionale sia effettuata nel modo più accurato possibile. Dopo aver indicato lo stesso punto di riferimento nelle due visuali, si può designare un altro punto di riferimento in una delle immagini per visualizzare un "punto di controllo visivo" di colore blu. Una linea di proiezione corrispondente a quel punto verrà automaticamente mostrata nell'altra immagine, al fine di verificare se, la stessa, interseca il punto di riferimento indicato nella prima immagine. Una volta accertato che i punti scelti come riferimento abbiano corrispondenza su entrambe le immagini, si può procedere.

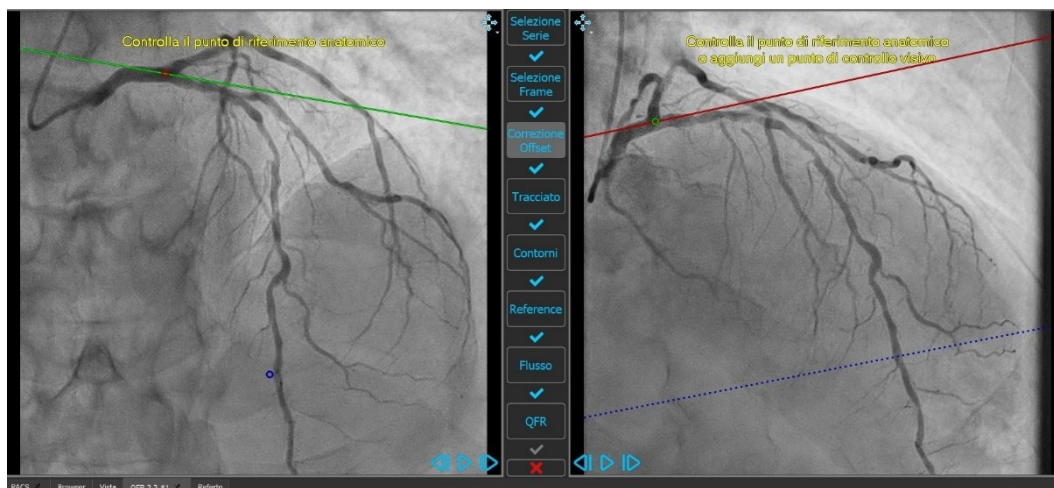
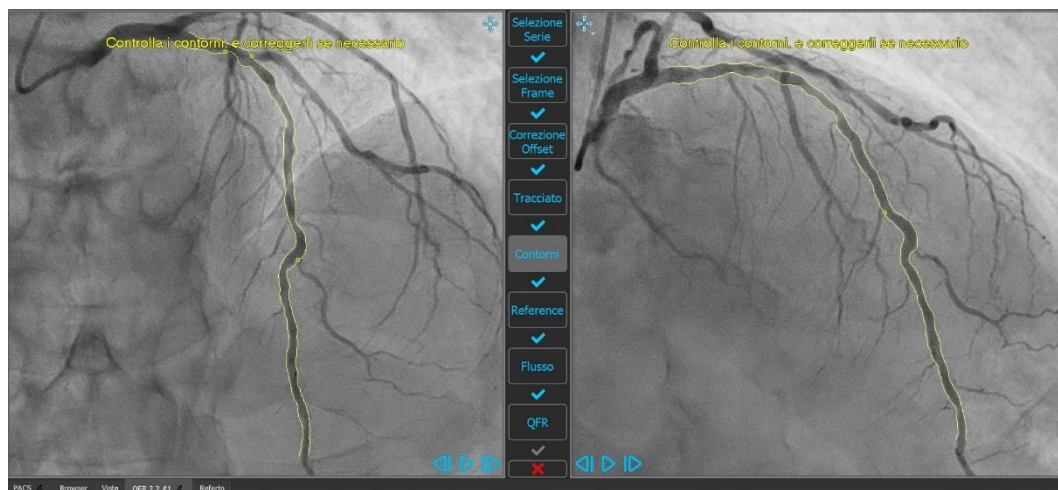


Figura 20  
 correzione dell'offset

Il passo successivo consiste nel guidare il *software* nell'individuazione del segmento di vaso da analizzare, in entrambe le immagini. A questo proposito, si procede individuando due punti distinti: uno il più prossimalmente possibile al ramo oggetto di studio, l'altro distalmente all'ultima lesione, assicurandosi così che anche questa sia presa in considerazione nell'analisi QFR. Una volta impostati i punti prossimale e distale in una delle due immagini, i punti corrispondenti sull'altro angiogramma vengono rilevati automaticamente e viene tracciato, sempre in modo automatico, i margini del vaso su entrambe le immagini. A questo punto, è sufficiente controllare se il contorno evidenziato corrisponde esattamente a quello voluto e, in caso negativo, modificarlo a *mouse*. [26]



*Figura 21*  
*Perimetro vaso delineato*

In questo passaggio del flusso di lavoro viene calcolato il modello 3D del segmento del vaso, basato su sezioni trasversali arteriose ellittiche. Si crea, inoltre, un grafico posizione-diametro nel quale vengono riportate le due curve rappresentative dei diametri delle sezioni trasversali del vaso nelle due diverse immagini. Valutando la corrispondenza punto per punto, lo scopo di questa fase è quello di verificare la corrispondenza dell'intero segmento del vaso, significando che l'affinità tra le due immagini è totale. La correzione precisa di queste corrispondenze è essenziale per garantire un'analisi QFR accurata e un allineamento coerente delle lesioni tra le due viste angiografiche. [26]

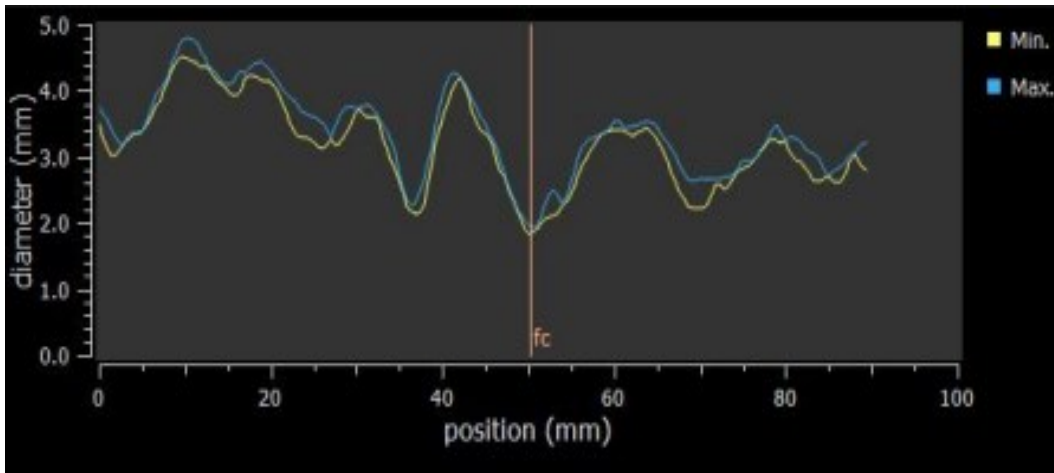


Figura 22

Sovrapposizione delle due curve sul grafico posizione-diametro [26]

Giunti a questo punto, sullo stesso grafico viene mostrata la linea rappresentativa delle sezioni circolari teoriche che lo stesso vaso, sano, dovrebbe avere, calcolata sulla base dei contorni precedentemente individuati dall'operatore. [26]

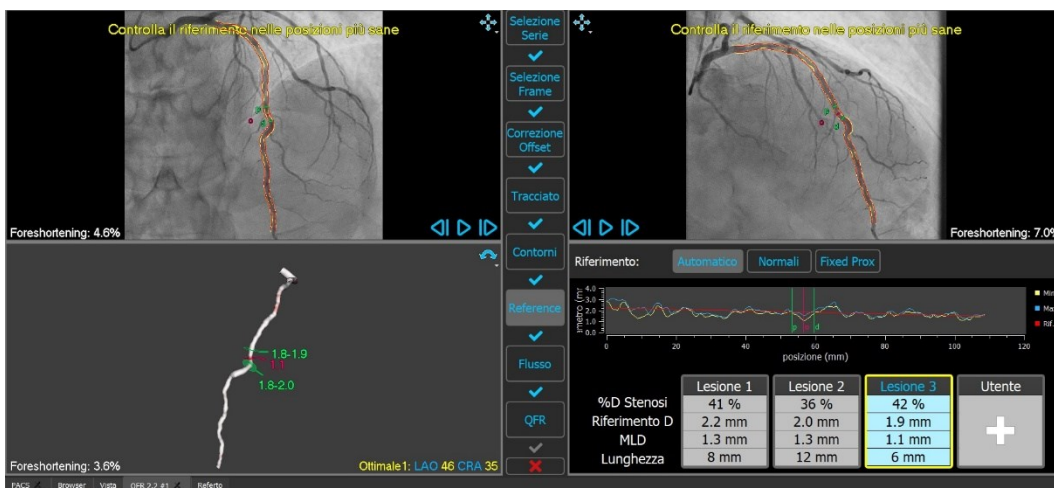


Figura 23

Perimetro teorico del vaso [26]



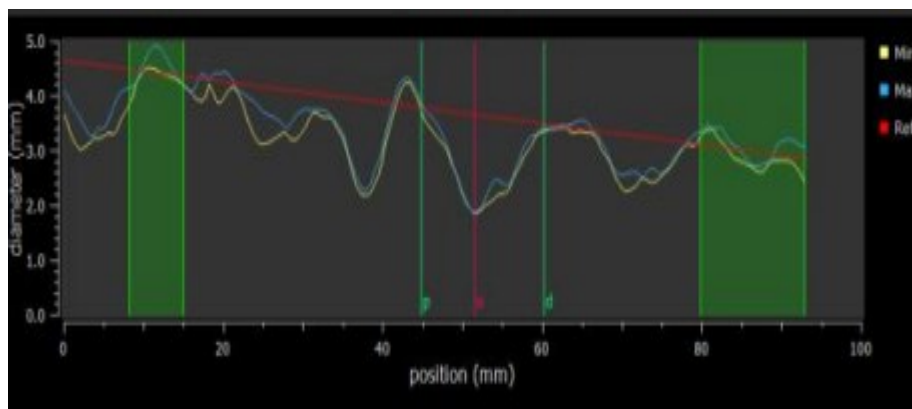


Figura 24

Linea dei diametri teorici delle sezioni trasversali del vaso [26]

La correttezza dei passi appena descritti è di fondamentale importanza in quanto, attraverso questi, viene determinata la gravità delle lesioni lungo il segmento del vaso e, di conseguenza, sono essenziali per il corretto calcolo del QFR.

Giunti a questo punto, il *software* rileva automaticamente, segnalandole, fino a tre lesioni con stenosi di diametro superiore al 30%. Il risultato finale sarà riferito a una combinazione di tutte le lesioni così individuate ma, in caso di necessità, è possibile escludere dal calcolo le lesioni che esulano dall'interesse clinico.

Compiuto questo passaggio, si procede verso la parte finale del processo, relativa alla stima della velocità del flusso nel vaso in esame attraverso il conteggio automatico dei *frames* impiegati dal mezzo di contrasto per arrivare dal punto prossimale a quello distale, precedentemente definiti. Si seleziona, quindi, l'arteria coronaria di interesse: "Tronco comune/IVA" o "altre coronarie". La ragione che sta dietro a questa scelta è quella di individuare il modello di calcolo più opportuno. Scegliendo "Tronco comune/IVA", infatti, il *software* tiene conto del fatto che il flusso è distribuito su più rami laterali relativamente grandi e che il vaso diminuisce il proprio diametro in modo significativo. [26]

Se tutte le fasi del processo sono state svolte correttamente si può ottenere, a questo punto, una stima accurata della velocità del flusso attraverso il segmento di vaso selezionato. Il dato così ottenuto sarà successivamente utilizzato come *input* per il calcolo del QFR.



Figura 25

*Stima della velocità del flusso nel vaso in esame attraverso il conteggio automatico dei frame impiegati dal mezzo di contrasto per arrivare dal punto prossimale a quello distale*

Effettuato il conteggio dei *frames*, quindi, viene calcolato il QFR e i risultati vengono mostrati a *monitor*: in un'unica schermata si possono apprezzare tutti i risultati anatomici e funzionali, compresa la ricostruzione tridimensionale del vaso, arricchita dei colori corrispondenti ai valori di QFR ottenuti. [26]



Figura 26

Schermata finale dei risultati anatomici e funzionali [26]

Nella parte superiore della ricostruzione tridimensionale appare il “ $\Delta$  QFR” (delta QFR) che rappresenta la percentuale di caduta di pressione attraverso la lesione o, come nel caso riportato, direttamente il QFR della lesione, calcolato come  $1 - \Delta$  QFR. In basso a destra sono invece mostrati il grafico posizione-diametro e la curva QFR, che riporta il valore QFR di tutti i punti lungo il segmento del vaso analizzato.

Una volta salvato il lavoro svolto, si procede creando il *report* finale e l’analisi è conclusa. [26]

I risultati dell’analisi ottenuti tramite studio QFR sono, a questo punto, interpretabili nello stesso identico modo dei risultati FFR. Data la velocità con la quale si può portare a termine la procedura, però, questi risultati, sovrapponibili a quelli ottenuti tramite FFR, vengono raggiunti, rispetto a questi ultimi, con notevole risparmio di tempo da parte degli operatori e senza complicare ulteriormente una procedura già di per sé invasiva come l’angiografia coronarica. [27]

È stato rilevato infatti, in corso di studi, calcolando il tempo delle valutazioni FFR e QFR applicate agli stessi casi, che la procedura FFR occupa circa sette minuti (tempo mediano, intervallo interquartile, 5,0-

10,0), contro i cinque minuti che servono per una valutazione QFR (intervallo interquartile, 3,5-6,1). [28]

## 7.2 Acquisition Aid

Come si è visto, un passo fondamentale dell'analisi QFR è l'ottimale ricostruzione del vaso in esame. A tal fine, si procede acquisendo due proiezioni della coronaria di interesse, con una differenza di angolazione del tubo radiogeno tra le due viste compresa tra i 25° e i 50°. Le due acquisizioni devono essere, inoltre, il più perpendicolari possibile al tratto di vaso in esame. Questo, a ben vedere, è anche il razionale che sottostà ad ogni scelta delle proiezioni eseguibili in tutta la radiologia tradizionale. Essendo l'ottimale ricostruzione tridimensionale del vaso il punto di partenza per tutta la successiva analisi QFR, essa deve operare nel modo più verosimile possibile. A garanzia di questo, il *software* QFR mette a disposizione una opzione funzionale alla scelta delle migliori proiezioni effettuabili.

Una volta acquisita la prima angiografia, e caricata a *software*, si può richiamare la funzione di guida all'acquisizione, definita come "*Acquisition Guide*". Essa mostra a *monitor* uno schema utile a identificare la migliore rotazione e angolazione del tubo radiogeno per la seconda acquisizione. Lo schermo sarà, dunque, diviso in due: a sinistra si trova l'angiogramma selezionato, a destra l'interfaccia utile alla scelta delle proiezioni. Una volta identificata sull'angiogramma la stenosi coronarica oggetto dell'attenzione clinica, si procede ad individuare una retta che abbia la direzione media del segmento di vaso attenzionato. Presa questa linea a riferimento, lo scopo sarà quello di individuare quella seconda linea, perpendicolare alla prima, che restituisca il punto di vista ideale per la seconda acquisizione. A questo scopo, sulla parte destra dello schermo, viene mostrato uno schema, nel quale la parte più esterna, di colore verde, corrisponde a tutte quelle proiezioni perpendicolari al tratto di vaso

individuato e che hanno, rispetto a quella presa come riferimento, una differenza di angolazione, preferenziale, tra i 25° e i 50°. La zona rossa dello schema rappresenta, invece, tutti gli angoli con una differenza inferiore a 25°, rispetto alla prima proiezione, che non possono essere combinati con la prima vista per creare una ricostruzione 3D affidabile. Comparirà, quindi, un asterisco giallo che indica la posizione dell'arco a C per la successiva acquisizione, il quale può essere spostato liberamente all'interno dell'area verde, fino ad ottenere l'ortogonalità con il tratto in esame, indicando così la proiezione più opportuna per il seguente angiogramma. [25]

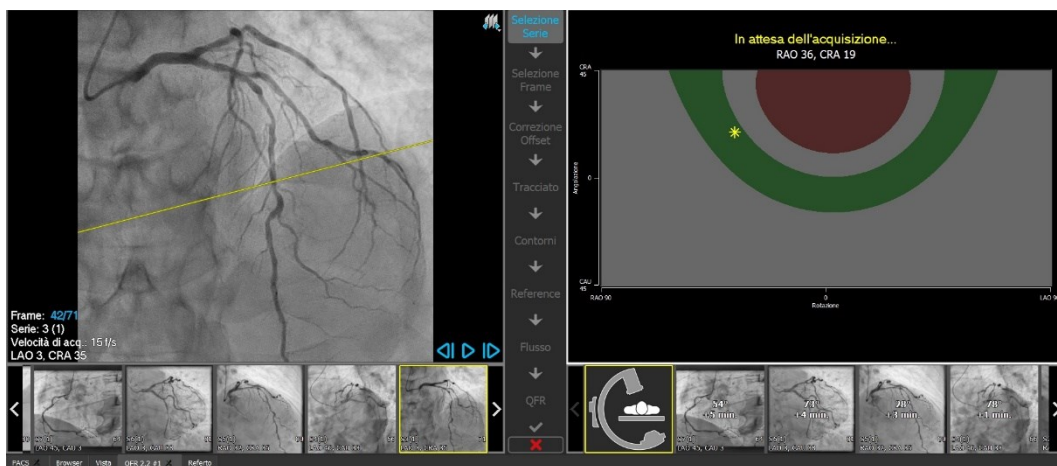


Figura 27

Guida all'acquisizione ("Acquisition Guide") [25]



## **8. IL RUOLO DEL TECNICO SANITARIO DI RADIOLOGIA MEDICA: TEORESI - TEORIA – PRATICA**

### **8.1 Riferimenti**

#### **Codice Deontologico del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica 2004**

“Il Tecnico Sanitario di Radiologia Medica è il professionista sanitario responsabile nei confronti della persona degli atti tecnici e sanitari degli interventi radiologici aventi finalità di prevenzione, diagnosi e terapia.”

“... nello svolgimento della sua attività valuta la specificità della persona...”

“... nell’esercizio della professione valuta ed agisce sulla base di evidenze scientifiche; verifica costantemente le proprie modalità operative e contribuisce alla definizione e all’aggiornamento di linee guida, protocolli o procedure oltre che dei manuali della qualità.”

“... partecipa alla determinazione della politica professionale e sanitaria e si adopera per il miglioramento della sua specifica realtà lavorativa.”

“... caratterizza il suo esercizio professionale in modo da garantire l’erogazione di prestazioni sanitarie secondo la migliore scienza ed esperienza. A tal fine, individua come strumenti appropriati la formazione continua, la ricerca e il miglioramento continuo della qualità delle prestazioni sanitarie.”

“Il TSRM è il professionista che codifica un approccio metodologico attraverso il quale la persona è certa di trovare il meglio a livello umano, impiantistico, clinico-infermieristico, tecnico-diagnostico. Il TSRM analizza l’aspetto quantitativo dell’intervento diagnostico, cioè lo studio dei tempi ideali necessari per l’effettuazione di ogni singolo esame, nel rispetto della

persona, degli operatori sanitari, delle apparecchiature, dei costi di esercizio e della potenzialità produttiva.” [29]

### **Costituzione Etica**

#### **Federazione nazionale Ordini dei Tecnici sanitari di radiologia medica e delle professioni sanitarie tecniche, della riabilitazione e della prevenzione**

**Edizione giugno 2021**

“Articolo 35 - La competenza è l'integrazione delle conoscenze, delle capacità e delle abilità tecnico-scientifiche e relazionali, nonché dei comportamenti e degli atteggiamenti, che sono acquisiti, mantenuti e aggiornati attraverso costanti processi educativi teorico-pratici.

Articolo 36 - Il professionista sanitario mantiene il più alto standard di competenza, anche mediante processi educativi conformi al progresso della ricerca utile allo sviluppo della professione. Agisce con il massimo scrupolo, impegno e responsabilità nei confronti della persona, degli altri professionisti e della comunità e contribuisce alla promozione delle politiche per la salute.” [30]

#### **Documento intersocietario AIFM-AIMN-AINR-AIRB-AIRO-SIRM, D.lgs.101/20: novità e conferme in riferimento alle esposizioni mediche**

Titolo XIII - Esposizioni Mediche

Art. 159. Responsabilità

“Gli aspetti pratici per l'esecuzione della procedura o di parte di essa sono definiti nell'ambito delle procedure disciplinate dalle linee guida di cui all'articolo 161, comma 1, in capo al medico specialista o al tecnico sanitario di radiologia medica...” [31]



**Decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 “Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117” Presentazione, analisi e commento per il TSRM**

“Il principio di ottimizzazione è affrontato all'articolo 158 del nuovo recepimento. Tale articolo ripropone il noto principio ALARA secondo cui tutte le dosi dovute alle esposizioni radianti devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile e compatibile con il raggiungimento dell'informazione diagnostica richiesta, tenendo conto di fattori economici e sociali (art. 158, c. 1). Si esplicita, inoltre, come l'ottimizzazione comprenda “la scelta delle attrezzature medico-radiologiche, la produzione di un'informazione diagnostica appropriata o del risultato terapeutico, gli aspetti pratici delle procedure medico-radiologiche, i programmi per la garanzia della qualità, i controlli di qualità, l'esame e la valutazione delle dosi, il rispetto dei livelli diagnostici di riferimento”.

“Il principio di ottimizzazione vede particolarmente coinvolto il TSRM, sia in quanto titolare esclusivo di alcune delle attività menzionate quale, a esempio, la produzione di un'informazione diagnostica appropriata e le relative dosi somministrate, come specificato nella normativa di esercizio professionale (legge 25/1983, DM 746/94, legge 251/2000), sia come co-responsabile dei programmi e dei controlli di qualità con altri professionisti dell'*équipe* radiologica.” [32]

**Federazione Europea delle Società dei Tecnici Sanitari di Radiologia Medica.**

**Documento di riferimento del Quadro Europeo delle Qualifiche (EQF):  
Tecnici Sanitari di Radiologia Medica**

“Durante lo svolgimento del proprio ruolo, i tecnici di radiologia hanno anche responsabilità per la radioprotezione, la cura del paziente e la garanzia di qualità durante l'*imaging* medico o le procedure radioterapeutiche. I tecnici di radiologia fanno da interfaccia tra il paziente e la tecnologia nell'*imaging* medico e la radioterapia. Sono i “guardiani” della protezione radiologica del paziente e del personale, avendo un ruolo chiave nell’ottimizzazione al momento dell’esposizione alle radiazioni.”  
[33]

## **8.2 Teoresi**

Le fonti appena citate, definendo la figura dei tecnici di radiologia medica, mettono in evidenza come questi professionisti sanitari debbano costantemente mettere in primo piano la persona-paziente, intesa come figura prima verso la quale debbano essere rivolti tutti gli sforzi intellettuali della propria professione. Definendosi come figura qualificata che svolge una professione intellettuale, il tecnico di radiologia medica si propone quale tramite tra il paziente e la tecnologia, al fine di fornire il più alto *standard* di prestazione sanitaria. La prestazione sanitaria, altresì, per poter essere considerata di *standard* elevato, non può prescindere dal riconoscimento dell’individualità della persona, intesa come specificità a tutti i livelli. Questa è, infatti, la strada che tutta la radiologia medica si accinge a percorrere, puntando alla personalizzazione di tutte le prestazioni: dai piani di cura nell’ambito della radioterapia ai protocolli operativi della medicina nucleare, passando, più semplicemente, per tutte le prestazioni di radiologia tradizionale e interventistica. Sublimazione del ruolo del tecnico di radiologia medica, dunque, è la conformazione della

prestazione tecnica all'individualità di ogni singolo paziente. L'ottimizzazione, anche dosimetrica, di ogni singola procedura è, altresì, obiettivo imprescindibile di ogni prestazione. Semplicemente unendo questi due orientamenti professionali, si può affermare che il tecnico di radiologia medica trova nobilitazione nell'ottimizzazione e nell'implementazione della tecnologia disponibile, mettendola a disposizione dell'attività qualificata, al fine di garantire al paziente la miglior prestazione diagnostica e terapeutica raggiungibile con il minor detrimento possibile. Tutto questo può essere raggiunto tramite la continua formazione professionale e tramite un incessante confronto con le nuove tecnologie che, quasi quotidianamente, fanno il loro ingresso nel mondo clinico.

### **8.3 Teoria**

I limiti dell'angiografia coronarica sono già stati presentati: la luminografia di un'arteria consente di visualizzare soltanto il lume interno del vaso, e più precisamente quella parte che permette il passaggio del mezzo di contrasto, lasciando nascosta alla vista la vera anatomia vascolare. Nelle coronarografie, inoltre, come in tutta la radiologia tradizionale, ci si deve scontrare con la necessità di rappresentare strutture tridimensionali su supporti bidimensionali. L'eventuale presenza di stenosi eccentriche, opportunamente valutabili solo con alcune proiezioni, rende ancor più critico questo aspetto, enfatizzando l'importanza della scelta di quelle proiezioni che garantiscano l'ottimale visualizzazione del problema clinico. Eventuali sovrapposizioni di vasi opacizzati con quello in esame possono, non di meno, portare a ragionevoli dubbi il clinico che, per professionalità, chiederà ulteriori proiezioni al fine di evitare suddette sovrapposizioni vascolari, facendo così inevitabilmente aumentare la dose radiante a paziente e operatori e la quantità di mezzo di contrasto somministrato. Non ultimo, l'accorciamento proiettivo delle strutture studiate è una

presenza costante e inevitabile, rendendo la sua mitigazione l'unica via percorribile.

Prendendo in esame l'anatomia invece, come già precedentemente visto, anche senza considerare il concetto di dominanza e le anomalie di origine, le arterie coronarie presentano innumerevoli atipicità, risultando essere vasi caratterizzati da enorme variabilità di decorso.

Questo considerando, si può ben capire come ricorrere a proiezioni standardizzate per lo studio delle arterie coronarie, sebbene sia pratica comune in molte realtà, non sia la prassi migliore ragionevolmente concretizzabile.

Tutto questo porta il garante della qualità delle immagini prodotte a interrogarsi sull'appropriatezza e sull'ottimizzazione del proprio operato: considerando la variabilità anatomica delle arterie coronarie, i limiti dell'angiografia digitale che sequestrano incessantemente un occhio agli operatori, e tutto ciò che fino ad ora è stato detto sulla figura del tecnico di radiologia medica, viene naturale chiedersi se sia possibile individuare alcune procedure che aggiungano ancor più valore alle prestazioni sanitarie, migliorando la considerazione dell'individualità di ogni singolo paziente, in conformità al codice etico e deontologico della professione.

La continua formazione di alto livello, propria dei tecnici di radiologia medica, può offrire una soluzione ottimale ad una situazione non ideale.

#### **8.4 Pratica: proposta operativa**

Una volta acquisito il primo angiogramma, nel corso di una coronarografia, il medico specialista valuta la condizione dei vasi in esame e, ove necessario, richiede al tecnico di radiologia medica proiezioni aggiuntive per meglio visualizzare i tratti di vaso che suscitano l'interesse clinico. Se, *exempli gratia*, successivamente all'acquisizione di una proiezione AP

CRA 35°, elettiva per lo studio dell'IVA, il medico riconosce un certo grado di malattia a carico del vaso in esame, richiederà una seconda proiezione per visualizzare in modo ottimale la stenosi individuata. Questa seconda acquisizione è solitamente, ipotizzando che la stenosi riguardi il tratto medio-distale del vaso, una OAD 30° CRA 35°.

Ipotizzando, ancora, di dover affrontare un infarto del miocardio che riguarda la parte inferiore del cuore, in un paziente a dominanza destra, dopo una proiezione di base il medico potrà richiedere una vista OAD 30° per valorizzare la rappresentazione del ramo interventricolare posteriore. I gradi di cranio-caudalizzazione, al pari di quelli riguardanti la direzione destra-sinistra, sono di norma standardizzati e ogni realtà adotta le prassi che ritiene più opportune. Come visto in precedenza, però, la variabilità anatomica delle arterie coronarie e la specificità di ogni patologia sono così importanti da rendere approssimativa qualsiasi proiezione effettuata: una qualunque proiezione *standard* difficilmente sarà la proiezione migliore per quel paziente, in quella situazione, con quel tipo di patologia vascolare. In certune situazioni, l'anatomia vascolare è talmente insolita da rendere inefficaci alcune proiezioni che, di norma, su altri pazienti, anche se non ottimali, sarebbero comunque risultate essere viste diagnostiche: un esempio può essere dato dalla sovrapposizione di rami opacizzati con il tratto di vaso in esame o, ancora, da un eccessivo accorciamento proiettivo dell'arteria esaminata, dato da un decorso vascolare troppo insolito per poter essere previsto. In questi frangenti si deve ricorrere a proiezioni alternative, da effettuare dopo la proiezione infruttuosa, che inevitabilmente aumentano la dose radiante a paziente e operatori e, con essa, la quantità di mezzo di contrasto somministrato. [34]

La presenza di un tecnico di radiologia medica, abilitato all'uso del *software* QFR, può apportare un beneficio significativo a tutta la procedura.

Il suddetto *software* può essere usato a posteriori (*off line*), dopo la coronarografia vera e propria, per la valutazione funzionale delle stenosi

coronariche, ma si presta anche ad un uso *on line*, manifestando l'interfaccia direttamente a *monitor*, all'interno della sala di emodinamica.

L'avvio dell'applicativo, in sede di preparazione della procedura angiografica, può essere considerato "a costo zero". In corso di svolgimento di una ipotetica coronarografia, il medico specialista chiede al tecnico di radiologia di effettuare alcune proiezioni per la visualizzazione dell'albero vascolare. Supponendo si riscontri una lesione, il cardiologo interventista, anziché ricorre alle classiche proiezioni codificate, potrebbe aspettare l'analisi del tecnico di radiologia. Questo, attraverso software QFR, analizza l'angiogramma e, tramite la funzione di "*Acquisition Guide*", definisce la proiezione più opportuna per quel singolo paziente, avente quella specifica lesione, massimizzando l'informazione diagnostica e, idealmente, non dovendo ricorrere ad eventuali ulteriori proiezioni, diminuendo dose radiante e quantità di mezzo di contrasto somministrato. [34]

Supponendo una situazione nella quale il dubbio clinico si concentri sul tratto medio dell'ACX, dopo una proiezione OAD 30° CAU 20°, il medico specialista attenderà l'analisi tecnica. Il TSRM, sempre presente all'interno della sala, svolgerà i vari passi dell'elaborazione iconografica e, invece di effettuare la classica vista elettiva, proporrà al medico la proiezione emersa come risultato dell'analisi *software*. Questo porterà all'esecuzione della miglior proiezione effettuabile, perché personalizzata sul paziente e sulla sua situazione clinica. Il *software*, inoltre, per ottenere uno stesso risultato iconografico, consiglia più proiezioni possibili, cosicché il tecnico di radiologia medica potrà scegliere la vista migliore dal punto di vista radioprotezionistico, preferendo proiezioni oblique destre anziché sinistre, caudali anziché craniali ed il meno inclinate possibile. Tutto questo si traduce in un miglior risultato iconografico e diagnostico, dato dalla personalizzazione dell'esame, in un risparmio di dose radiante e di mezzo di contrasto. [34]

Il *software* QFR, a questo punto, essendo già operativo, è pronto per una eventuale analisi della significatività della stenosi individuata. L'intera procedura, inoltre, avendo come punto di partenza dell'analisi QFR le proiezioni indicate dal *software* stesso, ne risente positivamente, rendendo la fase di "correzione dell'*offset*" più semplice e fluida e migliorando, in generale, l'accuratezza di tutto il processo. [34]

Il tecnico di radiologia medica, professionista sanitario al fianco del medico specialista, vede così riconosciuta *in toto* la propria figura professionale, caratterizzata da peculiarità operativa ed alta formazione. In ottemperanza ai doveri dettati dalla costituzione etica, pone al centro del suo operato la persona, considerata nella sua unicità e, in conformità al codice deontologico, tramite formazione continua di alto livello, si applica per migliorare incessantemente la pratica clinica, ponendo la propria formazione al servizio della comunità.





## 9. CONCLUSIONI

Il tecnico di radiologia medica è una figura professionale essenziale, sempre presente in tutti gli ambiti diagnostici. Le competenze peculiari ed esclusive della professione lo individuano come unico professionista abilitato a svolgere, in via autonoma o in collaborazione con altre figure e su prescrizione medica, tutti gli interventi che richiedono l'uso di sorgenti di radiazioni ionizzanti, sia artificiali che naturali, di energie termiche, ultrasoniche, di risonanza magnetica, nonché gli interventi per la protezione fisica o dosimetrica. Grazie alla profonda conoscenza delle risorse disponibili, può adattare la tecnologia alle diverse circostanze che si palesano nella pratica quotidiana. In un'ottica di collaborazione con le altre figure professionali, cerca costantemente di migliorarsi e migliorare l'ambiente nel quale opera. Senza mai perdere di vista il codice deontologico e la costituzione etica, stelle polari che guidano la professione, il tecnico di radiologia medica funge da tramite tra i pazienti e la tecnologia, cercando al contempo di mantenere il detrimento della popolazione ai livelli più bassi ragionevolmente ottenibili. [29] [30] [35]

Nell'ambito della cardiologia interventistica, considerando l'ampia variabilità dell'anatomia coronarica, le proiezioni angiografiche *standard* non sono le migliori viste effettuabili nei laboratori di emodinamica. La tecnica FFR per la valutazione funzionale delle stenosi coronariche, inoltre, anche se attualmente utilizzata nonostante le molteplici limitazioni che presenta, viene oramai superata, lasciando posto a tecnologie più recenti ed avanzate quali il *Quantitative Flow Ratio*. Partendo da questi presupposti, si fa di necessità virtù, cercando di trarre il massimo beneficio dalle nuove risorse che si rendono via via disponibili.

Quanto detto finora si reifica nel protocollo proposto: partendo dall'accurata conoscenza di un applicativo originariamente concepito per la valutazione funzionale delle stenosi coronariche, si piega la tecnologia

al servizio del paziente e della massima individualizzazione della pratica diagnostica.

Il QFR è un *software* che, attraverso modelli matematici inerenti alla dinamica dei fluidi, applica operazioni agli angiogrammi acquisiti e restituisce valutazioni circa l'influenza delle lesioni coronariche. Purtroppo, complici i costi di acquisto e l'abilitazione necessaria ad operare con il suddetto applicativo, non è ancora entrato a far parte delle consuetudini procedurali né, tantomeno, è entrato a far parte della dotazione *standard* dei laboratori di emodinamica.

L'utilizzo *on line* dell'applicativo, attraverso l'individuazione di un'opportuna prassi, permette al tecnico di radiologia di sostenere il medico specialista nella scelta delle proiezioni più consone allo studio delle stenosi coronariche, enfatizzando l'individualità della persona e del contesto clinico. L'utilità è chiara: implementando la procedura, si ottengono soltanto immagini utili alla diagnosi, con conseguente perfezionamento del risultato iconografico e diagnostico. Viene, non di meno, offerta possibilità di scelta tra diverse proiezioni che conducono ad uno stesso risultato iconografico. Questo permette al tecnico di radiologia medica di effettuare una accurata valutazione a priori circa le proiezioni da effettuare: preferire viste caudali, destre e meno inclinate possibile, porta ad una sicura riduzione di dose radiante a pazienti e operatori. La personalizzazione dell'intera procedura angiografica concede di effettuare soltanto proiezioni utili dal punto di vista clinico, così evitando viste *standard* che, mal adattandosi alla complessa variabilità dell'anatomia coronarica, possono rivelarsi infruttuose: questo porta, oltre alla suddetta diminuzione di dose radiante, ad una pure importante riduzione della quantità di mezzo di contrasto somministrato ai pazienti.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Benjamin EJ et al, American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee, *Heart Disease and Stroke Statistics-2019 Update: A Report From the American Heart Association*. Circulation, 2019.
- [2] Dati Istat 2017.
- [3] Musumeci G, presidente Società italiana di cardiologia interventistica, Gise, *Ogni anno oltre 35mila angioplastiche e Tavi quintuplicate: Italia da primato nella cardiologia interventistica*. Sanità 24, 10 ottobre 2017.
- [4] Anastasi G, Baldoni G, Motta P, *Trattato di anatomia umana, vol.-1*. Milano, Edi. Ermes 2019.
- [5] Cademartiri F, Marano R, Luccichenti G, Mollet N, Nieman K, De Feyter PJ, Krestin GP, Bonomo L, *Anatomia normale del circolo coronarico con Tomografia Computerizzata multistrato a 16 canali*. Torino, La Radiologia Medica - Radiol Med 107, Edizioni Minerva Medica 2004.
- [6] Magnaldi S, Travan L, *Dall'Anatomia all'Immagine*. Seconda edizione, Milano, Poletto Editore 2006.
- [7] Mori S, Tretter JT, Spicer DE, Bolender DL, Anderson RH, *What is the real cardiac anatomy?* Clin Anat. 2019 Apr;32(3):288-309. doi: 10.1002/ca.23340. Epub 2019 Feb 13. PMID: 30675928; PMCID: PMC6849845.
- [8] Fioranelli M, Pavone P, *Circolo coronarico*. In: *Malattia coronarica*, Milano, Springer 2008.
- [9] Sweis RN, MD, MS, Jivan A, MD, PhD, *Panoramica sulla coronaropatia*. Northwestern University Feinberg School of Medicine, 2024.

- [10] Sweis RN, MD, MS, Jivan A, MD, PhD, *Sindromi coronariche acute (attacco cardiaco; infarto miocardico; angina instabile)*. Northwestern University Feinberg School of Medicine, 2024.
- [11] Sweis RN, MD, MS, Jivan A, MD, PhD, *Angina (Angina pectoris)*. Northwestern University Feinberg School of Medicine, 2024.
- [12] Sweis RN, MD, MS, Jivan A, MD, PhD, *Panoramica sulla coronaropatia*. Northwestern University Feinberg School of Medicine, 2024.
- [13] Cascino T, MD, Shea MJ, MD, *RMI del cuore*. Michigan Medicine at the University of Michigan, 2023.
- [14] Gach O, Davin L, Lempereur M, Marechal P, Martinez C, Lancellotti P, *Coronarografia diagnostica*. 74(S1),17-21, Rev Med Liege 2019.
- [15] Calabrò P, Moscarella E, *Tecniche diagnostiche, Angiografia coronarica*. In: *Aterosclerosi*, Numero Monografico, Giornale Italiano dell'Arteriosclerosi, 2021.
- [16] Rigatelli G, Gianese F, Zuin M, *Atlante moderno delle viste dell'angiografia coronarica invasiva: un approccio pratico per borsisti e giovani interventisti*. Int J Imaging cardiovasc. Maggio 2022; 38(5):919-926. DOI: 10.1007/s10554-021-02489-5. Epub 2021 28 dicembre. PMID: 34962623.
- [17] Nguyen T, Puoc TT, Rigatelli G, *Visualizzazioni angiografiche*, in: Nguyen T, Hu D, Saito G, Grines C, Palacios I, *Manuale pratico di cardiologia interventistica avanzata*. Seconda edizione, Futura, un'impronta di Blackwell Publishing, 2003.
- [18] Kocka V et al, *Optimal fluoroscopic projections of coronary ostia bifurcations defined by computed tomographic coronary angiography*. JACC Cardiovasc Interv, 13(21), 9 Nov 2020.

- [19] Christopoulos G et al, *Ottimizzazione della sicurezza delle radiazioni nel laboratorio di cateterismo cardiaco: un approccio pratico*. *Catetere Cardiovasc Interv* 87, ES 2016.
- [20] Barbato E, De Bruyne B, *Riserva frazionale di flusso per indicare e guidare la rivascolarizzazione miocardica*. *G Ital Cardiol*, 2017.
- [21] Valente S et al, *Riserva frazionale di flusso: una breve guida pratica all'utilizzo per l'interventista e il punto di vista del cardiologo clinico*. *G Ital Cardiol*, 2017.
- [22] Li Y, *The application of Quantitative Flow Ratio via 3-dimensional coronary angiography in clinical cardiology: a review*. *Discovery Medicine*, 13 giugno 2022.
- [23] Cortés C, MD, PhD et al, *Quantitative flow ratio - Meta-analysis and systematic review*. In: *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. Volume 97, Issue 5, Pages: i-ix, 755-961, E607-E747, April 1, 2021.
- [24] Westra J, MS et al, *Valutazione della stenosi dell'arteria coronarica mediante rapporto di flusso quantitativo durante l'angiografia coronarica invasiva: lo studio WIFI II (Wire-Free Functional Imaging II)*. In: *Imaging cardiovascolare*. Volume 11, Numero 3, 19 marzo, 2018.
- [25] *Image Acquisition Guidelines for 3D Single Vessel and QFR Analyses*, 15 giugno 2021.
- [26] *3D Single Vessel and QFR Analyses*, 3 settembre 2021.
- [27] Reiber JHC, PhD, CSO, *An image-based assessment of coronary physiology, Quantitative Flow Ratio (QFR®)*. Medis medical imaging systems bv, Leiden, The Netherlands, 2019.
- [28] Westra J, BSc et al, *Prestazioni diagnostiche della riserva di flusso quantitativa derivata dall'angiografia durante la procedura rispetto alla riserva di flusso frazionaria derivata dalla pressione: lo studio FAVOR II Europa-Giappone*. *Giornale dell'American Heart Association*, Volume 7, Numero 14, pubblicato originariamente il 6 luglio 2018.

[29] *Codice Deontologico del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica*. 2004.

[30] Federazione nazionale Ordini dei Tecnici sanitari di radiologia medica e delle professioni sanitarie tecniche, della riabilitazione e della prevenzione, *Costituzione Etica*. Edizione giugno 2021.

[31] Documento intersocietario AIFM – AIMN – AINR – AIRB – AIRO - SIRM, D.lgs. 101/20: novità e conferme in riferimento alle esposizioni mediche: un'analisi di AIFM - AIMN - AINR – AIRB- AIRO – SIRM.

[32] Decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 “Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117”, *Presentazione, analisi e commento per il TSRM*.

[33] Federazione Europea delle Società dei Tecnici Sanitari di Radiologia Medica, *Documento di riferimento del Quadro Europeo delle Qualifiche (EQF): Tecnici Sanitari di Radiologia Medica*.

[34] Gianese F, Pellegrini M, *Angiografia coronarica guidata dal quantitative flow ratio: l'evoluzione dell'imaging in CathLab*. G Ital Cardiol 2023;24(10 Suppl. 1): e19-e26.

[35] Decreto 26 settembre 1994, n. 746. Regolamento concernente l'individuazione della figura e del relativo profilo professionale del tecnico sanitario di radiologia medica.







