

Marco Marinoni

ACUSTICA E PSICOACUSTICA MUSICALE

Lezione 3. Acustica degli strumenti musicali (1)

3.1 Il violino

3.2 Gli altri strumenti del quartetto d'archi

Introduzione

- Principio fisico della corda vibrante
- Metodo per generare il suono:
sfregamento delle corde
 - **Pianoforte e clavicordo:** corde colpite da un martelletto collegato, per mezzo di un sistema meccanico, ai tasti dello strumento
 - **Archi:** il suono prodotto deriva da una concomitanza di effetti di notevole complessità, che forniscono continua energia durante lo sfregamento dell'arco sulla corda

3.1 Il violino

- Le oscillazioni con smorzamento
 - Le condizioni che producono un'attenuazione dell'ampiezza dell'oscillazione sono gli attriti di scorrimento sui vincoli interni della corda e l'attrito viscoso del fluido (aria) nel quale ha luogo il movimento
 - La misura dello smorzamento è proporzionale al tempo richiesto all'ampiezza per dimezzarsi (all'incirca: $1 / 2.17$)
 - Tempo di decadimento

3.1 Il violino

- L'intervallo di tempo tra due massimi successivi è il **periodo dell'oscillazione**
- Negli strumenti musicali il sistema vibrante principale (corda, membrana, ancia) presenta sempre caratteristiche che conducono allo smorzamento
 - **Nel tempo l'oscillazione ha termine**
- La caratteristica e la forma del decadimento è legata a
 - Il tipo di strumento
 - L'interazione con l'esecutore

3.1 Il violino

- Alcuni strumenti presentano decadimenti estremamente lunghi (es. alcuni metallofoni lasciati vibrare liberamente), altri presentano un'estinzione sonora rapidissima (es. le anse degli strumenti a fiato accoppiati al tubo o le corde più acute del pianoforte)
- In tutti i casi **lo smorzamento del suono è una caratteristica vibratoria dell'intero strumento** e non solo di una parte di esso

3.1 Il violino

- Tre differenti principi di smorzamento della corda vibrante
 - Smorzamento interno
 - Smorzamento dell'aria
 - Trasferimento di energia a un altro sistema vibrante

3.1 Il violino

– Smorzamento interno

- Dipendente da:

- Materiale della corda
- Densità
- Comportamento elastico della corda

- Indipendente da:

- Raggio della corda
- Lunghezza della corda
- Tensione della corda

3.1 Il violino

- Smorzamento interno
 - Tempo di decadimento trascurabile per le corde metalliche
 - Principale causa di smorzamento per le corde
 - Budello
 - Nylon
 - Nylon con avvolgimento in metallo

3.1 Il violino

- Smorzamento dell'aria
 - Una corda che oscilla tra due punti fissi produce nell'aria circostante una compressione su un fronte e una rarefazione sulla parte opposta
 - Con una debolissima produzione di pressione sonora (cancellazione reciproca delle due fasi di compressione)

3.1 Il violino

- Smorzamento dell'aria
 - La sola corda oscillante non contribuisce all'emissione sonora
 - L'emissione avviene nell'interazione col fluido viscoso (l'aria)
 - Due componenti
 - Una abbassa la frequenza molto lentamente
 - L'altra produce un decadimento esponenziale di ampiezza
 - Decadimento proporzionale alla densità delle corde

3.1 Il violino

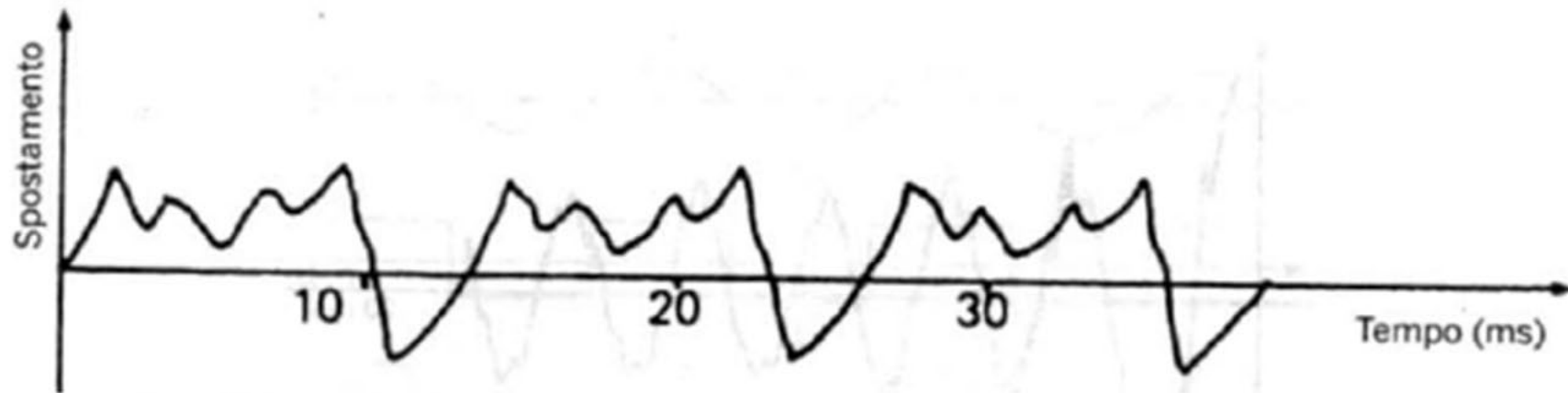
- Smorzamento dovuto al trasferimento di energia a un altro sistema vibrante
 - I **supporti della corda**
 - Capotasto
 - Cordiera
 - La corda in tensione si appoggia sul ponticello
 - Modifica le quote di energia vibrante cedute al corpo dello strumento
 - Maggiore è la velocità di trasferimento, minore è il tempo di decadimento e il relativo smorzamento

3.1 Il violino

- La grandezza che caratterizza questa trasmissione energetica è chiamata **conduttanza**
 - $m \cdot s \cdot kg^{-1}$
 - Misura le caratteristiche di resistenza meccanica che si presentano al passaggio di una determinata forza oscillante alle varie frequenze

3.1 Il violino

- Come vibra una corda di un violino?
 - La curva tempo-spostamento ha forma complessa

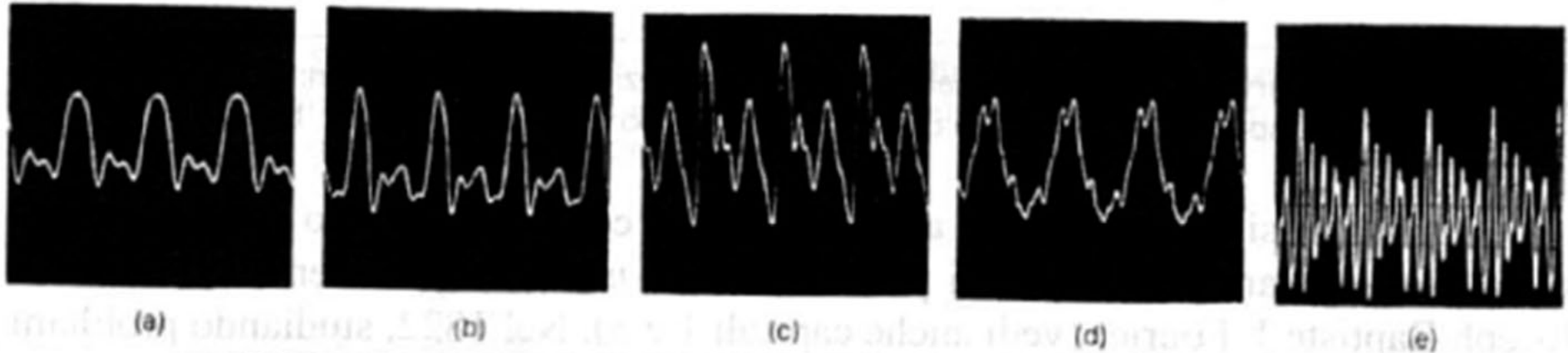


Curva dell'andamento nel tempo di una nota di violoncello rilevata nelle vicinanze della tavola armonica (Campbell, Greated, 1987)

3.1 Il violino

- [fig. Slide 13] Violoncello: andamento più spigoloso rispetto a una classica curva sinusoidale
- **Tutti gli strumenti musicali**
 - Presentano queste caratteristiche di variazione temporale **lontane dall'essere una curva regolare (sinusoide)**
 - Presentano in parti diverse una diversa **risposta acustica**

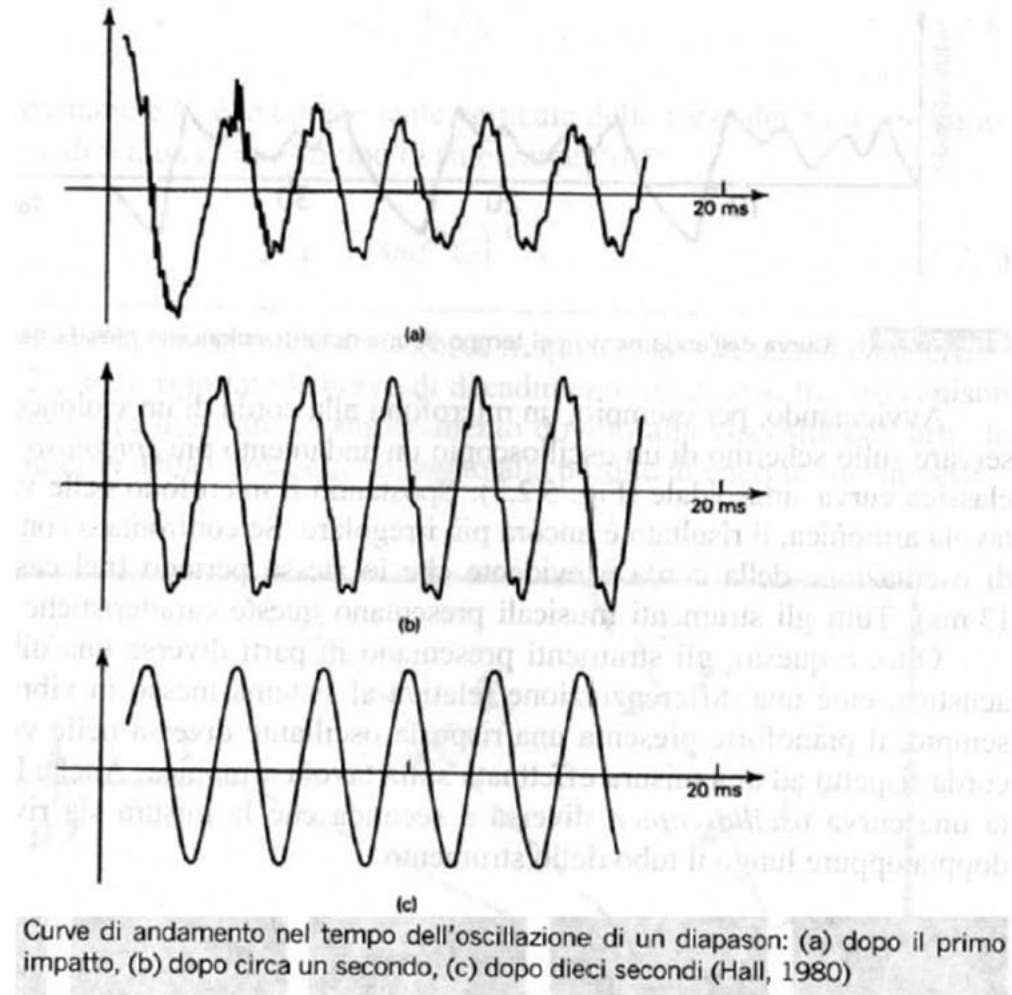
3.1 Il violino



Vari esempi di diagrammi ottenuti con l'oscilloscopio: (a) flauto, (b) tromba, (c) sassofono soprano, (d) violino, tutti a 440 Hz, (e) fagotto a 110 Hz (Hall, 1980)

3.1 Il violino

- *Diapason*:
 - quando viene percosso l'oscilloscopio rivela per i primi secondi una versione irregolare della sinusoide
 - Dipende dal materiale del battente e dal tipo di diapason

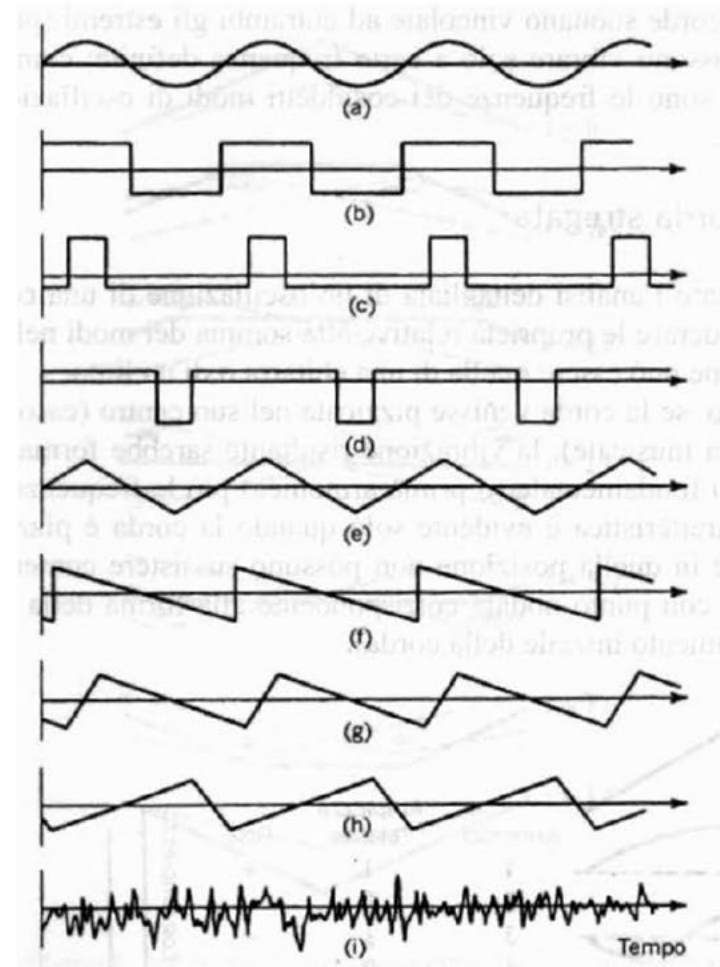


3.1 Il violino

- **Jean Baptiste Fourier (1822):**
 - La forma delle oscillazioni complesse di uno strumento musicale con regolare periodicità può essere costruita sommando una serie di curve sinusoidali, la prima delle quali avente la stessa periodicità della funzione complessa (→ **frequenza fondamentale**)

3.1 Il violino

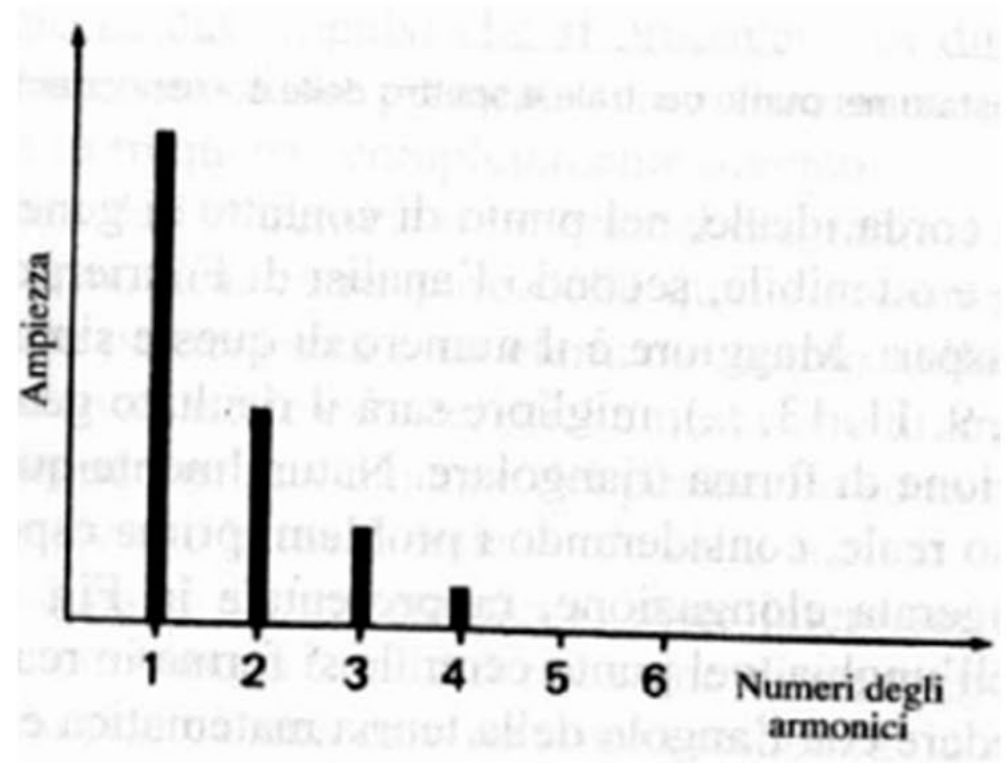
- Serie di curve ottenute da **oscillatori elettronici**:
 - (a) onda sinusoidale,
 - (b) onda quadra,
 - (c), (d) onda ad impulso del 20%,
 - (e) onda triangolare,
 - (f), (g), (h) onda a dente di sega,
 - (i) rumore casuale
 - (Hall, 1980)



main patch 01

3.1 Il violino

- Esempio di spettro di frequenza di una corda di violoncello con numero delle armoniche sull'asse delle frequenze. L'ampiezza diminuisce all'aumentare del numero di armonica



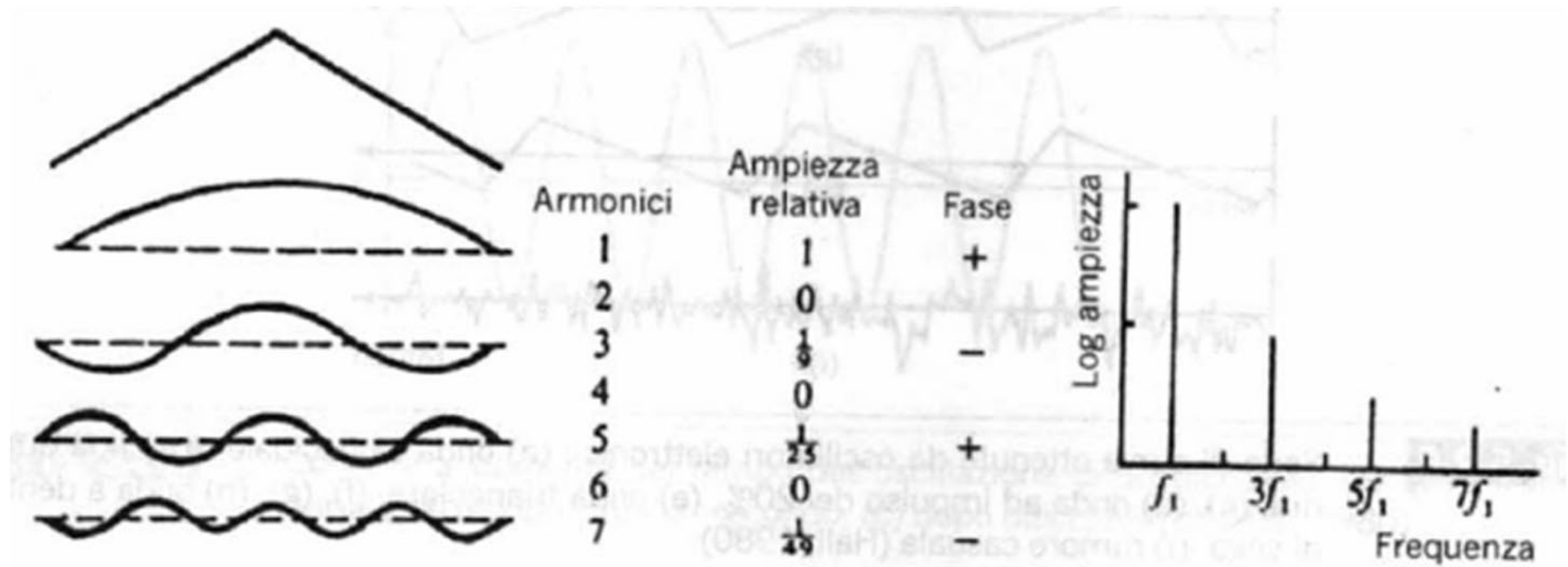
3.1 Il violino

- Quando le corde vibrano vincolate ad entrambi gli estremi, esse possono vibrare **solo a certe frequenze**
 - Le frequenze dei modi di oscillazione della corda

3.1 Il violino

- **La corda pizzicata** (es. chitarra, liuto)
 - Se venisse pizzicata al centro, la vibrazione risultante sarebbe formata dalla somma di una frequenza fondamentale (la prima armonica) più le frequenze armoniche dispari
 - Corda **ideale**:
 - Nel punto di contatto si genera un angolo netto
 - Analisi di Fourier: la forma d'onda triangolare è ottenibile dalla somma di frequenze sinusoidali dispari
 - Corda **reale**:
 - Nel punto di contatto si genera un angolo tondo

3.1 Il violino

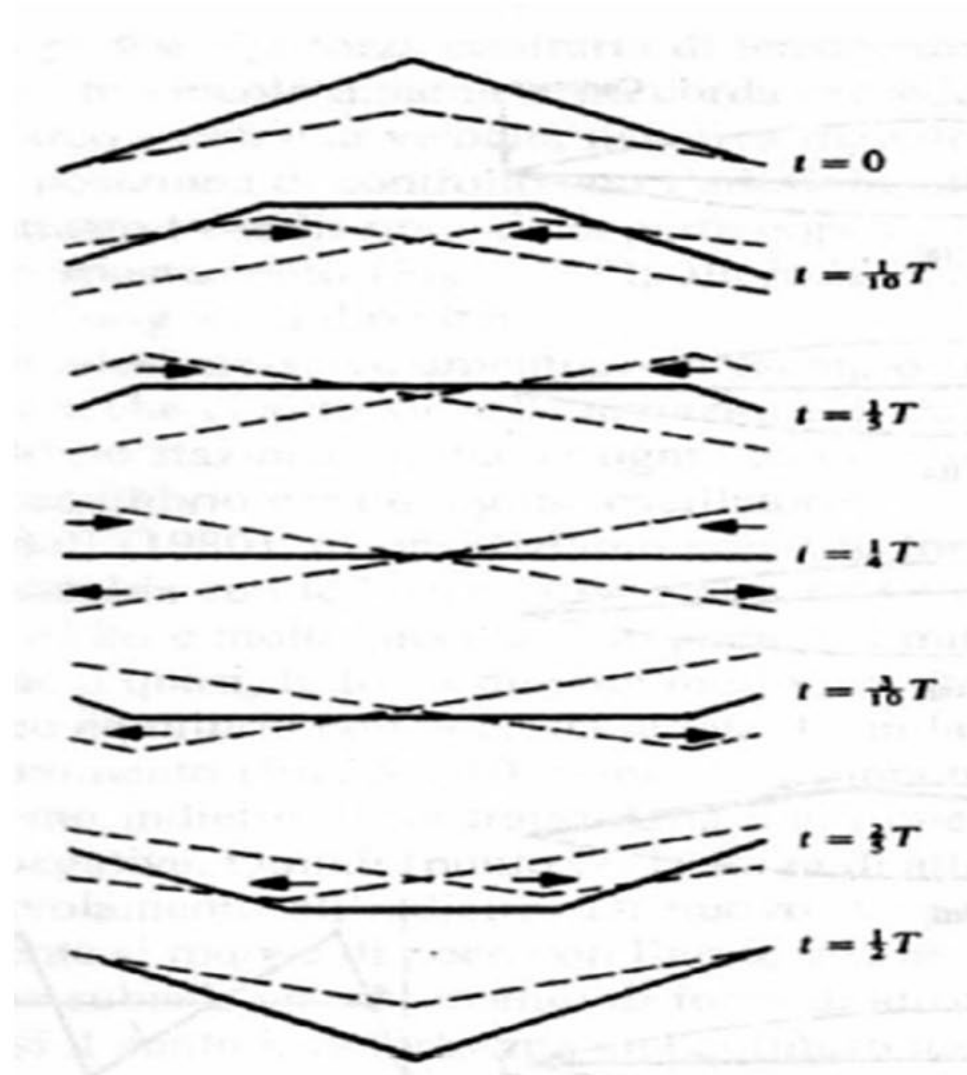


Corda spostata nel punto centrale e spettro delle corrispondenti armoniche

3.1 Il violino

- L'analisi nel tempo di una corda pizzicata, subito dopo il massimo spostamento, evidenzia **il moto di due impulsi che si propagano in direzione opposta alla corda**
- Se questa fosse pizzicata in un altro punto, diverso dal centro, si avrebbe un risultato in frequenza completamente diverso

3.1 Il violino



3.1 Il violino

- A $\frac{1}{4}$ di distanza dall'estremità manca la quarta armonica
- A $\frac{1}{5}$ di distanza dal ponticello manca la quinta armonica
 - In questo modo gli esecutori possono variare le caratteristiche timbriche di uno strumento a corda
 - I suoni al pont. sono diversi timbricamente dai suoni alla tast.

3.1 Il violino

- **Corda sfregata:**

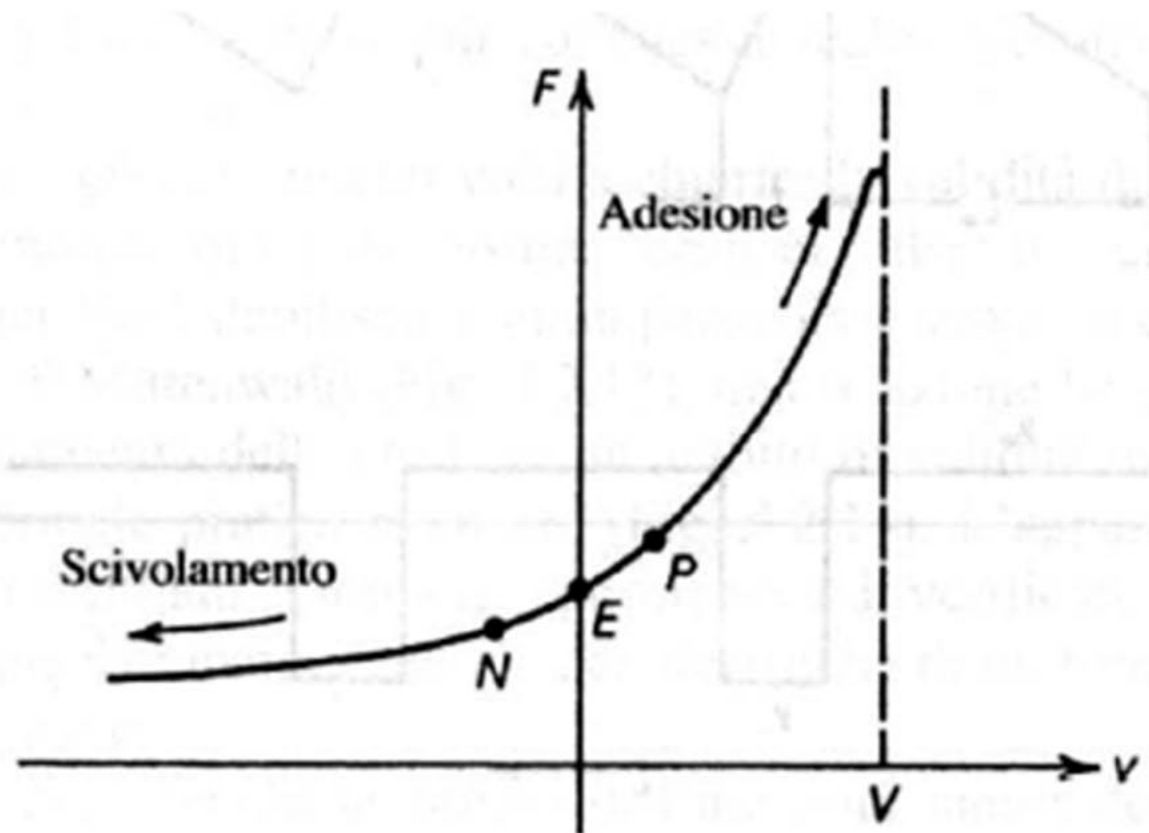
- La variazione periodica di forza d'attrito tra la corda e l'arco mantiene l'oscillazione della corda
- La corda è mantenuta in vibrazione da un sostentamento energetico esterno, formato dall'arco resinato dotato di un movimento continuo in un'unica direzione
- Se i crini dell'arco non sono sufficientemente carichi di resina tendono a scivolare

3.1 Il violino

- Situazione ideale:
 - 1. l'arco, per attrito, riesce a spingere la corda dalla posizione di riposo fino alla massima elongazione laterale
 - 2. Quindi la corda si libera dal vincolo dinamico grazie a una forza contraria di tensionamento
 - 3. La corda procede in direzione opposta a quella dell'arco e con una velocità negativa maggiore
 - 4. Quando la corda ha effettuato l'oscillazione dalla parte opposta rispetto alla posizione originaria, l'arco può aderire di nuovo
 - **Meccanismo di adesione-scivolamento**

3.1 Il violino

- Hall (1980)



3.1 Il violino

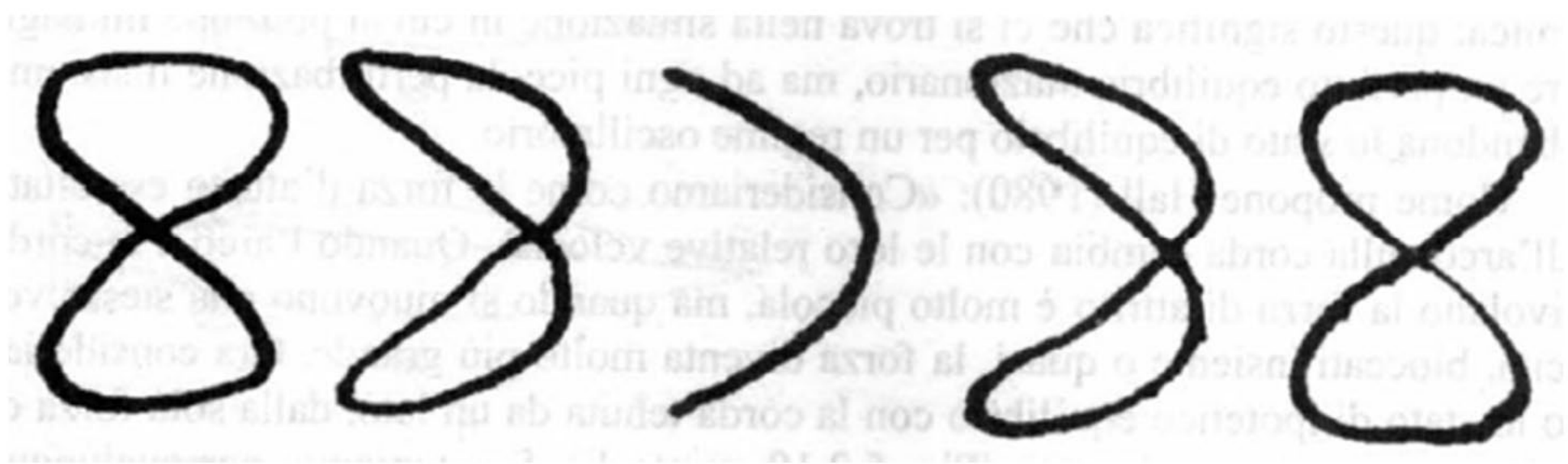
- La velocità dell'angolo formato dall'attrito con l'arco dipende da
 - **Tensione** applicata alla corda
 - **Densità** della corda

3.1 Il violino

- **Hermann von Helmholtz: microscopio vibrante**
 - Piccolo microscopio montato su uno dei rebbi di un grande diapason elettromagnetico che oscillava parallelamente alle corde
 - Grano di amido luminescente incollato sulla corda
 - Il microscopio osservava i movimenti del grano combinati alla vibrazione della corda sfregata → **figure di Lissajous**

3.1 Il violino

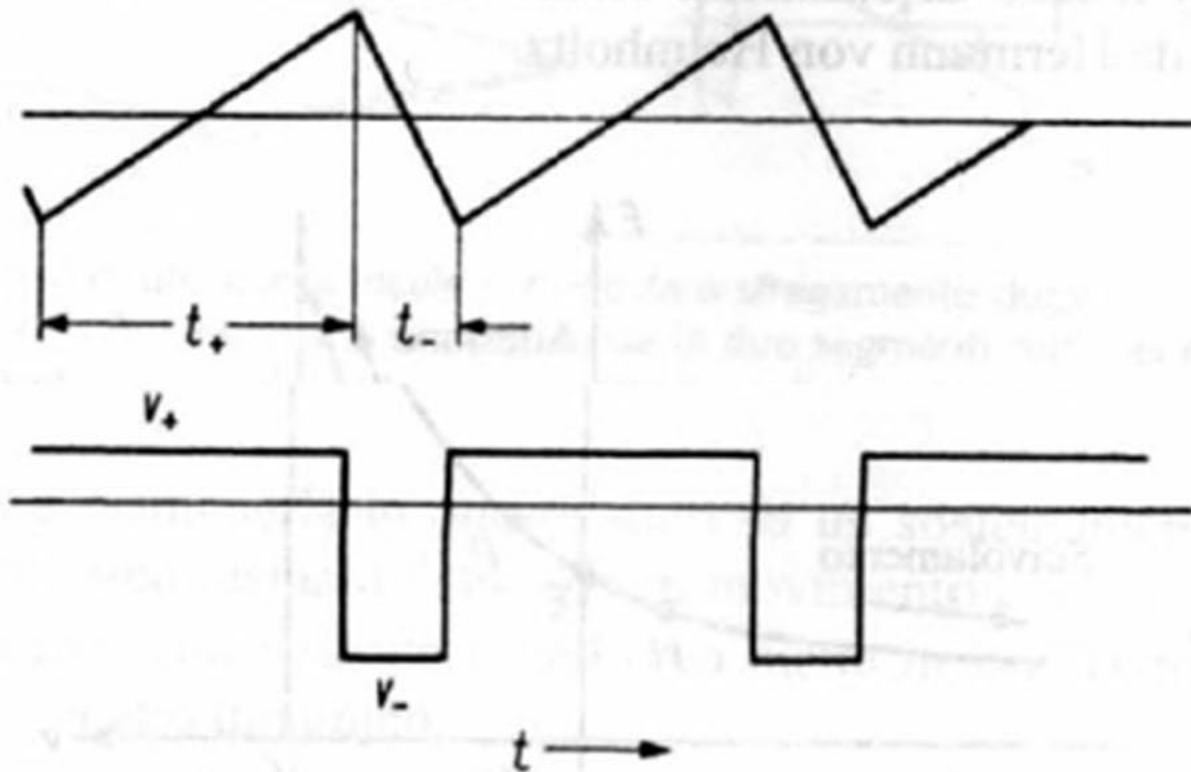
– Figure di Lissajous



3.1 Il violino

- Lo spostamento delle corde era rappresentato come **funzione della variazione sinusoidale dell'ascissa**
 - Le figure erano ottimali e regolari quando la frequenza del diapason era una frazione intera (1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, ecc.) della frequenza della corda

3.1 Il violino



Curve di spostamento e velocità nelle varie posizioni della corda. I segni positivi e negativi indicano l'andamento della funzione rispettivamente nella stessa direzione dell'arco e in direzione opposta, durante lo scivolamento

3.1 Il violino

- **Moto di Helmholtz**

- Definito in relazione all'angolo generato dalla corda (angolo netto), prodotto ad una determinata distanza dell'arco dal ponticello
- L'inviluppo massimo si trova al centro della corda
- **Muller (1962)**: andamento lineare tra velocità dell'arco e spostamento della corda (misurabile su scala 1-5)

3.1 Il violino

- La distanza dell'arco dal ponticello influisce sull'intensità sonora dello strumento
 - Il suono diviene più forte al diminuire della distanza, fino ai limiti indicati dall'aumentare del livello del rumore dovuto allo sfregamento

3.1 Il violino

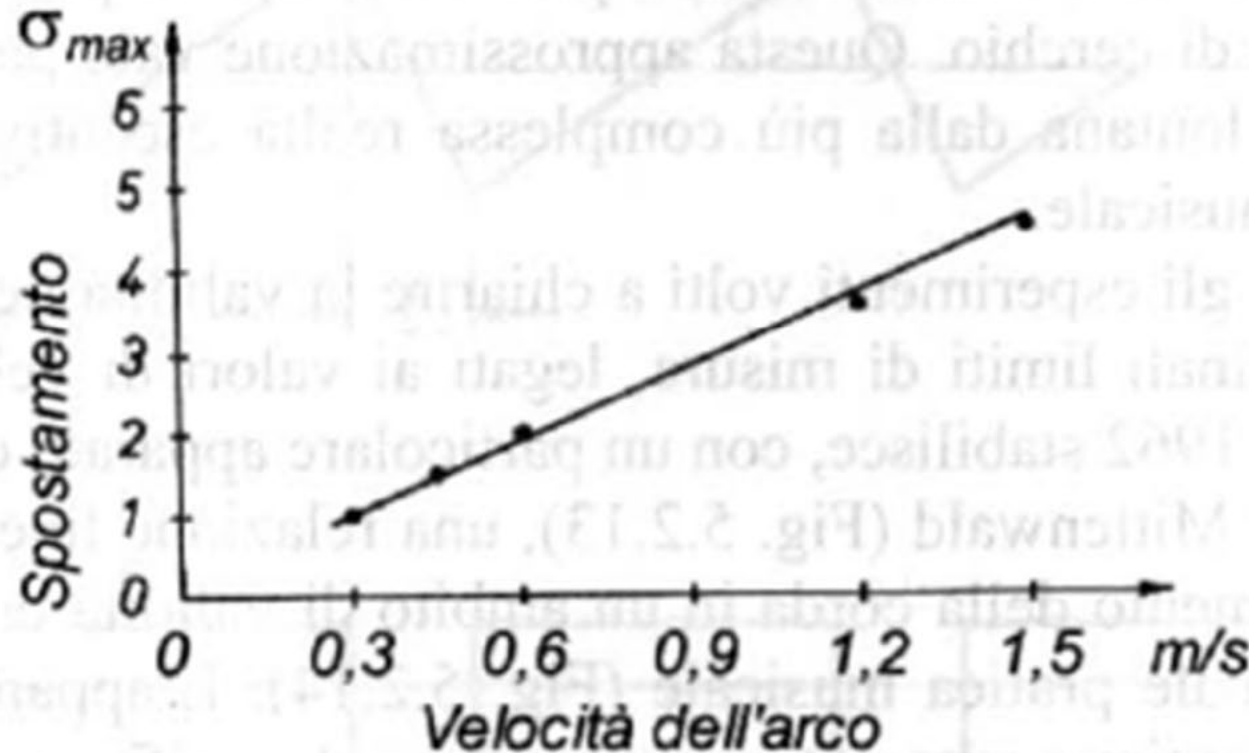


Diagramma che indica l'aumento dello spostamento della corda sfregata con la variazione della velocità dell'arco (Cremer, 1984)

3.1 Il violino

- Il moto della corda può essere considerato il risultato della **sovrapposizione di molti moti di Helmholtz**
- La **consistenza dell'arco** e il suo **punto di contatto sulla corda** sono rilevanti (perdita di certe armoniche)
- Il **timbro** del violino dipende dalla posizione dell'arco sulla corda ma meno di quanto accade negli strumenti a pizzico

3.1 Il violino

- **L'intensità sonora** del violino dipende in modo rilevante dalla posizione dell'arco sulla corda
 - La potenza dello strumento non corrisponde allo spostamento della corda

3.1 Il violino

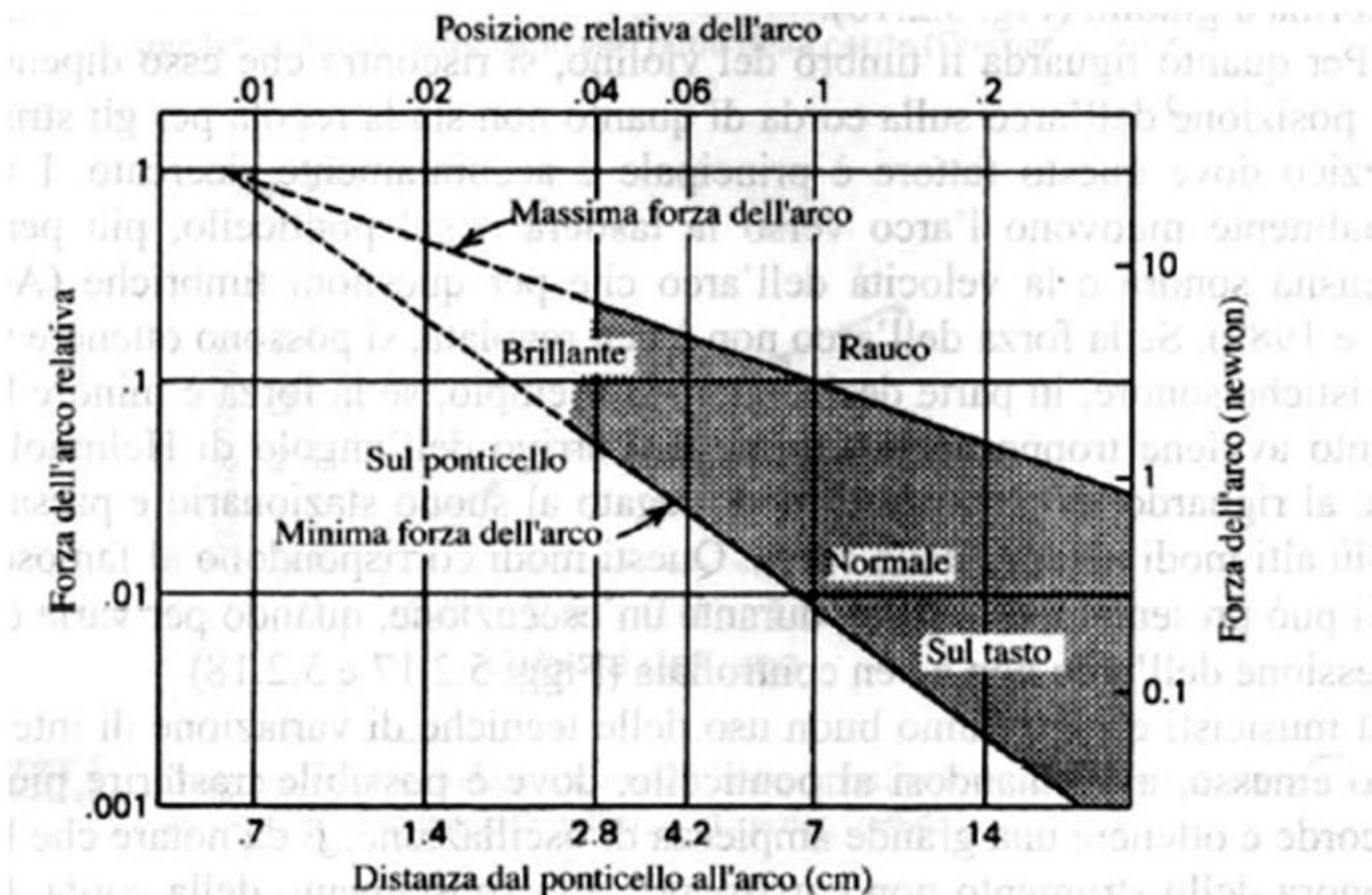
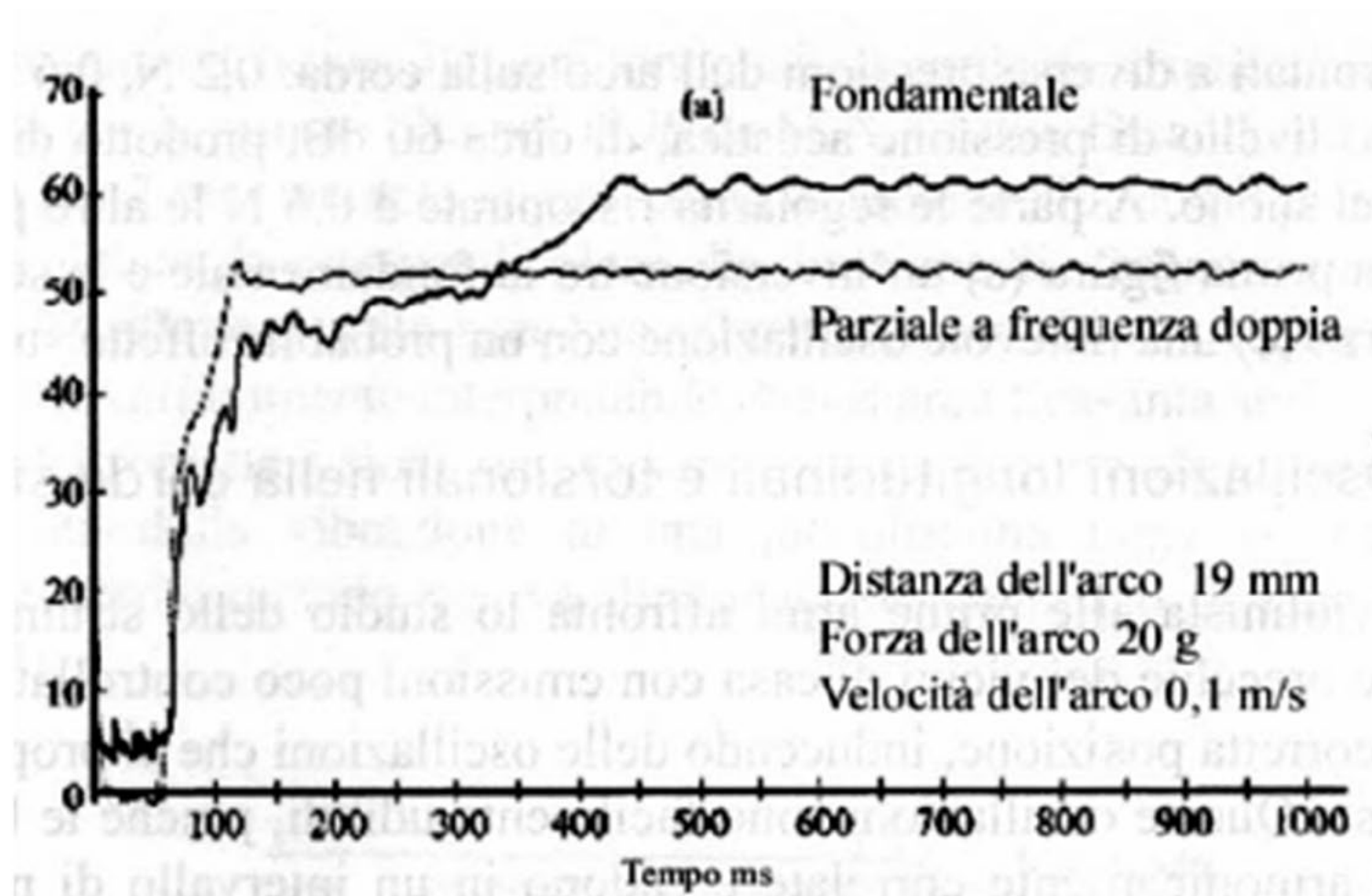


Diagramma di Schelleng (1974) per il regime vibratorio di un violoncello alla velocità dell'arco di 0,2 m/s. Solo la zona scura tra le due rette corrisponde ad un corretto parametro sonoro

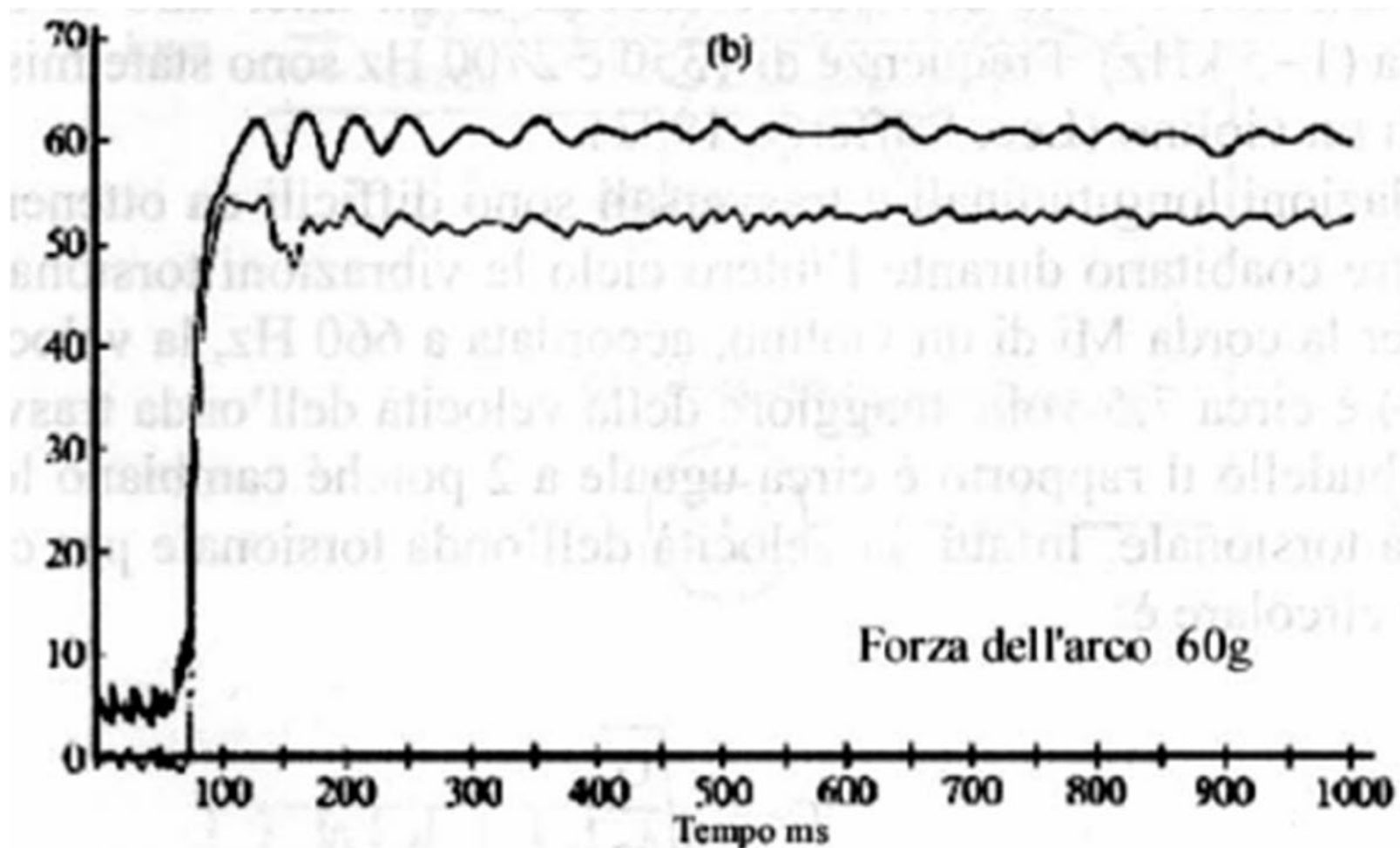
3.1 Il violino

- Variando la pressione dell'arco, varia l'andamento nel tempo delle armoniche (diagrammi di Pickering)
 - Il livello di pressione acustica (60 dB) prodotta nella fase stazionaria del suono permane
 - **0.6 N**: regolarità
 - **0.2 N**: inversione tra la fondamentale e la seconda armonica
 - **0.8 N**: notevole oscillazione con probabile effetto stridente

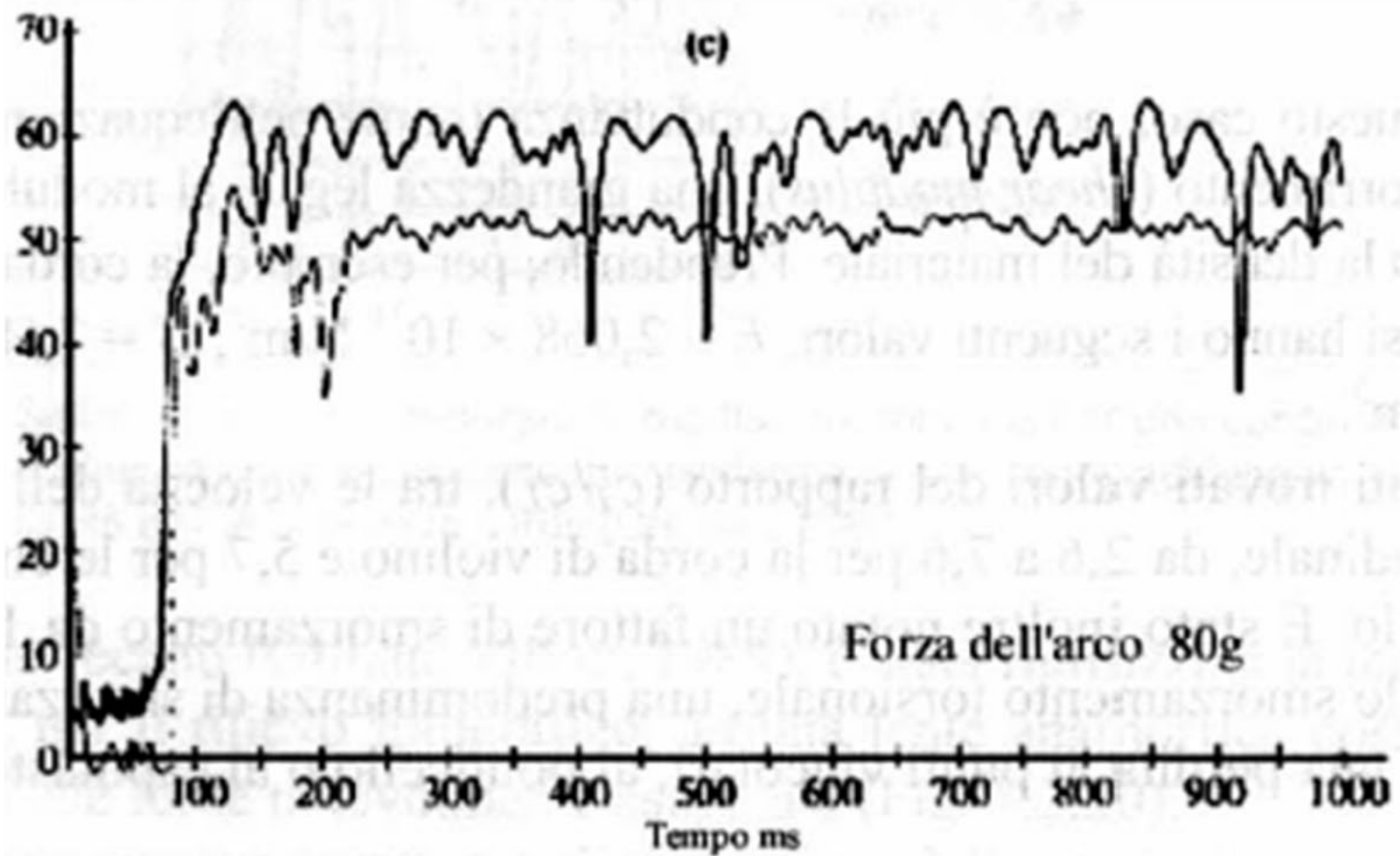
3.1 Il violino



3.1 Il violino



3.1 Il violino



3.1 Il violino

- Un violinista alle prime armi devia l'archetto dalla sua corretta posizione inducendo oscillazioni che si propagano lungo la corda stessa invece che ortogonalmente ad essa
 - Oscillazioni facilmente udibili
 - le loro frequenze non sono armonicamente correlate tra di loro
 - Cadono in un intervallo di alta sensibilità uditiva (1-5 kHz)

3.1 Il violino

- **Corde in acciaio:**
 - Tre volte più elastiche rispetto al materiale sintetico
 - Sette volte più elastiche rispetto al budello
 - Più difficili da accordare ma si stabilizzano dopo pochi minuti (
 - sintetiche: 8 ore; budello: 48 ore
 - La tensione varia in modo apprezzabile quando si appoggiano le dita sulla tastiera

3.1 Il violino

- **Corde in acciaio:**
 - **Problema dell'inarmonicità**
 - Può essere ridotta facendo uso di un nucleo centrale di materiale con basso modulo di elasticità e una massa in metallo avvolta elicoidalmente intorno alla sua superficie



3.1 Il violino

- **Il ponticello**

- Trasferimento dell'energia alle estremità (punti di maggior vincolo:

- Ponticello

- Mediatore e accoppiatore tra corda vibrante e corpo dello strumento

- Simmetrico rispetto alla geometria dello strumento

- Capotasto

- Attraverso la cordiera (in maniera minore)

3.1 Il violino

- **Il ponticello**

- In realtà non è posizionato simmetricamente; i piedini poggiano

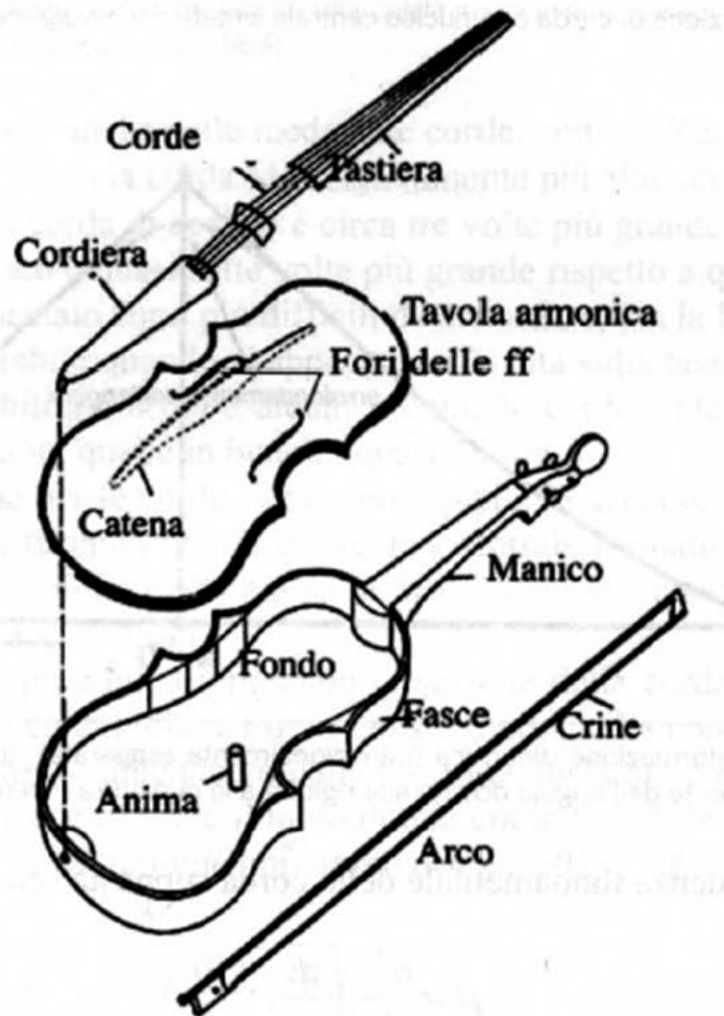
- A sinistra in corrispondenza della **catena**

- Un piccolo listello di legno usato per il rinforzo della tavola

- A destra su un cilindretto (**anima**)

- Collega rigidamente la tavola armonica col fondo della cassa

3.1 Il violino



Marco Marinoni - Conservatorio
«L. Marenzio» - Brescia

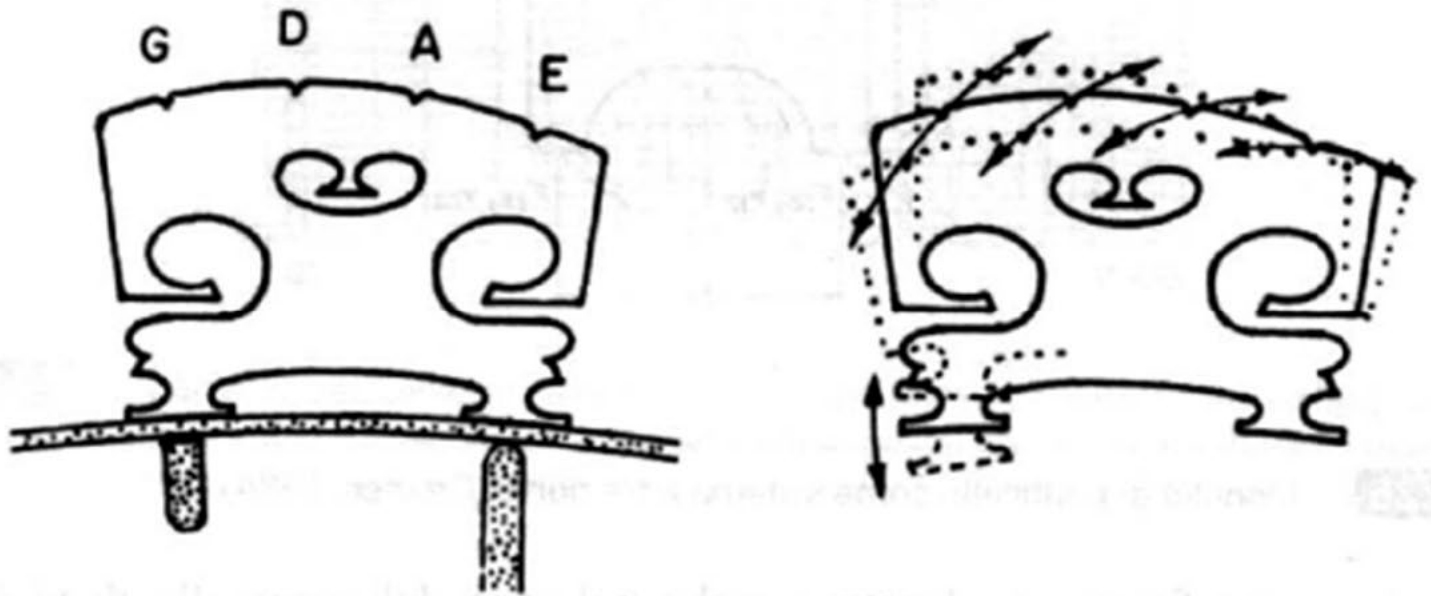
3.1 Il violino

- **Il ponticello**

- Il particolare **posizionamento** del ponticello favorisce una particolare trasmissione sonora
- La **forma** (in particolare gli **intagli**) influenza la risposta dell'intero strumento
- A riposo è in equilibrio, sotto l'azione di due forze uguali e di segno opposto
 - Pressione verticale delle corde
 - Reazione delle tavole della cassa

3.1 Il violino

- In figura: Moto predominante rispetto al punto di fulcro, posizionato sulla catena



3.1 Il violino

- **Il ponticello**

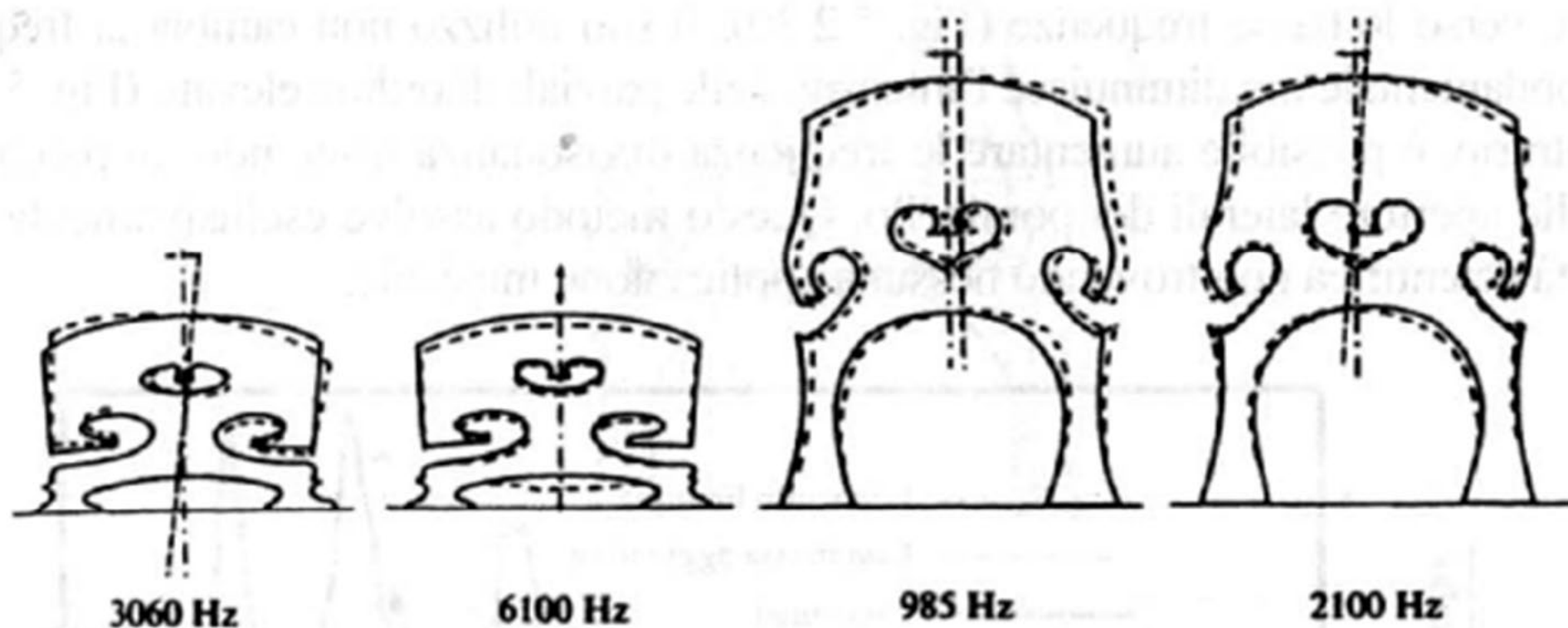
- Basso rendimento meccanico, a fronte dei 0.6 N di pressione dell'arco sulla corda, 0.15 N di forza d'attrito e 1 m/s di velocità dell'arco
- In ciascun periodo solo lo 0.4 % di energia oscillante viene rilasciato come irraggiamento sonoro
- Violoncello:
 - Nel 1964 si scoprì che il ponticello agisce come amplificatore per le frequenze gravi (fino a 660 Hz)

3.1 Il violino

- **Il ponticello**

- Violoncello: modello matematico sistema a tre porte
 - Una porta di ingresso
 - La corda vibrante
 - Due porte di uscita
 - I piedini
- Applicato anche al violino, per individuare i principali **modi di vibrazione**

3.1 Il violino



Primi due modi di vibrazione del ponticello di un violino (a sinistra) e di un violoncello (a destra) (Reinicke, 1973)

3.1 Il violino

- **Il ponticello**

- Primo modo

- Oscillazione altalenante. Il piede di destra, che poggia sull'anima, agisce come fulcro (in questo modo si trasferisce l'energia tra corda e cassa armonica)

- A seconda della direzione dell'arco, è la parte destra o sinistra del ponticello che imprime uno stimolo altalenante alla tavola

- Secondo modo

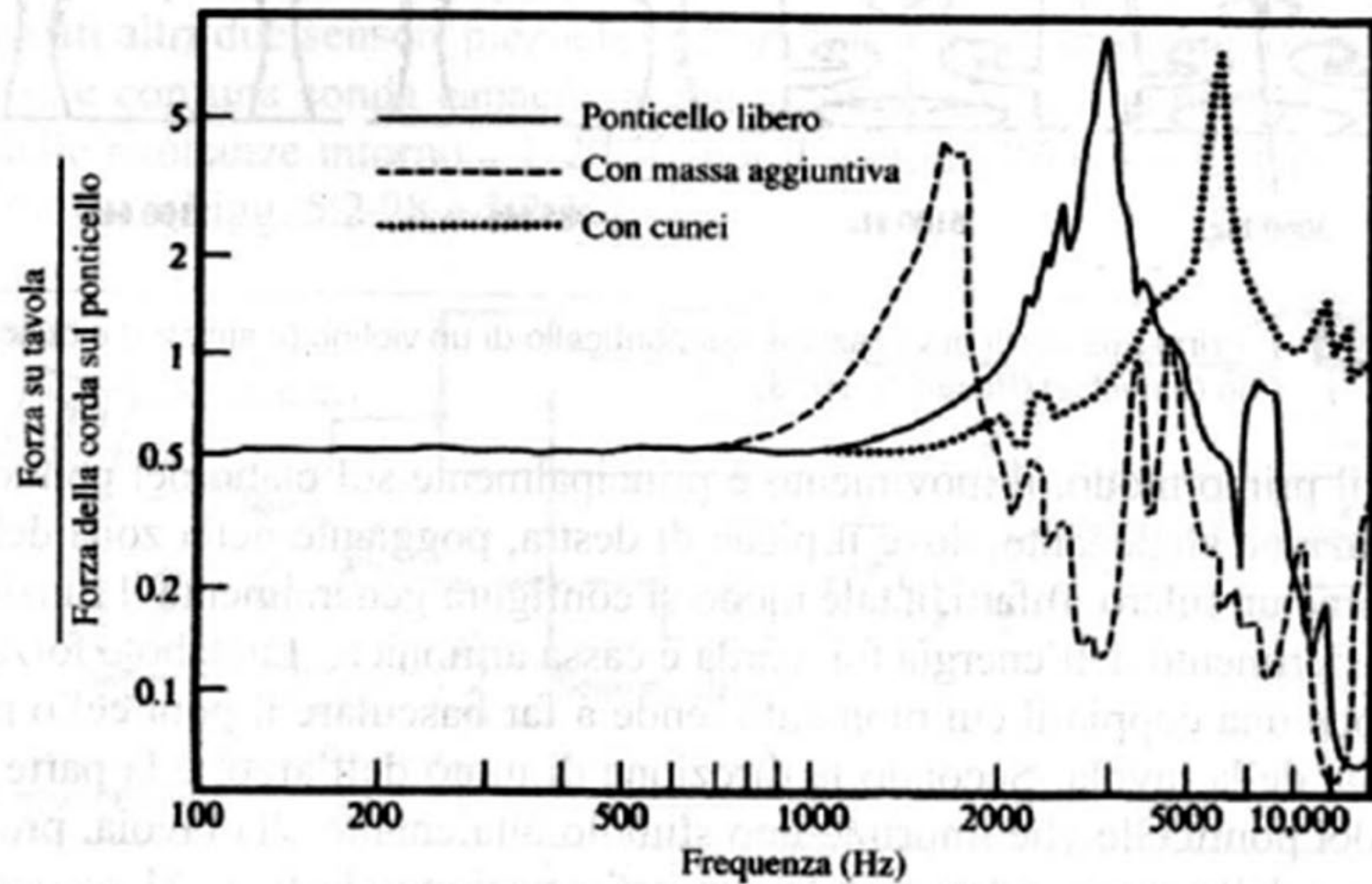
- Si sommano dei movimenti verticali che riescono a incurvare persino il ponte tra i piedini

3.1 Il violino

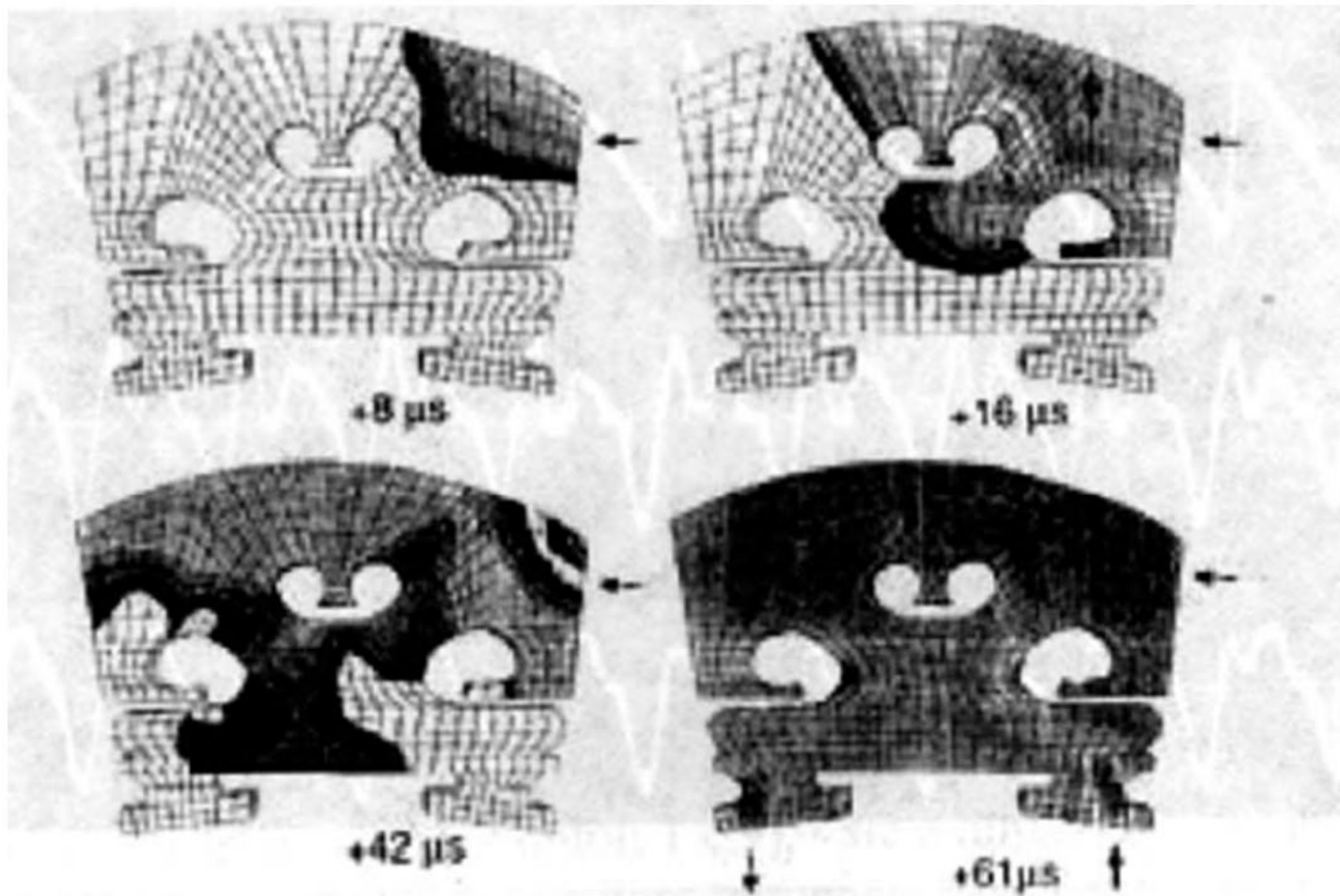
- **Il ponticello**

- La **sordina** viene utilizzata per attutire il suono degli strumenti ad arco
 - Aumenta la massa e il momento d'inerzia del ponticello
 - Sposta le risonanze verso le frequenze gravi
 - Non cambia la frequenza della fondamentale ma diminuisce l'intensità delle parziali di ordine elevato

3.1 Il violino



3.1 Il violino



Propagazione dell'onda dopo 8, 16, 42 e 61 μs dall'istante dell'impatto.

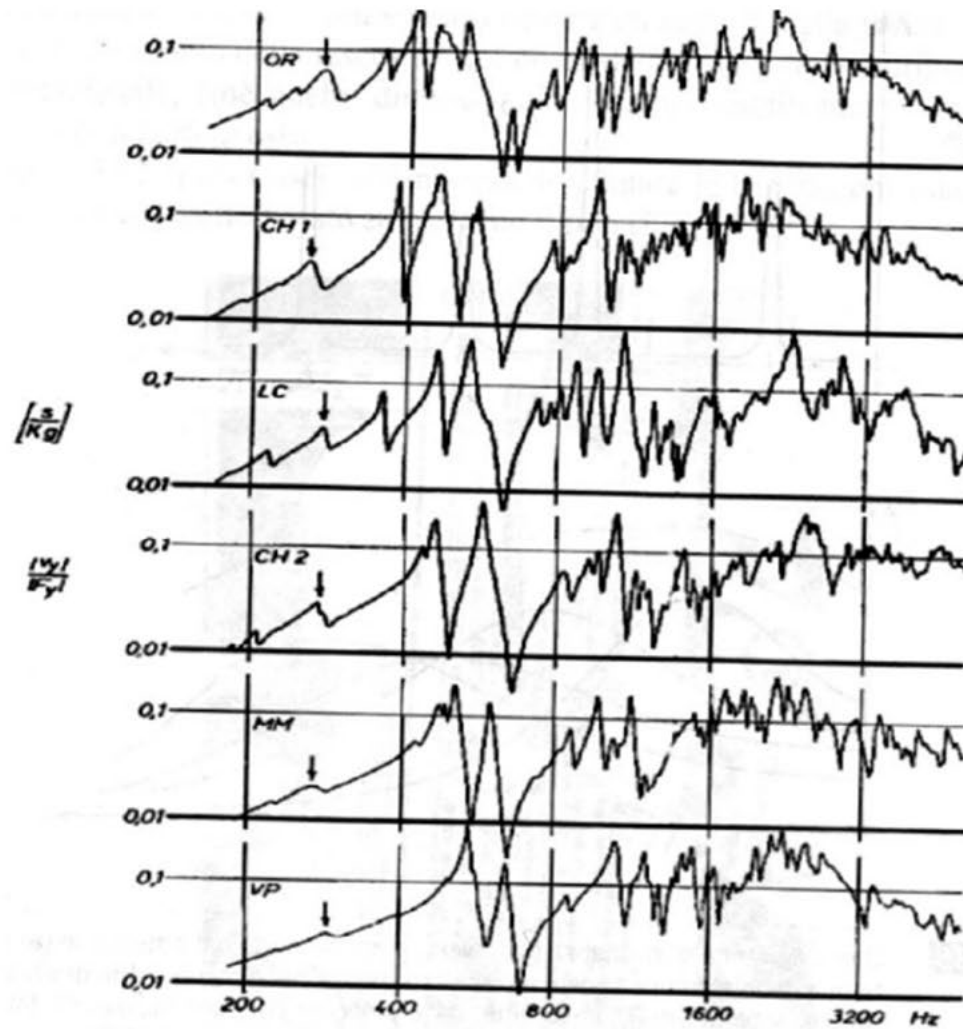
3.1 Il violino

- **Il corpo dello strumento**
 - Una serie di superfici che chiudono l'aria in un determinato volume
 - La **tavola armonica**, con gli **intagli** delle *f* e la **catena** chiude la parte superiore
 - La **tavola di fondo**, con materiali e spessori diversi, chiude la parte inferiore
 - Le **fasce laterali** uniscono il contorno della cavità
 - L'**anima** è un cilindretto di abete posto tra la tavola armonica e il fondo

3.1 Il violino

- **Il corpo dello strumento**
 - I **diagrammi di ammettenza** (risposta dello strumento alla stimolazione meccanica) variano a seconda dello strumento con picchi delle curve che corrispondono ai diversi modi di oscillare della cavità
 - Dal punto di vista della pratica musicale, legata alla posizione della mano sulla tastiera, sono molto importanti le **prime risonanze**

3.1 Il violino



Sei diagrammi di ammettenza all'ingresso del ponticello per sei diversi violini.

3.1 Il violino

- **Il corpo dello strumento**
 - **I modi di vibrazione** degli strumenti ad arco sono determinati principalmente dal movimento accoppiato di:
 - Tavola
 - Fondo
 - Aria chiusa dentro la cavità
 - E in modo accessorio da quello di:
 - Manico
 - Tastiera

3.1 Il violino

- **Il corpo dello strumento**
 - Uno dei picchi principali nelle curve di ammettenza: **risonanza dell'aria** (o **risonanza delle f**)
 - Si situa tra 260 e 290 Hz (vicino alla fondamentale della III, re3)
 - Può essere percepita
 - Facendo scivolare le dita sulla IV
 - Soffiando aria attraverso le f come nel collo di una bottiglia
 - Cantando note in glissando sino a quando lo strumento non entra in risonanza

3.1 Il violino

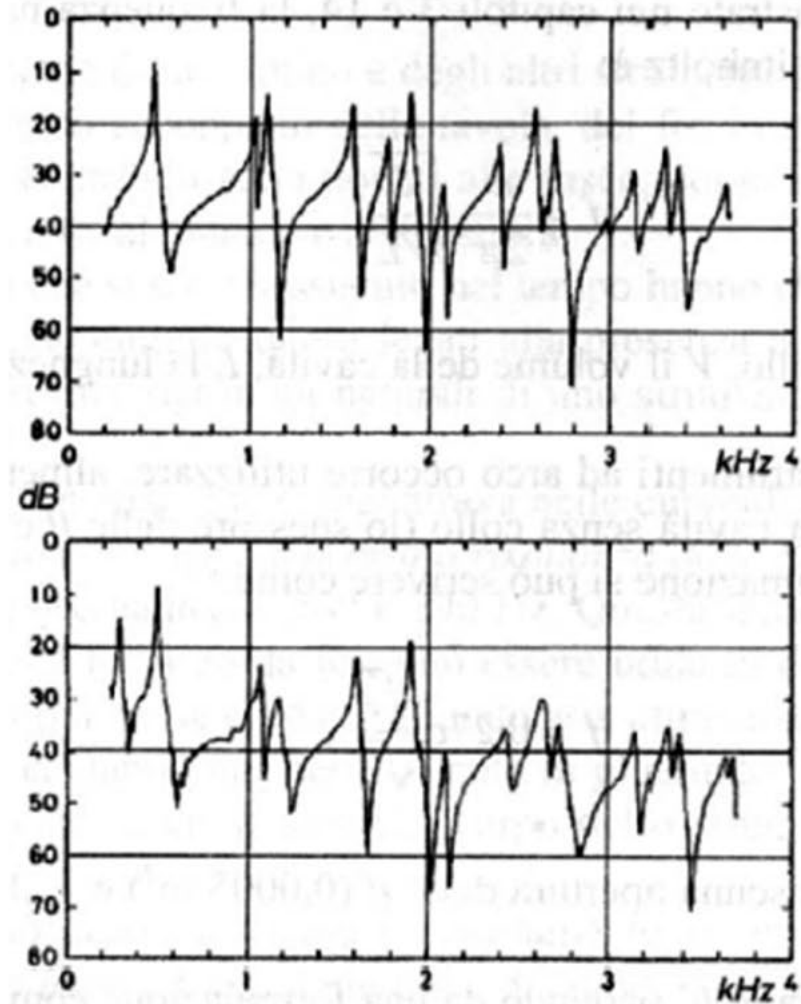
- **Il corpo dello strumento**
 - L'aria all'interno della cavità agisce verso la massa d'aria delle f come una **molla caricata**
 - La **frequenza naturale** di tale cavità si abbassa all'aumentare del volume della cavità.
 - Cambia seguendo il seguente andamento:
 - Senza anima e corde: 227 Hz
 - Con anima, senza corde: 282 Hz
 - Condizione normale: 290 Hz
 - Cavità rigida: 350 Hz

3.1 Il violino

- **Il corpo dello strumento**
 - Oltre alla frequenza fondamentale è possibile eccitare la cavità per ottenere i modi superiori
 - **Jansson, 1973**
 - Utilizzò uno **ionofono**
 - Strumento che produce un suono ionizzando l'aria tramite scariche elettriche, all'interno della cavità del violino
 - Con una sonda misurò **il livello di pressione sonora (dB) generato alle varie frequenze (Hz)**

3.1 Il violino

- Livello di **pressione in funzione della frequenza**, misurato nella cavità di violino eccitata da uno **ionofono**
- In alto: f chiuse
- In basso: f aperte



3.1 Il violino

- **Il corpo dello strumento**
 - Le rilevazioni effettuate con lo ionofono mostrano che
 - All'apertura delle f avvengono notevoli dispersioni
 - Picco di risonanza intorno ai 450 Hz: risonanza generale del legno

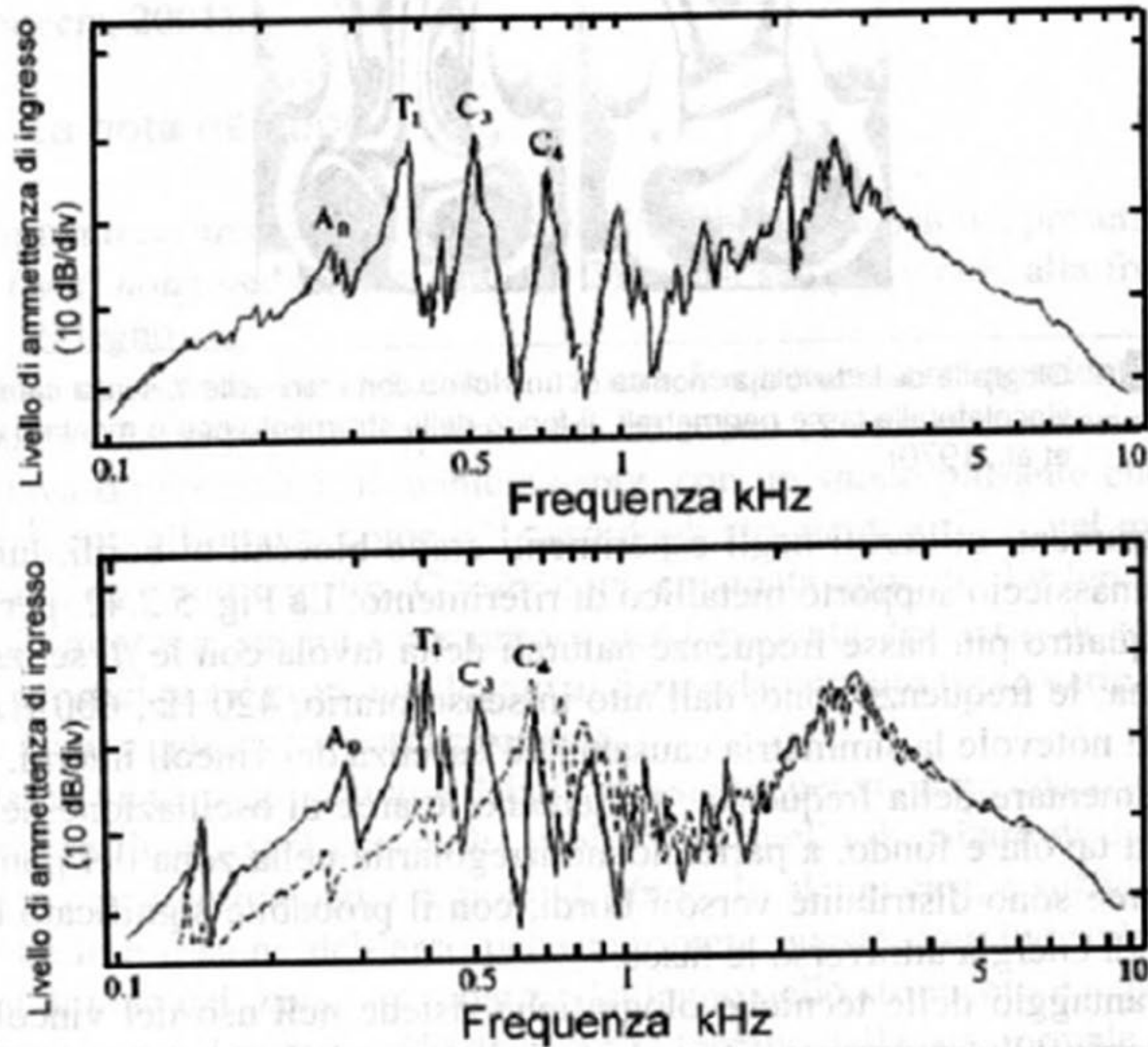
3.1 Il violino

- **Il corpo dello strumento**
 - L'aria è costretta a transitare dentro e fuori dalla cavità attraverso le f a causa dell'effetto pistone
 - Un piedino del ponticello, quello centrato nei dintorni dell'anima, si muove, oscilla, producendo una sorta di **respiro** dello strumento
 - Questo fenomeno aumenta di intensità all'aumentare della frequenza emessa

3.1 Il violino

- **Il corpo dello strumento**
 - La scelta dei materiali e della massa relativa influenza la risposta in frequenza nella zona di principale emissione delle frequenze gravi
 - Beldie (1974) → 465 Hz
 - Jansson → 490 Hz

3.1 Il violino



3.1 Il violino

- Fig. slide 70: le curve di ammettenza di due violini
 - Sopra: Guarneri eccitato sul lato del ponticello corrispondente alla catena
 - Sotto: buon violino da concorso messo in vibrazione
 - Lato catena (curva continua)
 - Lato anima (curva tratteggiata)

3.1 Il violino

- **La nota del lupo (*wolf note*)**
 - Alcuni strumenti ad arco, soprattutto di grandi dimensioni, presentano **note del lupo**, quasi sempre vicine alla frequenza di risonanza del legno
 - Quando una corda viene suonata in una frequenza corrispondente alla risonanza della tavola, si produce un suono che ha la caratteristica di saltare all'ottava o di presentarsi in maniera aspra, con un suono pulsante denso di componenti all'ottava

3.1 Il violino

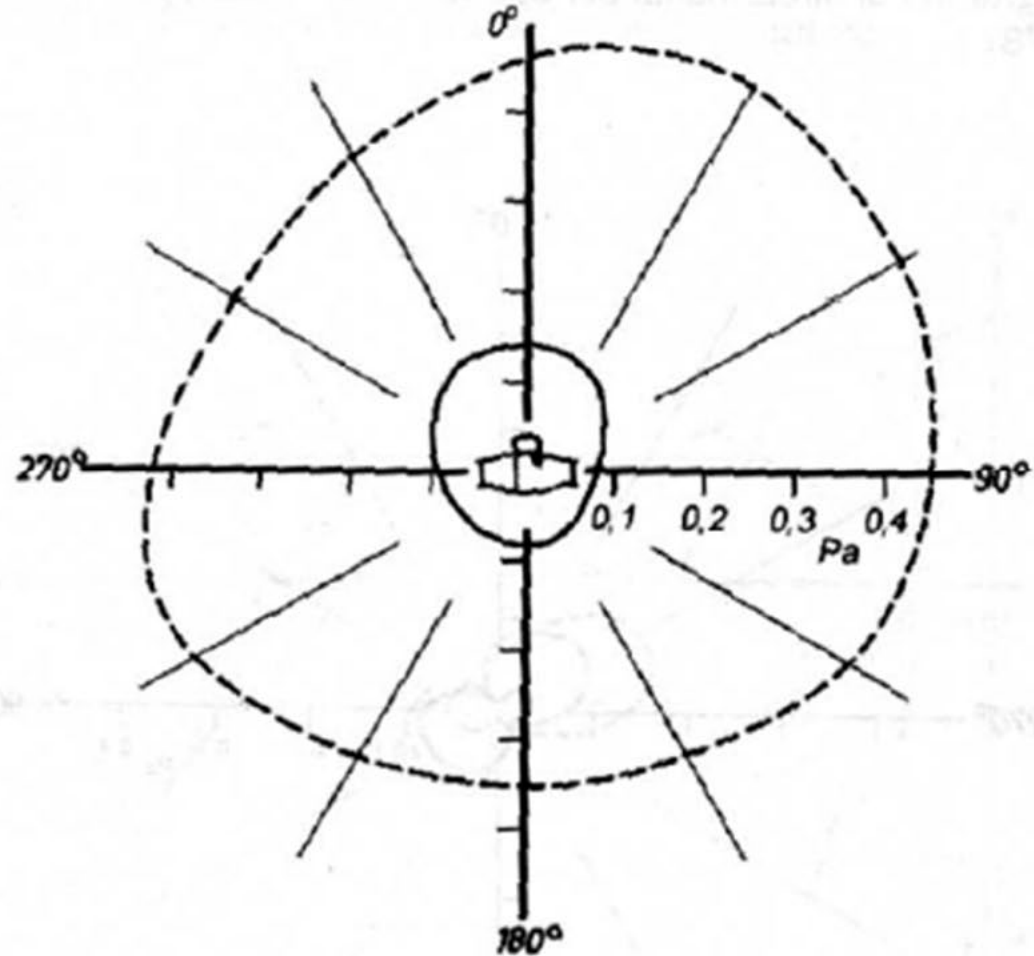
- **La nota del lupo (*wolf note*)**
 - La risonanza del legno dello strumento **sposta la frequenza del primo modo della corda lontano dalla sua normale posizione**
 - L'esecutore si trova in difficoltà a mantenere il suono stazionario
 - il violoncello ha facilità 3.5 volte superiore di subire la nota del lupo rispetto agli altri strumenti ad arco
 - In alcuni casi è sufficiente un incremento della pressione dell'arco per sopprimere questo fenomeno

3.1 Il violino

- **L'irraggiamento sonoro**
 - L'ampiezza del campo sonoro emesso, posto in relazione con la forza esercitata dalle corde sul ponticello, è indicato con il termine **radiatività** o **radiazione**.
 - Le misure effettuate sugli spettri sonori non contengono l'informazione sulla posizione dei microfoni poiché non indagano la distribuzione dell'irraggiamento dell'intero strumento
 - Ovvero la **configurazione spaziale del suono**

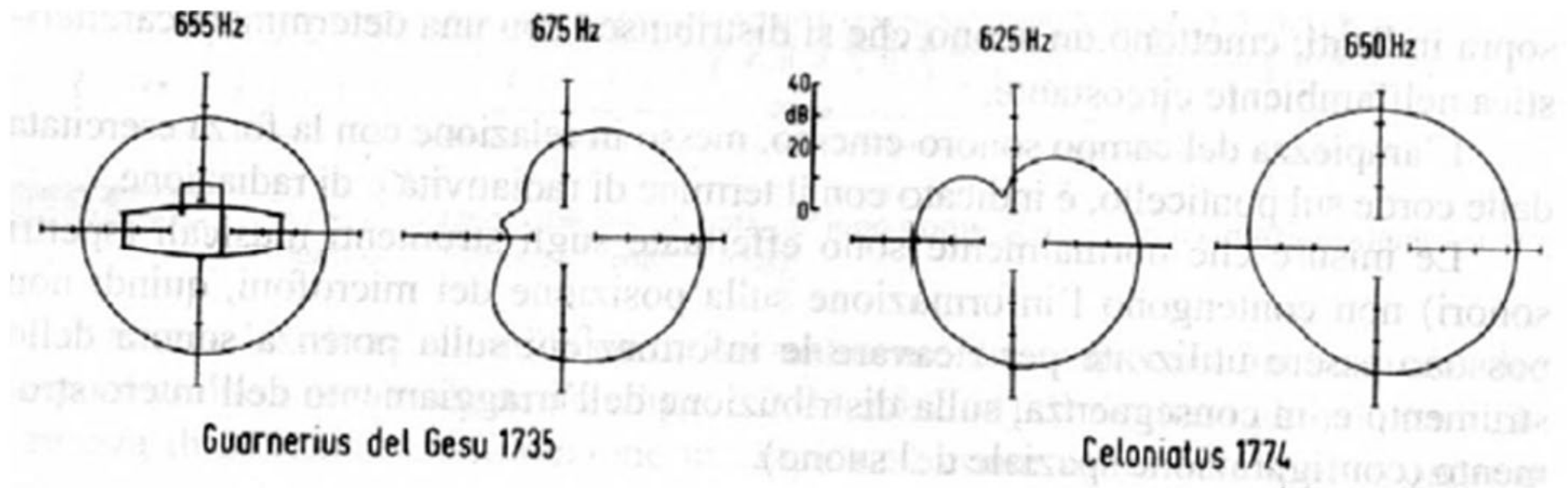
3.1 Il violino

- Caratteristiche direzionali di emissione (risonanza delle f) di un violino ($f = 290$ Hz [linea continua] e 517 Hz [linea tratteggiata], 1930 ca.)



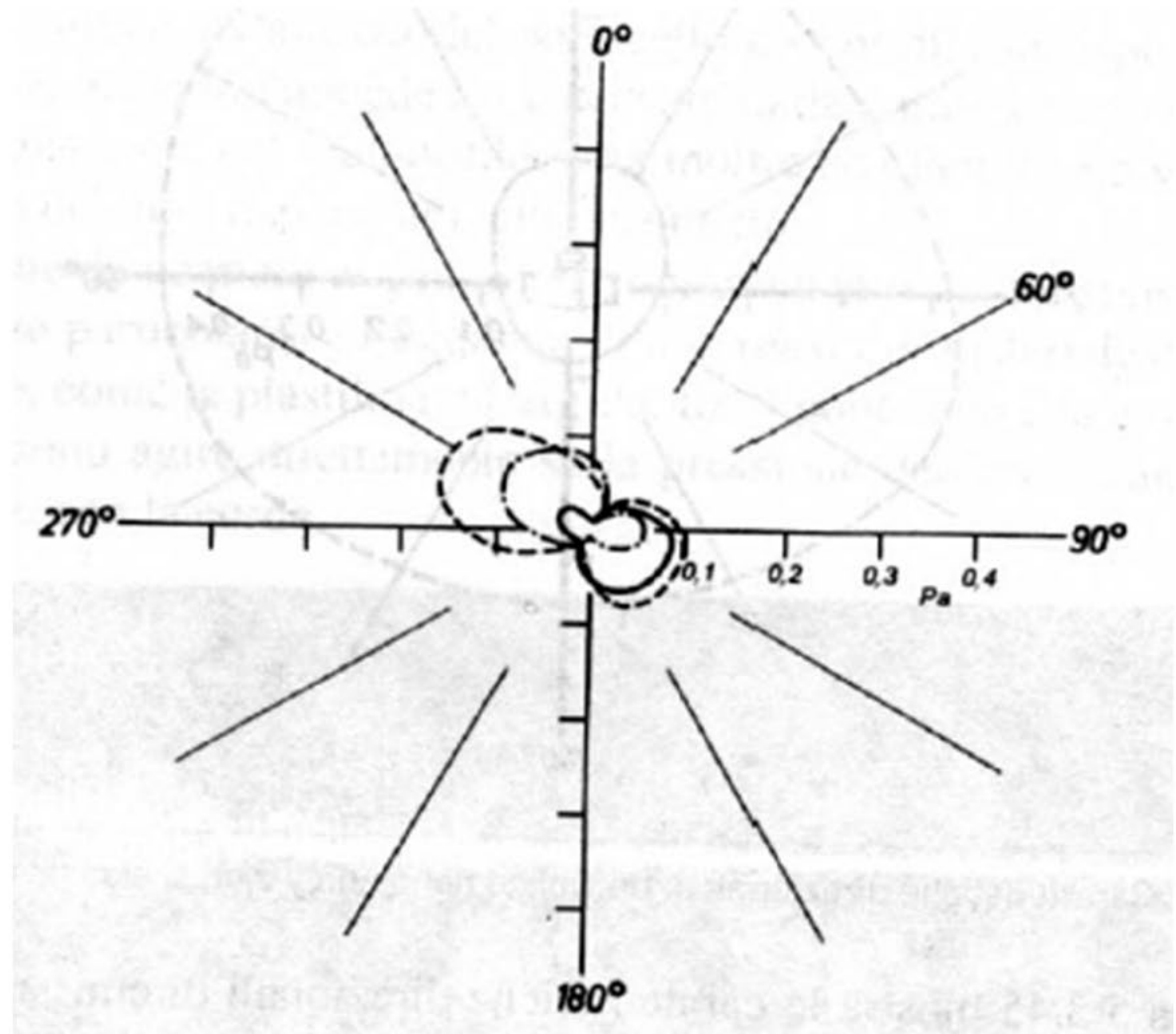
3.1 Il violino

- Meyer, 1975



3.1 Il violino

- **Meyer, 1975**
 - 922 Hz (cont.)
 - 950 Hz (tratt.)
 - 977 Hz (tratt. a punti)



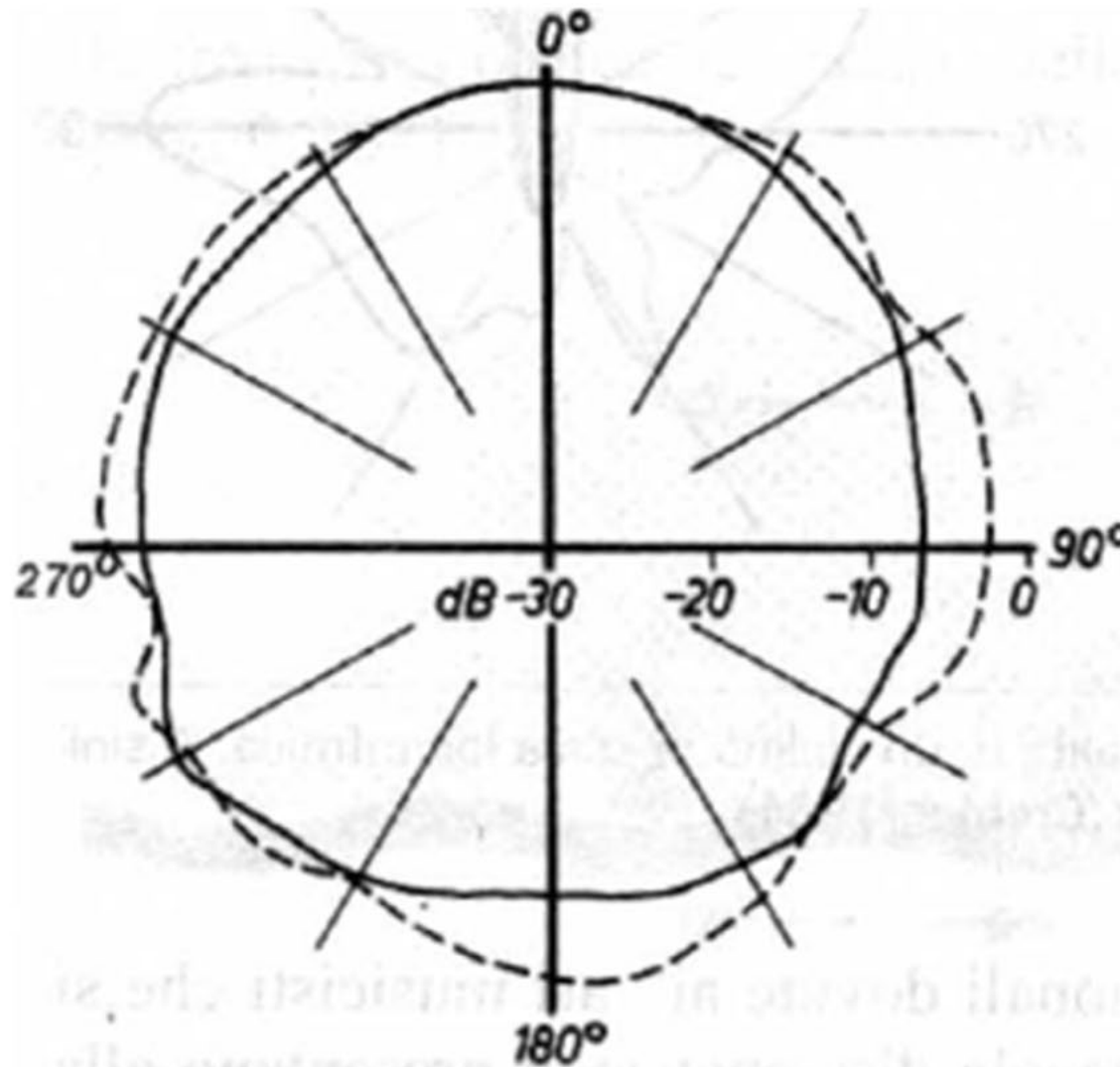
3.1 Il violino

- Le misure effettuate da **Meyer** all'inizio degli anni 70 sono state effettuate isolando lo strumento in un ambiente adatto alle misure acustiche
- La presenza del musicista determina una variazione delle caratteristiche direzionali
 - **Violino**: testa e spalle del violinista → effetto mascheramento
 - **Violoncello**: il corpo del musicista copre quasi interamente il fondo dello strumento

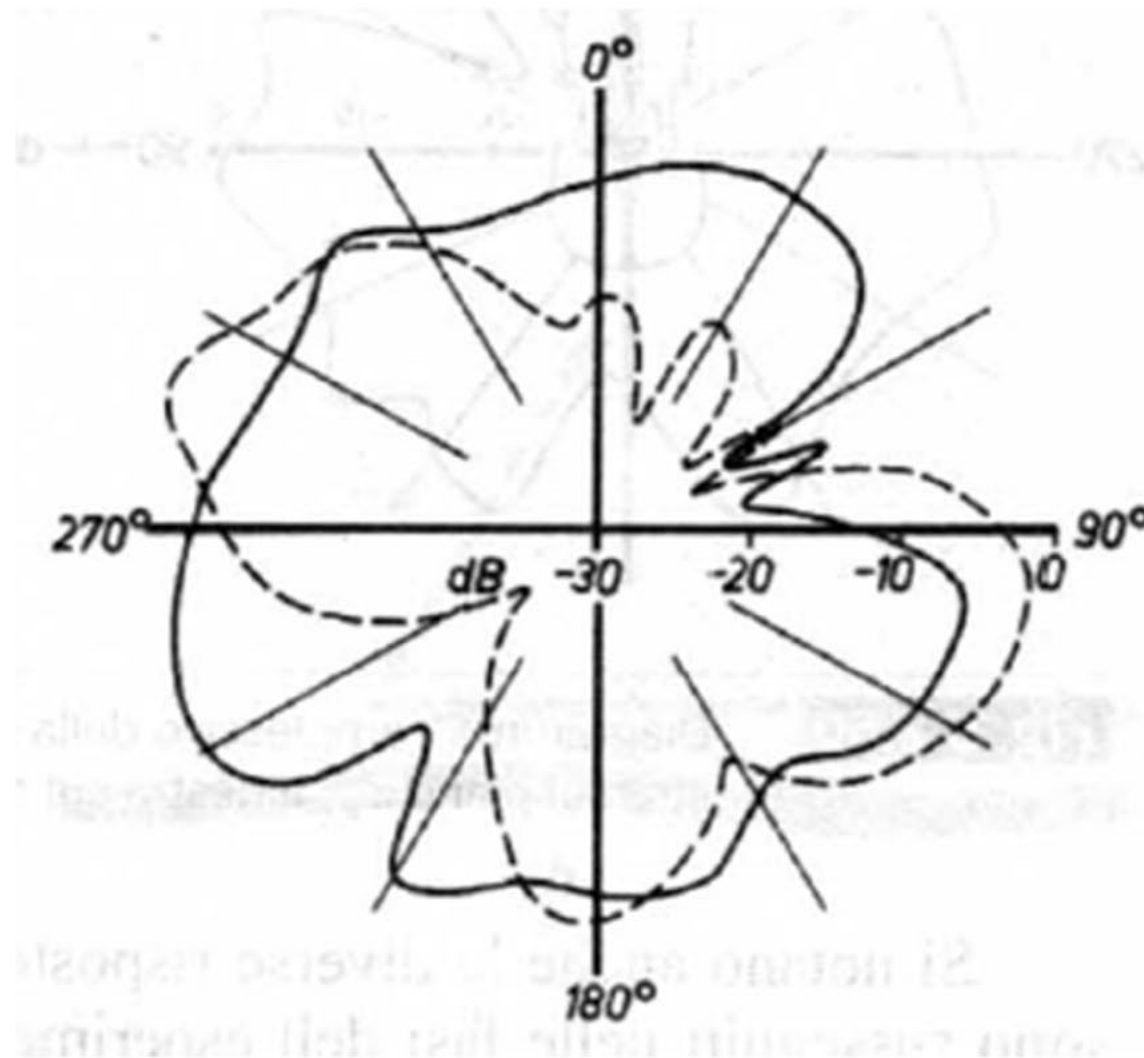
3.1 Il violino

- Nelle figure
 - [slide 80]: Diagramma della direzionalità di un violino a 440 Hz (II vuota) – due esecutori
 - [slide 81]: 880 Hz (II, 1° arm. nat.) – due esecutori
 - [slide 82]: 879 Hz (III, 3° arm. nat.)
 - [slide 83]: Diagramma complessivo – piano XY
 - [slide 84]: Diagramma complessivo – piano XZ

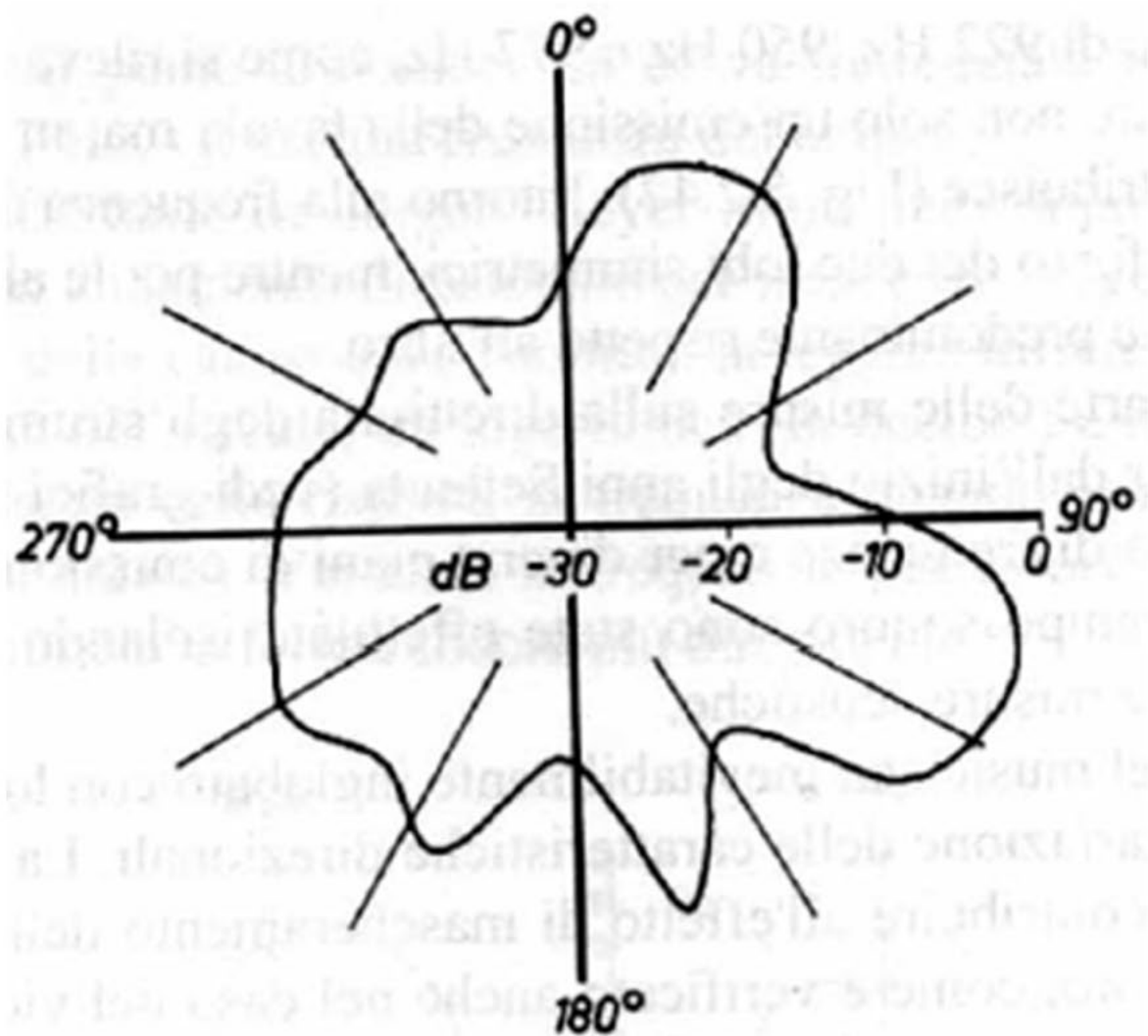
3.1 Il violino



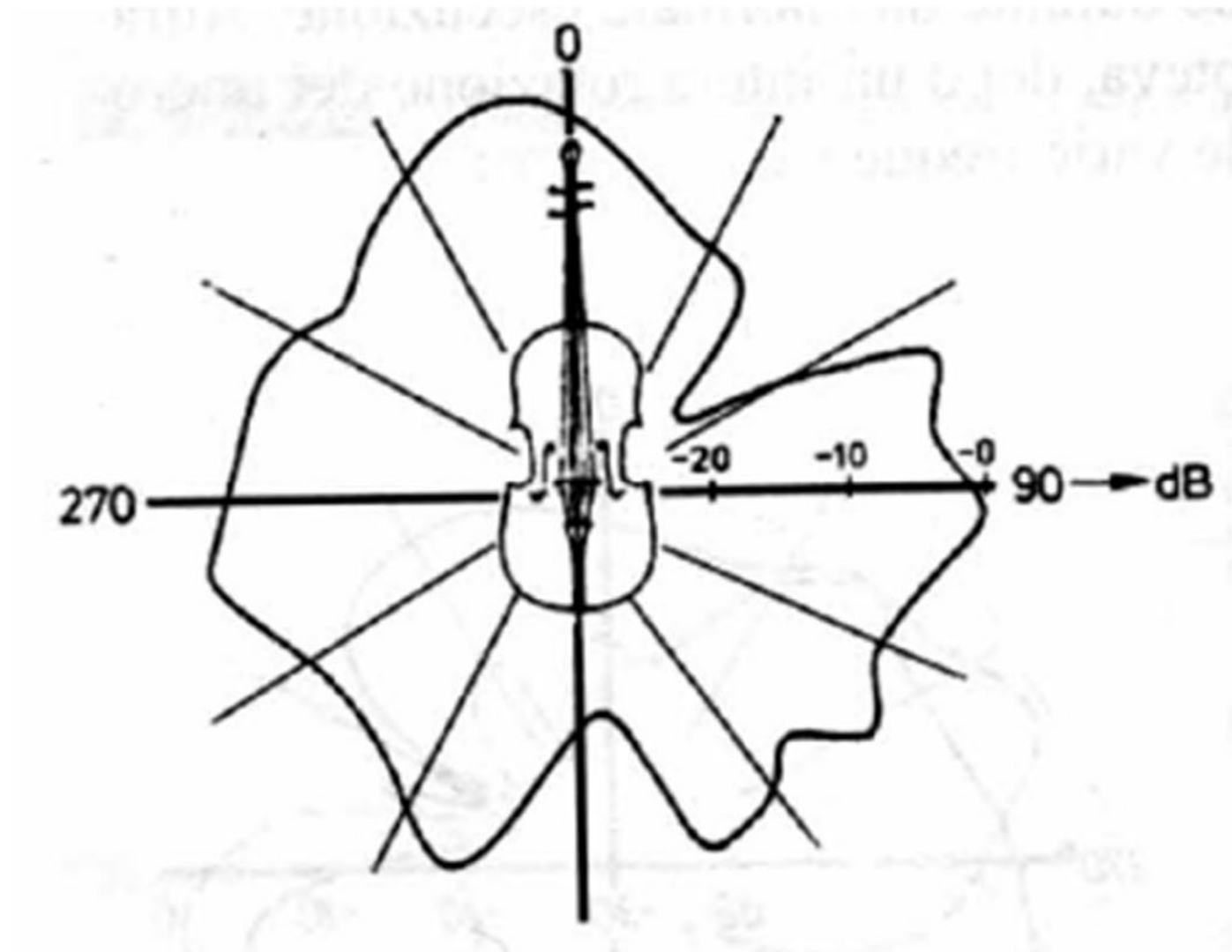
3.1 Il violino



3.1 Il violino

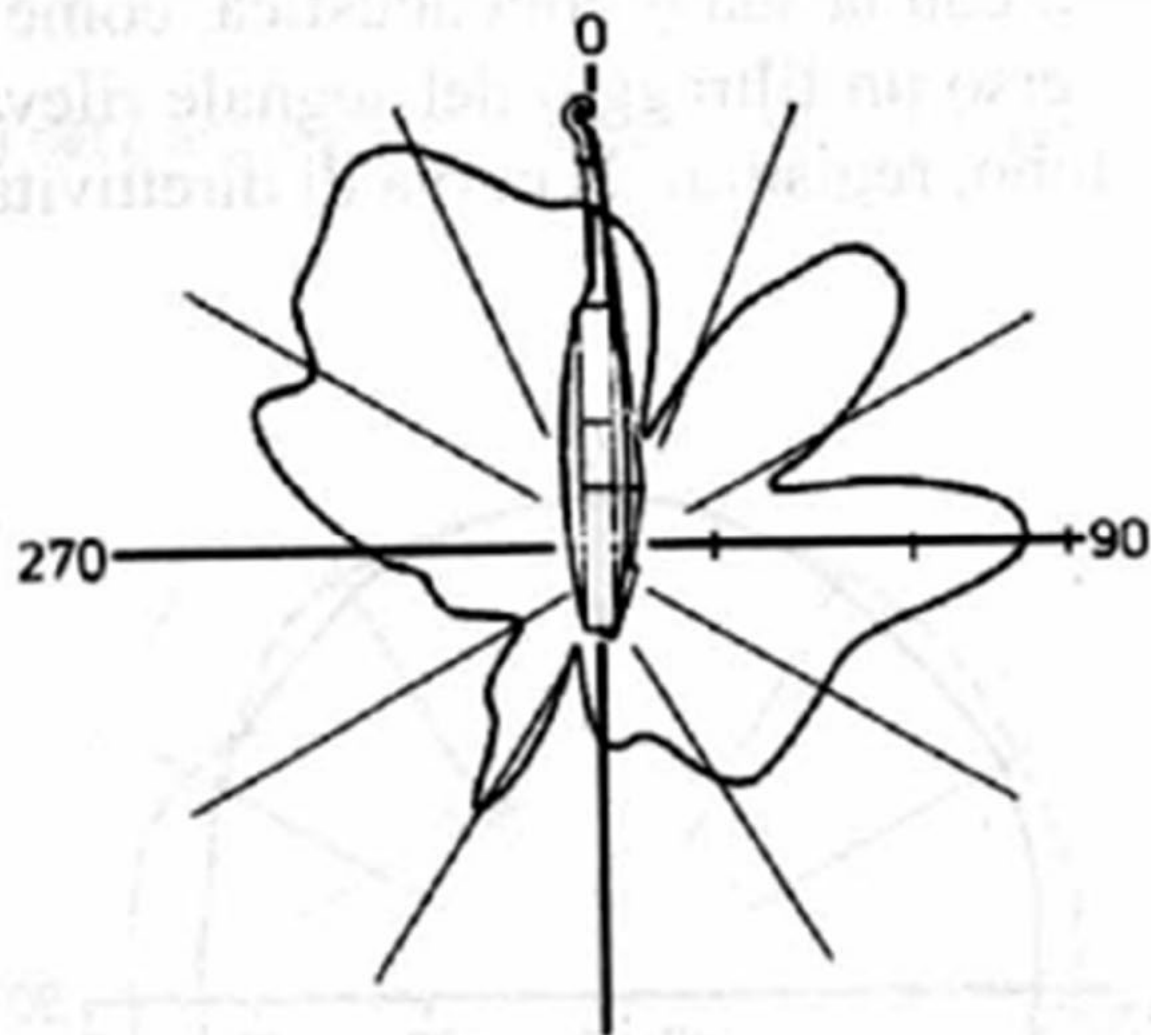


3.1 Il violino



Marco Marinoni - Conservatorio
«L. Marenzio» - Brescia

3.1 Il violino



3.1 Il violino

- La lunghezza d'onda della più bassa **frequenza di risonanza** del violino è di 1,7m (IV, sol, 196 Hz)
- La più alta **frequenza flessionale** ottenibile sul corpo dello strumento è di 0,35 m (950 Hz)
- La più bassa **frequenza di risonanza** eccede la più alta **frequenza flessionale**

3.1 Il violino

- **Frequenza critica:** quella per cui le frequenze di risonanza uguagliano quelle flessionali sulla tavola
- $f_{\text{fless}} < f_{\text{ris}} \rightarrow$ cortocircuito idrodinamico che annulla l'irraggiamento sonoro
 - ci troviamo sotto la frequenza critica
- $f_{\text{fless}} > f_{\text{ris}} \rightarrow$ radiazione in campo lontano
 - ci troviamo sopra la frequenza critica

3.1 Il violino

- Il violinista ha la testa molto vicina alla tavola armonica e ha l'impressione di un'elevata radiazione e vibrazione proveniente dallo strumento
 - Ma se i modi di vibrazione non presentano un'efficienza radiativa in campo lontano, l'ascoltatore non riceve lo stesso contributo sonoro, a determinate frequenze

3.2 Gli altri strumenti del quartetto d'archi

- Il 98% della ricerca in campo acustico sugli strumenti ad arco riguardano il violino
 - È possibile estendere i risultati agli altri strumenti mantenendo gli stessi principi fisici di funzionamento:
 - La corda in oscillazione
 - Il ponticello come trasduttore meccanico
 - La vibrazione del corpo risonante

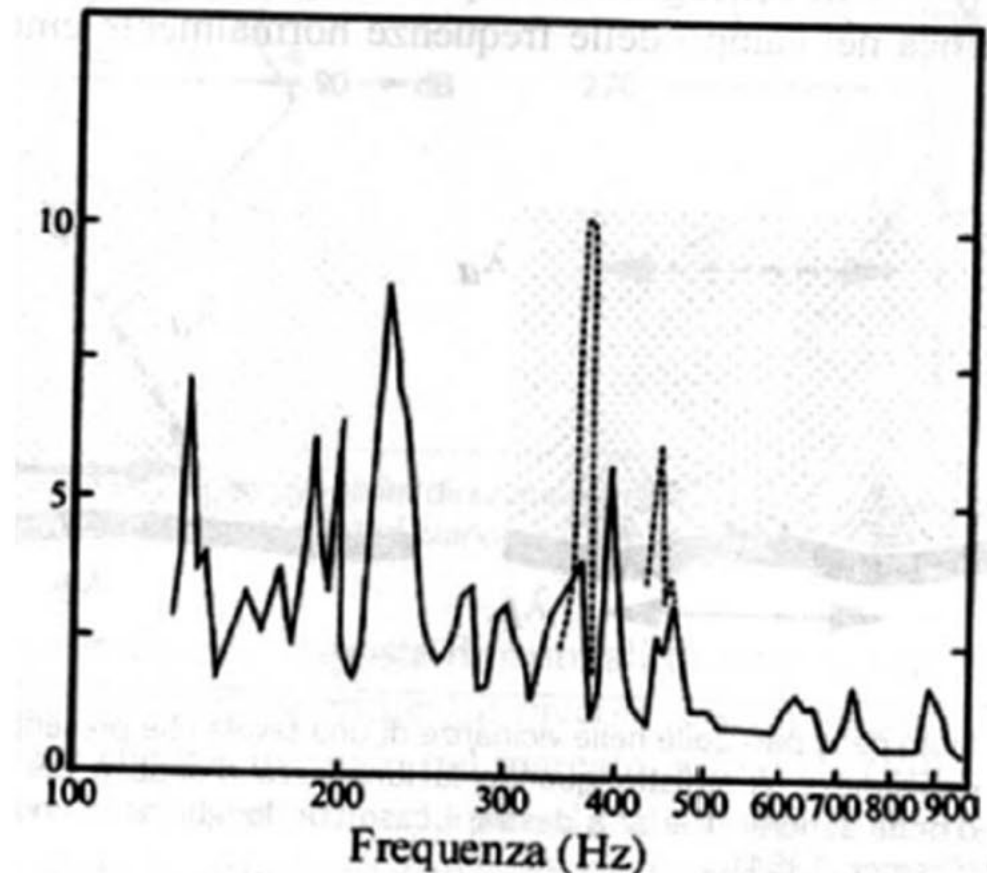
3.2 Gli altri strumenti del quartetto d'archi

- **Viola:**

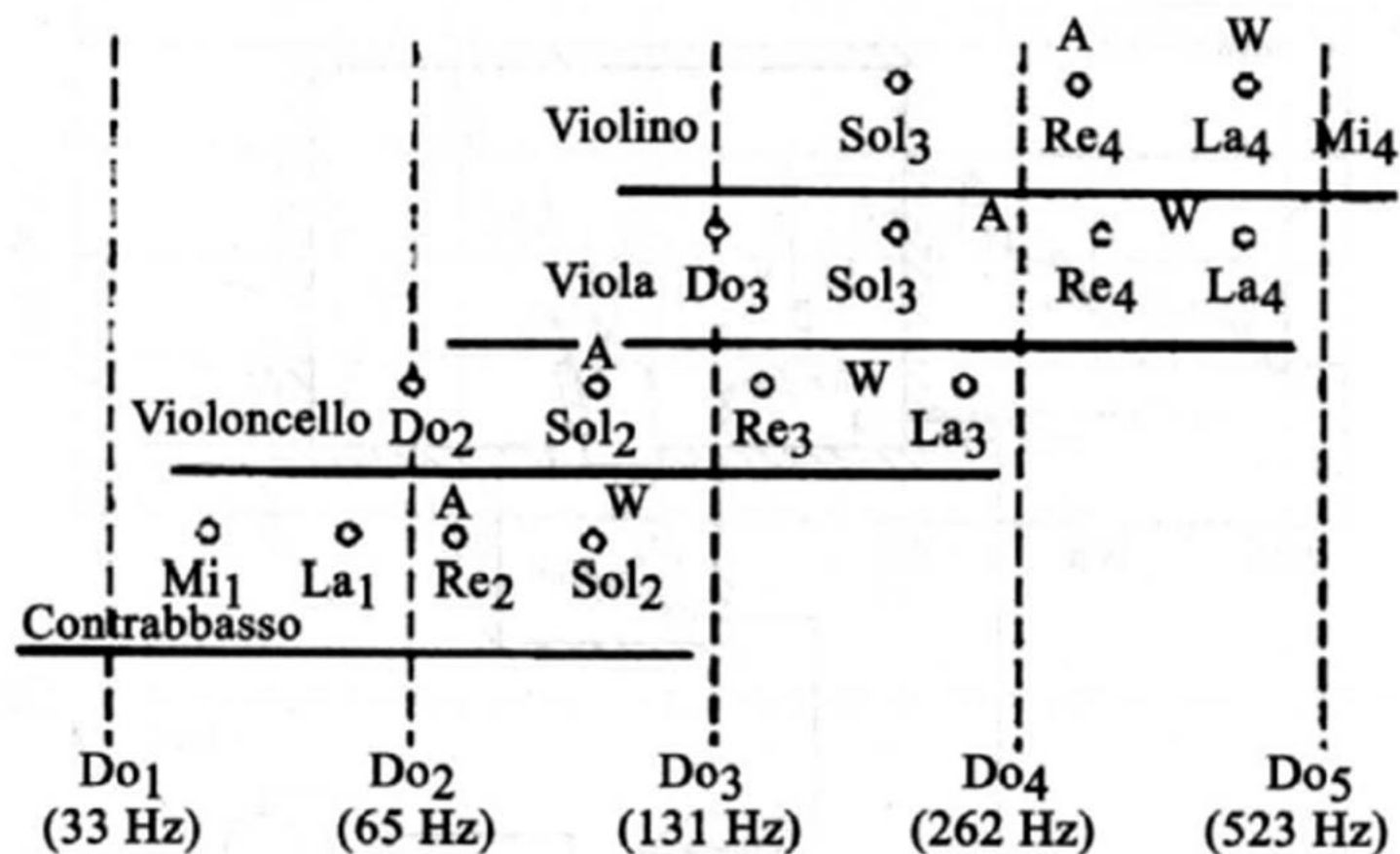
- I picchi delle principali risonanze sono in posizione più bassa del 30-40% rispetto al violino
 - Ma non regolarmente scalate
- La maggiore potenza di emissione è dovuta alla risposta risonante delle corde I e II (re3 e la3)

3.2 Gli altri strumenti del quartetto d'archi

- Spettro di frequenza di una viola
 - Linea continua: III e IV
 - Linea tratteggiata: I e II



3.2 Gli altri strumenti del quartetto d'archi



Risonanze della cavità (A) e del corpo (W) di violino, viola, violoncello e contrabbasso, rispetto alle frequenze delle corde libere (Fletcher, Rossing, 1991)

3.2 Gli altri strumenti del quartetto d'archi

- **Violoncello:**

- Lunghezza delle **tavole armoniche** doppia rispetto al violino
- **Fasce laterali** quasi quattro volte più alte
- La frequenza delle f (A nella figura [slide 91]) è nello stesso rapporto di vicinanza, accanto alla frequenza della terza corda
- La **punta di sostegno** ha una precisa funzione acustica
 - Incremento dell'irraggiamento sonoro (vd. Diapason appoggiato contro una tavola)

3.2 Gli altri strumenti del quartetto d'archi

- **Contrabbasso:**
 - Risonanza delle f intorno ai 60 Hz
 - Risonanza del corpo intorno ai 100 Hz
 - Alcuni presentano un andamento in frequenza con aumento della risposta dai 250 Hz fino a un picco massimo intorno ai 600 Hz, quindi il livello decade con una pendenza di circa 10 dB per ottava (vedi figura [slide 94])

3.2 Gli altri strumenti del quartetto d'archi

