

Marco Marinoni

# **ACUSTICA E PSICOACUSTICA MUSICALE**

## **Lezione 5. Acustica degli strumenti musicali (3)**

5.1 Legni e ottoni: generalità

5.2 Il flauto traverso

# INDICE

- *5.1 Legni e ottoni: generalità*
  - 5.1.1 Dipendenza del corista dalla temperatura
  - 5.1.2 Strumenti traspositori
  - 5.1.3 Materiali ed emissione acustica
  - 5.1.4 Camerature – legni
  - 5.1.5 Camerature – ottoni
  - 5.1.6 Fori tonali
  - 5.1.7 Fori di registro
  - 5.1.8
- *5.2 Il flauto traverso*
  - 5.2.1 Regolazione del corista e dell'intonazione
  - 5.2.2 Flauto barocco e flauto moderno
  - 5.2.3 Flauto dritto

# 5.1 Legni e ottoni: generalità

- Strumenti a fiato
  - Legni
    - Le varie note della scala vengono ottenute tramite l'apertura di fori tonali lungo il canneggio
  - Ottoni
    - Le note della scala non comprese tra gli armonici naturali vengono oggi ottenute prevalentemente con l'inserzione tramite coulisse (nei tromboni a tiro) o valvole (nelle trombe e nei corni) di porzioni supplementari di canneggio cilindrico

# 5.1 Legni e ottoni: generalità

- Legni
  - Canneggio prevalentemente cilindrico
    - Eccitato da ancia meccanica
      - » **Clarinetto**
    - Eccitato da una lama d'aria a pressione
      - » **Flauto**
  - Canneggio conico
    - Eccitato da un'ancia meccanica
      - » **Clarinetto**
      - » **Oboe**
      - » **Fagotto**
      - » **Sax**
      - » **Flauto dritto**

# 5.1 Legni e ottoni: generalità

- **Ottoni**

- Canneggio ad andamento misto cilindro-conico che termina in una ben calcolata svasatura (la campana)
- L'eccitazione avviene tramite un'ancia labiale
  - **Corno**
  - **Trombe**
  - **Trombone a coulisse**
  - **Basso tuba**

# 5.1 Legni e ottoni: generalità

- **Strumenti ibridi**

- Costituiti da un risonatore conico di legno messo in eccitazione da un'ancia labiale

- La conicità del caneggio permette di ottenere l'intonazione delle varie note tramite fori tonali, come per i legni

- **cornetto**

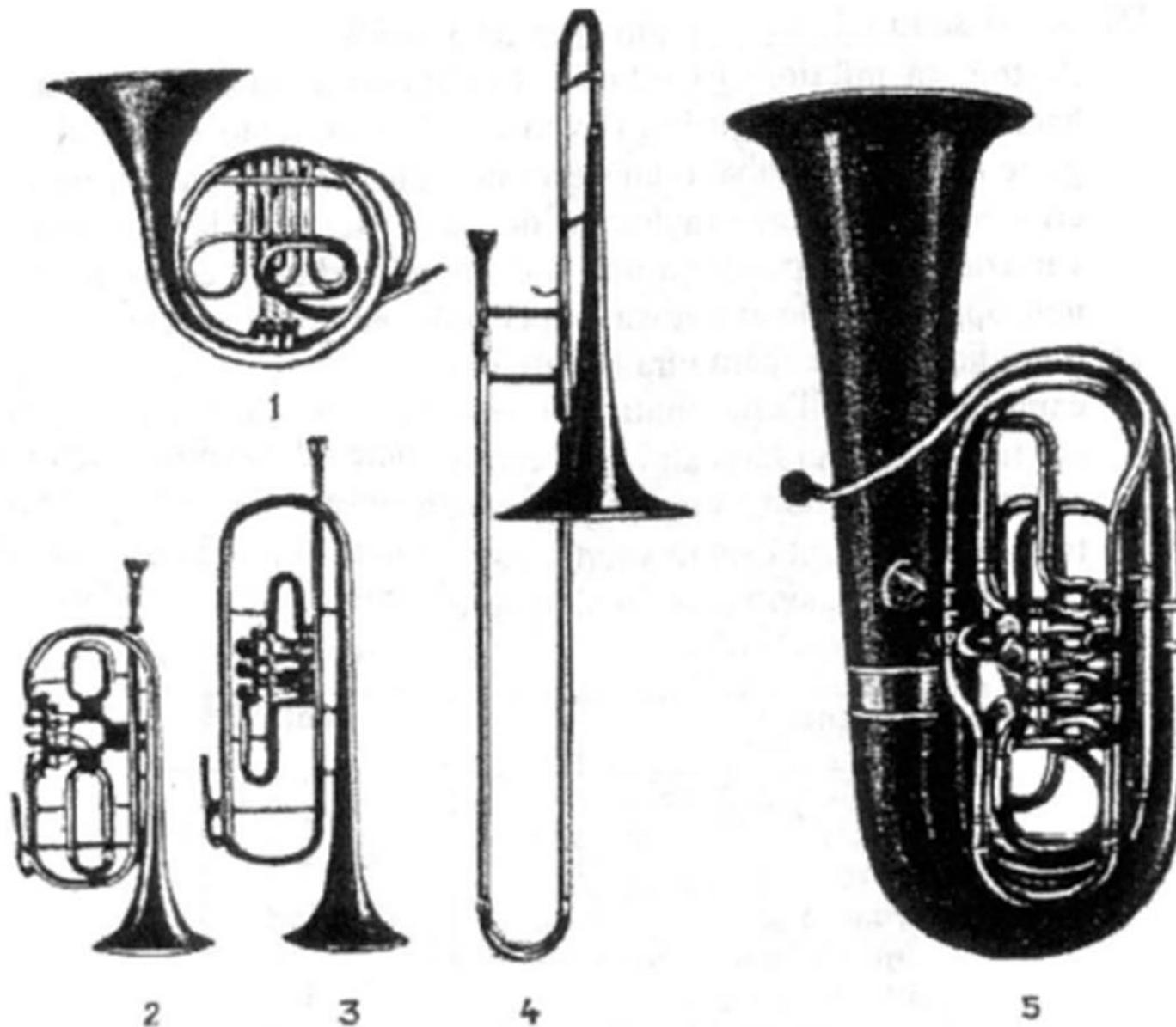
# 5.1 Legni e ottoni: generalità

- Solo il **flauto moderno** (alla Boehm) e il **sassofono** sono stati progettati razionalmente, in seguito a operazioni effettuate intorno alla metà dell'ottocento
- Gli altri strumenti sono il prodotto di
  - Tradizione
  - Esperienza



Componenti della famiglia dei «legni»: (1) flauto traverso, (2) ottavino, (3) clarinetto, (4) sassofono, (5) clarinetto basso, (6) oboe, (7) oboe d'amore, (8) corno inglese, (9) heckelphone, (10) fagotto, (11) controfagotto (Albini, 1936)

Marco Marinoni - Conservatorio  
"L. Marenzio" di Brescia



Componenti della famiglia degli ottoni: (1) corno, (2-3) trombe, (4) trombone a coulisse, (5) basso tuba (Albini, 1936)

## 5.1.1 Dipendenza del corista dalla temperatura

- In tutti gli strumenti a fiato **un aumento della temperatura ambiente provoca un innalzamento del loro corista**
  - Dovuto all'aumento della velocità del suono nell'aria contenuta nel caneggio
- Tale innalzamento di frequenza cresce anche all'aumentare delle dimensioni dello strumento
- **Modello ideale:** alla temperatura di 20-24 °C l'incremento di  $f$  è pari a 2.9 cent/°C
  - Non è così negli strumenti a fiato

## 5.1.1 Dipendenza del corista dalla temperatura

- L'aria contenuta nel canneggio è in buona parte quella espirata dall'esecutore
  - Biossido di carbonio (fino al 4%)
  - Vapore d'acqua saturo (6%)
  - Ossigeno (15%)
  - Azoto e altri gas (75%)
- Allontanandosi dall'imboccatura, la temperatura all'interno del canneggio cala, avvicinandosi a quella ambientale
  - A seconda della conducibilità termica del materiale e delle dimensioni dello strumento

## 5.1.1 Dipendenza del corista dalla temperatura

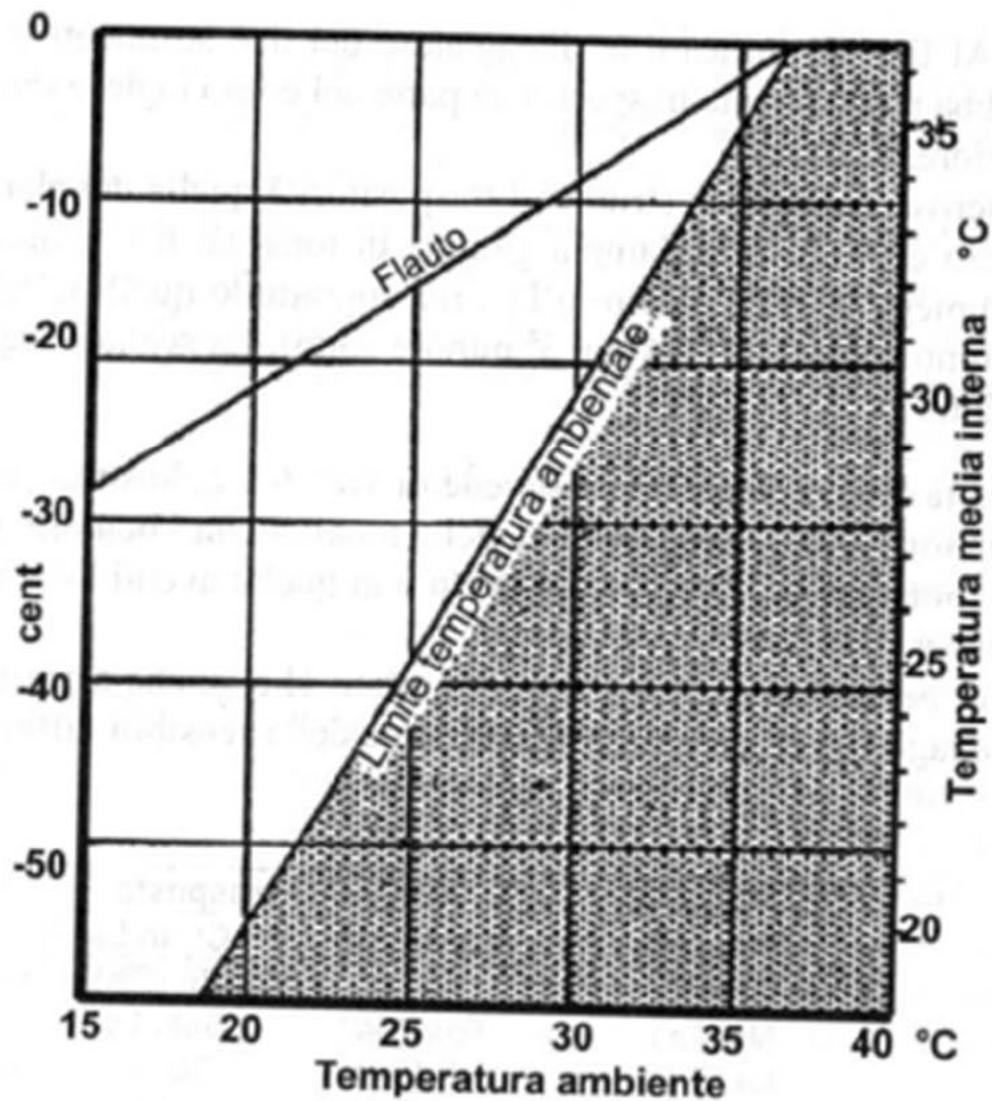
- In un flauto traverso suonato alla temperatura di 21°
  - 30.6° all'imboccatura
  - 25.8° all'estremità inferiore
- Nei legni le note acute cresceranno proporzionalmente di più rispetto a quelle gravi
- Anche l'impedenza dell'aria muta lungo il canneggio
  - Nei tubi cilindrici tappati a un'estremità (es. **clarinetto**) i modi non sono più in rapporto intero tra loro
  - Nei tubi aperti (es. **flauto**) il rapporto non cambia

<b>Strumento</b>	<b>cent/°C</b>
Flauto	1,3
Oboe	1,0
Fagotto	0,8
Clarinetto soprano	0,8
Clarinetto contralto	1,2
Clarinetto basso	1,6
Sassofono contralto	1,3
Sassofono tenore	1,9
Sassofono baritono	1,9
Cornetta	1,2
Corno	1,6
Trombone	1,3
Eufonio	1,6
Susafono in Mib	2,3
Susafono in Sib grave	2,6

Media statistica dell'incremento del corista di alcuni strumenti a fiato per ogni grado di crescita della temperatura ambiente (Young, 1946)

## 5.1.1 Dipendenza del corista dalla temperatura

- Un **flauto traverso**, passando dalla temperatura a freddo di 20°C a quella media di regime (30°) presenta un'escursione di frequenza pari a 33 cent
  - Un terzo di semitono temperato



Dipendenza dalla temperatura ambiente del corista di un flauto traverso metallico suonato da un esecutore la cui temperatura corporea è di 36,5 °C. La scala di sinistra indica l'abbassamento del corista rispetto a quello che avrebbe in un ambiente a 36,5 °C. La retta contrassegnata «flauto» presenta una pendenza di 1,3 cent/°C, valore in accordo con quello riportato in Tab. 6.1.1 (Young, 1946)

## 5.1.2 Strumenti traspositori

- Le note emesse da alcuni strumenti a fiato non corrispondono in altezza a quelle segnate sulla partitura ma risultano trasposte nel grave o nell'acuto di un determinato intervallo
  - Al fine di unificare le diteggiature dei componenti di ogni singola famiglia
  - Come diteggiatura tipo si assume quella del componente tagliato sulla tonalità di DO
    - In questo caso le note coincidono colla risultante

## 5.1.2 Strumenti traspositori

- Nelle orchestre gli oboisti suonano l'**oboe** che è in DO come strumento principale ma hanno anche l'obbligo del **corno inglese**, che è in FA
  - Le stesse note producono un effetto una quinta sotto
    - Quindi la parte del corno inglese sarà notata alla quinta superiore

# 5.1.2 Strumenti traspositori

- **Clarinetto:**

- Esiste in DO ma si usano sempre quelli in Sib e in LA, per

- Comodità di notazione

- Il cl in Bb è più agevole nelle tonalità con dei bemolli in chiave

- Il cl in A è più agevole nelle tonalità con dei diesis in chiave

- Peculiarità timbriche

Tonalità di impianto	Notazione trasposta	
	Cl. in Sib	Cl. in La
Si (5#)	—	Re (2#)
Mi (4#)	Fa# (6#)	Sol (1#)
La (3#)	Si (5#)	Do (—)
Do (2#)	Mi (4#)	Fa (1b)
Sol (1#)	La (3#)	Sib (2b)
Do (—)	Re (2#)	Mib (3b)
Fa (1b)	Sol (1#)	Lab (4b)
Sib (2b)	Do (—)	Reb (5b)
Mib (3b)	Fa (1b)	Solb (6b)
Lab (4b)	Sib (2b)	—
Reb (5b)	Mib (3b)	—

Notazione trasposta per clarinetti in Sib e La (2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> colonna) rispetto alla tonalità (modo maggiore) di impianto della composizione (1<sup>a</sup> colonna). Tra parentesi il numero di accidenti in armatura di chiave

## 5.1.3 Materiali ed emissione acustica

- Due fazioni contrapposte
  - I musicisti
    - Considerano il suono appartenere più alla struttura che alla colonna d'aria
  - Gli scienziati
    - Rigettano la tesi che le pareti dello strumento possano avere qualche effetto
  - Resta il fatto che tra gli strumenti a corda e quelli a fiato il ruolo della struttura è radicalmente differente

## 5.1.3 Materiali ed emissione acustica

- Strumenti a corda
  - Es. **violino**: il timbro è determinato non solo dai modi di vibrazione dell'aria contenuta nella cassa ma soprattutto dai modi di vibrazione *della* cassa
- Strumenti a fiato
  - Le pareti sono tanto spesse da presentare un'impedenza acustica assai superiore a quella dell'aria
    - Le loro vibrazioni non sono tali da intervenire sensibilmente sull'emissione a regime

## 5.1.3 Materiali ed emissione acustica

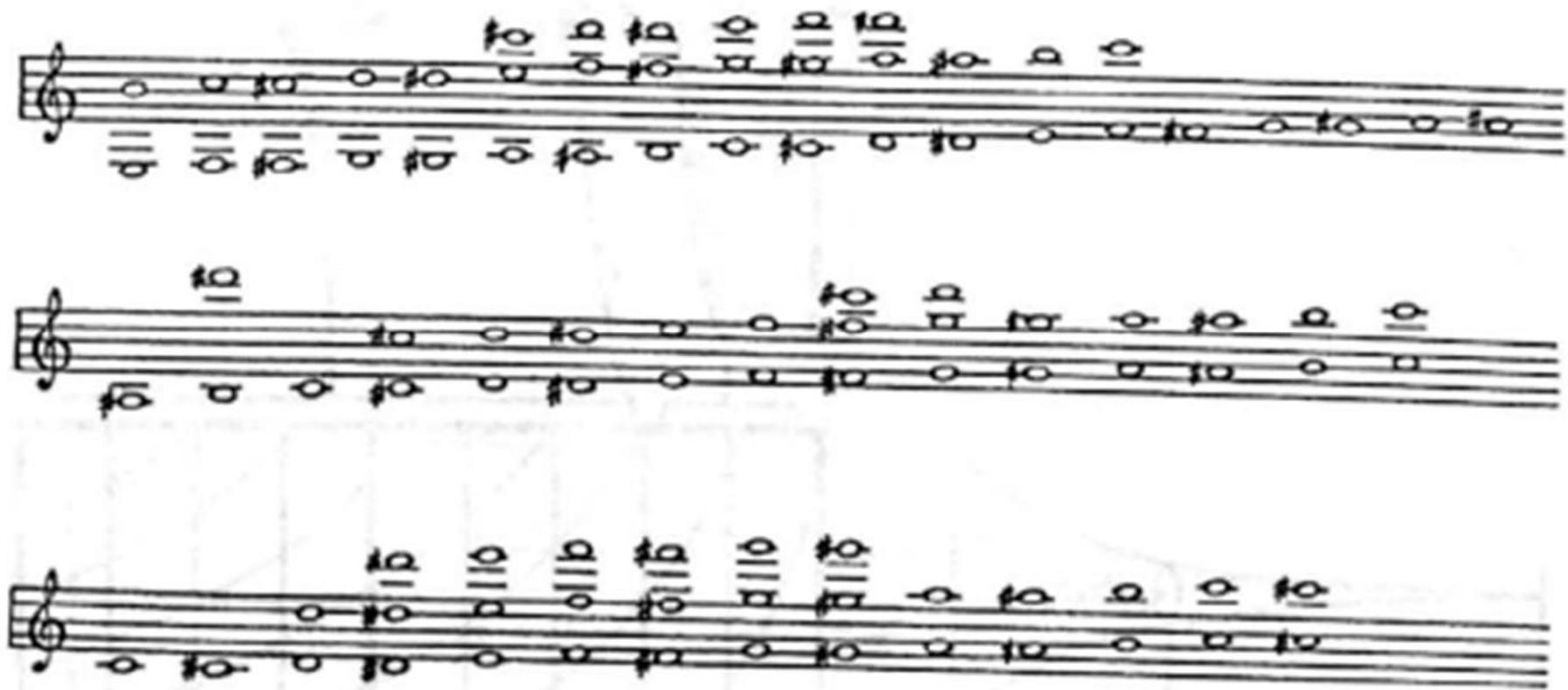
- Importante è invece la levigatezza delle pareti interne, che influisce sui picchi d'impedenza
  - Dipendenti anche dalla maggiore o minore pulizia del caneggio
    - Nel flauto traverso l'oliatura interna ha fama di opacizzare il suono

## 5.1.3 Materiali ed emissione acustica

- Ottoni
  - Più che la particolare lega usata per la campana pare che per l'irradiazione sia più importante lo spessore della lastra all'altezza della campana
- Legni
  - Flauto traverso.
    - Esperimenti con canneggi diversi innestati sulla stessa testata non hanno rilevato differenze
    - La testata al contrario dovrebbe rivestire un ruolo più importante

## 5.1.4 Camerature – legni

- La scala musicale viene ottenuta, per la prima ottava, **aprendo successivamente i fori tonali fino alla nota immediatamente precedente a quella corrispondente al secondo modo naturale di vibrazione del caneggio completo**
- Il modo superiore è raggiunto per **iperinsufflazione** o con l'ausilio di un **foro di registro**
  - I fori vengono chiusi di nuovo e il meccanismo a questo punto si ripete come per il primo modo
  - Procedura analoga per il terzo modo di vibrazione



Scale musicali per (dall'alto): clarinetto, oboe e flauto traverso. Il registro grave si suona sul primo modo naturale; la scala continua sul modo successivo, servendosi delle stesse diteggiature; si passa poi al terzo modo, che per difficoltà di intonazione spesso è incompleto. Da notare che nel clarinetto, schematizzabile come una canna cilindrica tappata all'imboccatura, il registro medio (clarino) e quello acuto (altissimo) sono posti, rispettivamente, alla 12<sup>a</sup> e alla 17<sup>a</sup> maggiore rispetto al grave (*chalumeau*) (Benade, 1966)

## 5.1.4 Camerature – legni

- Aprendo in successione i fori tonali si ottengono **canneggi acusticamente simili**, aventi cioè gli ipertoni che conservano lo stesso rapporto
- L'ancia o la lama d'aria all'imboccatura del flauto sono controllate dal più grave modo di vibrazione della colonna d'aria
  - → il suo moto è **periodico**
    - → i suoi ipertoni sono multipli interi del fondamentale  
*Quindi anche i modi superiori della cameratura dovranno essere multipli interi del fondamentale*

## 5.1.4 Camerature – legni

- Camerature coniche
  - Tronco di cono (*frustum*) con entrambe le estremità aperte
    - Flauto barocco, dritto e traverso
      - Gli ipertoni continuano a essere in serie armonica
  - Tronco di cono con la sola estremità minore tappata dall'ancia
    - Oboe, fagotto e sassofono
      - Al crescere della porzione troncata, cresce lo stiramento degli ipertoni, fino a sfociare nel caso dei soli armonici dispari

## 5.1.4 Camerature – legni

- In sassofono, oboe e fagotto, l'inarmonicità (stiramento degli ipertoni) è debole, dato che il cono è quasi completo

# 5.1.5 Camerature – ottoni

- Due tipi di camerature:
  - Coniche
    - Flicorno, basso tuba, cornetto, serpentone
  - Composite
    - Tromba, trombone, corno
      - Favoriscono l'emissione delle armoniche acute
      - Sono il risultato dell'unione di un tratto cilindrico con un tratto finale svasato, responsabile dell'emissione delle armoniche acute.
        - » Queste sono inarmoniche tra loro ma attraverso un opportuno dimensionamento dei vari componenti (**bocchino, tratto cilindrico, svaso finale**), l'emissione dello strumento può approssimarsi a una serie armonica (forma d'onda periodica)

## 5.1.6 Fori tonali

- Rete di fori tappati
  - Il canneggio diviene un filtro passa-basso
    - La frequenza di taglio eccede di molto la nota più acuta dello strumento
      - Tale effetto filtrante non impone alcuna limitazione all'estensione tonale dello strumento
  - La velocità media del suono si abbassa
  - È necessario aumentare il diametro dei fori man mano che ci si allontana dall'imboccatura

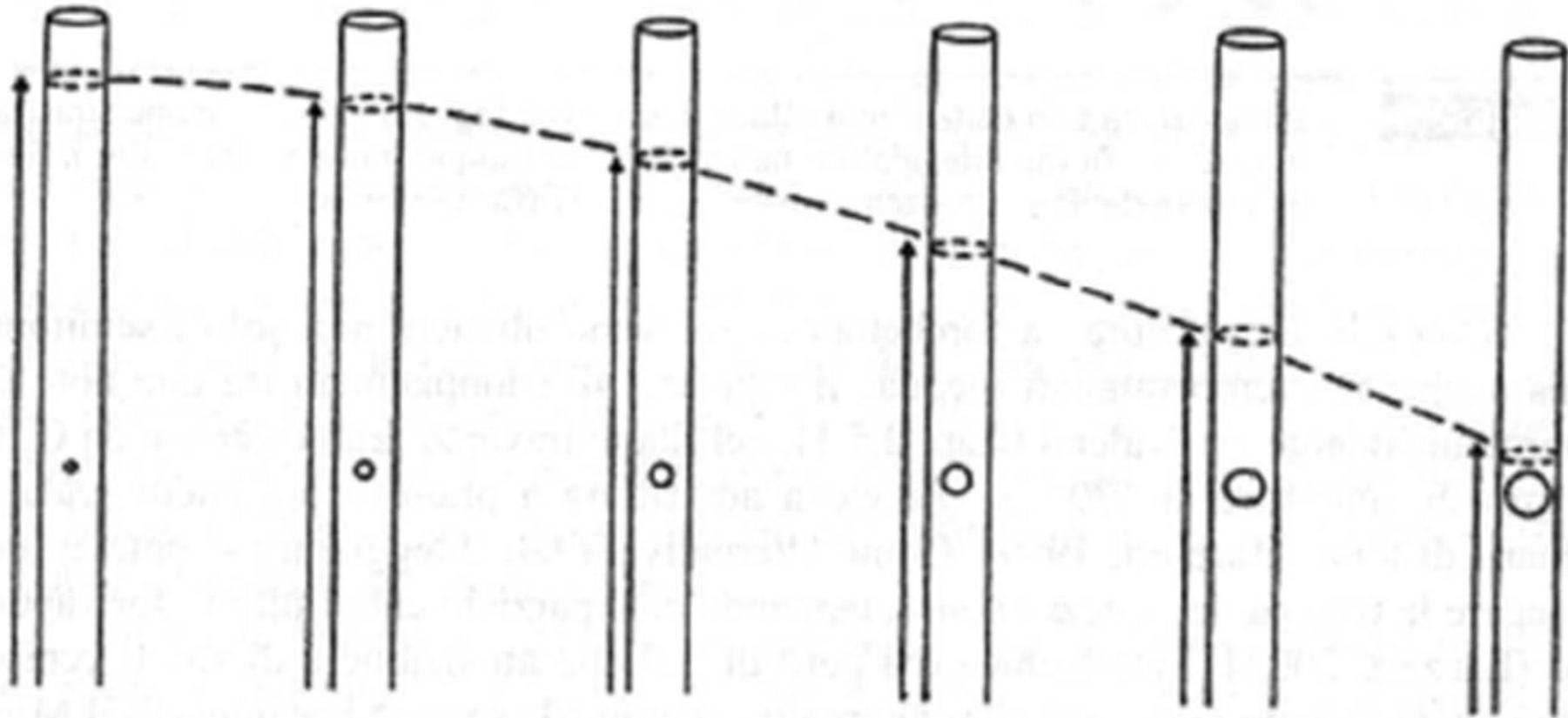
## 5.1.6 Fori tonali

- Rete di fori aperti
  - Il canneggio diviene un filtro passa-alto
  - Le onde di frequenza inferiore alla frequenza di taglio vengono riflesse dal primo foro aperto
    - Si crea un'onda stazionaria che modifica il timbro dello strumento
  - Il range è limitato verso il grave

## 5.1.6 Fori tonali

- Posizionamento dei fori
  - Quando viene aperto un foro tonale, **la lunghezza acustica del caneggio si accorcia tanto più quanto maggiore è il diametro del foro**
  - Quando le chiavi non erano ancora applicate sistematicamente sugli strumenti i costruttori agivano sul diametro dei fori per poterli posizionare in configurazioni comodamente accessibili alle dita degli esecutori

## 5.1.6 Fori tonali

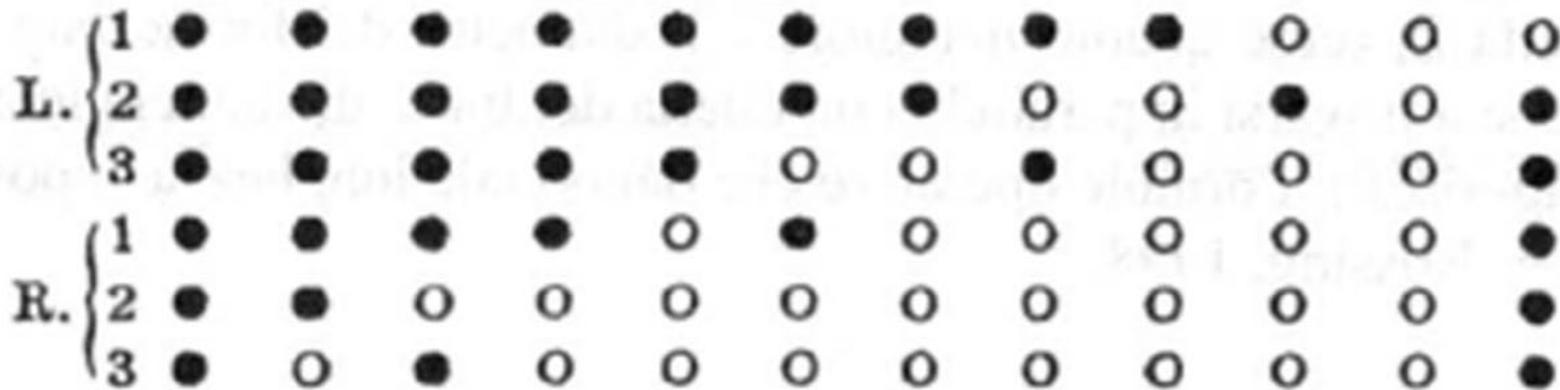
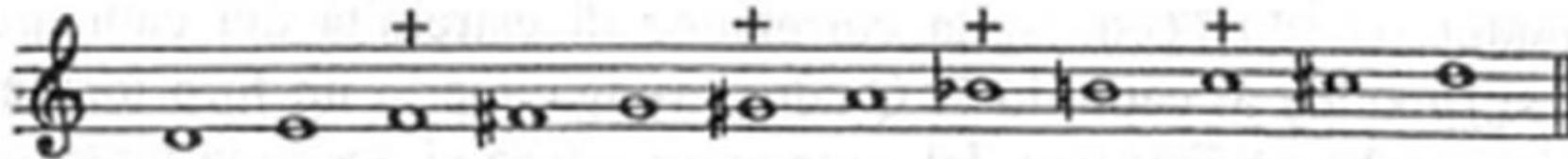


Profondità di penetrazione dell'onda (= lunghezza acustica) in una cameratura cilindrica munita di un foro tonale, al crescere del diametro di quest'ultimo (Rossing, 1990)

## 5.1.6 Fori tonali

- Es. in un legno barocco tagliato su RE MAGGIORE:
  - la **scala diatonica** (re – mi – fa# - sol – la – si – do#) si ottiene aprendo in successione i sei fori tonali
  - Le **note cromatiche** (+) si ottengono facendo calare la frequenza delle note diatoniche mediante l'occlusione del foro successivo al primo di quelli aperti
    - Diteggiature *a forchetta*

# 5.1.6 Fori tonali



Diteggiatura tipo della prima ottava di un legno tagliato in Re (L, mano sinistra; R, destra).

## 5.1.6 Fori tonali

- Attraverso le *diteggiature a forchetta* nel flauto traverso fatto costruire da G. B. Pasquali, anteriore al 1797, era possibile praticare un'intera scala a quarti di tono
- Un'alternativa a tali diteggiature era la **tecnica del mezzo foro**
  - Tappando parzialmente l'ultimo foro aperto
    - Per produrre il Mib3
      - Per questa nota nel flauto barocco viene aggiunto un foro supplementare controllato da un'apposita chiave

## 5.1.6 Fori tonali

- Con l'introduzione delle chiavi, nel secondo quarto dell'ottocento (**Theobald Bohm**, tra il 1832 e il 1847), fu possibile praticare fori più ampi e le diteggiature a forchetta caddero in disuso, ottenendo
  - Maggior volume di suono
  - Timbro più omogeneo
  - Maggiore facilità di esecuzione

## 5.1.6 Fori tonali

- Sul **posizionamento di ciascun foro** agiscono i seguenti fattori
  - Stato di apertura o chiusura dei fori contigui
  - Ombra acustica prodotta dal coperchio della chiave
  - Irregolarità del canneggio
  - Perdite per irradiazione sonora all'esterno
  - Perdite per attrito e conduzione termica delle pareti, che causano un leggero abbassamento della frequenza
  - Volume della parte di cono troncata
  - Volume dell'imboccatura aggiunta

## 5.1.6 Fori tonali

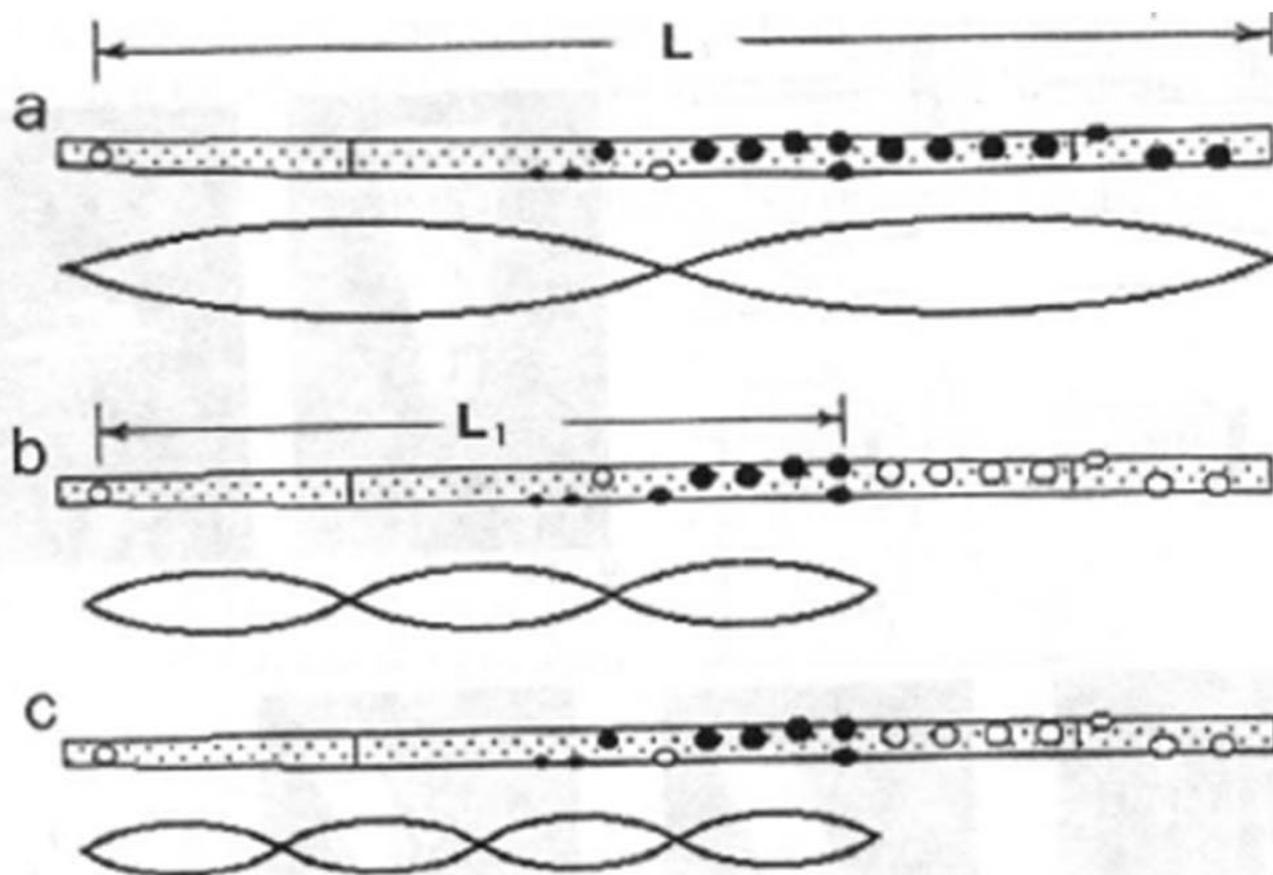
- Tutti questi fattori possono provocare cumulativamente l'abbassamento della risonanza della nota fino a due semitoni

## 5.1.7 Fori di registro

- In tutti i legni il cui secondo modo naturale è l'ottava, le note del registro grave possono essere ottenute servendosi delle sole tre dita centrali di ciascuna mano
  - Con 6 fori tonali si ottengono le 7 note dell'ottava coperta da tale registro
- Per proseguire la scala nell'acuto, si salta al modo superiore per **iperinsufflazione**
  - In alcuni legni l'operazione è agevolata dall'apertura di ulteriori fori detti **di registro** (o **portavoce**)
    - **Flauto dritto e clarinetto**: un portavoce
    - **Sax e oboe**: due portavoce
    - **Fagotto**: tre portavoce

## 5.1.7 Fori di registro

- L'impiego dei fori tonali per il salto di modo si ritrova anche nel **flauto traverso** (sprovvisto di portavoce)
- Le note della tessitura acuta (terza e quarta ottava a partire da C#5) sono ottenuti come armonici superiori della colonna d'aria opportunamente parzializzata (spezzata)
  - Principio analogo a quello usato per ottenere armonici naturali sul violino



Effetto dei fori tonali impiegati come fori di registro in un flauto traverso moderno, la cui nota più grave è il Do<sub>4</sub>, ottenuta tappando tutti i fori. Negli esempi che seguono i fori anneriti sono quelli tappati: (a) aprendo un foro a  $L/2$  la nota che corrisponde all'onda stazionaria di pressione indicata è la Do<sub>5</sub>, ma per iperinsufflazione si può saltare ai suoi armonici superiori (Do<sub>6</sub>, Sol<sub>6</sub>); (b) chiudendo tutti i fori lungo la  $L_1$  si ottiene il Sol<sub>4</sub>, ma aprendone uno a  $L_1/3$  dall'imboccatura si salta alla 12<sup>a</sup> superiore, cioè al Re<sub>6</sub> (terzo armonico del Sol<sub>4</sub>); (c) se invece, sempre con la stessa  $L_1$ , si apre un foro a  $L_1/4$ , si ottiene il Sol<sub>6</sub> (quarto armonico del Sol<sub>4</sub>) (Wolfe et al., 2004a)

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- Tipi di imboccatura
  - Un'onda **stazionaria** instaurata nel canneggio tende naturalmente ad estinguersi
  - A ogni ciclo l'energia deve essere rimpiazzata dall'esecutore mediante **getti d'aria a pressione di opportuna frequenza**
  - L'imboccatura deve quindi essere provvista di una valvola che trasformi il soffio continuo dell'esecutore in una serie di sbuffi aventi la periodicità della nota richiesta

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- Tali valvole possono essere suddivise in due classi
  - Controllate dalla pressione acustica
    - Che si chiudono col flusso dell'aria entrante
      - Ance meccaniche, semplici e doppie dei legni
    - Che si aprono col flusso dell'aria entrante
      - Ance labiali degli ottoni, alle basse frequenze
  - Controllate dalla corrente acustica
    - Fori di imboccatura dei flauti dritti e traversi

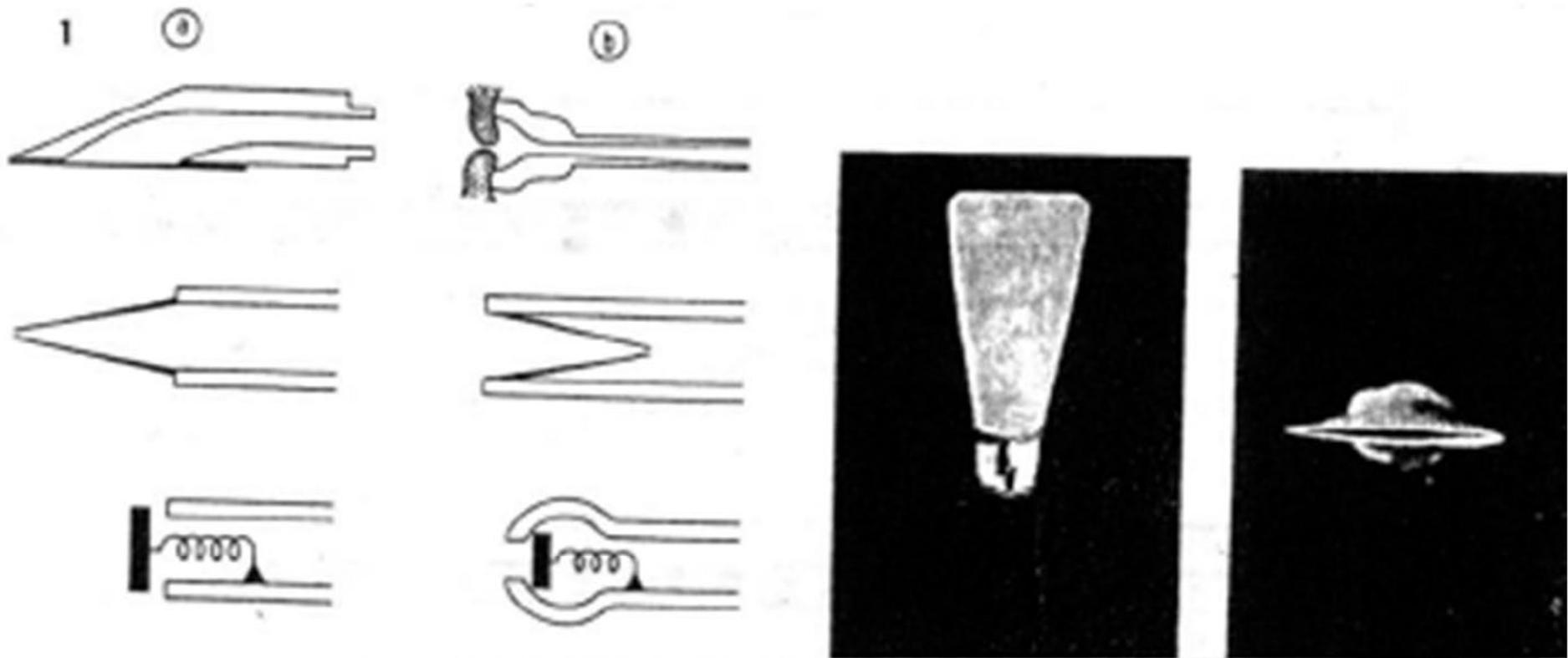
## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- **Valvole controllate dalla pressione acustica**
  - Ostruiscono quasi completamente l'imboccatura in cui vengono inserite
    - Picco massimo di pressione
  - Il picco di pressione all'imboccatura si riflette sull'estremità aperta del tubo e questo permette l'apertura dell'ancia

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- **Valvole controllate dalla corrente acustica**
  - Il foro di imboccatura rimane aperto, per cui in corrispondenza di esso la pressione scende quasi a zero
  - La lama d'aria di alimentazione verrà risucchiata all'interno o sospinta all'esterno dalla corrente acustica dell'onda stazionaria

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione



(1) Possibili schemi di valvole controllate dalla pressione acustica, che, con il flusso d'aria entrante, (a) si chiudono, come nel clarinetto, nel sassofono, nell'oboe e nel fagotto, e (b) si aprono, come negli ottoni (Fletcher, 1979)

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- Tutte queste valvole generano **una serie di ipertoni in successione armonica** che poi vengono in maniera maggiore o minore esaltati a seconda del loro grado di coincidenza coi picchi di risonanza della cameratura

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- **Regimi di oscillazione, periodici o multifonici**
  - L'imboccatura si comporta come un generatore non lineare
    - Produce frequenze non contenute nello spettro della forza da cui è sollecitata
      - Poco rilevanti nel *ppp*, rilevanti a dinamiche alte
  - Se tali frequenze sono in rapporto armonico, nel caneggio si instaura un regime di oscillazione periodico, in caso contrario aperiodico

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- **Regimi di oscillazione periodici**
  - La lunghezza della colonna d'aria impone all'imboccatura di vibrare sulla sua frequenza fondamentale  $f_1$ , producendo armoniche  $nf_1$  che nel caneggio vengono poi esaltate a seconda della loro maggiore o minore coincidenza coi picchi di risonanza della cameratura
  - La **retroazione** esercitata da tali picchi sull'imboccatura stessa favorisce la stabilizzazione della vibrazione dell'ancia o della colonna d'aria in un regime periodico
    - Le componenti sono tutte armoniche

# 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- **Regimi di oscillazione periodici**
  - La retroazione
    - Cresce al crescere del numero e dell'ampiezza dei modi eccitati (che cooperano a mantenere periodica l'emissione dello strumento)
    - Si riduce all'aumentare del grado di inarmonicità dei picchi di risonanza
    - Effetto di **cooperazione tra gli ipertoni riflessi**
      - Utile soprattutto negli strumenti ad ancia labiale
        - » Suggerisce all'esecutore la giusta frequenza da intonare e lo aiuta a mantenere costante la vibrazione delle labbra
      - Aumenta al crescere dell'intensità di emissione (più modi eccitati)

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- **Regimi di oscillazione periodici**
  - Transitorio d'attacco
    - Eccitazione ed emissione sono di tipo aperiodico
  - Fase di regime
    - Eccitazione ed emissione divengono periodiche
    - Gli ipertoni non solo vanno a costruire una serie perfettamente armonica ma **si agganciano alla fondamentale anche in fase**
      - Evitando quindi interferenze distruttive

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- **Regimi di oscillazione aperiodici**
  - *Multifonici* o “note doppie”
    - Particolari conformazioni di fori dritti (nei legni) o di conformazione delle labbra (negli ottoni) possono eccitare simultaneamente, nella colonna d'aria, **due risonanze decisamente inarmoniche**
    - L'imboccatura non solo vibra alle due frequenze ma fornisce anche un accoppiamento non lineare tra di esse, in modo che la frequenza più grave moduli in ampiezza quella più acuta
      - Si generano ulteriori componenti, combinazioni delle due fondamentali

## 5.1.8 Meccanismi di eccitazione

- **Regimi di oscillazione aperiodici**
  - *Multifonici* o “note doppie”
    - Il suono complessivo emesso è quindi **aperiodico**
    - Per l’ascoltatore, le due fondamentali inarmoniche sono quasi sempre **distinguibili**
      - Inoltre, se sono sufficientemente vicine, producono consistenti **battimenti**
    - Gli ipertoni generati dalle due fondamentali sono in genere più deboli e contribuiscono a conferire una certa asprezza al timbro
      - Specialmente quelle che eccedono la frequenza di taglio della cameratura, irradiate direttamente all’esterno

## 5.2 Il flauto traverso

- **Cameratura:** assimilabile a un cilindro aperto a entrambe le estremità (per gli strumenti moderni)
  - Imboccatura controllata dalla corrente acustica
- La lama d'aria prodotta dal flautista viene pilotata dentro e fuori l'imboccatura dalla corrente acustica dell'onda stazionaria del caneggio
  - con un consistente ritardo

## 5.2 Il flauto traverso

- Salendo verso l'acuto, le note della scala vengono prodotte diminuendo il tempo di transito del getto d'aria attraverso la luce dell'imboccatura
  - **Aumentando la pressione di insufflazione e accostando progressivamente le labbra al bordo opposto del foro di imboccatura**

## 5.2 Il flauto traverso

- Nei flauti, contrariamente agli strumenti ad ancia labiale, le risonanze si trovano in corrispondenza dei minimi di impedenza di ingresso
    - I primi tre minimi si trovano in rapporto armonico (C#4, C#5, G#6)
      - Ciascuna di queste tre note è accompagnata dalle armoniche superiori
- Salendo in frequenza picchi e valli sono meno percettibili a causa delle perdite di energia, fino alla **frequenza di taglio (poco sopra i 2 kHz)**
- Oltre i 5-6 kHz i picchi tornano a comparire

## 5.2 Il flauto traverso

- Con tutti i fori tonali tappati (C3) i minimi di impedenza sono molto più numerosi, al punto che un abile flautista riuscirebbe a emettere le note C4, C5, G5, C6, E6, G6 senza aprirne alcuno
- Spostandosi verso l'acuto, le risonanze si diradano o si diminuisce il volume sonoro

## 5.2 Il flauto traverso

- Lo **spettro di emissione** ha due particolarità
  - Nel *f* la fondamentale è più debole delle armoniche immediatamente seguenti
  - Nel *p* il carattere del timbro si ribalta, dato che le armoniche acute si riducono sensibilmente in numero e in ampiezza, mentre la fondamentale resta immutata

## 5.2 Il flauto traverso

- **Fletcher:** per un flautista non è facile alterare il ritmo del vibrato
- Per ragioni anatomiche o neurologiche il vibrato sarebbe naturale intorno ai 5 Hz (0.2 s)
- Il meccanismo di generazione del suono è molto inefficiente
  - La3 → la conversione in potenza acustica della potenza associata al getto è 2.4%
    - Di questa solo il 3.3% viene irradiato, il resto viene dissipato lungo le pareti
      - Rendimento totale: 0.08%

## 5.2.1 Regolazione del corista e dell'intonazione

- **Corista**

- È regolabile dal flautista allungando o accorciando telescopicamente la parte di canneggio compresa tra l'imboccatura e i fori tonali

- Tale operazione falsa i rapporti di distanza tra i fori

- Es. flauto in RE

- il RE3 che si ottiene chiudendo i sei fori tonali calerà di 50 cent

- Il DO#4 che si ottiene con i sei fori aperti calerà quasi di un semitono

- Tra DO#4 e RE4 ci sarà quasi un tono

# 5.2.1 Regolazione del corista e dell'intonazione

- **Intonazione**

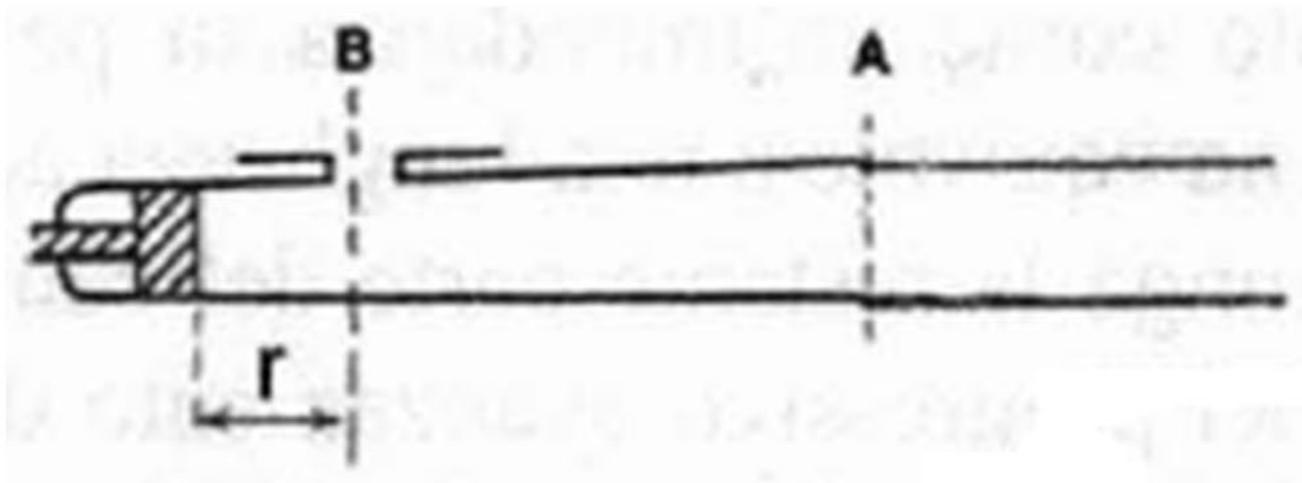
- In un flauto ideale, perfettamente cilindrico in tutta la lunghezza → verso l'acuto le note della scala risulterebbero sempre più calanti
  - Le labbra tendono progressivamente a coprire l'imboccatura, aumentando la lunghezza acustica del canneggio
- Per compensare tale calo
  - **Flauti moderni:** la testata viene rastremata andando verso il tappo
    - Stiramento complessivo degli intervalli di 20-30 cent
      - » Aumento della potenza irradiata e del secondo armonico
  - **Flauti barocchi:** il canneggio tronco-conico diviene cilindrico in testata

## 5.2.1 Regolazione del corista e dell'intonazione

- **Intonazione**

- Stiramento degli intervalli

- Legato al volume del terminale di testata indicato con  $r$ 
  - Varia in bassa e in alta frequenza



## 5.2.2 Flauto barocco e flauto moderno

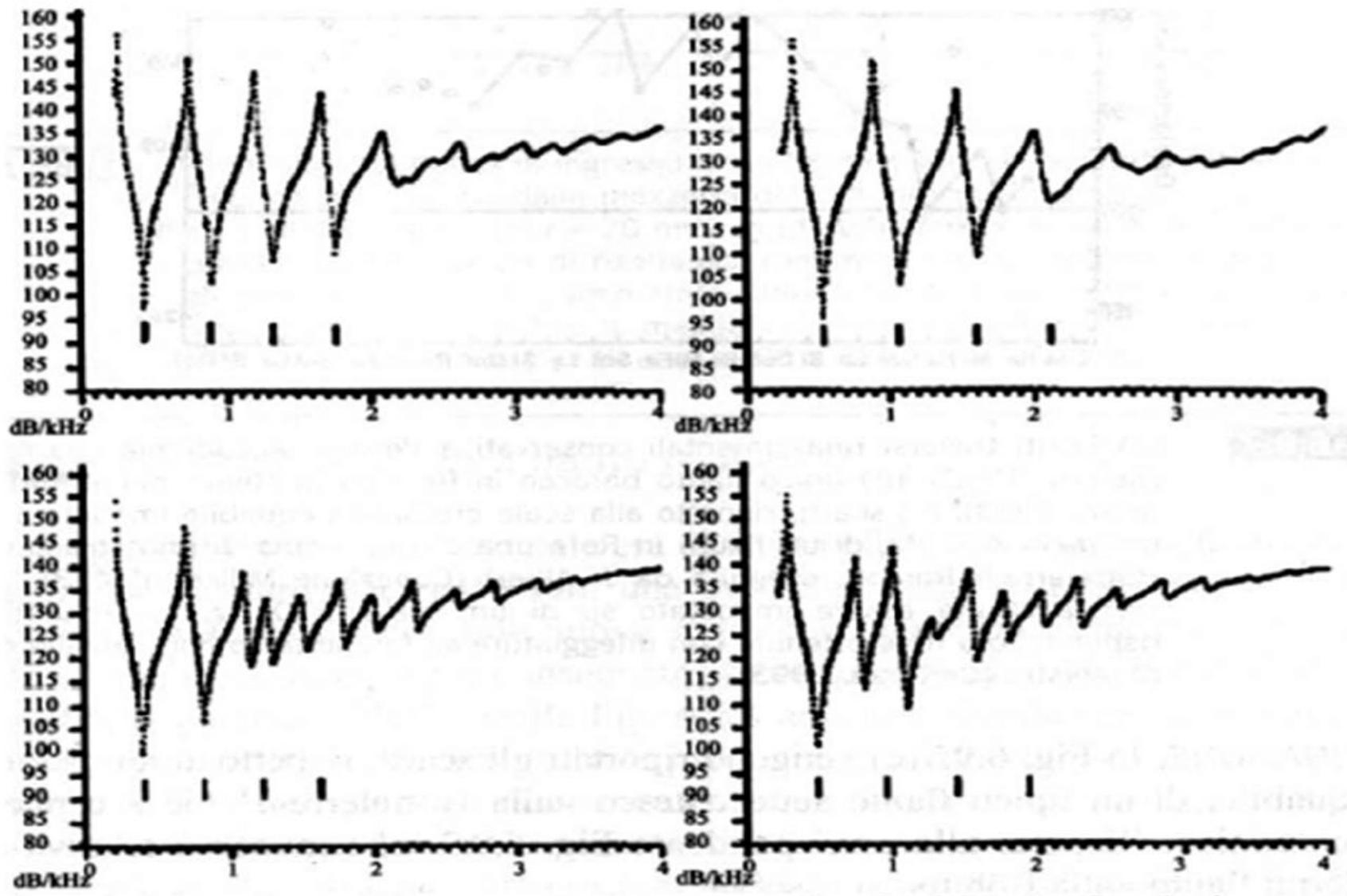
- Il canneggio del **flauto rinascimentale** era di forma cilindrica come quello moderno ma a partire dal tardo seicento subì un'evoluzione che lo trasformò in tronco-conico
  - Le frequenze di risonanza restano le stesse
  - **Bohm** nel 1871 confessò di non vederne i vantaggi
  - L'intonazione dell'ottava grave viene penalizzata

## 5.2.2 Flauto barocco e flauto moderno

- Una giustificazione addotta fu quella di avere un timbro più flautato nelle tessiture acute
- In realtà: il flauto rinascimentale interamente cilindrico, il secondo registro, salendo, era sempre più inaccettabilmente calante. Si sarebbe pensato di introdurre una **correzione lasciando cilindrica la testata e conicizzando il corpo**
  - Nel flauto moderno si fa l'opposto

## 5.2.2 Flauto barocco e flauto moderno

- **Intonazione del flauto barocco**
  - **Stiramento** accentuato ( $> 50$  cent) nell'ottava bassa (RE3-RE4)
  - **I FA# sono eccessivamente calanti**, anche rispetto all'antico temperamento mesotonico, in cui il semitono cromatico FA-FA# = 76 cent. Questo forse per correggere il **FA ottenuto con diteggiatura a forchetta, sempre molto crescente**



Spettri di impedenza di ingresso relativi alle note La<sub>4</sub> (a sinistra) e Do<sub>5</sub> (a destra), per due flauti traversi: moderno (sopra) e barocco (sotto); quello moderno è accordato su di un La<sub>4</sub> = 440 Hz, mentre quello barocco (copia di un J.A. Crone del 1760 circa) su di un La<sub>4</sub> = 415 Hz; le tacche indicano l'esatta posizione delle armoniche (Wolfe et al., 2001a)

## 5.2.2 Flauto barocco e flauto moderno

- Nel **flauto moderno** i minimi di impedenza sono ampi e quasi perfettamente allineati con le corrispondenti armoniche emesse dall'imboccatura
- Nel **flauto barocco** tale allineamento scompare dopo la seconda armonica e talvolta, in caso di diteggiature a forchetta (DO4), dopo la prima
  - Sono meno pronunciati a causa delle perdite del caneggio conico

## 5.2.2 Flauto barocco e flauto moderno

- Innovazioni introdotte da **BOHM**
  - Quasi totale **soppressione delle diteggiature a forchetta**, in seguito all'introduzione di fori più larghi e numerosi, fatti aprire in successione tramite chiavi
  - Canne di maggiore diametro e cilindriche a testata rastremata
    - Maggiore sonorità
    - Brillantezza
    - Omogeneità timbrica
    - Rispetto al flauto del primo 800 la frequenza di taglio è salita da 1.5 kHz a oltre 2 kHz
      - L'estensione tonale è passata dal LA5 al FA6

## 5.2.3 Flauto diritto

- La forma del **canneggio** ha avuto un'evoluzione storica analoga a quella del traverso
- Il labbro superiore tende a suddividere simmetricamente la lama d'aria emergente dalla luce
  - Predominio delle **armoniche dispari**
    - Carattere sonoro leggero e trasparente
- **Intonazione stirata** (modello barocco)
  - +30 cent i suoni acuti
    - Ridotti a +10 cent soffiando debolmente
  - -30 cent i suoni gravi
    - Ridotti a +10 cent soffiando vigorosamente