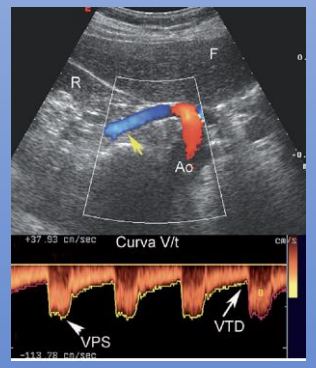
EUS ACADEMY

Perugia, 2-3 Febbraio 2023



PRINCIPI FISICI DEL DOPPLER

Paolo Maria Brunori

SC Gastroenterologia ed Epatologia

Azienda Ospedaliera di Perugia



DOPPLER

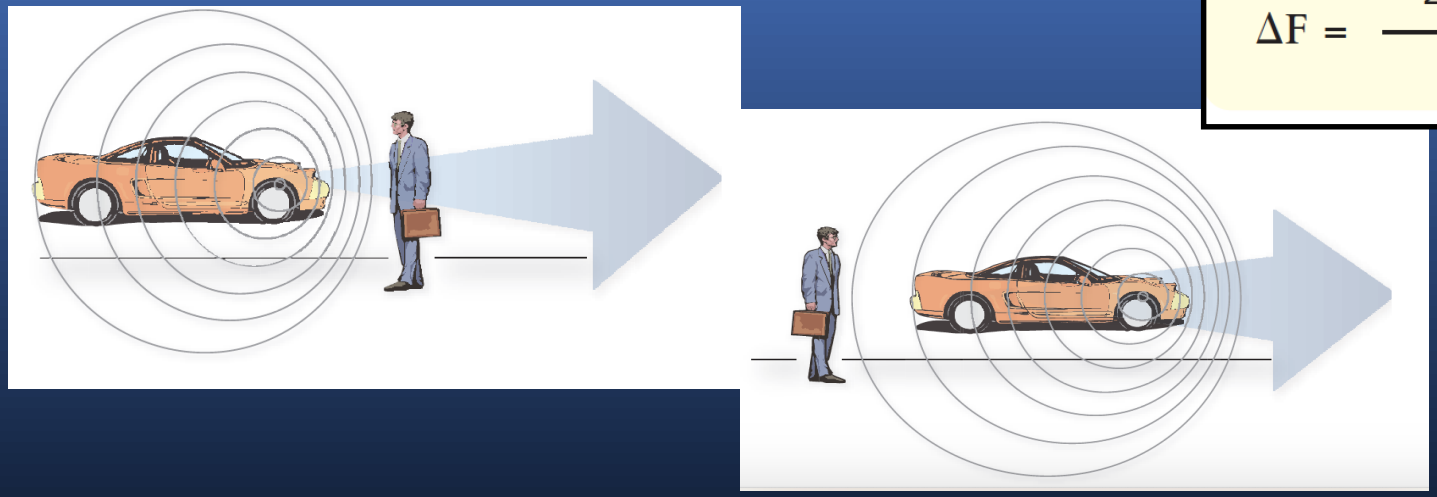


L'effetto Doppler è un fenomeno fisico che fu ipotizzato dallo scienziato austriaco Christian Johann Doppler nel 1842

Consiste nel cambiamento apparente, rispetto al valore originario, della frequenza e della lunghezza d'onda percepita da un osservatore raggiunto da un'onda emessa da una sorgente che si trovi in movimento rispetto all'osservatore stesso.

Sebbene sia più facilmente rilevabile con le onde sonore, è applicabile a qualunque tipo di onda

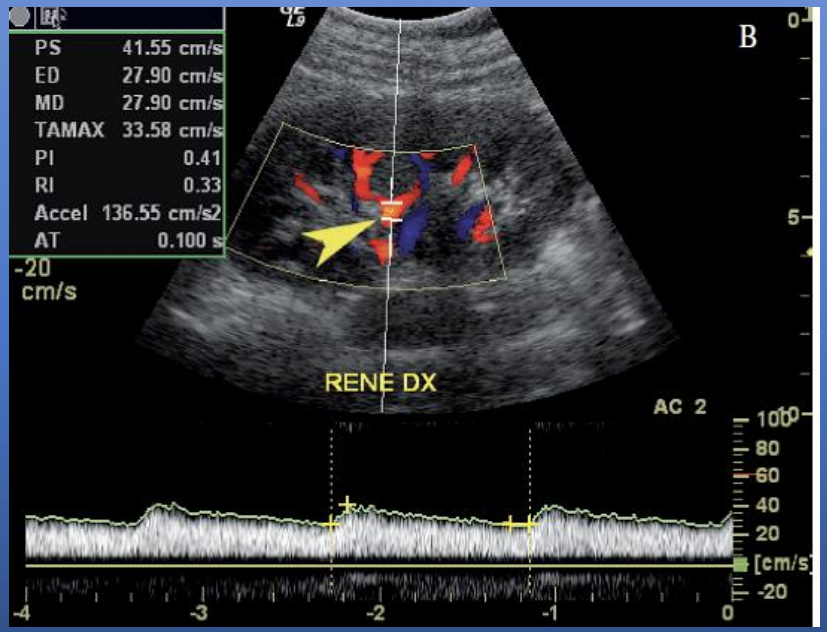
$$\Delta F = \frac{2F \cdot V \cdot \cos\vartheta}{C}$$



DOPPLER

Box colore sovrapposto all'immagine B mode: cartografia dinamica a colori dei vasi (color-Doppler)

Porta di campionamento (volume campione) nel lume di un vaso: velocità di scorrimento del sangue in funzione del tempo e quindi un'analisi spettrale della velocità (PW-Doppler)



APPLICAZIONI DELL'EFFETTO DOPPLER IN ECOGRAFIA

L'ecografia sfrutta l'effetto Doppler per rilevare la direzione e la velocità (velocimetria) di scorrimento del sangue nei vasi

$$\Delta F = \frac{2F \cdot V \cdot \cos\vartheta}{C}$$

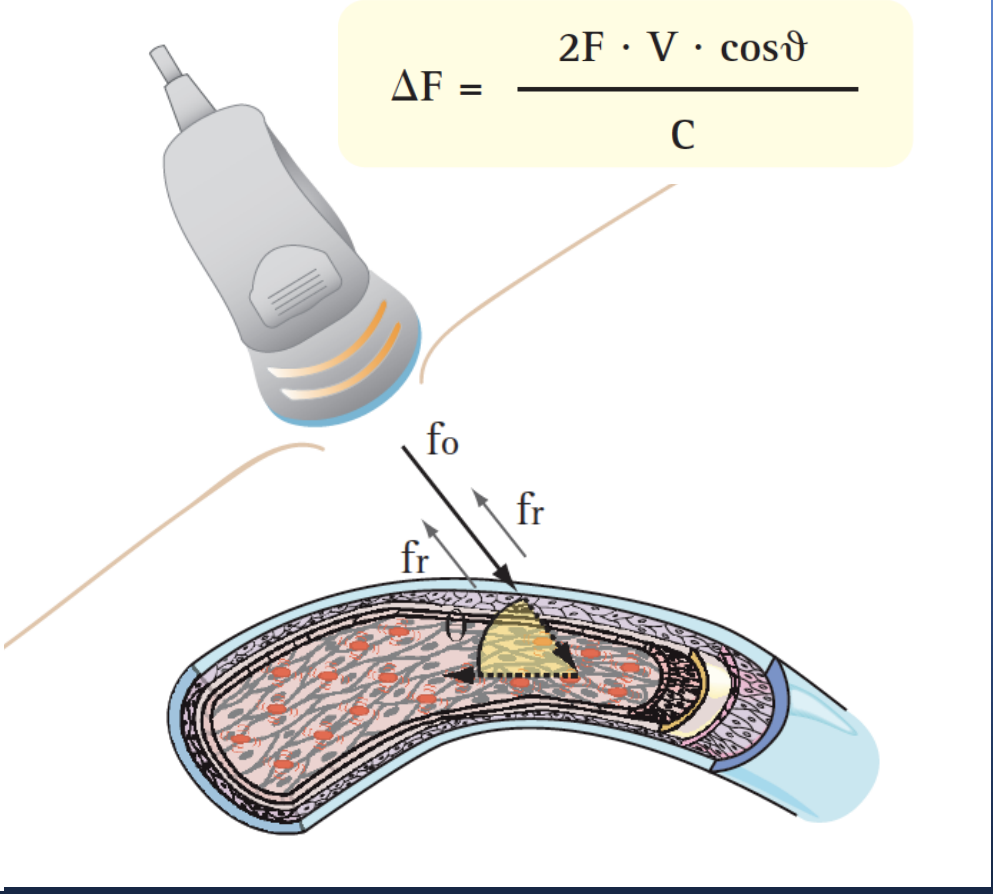
ΔF = è la frequenza Doppler o *Doppler-shift*, cioè la differenza di frequenza fra gli US trasmessi dalla sonda e gli US retrodiffusi dai globuli rossi. Questo valore cade nell'ordine di grandezza dei KHz, cioè delle frequenze percepite dall'orecchio umano.

F_0 = è la frequenza di trasmissione degli US o frequenza operativa del modulo Doppler. In ecografia la frequenza di trasmissione cade nell'ordine di grandezza dei MHz;

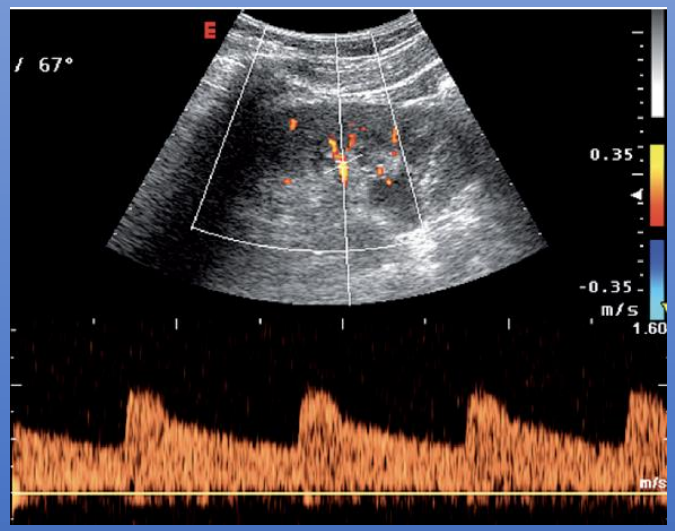
V = è la velocità di scorrimento del sangue nei vasi sanguigni (m/s);

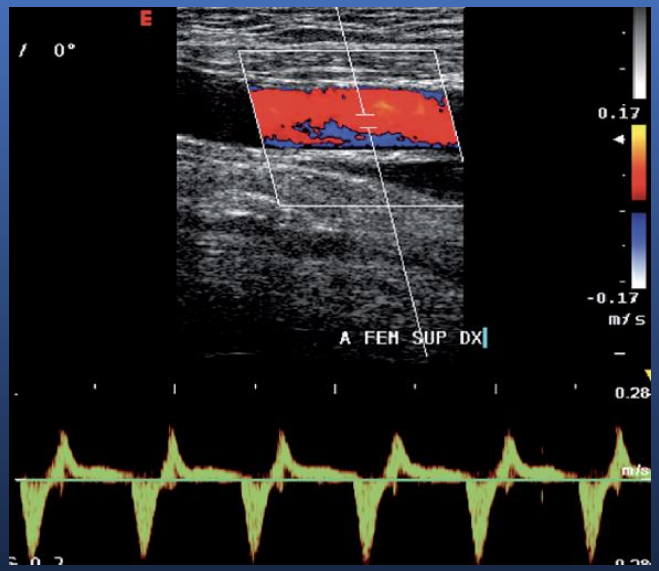
cos ϑ = è il coseno dell'angolo di incidenza o, come si dice in gergo, dell'angolo di insonazione o angolo Doppler, cioè dell'angolo fra l'asse di scorrimento del sangue e l'asse focale del fascio di US

C = la velocità di propagazione degli US nei tessuti biologici (1540 m/s).

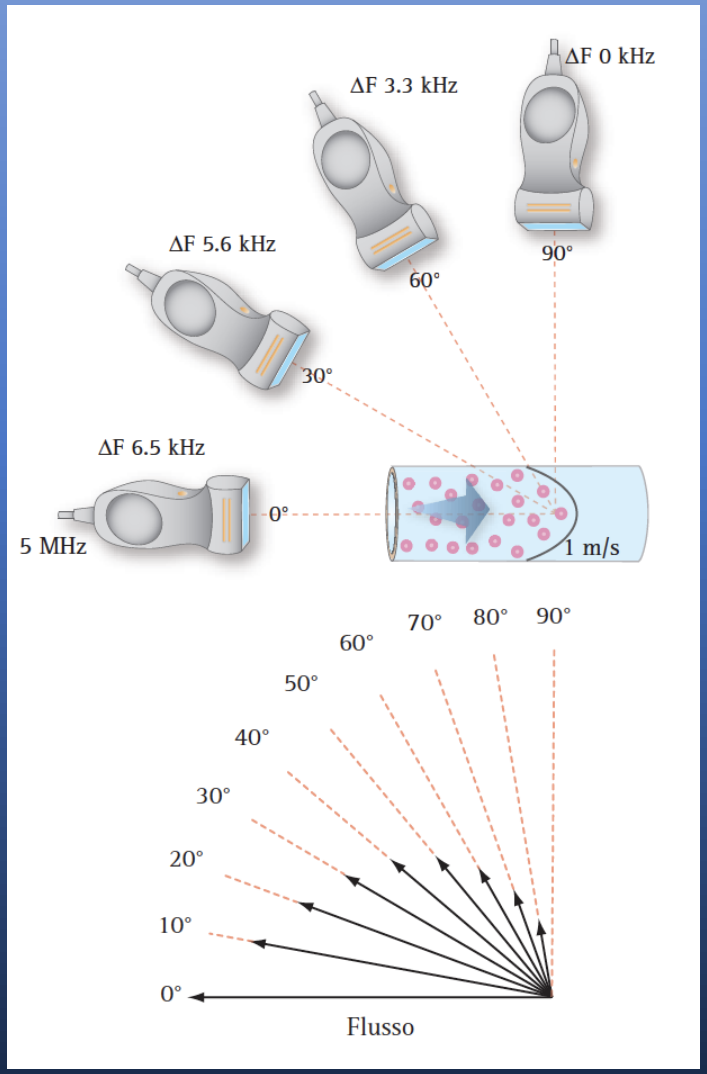


ANGOLO DOPPLER





Steering



Eco-Doppler ad emissione pulsata (Doppler Duplex-Scanner)

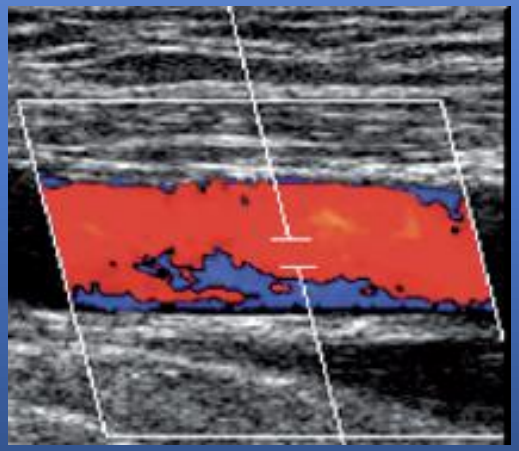
Il trasduttore genera ultrasuoni in modo discontinuo e funziona in modo alternato da trasmettitore e da ricevitore (pulsed wave Doppler-PW)

Formazione dell'immagine B-mode ed esecuzione dell'analisi spettrale del segnale Doppler

- Potenza acustica degli US
- Durata dell'impulso (numero di cicli)
- Profondità e dimensione del volume campione

VOLUME CAMPIONE

Nel PW il segnale Doppler viene raccolto per un breve periodo di tempo tra due impulsi successivi, che prende il nome di porta o volume campione



Lunghezza del volume campione: non modificabile

Larghezza sul piano assiale del fascio: regolabile (modifica la durata temporale dell'apertura della porta di ascolto)

Profondità in senso assiale: regolabile (modifica il ritardo temporale di apertura della porta tra due impulsi successivi)

La scelta delle dimensioni del volume campione dipendono dal calibro del vaso. Deve essere contenuto completamente nel lume vasale senza toccare le pareti o superarle verso i tessuti perivascolari (artefatti da sovracampionamento)

AMBIGUITA’ SPETTRALE O ALIASING

Un corretto campionamento del segnale Doppler presuppone un intervallo di tempo che separa due impulsi successivi sia sufficientemente lungo per permetter il ritorno degli echi più tardivi che originano dal volume campione

PRF (pulse repetition frequency) deve essere impostata in funzione della profondità del volume campione (VC) e della velocità di flusso nel vaso esplorato

PRF troppo bassa rispetto alla profondità del VC: aliasing spettrale (ribaltamento della parte superiore della curva velocimetrica sul versante opposto della linea zero

AMBIGUITA' SPETTRALE O ALIASING

Per campionare correttamente un segnale Doppler è necessaria una PRF uguale o superiore al doppio della frequenza spettrale Doppler. Quindi la massima frequenza spettrale rappresentabile senza ambiguità è pari alla metà della PFR

$$\Delta f_{max} = PRF/2$$

Limite di Niquist

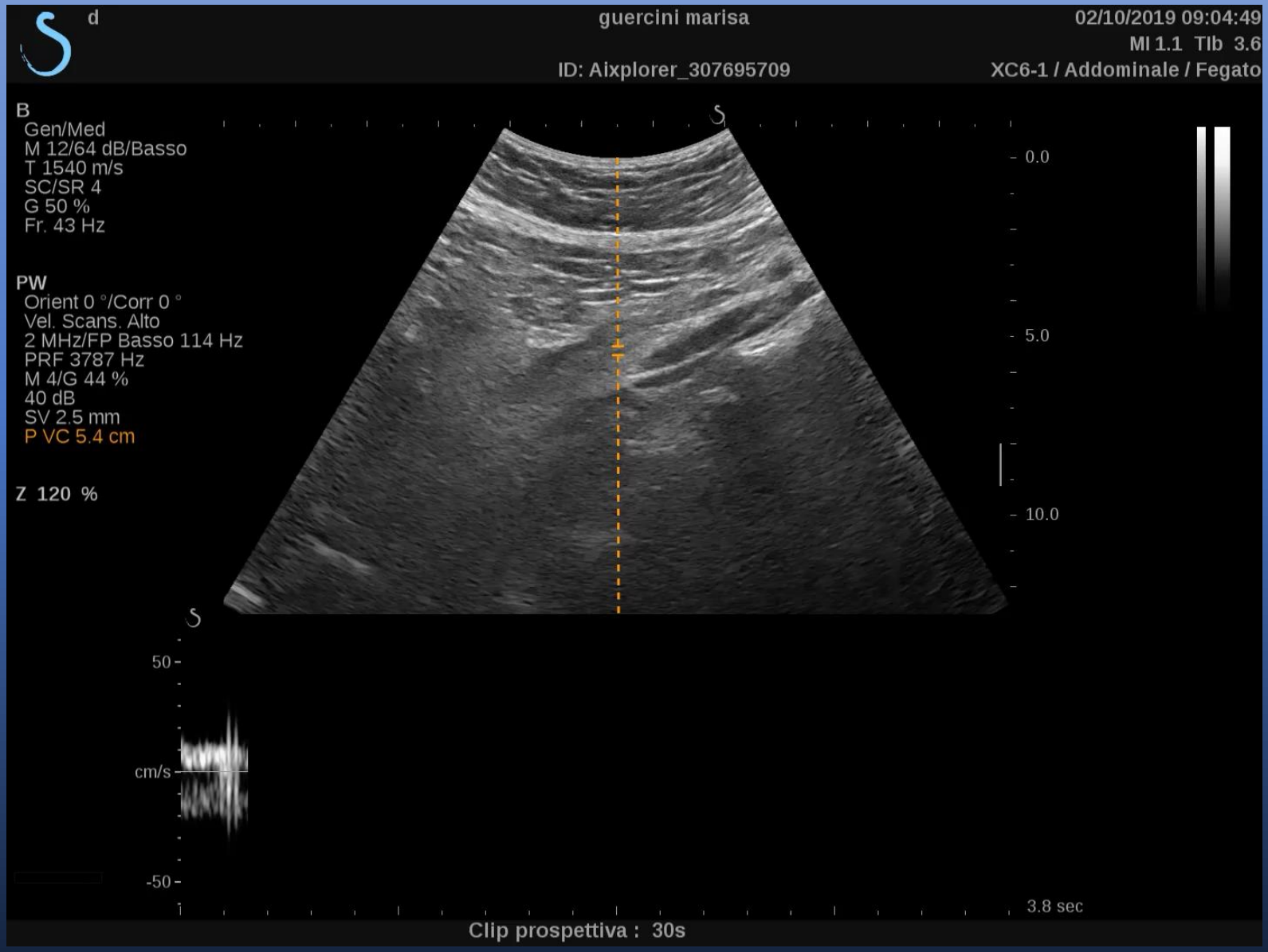
Se PFR < limite di Niquist si manifesta aliasing

Per campionare alte velocità di flusso sono necessarie PFR elevate e per campionare basse velocità di flusso basse PFR

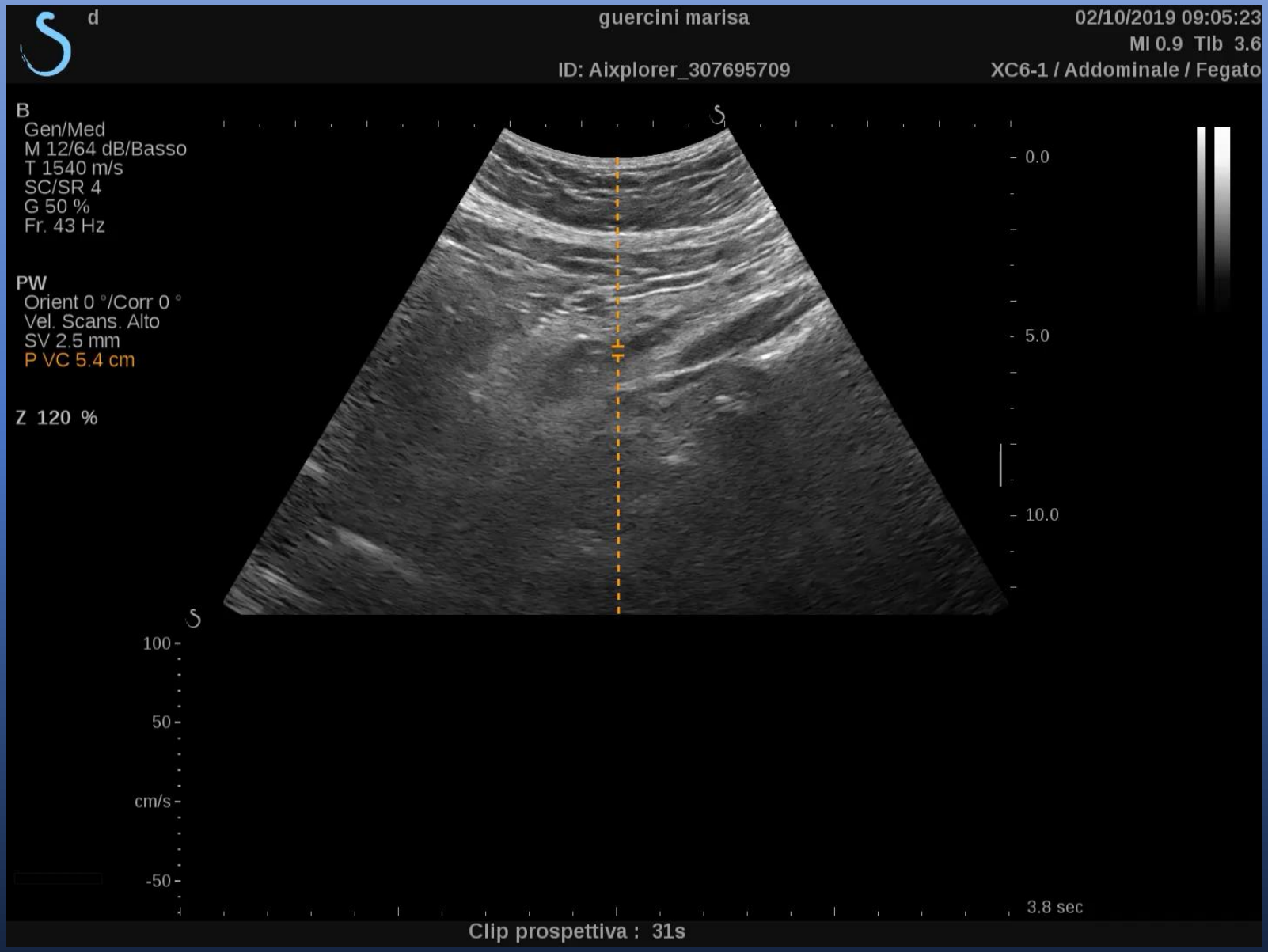
Per eliminare l'aliasing il modo più semplice è quello di estendere il limite massimo della scala di frquenze o di velocità rappresentabili

Se nonostante gli aggiustamenti della PFR è presente aliasing, si può agire sulla linea zero

AMBIGUITA’ SPETTRALE O ALIASING

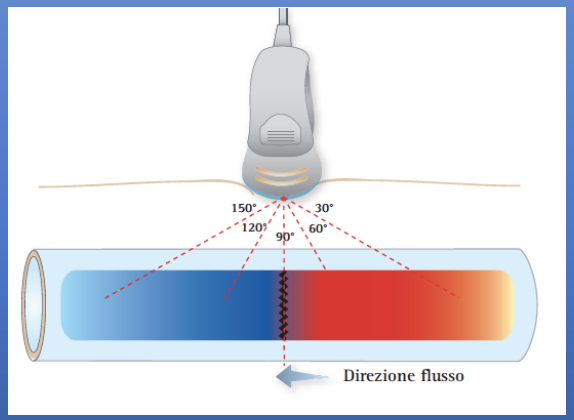


AMBIGUITA’ SPETTRALE O ALIASING

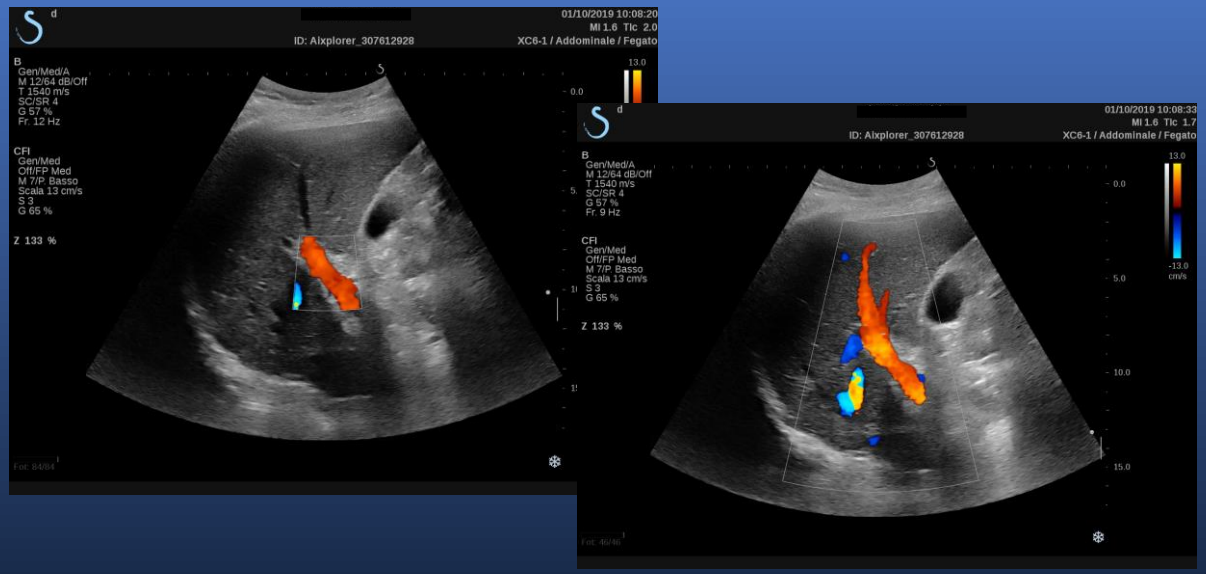


COLOR DOPPLER

Combina l'immagine B-mode in scala di grigi con una cartografia dinamica a colori dei flussi vascolari.

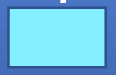


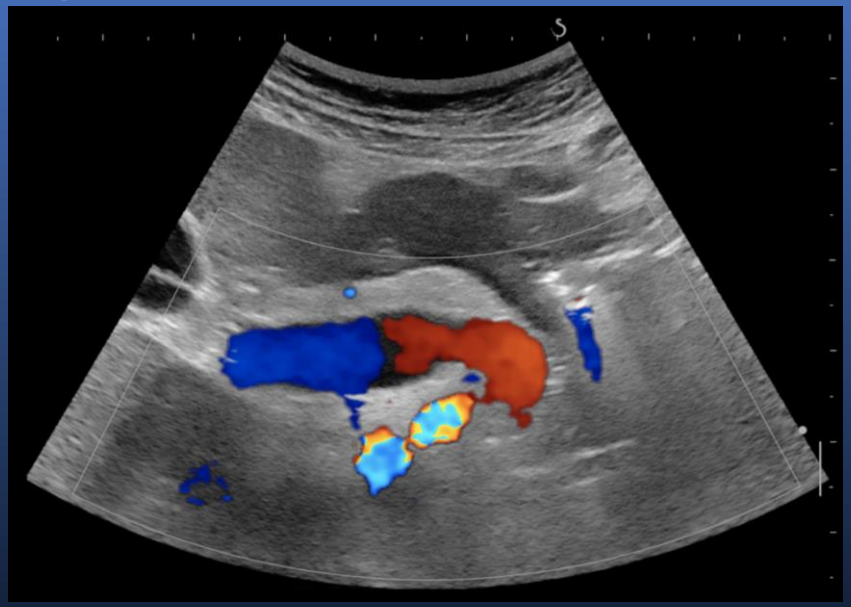
A differenza del Doppler spettrale il campionamento viene effettuato ma su un box colore che può essere ristretto o ampliato a gran parte dell'immagine (acquisizione multigate)



COLOR DOPPLER

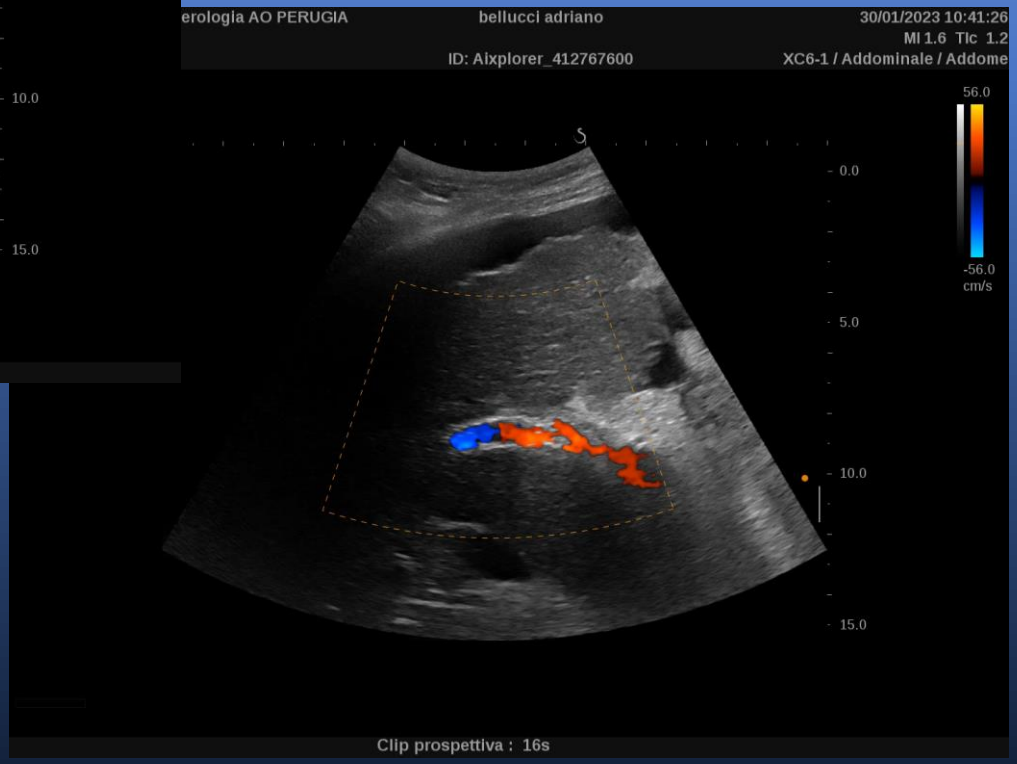
Il codice cromatico usato per rappresentare il segnale Doppler deve rappresentare tre diverse informazioni:

1) *Direzione del flusso (rosso in avvicin. blu in allont.)*
2) *Velocità media (cioè il valore medio della frequenza Doppler) variazioni della saturazione del rosso e del blu*
3) *Varianza della frequenza Doppler (dispersione spettrale) colore verde (+ rosso =*  *+ blu =*  *)*



AMBIGUITA’ SPETTRALE O ALIASING





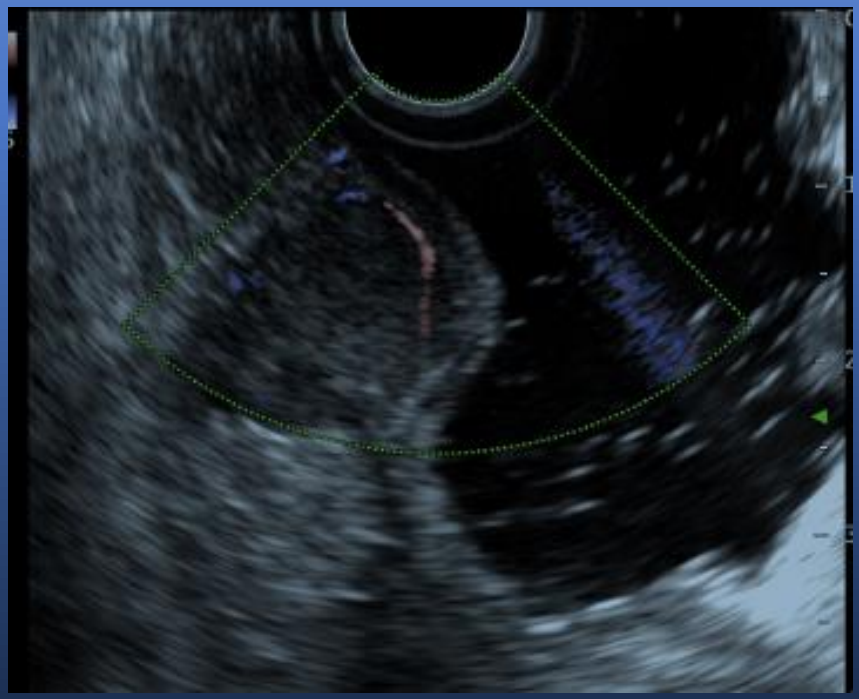
POWER DOPPLER

E’ una modalità di imaging che rappresenta con una cartografia monocromatica la potenza del segnale Doppler.
A differenza del CD che riproduce le variazioni di velocità media con cui i globuli rossi fluiscono nel vaso, il PD riproduce la potenza del segnale, cioè l’integrale della curva spettrale



POWER DOPPLER

Ha una maggior sensibilità rispetto al color Doppler e permette di rappresentare i flussi lenti, non campionabili con tale metodica e quindi di caratterizzare il microcircolo dei tessuti parenchimali



Hi-FLOW (High Resolution Flow)

Alta sensibilità (> PD) nell'identificare vasi, anche di piccolo calibro

Utile per escludere l'interposizione di vasi lungo il tragitto dell'ago, nella EUS-FNA e nella EBUS-TBNA

