

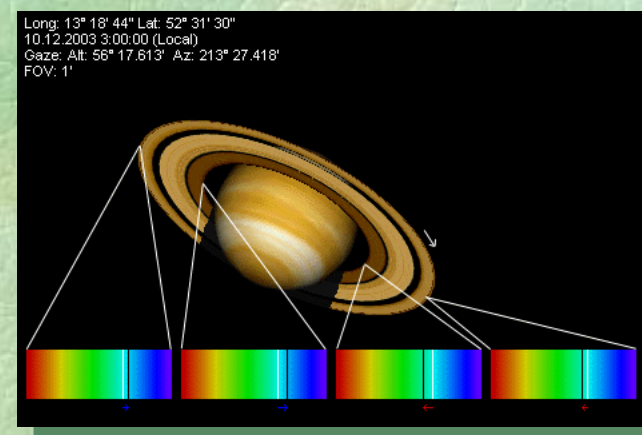
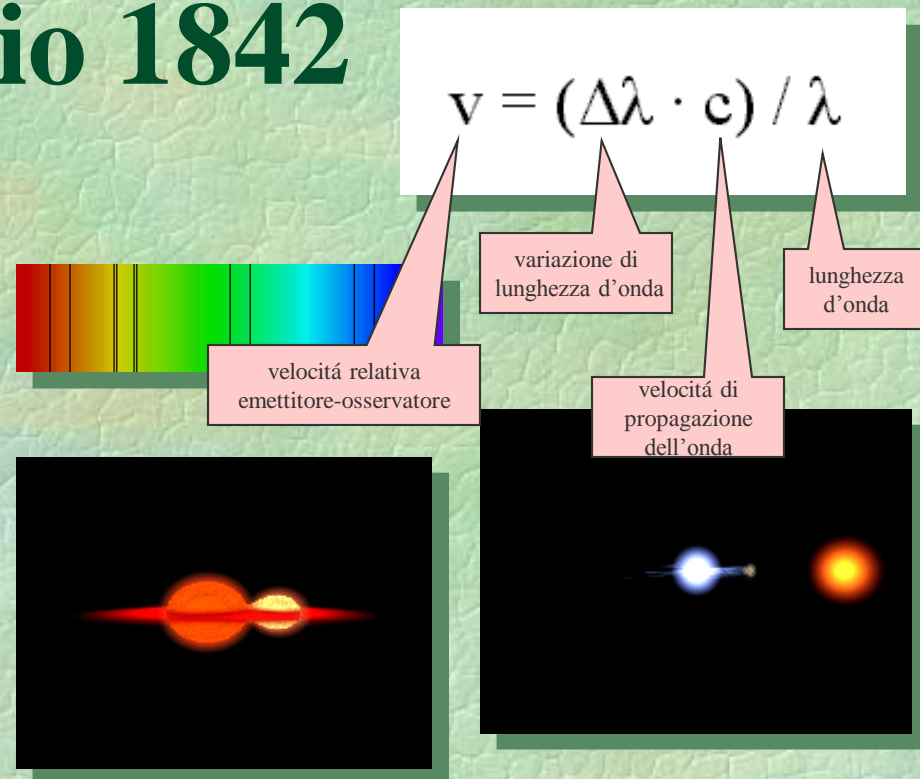
# Christian Doppler: le origini

- nasce a Salisburgo il 29 Nov. 1803, figlio di uno scultore
- 1822-1829: studia matematica, meccanica e astronomia a Vienna
- 1835-1844 insegna in varie cattedre al Politecnico di Praga
- 11 Aprile 1836 sposa Matilde Sturm, da cui avrà cinque figli
- 1844-1850 si ammala di tubercolosi, insegna all'Accademia Forestale in Banska Stiavnica



# Praga, 25 Maggio 1842

- Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels
- *[Della luce colorata delle stelle doppie e di alcuni altri corpi del firmamento]*
- venti pagine che hanno cambiato la storia della scienza e della tecnologia!

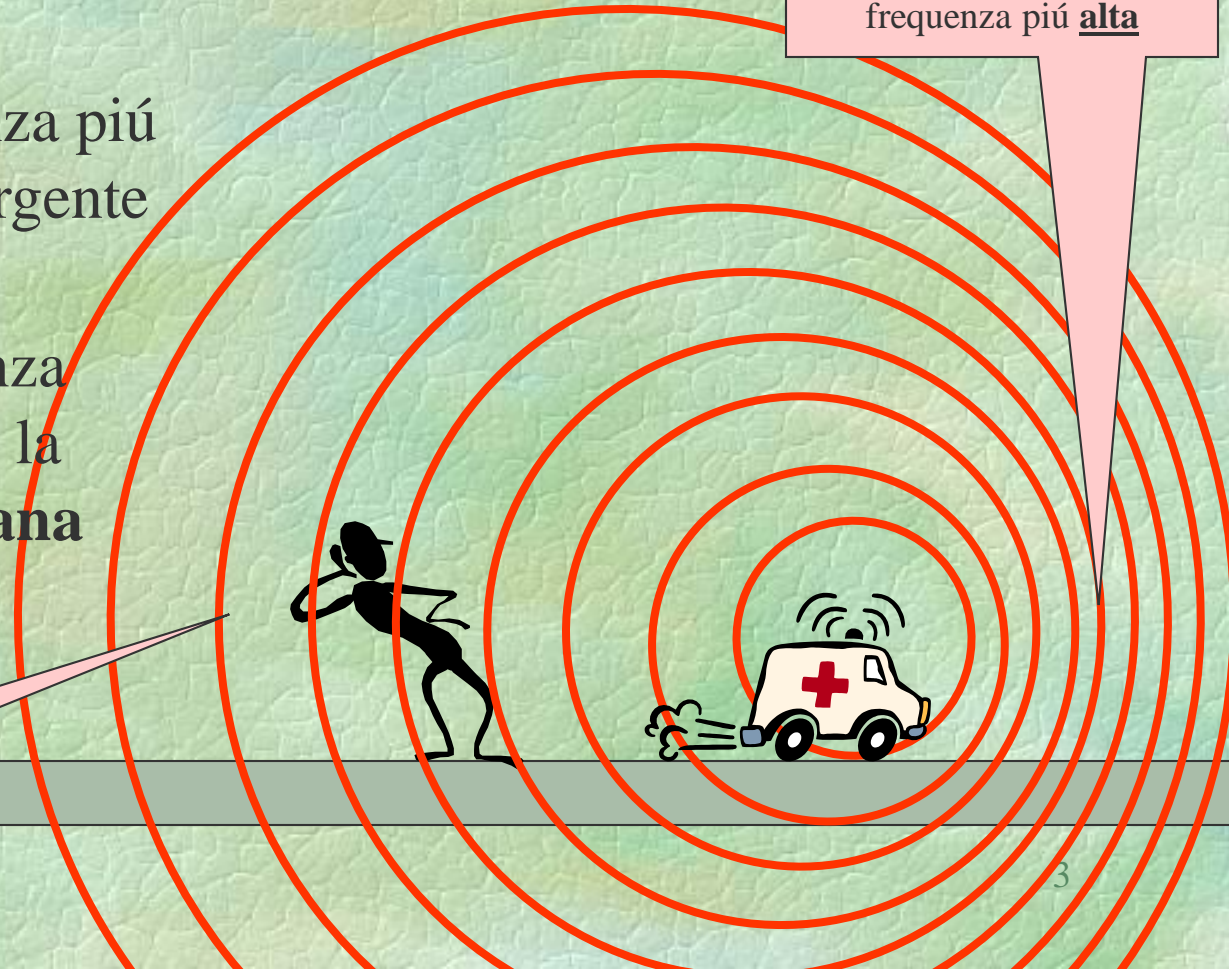


# L'Effetto Doppler

- I suoni emessi da una sorgente in movimento ci appaiono:
  - piú **acuti** (frequenza piú alta) quando la sorgente si **avvicina** a noi,
  - piú **gravi** (frequenza piú bassa) quando la sorgente si **allontana** da noi



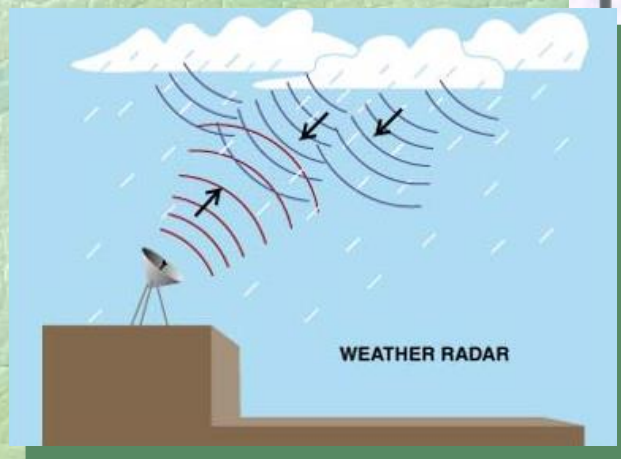
Onde piú “**comprese**”,  
lunghezza d’onda piú corta,  
frequenza piú **alta**



Onde piú “**stirate**”,  
lunghezza d’onda piú lunga,  
frequenza piú **bassa**

# Doppler nella tecnologia

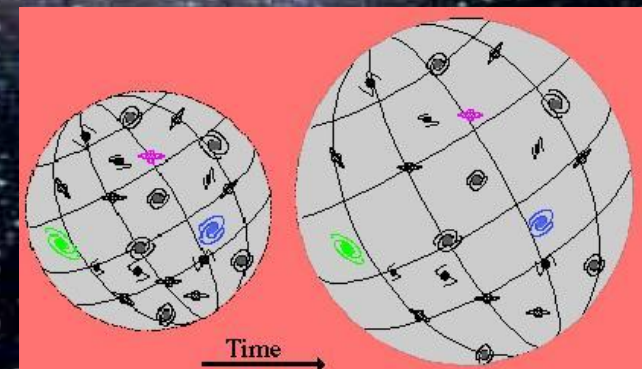
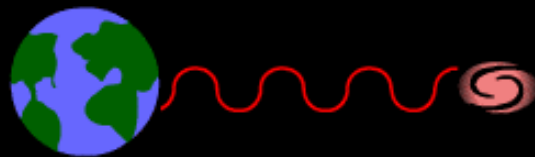
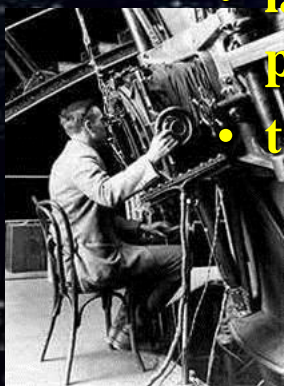
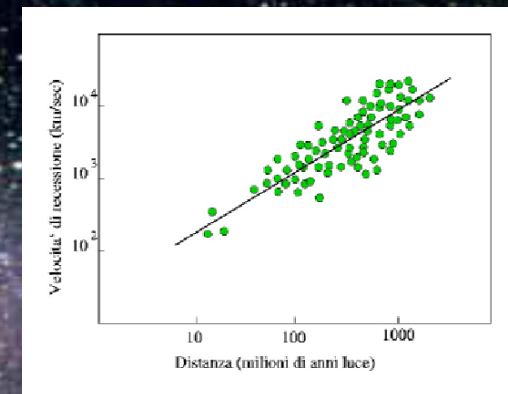
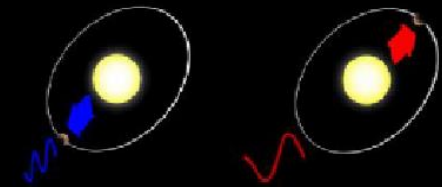
- i radar Doppler meteorologici
  - misurano posizione, intensità, direzione e velocità di movimento delle perturbazioni
- i misuratori di velocità “radar” della Polizia Stradale
  - misurano l’effetto Doppler sull’onda radar riflessa dal veicolo in movimento



# Doppler nella scienza

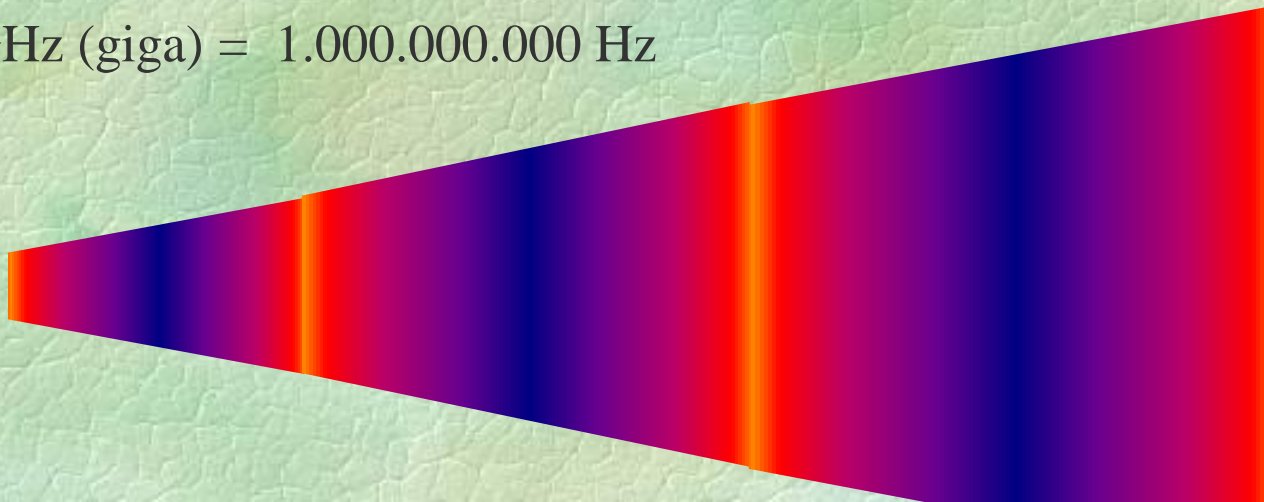
- **Analisi della struttura delle stelle doppie e triple**
- **la ricerca di sistemi planetari in altre stelle**
- **Il “Red-Shift” e l’espansione dell’universo**
  - **legge di Hubble, 1929:**
    - la velocità di allontanamento di una galassia è proporzionale alla sua distanza da noi
    - teoria cosmologica del “Big Bang”

AVVICINAMENTO      ALLONTANAMENTO



# Che cosa sono gli (ultra)suoni?

- **Suono**: oscillazione periodica di un mezzo (Es: aria) che si propaga mediante onde di densità longitudinali.
- Proprietà fondamentale è la **frequenza** ( $f$ ),
  - numero di oscillazioni (=cicli) nell' unità di tempo:
  - si misura in **Hertz** (Hz): 1 Hz = 1 ciclo/sec
  - prefissi moltiplicativi:
    - kHz (kilo) = 1000 Hz
    - MHz (mega) = 1.000.000 Hz
    - GHz (giga) = 1.000.000.000 Hz



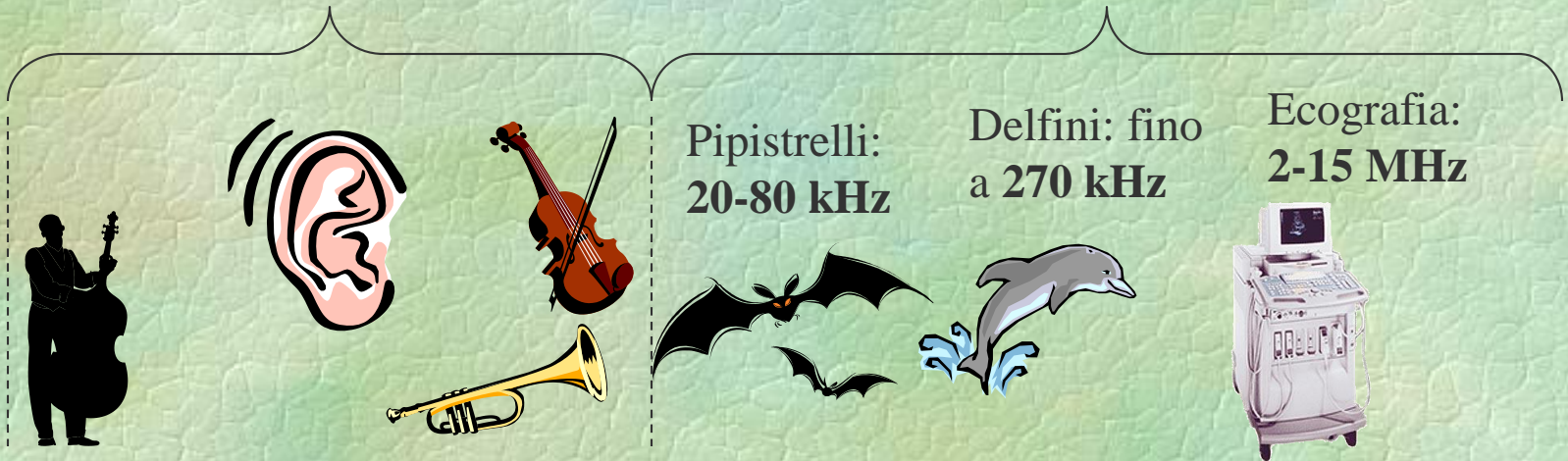
# Che cosa sono gli ultrasuoni?

- Suoni aventi frequenza superiore a quella udibile dall'orecchio umano, quindi  $f > 20 \text{ kHz}$

Suoni udibili dall'uomo:  
16 Hz - 20000 Hz (20 kHz)

**Ultrasuoni**

(Infrasuoni)



1 Hz

10 Hz

100 Hz

1 kHz

10 kHz

100 kHz

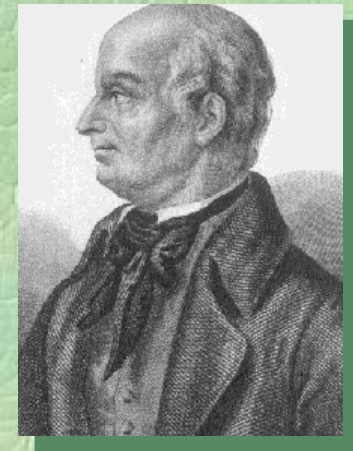
1 MHz

10 MHz

100 MHz

frequenza  $f$  crescente

# Pipistrelli, sommergibili e ... altri antenati “ultrasonici”



**1793 Spallanzani** ipotizza un “sesto senso” dei pipistrelli, che solo nel 1939 verrà dimostrato “ultrasonico” da *Griffin* e *Galambos*

**1842 Doppler** teoria dello spostamento di frequenza

**1877 Strutt** “The theorie of sound” - **fondamenti fisici**



**1880 Coniugi Curie** scoprono in alcuni cristalli l'effetto **piezoelettrico**, che verrà in seguito utilizzato per i primi generatori ultrasonici

**1912 Behm/Richardson** anche a seguito della tragedia del Titanic, sviluppano indipendentemente l'**ecoscandaglio**



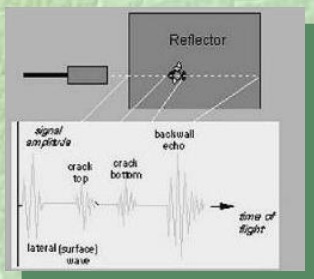
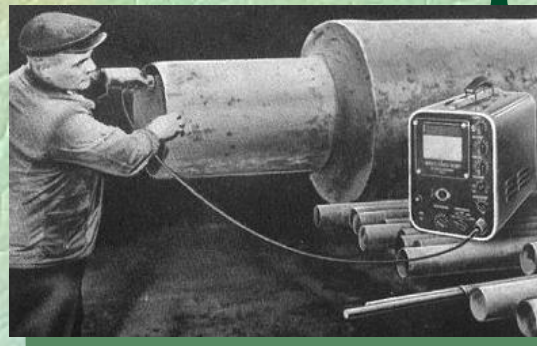
**1916 Langevin e Chilkowsky** primo generatore di ultrasuoni e **localizzazione sommergibili** ad uso bellico



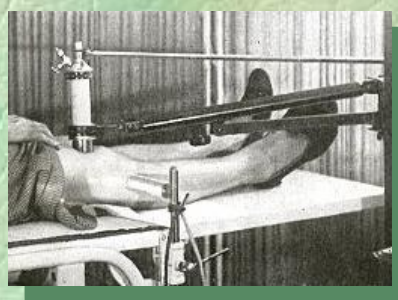
# Dalle verifiche non distruttive sui materiali all'uso terapeutico



**1929 Sokolov** verifica non distruttiva dei materiali e delle saldature di un manufatto metallico



**1929 Wood/Loomis/Johnson** primi studi sugli **effetti biologici** degli ultrasuoni



**1936 Gohr/Wedekind** teoria dell' ecolocalizzazione degli **organi interni** del corpo

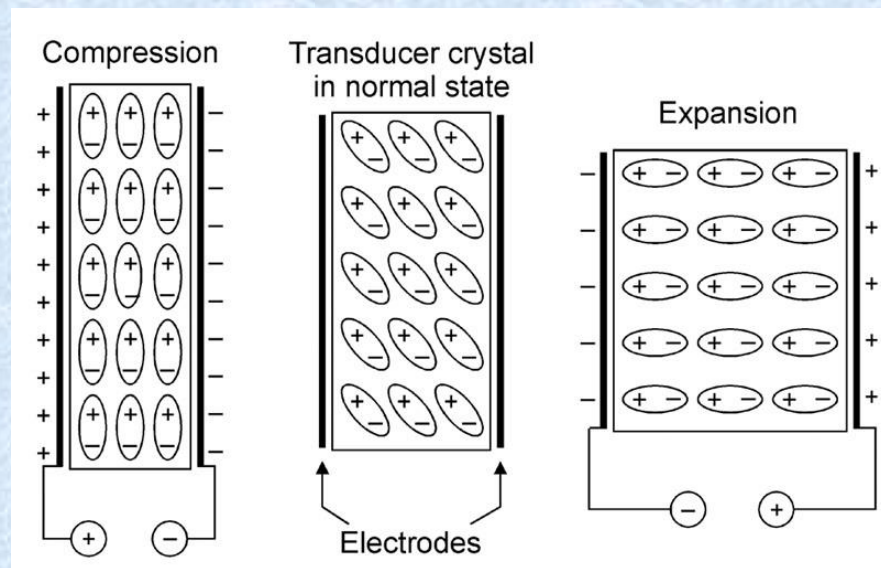
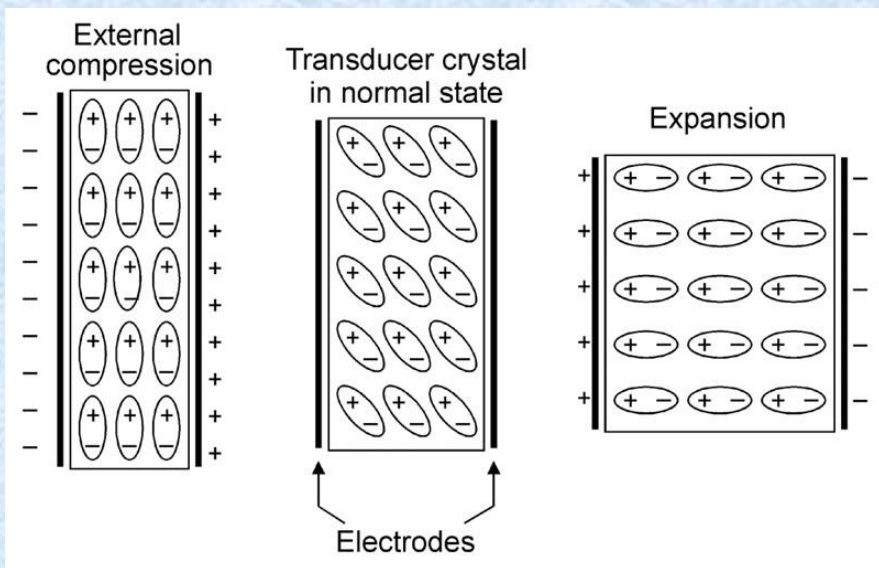


**1939 v. Pohlmann** uso degli ultrasuoni come **terapia** per depositare energia nei tessuti

# Piezolettricitá



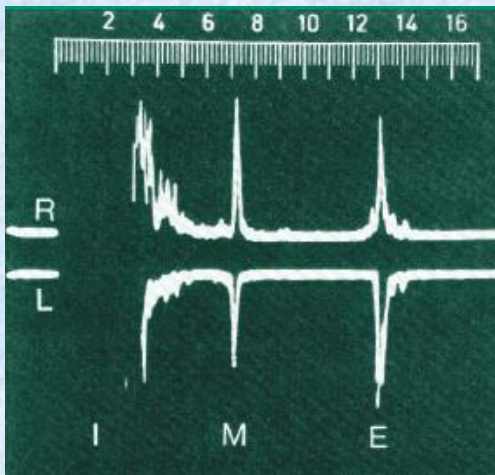
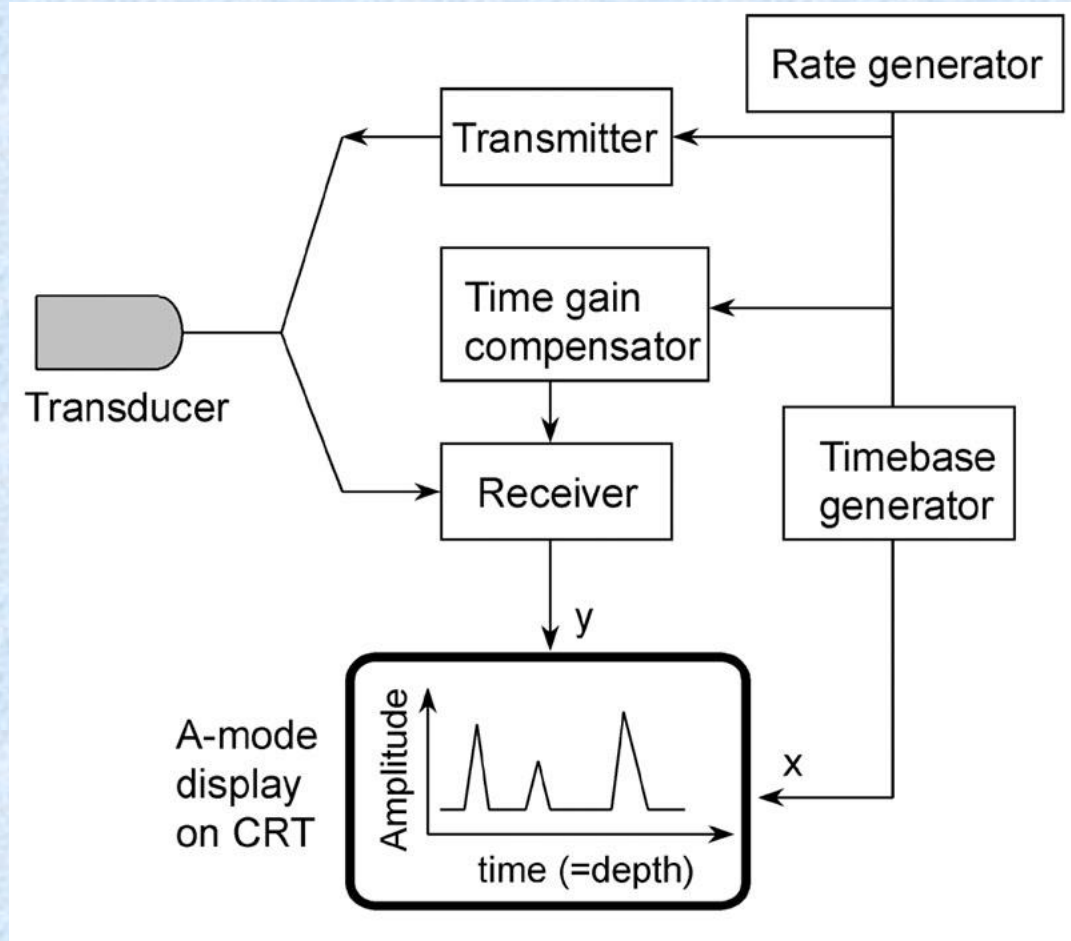
- Il fenomeno, scoperto dai coniugi Curie nel 1880, per cui certi cristalli generano una tensione elettrica se sottoposti a forze, e reciprocamente possono deformarsi quando sottoposti a campi elettrici.
- Per queste due proprietá reciproche i cristalli piezoelettrici sono utilizzati come trasduttori (emittenti e riceventi) di ultrasuoni, permettendone la conversione da e verso energia elettromagnetica



# A-Mode (Amplitude)

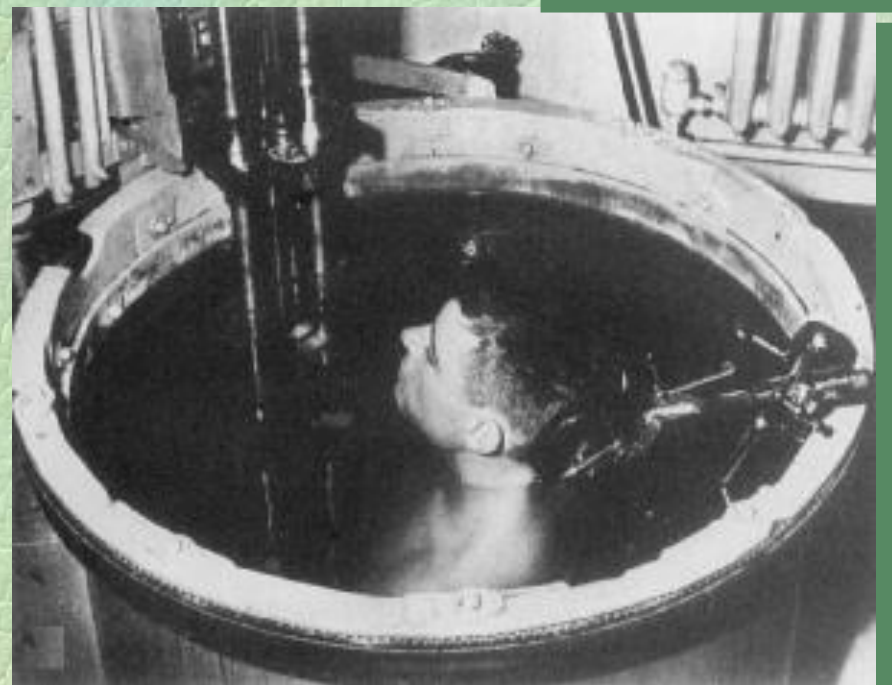
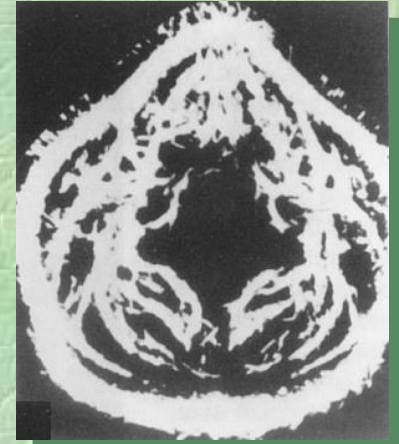
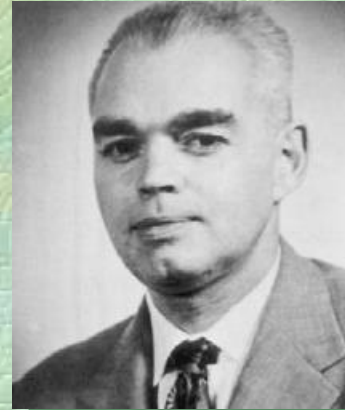


- Un metodo di visualizzazione dei segnali (echi) riflessi nel quale il **tempo** è rappresentato lungo l'asse orizzontale e l'**intensità** (Amplitude) dell'eco lungo l'asse verticale
- Storicamente è stato il primo metodo ecografico ad affermarsi, data la sua estrema semplicità, e la sua immediata derivazione dal **SONAR** dei sommergibili (Sound Navigation and Ranging)



# Howry (1952): immagine bidim. (B-Mode, Compound)

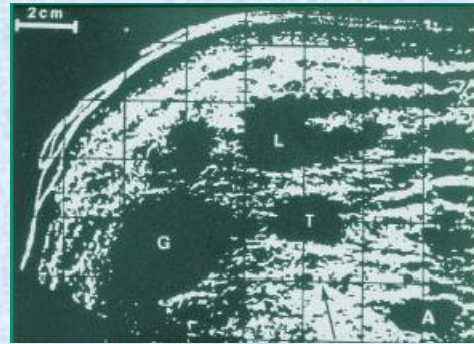
- radiologo, a Denver, crea immagini 2D dei tessuti molli
- immergendo il paziente completamente, in una vasca (per trasmettere l'onda sonora)
- “Gun-Turret Scanner”  
(torretta di bombardiere B29!)
- La sonda é motorizzata e compie movimenti di scansione semicircolari



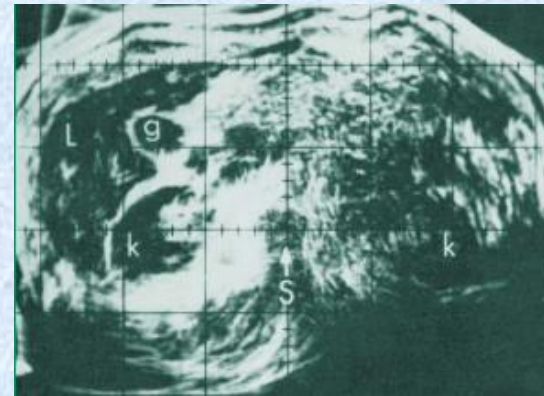
# B-Mode (Brightness)



- Un metodo di rappresentazione su uno schermo bidimensionale, in cui l'**intensità** dell'eco é rappresentata dalla modulazione della luminosità (Brightness) del pixel (punto), e la **posizione** dell'eco, mostrata nel piano x-y, é determinata dalla posizione del trasduttore e dal tempo di transito dell'impulso acustico
- Storicamente si é affermato dopo l'A-Mode, come ricaduta delle ricerche sul RADAR (Radio Detection And Ranging) durante la seconda guerra mondiale. É il primo metodo che ha prodotto una vera e propria “immagine” ecografica degli organi interni

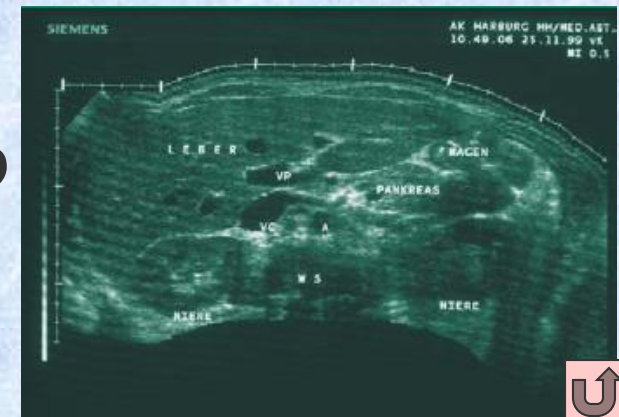


1966,  
bistabile  
(B/N)



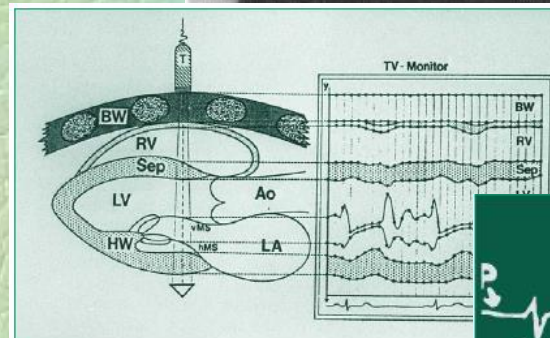
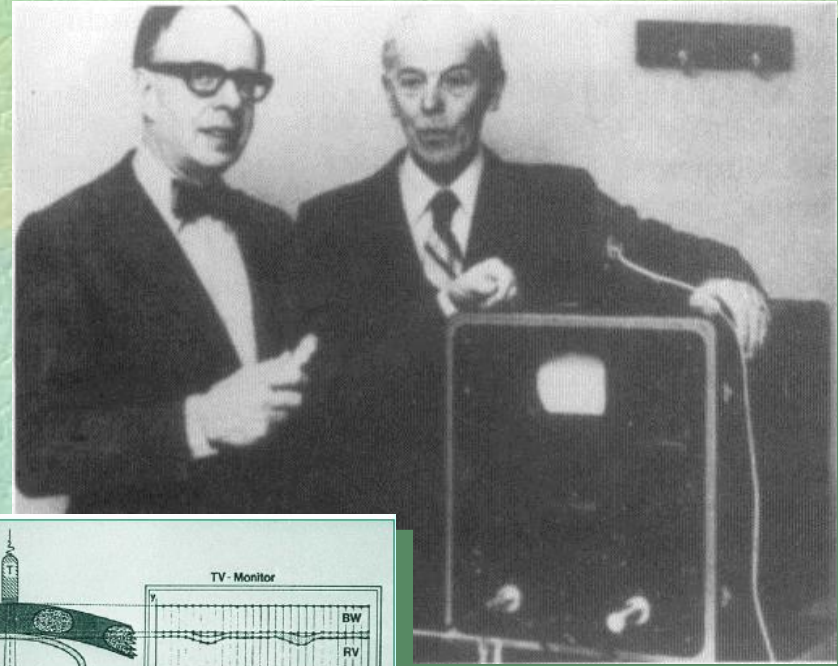
1973,  
toni di  
grigio

1999



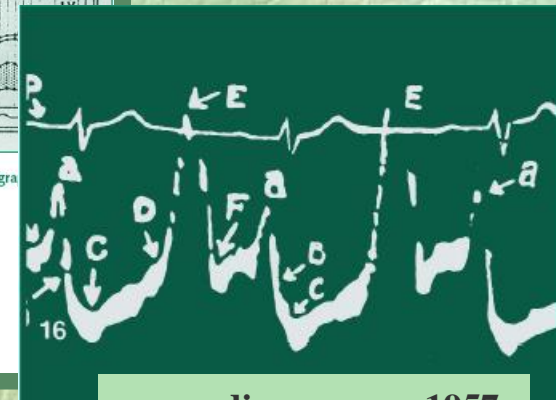
# Edler/Herz (1953): Ecocardiografia (TM-Mode)

- svedesi, modificano un dispositivo per la verifica non distruttiva dei materiali prestato da un cantiere navale di Malmö per visualizzare il moto delle valvole cardiache
- sono i padri fondatori dell'ecocardiografia, il metodo diagnostico oggi più diffuso nella cardiologia



Schematische Darstellung des Signalaufbaus bei der TM-Echokardiogra

- T = Transducer
- BW = Brustwand
- RV = rechter Ventrikel
- SEP = Ventrikelseptum
- LV = linker Ventrikel
- AO = Aorta
- HW = Hinterwand des linken Ventrikels
- LA = linker Vorhof
- VMS = vorderes Mitralsegel
- HMS = hinteres Mitralsegel

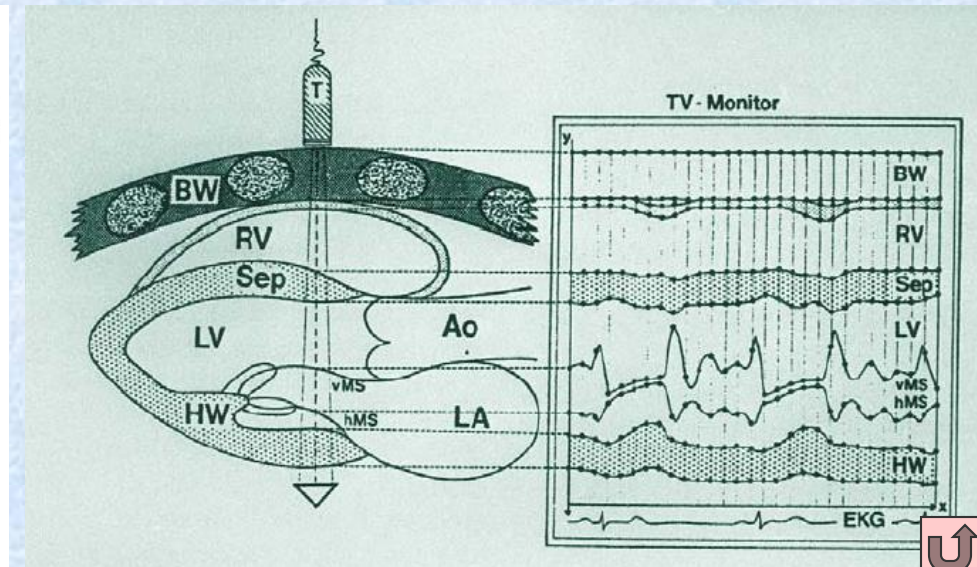
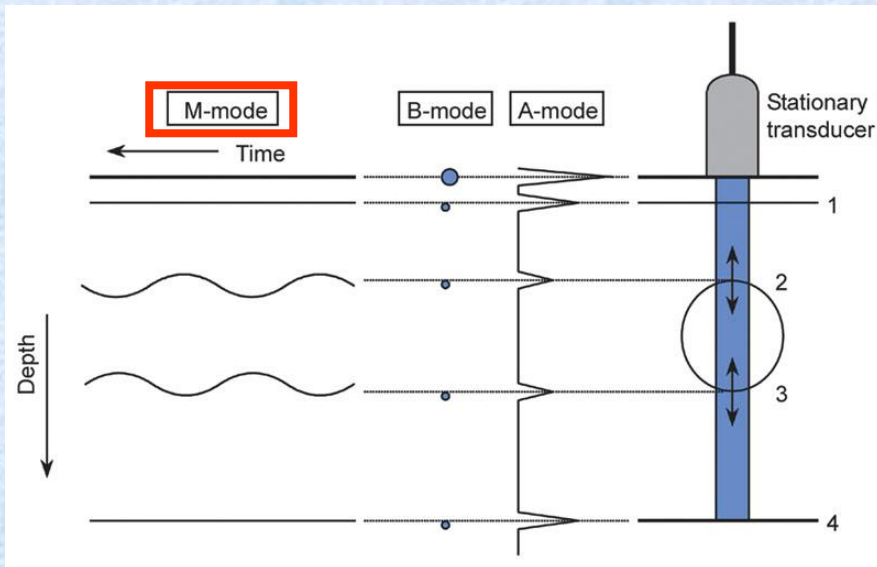


ecocardiogramma, 1957

# TM-Mode (Time Motion)

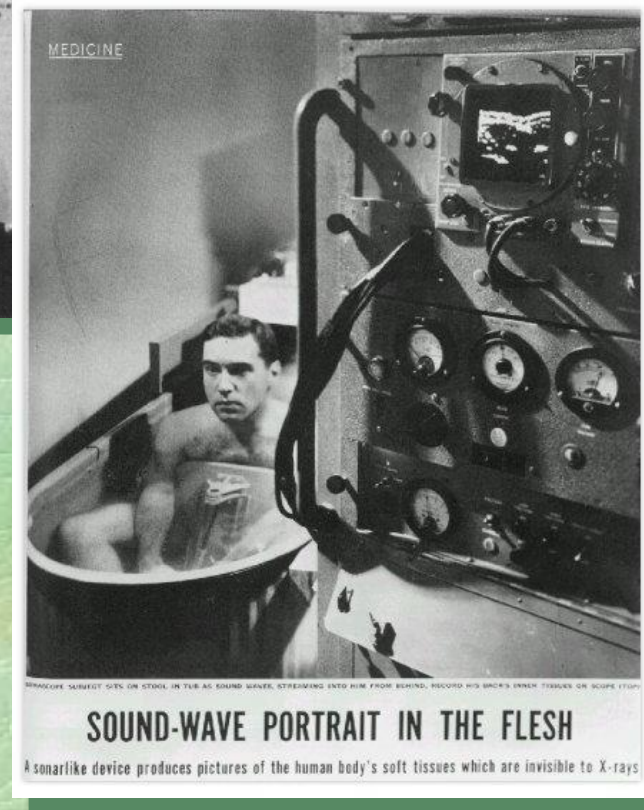
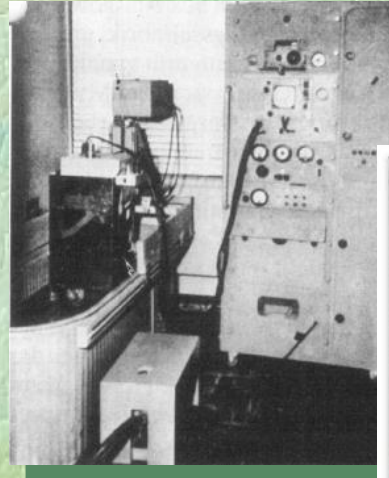


- Anche noto come M-Mode. (Time-Motion Mode): un metodo di rappresentazione in cui la **profondità** del tessuto é rappresentata lungo un asse (es: verticale), e il **tempo** lungo il secondo asse (es: orizzontale).
- La figura sulla sinistra riassume in modo schematico i tre “modi” principali: A, B, M. Per comprenderla si immagini che l’organo circolare che genera gli echi “2” e “3” stia pulsando ritmicamente (come indicato dalle frecce).
- L’ M-Mode é spesso usato per osservare dati **ecocardiografici** quando i cambiamenti di profondità degli echi, che corrispondono alle pareti cardiache o al movimento delle valvole, devono essere osservati in funzione del tempo (cfr. figura a destra)



# Howry/Bliss/Posakony (1954): Somatoscope, Holmes: Half-Pan

- in seguito, la vasca assumerá la forma di ... un abbeveratoio! (“Cattle-Tank Scanner”)
- la diagnostica ultrasonica raggiunge i Mass-Media (cfr. articolo di Life!)
- Holmes (1956): il paziente non é piú immerso completamente (“Half-Pan Scanner”)

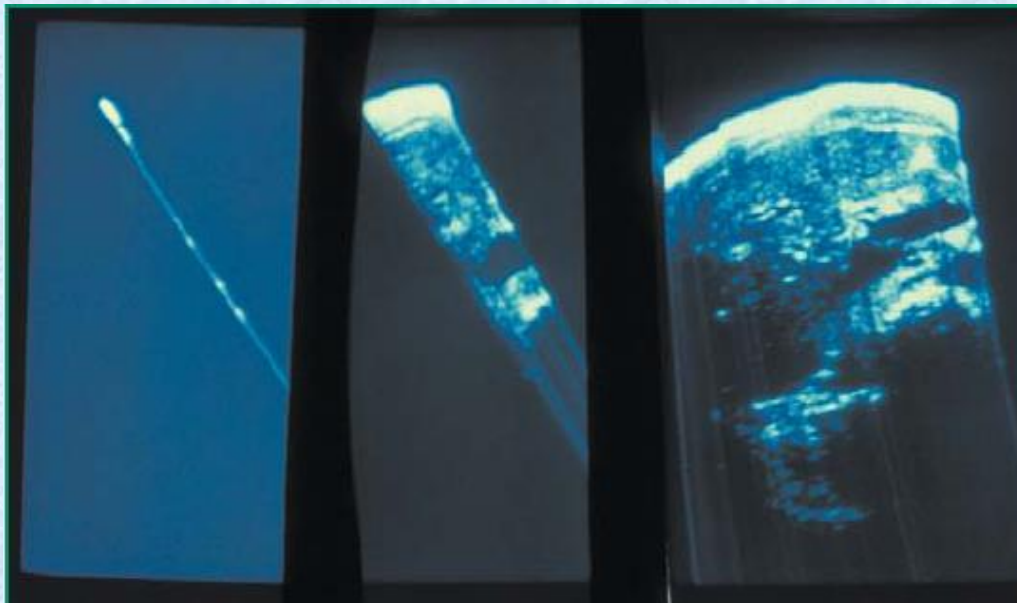




# Compound Scan



- Scan “Composito” - Si tratta della tecnica che ha dato origine al B-Mode, come estensione naturale dell’A-Mode.
- Partendo da una sequenza di A-Scan in molte diverse direzioni (note), e rappresentando i risultati su uno schermo ad alta persistenza, era possibile “ricostruire” una immagine in sezione della parte del corpo interessata.
- Qui sotto si vede il graduale crearsi di una immagine, a partire da un singolo “A-Scan” (a sinistra) fino al risultato finale (a destra)



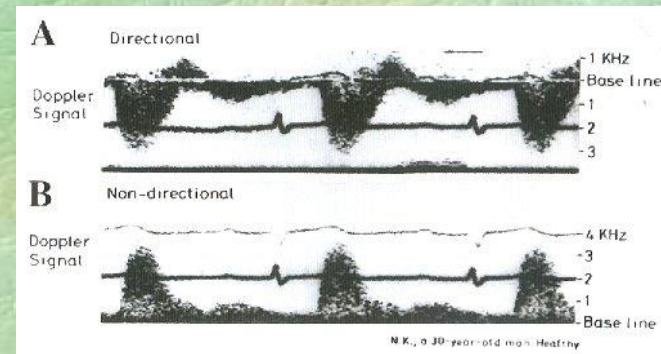
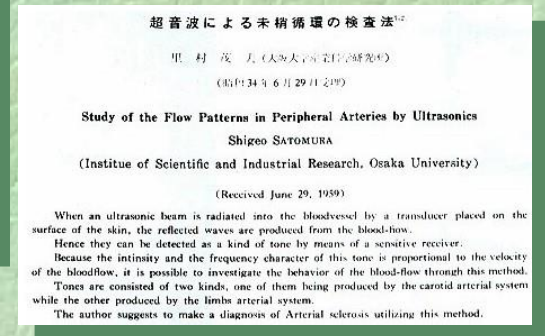
# Satomura/Kaneko (1960): primo EcoDoppler dei vasi del collo

■ S. Satomura, Osaka, in collaborazione con Z. Kaneko, inventa e costruisce il primo flussimetro Doppler (3 MHz)

- nell'ambito della sua Tesi per la nomina a Professore: muore lo stesso anno, a 41 anni, di emorragia subaracnoide improvvisa nello stesso ospedale di Osaka.

■ Kaneko: Doppler direzionale (reverse flow). Doppler Reograph NEC commerciale

- Ricerche pubblicate in Giappone, rese note piú tardi in Europa



# Satomura (1960)



## 超音波による末梢循環の検査法<sup>1,2</sup>

里 村 茂 夫 (大阪大学産業科学研究所)

(昭和34年6月29日受理)

## Study of the Flow Patterns in Peripheral Arteries by Ultrasonics

Shigeo SATOMURA

(Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University)

(Received June 29, 1959)

When an ultrasonic beam is radiated into the bloodvessel by a transducer placed on the surface of the skin, the reflected waves are produced from the blood-flow.

Hence they can be detected as a kind of tone by means of a sensitive receiver.

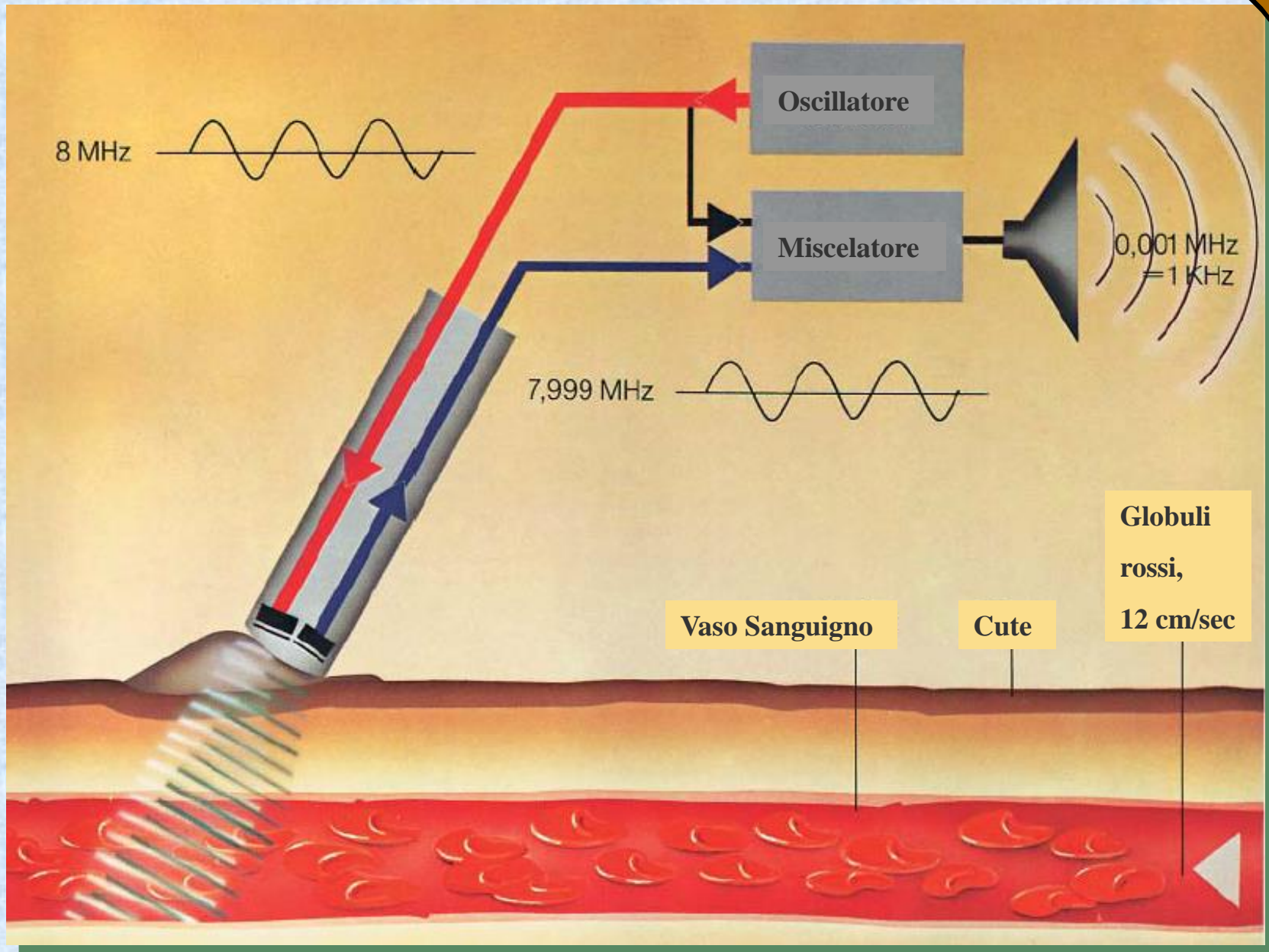
Because the intensity and the frequency character of this tone is proportional to the velocity of the bloodflow, it is possible to investigate the behavior of the blood-flow through this method.

Tones are consisted of two kinds, one of them being produced by the carotid arterial system while the other produced by the limbs arterial system.

The author suggests to make a diagnosis of Arterial sclerosis utilizing this method.



# Il principio dell'EcoDoppler

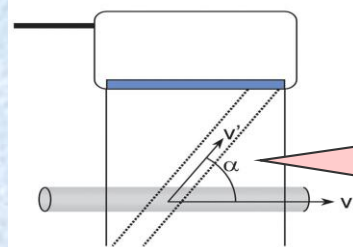
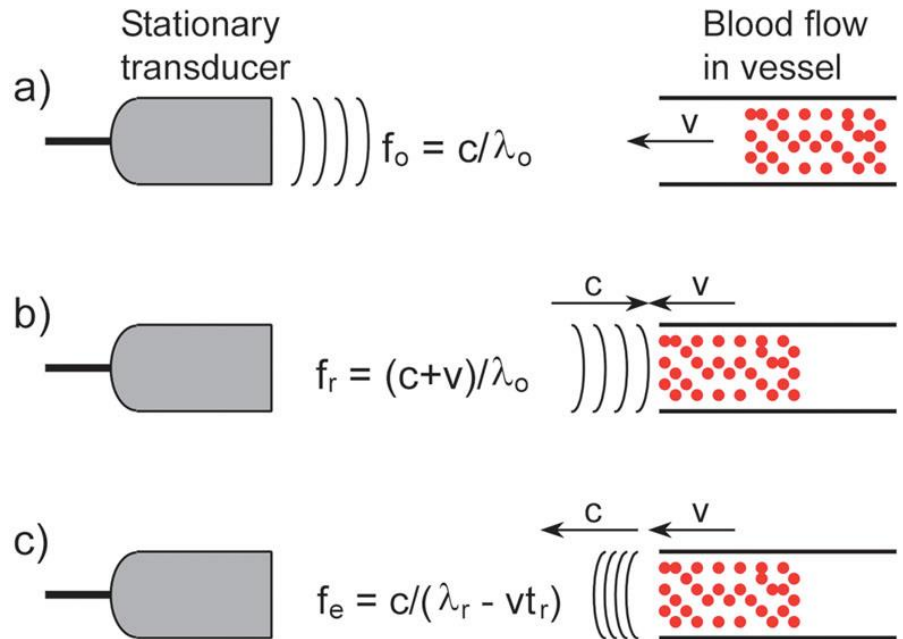


# La formula di Doppler



- Lo spostamento di frequenza  $f_D$  percepito dall'osservatore é proporzionale:
  - al rapporto fra:
    - la velocità  $\underline{v}$  di spostamento della **sorgente** emittitrice e...
    - la velocità  $\underline{c}$  di **propagazione** dell'onda
  - alla **frequenza**  $f_0$  della sorgente
  - al coseno dell'**angolo**  $\underline{\alpha}$  di Doppler ( $\cos 0^\circ=1$ )

$$f_D = f_e - f_0 = 2f_0 \frac{v \cdot \cos \alpha}{c}$$



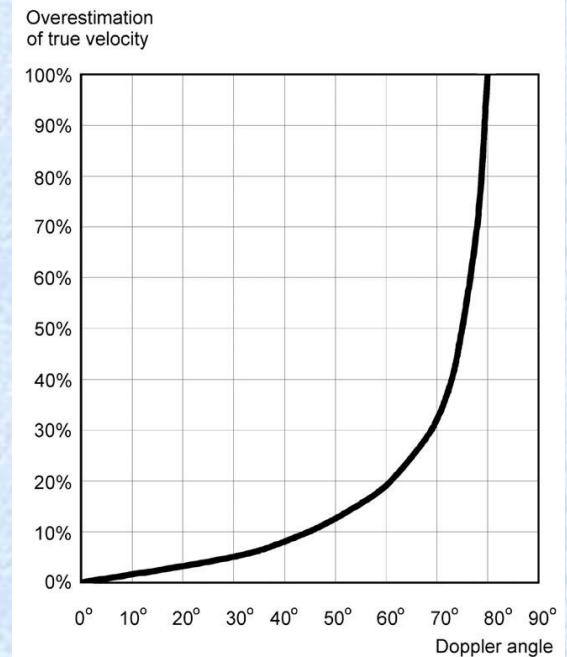
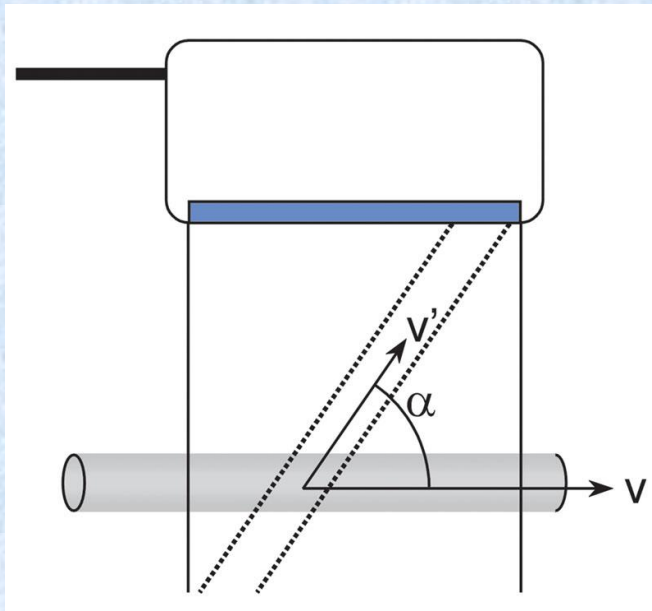
L'angolo  $\alpha$  é l'angolo fra la direzione di propagazione dell'onda e la velocità della sorgente emittitrice o riflettente



# Angolo di Doppler



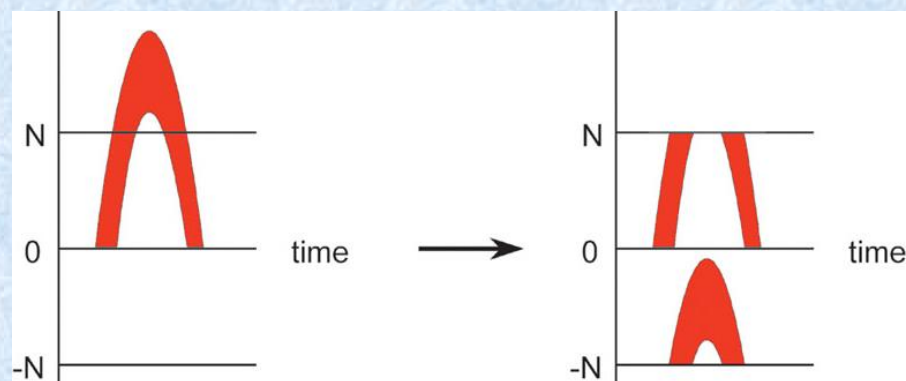
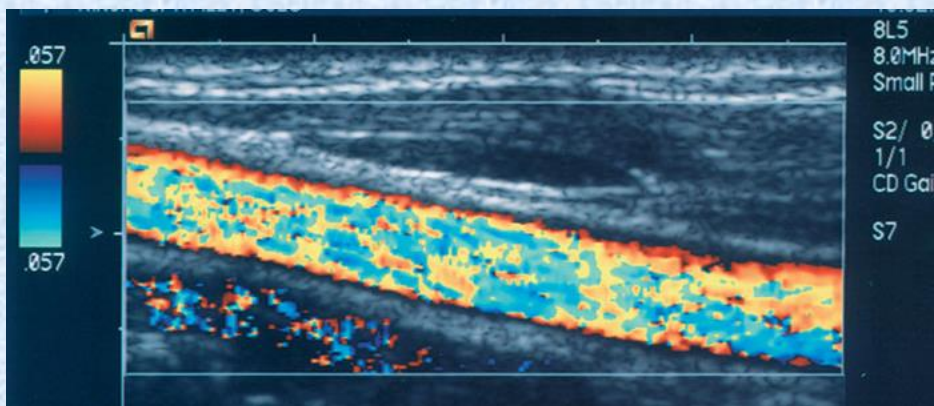
- Angolo fra la direzione del raggio ultrasonico e la direzione del flusso sanguigno nel vaso in esame
- Quando l'angolo diventa  $90^\circ$ , il flusso sanguigno non ha alcuna velocità relativa rispetto all'onda ultrasonica, cioè il sangue non si avvicina né si allontana dall'osservatore (sonda). In tale condizione il segnale Doppler è nullo (si può però ovviare a questo inconveniente inclinando la sonda, o nel Power Doppler).
- Il grafico mostra l'effetto di un errore del 5% nella stima dell'angolo di Doppler: per valori fino a  $45^\circ$ , l'errore che ne deriva sulla velocità del flusso sanguigno è limitato, per valori via via maggiori esplode asintoticamente.



# Aliasing - Artefatti



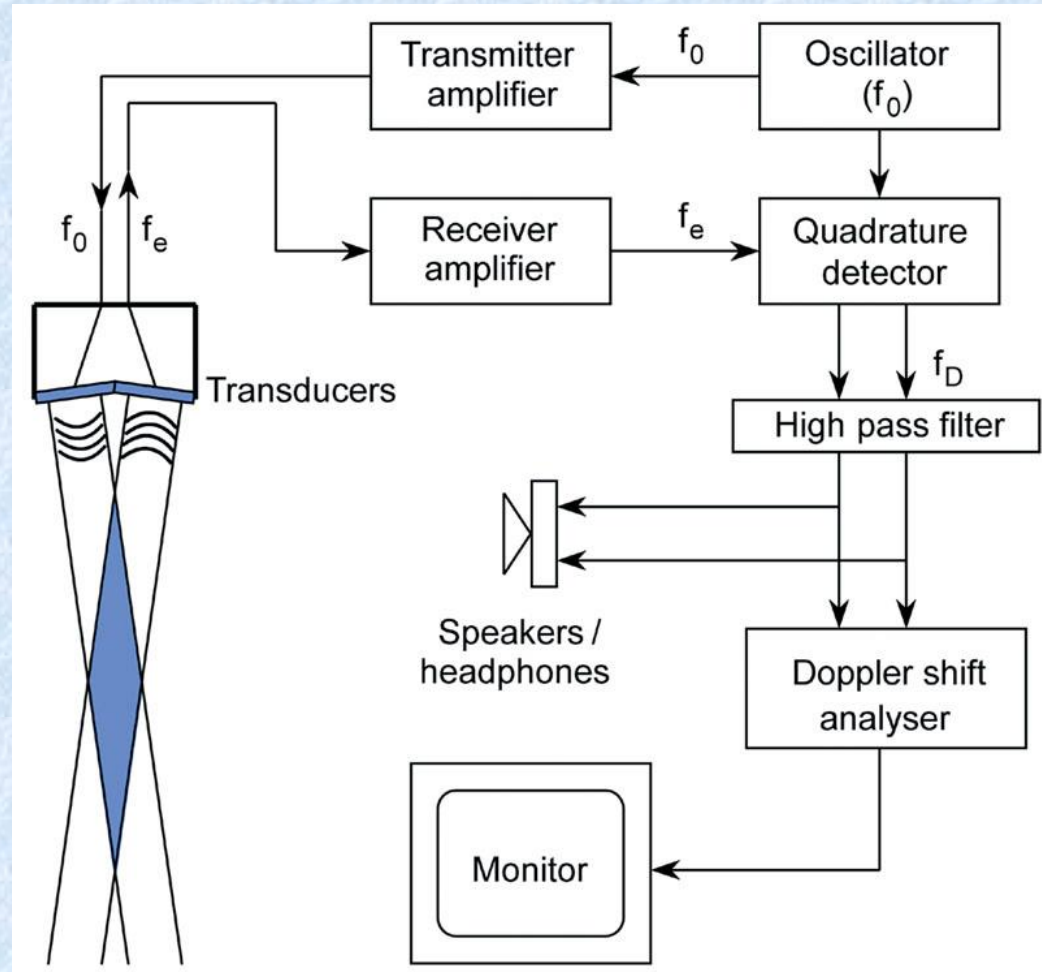
- Stima errata della frequenza di un segnale, dovuta ad un campionamento insufficiente (e precisamente, con frequenza minore di due volte quella da misurare: tale limite prende anche il nome di frequenza di Nyquist).
- L'aliasing si manifesta praticamente con la comparsa di "artefatti" facilmente riconoscibili nelle immagini e nei grafici Doppler: per esempio
  - il cosiddetto "Effetto Mosaico" nel Color Doppler (immagine SX),
  - o il "Wrap-Around" (=arrotolamento) della frequenza nel Doppler Spettrale (immagine DX).



# CW (Continuous Wave)



- Continuous Wave; Doppler continuo. Metodo nel quale vengono impiegati **due cristalli piezoelettrici**, un emettitore e un ricevitore, **continuamente attivi**.
- Vantaggio: permette di misurare velocità più elevate, fino a 7 m/sec (non c'è aliasing, in quanto non avviene alcun "campionamento")
- Svantaggio: si ricevono echi contemporaneamente da tutte le profondità del volume campione, è quindi impossibile localizzare l'esatta provenienza dell'eco
- È concettualmente l'opposto del PW Doppler, cioè del Doppler ad onda pulsata (vedi)

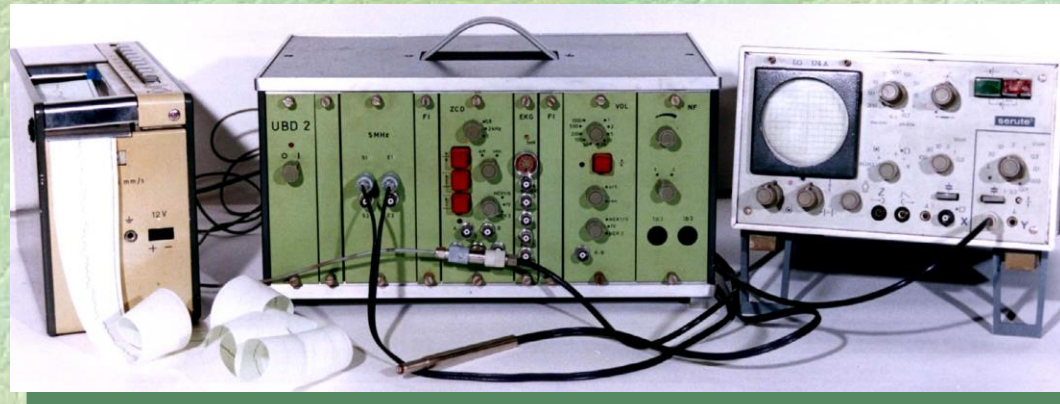
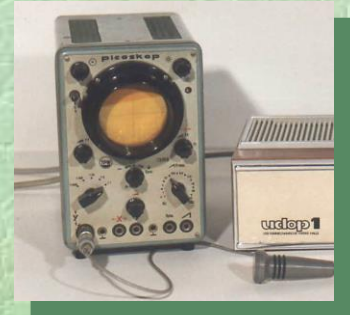
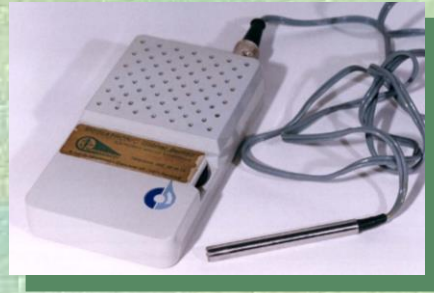




# Anni '70: il regno del CW-Doppler

Alcuni esempi di dispositivi Doppler Continuous Wave usati correntemente nel periodo 1968-1978, dalla collezione del Museo Tedesco degli Ultrasuoni

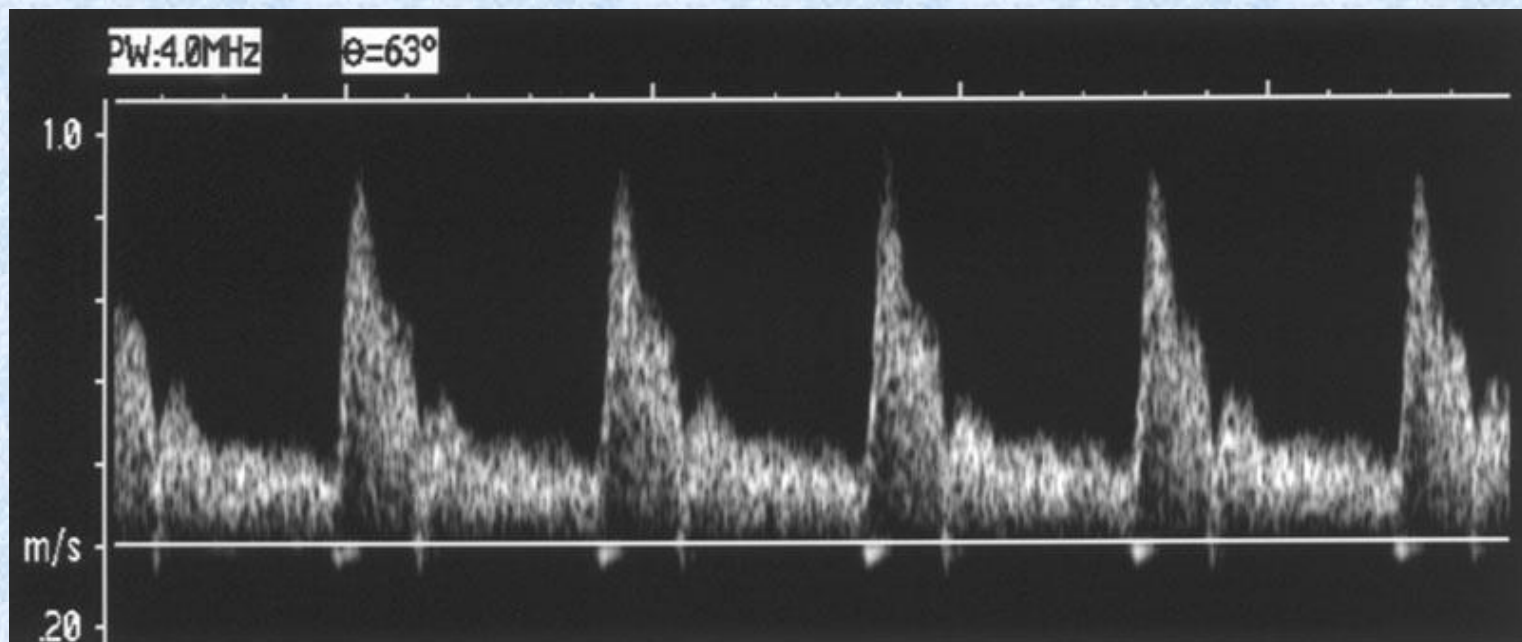
- Tutta la collezione “Doppler” del Museo è visibile in appendice a questa presentazione



# Spectral Doppler (Spettrale)



- Doppler Spettrale: una opzione comunissima di presentazione dei dati ecografici Doppler, sia CW che PW, nella quale l'asse orizzontale rappresenta il **tempo**, e quello verticale le **velocità** di flusso.
- Può anche essere definita rappresentazione “Tempo-Velocità Spettrale” (Time-Velocity Spectral Display), e spesso viene mostrata sugli schermi degli ecografi moderni **insieme** alle immagini B-Mode o Color Doppler.



# Baker/Reid (1970): PW (Pulsed Wave Doppler)

- Donald Baker, (n. 1932 in Alaska)
  - ingegnere elettronico, esperienza sul radar nella guerra di Corea; sposa Joan, ecografista
  - Collabora con il gruppo di Strandness Jr. all'Università di Washington
- John Reid (n. 1926 a Minneapolis)
  - 1950-57: pioniere della caratterizzazione ecografica dei tessuti. Anche lui ingegnere (radar).
  - 1953: Costruisce il primo scanner a ultrasuoni per uso clinico, diagnosi del cancro del seno (B-Mode)



1975: Baker e l'ATL 4000B Pulsed Doppler

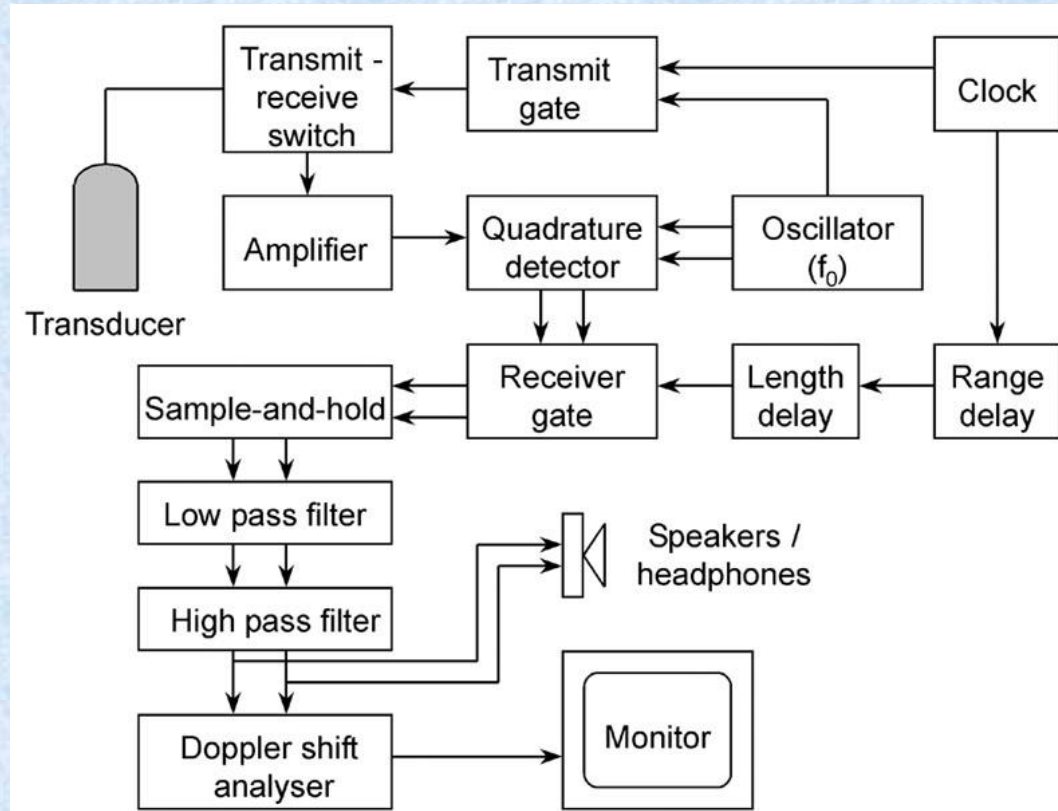


Il Doppler ad onda pulsata (PW) permette per la prima volta di “scegliere” la profondità alla quale acquisire il bersaglio mobile (il flusso sanguigno). Questo non era possibile nel Doppler ad onda continua (CW).

# PW (Pulsed Wave)



- Pulsed Wave, Doppler a onda pulsata, anche detto Doppler **pulsato**.
- Nel PW c'è **un solo trasduttore**, che emette dei brevi impulsi di ultrasuoni, e fra una emissione e la successiva “ascolta” gli echi riflessi dell'impulso precedente, eliminandoli tutti eccetto quelli che hanno un ben definito tempo di arrivo, e quindi che provengono da una **profondità data** (e regolabile) nel tessuto.
- Il vantaggio è ovviamente quello di poter rendere “trasparenti” i tessuti e le strutture anatomiche sopra e sotto la zona interessata.
- Lo svantaggio, dovuto al campionamento, è l'impossibilità di misurare velocità elevate (aliasing). Tale limite viene superato nell' HPRF (= High PRF, vedi)



La sigla “PRF” (= Pulse Repetition Frequency) indica appunto la frequenza di ripetizione di questi impulsi, dell'ordine di migliaia di volte al secondo.



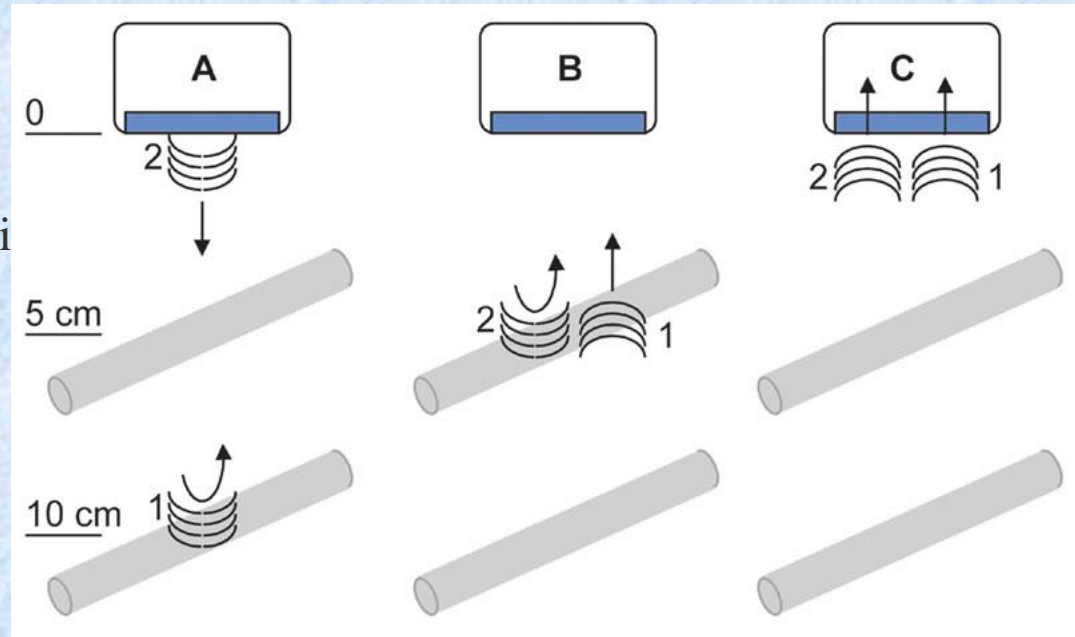
# HPRF (High Pulse Repetition Frequency)



- Una delle tre tecniche Doppler fondamentali, insieme al CW e PW (vedi). Si tratta di una variante del PW, nella quale gli impulsi successivi vengono emessi a frequenza così alta da non poter attendere “il ritorno” degli echi fra un impulso ed il successivo

- Come conseguenza ci sono sempre diversi impulsi “per strada” fra emettitore e tessuto riflettente. Torna quindi la possibilità di misurare velocità di flusso fino a 5 m/sec, che con il PW sono irraggiungibili.

- Lo svantaggio è però l'introduzione possibili ambiguità nella definizione della profondità (vedi figura)



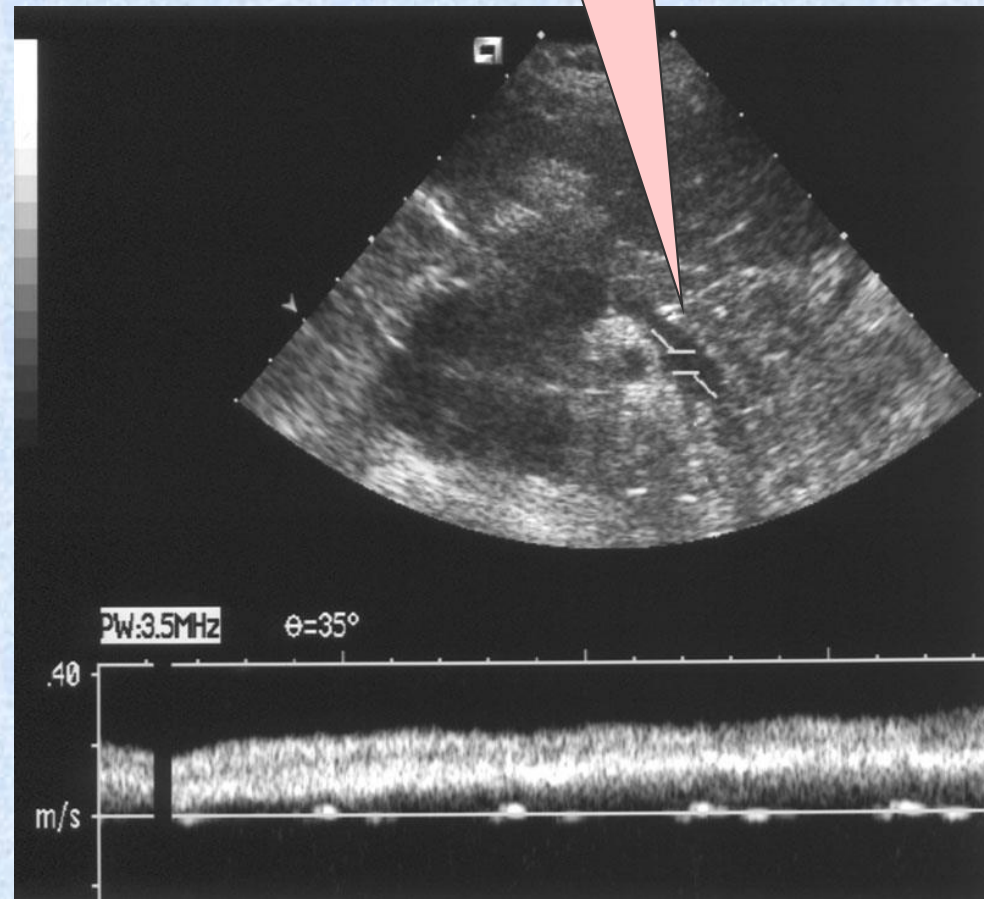
A, B, C sono tre istanti di tempo successivi. L'impulso “1” è stato riflesso dal vaso a 10 cm di profondità, nello stesso istante “A” in cui è partito l'impulso “2”. In “B”, l'impulso “2” viene riflesso dal vaso a 5 cm di profondità, mentre l'eco di “1” sta ritornando. Al tempo “C”, ambedue gli impulsi hanno raggiunto il ricevitore, nello stesso istante, ed è impossibile definire da quale vaso proviene la velocità misurata.



# Duplex Doppler



volume campione  
Doppler

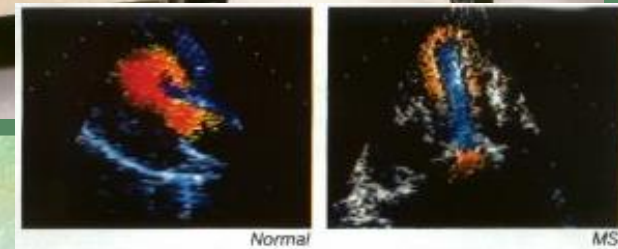
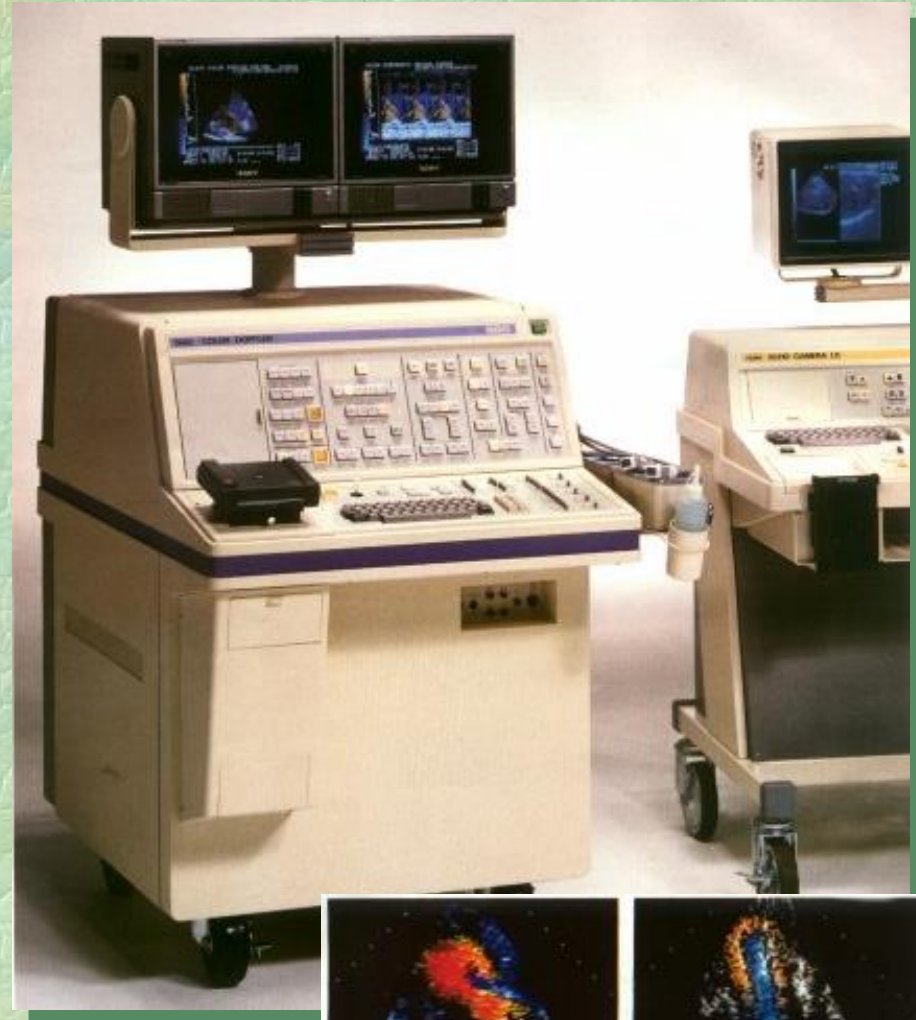


- una **combinazione** di ecografia a scala di grigi (**B-Mode**) con ecografia **Doppler**, che permette la rappresentazione contemporanea della struttura anatomica e la caratterizzazione della fisiologia circolatoria delle regioni sottoposte ad indagine.
- In pratica osservando l'immagine B-Mode é possibile posizionare interattivamente con precisione il “**volume campione**” Doppler nel vaso sanguigno (arteria o vena) di interesse. L'ecografo mostrerá poi le velocità del flusso mediante la rappresentazione Doppler Spettrale
- Si tratta del precursore diretto dell'EcoColorDoppler



# ALOKA(1985): primo EcoColorDoppler commerciale

- La ALOKA, Giappone, attiva dal 1950, presenta il:
- SSD-880 CW
  - si tratta del primo apparecchio Eco Color Doppler in senso moderno
  - basato sulla tecnica dell'autocorrelazione di fase, in uso ancora oggi
    - dove la fase mutevole del segnale ricevuto viene usata per elaborare in real-time informazioni sulla velocità, e quindi la frequenza



# QUANTUM(1986), ATL(1988): il Color Doppler si afferma

- QUANTUM Medical Systems, Washington, USA, fondata da un gruppo di ingegneri ex-ATL, e in seguito acquisita da Siemens, nel 1986 presenta il **QAD-1**
- ATL (oggi Philips) nel 1988 commercializza **Ultramark9**
- La flussimetria Color Doppler é ormai adulta





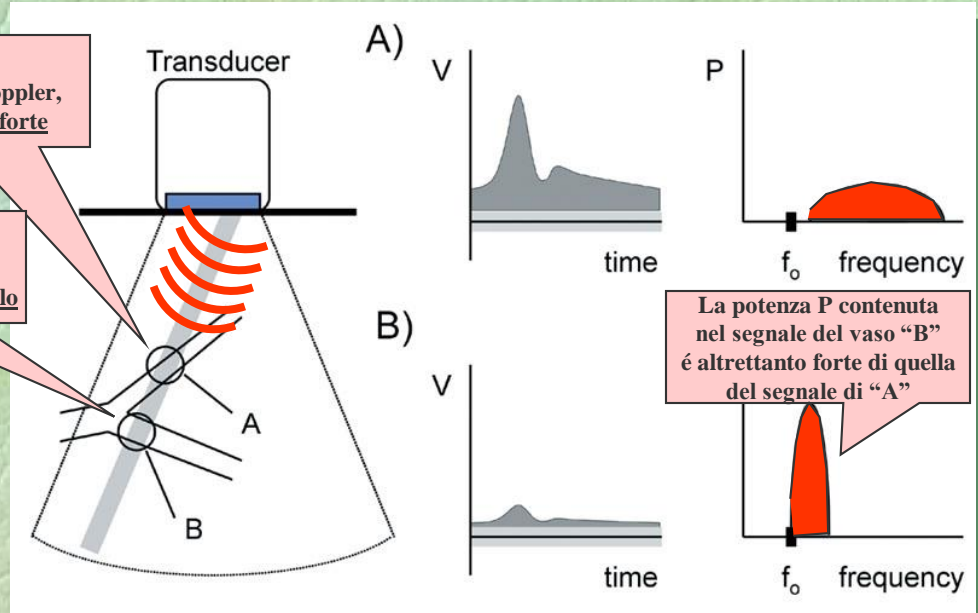
# Anni '90: Power Doppler



- W. N. McDicken, Inghilterra, 1992, "Tissue Doppler Imaging"
- K. Miyatake, M. Yamagishi, 1994
  - La tecnica, diverrá nota come "Power Doppler", aumenta molto la sensibilità usando la "Potenza" del segnale a discapito della informazione sulla direzione di movimento del flusso
  - disturbata dai movimenti degli organi

Vaso "A":  
buon angolo di Doppler,  
segnale Doppler forte

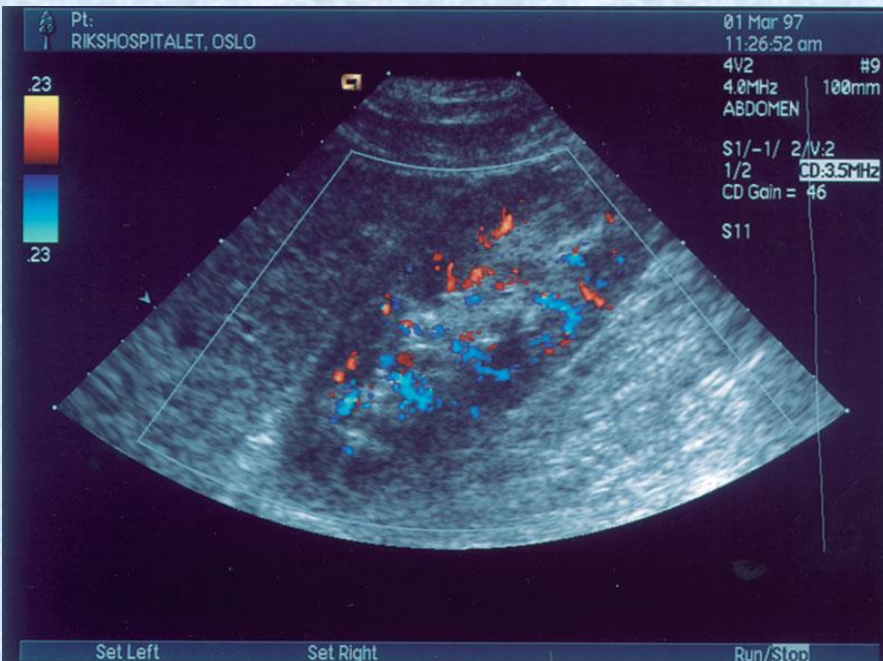
Vaso "B":  
angolo di Doppler=90°,  
segnale Doppler quasi nullo



# Power Doppler



- Una opzione EcoColorDoppler, nella quale si utilizza l'intera **potenza** (Power) del segnale riflesso, e non lo spostamento in frequenza, per generare la codifica cromatica sullo schermo.
- La presenza di colore in una immagine Power Doppler indica semplicemente la presenza di **flusso** sanguigno, viene persa qualunque informazione di **direzione**. In compenso si ha l'**indipendenza dall'angolo di Doppler**, e una **sensibilità** molto maggiore (quindi la rilevabilità di velocità di flusso molto piccole). Detto anche "Angio", "Energy", "Flussimetria lenta", etc...
- Le due immagini mostrano il fegato, in Doppler normale (sx) e con il PowerDoppler (dx)



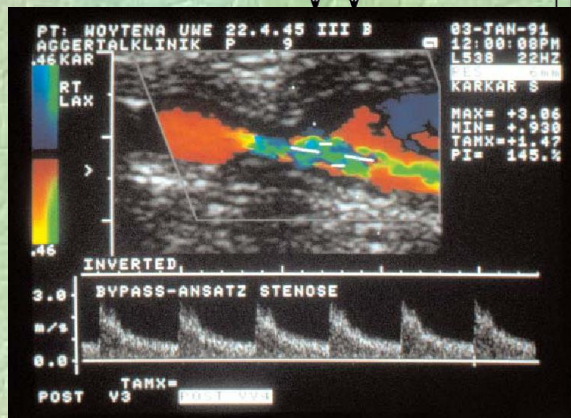
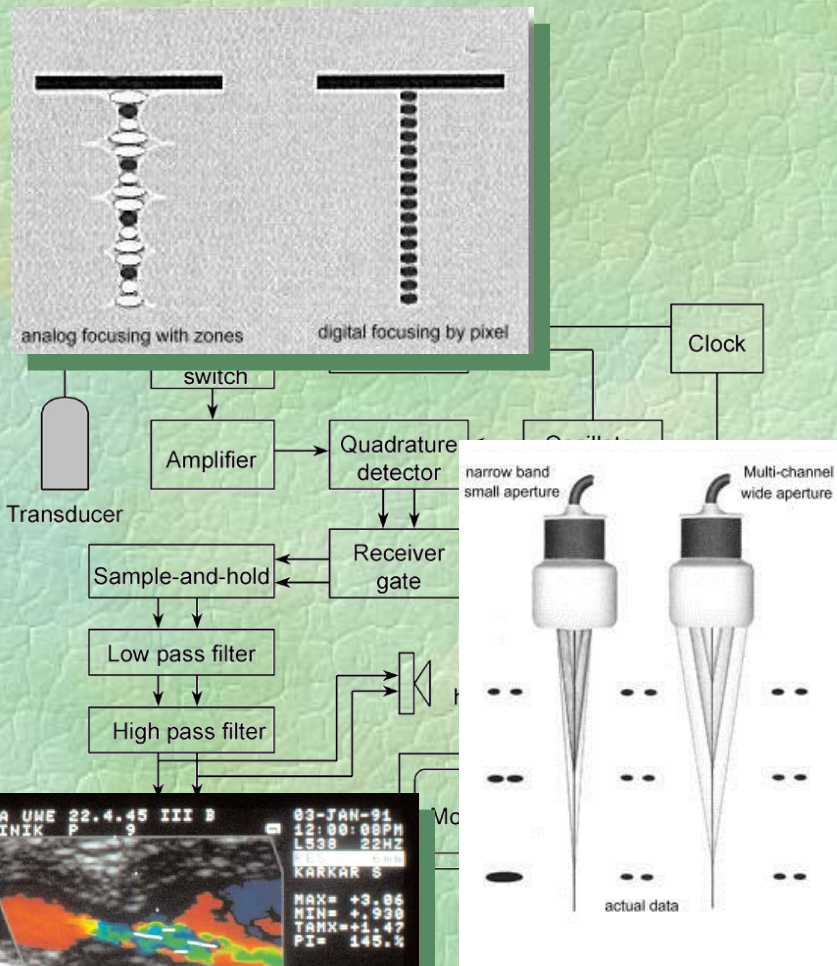
# 2000: La rivoluzione digitale

La catena di elaborazione diventa tutta digitale:

- [ trasduttore ] -->
- [ beamformer ] -->
- [ elaboratore di segnale ] -->
- [ scan converter ] -->
- [ monitor ]

Ciò é possibile in quanto un ecografo moderno ha una potenza di calcolo pari a quella di circa 40 Pentium<sup>tm</sup>: 20-30 miliardi di operazioni al secondo!

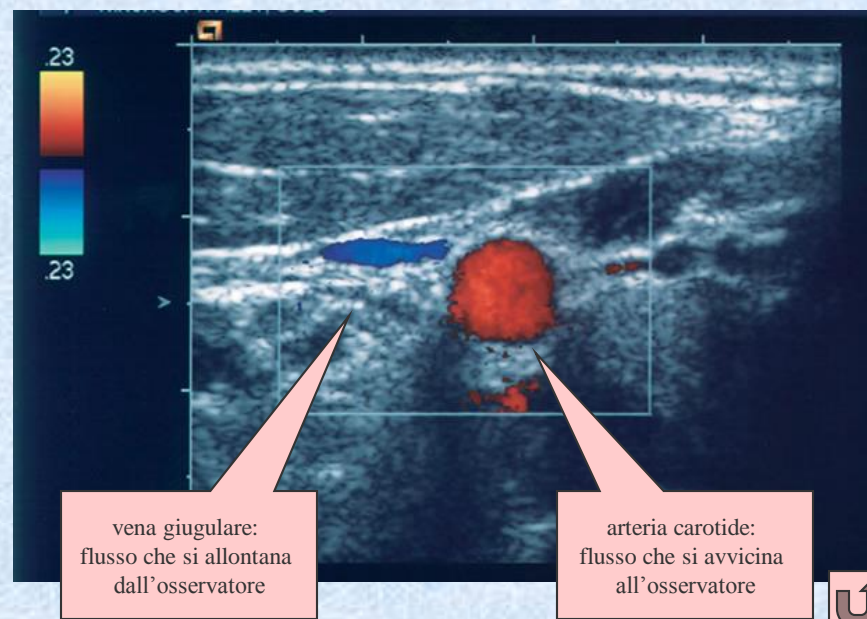
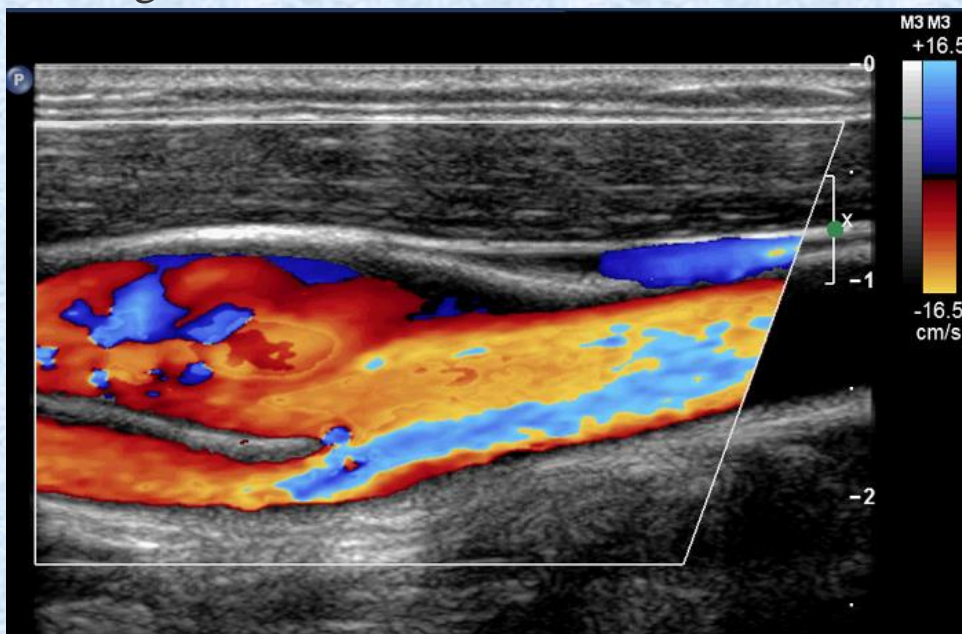
256, 512 ,1024 canali



# Eco Color Doppler



- il tipo di ecografia Doppler oggi piú comune, nella quale, come nel Duplex, si ha una immagine a toni di grigio (B-Mode) delle strutture anatomiche **stazionarie**, alla quale però invece di un singolo volume campione (caso Duplex), viene sovrapposta graficamente una codifica cromatica di **tutte le parti dell'immagine dove c'è flusso sanguigno**, colorando quindi intere aree dello schermo (da cui il nome "Color").
- La **direzione** del flusso viene codificata mediante le tinte (rosso=avvicinamento; blu=allontanamento), e la sua **velocità** mediante la loro saturazione. E' come se l'apparecchiatura disponesse di una "matrice" di volumi campione da "distendere" sulla regione anatomica di interesse, invece di un singolo volume come nel caso del B-Mode.



# I distretti applicativi del Doppler

## ■ Ginecologia

- Registrazione suoni cardiaci fetali e dei vasi del cordone ombelicale (*Kratochwil 1967, Weber e Stockhausen 1967*)

## ■ Arterie periferiche

- Misura della pressione sanguigna sistolica nelle estremità, diagnosi di disturbi di circolazione periferica e valutazione quantitativa della loro gravità (*Schoop e Levy 1969, Bollinger, Mahler e Zehender 1970*).

## ■ Vene periferiche

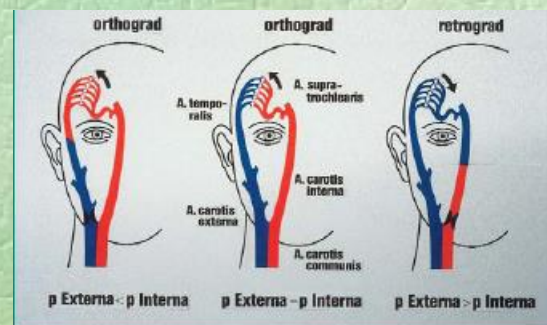
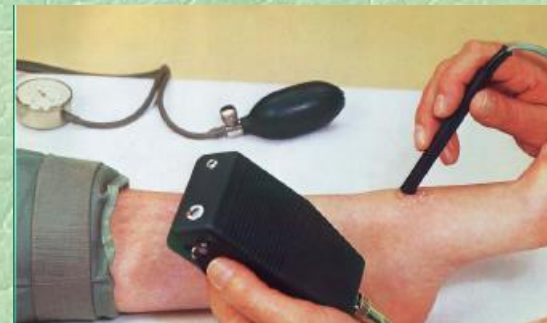
- Diagnosi di trombosi e insufficienza delle valvole (*Bollinger e Mahler 1968*).

## ■ Arterie extra- e intra-craniche

- Dopplersonografia indiretta sopra le arterie orbitali (*Müller 1972*). Irraggiamento diretto e differenziazione delle arterie del collo (*Büding, von Reutern e Freund 1976*). Indagine delle arterie intracraniche Arterien (*Aaslid 1982*).

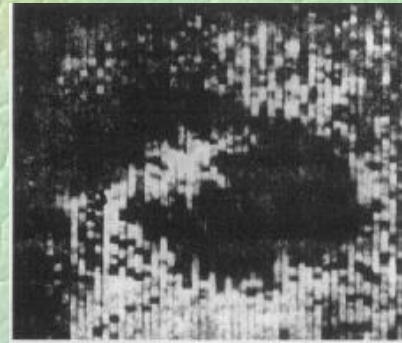
## ■ Cardiologia

- Misure di flusso intracardiaco (*Seipel* fine anni '60), Ecocardiografia Doppler (*Hatle e Angelsen 1982*)



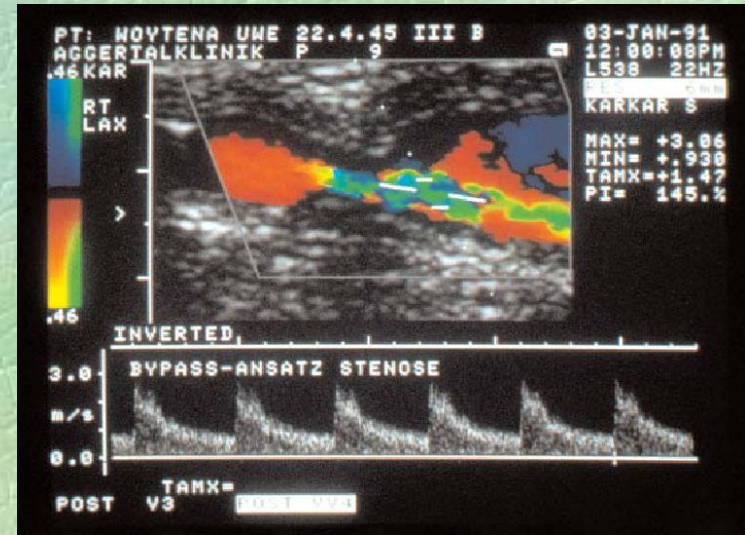
# Il futuro dell'EcoDoppler

- Tissue Harmonic Imaging
- Mezzi di contrasto ecoamplificatori
- Elaborazione 3D
- Transizione dalla ultrasonologia “morfologica” a quella “funzionale”
- .....



1942

2000

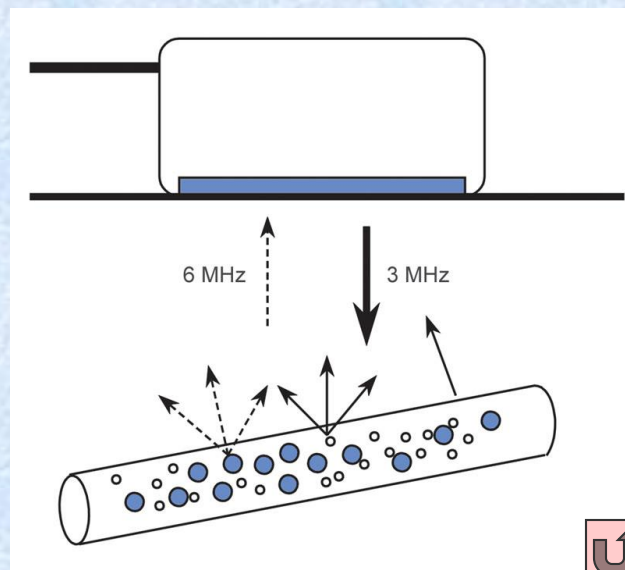
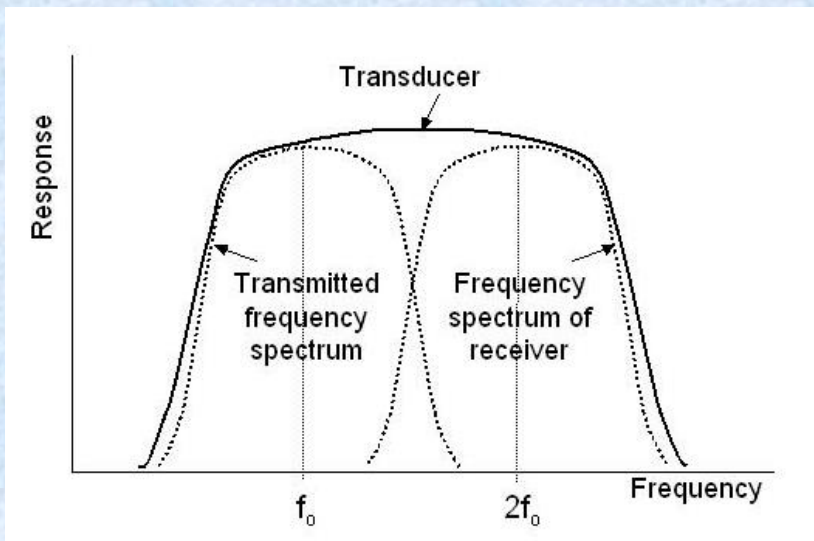


?

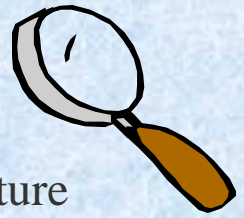
# THI (Tissue Harmonic Imaging)



- Tissue Harmonic Imaging: metodica della **seconda armonica tissutale**. Una opzione dell'ecografia B-Mode nella quale il ricevitore é sintonizzato su una frequenza pari a **due volte** quella del trasmettitore, quindi con poco o nessuna sovrapposizione di frequenze fra onda emessa e ricevuta.
- In questo modo viene “letta” appunto la seconda armonica riflessa, dovuta al comportamento **non lineare** del tessuto, o di appositi mezzi di contrasto ecoamplificatori (vedi). Vantaggio: migliore qualità e sensitività dell'immagine
- Un'onda sinusoidale riflessa sarà in generale non più perfettamente sinusoidale, ma **distorta**: questa distorsione si può immaginare come composta dalla “somma” all'onda incidente di tante “**armoniche**”, di intensità minore, aventi frequenze multiple intere di quella originale.



# 3D, 4D

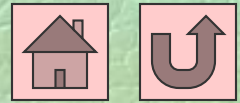


- Ricostruzione virtuale mediante computer di immagini **tridimensionali** di strutture anatomiche, ottenute elaborando le posizioni spaziali degli echi ottenuti da numerosi scan. Nella sua forma piú elementare si puó ottenere aggiungendo alla sonda Doppler anche un trasduttore in grado di registrare istante per istante la posizione (coordinate X,Y,Z) e l'orientamento della sonda stessa, correlandoli agli echi registrati.
- Con il termine 4D si indica l'aggiunta della dimensione “**tempo**”, quindi la produzione di veri e propri “**video-clip**” tridimensionali e in movimento.
- Questa tecnologia, iniziata verso il 1995, oggi usatissima in ginecologia (cfr. immagini fetali), sta già trovando applicazioni anche come “**3D Color Power Doppler**”, nella ricostruzione di reticoli tridimensionali complessi di vasi sanguigni (**3D CPA**= Color Power Angio)





# La collezione Doppler del “Museo degli ultrasuoni”



- Con un sincero ringraziamento al **Dr. B.Frentzel-Beyme** per aver messo a disposizione le immagini di tutti gli strumenti ecografici Doppler del museo!

- L' UltraschallMuseum, parte del “Deutsche Röntgen-Museum”, vicino a Colonia, é ospitato nella casa natale di Wilhelm C. Röntgen

- Tutte le slides seguenti rappresentano strumenti Doppler esposti nel museo

