

Principi di ultrasonografia Doppler

Corso Basico di Ecocardiografia
per Specializzandi

Leonida Compostella

Scuola di Specializzazione in Cardiologia - Università di Padova
(vers. 2011.02.28)



Christian Andreas Doppler (nato a Salisburgo nel 1803; morto di tubercolosi a Venezia nel 1853) è lo scopritore dell'effetto che porta il suo nome.

Anche se si basò su osservazioni inizialmente errate, Doppler riuscì a evidenziare che **la frequenza di un'onda sonora emessa cambia in rapporto alla velocità della fonte emittente o dell'osservatore.**

È curioso che la teoria fu presentata alla Società Reale delle Scienze della Boemia il 25 Maggio 1842 e che in tale occasione ad ascoltare la relazione c'erano solo 5 uditori! Fu poi pubblicata nel 1843.

Per comprendere correttamente l'effetto Doppler, bisogna tenere ben presente che la **VELOCITÀ di propagazione del suono è costante** in un determinato mezzo (nei tessuti umani circa 1540 m/sec).

Quando la sorgente del suono, o l'ascoltatore, si spostano, il suono continua a propagarsi con la velocità abituale: **NON AVVIENE NESSUNA SOMMAZIONE NELLE VELOCITÀ.**

Quando una sorgente sonora si sposta, ad es., nella stessa direzione della propagazione delle onde sonore, quello che avviene è che **AUMENTA LA FREQUENZA DELLE ONDE SONORE.**

Il classico esempio è quello del treno che ci passa di fianco fischiando, o dell'ambulanza con la sua sirena.



www.youtube.com/watch?v=wrzWAox8NCM

Ecco qui l'esempio del treno.

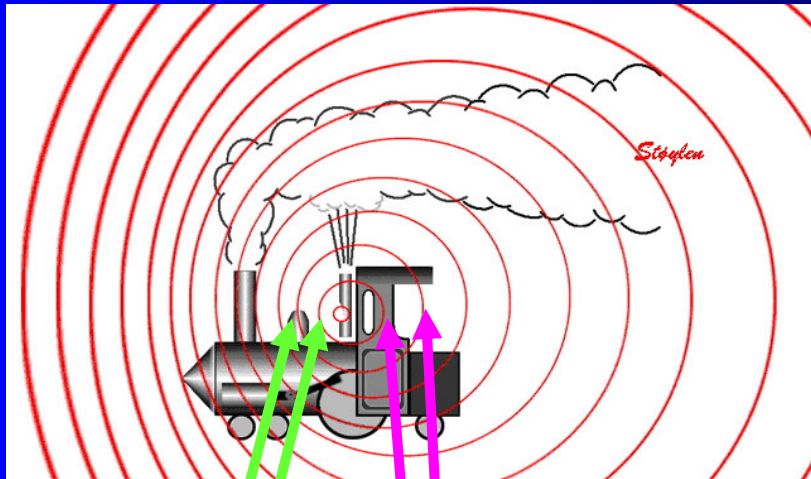
Il fischio del treno viene emesso ad una frequenza fissa; la velocità con cui le onde sonore si propagano nell'aria è costante ed uguale in tutte le direzioni. Tutte le onde sonore hanno il loro centro nel fischietto del treno.



Solo che il treno si sposta, mentre emette il fischio.

In questo caso, il secondo suono viene emesso con un centro (fischietto) spostatosi in avanti rispetto al primo suono.

<http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/index.html>



L'avanzamento del treno comporterà quindi alcune modifiche nelle onde sonore:

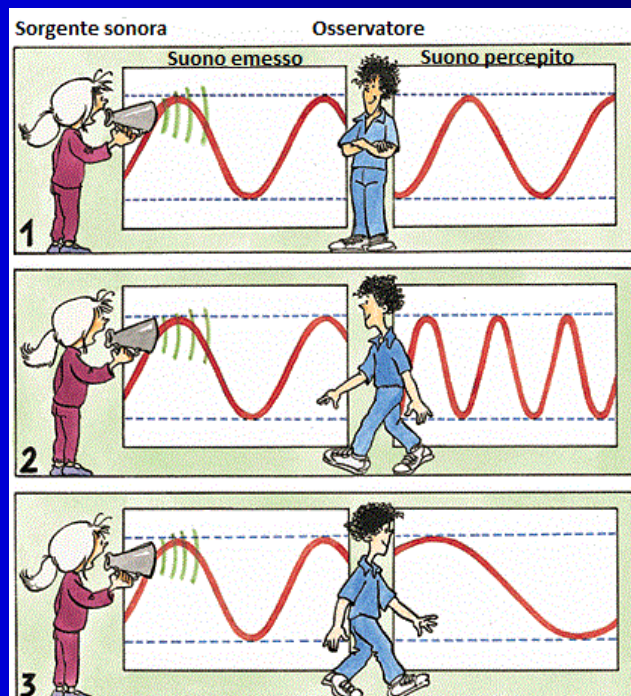
- l'onda sonora numero 2 sarà più vicina alla cresta dell'onda numero 1 nella parte anteriore del treno,
- e più lontana nella parte posteriore.

Le onde sonore hanno quindi una frequenza maggiore (tonalità più alta) quando il treno si avvicina; quando si allontana la frequenza diminuisce (tonalità più bassa).

<http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/index.html>

Che sia la fonte sonora ad avvicinarsi all'ascoltatore, o l'ascoltatore ad avvicinarsi all'onda sonora, questo è indifferente.
L'effetto è lo stesso.

Quindi, il principio Doppler stabilisce che la frequenza di un suono si modifica (aumenta o diminuisce) quando è emessa da, o riflessa da, un oggetto in movimento.



Doppler e Globuli Rossi

In questa immagine, un trasduttore emette un impulso ultrasonoro che ha una determinata frequenza (bianca).

Ci sono dei globuli rossi che viaggiano, con una loro velocità, andando incontro all'impulso ultrasonoro.



Quando i globuli rossi impattano con l'impulso ultrasonoro, questo viene riflesso all'indietro, ma con una frequenza più elevata (azzurra) rispetto a quella iniziale.

Formula

Il **Doppler shift**, cioè la differenza di frequenza fra l'ultrasuono riflesso (F_r) e l'ultrasuono iniziale (F_0) è in rapporto diretto alla velocità (V) dell'oggetto riflettente (ad es. la velocità dei globuli rossi, o una parete cardiaca in movimento):

$$(F_r - F_0) = (V \cdot F_0) / C$$

(dove C è la velocità di propagazione del suono nei tessuti).

In altri termini, possiamo **calcolare la velocità (V) dell'oggetto riflettente** conoscendo la differenza di frequenza dell'ultrasuono riflesso (F_r) rispetto a quello inviato (F_0):

$$V = (F_r - F_0) \cdot C / F_0$$

Cioè, la velocità dell'oggetto riflettente (es. i globuli rossi che scorrono in un vaso) è direttamente proporzionale alla differenza di frequenza fra ultrasuono iniziale e riflesso, e inversamente proporzionale alla frequenza iniziale dell'ultrasuono.

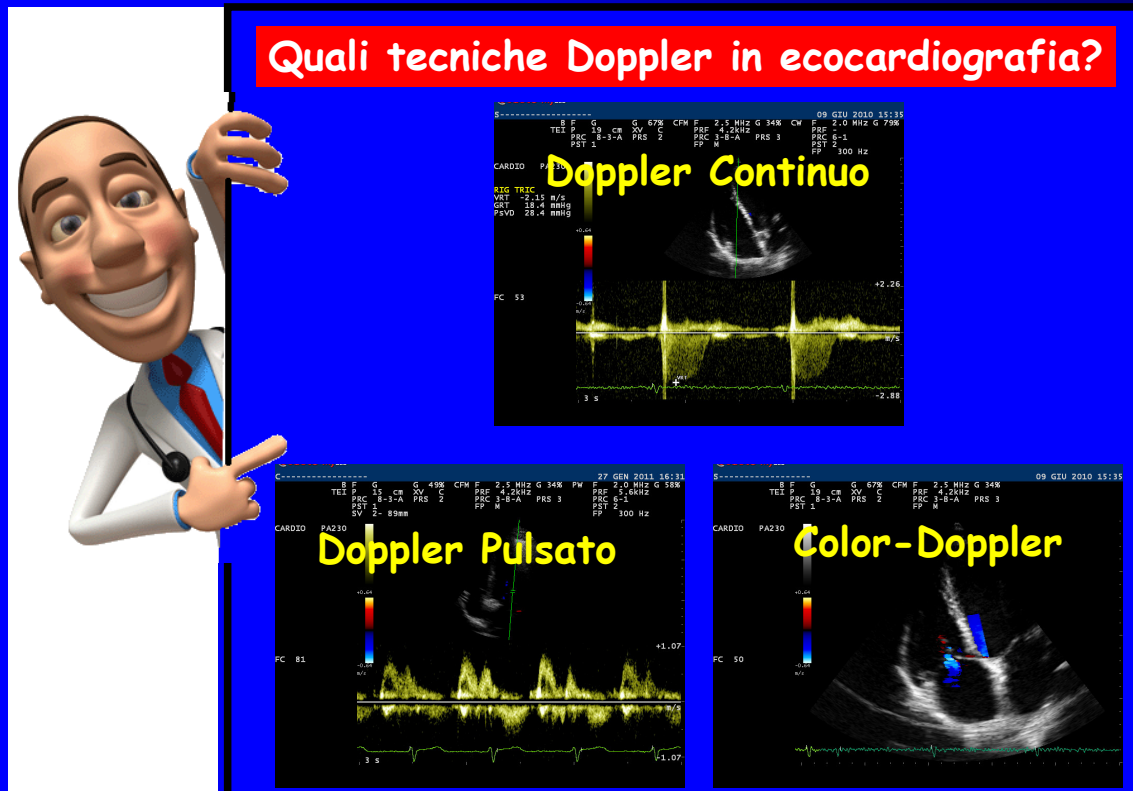
In **ecocardiografia**, le onde sonore sono emesse ad una particolare frequenza dal trasduttore, che è in posizione fissa.

Sono poi riflesse da oggetti in movimento all'interno del torace (es. i globuli rossi del sangue o le stesse pareti del cuore): questi echi riflessi hanno una **frequenza** diversa rispetto alla frequenza iniziale dell'ultrasuono:

- **maggiore** (se l'oggetto riflettente si avvicina al trasduttore),
- **minore** (se l'oggetto riflettente si allontana dal trasduttore).

Sulla base della formula presentata in precedenza possiamo stabilire quindi:

- 1- se l'oggetto si avvicina o si allontana,
- 2- la velocità con cui si muove.



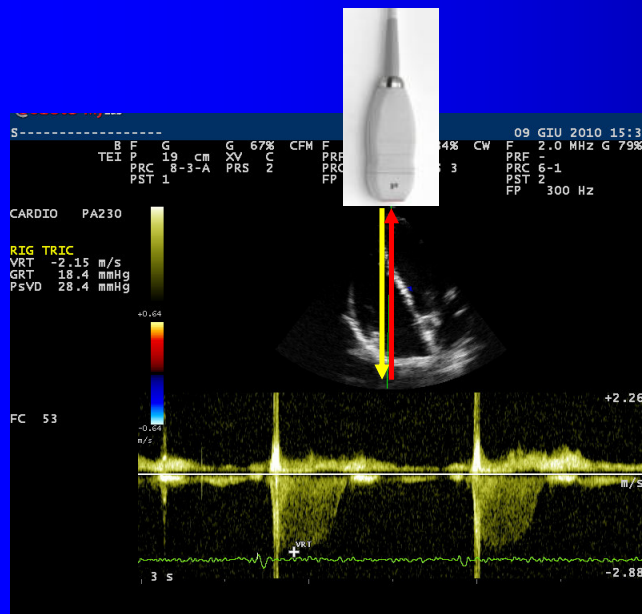
(clicca sulle immagini per andare ai rispettivi paragrafi)

Doppler Continuo

In questa modalità, il trasduttore ecocardiografico utilizza metà dei suoi elementi per emettere continuamente energia sonora in treni successivi, con elevatissima frequenza di ripetizione degli impulsi (PRF).

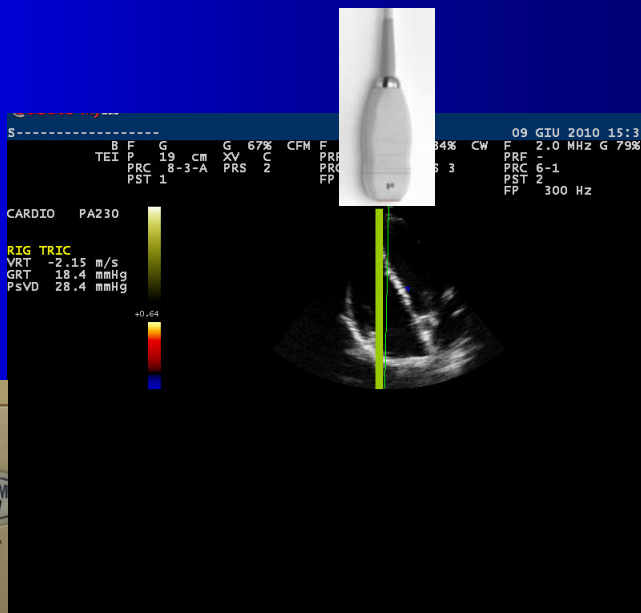
L'altra metà degli elementi sta continuamente in ascolto dei segnali riflessi.

Così, l'ecografo riesce a calcolare in continuazione la differenza di frequenza esistente fra gli impulsi **inviati** e quelli **ricevuti**. Cioè riesce a valutare in continuazione la velocità di tutto ciò che si trova lungo il percorso degli ultrasuoni.



Nella pratica:

- sulla immagine bidimensionale, poniamo il cursore sull'area in cui vogliamo esplorare le velocità
- attiviamo la modalità Doppler-Continuo



Nella pratica:

- sulla immagine bidimensionale, poniamo il cursore sull'area in cui vogliamo esplorare le velocità

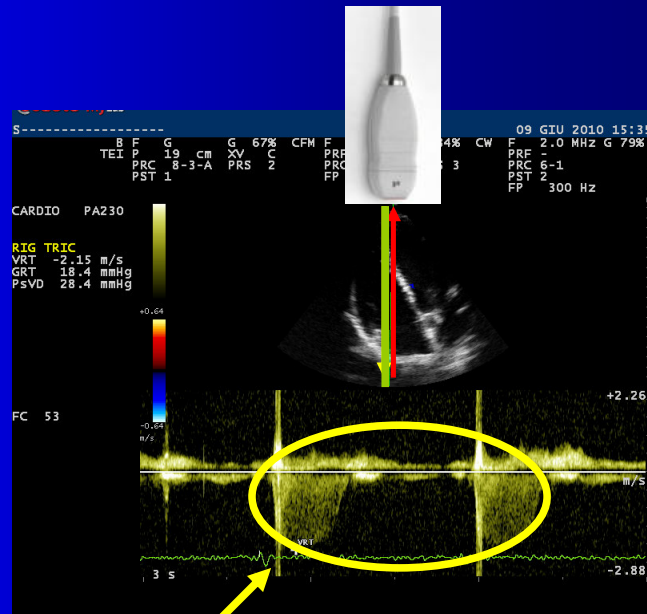
- attiviamo la modalità Doppler-Continuo

- l'ecografo emette in continuazione treni di US, e sta in ascolto degli echi riflessi, calcolandone la differenza di frequenza

- l'ecografo così misura tutte le velocità di tutte le strutture attraversate dal fascio di ultrasuoni e le espone graficamente:

- con deflessioni negative (verso il basso), se l'oggetto riflettente (es. i GR del sangue) si allontana

- con deflessioni positive (verso l'alto), se l'oggetto riflettente si avvicina.



Doppler Continuo

Vantaggi

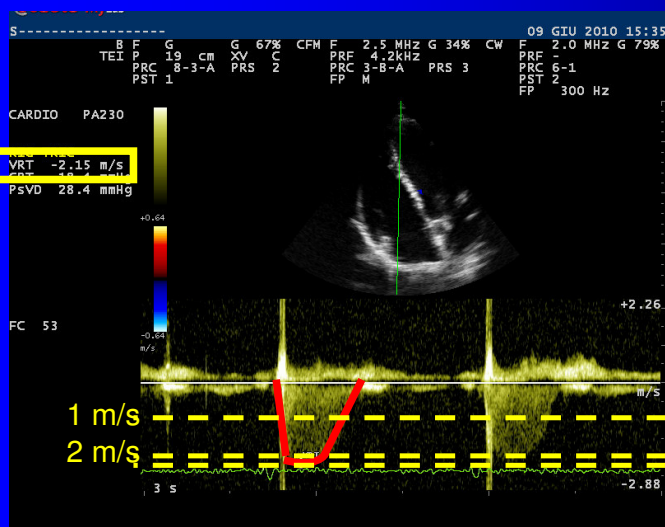
Altissima frequenza di ripetizione degli impulsi + funzionamento in continuo

→ permette di misurare con accuratezza anche flussi ad alta velocità

Svantaggi

Ci indica tutte le velocità (in pratica la massima velocità in ogni determinato momento), in tutti i punti che si trovano lungo il cursore (cioè lungo tutto il fascio ultrasonoro)

→ Non è in grado di indicarci dove tale velocità massima viene raggiunta



Nell'esempio riportato, vediamo una rappresentazione grafica, espressa in negativo (cioè verso il basso), caratterizzata da un rapido incremento delle velocità, una specie di plateau, e poi una progressiva discesa verso lo zero.

Questo esprime una velocità che aumenta rapidamente all'inizio fino ad un picco, poi rimane per un po' costante e quindi scende fino ad azzerarsi.

Possiamo andare a misurare questa velocità massima: nell'esempio la struttura riflettente (i globuli rossi) ha una velocità di 2,15 m/sec, in allontanamento (deflessione negativa).

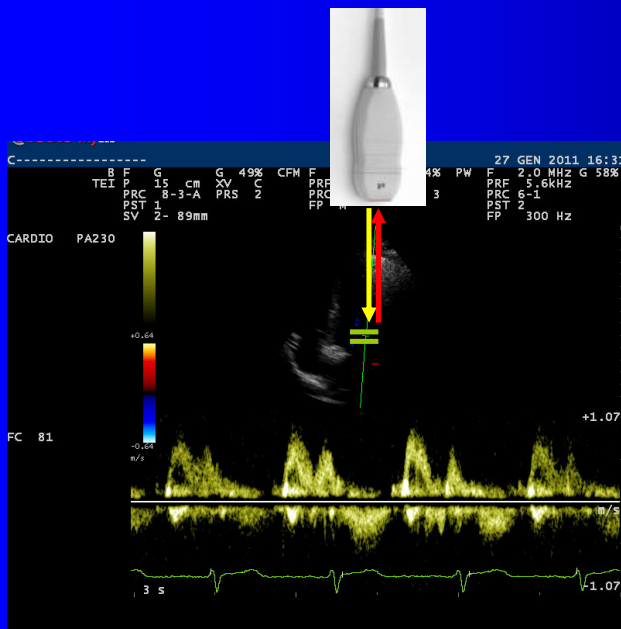
In conclusione, il **Doppler-Continuo** ci permette di **valutare la velocità massima** esistente nelle strutture attraversate dal nostro fascetto ultrasonoro, ma non è in grado di dirci da quale profondità (cioè in quale struttura) tale variazione di velocità viene prodotta.

Il Doppler-Continuo viene quindi usato per valutare:

- Stenosi valvolari
- Insufficienza valvolari
- Difetto interventricolare
- Coartazione aortica
- Flusso in aorta o in altri vasi

Se vogliamo, invece, valutare le velocità in una specifica area della nostra immagine ecocardiografica, dobbiamo ricorrere al Doppler-Pulsato. ([vai al Doppler-Pulsato](#))

Doppler Pulsato



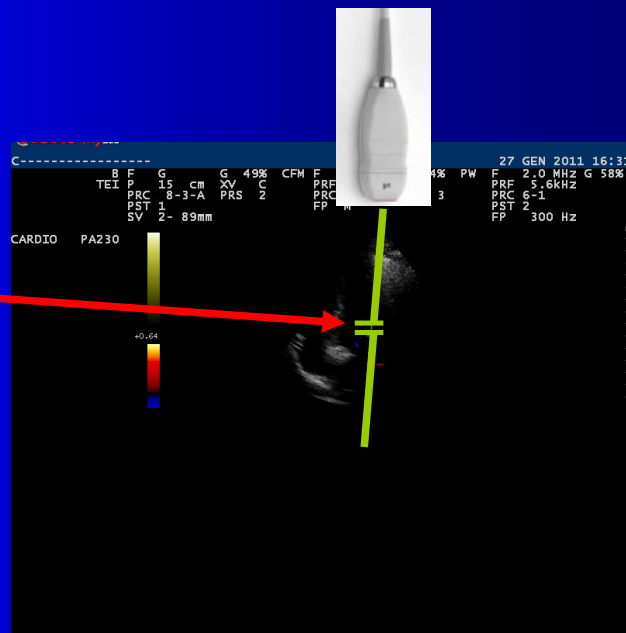
In questa modalità, il trasduttore ecocardiografico utilizza tutti i suoi elementi alternativamente come emettitori e come ricevitori: emette un treno di ultrasuoni, poi attende in ascolto per un tempo proporzionale alla distanza fra la sonda e la zona da esplorare (segnata dal marker sulla linea del cursore), e solo dopo emette un altro treno di ultrasuoni.

L'ecografo aspetta gli echi di ritorno per un tempo definito, e non si interessa degli echi che tornano prima o dopo. In questo modo, è in grado di indicarci le variazioni di frequenza degli US riflessi da strutture localizzate ad una profondità ben definita; è in grado quindi di calcolarci la loro velocità.

Nella pratica:

- sulla immagine bidimensionale, poniamo il cursore sull'area in cui vogliamo esplorare le velocità, e localizziamo il **volume campione** sulla zona di interesse.

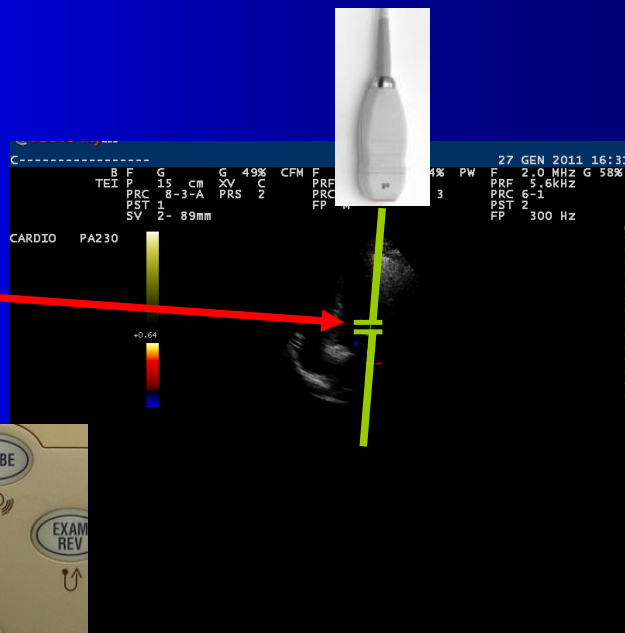
La posizione del volume campione indica all'ecografo quanto **tempo** deve aspettare perché un treno di ultrasuoni viaggi dal trasduttore alla zona indicata e torni indietro. Maggiore è la profondità a cui è posto il volume campione, maggiore è il tempo di attesa del trasduttore e quindi minore sarà la frequenza di campionamento (frequenza di ripetizione degli impulsi, PRF)



Nella pratica:

- sulla immagine bidimensionale, poniamo il cursore sull'area in cui vogliamo esplorare le velocità, e localizziamo il **volume campione** sulla zona di interesse.

- attiviamo la modalità Doppler-Pulsato

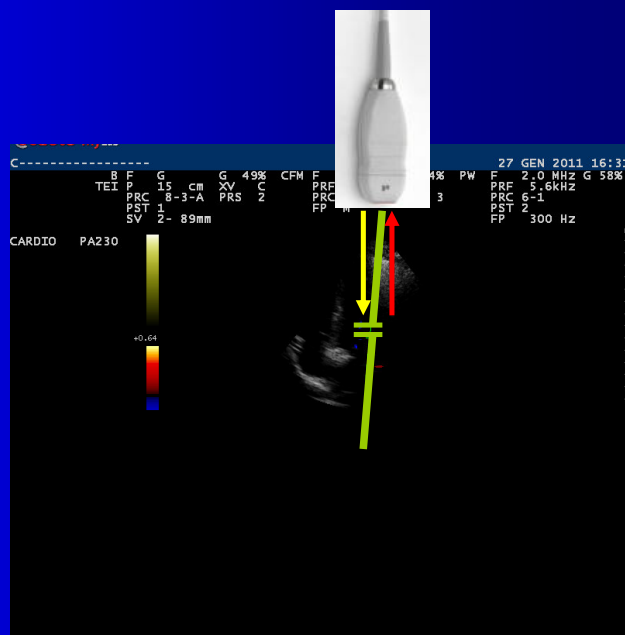


Nella pratica:

- sulla immagine bidimensionale, poniamo il cursore sull'area in cui vogliamo esplorare le velocità, e localizziamo il **volume campione** sulla zona di interesse.

- attiviamo la modalità Doppler-Pulsato

- l'ecografo emette dei singoli treni di US (in forma **pulsata**), e sta in ascolto degli echi riflessi (calcolandone la differenza di frequenza) per un tempo correlato alla profondità del volume campione

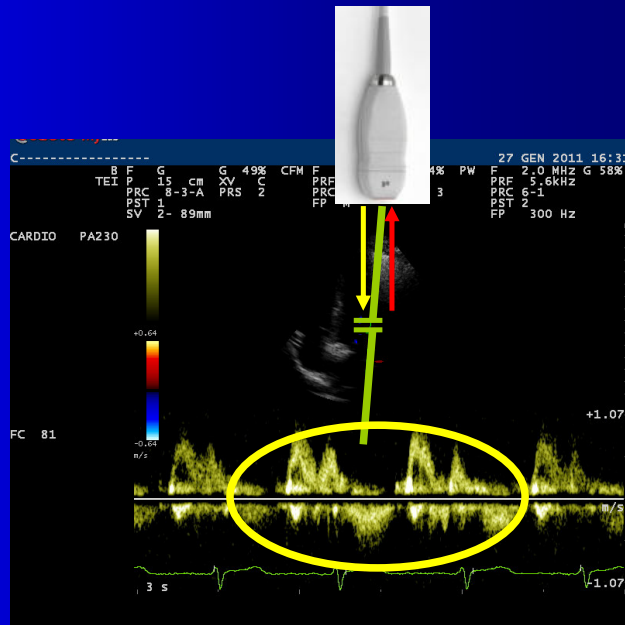


Nella pratica:

- sulla immagine bidimensionale, poniamo il cursore sull'area in cui vogliamo esplorare le velocità, e localizziamo il **volume campione** sulla zona di interesse.

- attiviamo la modalità Doppler Pulsato

- l'ecografo emette dei singoli treni di US (in forma **pulsata**), e sta in ascolto degli echi riflessi (calcolandone la differenza di frequenza), per un tempo correlato alla profondità del volume campione



- l'ecografo così misura e pone in grafico la velocità dell'oggetto riflettente situato all'interno del volume campione: deflessioni negative se l'oggetto riflettente (flusso sanguigno) si allontana; deflessioni positive se l'oggetto riflettente si avvicina

Doppler Pulsato

Vantaggi

Emissione di impulsi distanziati fra di loro da un tempo corrispondente alla "andata e ritorno" dell'ultrasuono

→ permette di misurare le velocità di oggetti (flussi) ad una profondità stabilita

→ permette di stabilire la localizzazione della struttura che genera la velocità evidenziata

Svantaggi

Relativamente bassa frequenza di emissione degli impulsi US

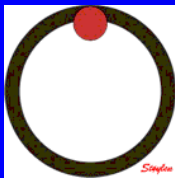
→ Non è in grado di calcolare con accuratezza velocità che superino un certo limite; questo è inversamente proporzionale alla profondità a cui è posto il volume campione (**limite di Nyquist**)

Doppler Pulsato e limite di Nyquist

Se volete divertirvi con un po' di fisica e di complicate formule matematiche, [cliccate qui](#).

In alternativa, ecco un esempio, aiutati da un po' di grafica.

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 1

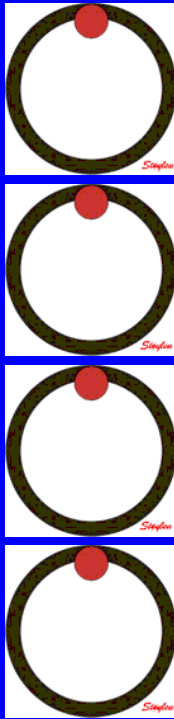


La ruota - con il suo pallino rosso - gira ad una determinata velocità, fissa, sempre la stessa.

Cosa succede quando noi riduciamo il numero delle nostre osservazioni, cioè **riduciamo la loro frequenza di ripetizione?**

In un certo senso, possiamo vedere quello che succede quando vogliamo analizzare con il Doppler-Pulsato una struttura situata progressivamente sempre più in profondità: la frequenza di ripetizione degli impulsi si riduce, poiché il trasduttore deve aspettare l'eco di ritorno del primo treno US inviato prima di emetterne un secondo.

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 1



La ruota gira ad una determinata velocità, fissa, sempre la stessa.

Qui, durante ogni rotazione, facciamo 8 fotografie; cioè prendiamo 8 campioni.

Qui ne prendiamo 4. Perdiamo un po' di informazione, ma la rotazione si vede lo stesso.

Qui ne prendiamo 2, cioè un campione (una foto) ogni mezzo giro. Sembra che il pallino rosso salti solo dall'alto al basso; non si capisce che sta, invece, ruotando.

Qui prendiamo 1,5 campioni ad ogni giro, cioè 1 campionamento ogni $\frac{3}{4}$ di giro. La ruota sembra girare al contrario!

<http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/index.html>

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 1

1° deduzione:

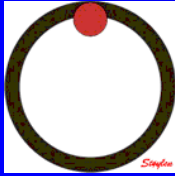
A parità di velocità dell'oggetto da esplorare, se noi riduciamo la frequenza di campionamento arriviamo ad ottenere una informazione incompleta o errata. A bassa frequenza di campionamento, il movimento del nostro oggetto ci viene rappresentato al contrario.

Applichiamo questo all'ecocardiografia a Doppler-Pulsato:

se il volume campione che vogliamo esplorare è troppo in profondità, la frequenza di ripetizione degli impulsi da cui l'ecografo ricava lo spettro Doppler arriva ad essere talmente bassa che ci rappresenta il grafico al contrario.

È quello che si denomina **fenomeno dell'aliasing**. È stato superato il **limite di Nyquist**.

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 2



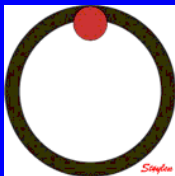
Torniamo alla nostra ruota con il pallino rosso, che continua a girare.

Cosa succede ora se, invece di ridurre il numero delle nostre osservazioni, manteniamo costanti le nostre osservazioni (al massimo della capacità della nostra "macchina fotografica"), ma facciamo progressivamente **aumentare la velocità di rotazione** del pallino rosso?

È come se, con il Doppler-Pulsato, volessimo osservare e misurare la velocità, per es., dei globuli rossi del sangue quando questi aumentano progressivamente di velocità durante l'attraversamento di una struttura sempre più stretta (es. una valvola stenotica).

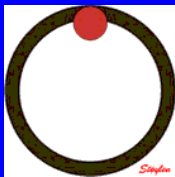
<http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/index.html>

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 2

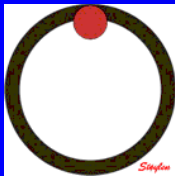


La solita ruota con il pallino rosso gira ad una determinata velocità.

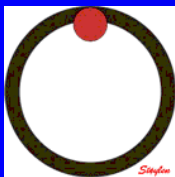
Qui il pallino fa un giro completo, mentre noi facciamo le solite 8 fotografie; cioè prendiamo 8 campioni.



Qui invece il pallino rosso fa 2 giri mentre noi continuiamo a prendere sempre 8 fotografie. Vediamo il pallino solo in 4 posizioni; perdiamo già informazione, ma capiamo ugualmente che gira a velocità doppia rispetto alla precedente.



Se la ruota raddoppia ancora la velocità di rotazione (fa 4 giri mentre noi prendiamo 8 fotogrammi = velocità di rotazione metà della frequenza di campionamento), sembra che il pallino salti solo dall'alto al basso.



Se poi gira ancora più veloce e fa 6 giri mentre noi continuiamo a campionare il movimento 8 volte (le rotazioni sono maggiori della metà della frequenza di campionamento), nuovamente sembra andare al contrario!

<http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/index.html>

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 2

2° deduzione:

A parità di frequenza di campionamento, se aumenta la velocità dell'oggetto che stiamo osservando arriviamo ad ottenere una informazione dubbia, o completamente errata. Quando l'oggetto si sposta a **velocità uguale o superiore alla metà della nostra frequenza di campionamento**, il movimento dell'oggetto ci viene rappresentato in modo ambiguo o addirittura al contrario.

Applichiamo questo all'ecocardiografia a Doppler-Pulsato:

L'oggetto che stiamo esplorando si trova ad una determinata profondità; noi poniamo a quella profondità il nostro volume campione. La frequenza di ripetizione degli impulsi da cui l'ecografo ricava lo spettro Doppler rimane quindi costante.

Però, durante l'osservazione, il nostro oggetto aumenta progressivamente di velocità; oltre un certo limite, la velocità ci viene rappresentata nel grafico al contrario.

Si è verificato il **fenomeno dell'aliasing**. È stato superato il **limite di Nyquist**.

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 2

Quello che abbiamo appena descritto è il fenomeno della **"ruota della diligenza del far-west"** nei film western.

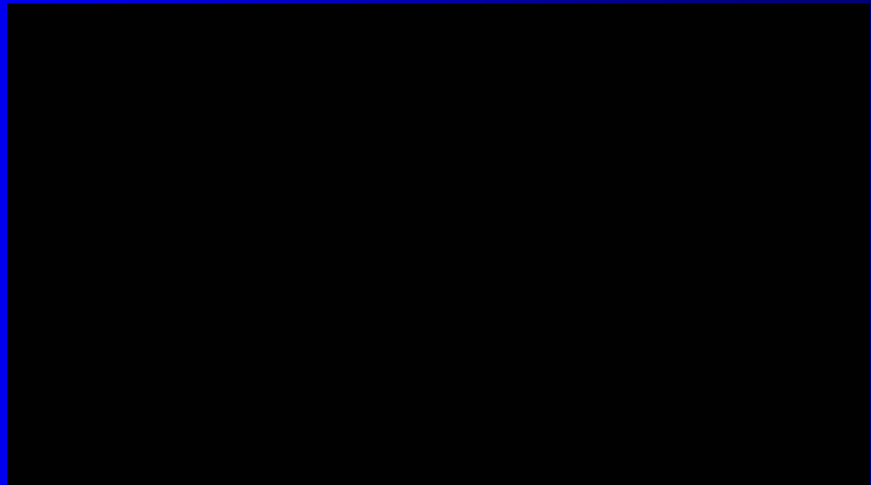
Nei film classici, le riprese avvengono a 24 fotogrammi al secondo; cioè, ad ogni secondo vengono effettuati 24 campionamenti del fenomeno oggetto della ripresa.

La diligenza fugge dall'attacco degli indiani. Le ruote di legno girano sempre più velocemente.

Ma in che verso?

Ad un certo punto sembra dapprima che si fermino, e poi che girino al contrario ...

È quanto abbiamo presentato nelle diapositive precedenti.

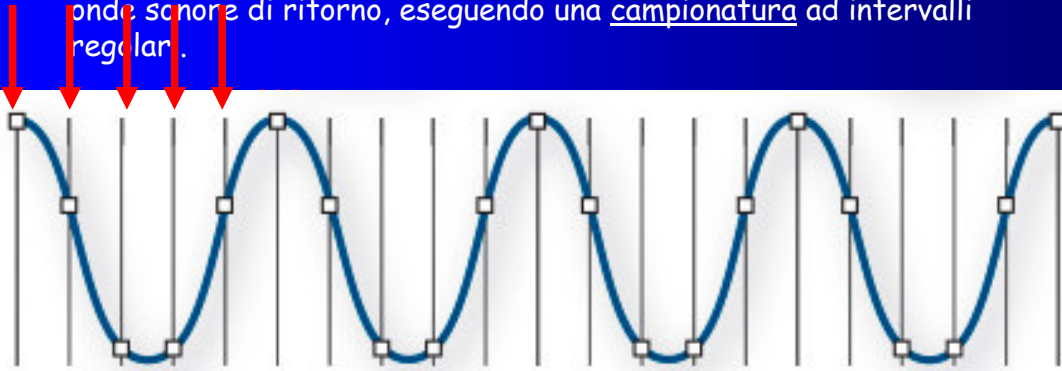


Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 3

Proviamo ora a rivedere gli stessi concetti, con una presentazione diversa.

Ricordiamoci che stiamo trattando di onde sonore (e non di ruote della carrozza dei cow-boy!).

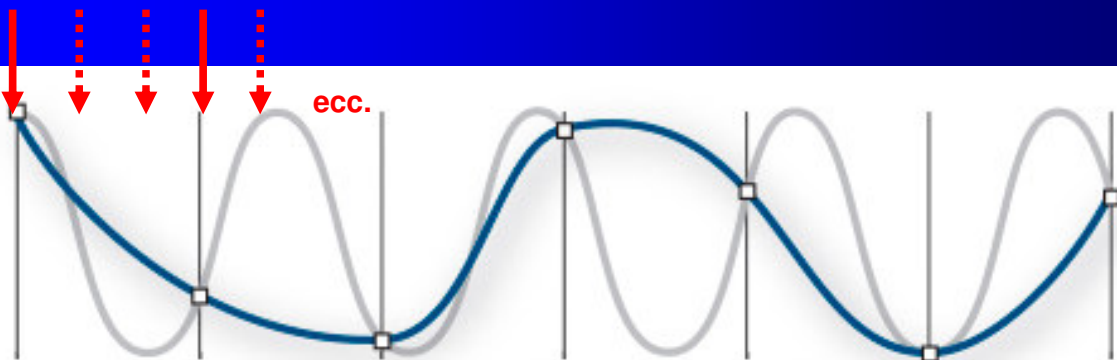
L'ecografo è in grado di riconoscere e misurare la frequenza delle onde sonore di ritorno, eseguendo una campionatura ad intervalli regolari.



Riconoscendo e misurando l'onda sonora nei vari punti (segnati con i quadrati), l'ecografo è in grado di ricostruire l'onda sonora e misurarne la frequenza, in questo esempio in modo corretto.

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 3

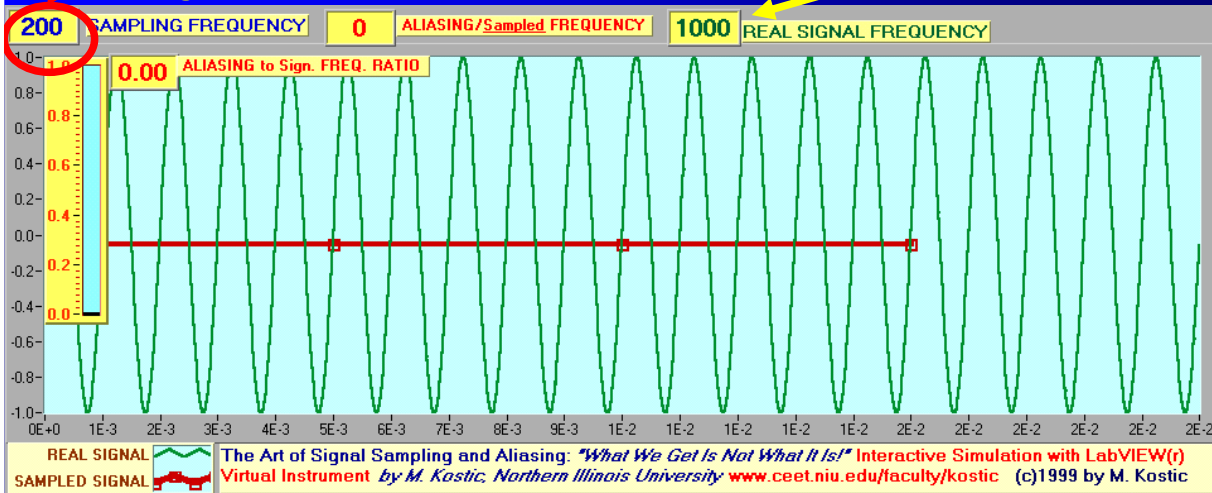
Immaginiamo che la struttura che noi vogliamo esplorare sia relativamente profonda. Sappiamo che l'ecografo dovrà aspettare il ritorno del treno ultrasonoro inviato per un tempo maggiore. Per far questo deve ridurre la frequenza dei campionamenti effettuati, per esempio a un terzo rispetto ai precedenti.



In questo caso, la campionatura molto ridotta non permette più di ricostruire con esattezza la frequenza dell'onda sonora, che viene quindi rappresentata come un'onda di frequenza molto minore della realtà.

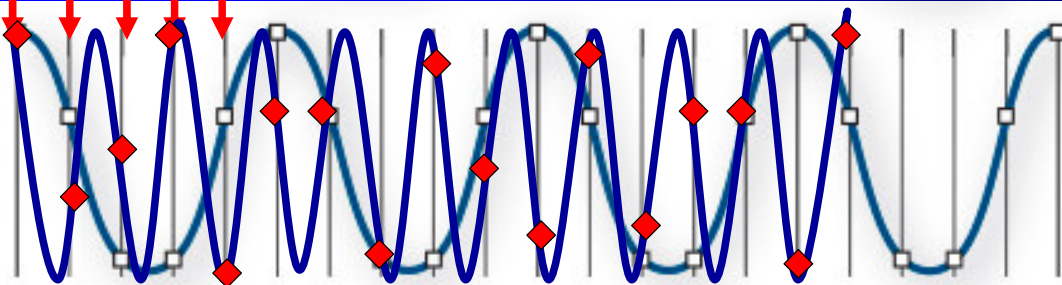
Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 3

Guardate ora, in questa animazione, che cosa succede nella ricostruzione della stessa onda sonora quando lo strumento cambia la frequenza di campionamento, come per es. fa il nostro ecocardiografo quando cambiamo la profondità di esplorazione del Doppler-pulsato. Per un riconoscimento minimamente sufficiente, la **frequenza di campionamento** deve essere almeno superiore al doppio della **frequenza del segnale**:



Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 3

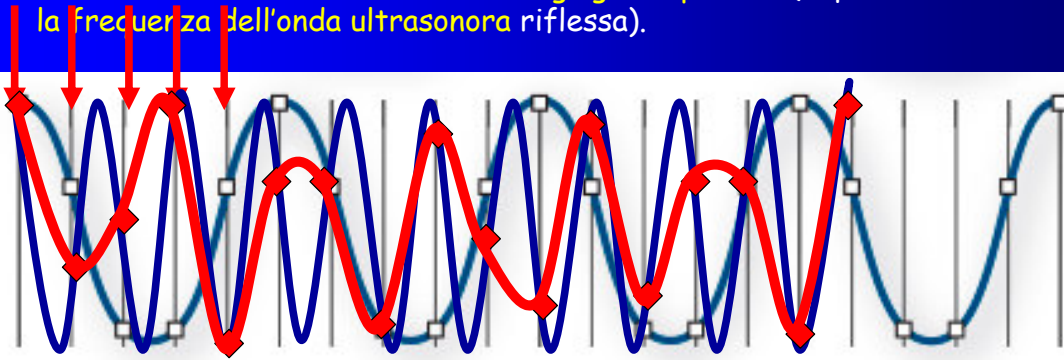
Come potete immaginare, il fenomeno di un alterato campionamento (superamento del limite di Nyquist) avviene anche se l'ecografo mantiene **costante la frequenza del campionamento** (es. quando esploriamo ad una profondità costante), **ma aumenta la velocità del flusso sanguigno esplorato** (e quindi **aumenta la frequenza dell'onda ultrasonora riflessa**).



L'onda sonora riflessa (che presenta una frequenza più elevata) è rappresentata in blu, e i punti campionati sono rappresentati dai rombi rossi.

Doppler Pulsato e limite di Nyquist - 3

Come potete immaginare, il fenomeno di un alterato campionamento (superamento del limite di Nyquist) avviene anche se l'ecografo mantiene **costante la frequenza del campionamento** (es. quando esploriamo ad una profondità costante), **ma aumenta la velocità del flusso sanguigno esplorato** (e quindi **aumenta la frequenza dell'onda ultrasonora riflessa**).



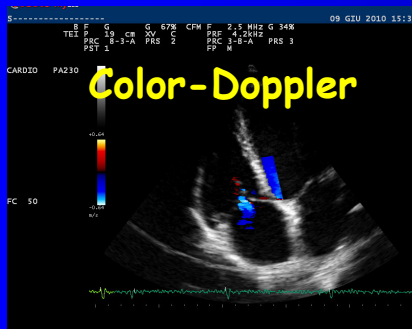
Ne esce una ricostruzione completamente alterata, non rispondente all'onda sonora reale. Un qualcosa di diverso, un "alias": è il fenomeno dell'**aliasing** appunto.

In conclusione, il **Doppler-Pulsato** ci permette di **riconoscere la localizzazione spaziale delle variazioni di velocità**, ma non è in grado di riconoscere correttamente velocità che superino un determinato limite inversamente proporzionale alla profondità a cui stiamo effettuando il campionamento.

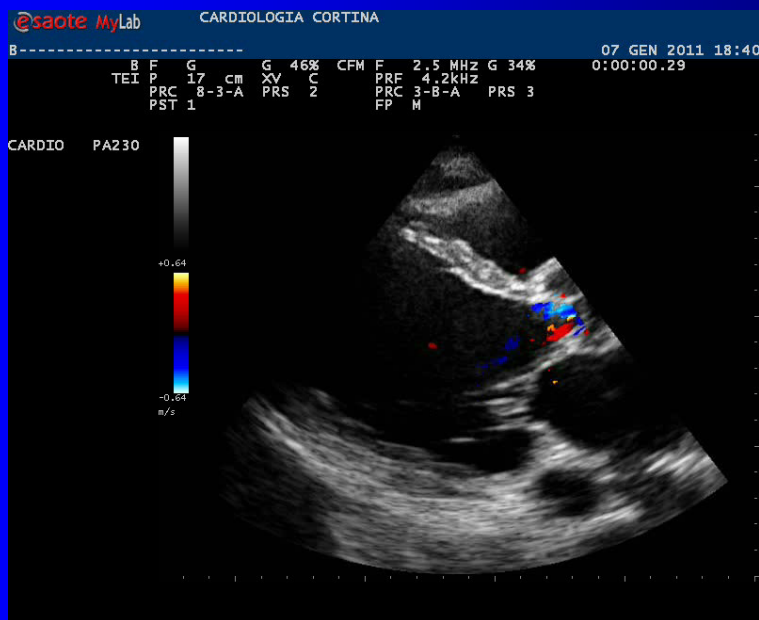
Il Doppler-Pulsato viene usato per valutare:

- Velocità nel tratto di efflusso ventricolare sinistro
- Velocità del flusso diastolico transmitralico
- Velocità del flusso nelle vene polmonari

Se vogliamo, invece, valutare velocità elevate o calcolare la velocità massima osservabile lungo il percorso del fascio ultrasonoro (senza necessità di localizzarne il punto di origine), dobbiamo ricorrere al Doppler-Continuo. ([vai al Doppler-Continuo](#))



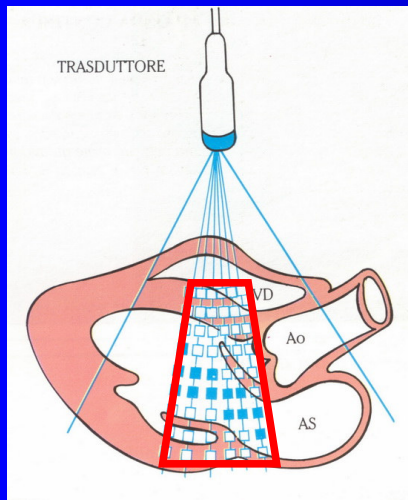
È la tecnica Doppler più "cinematografica". Attrae molto l'attenzione del paziente, che vede "il suo sangue scorrere nel cuore", e riveste grande utilità per l'ecocardiografista, già che permette una valutazione non invasiva delle velocità del flusso sanguigno, della sua direzione e delle sue caratteristiche.



Ecco un esempio della rappresentazione in Color-Doppler del flusso di rigurgito attraverso una valvola aortica insufficiente.

Ma come viene ottenuta questa rappresentazione a colori?

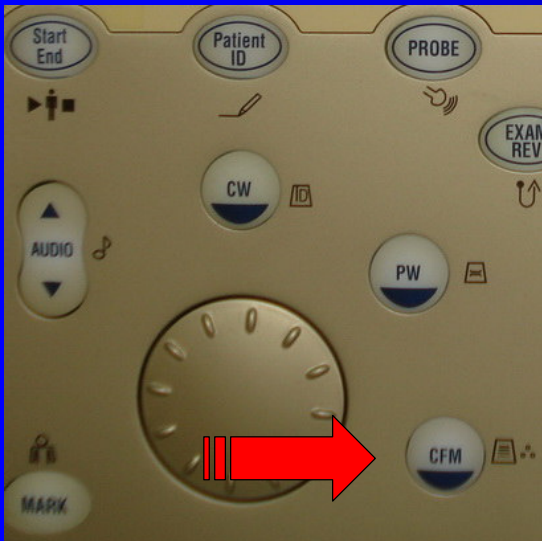
E qual è la codifica utilizzata?



Il principio su cui si basa il funzionamento del Color-Doppler è sostanzialmente quello del Doppler-Pulsato ([vedi](#)).

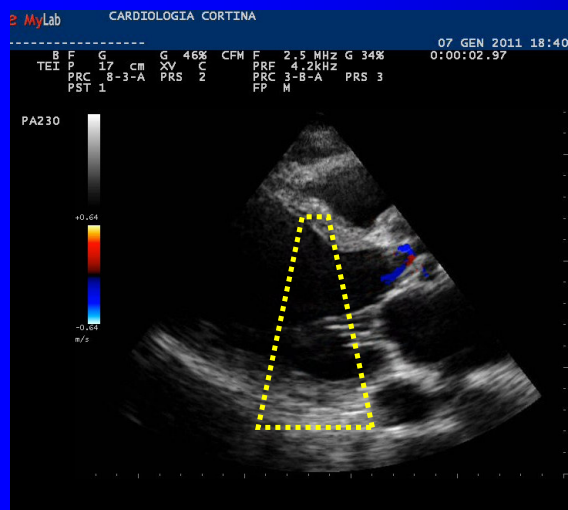
Noi dobbiamo indicare all'ecografo la zona che vogliamo analizzare. Mentre con il Doppler-Pulsato scegliamo un "volume campione" di dimensioni piuttosto piccole, nel caso del Color-Doppler indichiamo un'area.

Farcot JC - Capire l'ecocardiografia - Ed SIDEM, Paris, 1987



Nella pratica:

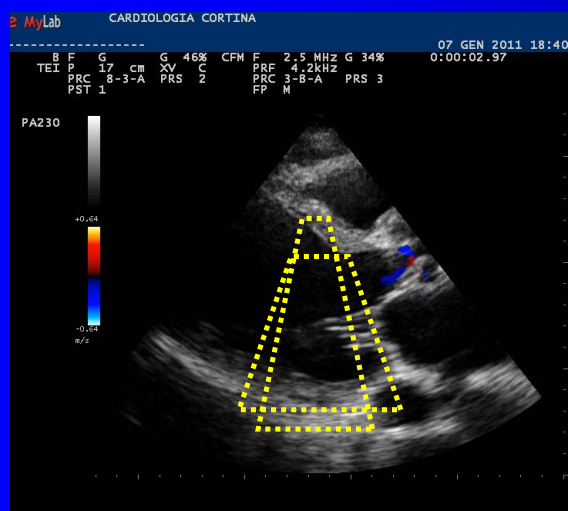
1- dobbiamo attivare la modalità Color-Doppler (CFM);



Nella pratica:

1- dobbiamo attivare la modalità Color-Doppler (CFM);

2- sull'immagine bidimensionale, compare il trapezio che ci indica l'area campione.

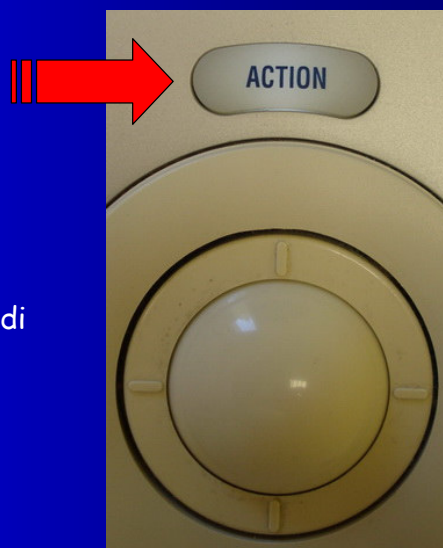


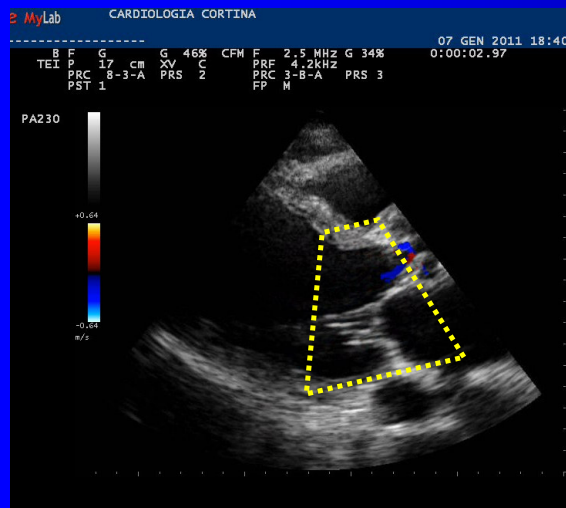
Nella pratica:

1- dobbiamo attivare la modalità Color-Doppler (CFM);

2- sull'immagine bidimensionale, compare il trapezio che ci indica l'area campione.

3- Possiamo modificare le dimensioni di quest'area,





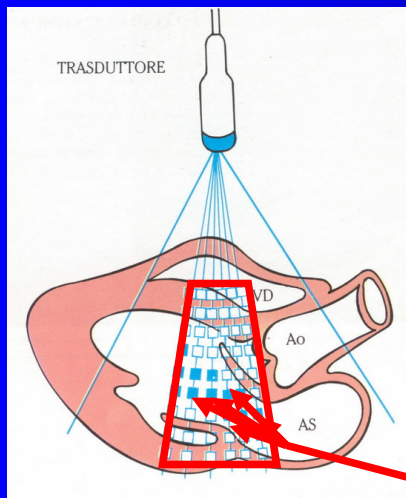
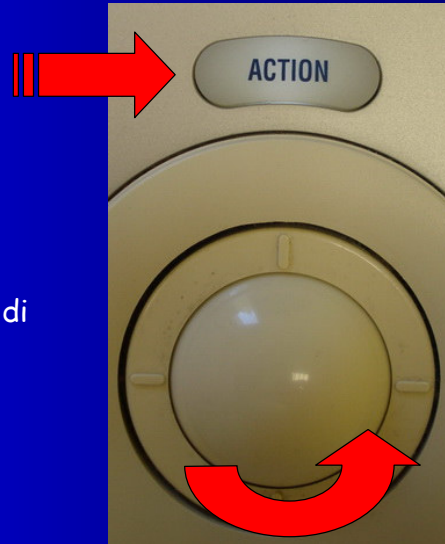
Nella pratica:

1- dobbiamo attivare la modalità Color-Doppler (CFM);

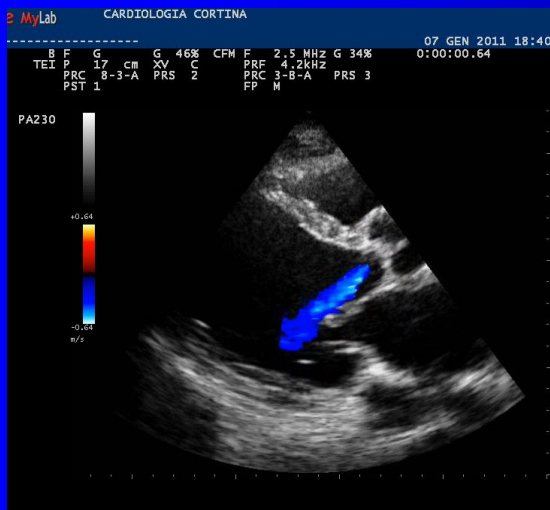
2- sull'immagine bidimensionale, comporre il trapezio che ci indica l'area campione.

3- Possiamo modificare le dimensioni di quest'area,

4- e la possiamo posizionare convenientemente sulla struttura da esplorare.

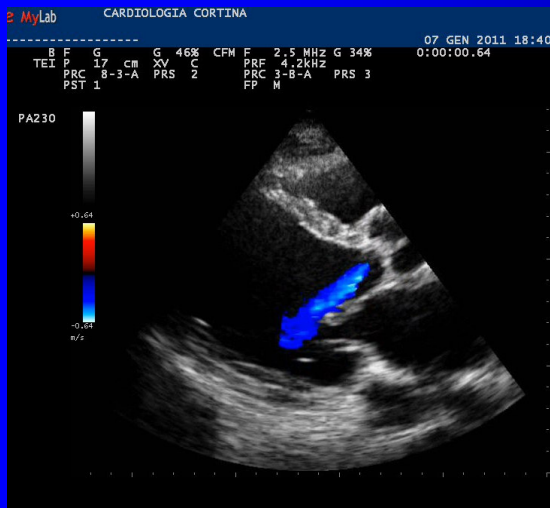


Questa area-campione (delimitata dal trapezio) è costituita da un numero piuttosto elevato di piccoli volumi-campione.

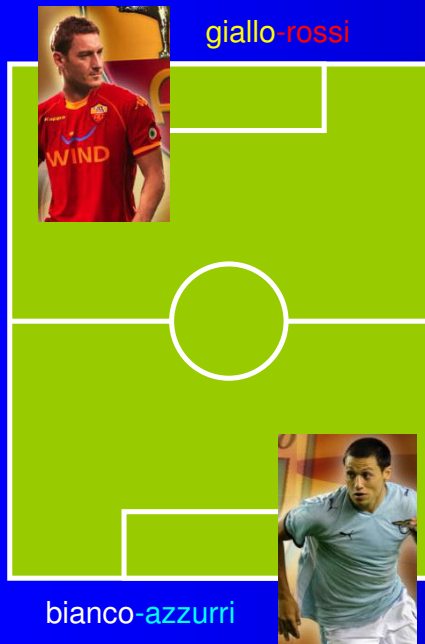


L'ecografo invia dei treni di ultrasuoni e analizza uno ad uno tutti questi piccoli volumi-campione, calcolando lo shift della frequenza dell'ultrasuono (e quindi la velocità del sangue) in ognuno di essi.

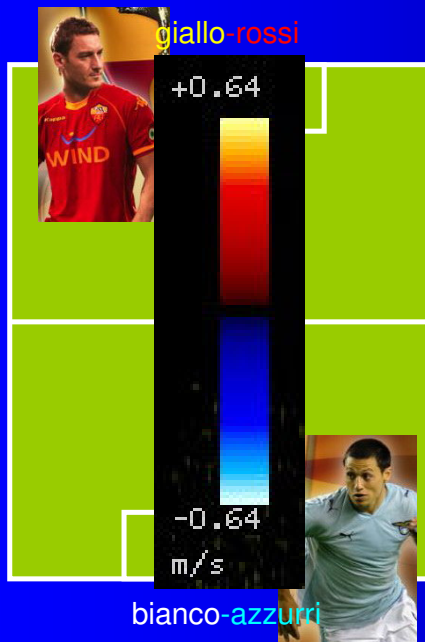
In seguito il software dell'ecografo ci pone sull'immagine ognuno dei volumi-campione, nel posto esatto dove è stato esplorato, costruendo una immagine a colori rappresentativa del flusso.



Le variazioni di velocità calcolate in quella area sono rappresentate con una **codifica a colori**.



Le variazioni di velocità calcolate in quella area sono rappresentate con una **codifica a colori**.

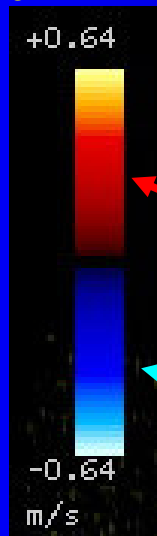


Flusso in avvicinamento
al trasduttore

Le variazioni di velocità calcolate in quella area sono rappresentate con una **codifica a colori**.

Flusso in allontanamento
dal trasduttore

giallo-rossi



bianco-azzurri

Flusso in avvicinamento
al trasduttore

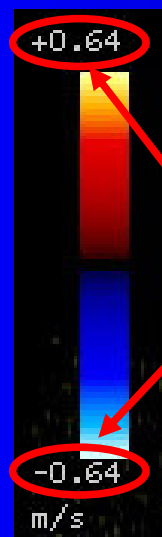
Le differenti gradazioni dei colori, che diventano sempre più "incandescenti", indicano velocità diverse e progressivamente maggiori:

➤ da rosso cupo, a rosso vivo, a giallo:
nell'esempio, velocità da 0 a +0,64 metri al secondo, in avvicinamento

➤ da blu, ad azzurro, a bianco:
nell'esempio, velocità da 0 a -0,64 metri al secondo, in allontanamento

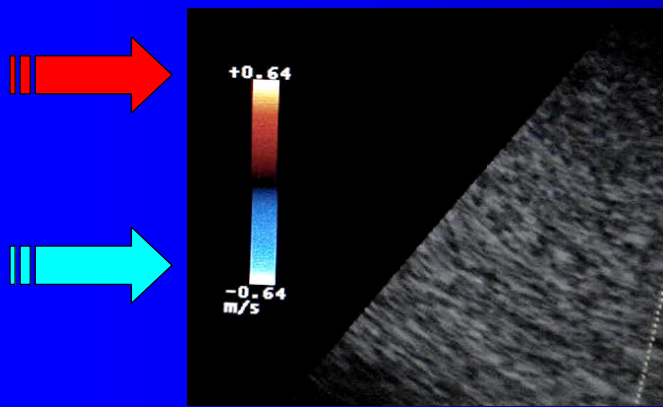
Flusso in allontanamento
dal trasduttore

Flusso in avvicinamento
al trasduttore

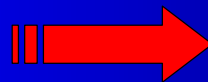


Range di velocità.

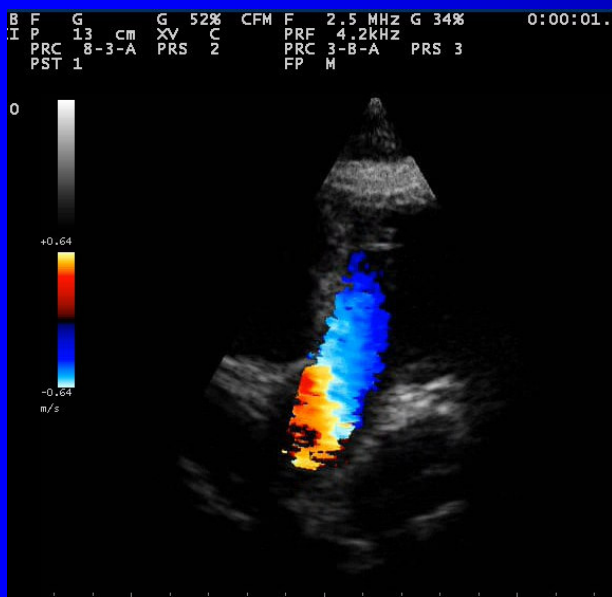
Flusso in allontanamento
dal trasduttore



Può essere modificato agendo sul comando relativo alla Pulse Repetition Frequency (PRF)



Anche il Color-Doppler soffre del **fenomeno dell'aliasing**, come già visto per il Doppler-Pulsato, da cui sostanzialmente deriva. Nel Color-Doppler, la Pulse Repetition Frequency è addirittura inferiore a quella del Doppler-Pulsato, in quanto le pixels che vengono esplorate sono in numero molto maggiore.



Quando le velocità del flusso sanguigno in esame raggiungono o superano un valore pari alla metà della PRF, si assiste ad una **inversione del codice colore** per quella area, come succede in questo caso di circolo ipercinetico in giovane paziente normale.

Il flusso aortico in allontanamento dapprima è rappresentato con il colore blu-azzurro; poi, all'inizio dell'aorta ascendente, viene rappresentato con un mosaico della gamma del rosso (flusso rapido e vorticoso).

In conclusione, il **Color-Doppler** ci permette:

1. di avere una visione complessiva del flusso sanguigno attraverso le varie strutture cardiache, e quindi di poter individuare rapidamente la presenza o meno di patologie valvolari o di shunt;
2. localizzare nello spazio e valutare l'estensione di un jet di rigurgito;
3. riconoscere la direzione di un jet di rigurgito o di eiezione → permette di allineare in modo adeguato il cursore del Doppler-Continuo, per misurare correttamente le velocità;
4. sfruttando il fenomeno dell'aliasing, con il metodo PISA (vedi) la valutazione color-doppler permette di stimare l'entità del reflusso mitralico.

Bibliografia

- Støylen A. Basic ultrasound, echocardiography and Doppler for clinicians. NTNU Norwegian University of Science and Technology, Fac Medicine, Dpt Circulation and Imaging. <http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/index.html> (accesso 01/12/2010)
- Farcot JC - Capire l'ecocardiografia - Ed SIDEM, Paris, 1987