

SIEMC

Società Italiana di Ecografia
in Medicina e Chirurgia

II CORSO NAZIONALE E
SEMINARI DI
ECOGRAFIA CLINICA
SIEMC



RIMINI,
4 - 7 OTTOBRE 2015
AQUA HOTEL + ARIA HOTEL



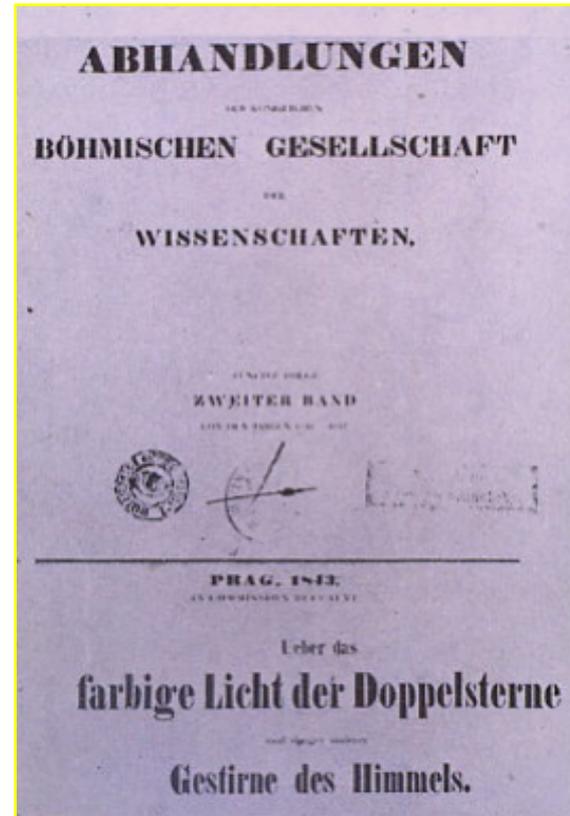
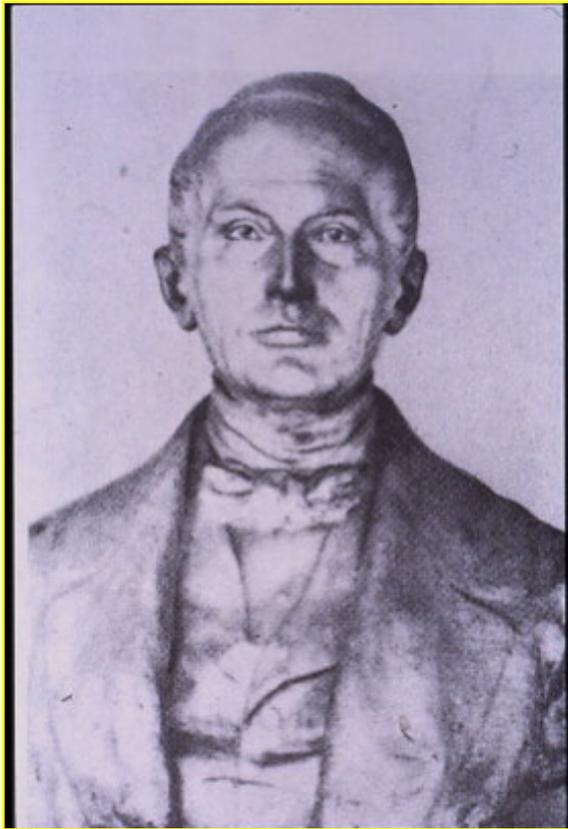
*Matteo Garcovich,
MD, PhD*

*Department of Internal Medicine, Gastroenterology and Liver
Diseases*

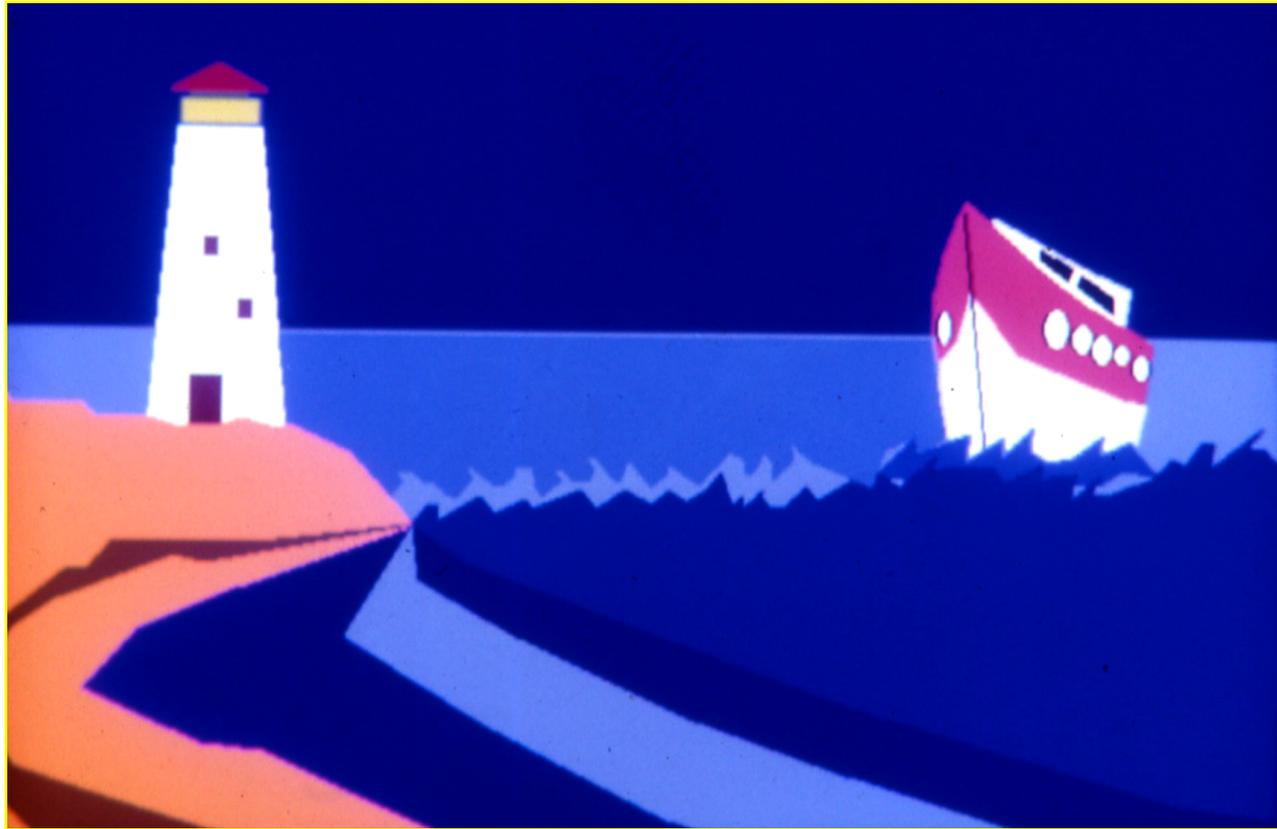
*Ultrasound Unit – Policlinico “A. Gemelli” Hospital
Catholic University of Sacred Heart, Rome (Italy)
matteogarcovich@yahoo.it*

**Eco-Doppler:
principi fisici e principali applicazioni cliniche**





Il 25 maggio 1842, un giovane professore dell'Istituto tecnico di Praga, Christian Doppler, presentò alla Royal Bohemian Society of Sciences una relazione dal titolo: *“Sulla luce colorata delle stelle doppie e di altri corpi celesti”*.



Una nave solca l'oceano, la sua prora fende le onde che le vengono incontro con una frequenza che dipende dalla sua velocità e dalla direzione del suo movimento, mentre la frequenza è fissa per il guardiano del faro...

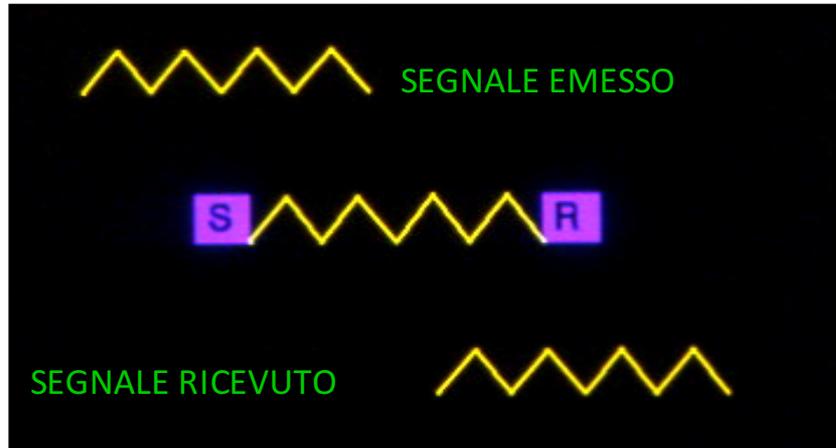
EFFETTO DOPPLER



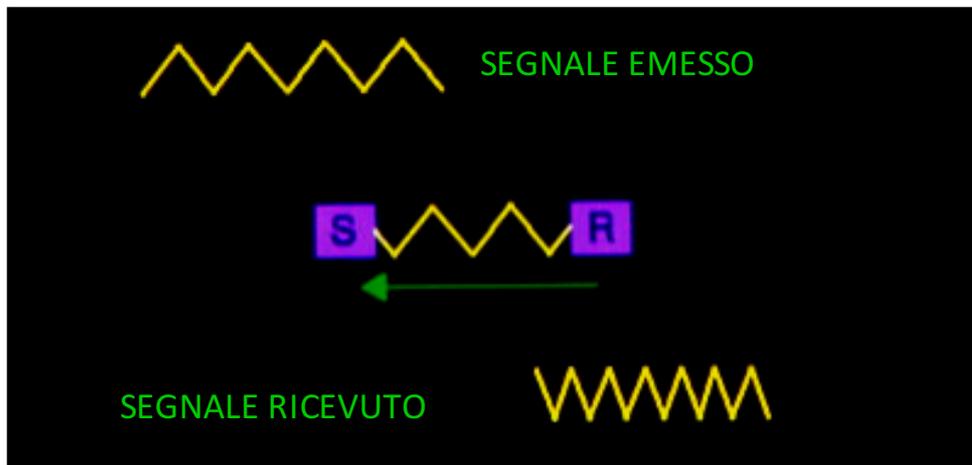
L' EFFETTO DOPPLER AVVIENE QUANDO LA DISTANZA EFFETTIVA TRA L'OSSERVATORE E LA SORGENTE CAMBIA CON IL TEMPO.

MODIFICAZIONE DI FREQUENZA DI UN ONDA RIFLESSA DA UN OGGETTO IN MOVIMENTO RISPETTO ALLA FREQUENZA DELL'ONDA EMESSA DALLA SORGENTE

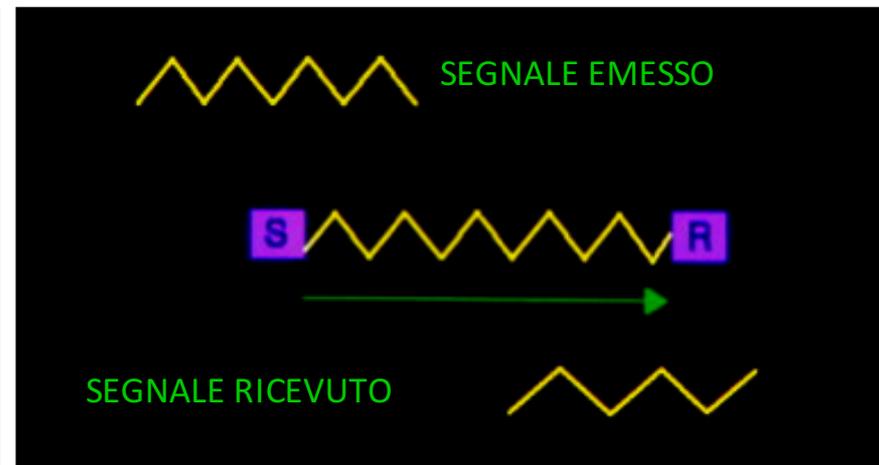
SORGENTE E RICEVITORI FISSI

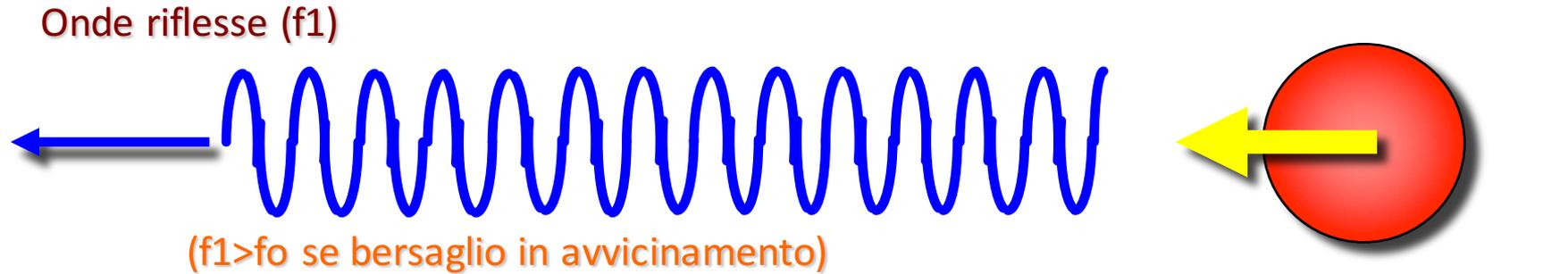
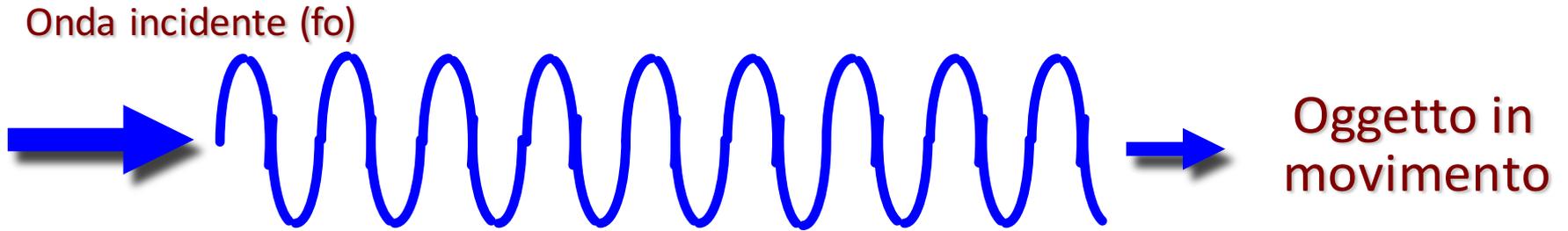


RICEVITORE SI MUOVE VERSO LA SORGENTE



RICEVITORE SI ALLONTANA DALLA SORGENTE





$$\text{Frequenza Doppler} = f_1 - f_0$$

Frequenza Doppler

$$f_d = \frac{2 \cdot f \cdot v \cdot \cos \alpha}{c}$$

f = frequenza fascio incidente/frequenza di emissione

v = velocità bersaglio (Globuli rossi)

c = vel. US nei tessuti (1500 m/sec)

Cos α = dell'angolo di incidenza fra l'asse di direzione del bersaglio in movimento e la direzione dell'onda

$$\cos 0^\circ = 1; \cos 90^\circ = 0$$

Frequenza Doppler

$$f_d = \frac{2 \cdot f \cdot v \cdot \cos \alpha}{c}$$

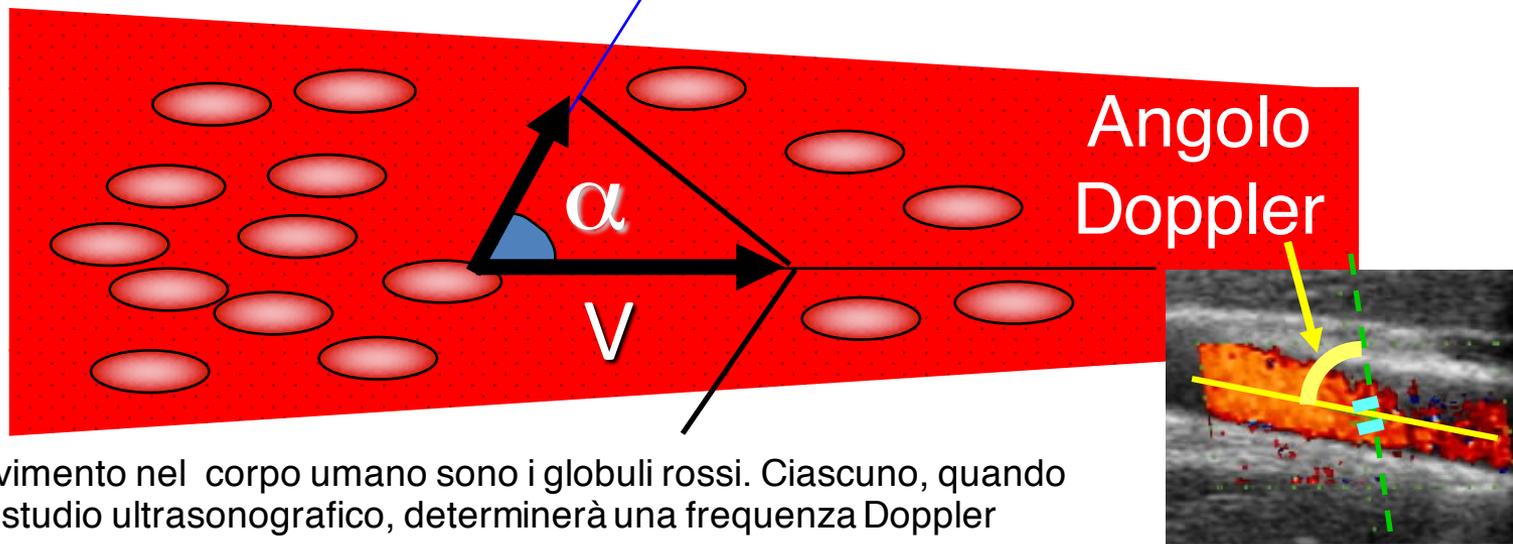
f = frequenza fascio incidente/frequenza di emissione

v = velocità bersaglio (Globuli rossi)

c = vel. US nei tessuti (1500 m/sec)

$$\cos 0^\circ = 1; \cos 90^\circ = 0$$

$$f_{\text{riflessa}} = f_{\text{sorgente}} + f_{\text{Doppler}}$$



Gli oggetti in movimento nel corpo umano sono i globuli rossi. Ciascuno, quando sottoposto a studio ultrasonografico, determinerà una frequenza Doppler proporzionale alla sua direzione e velocità

EFFETTO DOPPLER

- ✓ Le frequenze degli ultrasuoni impiegate in diagnostica oscillano tra 2 e 10 MHz mentre la velocità del sangue è compresa tra 0 e 4 m/sec.
- ✓ La frequenza F_d rientra nelle frequenze udibili dall'orecchio umano (tra 200 e 20.000 Hz) e può essere ascoltata con un altoparlante connesso allo strumento.
- ✓ Tuttavia essa può anche essere rappresentata graficamente per essere analizzata in maniera più precisa sia qualitativamente che quantitativamente.

Trasduttori ed effetto Doppler

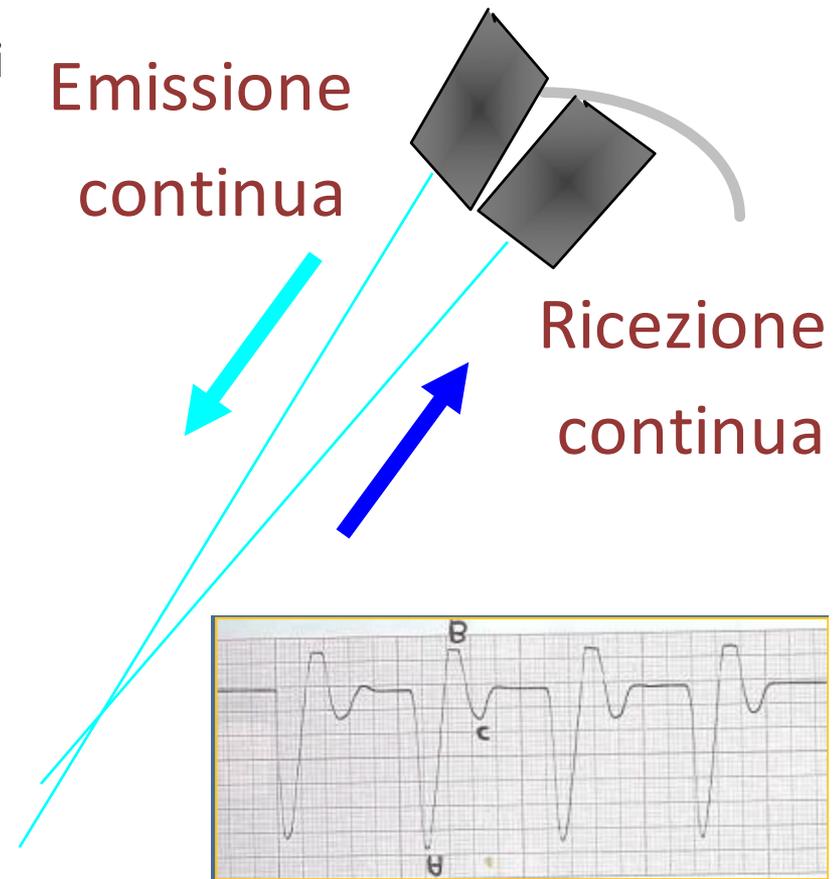
- *Doppler ad onda continua (CW)*
- *Doppler pulsato (PW)*
- *Eco(color)Doppler*

Trasduttori ed effetto Doppler

- ***Doppler ad onda continua (CW)***
- *Doppler pulsato (PW)*
- *Eco(color)Doppler*

Doppler ad onda continua (CW)

- ✓ Viene utilizzato un trasduttore provvisto di due cristalli (emettitore e ricevitore) lievemente angolati fra loro
- ✓ Un cristallo è continuamente sorgente del fascio, mentre l'altro funziona continuamente da ricevente del segnale riflesso
- ✓ Il trasduttore riceve le riflessioni acustiche da tutti i punti attraversati da un fascio US



CW è lo studio della sola curva velocimetrica

Doppler ad onda continua (CW)

- ✓ Il segnale Doppler risente di tutti i movimenti che si verificano lungo la zona di focalizzazione del fascio ultrasonoro
- ✓ Di conseguenza non è possibile differenziare tra loro segnali generati da vasi situati a varia profondità lungo l'asse del fascio

Vantaggi: nessun limite di velocità di flusso rilevabile (non c'è aliasing)

Svantaggi: assenza di risoluzione spaziale

Trasduttori ed effetto Doppler

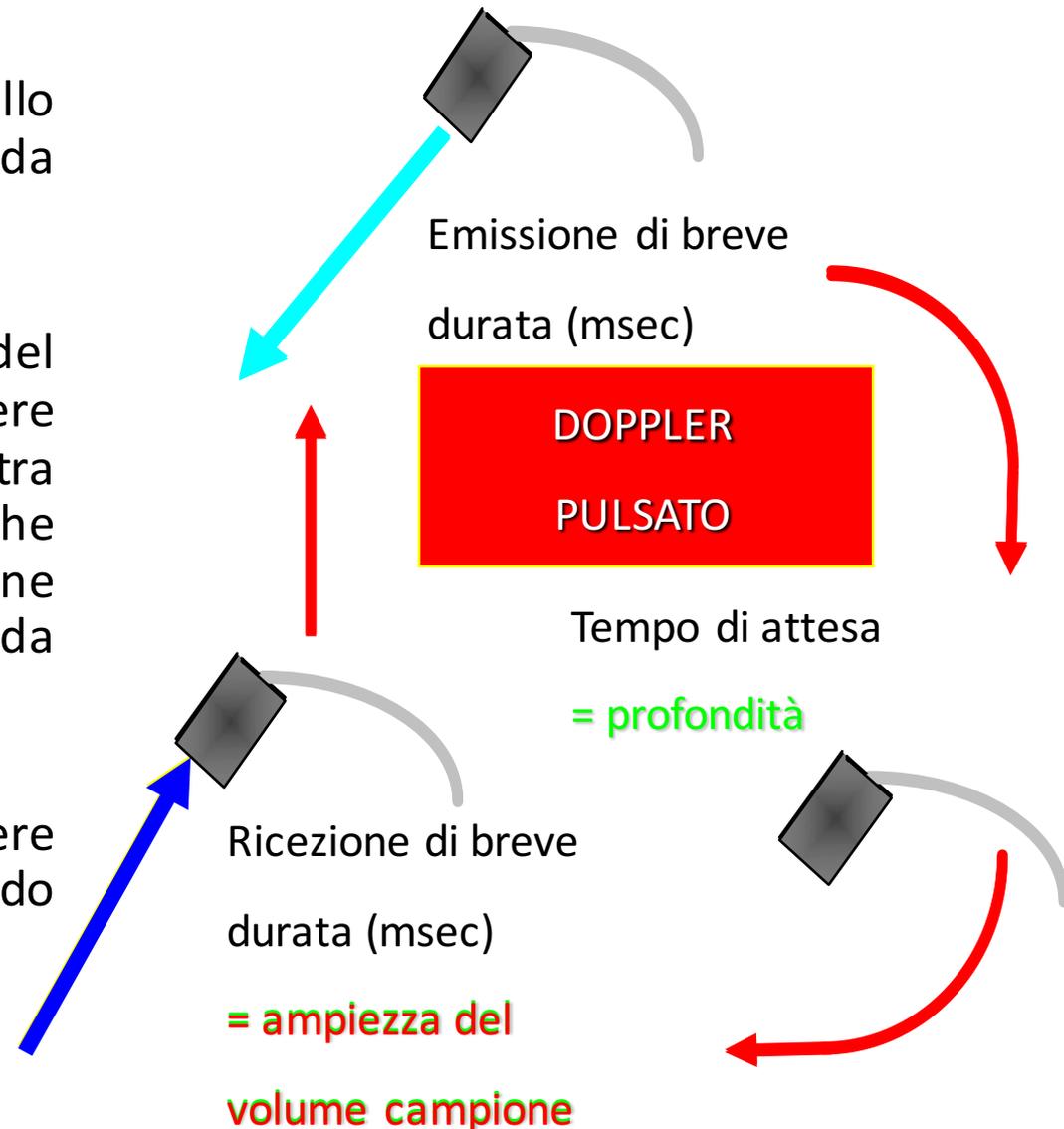
- *Doppler ad onda continua (CW)*

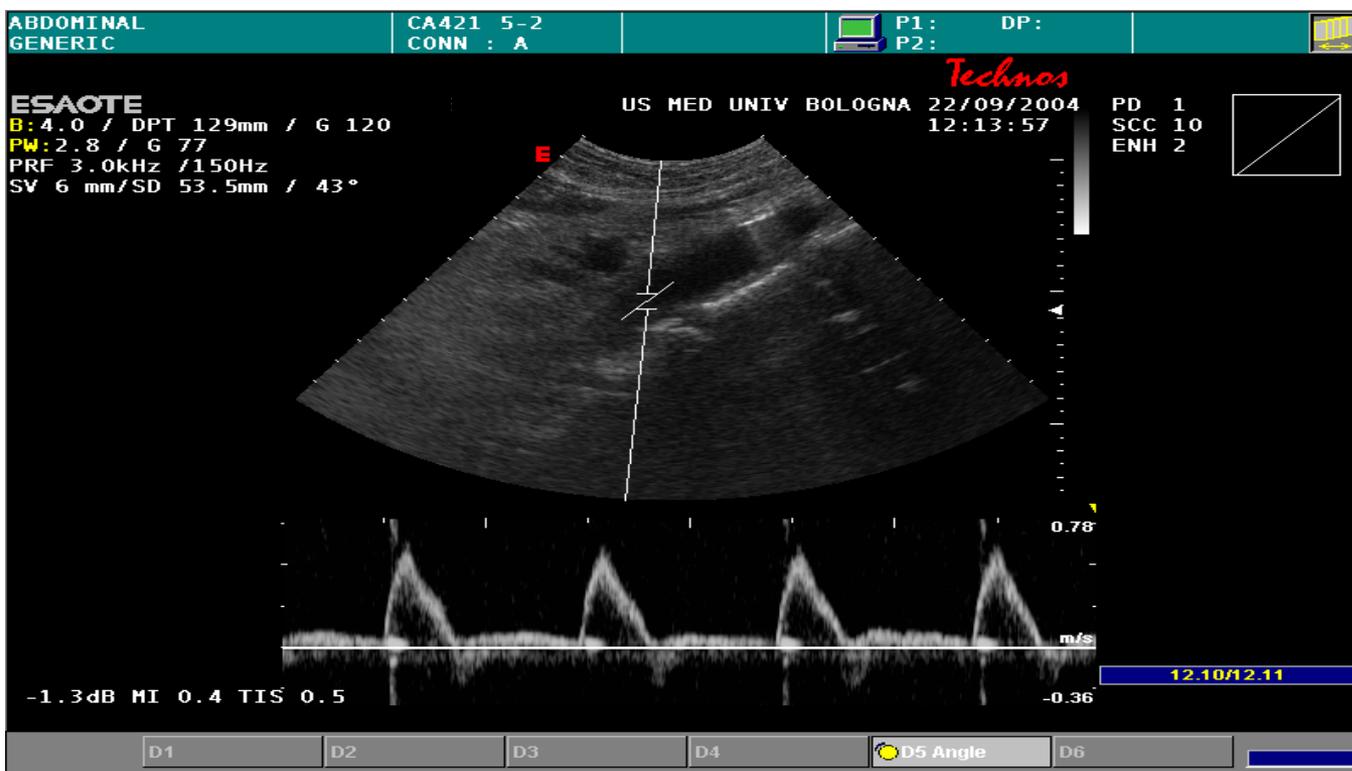
- ***Doppler pulsato (PW)***

- *Eco(color)Doppler*

Doppler ad onda pulsata (PW)

- ✓ Nei sistemi a PW lo stesso cristallo funziona sia da trasmettitore che da ricevitore di US
- ✓ Il ritmo e la durata di emissione del fascio ultrasonoro possono essere regolati mediante una finestra elettronica (volume campione) che consente di selezionare la posizione e la dimensione dell'area da esplorare
- ✓ Ciò offre il vantaggio di rendere esplorabili vasi profondi evitando l'interferenza di vasi vicini

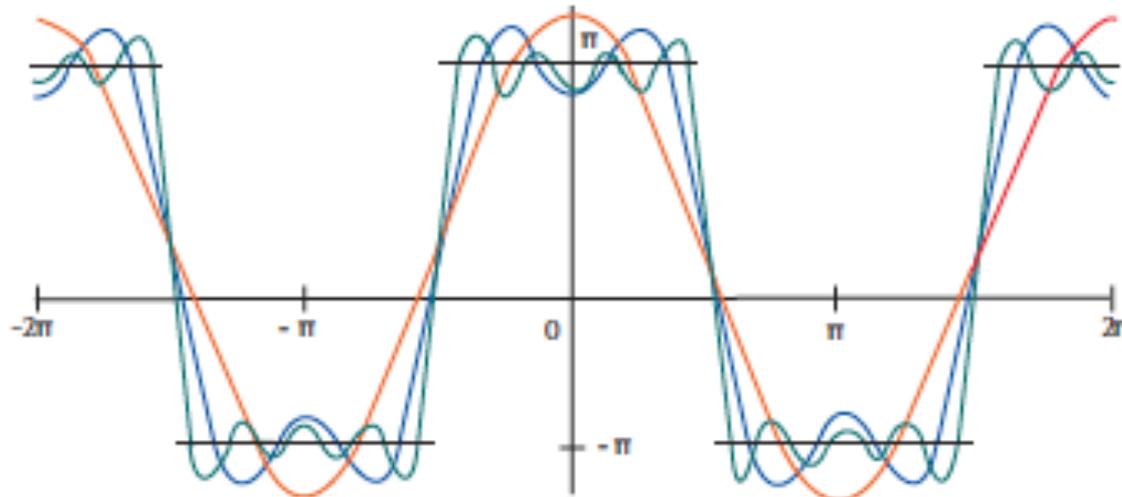




METODICHE DOPPLER: ANALISI SPETTRALE

Il vol. campione comprende un elevatissimo numero di globuli rossi. La frequenza Doppler ottenuta è costituita da un ampio spettro di frequenze corrispondenti alle diverse velocità dei globuli rossi. Questo spettro di frequenze è analizzato e rappresentato attraverso la trasformata veloce di Fourier.

Trasformata veloce di Fourier



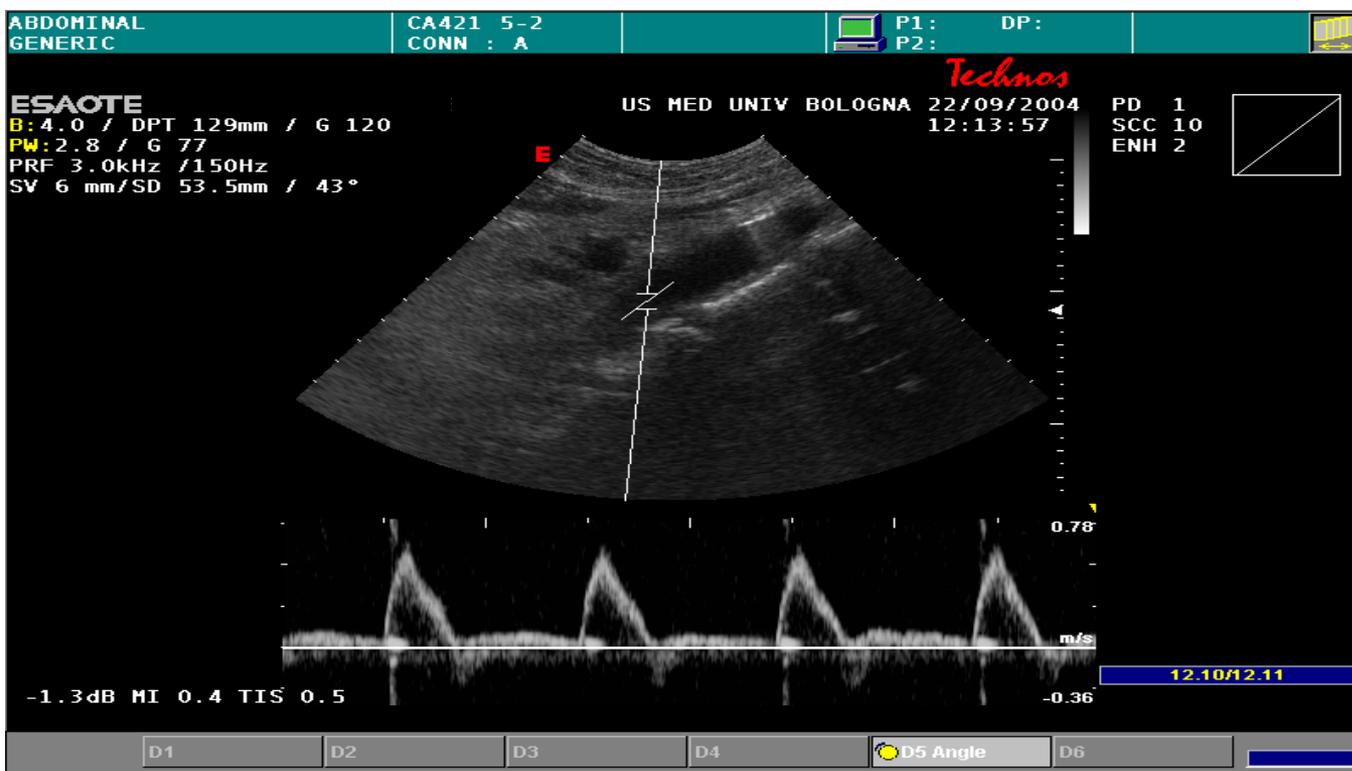
Funzione periodica sull'asse reale di periodo 2π $f(x) = \begin{cases} \pi & (-\pi/2 \leq x < \pi/2) \\ -\pi & (\pi/2 \leq x < 3\pi/2) \end{cases}$

Intervallo di definizione $-\pi/2 \leq x < 3\pi/2$

Sviluppo in serie di Fourier $f(x) = 4 \cos x - \frac{4}{3} \cos 3x + \frac{4}{5} \cos 5x + \dots$

$$= 4 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \cos[(2n-1)x]$$

... “qualsiasi oscillazione armonica, per quanto complessa, può essere scomposta in una serie di sinusoidi di ampiezza e fase ben determinata...”



METODICHE DOPPLER: ANALISI SPETTRALE

Il profilo superiore della curva indica le massime frequenze, in rapporto alle velocità massime. L'area libera sottostante lo spettro viene definita "finestra" e la sua ampiezza è correlata alla omogeneità del flusso (**flusso piatto, finestra vuota; flusso parabolico, finestra piena**). Lo spettro di frequenza appare positivo o negativo a seconda che il flusso si diriga verso la sonda o se ne allontani.

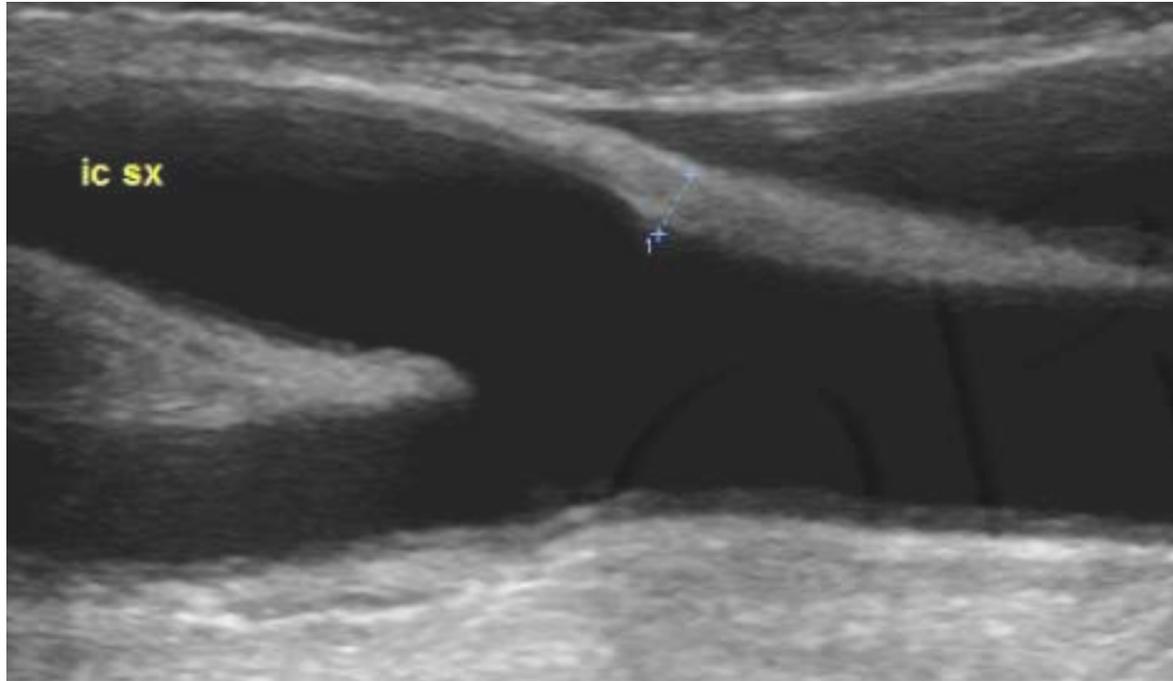
Trasduttori ed effetto Doppler

- *Doppler ad onda continua (CW)*
- *Doppler pulsato (PW)*
- ***Eco(color)Doppler***

Eco(color)Doppler

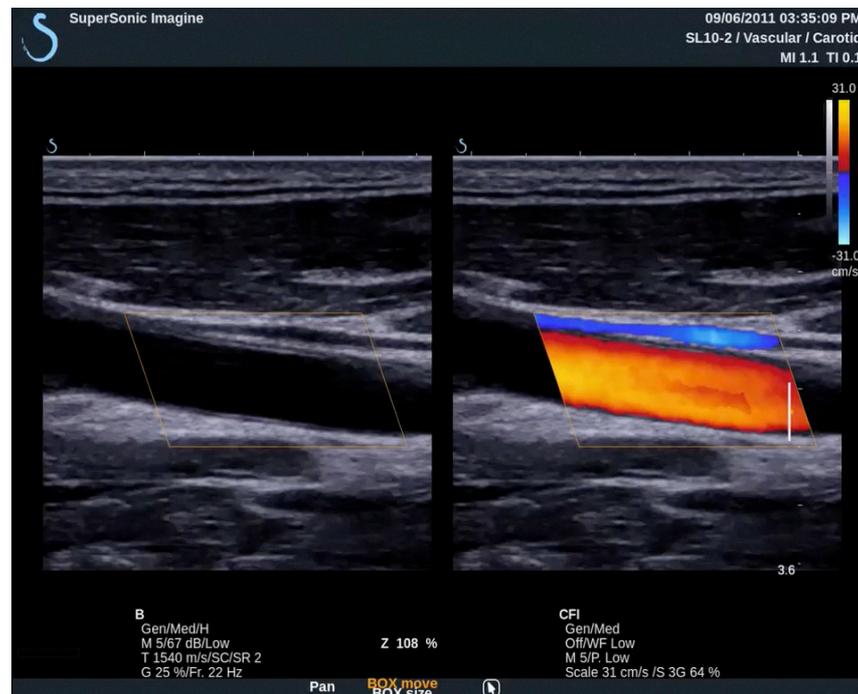
Il Doppler pulsato (PW), per la caratteristica di poter selezionare la posizione e le dimensioni dell'area da esplorare, integra le informazioni degli ecotomografia ad alta risoluzione che in questo modo sono in grado di dare informazioni:

- ✓ **Morfologiche (Eco)**
- ✓ **Emodinamiche (Doppler)**



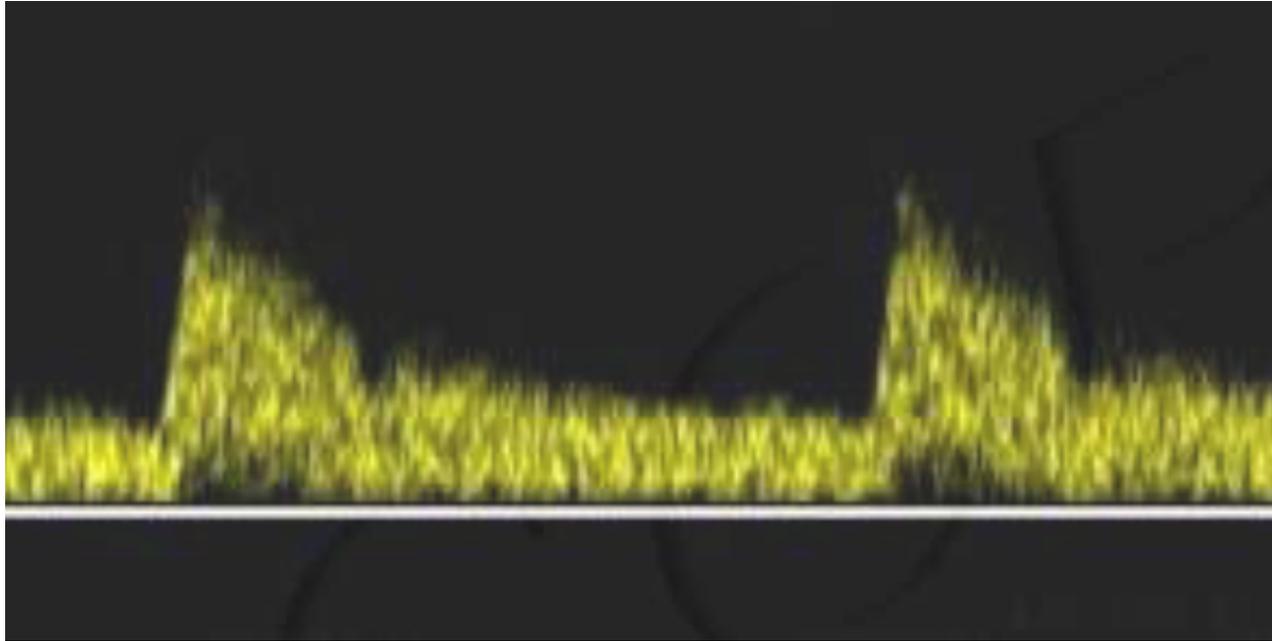
1. Eco (B-mode)

- ✓ Immagine ecografica, bidimensionale, in “bianco e nero” dei vasi (parete, lume, placca etc) e dei tessuti circostanti



2. Color

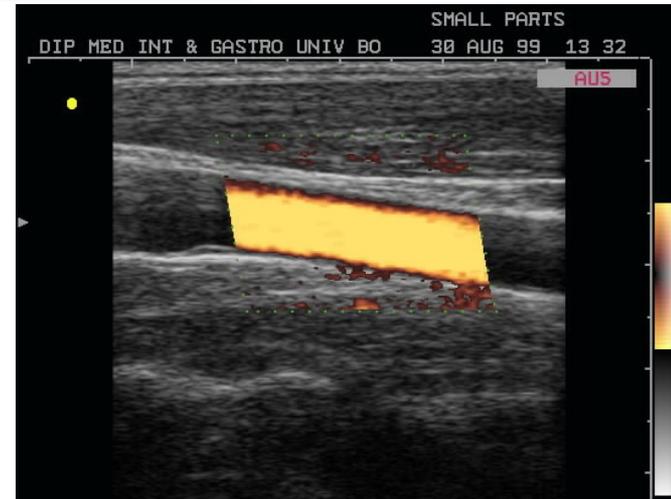
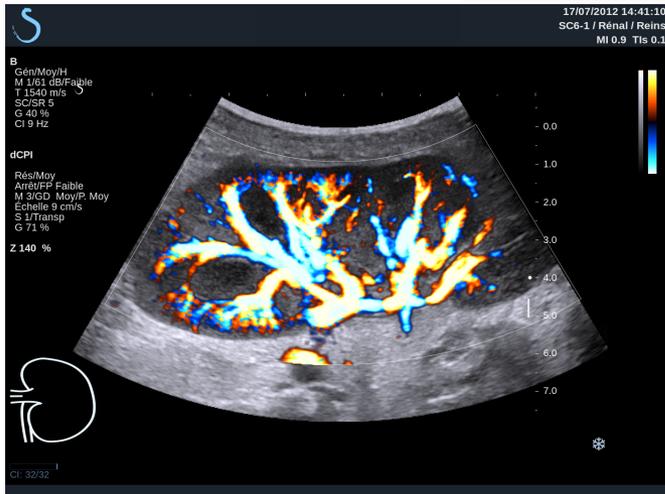
- ✓ La direzione del flusso viene codificata in **ROSSO** se è in *avvicinamento* ed in **BLU** se in *allontanamento*
- ✓ La velocità di flusso viene codificata mediante la saturazione dei colori (i.e. in stenosi emodinamica: maggiore velocità → colore più chiaro)
- ✓ Agevola il successivo posizionamento del volume campione per ottenere il tracciato Doppler indispensabile per l'analisi quantitativa



3. Doppler

- ✓ Informazioni emodinamiche sulla direzione e velocità di scorrimento del sangue all'interno del vaso
- ✓ Il segnale è dipendente dall'angolo, dalla direzione del flusso e dalla velocità di flusso delle emazie

Power Doppler



- ✓ Rispetto al color Doppler presenta migliore sensibilità nella determinazione di presenza e sede del flusso
- ✓ Tecnica che dimostra l'ampiezza del segnale determinato dalla densità delle emazie
- ✓ Il Power Doppler indica solo la presenza di flusso sanguigno, non informa sulla direzione e sulla velocità di flusso (a meno che l'apparecchitura non sia dotata della versione direzionale del Power Doppler)
- ✓ Il Power Doppler è utile soprattutto nello studio dei vasi più piccoli e profondi o dei vasi con flussi molto lenti (non ben evidenziati con il color Doppler)

Uso del sistema EcoDoppler:

Settaggi fondamentali

- **Scelta del trasduttore**
- **Piano di scansione**
- **Box colore**
- **Angolo Doppler**
- **Frequenza di trasmissione**
- **Frequenza ripetizione impulsi o PRF**
- **Guadagno Doppler**

Uso del sistema EcoDoppler:

Settaggi fondamentali

- **Scelta del trasduttore**

- Piano di scansione
- Box colore
- Angolo Doppler
- Frequenza di trasmissione
- Frequenza ripetizione impulsi o PRF
- Guadagno Doppler

Scelta del trasduttore

Sonde lineari ad alta frequenza

- ✓ Studio segmenti vascolari superficiali
- ✓ Geometria della sonda maneggevole (vedi biforcazione carotidea, kinking, coiling)

Sonde convex e microconvex

- ✓ Studio dei vasi profondi e/o finestre acustiche particolari



Uso del sistema EcoDoppler:

Settaggi fondamentali

- Scelta del trasduttore
- **Piano di scansione**
- Box colore
- Angolo Doppler
- Frequenza di trasmissione
- Frequenza ripetizione impulsi o PRF
- Guadagno Doppler

Piano di scansione

- ✓ Obiettivo dell'esame B-mode è la caratterizzazione delle strutture anatomiche e la identificazione dei vasi.
- ✓ L'operatore deve seguire scansioni assiali, longitudinali ed oblique per individuare il vaso, definirne il decorso e le caratteristiche morfologiche della parete.
- ✓ E' opportuno usare anche proiezioni non convenzionali per discriminare gli artefatti dalle immagini reali.

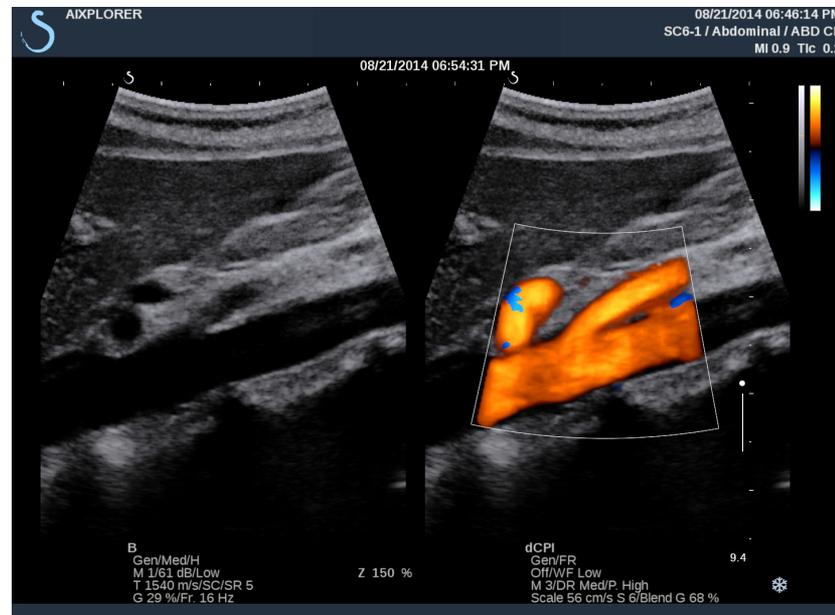
Uso del sistema EcoDoppler:

Settaggi fondamentali

- Scelta del trasduttore
- Piano di scansione
- **Box colore**
- Angolo Doppler
- Frequenza di trasmissione
- Frequenza ripetizione impulsi o PRF
- Guadagno Doppler

Box colore

- ✓ Sull'immagine B-mode si sovrappone un box colore che può essere liberamente spostato sulla ROI.
- ✓ La riduzione o l'estensione del box determina un calo o un aumento dei *frame rate* \approx risoluzione temporale del color Doppler

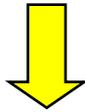


Uso del sistema EcoDoppler:

Settaggi fondamentali

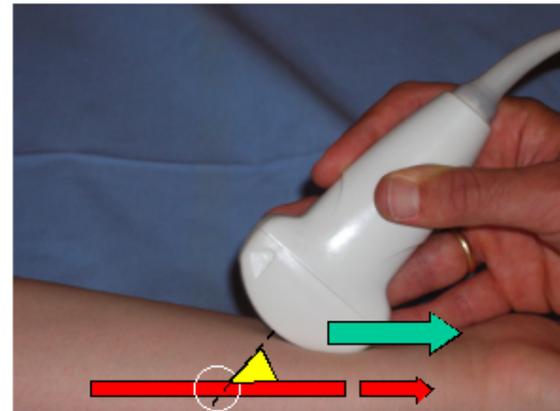
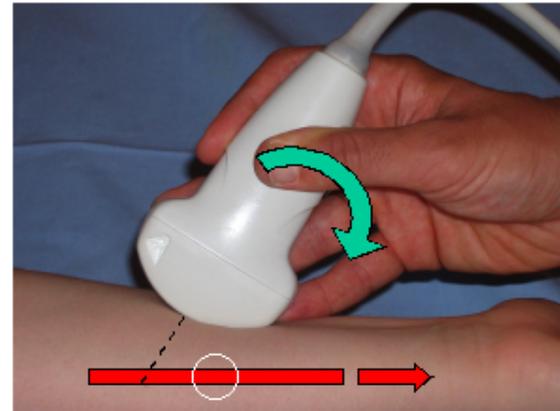
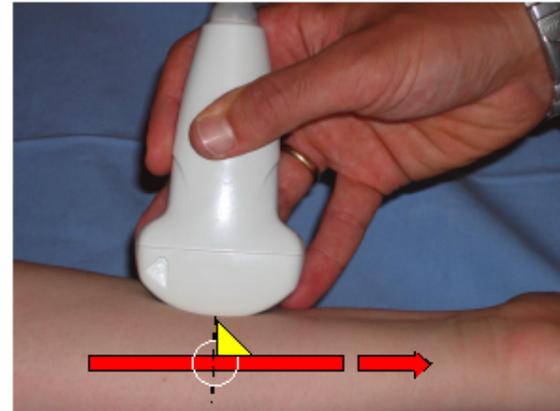
- Scelta del trasduttore
- Piano di scansione
- Box colore
- **Angolo Doppler**
- Frequenza di trasmissione
- Frequenza ripetizione impulsi o PRF
- Guadagno Doppler

$$f_d = \frac{2 \cdot f \cdot V \cdot \cos \alpha}{c}$$

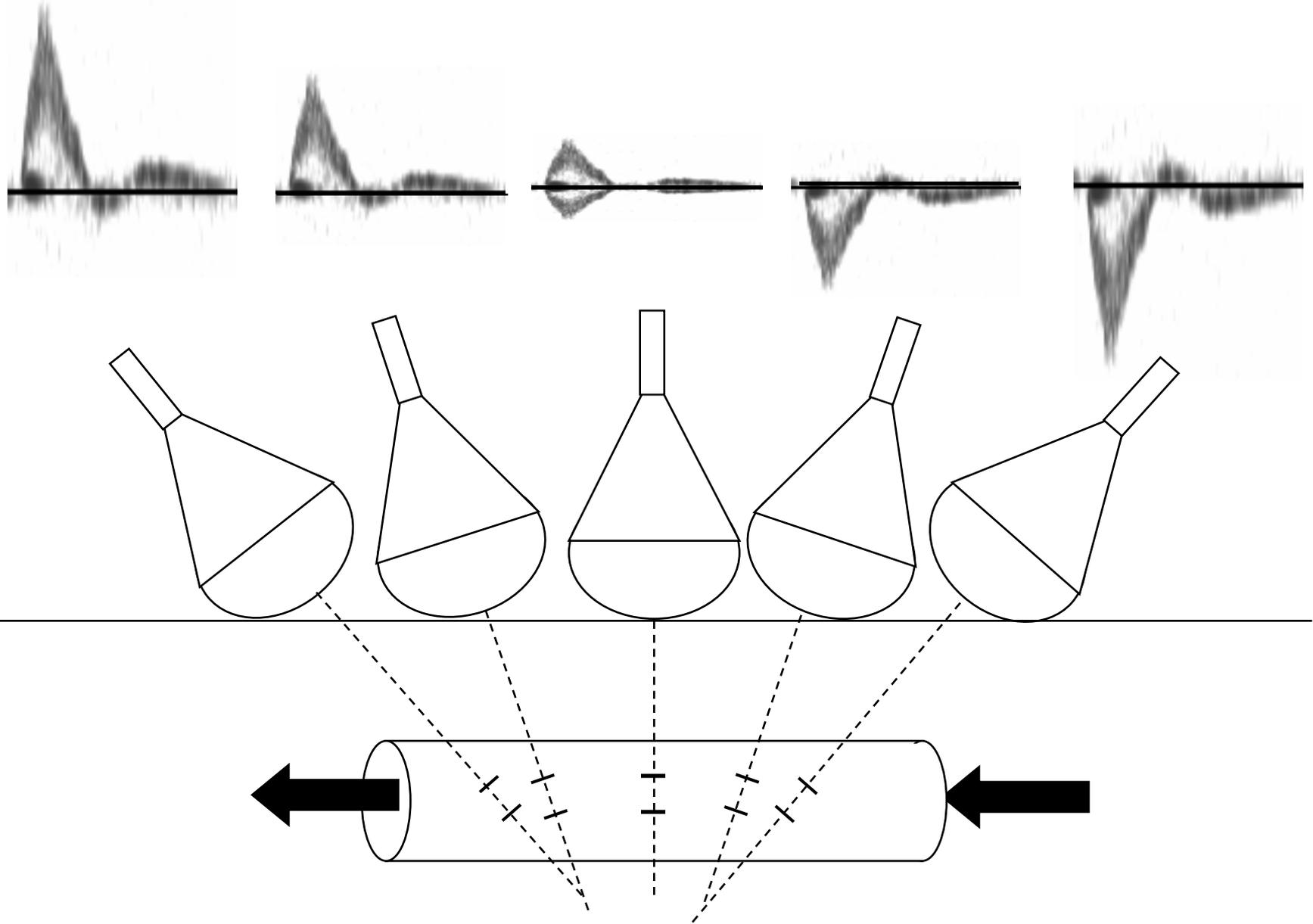


A parità di velocità del sangue
più tale angolo è stretto
maggiore è la frequenza Doppler
generata.

Come stringere l'angolo con la
sonda addominale

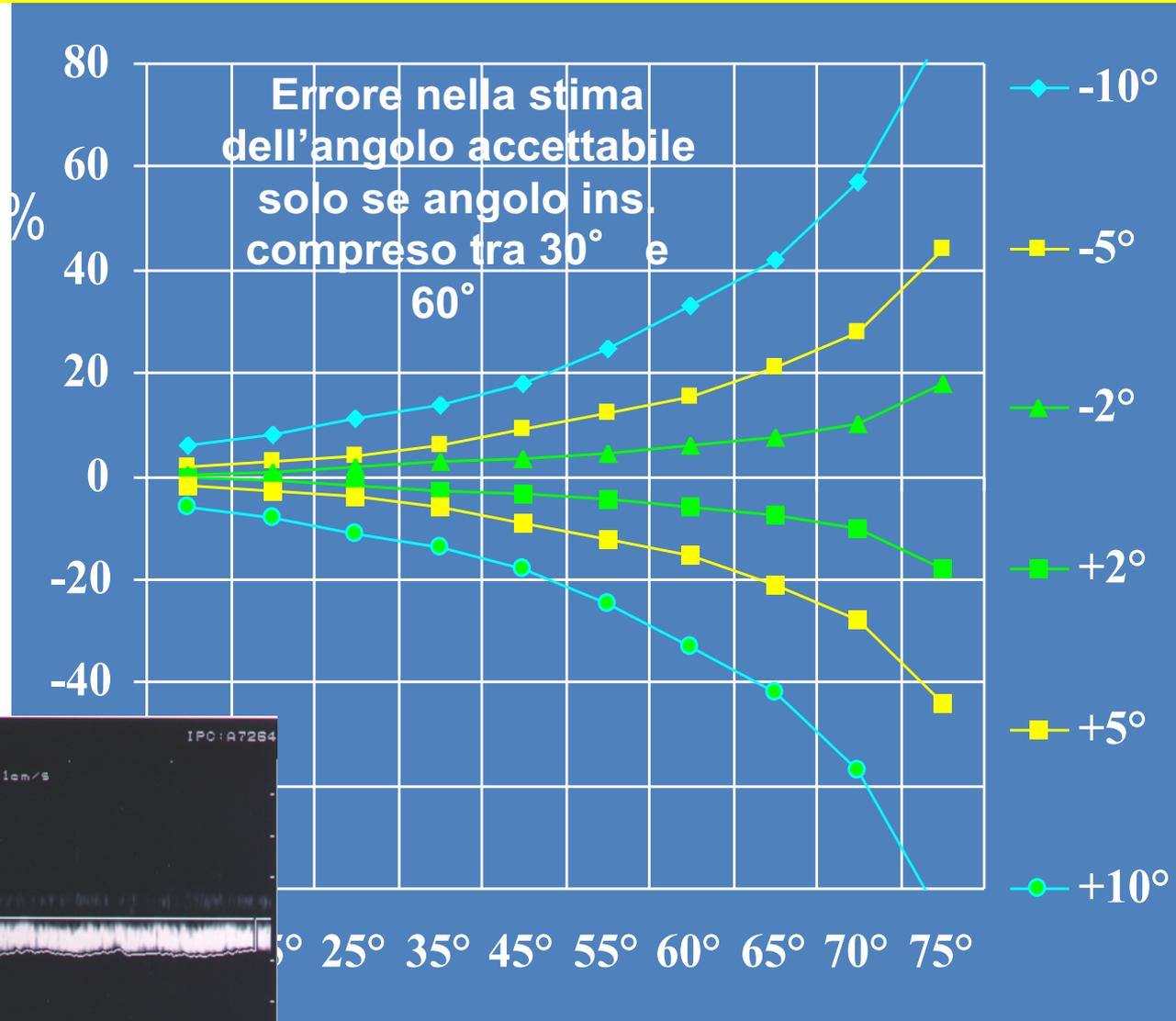


$$\cos 0^\circ = 1; \cos 90^\circ = 0$$



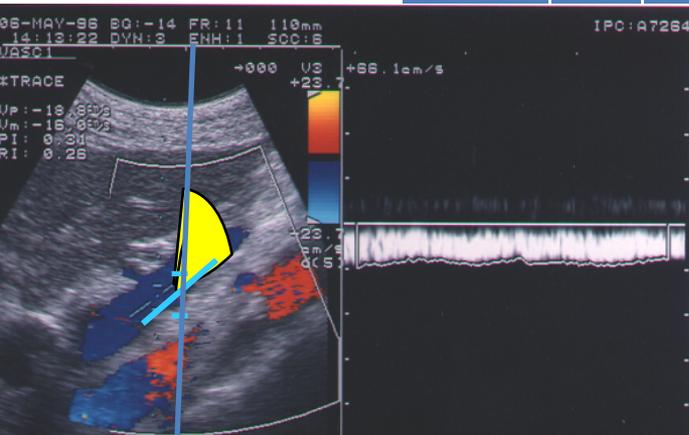
Angolo tra fascio ultrasonoro e asse del vaso. Effetto sull'analisi spettrale

Diversa influenza dell'errore di stima dell'angolo sull'accuratezza della misura della velocità



Errore percentuale di misura della velocità

Angolo di insonazione



Uso del sistema EcoDoppler:

Settaggi fondamentali

- Scelta del trasduttore
- Piano di scansione
- Box colore
- Angolo Doppler
- **Frequenza di trasmissione**
- Frequenza ripetizione impulsi o PRF
- Guadagno Doppler

Frequenza di trasmissione

Per le apparecchiature moderne digitali con sonde multifrequenza, la frequenza operativa può essere selezionata dall'operatore in base alle applicazioni e alla complessità fisica del paziente.

Nelle apparecchiature digitali frequenza operativa B-mode non deve coincidere necessariamente con la frequenza di trasmissione del modulo Doppler:

- ✓ *È possibile impostare contemporaneamente la frequenza più idonea per il B-mode, per l'imaging color Doppler e per l'analisi spettrale.*
- ✓ *In generale, la frequenza operativa del Doppler è più bassa di quella usata per il B-mode.*



Uso del sistema EcoDoppler:

Settaggi fondamentali

- Scelta del trasduttore
- Piano di scansione
- Box colore
- Angolo Doppler
- Frequenza di trasmissione
- **Frequenza ripetizione impulsi o PRF**
- Guadagno Doppler

Emissione continua

Ricezione continua

DOPPLER CONTINUO

Emissione di breve durata (msec)

DOPPLER PULSATO

Tempo di attesa

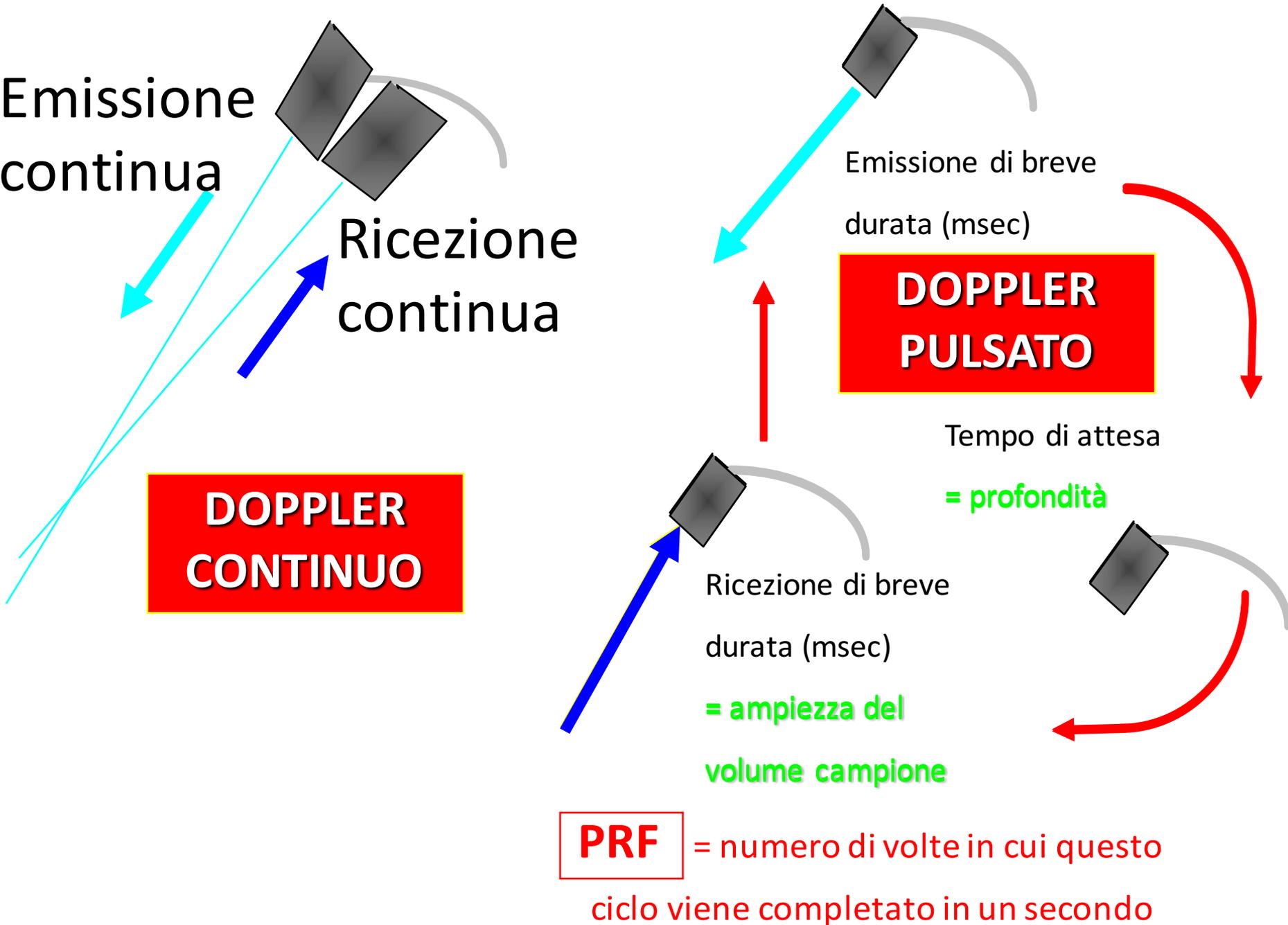
= profondità

Ricezione di breve durata (msec)

= ampiezza del volume campione

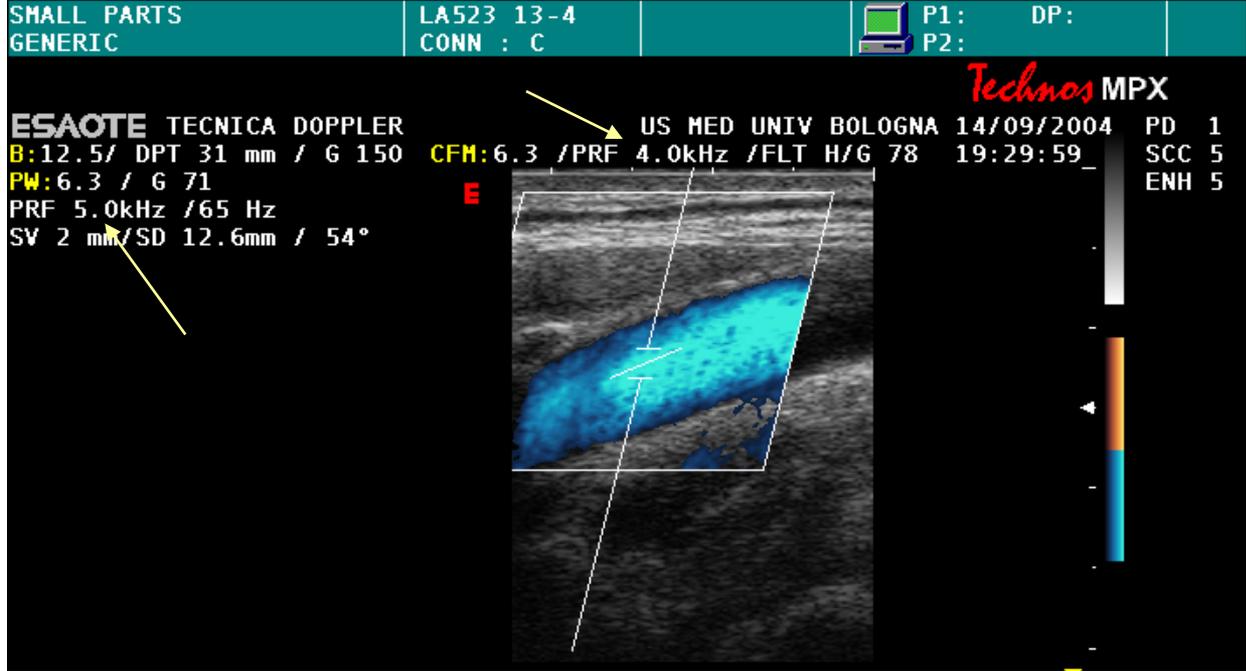
PRF

= numero di volte in cui questo ciclo viene completato in un secondo

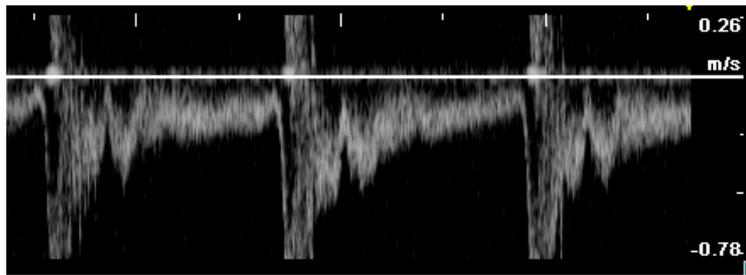


PRF (pulse repetition frequency)

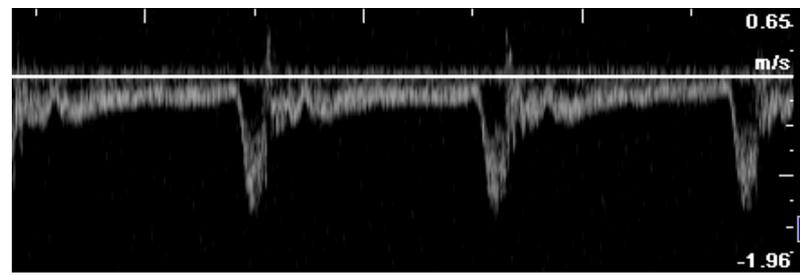
- ✓ Affinchè il segnale venga acquisito correttamente è necessario che la frequenza di campionamento (PRF) sia superiore al doppio della frequenza massima del segnale (definita come limite di Nyquist).
- ✓ Qualora questa condizione non venga rispettata si verifica il fenomeno dell' "aliasing" per cui una parte del segnale viene rappresentata in posizione speculare.
- ✓ Per valutare alte velocità di flusso sono necessarie alte PRF; al contrario, le basse velocità sono valutabili solo con basse PRF.



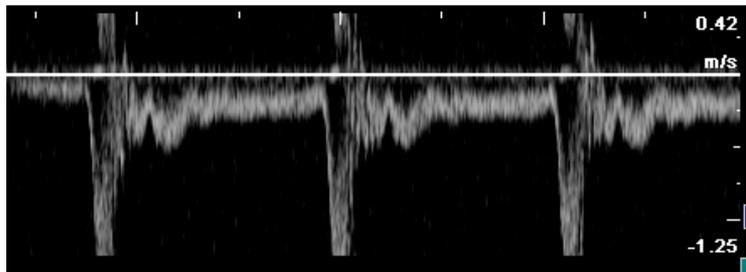
Effetto del **PRF**
 sulla traccia
 Doppler



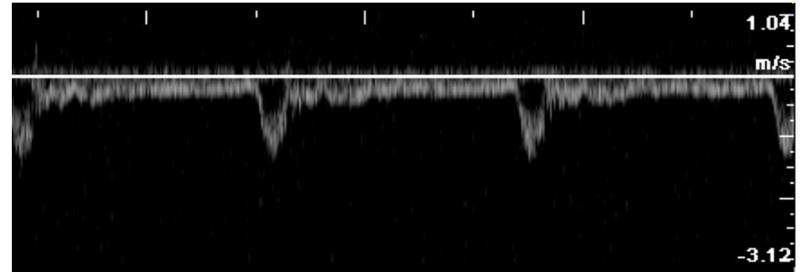
PRF = 5 MHz



PRF = 12 MHz

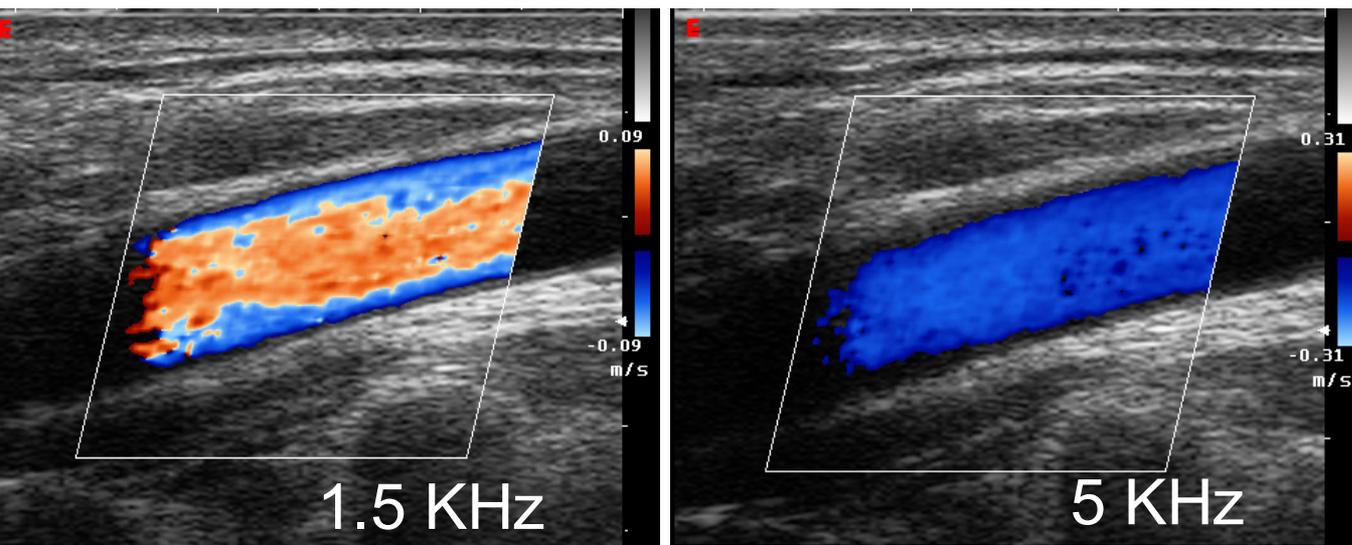
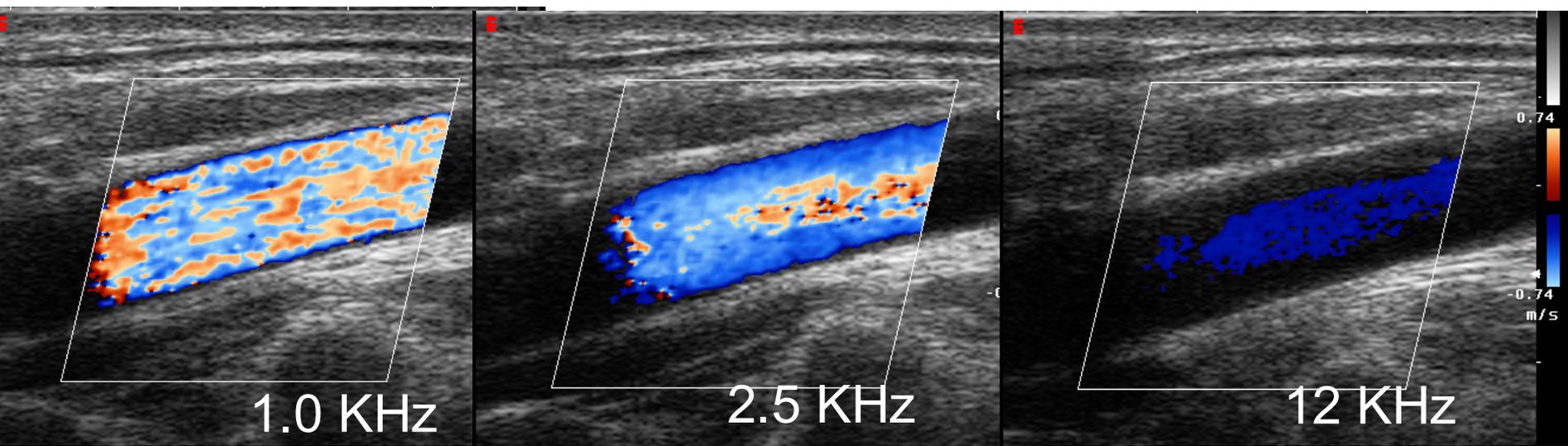


PRF = 8 MHz



PRF = 19 MHz

aliasing



Effetto del **PRF** sul Color Doppler

Artifici per evitare il fenomeno dell'aliasing

- Riduzione della frequenza di emissione della sonda
- Aumento del PRF
- Utilizzo di un angolo di incidenza del fascio ultrasonoro meno acuto
- Abbassare la linea di base

Uso del sistema EcoDoppler:

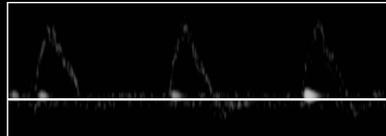
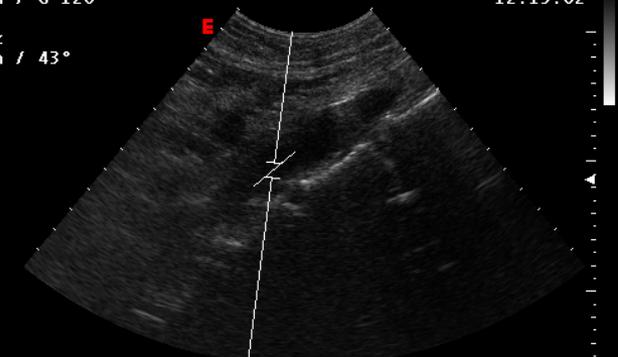
Settaggi fondamentali

- Scelta del trasduttore
- Piano di scansione
- Box colore
- Angolo Doppler
- Frequenza di trasmissione
- Frequenza ripetizione impulsi o PRF
- **Guadagno Doppler**

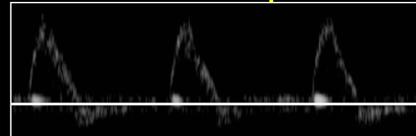
Guadagno o *gain*

- ✓ Il guadagno amplifica il segnale Doppler (spettrale, color o power) “aumentandone” la sensibilità di ricezione da parte del trasduttore.
- ✓ La rotazione in senso orario o antiorario di questa manopola consente di aumentare o diminuire in modo uniforme l'intensità del segnale sino alla comparsa di segni artefattuali di sovrasaturazione o, in caso inverso, sino alla scomparsa completa del segnale

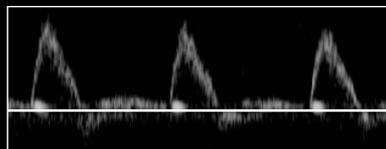
ESAOE US MED UNIV BOLOGNA *Technos* 22/09/2004 12:13:02 PD 1
B: 4.0 / DPT 129mm / G 120 SCC 10
PW: 2.8 / G 0 ENH 2
PRF 3.0kHz / 150Hz
SV 6 mm / SD 53.3mm / 43°



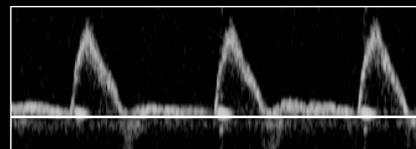
Gain = 0



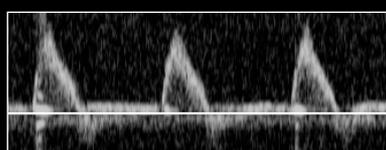
Gain = 17



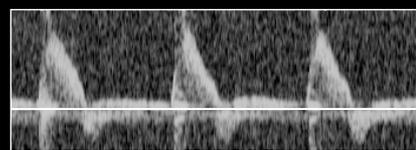
Gain = 48



Gain = 77



Gain = 111



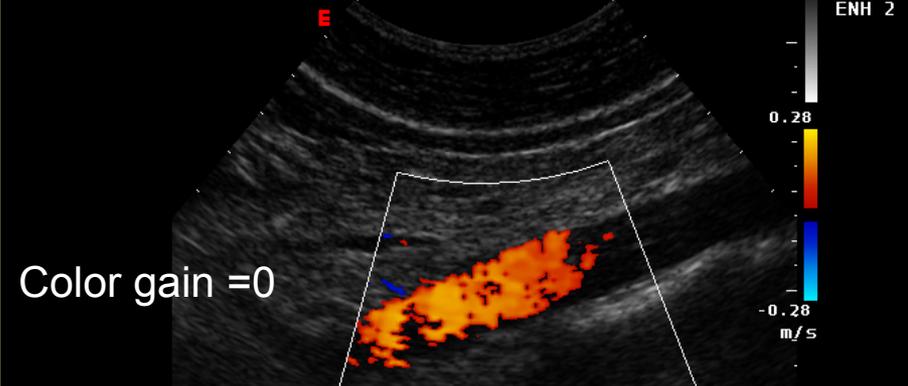
Gain = 147



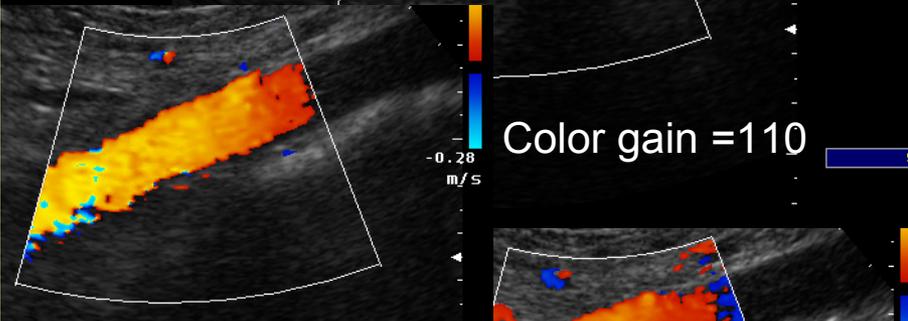
Gain = 183

Effetto delle variazioni di livello del guadagno

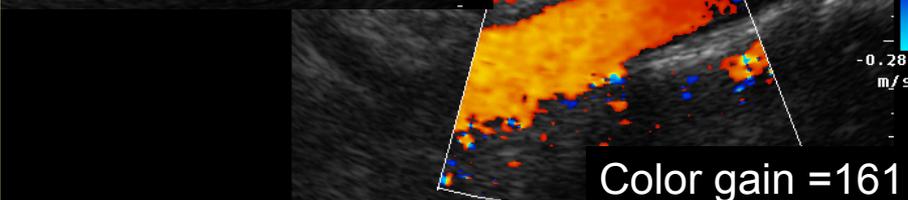
0 / DPT 111mm / G 95 CFM: 2.8 / PRF 2.0kHz / FLT H/G 0 14:37:01 SCC 5
ENH 2



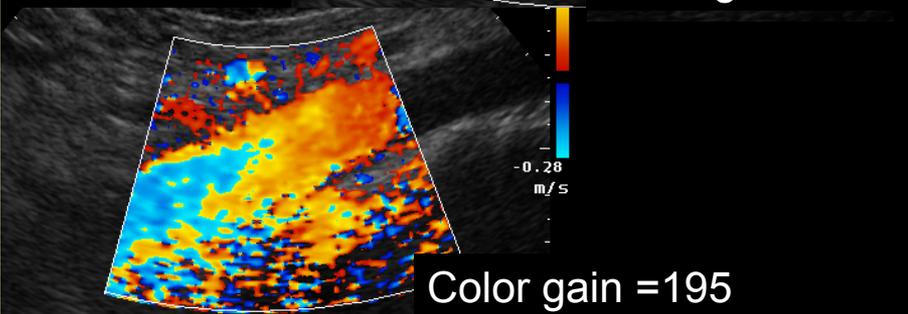
Color gain = 0



Color gain = 110



Color gain = 161

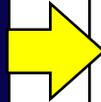


Color gain = 195

ECO-DOPPLER

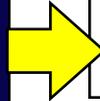
Informazioni

Qualitative



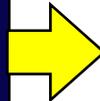
Presenza, direzione e
profilo del flusso

**Semi-
quantitative**



Indici di resistenza e
pulsatilità

Quantitative



Velocità media e
massima, volume di
flusso (+ indici derivati)

ECO-DOPPLER

Informazioni

Qualitative

Presenza, direzione e
profilo del flusso

Semi-
quantitative

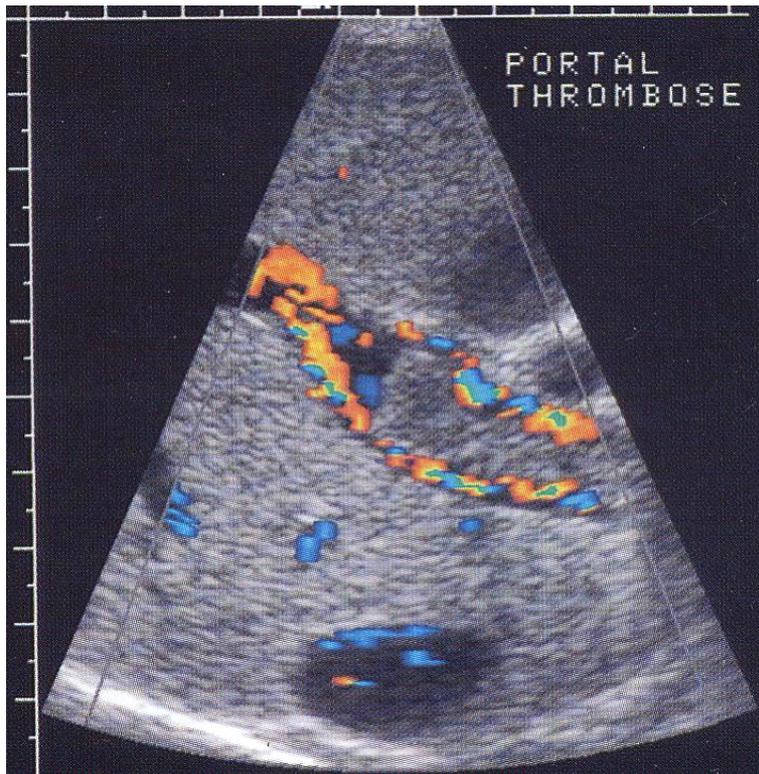
Indici di resistenza e
pulsatilità

Quantitative

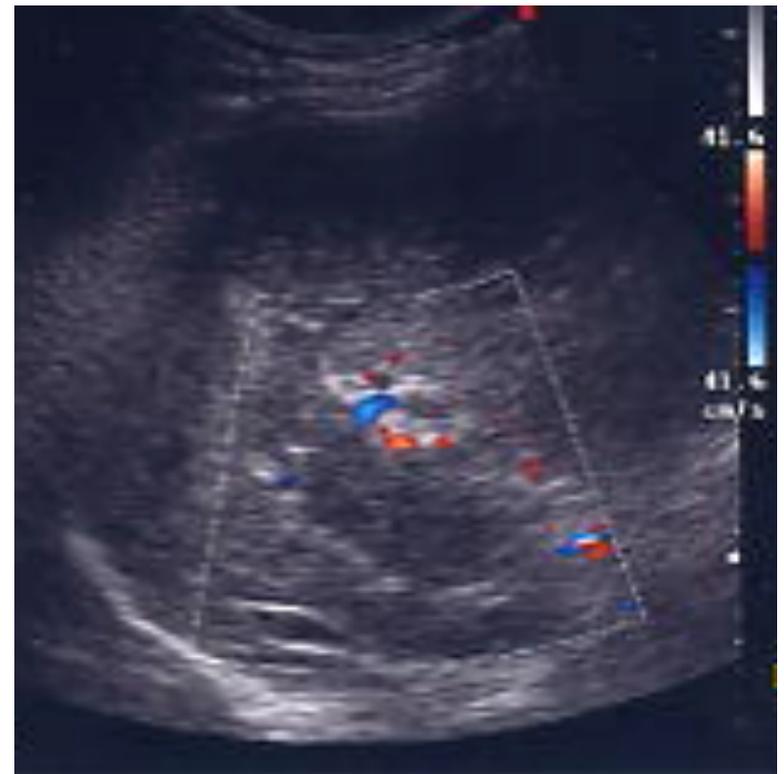
Velocità media e
massima, volume di
flusso (+ indici derivati)

TROMBOSI PORTALE TOTALE

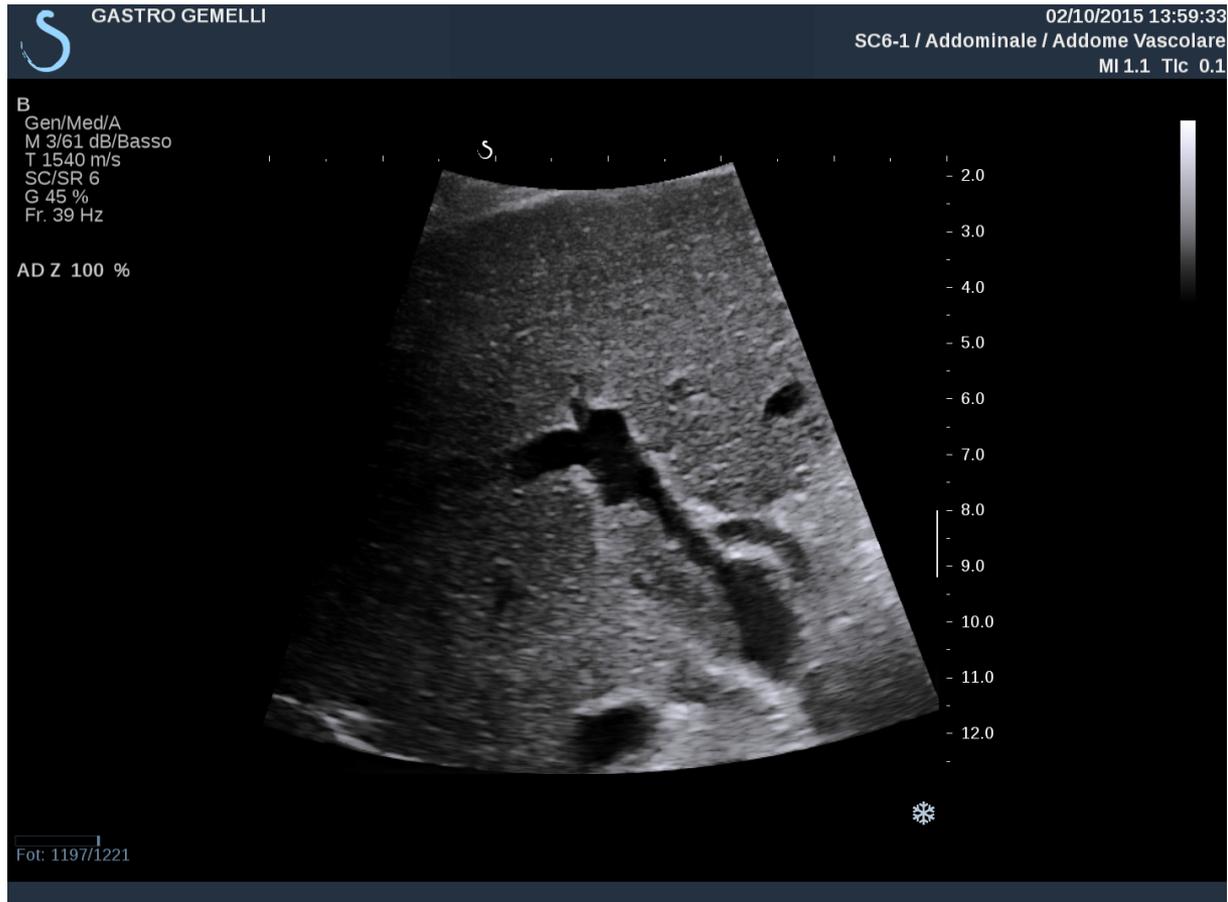
Non ostruente



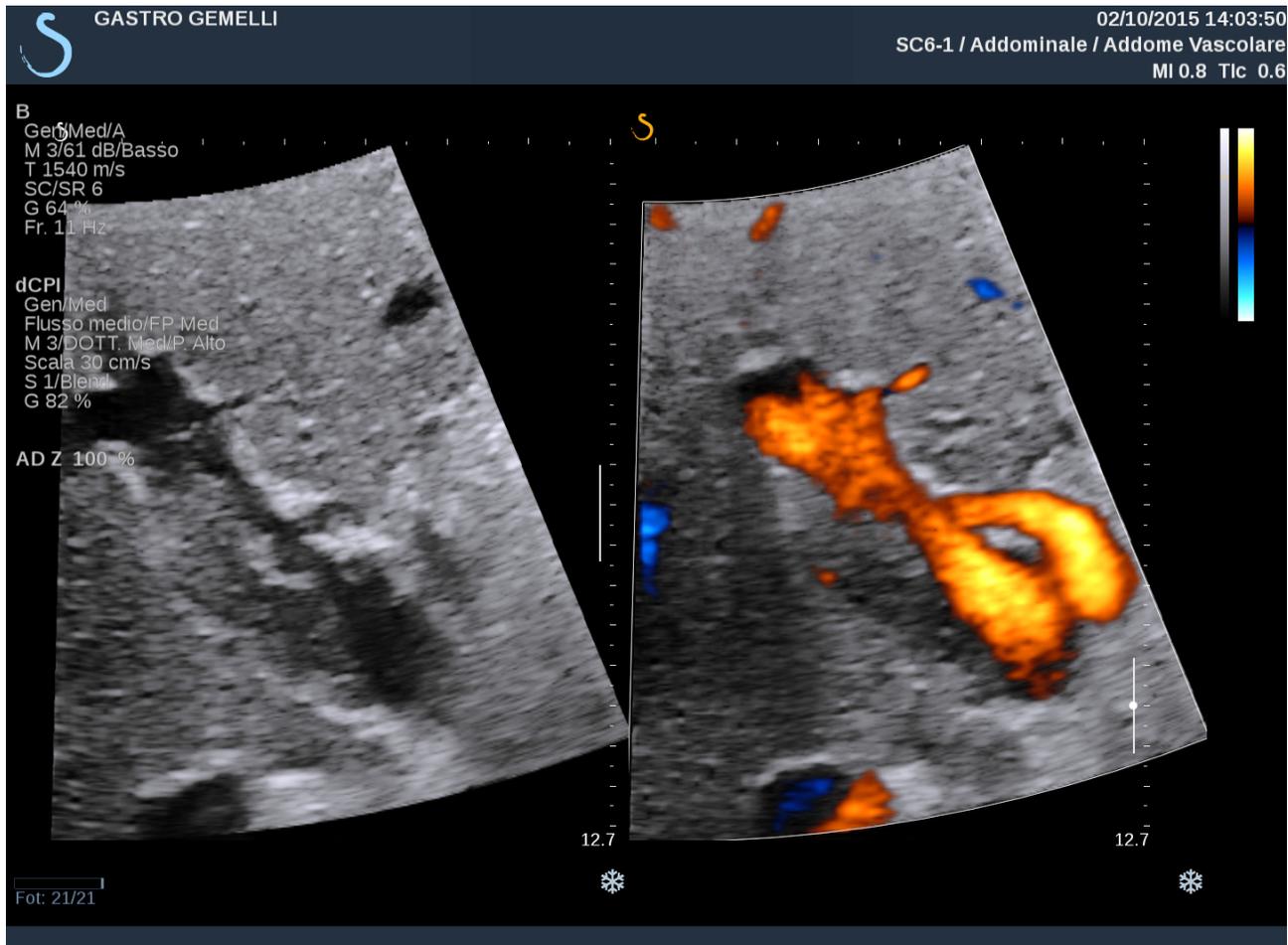
Ostruente



TROMBOSI PORTALE PARZIALE



TROMBOSI PORTALE PARZIALE

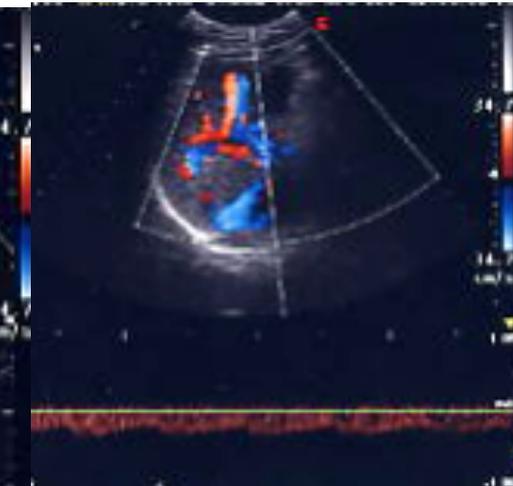
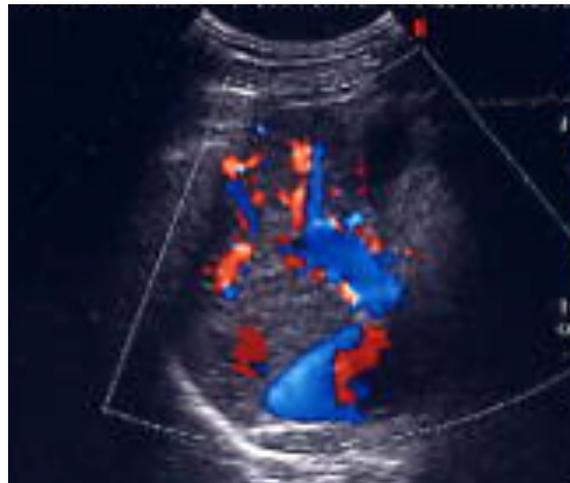


Flusso epatopeto

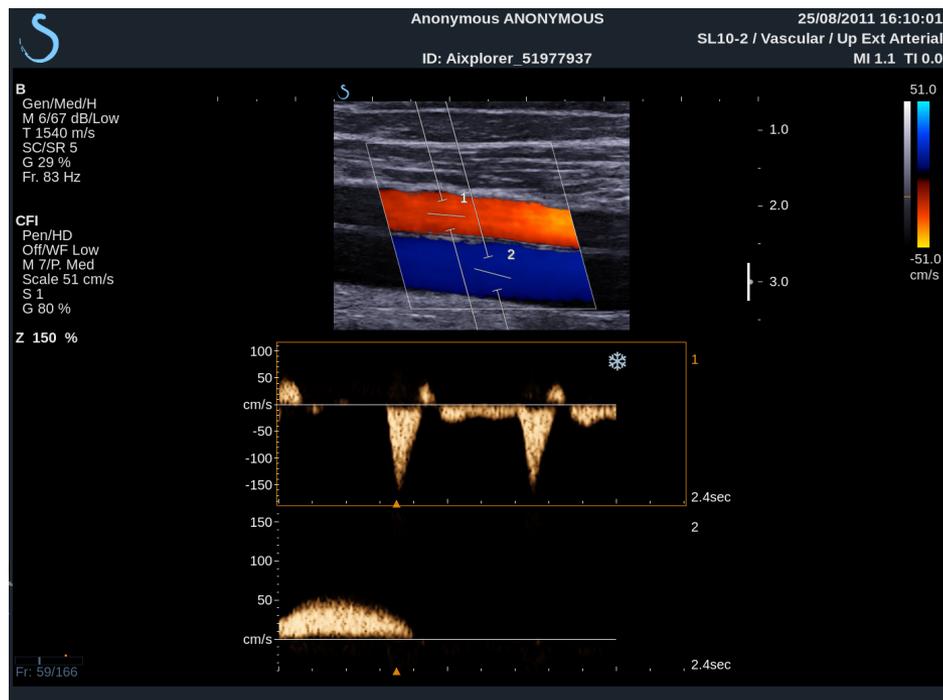
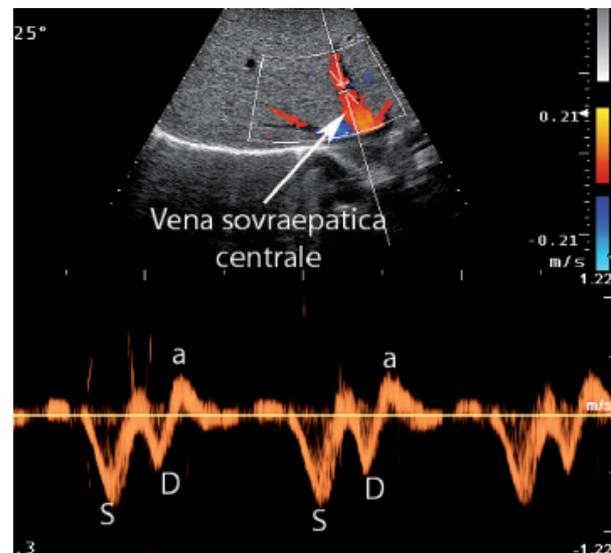
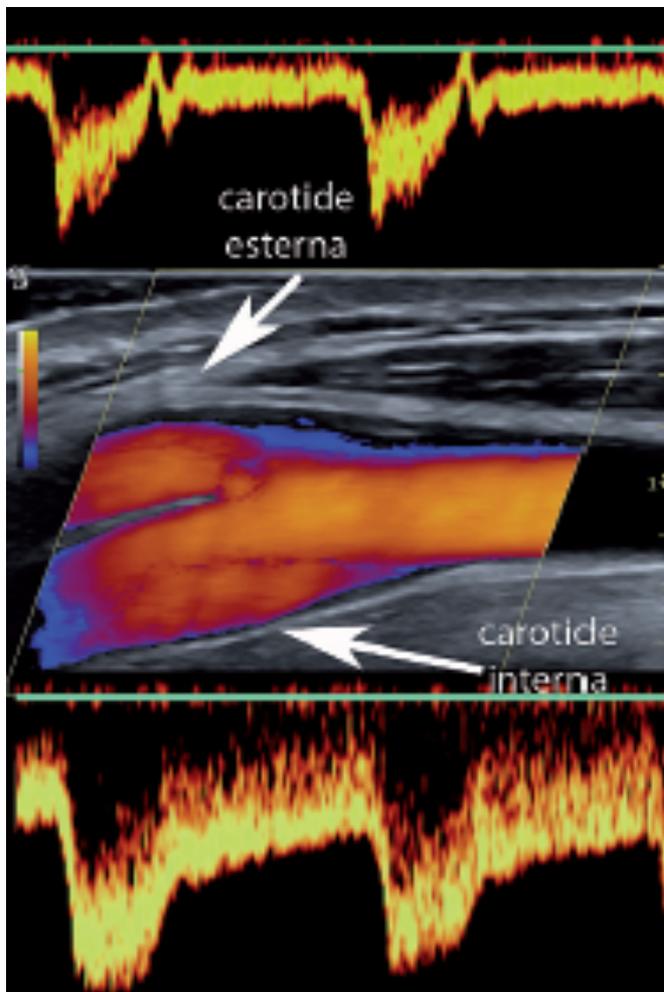


**DIREZIONE DEL FLUSSO
NEL SISTEMA PORTALE**

Flusso epatofugo



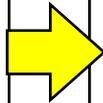
Profilo di flusso



ECO-DOPPLER

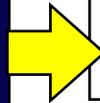
Informazioni

Qualitative



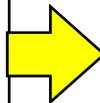
Presenza, direzione e
profilo del flusso

**Semi-
quantitative**



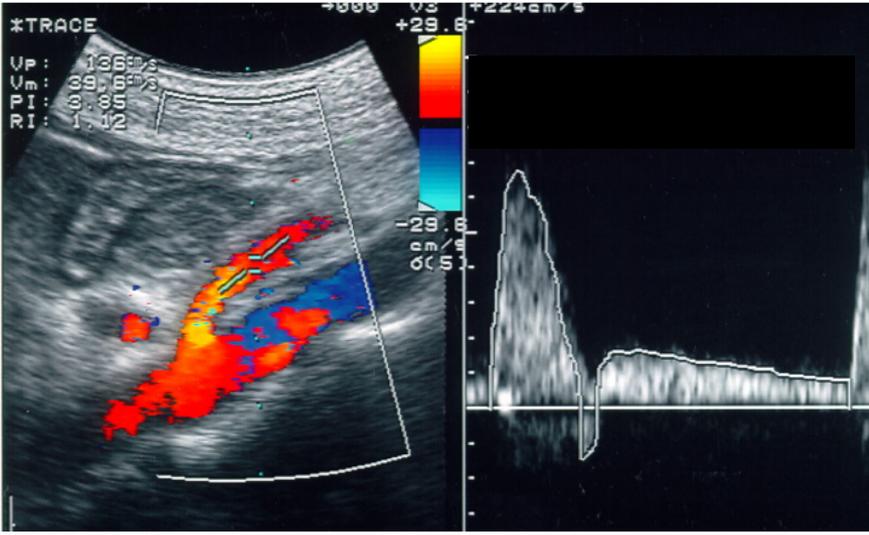
Indici di resistenza e
pulsatilità

Quantitative

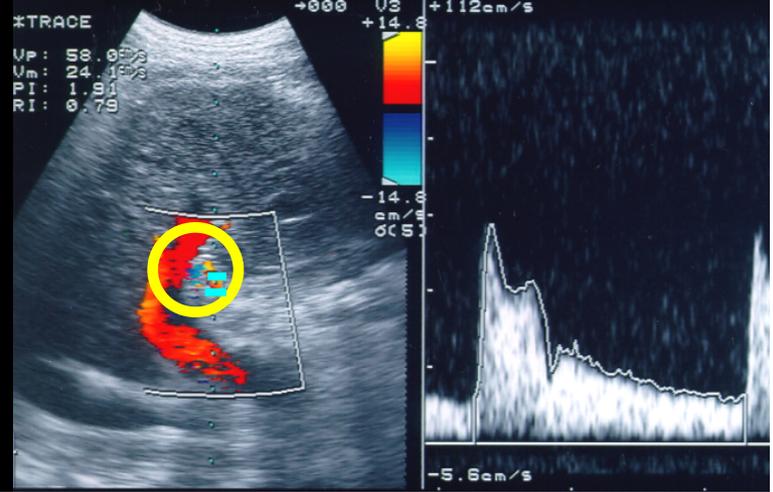


Velocità media e
massima, volume di
flusso (+ indici derivati)

S



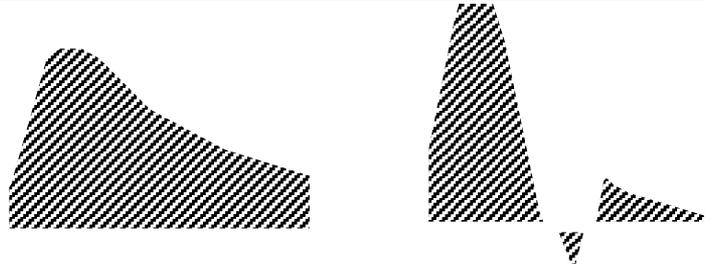
Tele
= M



Piscaglia et al, Am J Gastro 1998

$$RI = \frac{V_{sist} - V_{tele}}{V_{sist}}$$

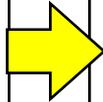
$$PI = \frac{V_{sist} - V_{min}}{V_{media}}$$



ECO-DOPPLER

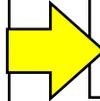
Informazioni

Qualitative



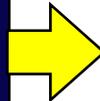
Presenza, direzione e
profilo del flusso

Semi-
quantitative

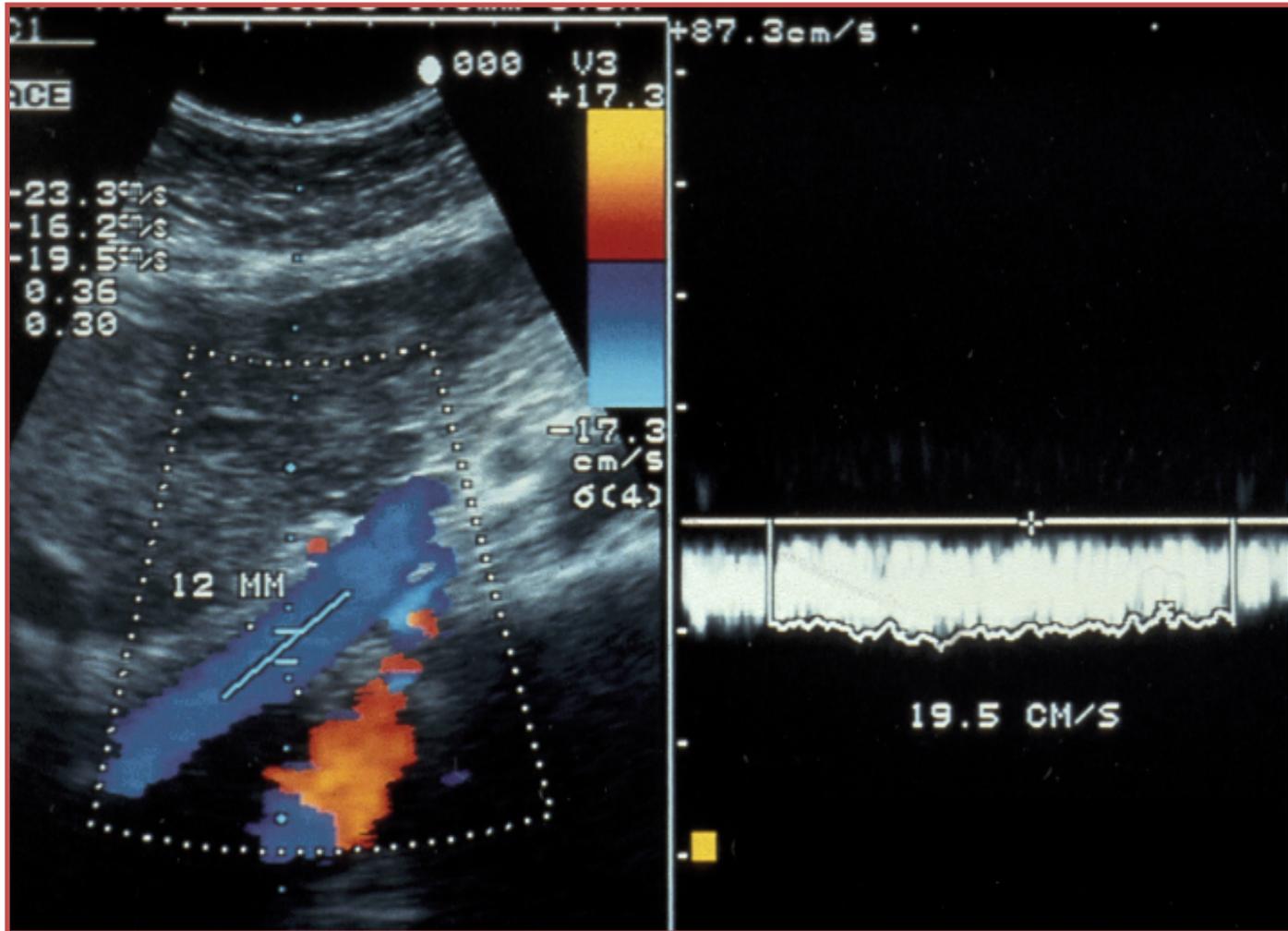


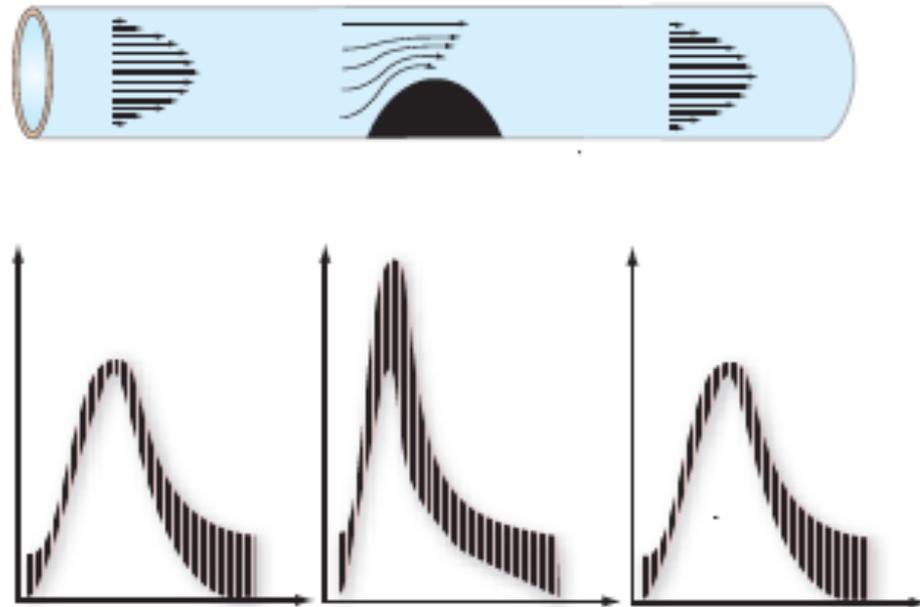
Indici di resistenza e
pulsatilità

Quantitative



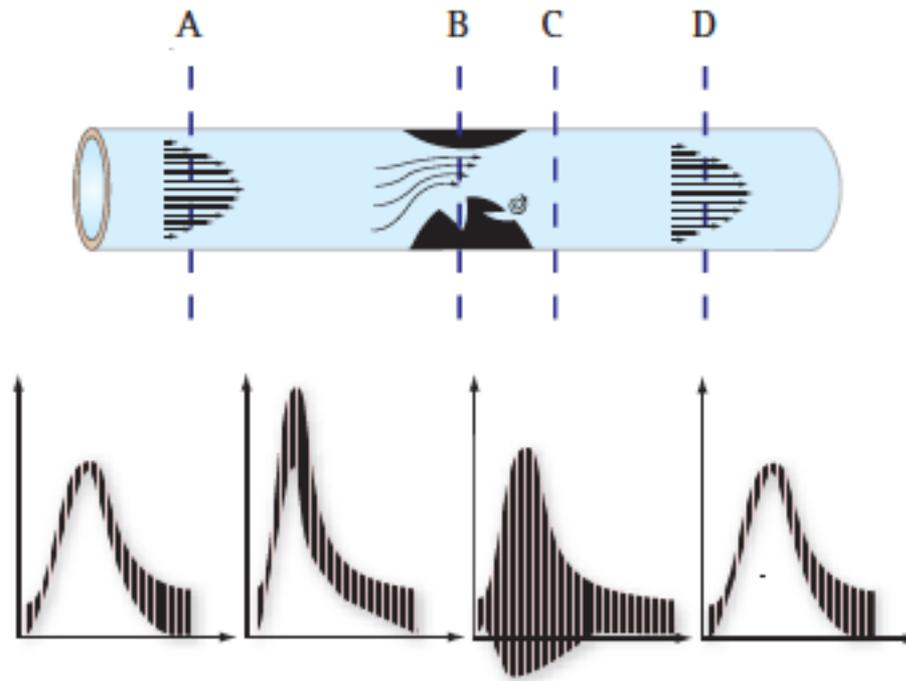
Velocità media e
massima, volume di
flusso (+ indici derivati)





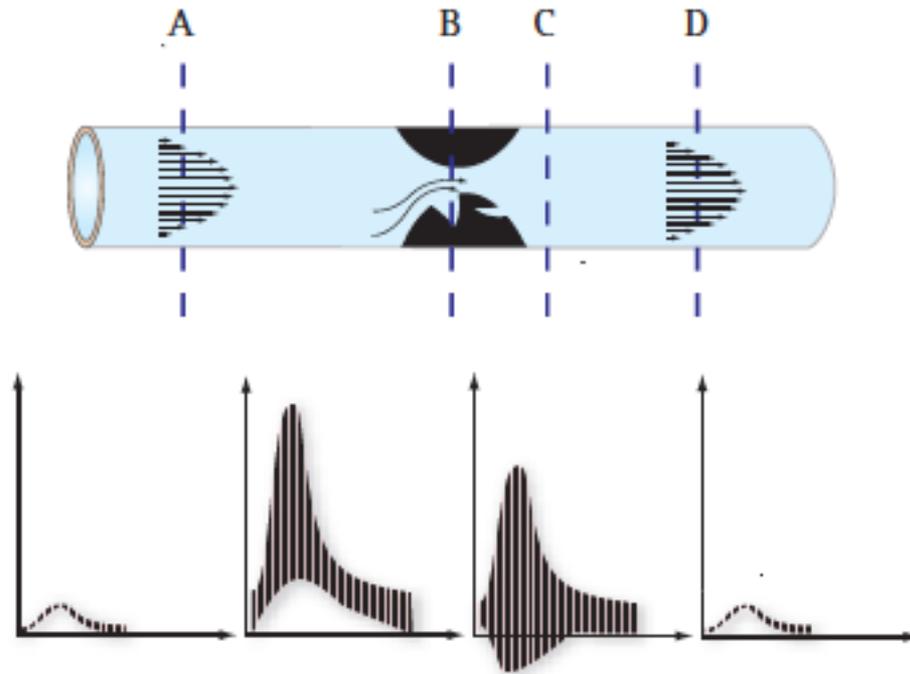
Stenosi di grado lieve (<50%)

- ✓ A monte ed a valle della stenosi, il profilo del flusso e la velocità restano normali, mentre nel punto di stenosi si registra una modesta accelerazione delle velocità sistoliche.
- ✓ L'accelerazione è difficilmente rilevabile durante l'indagine Doppler e può essere mascherato dalla impostazione dell'angolo Doppler



Stenosi fra 50% e 90%

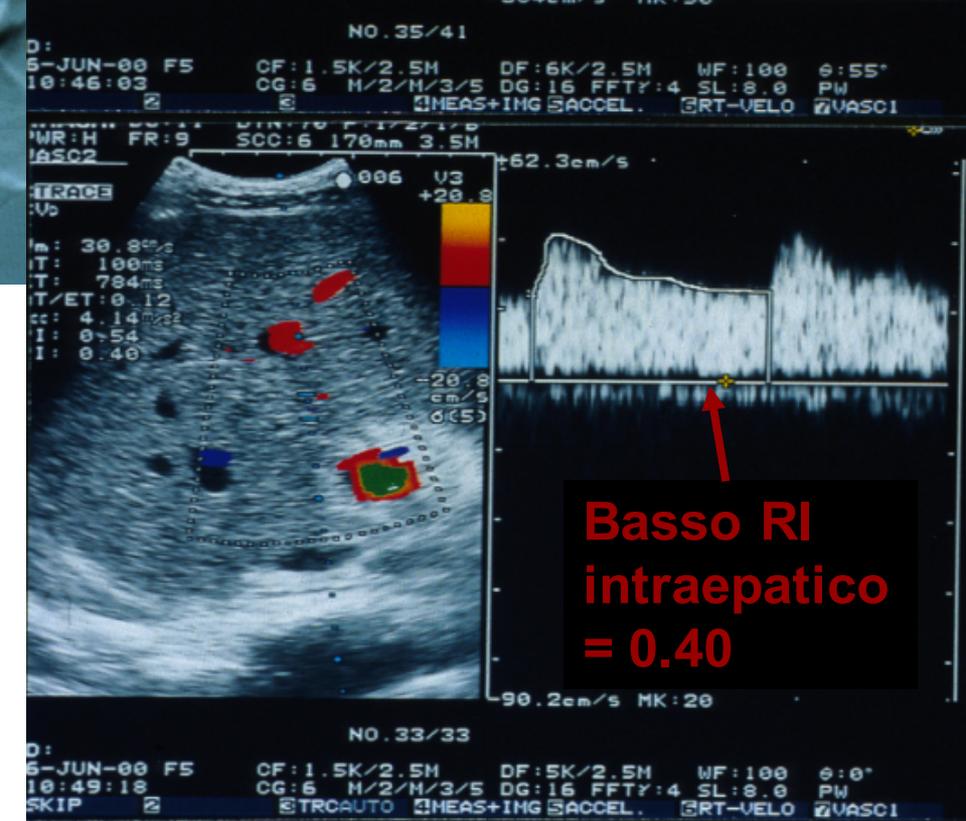
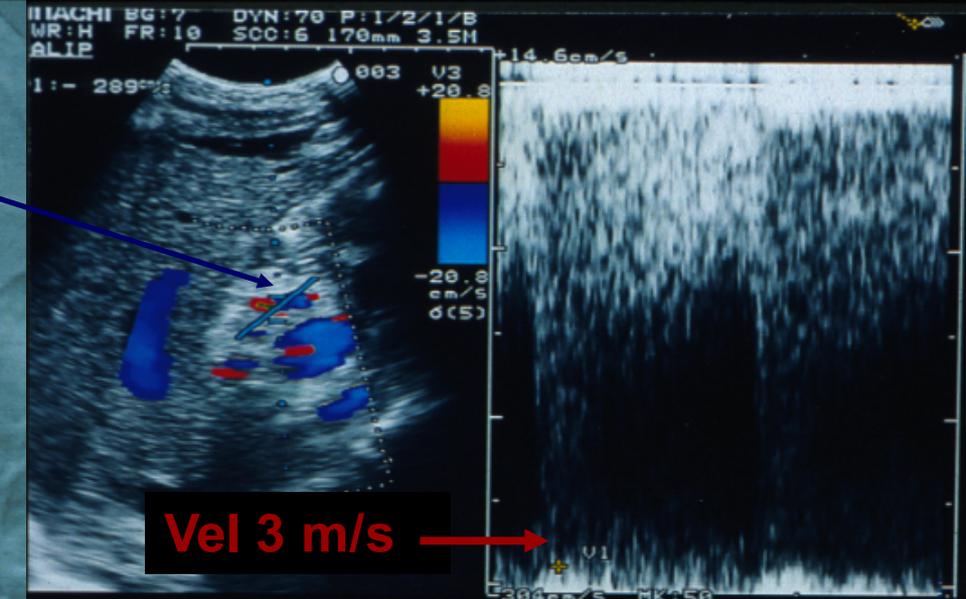
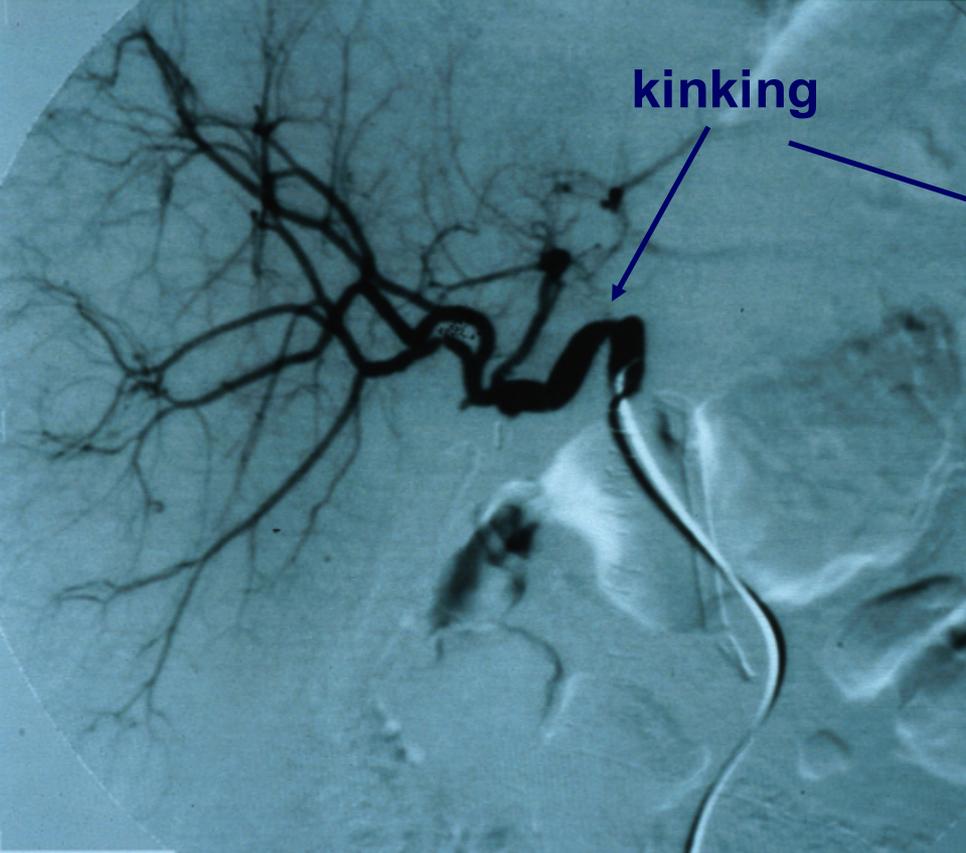
- ✓ In queste stenosi si ha un progressivo aumento delle velocità sistoliche e diastoliche, dispersione dello spettro a causa dei movimenti vorticosi e disordinati del sangue nella stenosi e nel tratto immediatamente post-stenotico.
- ✓ L'incremento delle velocità nel punto di stenosi è violento e proporzionale alla severità della stenosi. A valle ed a monte lo spettro mostra una riduzione più o meno evidente di ampiezza per la caduta della portata di flusso



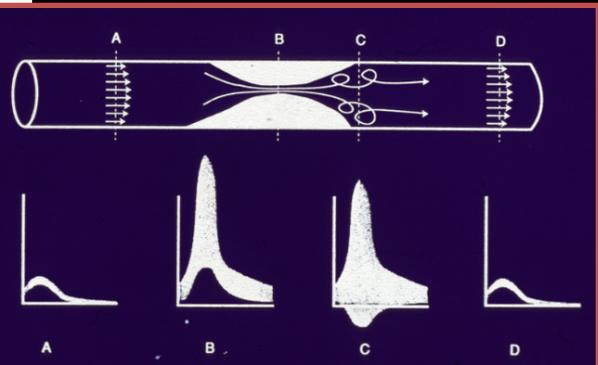
Stenosi serrata (>90%)

✓ In queste stenosi il *jet* sistolico ha un'intensità molto elevata e può irradiarsi per qualche centimetro (2-3 cm) a valle del punto di stenosi.

✓ A valle, come a monte della stenosi, il tracciato mostra una progressiva riduzione dell'ampiezza delle velocità sistoliche e diastoliche, mentre il fronte di ascesa ed il picco sistolico tendono ad appiattirsi (aspetto *parvus-tardus*)



Kinking arteria epatica, che determina una stenosi di significato emodinamico





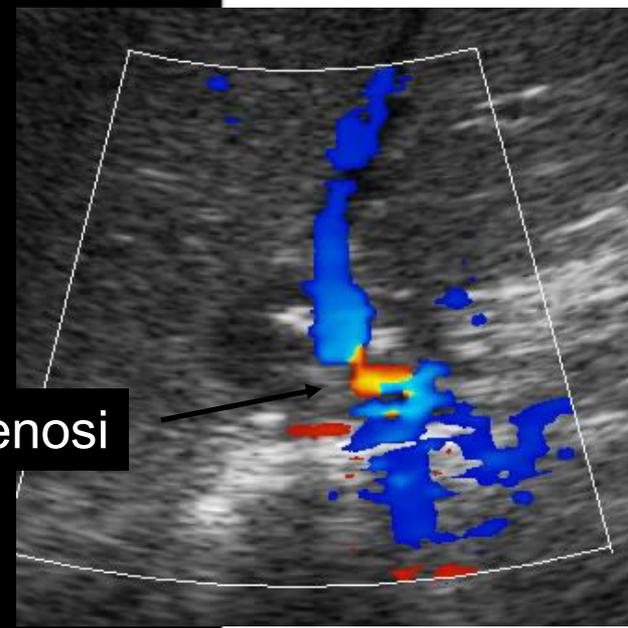
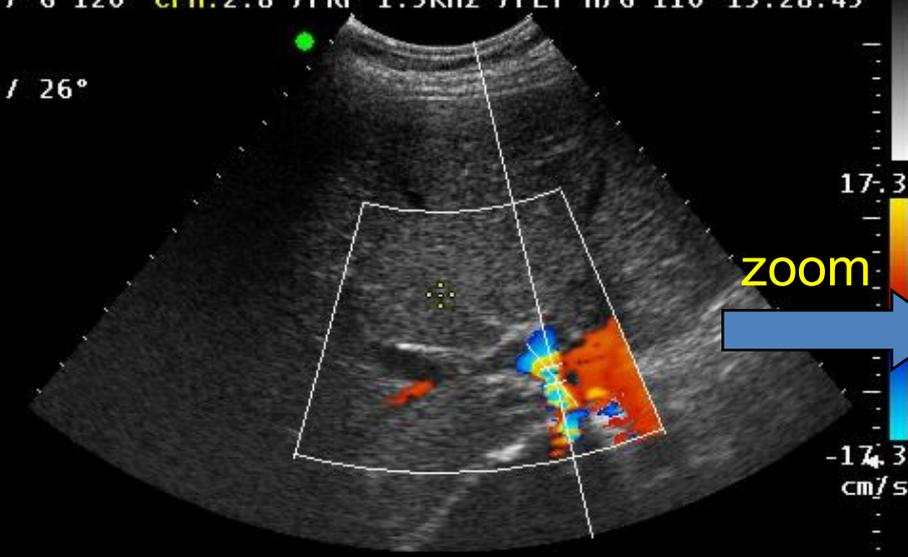
Vel-Distance
Left key to FIX first caliper
OLT PIGGY-BACK
B:RES / DPT 146mm / G 120
PW:2.8 / G 141
PRF 5.0KHz / 65 Hz
SV 5 mm/SD 97.5mm / 26°

MED.INT.UNIV.BO 14/12/2000

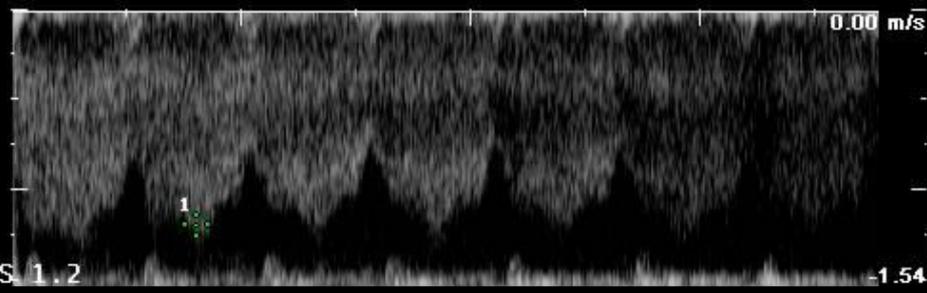
PD 1
SCC 5
ENH 3

Technos

V 1: -1.19 m/s
D: 0.0 mm



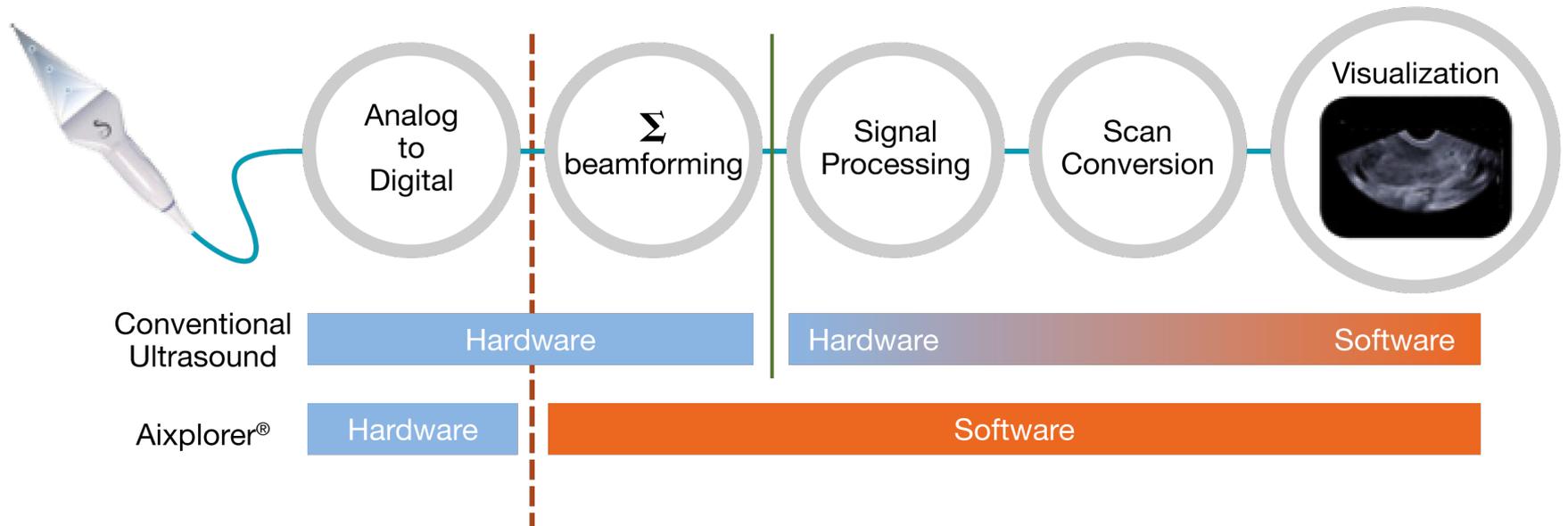
stenosi



-0.5dB MI 0.4 TIS 1.2

Fegato trapiantato con tecnica di anastomosi cavale tipo Piggy Back, complicatasi con stenosi (+ spesso allo sbocco della vena epatica destra).

Future Perspectives...





Anonymous ANONYMOUS

25/08/2011 16:10:01

SL10-2 / Vascular / Up Ext Arterial

ID: Aixplorer_51977937

MI 1.1 TI 0.0

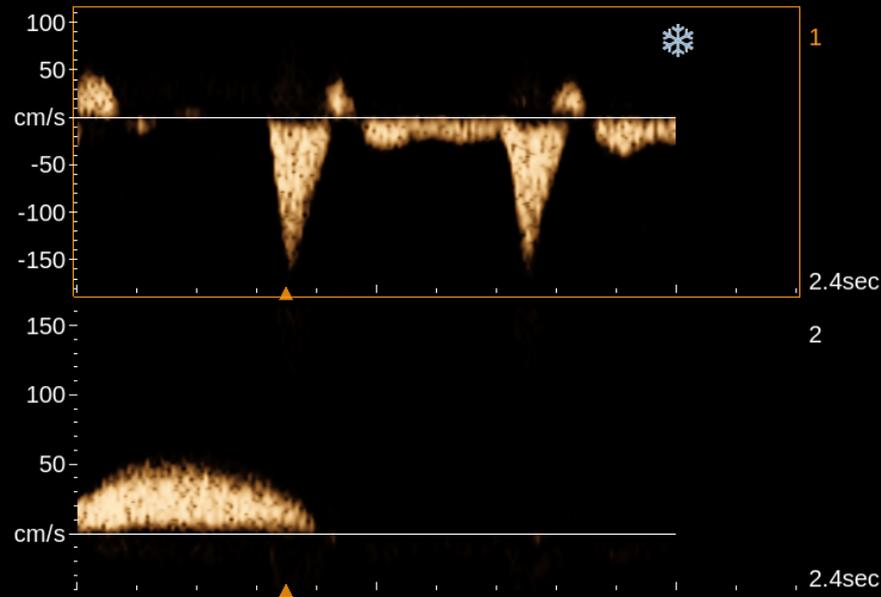
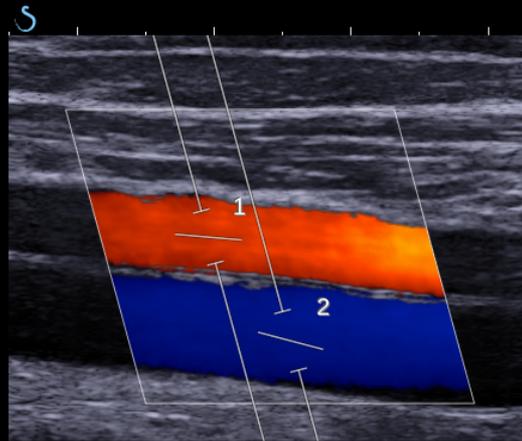
B

Gen/Med/H
M 6/67 dB/Low
T 1540 m/s
SC/SR 5
G 29 %
Fr. 83 Hz

CFI

Pen/HD
Off/WF Low
M 7/P. Med
Scale 51 cm/s
S 1
G 80 %

Z 150 %



Fr: 59/166

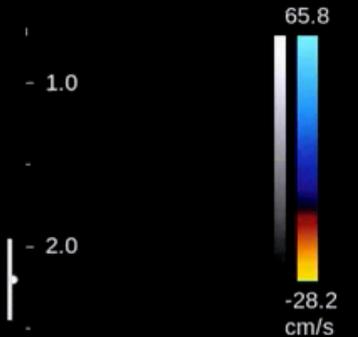
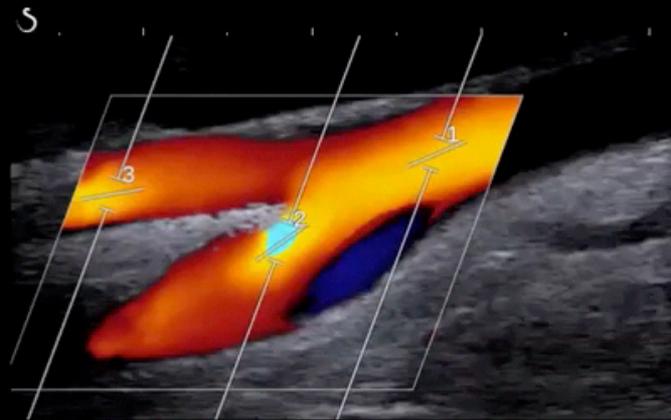


B

Res/FR/H
M 4/70 dB/Low
T 1540 m/s
SC/SR 5
G 22 %
Fr. 77 Hz

UltraFast / CFI

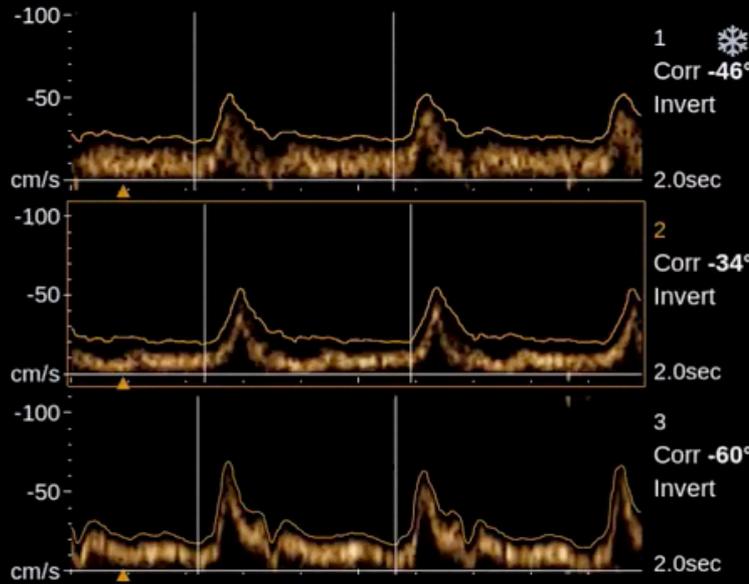
View Peak Systolic Frame
Pen/Med
Off/WF Low
M 10/P. Med
Scale 47 cm/s
S 4
G 49 %



PW

SV(mm) 2.0 2.5 2.0
Steer -20°
Corr -46° -34° -60°
Sw.Sp Low
WF Low Low Low
G 15% 10% 20%
M 6/30 dB

Z 136 %



1 PSV	-50.9 cm/s
EDV	-22.5 cm/s
MDV	-21.7 cm/s
RI	0.56
PI	1.00
S/D	2.3
2 PSV	-53.4 cm/s
EDV	-19.1 cm/s
MDV	-17.8 cm/s
RI	0.64
PI	1.36
S/D	2.8
3 PSV	-68.1 cm/s
EDV	-15.5 cm/s
MDV	-15.5 cm/s
RI	0.77
PI	1.89
S/D	4.4



E' finita!!