

Marco Marinoni

# ACUSTICA E PSICOACUSTICA MUSICALE

- **Lezione 8. Acustica degli strumenti musicali (6)**
  - *Le percussioni – parte 1 – i membranofoni*
    - 8.1 Introduzione
    - 8.2 Evoluzione delle percussioni
    - 8.3 Membrane e risonatori
    - 8.4 Il timpano
  - *Le percussioni – parte 2 – Gli idiofoni*
    - 8.5 Introduzione
    - 8.6 Xilofono e marimba
    - 8.7 Vibrafono
    - 8.8 Piatti e gong
    - 8.9 Irraggiamento e decadimento del suono
    - 8.10 L'intensità di radiazione acustica

# 1 – i membranofoni: introduzione

- Le percussioni sono **i più antichi strumenti musicali utilizzati dall'uomo**, da tutte le civiltà del globo terrestre
- Durante il romanticismo furono relegate a ruoli secondari
- Negli ultimi decenni si è registrata nuova attenzione
  - Anche da parte dei fisici acustici
    - **Thomas Rossing**
- Due gruppi
  - Membranofoni
    - Membrana vibrante accoppiata a una cassa armonica
      - Timpano, tamburi in generale
  - Idiofoni
    - La parte vibrante è rigida (es. barre, piastre o tubi)
      - Xilofono, vibrafono, gong, glockenspiel, campane

## 2 – evoluzione delle percussioni

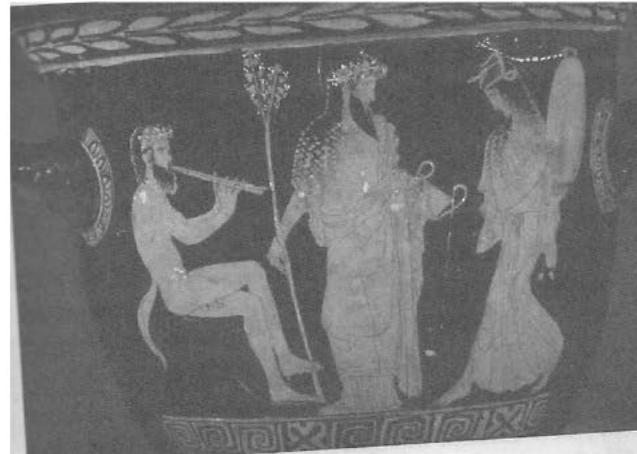
- Prime testimonianze: 5000 anni fa, antenati del timpano
  - **Mesopotamia:** tronchi scavati a forma di paiolo o scodelle di argilla ricoperte con pelle tesa
  - **Israele:** piccoli timpani ereditati dagli egiziani (A. Kircher, *Musurgia universalis*, 1650)



Marco Marinoni - Conservatorio  
"L. Marenzio" - Brescia

## 2 – evoluzione delle percussioni

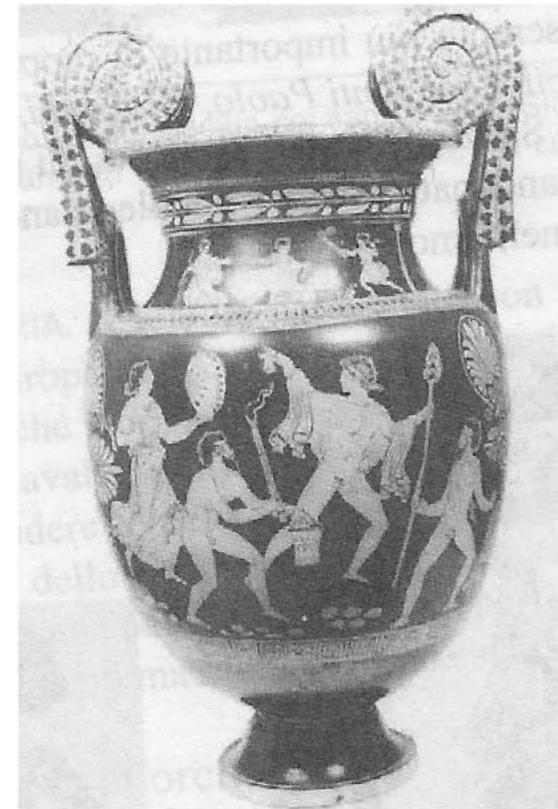
- Il **tympanon**: nome che proviene da un tamburo a cornice conosciuto dai Sumeri. Nel V sec a.C. fu importato in Grecia dall'oriente insieme ai culti di Dioniso e Cibele
  - Nella sua forma più semplice: un cerchio di legno o di metallo sul quale erano tese due pelli (*ek dermàton*, Sachs) di bue
    - Tamburo a cornice



Marco Marinoni - Conservatorio  
"L. Marenzio" - Brescia

## 2 – evoluzione delle percussioni

- Su alcuni vasi sono rappresentati timpani di forma diversa:
  - invece di essere piatti hanno forma sferica, la pelle è tesa su tutta la faccia superiore e lungo i lati inclinati. Lungo il bordo vi sono chiodi di fissaggio. Il centro è segnato da un cerchio nero circondato da puntini
- Documentato anche nel mondo etrusco (vaso porta unguenti del 330-300 a.C.)



# 2 – evoluzione delle percussioni

- **La civiltà musulmana**

- Percussioni molto diffuse dopo la caduta dell'Impero Romano d'Occidente
  - Vasi in terracotta prima, poi in metallo, forma ovale o semisferica, con membrana tesa sopra all'apertura
- XII sec. Anche timpani di grandi dimensioni, due tamburi di differente dimensione usati contemporaneamente
  - Sistemati sul terreno e inclinati non verso l'esecutore ma verso l'esterno, più agevole per l'esecutore che suona in piedi

# 2 – evoluzione delle percussioni

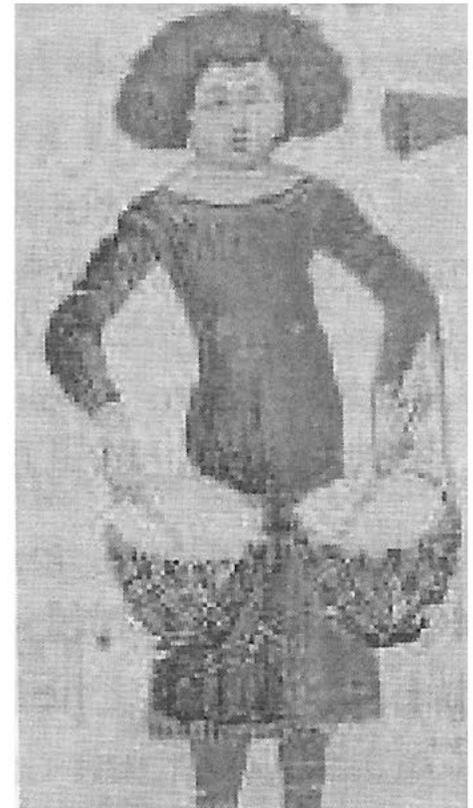
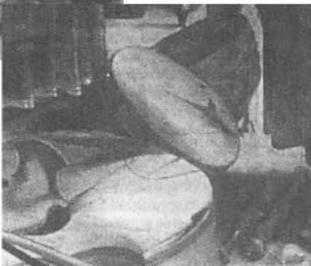
- **Medioevo e Rinascimento in Europa**

- Le Crociate del XIII sec. importarono in *naqqara* → *nacaires* (fr.), *naccheroni* (it.), *nackers* (ing.)

- Piccoli tamburi semisferici con una sola pelle, caldaia in rame, legno o argilla, sostenuti da una cinghia attorno alla vita o alla spalla dell'esecutore

- Raffaello Sanzio, *Santa Cecilia*, 1513

- gli strumenti della musica profana, rotti e gettati a terra, simbolo della rinuncia ai beni terreni



# 2 – evoluzione delle percussioni

- **Medioevo e Rinascimento in Europa**

- Il timpano da cavalleria

- Grazie ai contatti con l'impero ottomano, gli ungheresi introdussero in Europa nel sec. XVI i **timpani come strumento di incitamento alla battaglia**
    - Tamburi a paiolo in rame, con lacci per tendere le pelli, in seguito sostituiti da viti disposte attorno alla faccia dello strumento che stringevano o allentavano il cerchio di ferro che teneva tesa la pelle

## 2 – evoluzione delle percussioni

- **Le percussioni in orchestra**

- XVII sec. I chiodi o i legacci furono sostituiti da viti di tensione per il fissaggio della pergamena
  - Maggiore precisione nell'accordatura degli strumenti
- Toccata dell'*Orfeo* di Monteverdi (1607)
- Lully, *Teseo* (1675), prima entrata ufficiale del timpano in orchestra
- Purcell, *Fairy Queen* (1692), primo a solo di timpano

## 2 – evoluzione delle percussioni

- **Bach** per primo accanto all'accordatura di quarta, utilizzò l'accordatura di quinta con la dominante sopra alla tonica
- **Seconda metà del '700:** più accordature contemporaneamente
  - **Mozart**, *Flauto magico*, primo caso di “preparazione” del timpano, con una pezzo di stoffa per smorzare le parziali più acute
- Nel periodo romantico le percussioni sono utilizzate alla stregua di qualsiasi altro strumento
  - **Berlioz** sperimentò sui materiali della mazzuola
- **Bartok**, *Sonata per due pianoforti e percussioni* (1937) [VIDEO DOCUMENTO [pt1](#) [pt2](#)]

# 3 – membrane e risonatori

- Nei **membranofoni** le parti vibranti sono membrane tese, che hanno caratteristiche simili a quelle della corda
  - Sia la frequenza della corda, sia quella della membrana sono direttamente proporzionali al quadrato della tensione e inversamente proporzionali a
    - Lunghezza (corda)
    - Diametro (membrana)

# 3 – membrane e risonatori

- La membrana **non ha nodi puntiformi** come la corda
- I **nodi** della membrana sono costituiti da
  - Linee circolari concentriche alla circonferenza
  - Linee rette corrispondenti a tutti i possibili diametri
- Nella corda le **frequenze modali** sono armoniche (progressione numerica 1, 2, 3...), nella membrana esse dipendono da funzioni non progressive (Bessel), quindi non armoniche

# 3 – membrane e risonatori

- Sia nella corda che nella membrana le **frequenze modali** sono direttamente proporzionali alla radice della tensione
- Per la corda esse sono inversamente proporzionali alla lunghezza, per la membrana esse sono inversamente proporzionali al diametro
  - Per aumentare di un'ottava la frequenza della membrana è necessario quadruplicare la tensione
  - A parità di tensione, raddoppiando il diametro della membrana, la frequenza si dimezza

# 3 – membrane e risonatori

- **Membrane reali e rigidità dell'aria**
  - Le funzioni di Bessel sono un modello teorico, dal quale le membrane reali si discostano in modo rilevante, a causa della
    - **Rigidità della membrana**
      - Innalzamento delle frequenze modali più elevate
    - **Presenza dell'aria all'interno della caldaia**
      - Oppone resistenza al movimento della membrana, abbassando le frequenze modali dei primi modi di vibrazione

# 3 – membrane e risonatori

- **Modi di vibrazione della membrana ideale**
  - Indicati da nodi (m,n)
    - m: nodi diametrali
    - n: nodi circolari
  - **Primo modo (0,1)**: nodo circolare corrispondente alla stessa circonferenza
  - **Secondo modo (1,1)**: membrana divisa in due dal nodo diametrale e le due metà si muovono in senso opposto
  - **Terzo modo (2,1)**: un nodo circolare e due nodi diametrali perpendicolari tra loro; i quadranti adiacenti si muovono in direzioni opposte
  - **Quarto modo (0,2)**: due nodi circolari concentrici che muovono in direzioni opposte

# 4 – il timpano

- Produce **una nota ad altezza definita**
- Tuttavia i modi di vibrazione della membrana sono relativi a frequenza che non formano una serie armonica, quindi viene meno alla regola di **Helmholtz** per cui *“un suono musicale, per avere un'altezza definita, deve possedere componenti parziali in relazione armonica”*
  - Vi sono più interpretazioni sulle ragioni per cui il timpano, malgrado ciò, continui a produrre una nota ad altezza definita

# 4 – il timpano

- **Lord Rayleigh**, *Theory of Sound* (1945) studiò l'influenza della caldaia sul movimento dell'aria imprigionata in essa
  - L'altezza percepita è quella del secondo armonico, prodotto dal primo nodo diametrale senza nodo circolare
  - Le tre armoniche successive stanno a distanza di quinta (1.5 [modo 2,1]), settima maggiore (1.89 [modo 3,1]) e ottava imperfetta (ca. 2 [modo 1,2])
    - Una membrana ideale avrebbe le armoniche a 1.34, 1.66, 1.83

# 4 – il timpano

- Modi di vibrazione di una membrana in un timpano. Al modo (1,1) si deve la percezione dell'altezza della nota prodotta

Componente ( <i>m,n</i> )	Rapporto teorico $f_{m,n} / f_{(1,1)}$	Rapporto reale $f_{m,n} / f_{(1,1)}$
0,1	0,63	–
1,1	1,00	1,00
2,1	1,34	1,50
3,1	1,66	1,89
1,2	1,83	2,00

# 4 – il timpano

- **Arthur Benade** nel 1973 partì dal lavoro di Rayleigh, studiò un timpano di 65 cm intonato su un DO a 130,8 Hz e, con l'aiuto di Cloyd Duff, timpanista della Cleveland Orchestra, individuò le prime 10 componenti

# 4 – il timpano

- **P, S e X** sono in rapporto armonico ( $f = DO2$ )
- **Q e X** possono essere considerati fondamentale e secondo armonico di un  $f = 196$  Hz (SOL 2)
- **P, Q, S, U, e X** possono essere 2°, 3°, 4°, 5° e 6° armonico di una fondamentale inesistente fissata a C1

Componente ( $m,n$ )	Rapporto $f_{m,n} / f_{(0,1)}$
P	1,000
Q	1,504
R	1,742
S	2,000
T	2,245
U	2,494
V	2,800
W	2,852
X	2,979
Y	3,462

# 4 – il timpano

- **Thomas Rossing** determinò una relazione tra i modi di vibrazione del timpano e i rapporti armonici
  - Sottolineò che i rapporti erano armonici di una fondamentale che si trovava un'ottava sotto alla frequenza del modo (1,1)

Componente ( <i>m,n</i> )	Rapporto $f_{m,n} / f_{(1,1)}$
1,1	1,00
2,1	1,50
3,1	2,00
4,1	2,44
5,1	2,90

# 4 – il timpano

- L'intensità e la durata di tali armoniche rispetto al suono principale non sono sufficienti all'orecchio per individuare lo spettro armonico
  - Per questa ragione la fondamentale non è ricostruita dall'orecchio e non è percepita nel timpano, malgrado ciò accada in altri strumenti musicali

# 4 – il timpano

- **La presenza dell'aria nel timpano**
  - La membrana ideale vibra nel vuoto, quella reale vibra nell'aria ed è a sua volta piena di aria (*air loading*)
    - Questo provoca un abbassamento dei modi di vibrazione, più evidente alle basse frequenze
  - L'effetto dovuto al carico d'aria porta a variazioni delle frequenze dei primi modi di vibrazione fino al 40%, specie se la membrana è poco tesa (Rossing)

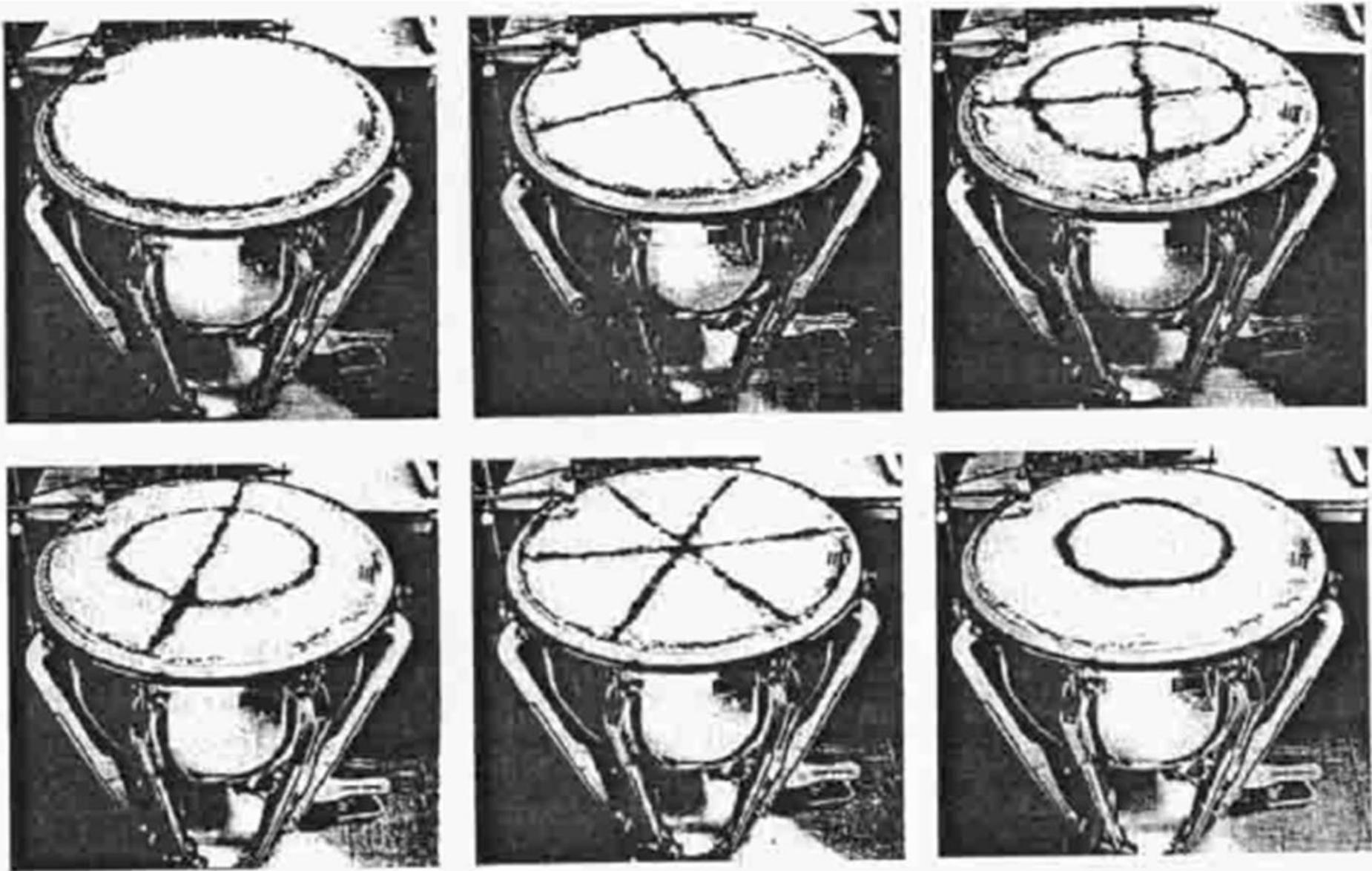
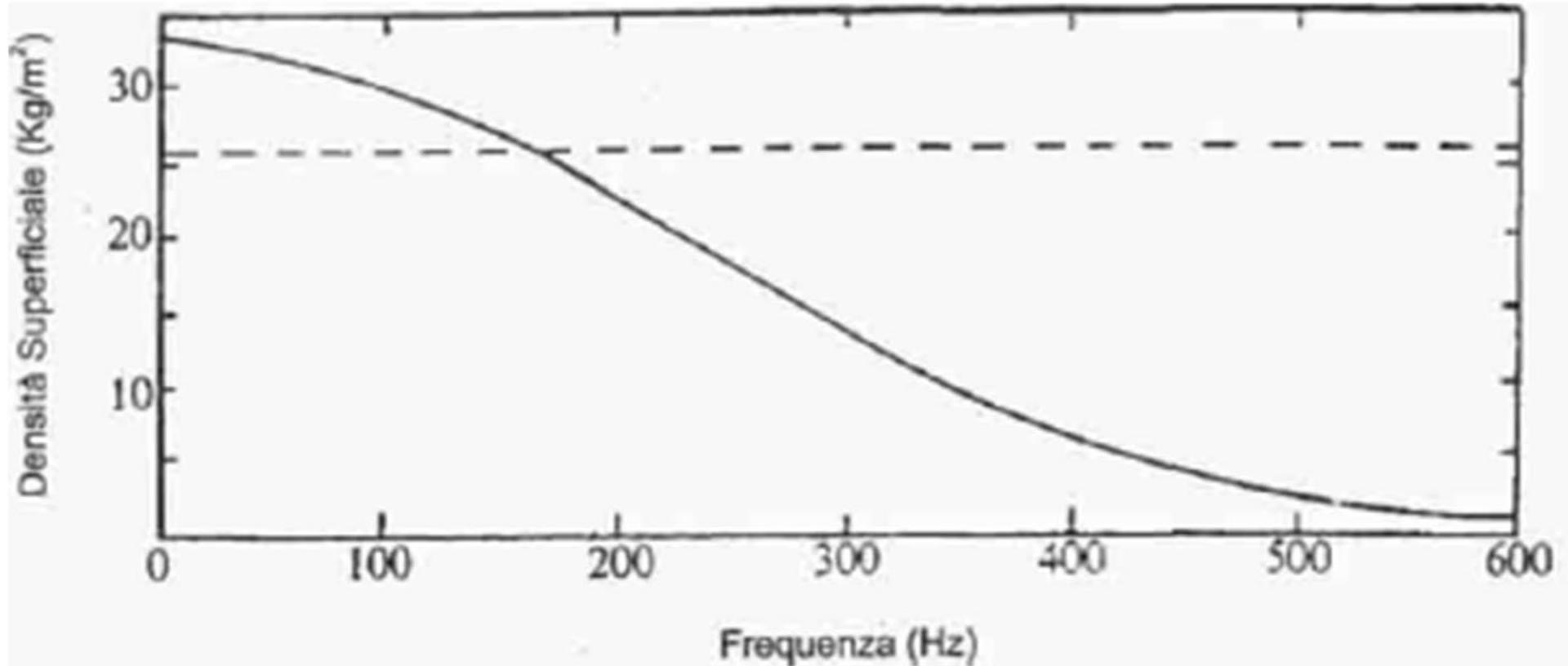
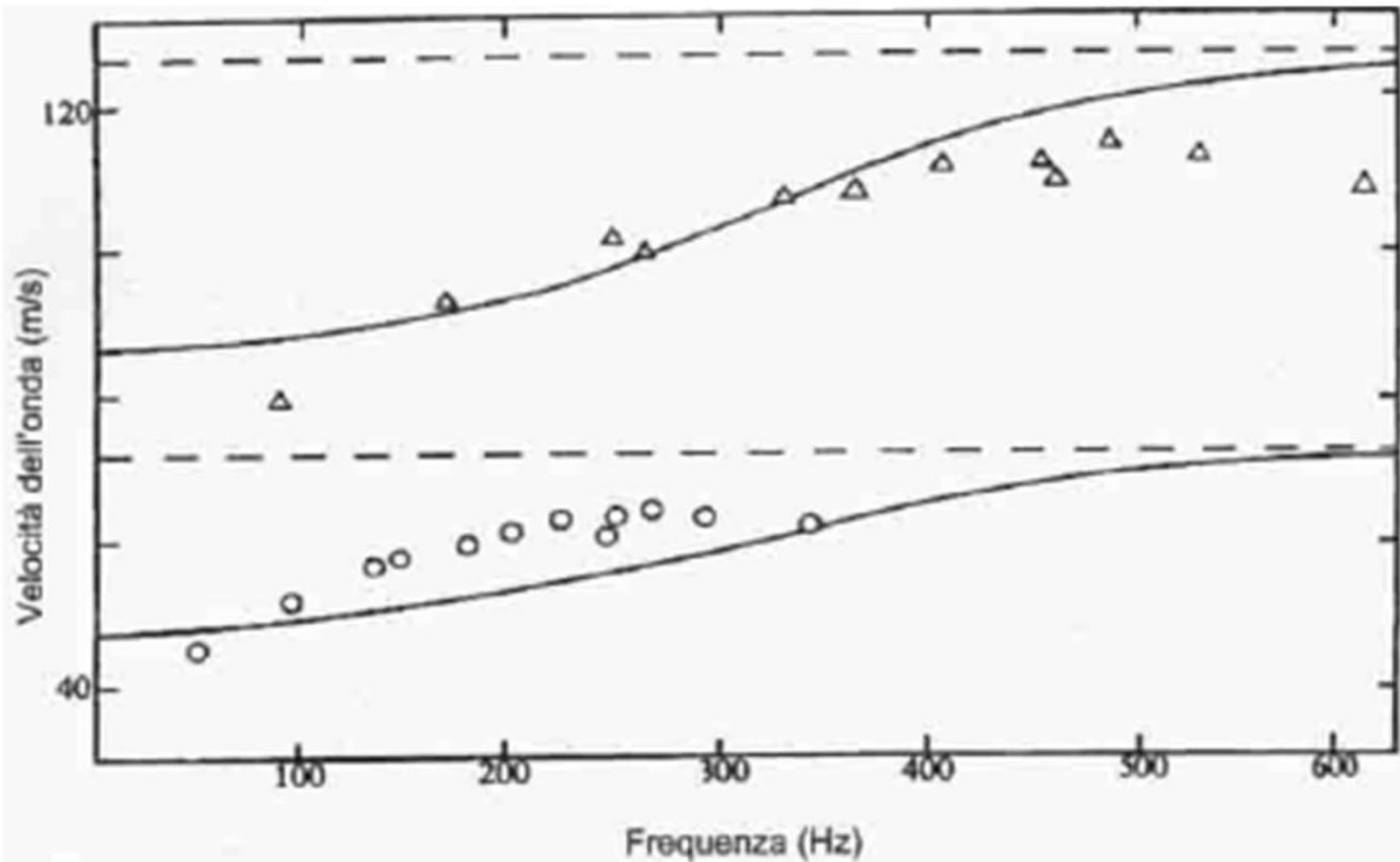


Figure di Chladni su un timpano (Rossing, 1982)

# 4 – il timpano



Effetto della rigidità dell'aria su un pistone circolare in un diaframma molto grande. La densità dell'aria è rapportata alla densità della membrana (Fletcher, Rossing, 1998)



Velocità delle onde trasversali su una membrana di mylar in funzione delle frequenze, per due valori della tensione (linee continue). Le linee tratteggiate rappresentano la membrana ideale; Sono rappresentati anche singoli valori sperimentali (Fletcher, Rossing, 1998)

Modi ( <i>m,n</i> )	Membrana ideale		Senza caldaia		Con caldaia	
	$f_{m,n}$ (Hz)	$f_{m,n} / f_{(1,1)}$	$f_{m,n}$ (Hz)	$f_{m,n} / f_{(1,1)}$	$f_{m,n}$ (Hz)	$f_{m,n} / f_{(1,1)}$
0,1	143	0,63	89	0,54	131	0,87
1,1	228	1,00	165	1,00	150	1,00
2,1	306	1,34	237	1,44	227	1,51
0,2	328	1,44	257	1,55	253	1,68
3,1	380	1,66	308	1,92	299	1,99
1,2	417	1,83	343	2,08	352	2,34
4,1	452	1,98	377	2,28	370	2,46
2,2	501	2,20	424	2,57	411	2,74
5,1	522	2,29	445	2,69	434	2,93
3,2	581	2,55	501	3,04	492	3,28
6,1	591	2,61	512	3,10	507	3,38
1,3	605	2,66	525	3,18	507	3,38
4,2	658	2,89	578	3,50	570	3,80

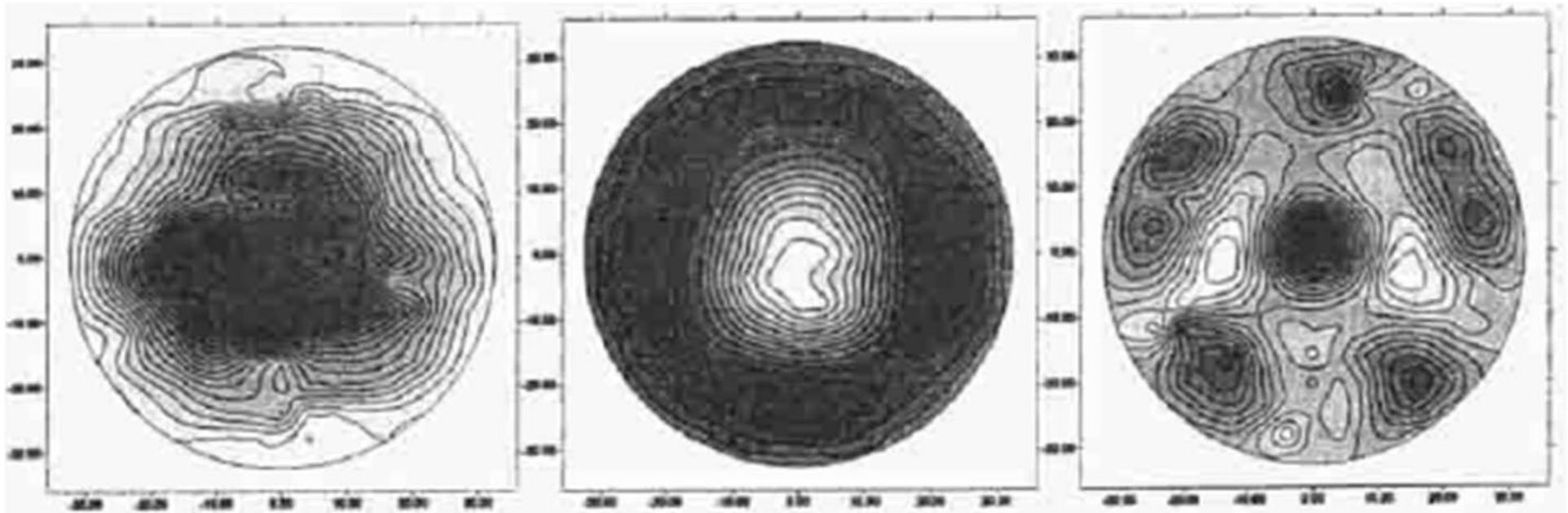
Frequenze modali del timpano (tensione  $T = 3990$  N/m) calcolate secondo il metodo di Christian et al. Confronto tra una membrana ideale, timpano senza e con la caldaia (Christian et al., 1984)

# 4 – il timpano

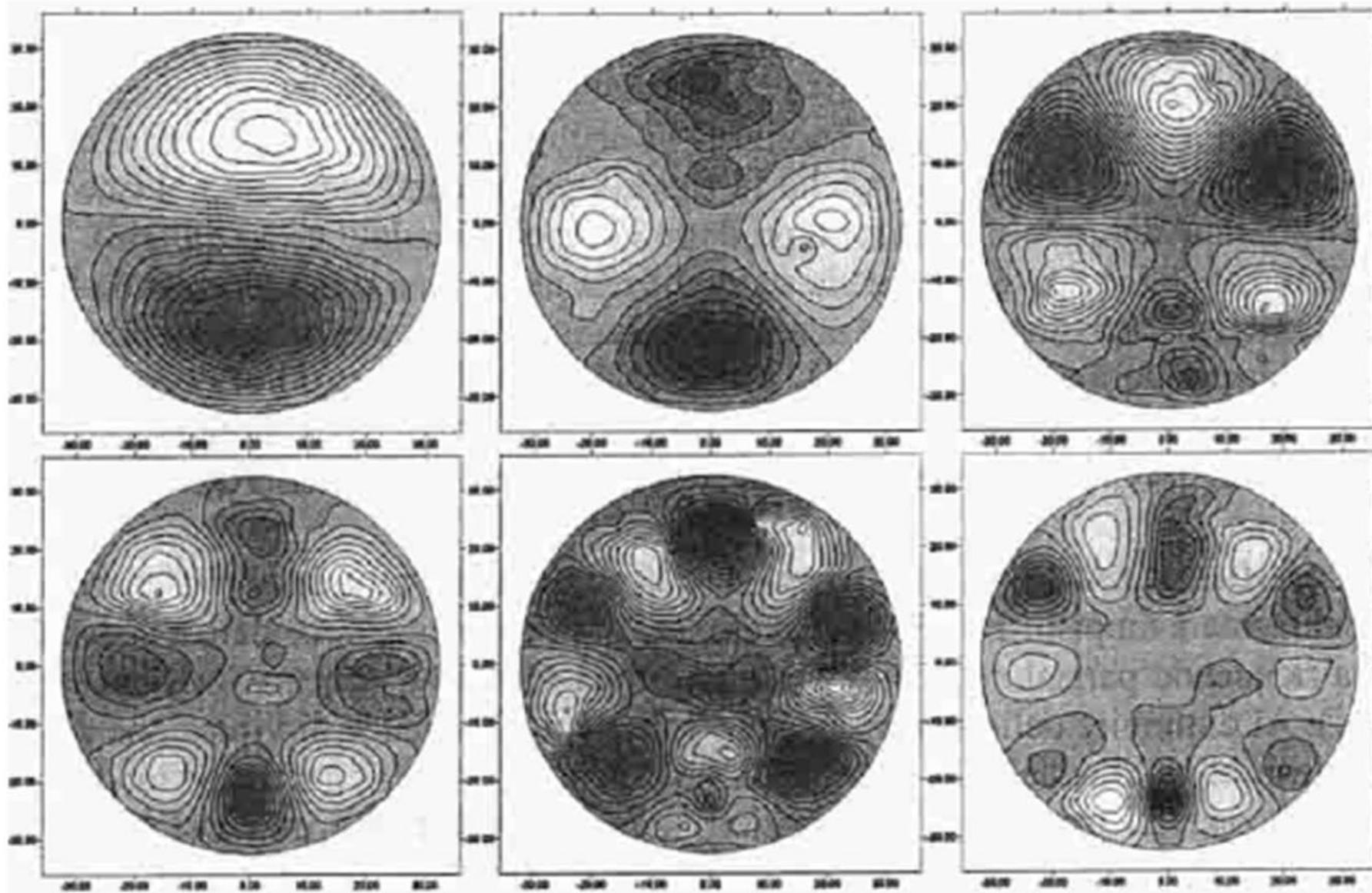
- **Analisi modale sui timpani**

- E' stato quindi possibile calcolare numericamente l'effetto della massa d'aria contenuta nella caldaia sul modo di vibrare dell'intero strumento
- Nel **timpano senza caldaia** i modi (1,1), (2,1), (3,1) e (4,1) hanno frequenze in rapporto quasi armonico: 1.00 : 1.47 : 1.91 : 2.36
- Nel **timpano con la caldaia** essi sono in rapporto quasi perfettamente armonico: 1.00 : 1.50 : 1.97 : 2:44
  - Il carico di massa d'aria, abbassando il modo (1,1) contribuisce a instaurare rapporti armonici tra le frequenze immediatamente superiori

# 4 – il timpano



Modi di vibrazione esclusivamente circolari in un timpano: da sinistra (0,1), (0,2), (0,3) (Tronchin et al., 2004)



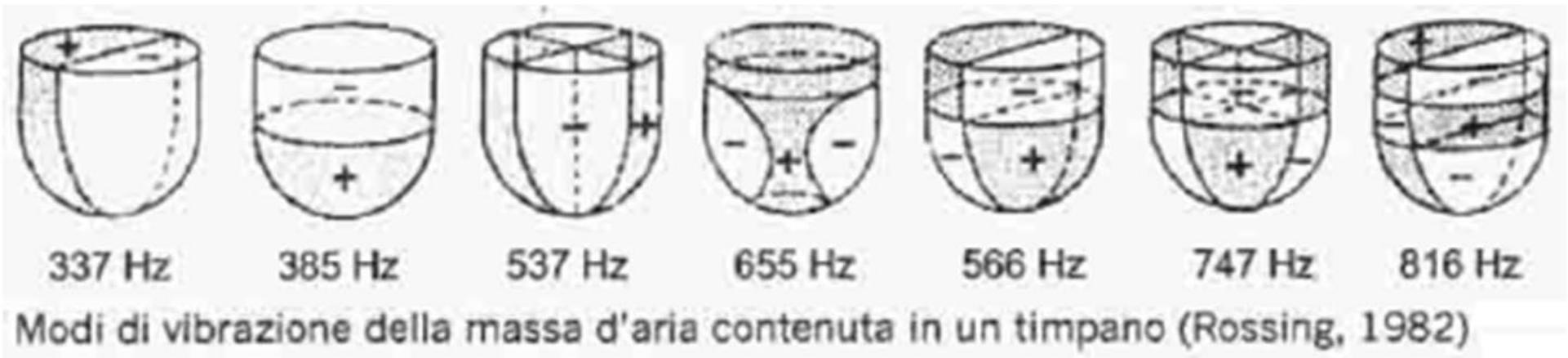
Modi di vibrazione esclusivamente radiali in un timpano: da sinistra (1,1), (2,1), (3,1), (4,1), (5,1), (6,1) (Tronchin et al., 2004)

# 4 – il timpano

- La **caldaia** influisce anche sui modi circolari, aumentandone le frequenze di vibrazione
  - L'aria contenuta agisce come una **molla** che viene compressa dall'abbassamento della membrana e reagisce riportandola nelle condizioni di equilibrio
- Questo effetto è presente anche in altri strumenti musicali dotati di cassa armonica ma è estremamente percettibile nelle percussioni a causa della **rigidità dell'aria** racchiusa nella caldaia e varia con la tensione esercitata sulla membrana

# 4 – il timpano

- I modi di vibrazione dell'aria interagiscono con quelli della membrana
- MEMBR. (1,1) 150 Hz → ARIA 337 Hz
- MEMBR. (2,1) 227 Hz → ARIA 537 Hz ecc.



# 4 – il timpano

- **Rigidità della membrana**
  - Contribuisce alla modificazione del timbro del suono prodotto dalla rigidità dell'aria (*stiffness*)
    - Le frequenze modali subiscono incrementi dell'ordine di 0.5 %

# 4 – il timpano

- **Volume della caldaia**
  - Varia a seconda del periodo storico
  - Le variazioni di volume modificano i rapporti armonici
    - Fino a una diminuzione del 25% per il modo (1,1) la frequenza di vibrazione rimane pressochè inalterata
    - Con una diminuzione del 75% la frequenza di vibrazione passa da 170 Hz a 148 Hz (diminuzione del 13%)

# 4 – il timpano

- **Apertura nella caldaia**
  - La caldaia del timpano presenta una **piccola apertura sul fondo**
  - La sua chiusura produce effetti trascurabili sulla variazione delle frequenze
  - **Rossing** provò a chiudere il foro con un tappo di gomma
    - Nessun effetto sull'estinzione del modo (0,1)
    - Il tappo abbassava la frequenza del modo dello 0.4%

# 5 – gli idiofoni: introduzione

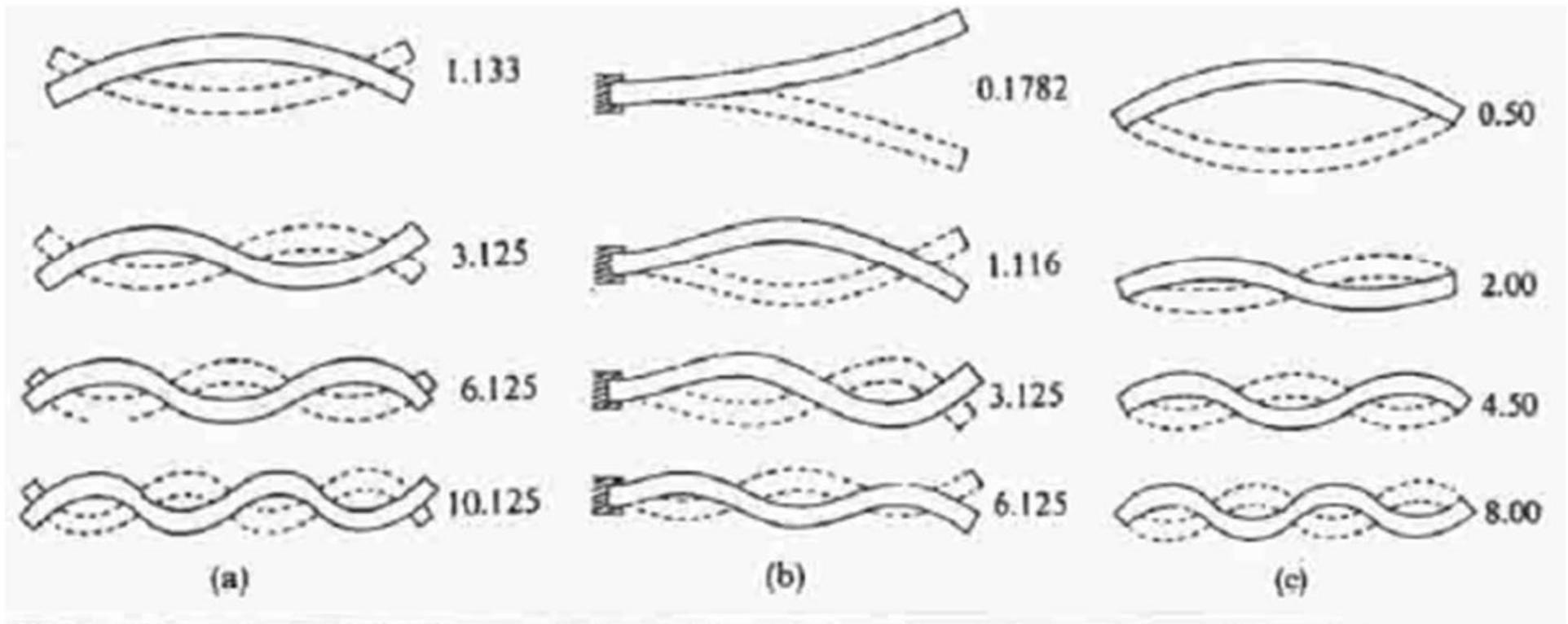
- Producono un suono per effetto della **vibrazione di parti rigide**
- Se l'unico membranofono in grado di produrre un'altezza determinata era il timpano, molti idiofoni sono in grado di farlo

# 5 – gli idiofoni: introduzione

- **Le barre**

- La propagazione dell'onda vibratoria nelle barre rigide varia a seconda delle condizioni al contorno
  - Barra libera in entrambi gli estremi
  - Barra incernierata a un estremo
  - Barra incernierata a entrambi gli estremi

# 5 – gli idiofoni: introduzione



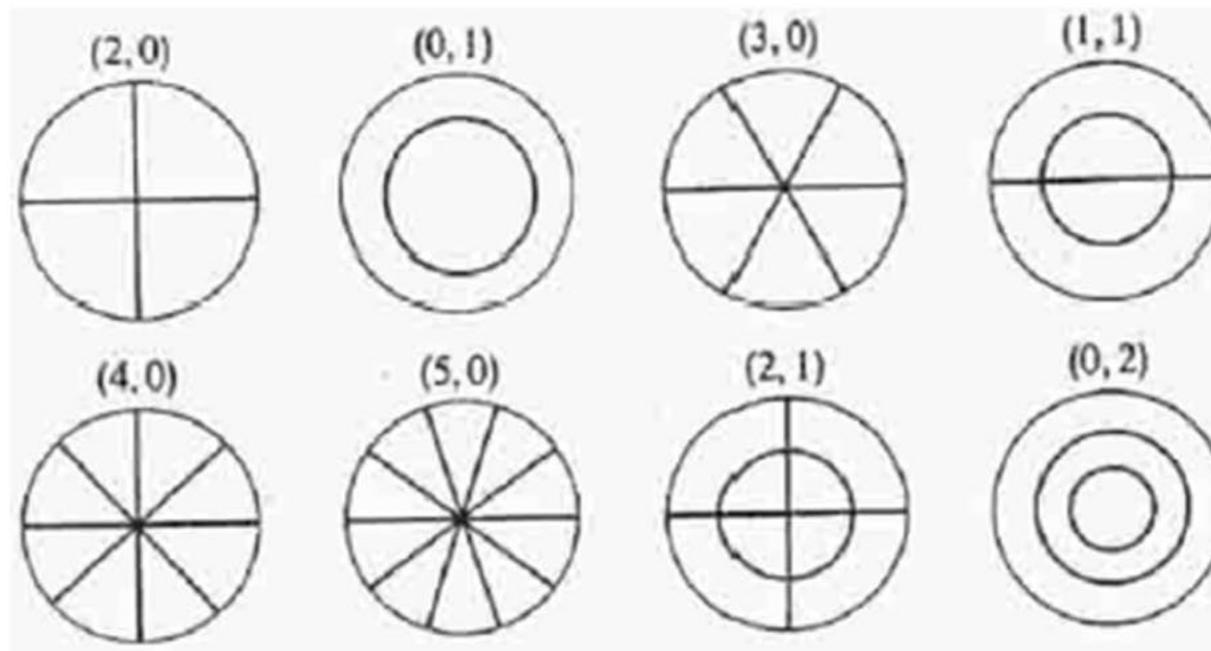
Modi di vibrazione della barra: a) bordi liberi, b) un bordo incastrato, c) bordi incernierati. Sono indicati i rapporti fra lunghezza della barra e lunghezza d'onda (Fletcher, Rossing, 1998)

# 5 – gli idiofoni: introduzione

- **Le piastre**
  - Possono essere considerate come barre bidimensionali o membrane dotate di una loro rigidità
- Il loro **comportamento modale**, che trae origine dalle **onde flessionali** che si propagano al loro interno, non si differenzia da quello delle membrane

# 5 – gli idiofoni: introduzione

- Modi di vibrazione della **piastra avente i bordi liberi**



- Nel caso di piastra incernierata o incastrata il caso rientra in quello della membrana ideale

# 6 – xilofono e marimba

- **Xilofono**

- importato in Europa nel XVI sec. dall'oriente
- Serie di barre con sagoma a piastra allungata
  - In legno di mogano duro (*rosewood*) o fibra di vetro (*kelon*)
  - Disposte su un piano orizzontale come una tastiera di pianoforte
  - Percosse mediante **due battenti con testa arrotondata**
  - Estensione di **3 ottave e mezza** (xilofono) o **5 ottave** (marimba)
  - Appoggiate su supporti mobili (cordicelle) e quindi libere di vibrare
  - Presentano **una piccola curvatura nel lato inferiore atta a smorzare la fondamentale (primo modo di vibrazione) a vantaggio delle parziali superiori**

# 6 – xilofono e marimba

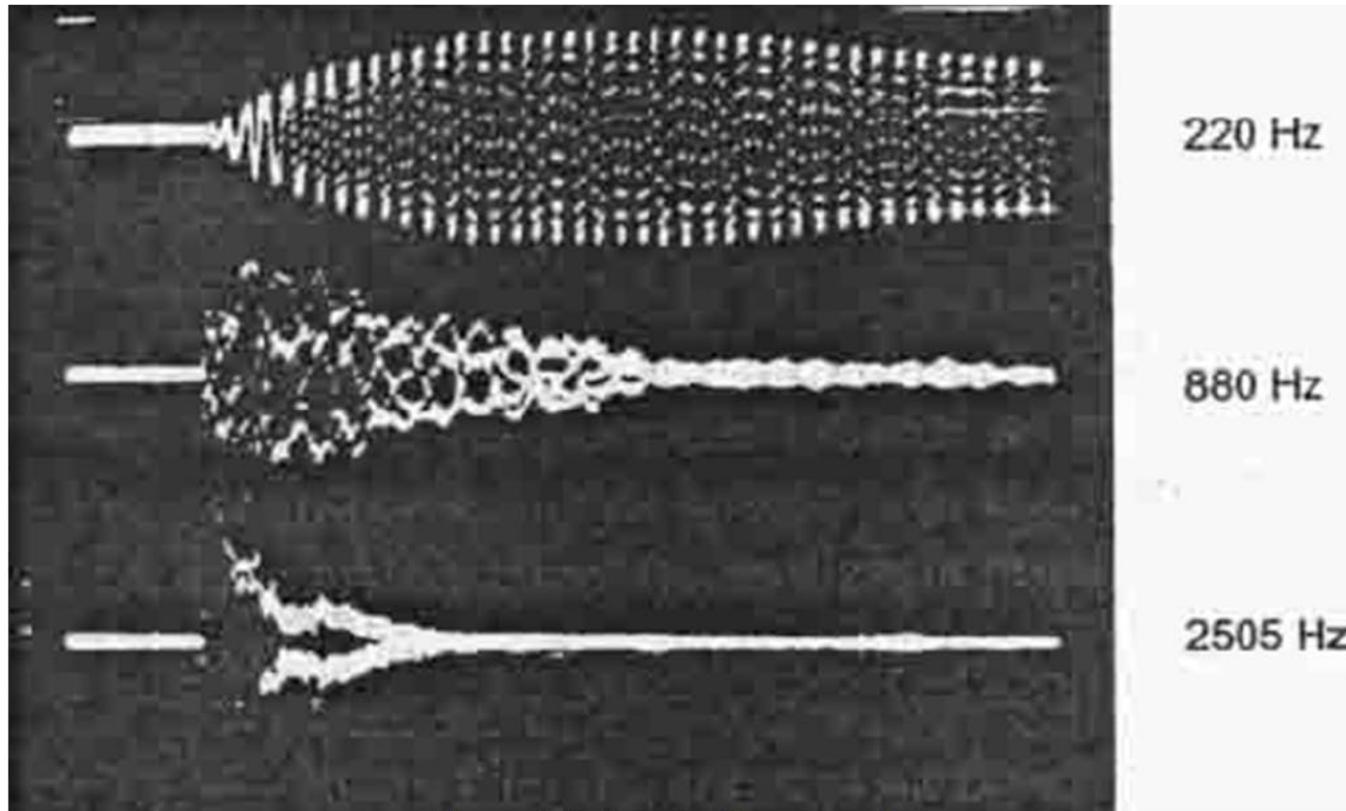
- Sotto alle barre sono posizionati dei **tubi sonori chiusi nella parte inferiore**, con funzione di **risonatori**
  - Enfatizzano la fondamentale
  - La chiusura inferiore dei tubi enfatizza le armoniche dispari
    - Più numerosi nello xilofono

# 6 – xilofono e marimba

- Le accordature delle barre e dei risonatori sono state studiate in modo da **accentuare l'effetto prodotto sulle parziali dalla sagomatura del profilo inferiore delle barre (marimba)**
- Il primo parziale si forma a  $4f_0$  e non subisce smorzamento

# 6 – xilofono e marimba

- Prime tre parziali prodotte da una barra di marimba corrispondente a un LA2 (220 Hz)



Marco Marinoni - Conservatorio  
"L. Marenzio" - Brescia

# 6 – xilofono e marimba

- Un'ulteriore possibilità di accordatura del suono è ottenuta **variando la distanza tra i tubi risonatori e le barre**
  - Avvicinando le barre ai tubi si abbassa la frequenza del sistema accoppiato
    - In questo modo si può ovviare ad alcuni inconvenienti di intonazione dovuti al variare della temperatura
      - Es. l'aumento della temperatura produce un innalzamento della frequenza di risonanza del tubo causato dall'aumento della velocità del suono

# 7 – vibrafono

- **Barre di alluminio** accordate su **tre ottave (FA2 – FA5)**, profondamente arcuate in modo da possedere i suoni armonici della marimba
  - L'utilizzo dell'alluminio provoca un allungamento notevole del tempo di decadimento del suono
- **Pedale di smorzamento del suono** con funzionamento opposto a quanto avviene nel pianoforte
- **Dischi** collocati all'estremità dei **tubi risonatori**
  - Possono aprirsi e chiudersi rapidamente per effetto di un motore esterno → effetto del **vibrato**

# 8 – piatti e gong

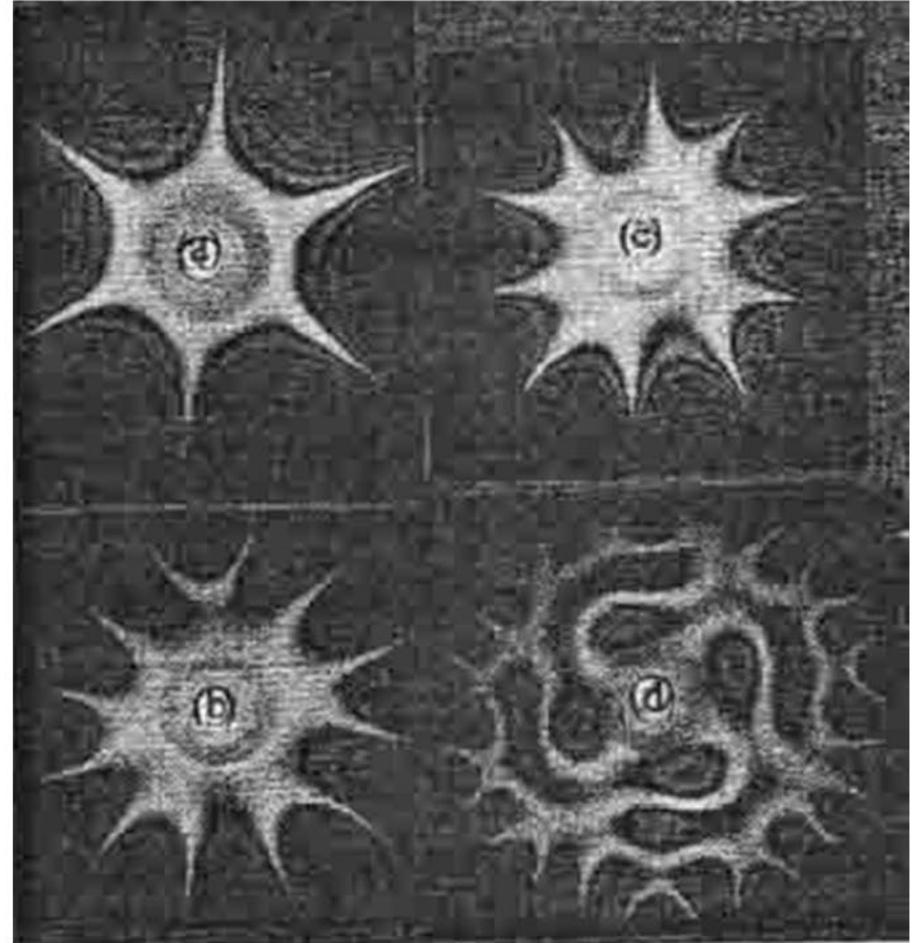
- I **piatti** sono uno strumento molto antico, usato sin dalla preistoria per scopi religiosi e militari
  - Attualmente costruiti in **lega di bronzo**
- Due gruppi
  - **Piatto singolo**, sorretto da asta metallica verticale
    - Colpito da una **bacchetta** o strofinato da una **spazzola**
  - **Coppia di piatti** che sbattono reciprocamente, sorretti a mano verticalmente o appoggiati su supporto metallico che li tiene orizzontali
    - In tal caso suonati per mezzo di **pedale**

# 8 – piatti e gong

- I **piatti singoli**, a seconda di come vengono colpiti, producono un suono che può differire notevolmente
  - Es. **tam-tam**, se percosso sul bordo produce un suono morbido, se colpito a  $2/3$  del raggio il suono è molto più intenso
- Alle basse frequenze i modi di vibrazione del piatto si avvicinano al caso della piastra rigida avente i bordi liberi, che a sua volta si comporta come una membrana ideale

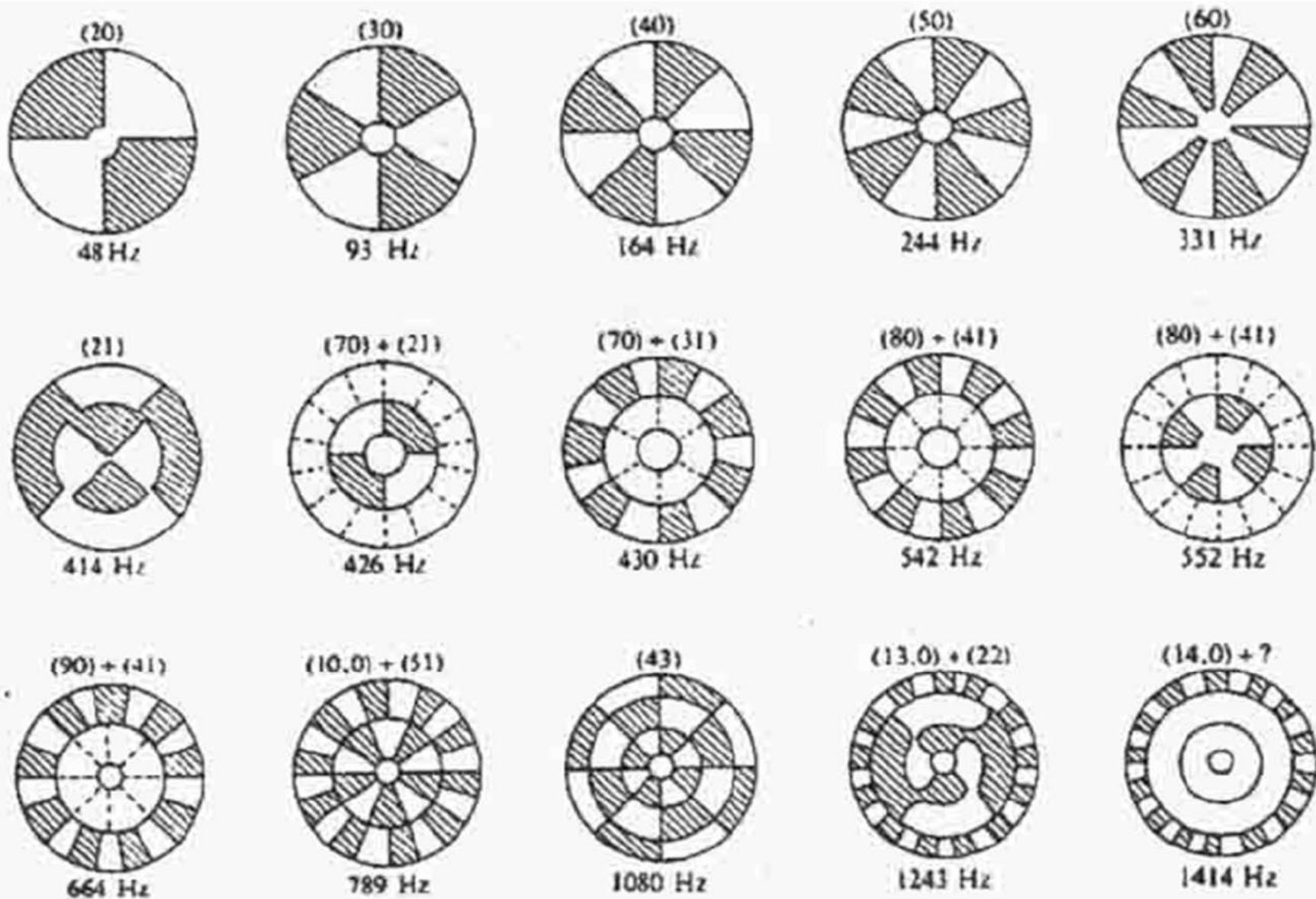
# 8 – piatti e gong

- Interferometria olografica di un **piatto di 38 cm**
  - Modi **(3,0)**
  - **(5,0)**
  - **(6,0)**
  - somma di modi **(13,0)** e **(2,2)**



# 8 – piatti e gong

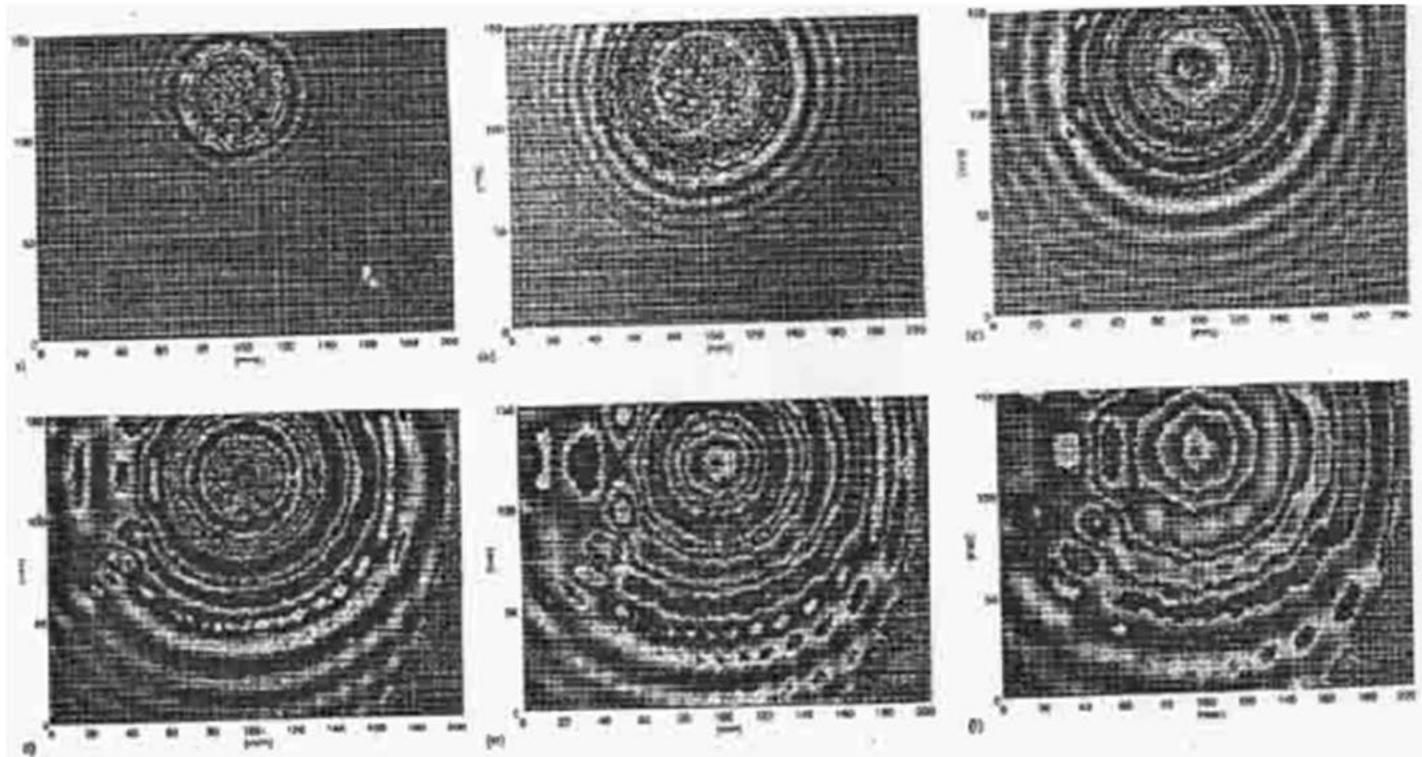
- I modi di vibrazione sono causati dalla **propagazione di onde di flessione all'interno del piatto**
  - A frequenze più elevate le frequenze di vibrazione sono molto vicine e questo causa l'insorgere di modi di vibrazione particolari, dati dalle somme di più modi differenti
    - Es. [slide 15] somma di modi **(13,0)** e **(2,2)**



Modi di vibrazione di un piatto. Si notino le sovrapposizioni di modi alle alte frequenze (Rossing, Peterson, 1982)

# 8 – piatti e gong

- **Indagine olografica su un piatto di cm 41 percosso a 2/3 del suo raggio**
  - Le onde flessionali dapprima hanno frequenze elevate e ampiezze ridotte, quindi dopo pochi microsecondi si stabilizzano



Transiente d'attacco su un piatto di 41 cm. Dall'alto in basso, da sinistra verso destra: 30  $\mu$ s; 60  $\mu$ s; 120  $\mu$ s; 180  $\mu$ s; 240  $\mu$ s; 300  $\mu$ s (Rossing, Peterson, 1982)

Marco Marinoni - Conservatorio  
"L. Marenzio" - Brescia

# 9 – irraggiamento e decadimento del suono

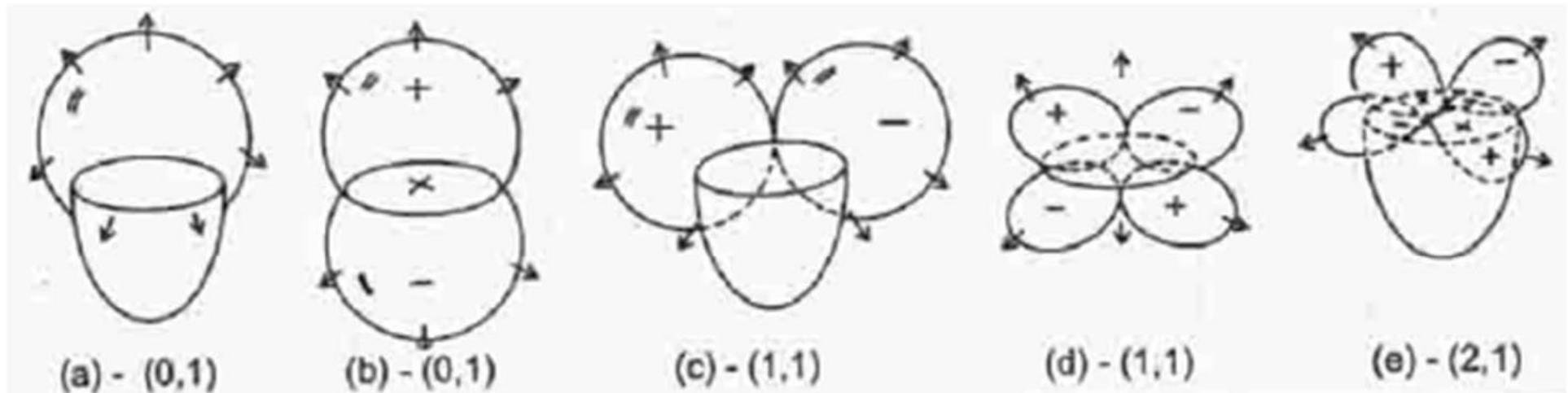
- Oltre alla produzione del suono, due altri aspetti sono fondamentali
  - Le modalità di **irraggiamento nello spazio acustico**
  - L'**estinzione** del suono prodotto
    - Può variare da pochi decimi di secondo (es. wood block) a oltre un minuto (strumenti che implementano tubi risonatori)

# 9 – irraggiamento e decadimento del suono - timpano

- **Il timpano.**

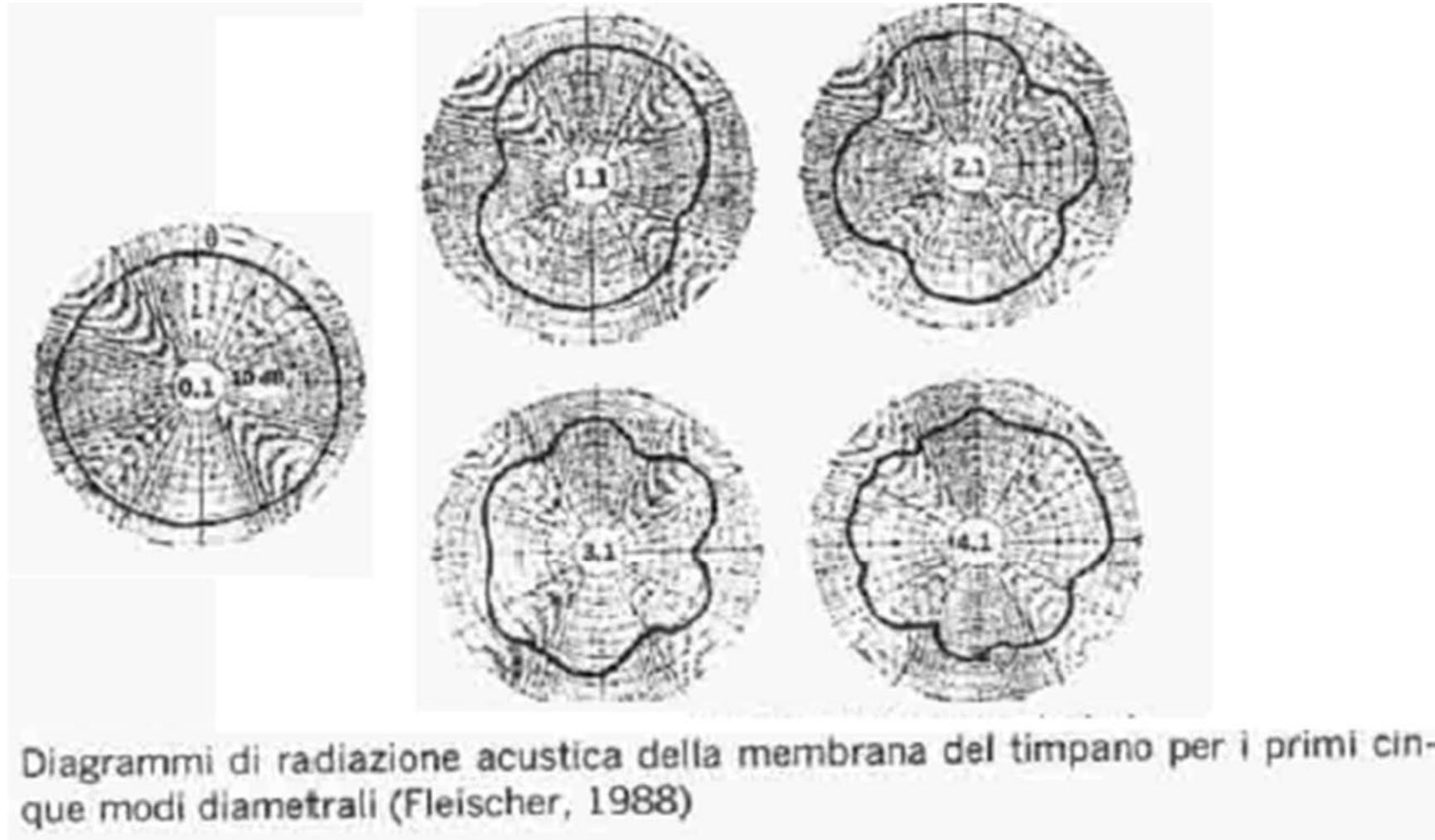
- Caratteristiche di irraggiamento dipendenti dalla membrana
- La caldaia induce una maggiore rapidità nell'estinzione del suono, specialmente nei modi circolari
- Il decadimento dipende dal punto in cui la membrana viene percossa
  - In genere a 10 cm dal bordo (→ nodi diametrali)
  - Percussione al centro (→ nodi circolari) causa decadimento rapido e suono “sordo”

# 9 – irraggiamento e decadimento del suono - timpano



Radiazione della membrana nel timpano in funzione dei modi di vibrazione; nei casi (b) e (d) non è presente la caldaia sottostante (Fletcher, Rossing, 1998)

# 9 – irraggiamento e decadimento del suono - timpano

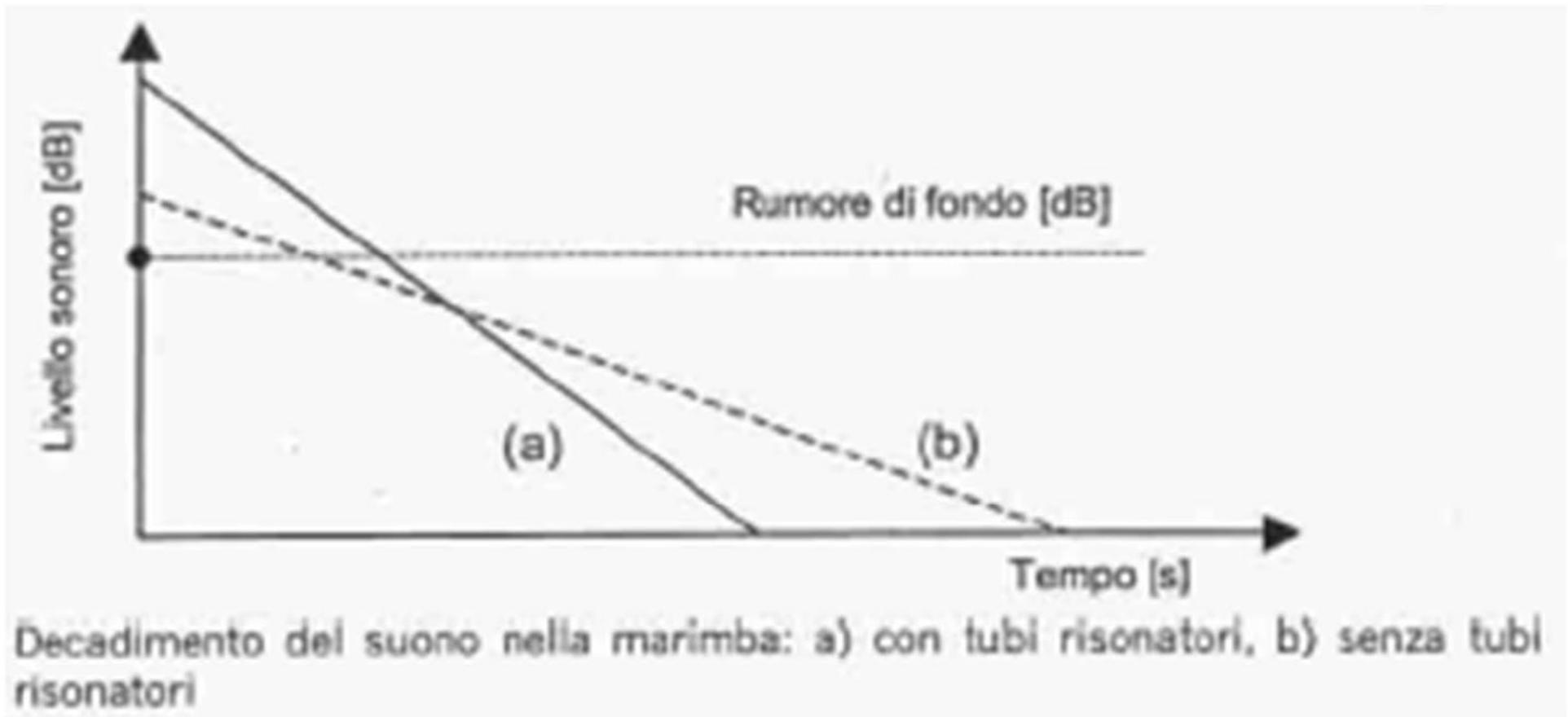


# 9 – irraggiamento e decadimento del suono - idiofoni

- **Xilofono e marimba**

- Il decadimento nello xilofono senza tubi risonatori è provocato da perdita di energia interna alle barre
  - Varia al variare del tipo di legno impiegato
    - Il palissandro è il migliore
- La presenza dei tubi risonatori modifica i tempi di decadimento
  - Aumentano la potenza sonora dello strumento
  - Ne accorciano la durata nel tempo
    - Effetto non percepito in presenza di rumore di fondo

# 9 – irraggiamento e decadimento del suono - idiofoni



# 9 – irraggiamento e decadimento del suono - idiofoni

- **Vibrafono**

- Barre in alluminio → il suono decade molto lentamente

- La perdita di energia all'interno è molto inferiore rispetto al legno

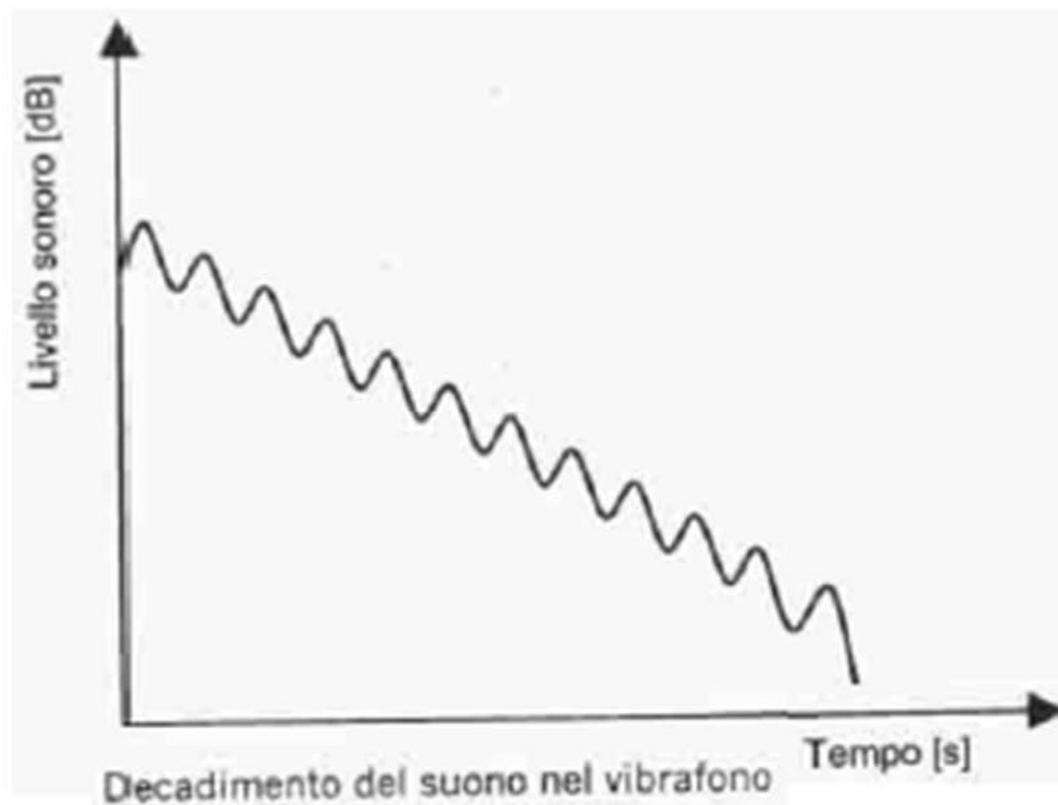
- L'effetto indotto dai **tubi sonori** è notevole

- Per un **A4** il decadimento arriva a
  - **8 s con risonatore aperto**
  - **24 s con risonatore chiuso**
- Per un **A2** il decadimento arriva a
  - **9 s con risonatore aperto**
  - **40 s con risonatore chiuso**

# 9 – irraggiamento e decadimento del suono - idiofoni

- **Vibrafono**

- L'effetto indotto dalle aperture e chiusure dei dischi all'estremità dei tubi modula in ampiezza la potenza sonora emessa

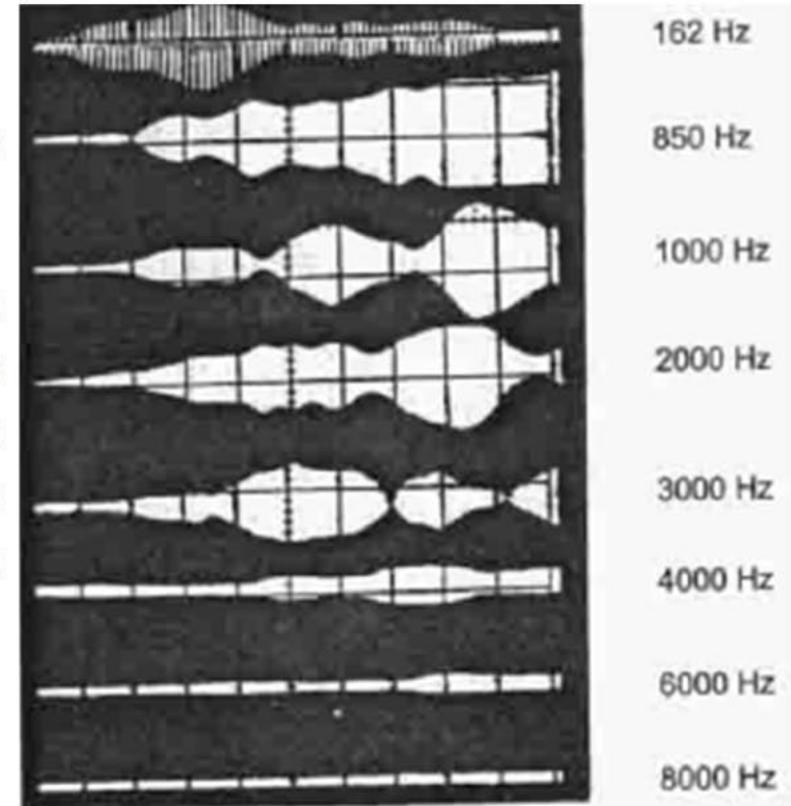


# 9 – irraggiamento e decadimento del suono - idiofoni

- **Piatti**

- Generazione e decadimento del suono molto variabili

- Es. *tam.tam*: inizialmente la vibrazione si propaga alle basse frequenze e solo dopo un intervallo di tempo considerevole (0.5 s) inizia a propagarsi a quelle acute



## 9 – irraggiamento e decadimento del suono - idiofoni

- Il suono del *tam-tam* impiega circa 2 s prima di raggiungere il suo massimo
  - L'energia cresce col tempo in maniera caotica senza alcuna relazione tra i modi di vibrazione
- Anche il decadimento non è correlato ai modi di vibrazione
  - Questo legame non lineare provoca il **ritardo dell'innesco delle alte frequenze**
    - Causato forse dalle irregolarità della superficie, modificata dall'elevato numero di colpi subiti durante la costruzione

# 10 – l'intensità di radiazione acustica

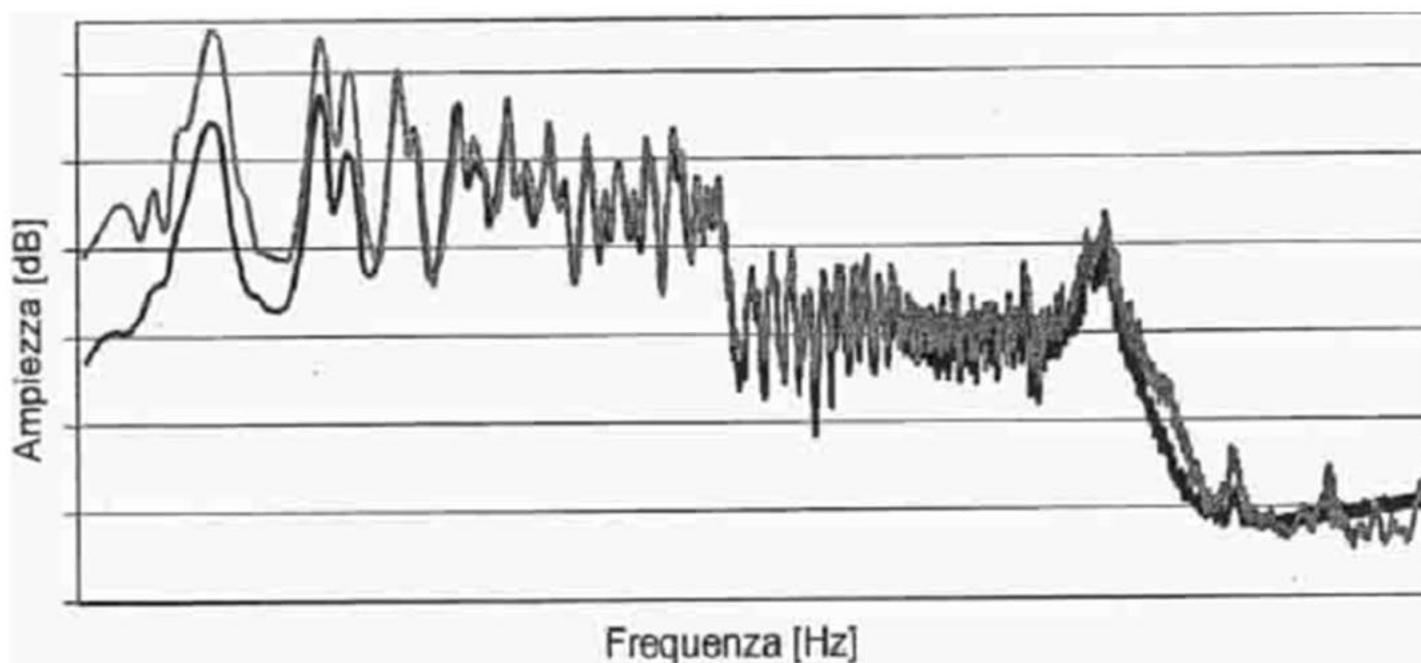
- Relazione che intercorre tra **velocità della parte vibrante e pressione acustica prodotta**
- E' possibile misurare la media temporale dell'intensità prodotta dalla superficie vibrante in campo vicino (30 cm, evitando così il riverbero ambientale)
- ***IAR* → *Intensity of Acoustical Radiation***

# 10 – l'intensità di radiazione acustica

- ***IAR*** → obiettivo di **correlare la risposta in frequenza dello strumento con la sua radiazione acustica**
  - Allo scopo di determinare un legame funzionale tra il movimento delle parti vibranti e la produzione del suono
    - Misurazione spettrale in campo vicino (25 cm) semi-anecoico
    - Misurazione della velocità locale della superficie vibrante

# 10 – l'intensità di radiazione acustica

- ***IAR* vs *FRF*** → Legame tra intensità di radiazione acustica e funzione di risposta in frequenza (timpano con caldaia di rame e diametro di 65 cm)



*IAR* (curva grigia) e *FRF* (nera) misurate in un timpano (Tronchin et al., 2004)

Marco Marinoni - Conservatorio  
"L. Marenzio" - Brescia

# 10 – l'intensità di radiazione acustica

- Nel caso del **timpano**, le misurazioni effettuate di **IAR** evidenziano la perfetta corrispondenza tra le frequenze di vibrazione della membrana (corrispondenti ai modi di vibrazione) e lo spettro del suono prodotto, confermando le osservazioni di **Rayleigh**
- Mediante la **IAR** è possibile individuare esattamente quale parte vibrante di uno strumento sia in grado di produrre il suono complessivo
  - Timpano: la **membrana**