



NEL CUORE DEL VIOLINO E DEL CERVELLO

DALLA MUSICA ALLA PSICHE

- 1) Studio di Ingegneria Acustica Pisani,
Sangano (TO)
- 2) Microtex s.a.s., Almese (TO)

Il liutaio procede alla messa a punto dello strumento che costruisce con criteri percettivi legati alla sua sensibilità estetico-musicale

Spesso si chiede all'acustico di poter disporre di strumenti di analisi in grado di prevedere, in fase di costruzione, la resa futura dello strumento anche con un accettabile grado di approssimazione

In linea più generale si tende ad oggettivare, mediante opportune misurazioni di grandezze fisiche, il concetto soggettivo di qualità.

La liuteria rappresenta un'arte secolare per la costruzione di strumenti a corda (violini, chitarre, contrabbassi, etc.). Per la realizzazione degli strumenti i liutai seguono precisi criteri dimensionali e astuzie costruttive che si tramandano nelle botteghe secondo canoni di scuole antiche.

Di fatto la messa a punto dello strumento viene eseguita dal liutaio seguendo propri criteri che si basano unicamente sulla percezione dei suoni prodotti.



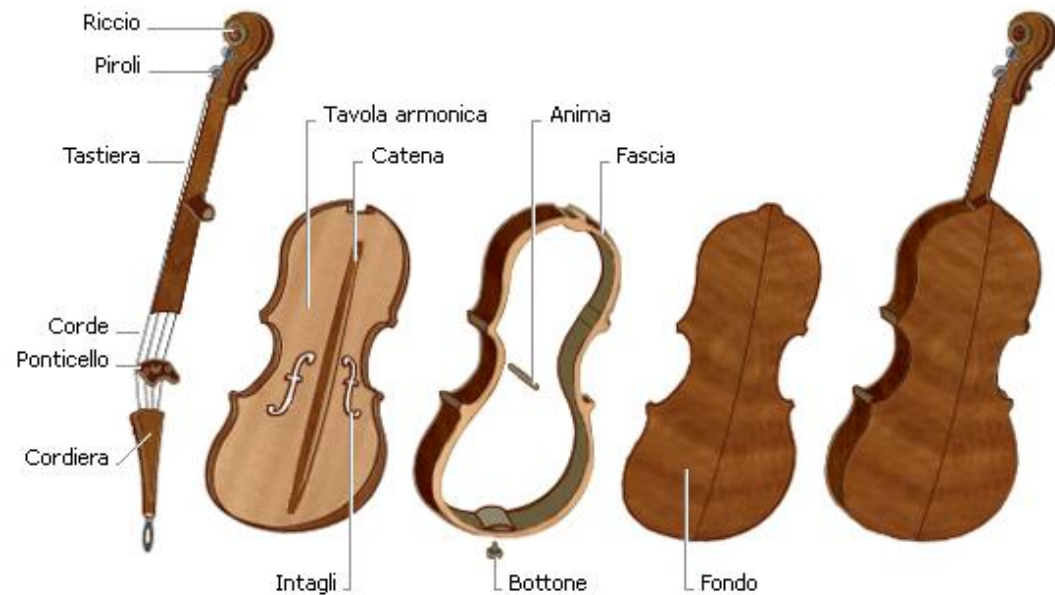
La tavola armonica, così come gli altri elementi che costituiscono gli strumenti ad arco, viene realizzata portando ad un giusto spessore il legno per conferire ad esso l'elasticità necessaria per una buona resa acustica.



Tutti gli elementi vengono assemblati per realizzare l'intero corpo dello strumento che irradianà il suono prodotto dallo sfregamento delle corde con l'archetto. La risposta del corpo dello strumento è tale da fornire “la voce caratteristica del violino” colorando il suono generato dalla vibrazione delle corde. Si individuano in pratica le diverse risonanze non solo della tavola armonica, ma anche del fondo, fino a quelle che si accoppiano al corpo dello strumento quali le risonanze del manico, quelle del ponticello, delle cordiere, etc.

La resa acustica dello strumento finito dipende molto dalla risposta acustica della tavola armonica la quale richiede una messa a punto prima del suo incollaggio sulle fasce. Interventi correttivi a strumento finito sono possibili solo agendo sugli spessori dall'esterno.

La risposta dello strumento finito presenta caratteristiche diverse da quella della tavola armonica messa a punto in fase di costruzione, per questo motivo è necessario poter prevedere, dalle indagini acustiche sulla sola tavola, la resa dell'intero strumento ultimato.



La risposta acustica della tavola armonica

Un metodo scientifico per determinare la risposta della tavola è quello di eccitare le risonanze del corpo del violino mediante un attuatore elettromagnetico (shaker) posto in determinati punti della tavola o sul ponticello di uno strumento finito.



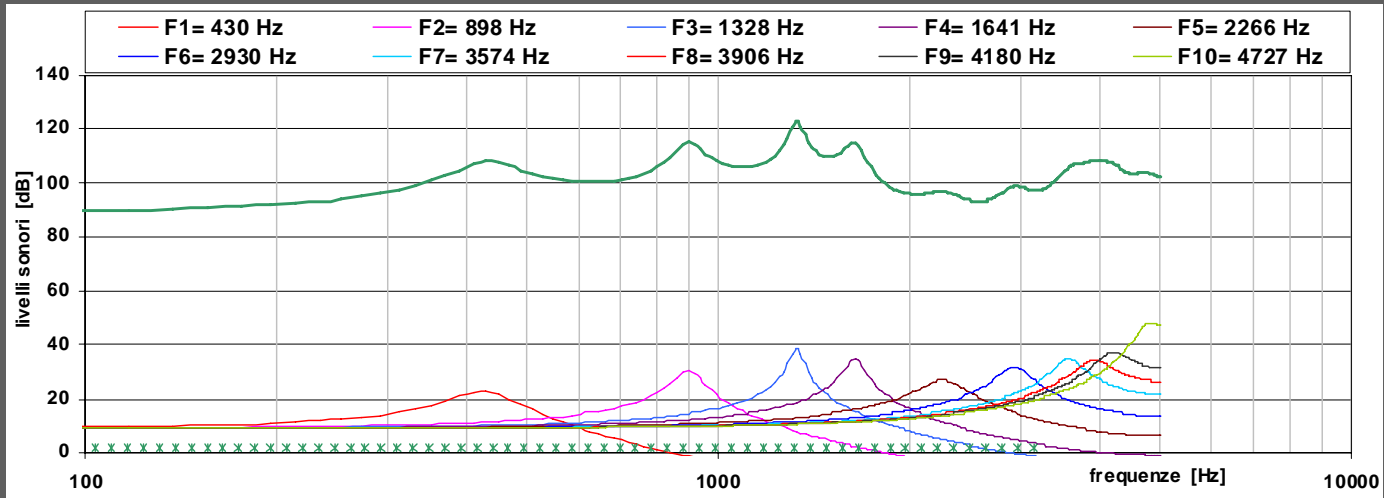
Si può anche procedere determinando la funzione di trasferimento tra una forza impulsiva, esercitata in un punto, e la risposta in accelerazione misurata in un altro punto dello strumento.

La sperimentazione

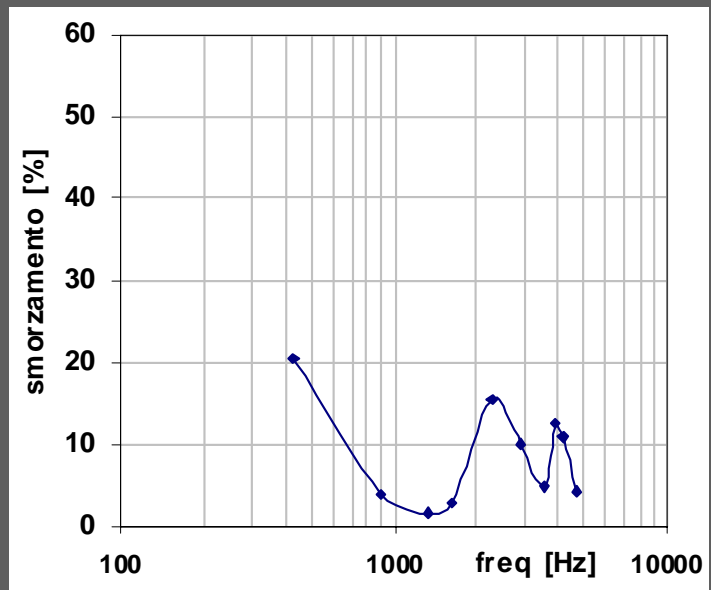
Utilizzare il Vibe Tribe per ascoltare il suono filtrato da ciascuna parte del violino



L'analisi per sintesi



Formanti stimate delle vibrazioni			
Frequenza	Banda	Nota	smorzam.
[Hz]	[dB]		[%]
430	88	A3	21
898	75	A4	4
1328	45	E5	2
1641	90	G#5	3
2266	350	C#6	15
2930	296	F#6	10
3574	347	A6	5
3906	496	B6	13
4180	457	C7	11
4727	420	D7	4



determinazione della risposta nel punto P40 con tecnica di analisi LPC

Le mappature acustiche

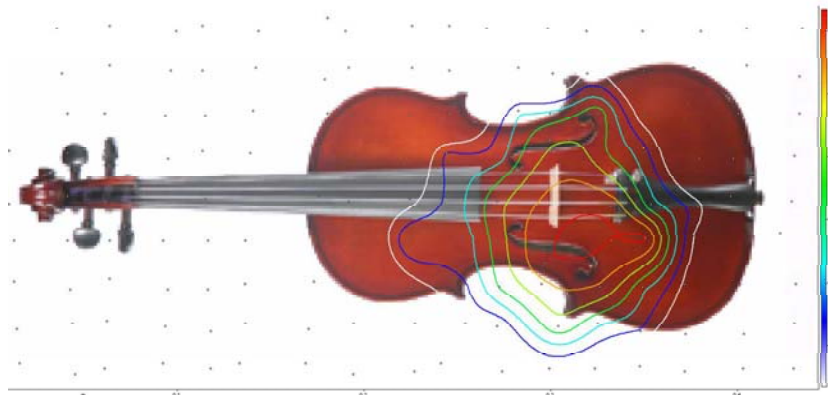
Il fenomeno dell'irraggiamento del suono da parte del corpo dello strumento può essere evidenziato attraverso indagini intensimetriche che consentano di tracciare le linee di equilivello della componente attiva del vettore intensità ovvero della velocità acustica in prossimità dello strumento.

Il ponticello è sollecitato da una forza a larga banda e perpendicolare alla tavola ottenuta con un segnale casuale. La sonda intensimetrica p-p scorre su un piano parallelo alla tavola armonica e la sua posizione è individuata da un sistema ottico referenziato sull'immagine.

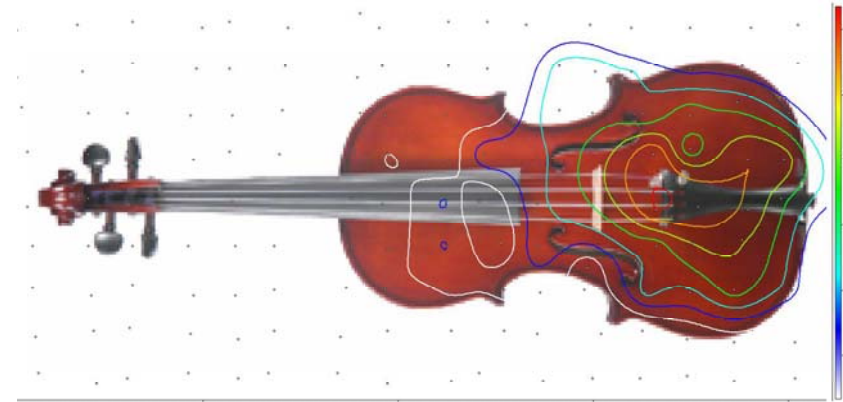


Sonda intensimetrica p-p con puntatore ad infrarossi per riferire il livello di intensità misurato alla posizione della sonda che verrà spostata in prossimità della tavola

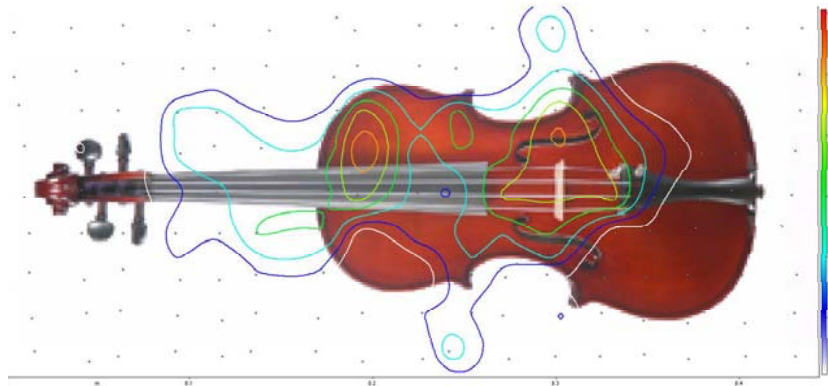
Le mappature acustiche



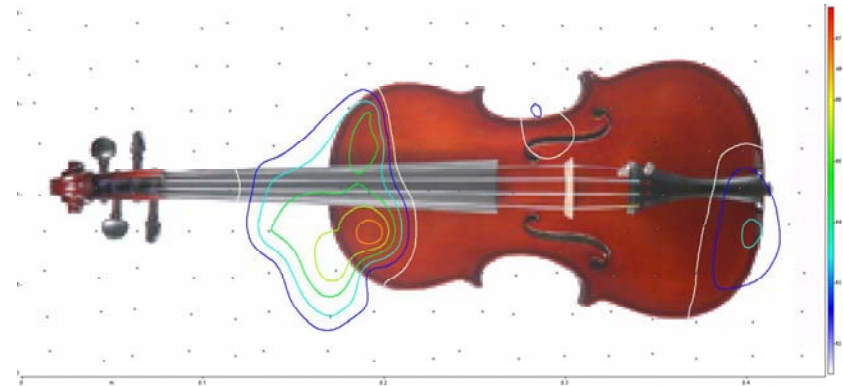
Frequenza 430 Hz



Frequenza 898 Hz



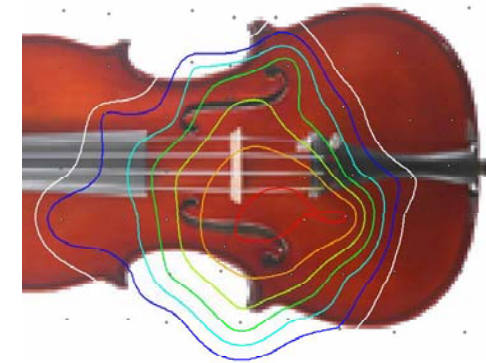
Frequenza 1328 Hz



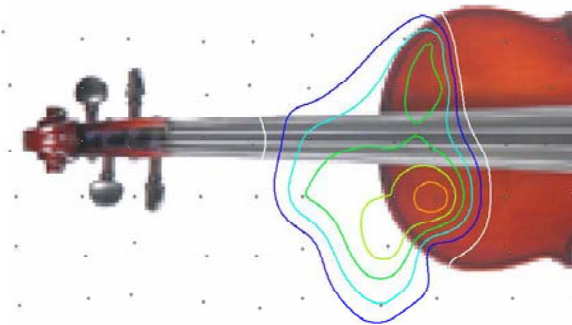
Frequenza 1641 Hz

Come è possibile osservare...

la parte centrale del corpo dello strumento irraggia maggiormente il suono alla frequenza di 430 Hz che risulta essere il primo modo di risonanza della tavola armonica.



Si evidenziano altri modi i cui centri di irraggiamento si spostano in funzione della frequenza fino ad evidenziare una emissione sonora della tavola nell'incastro del manico alla frequenza di 1641 Hz.



Probabilmente tale modo risulta dalla combinazione della risonanza della tastiera con l'irraggiamento della tavola.

Una quantificazione in termini di piacevolezza di un suono musicale comporta questioni di natura psicoacustica di estetica che coinvolgono, in linea di principio, due aspetti:

1

un aspetto legato alle caratteristiche fisiche del suono (livello, timbro, altezza, durata, etc.)

2

un aspetto soggettivo legato al meccanismo uditivo della percezione, unitamente al gusto estetico sviluppato da una determinata persona.

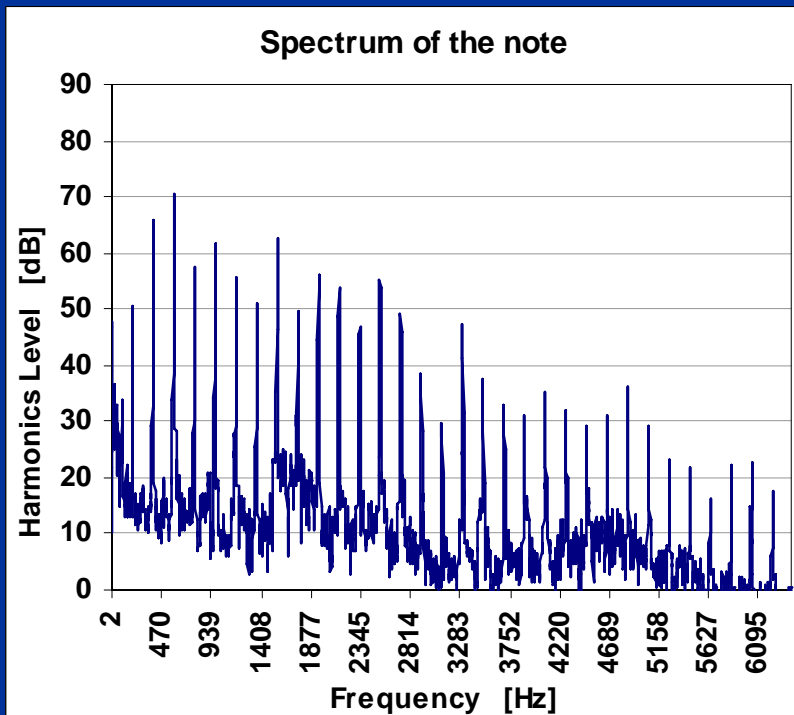
Nel campo della PSICOACUSTICA sono note le relazioni tra valori misurati (livelli sonori, spettri, etc.) e sensazioni soggettive di intensità

Mediante prove di ascolto sono emersi i fenomeni di **mascheramento** di suoni ad opera di altri di maggiore intensità, relazioni non lineari di intensità soggettiva percepita, legate alla durata dei suoni stazionari ed alla percezione di suoni impulsivi.

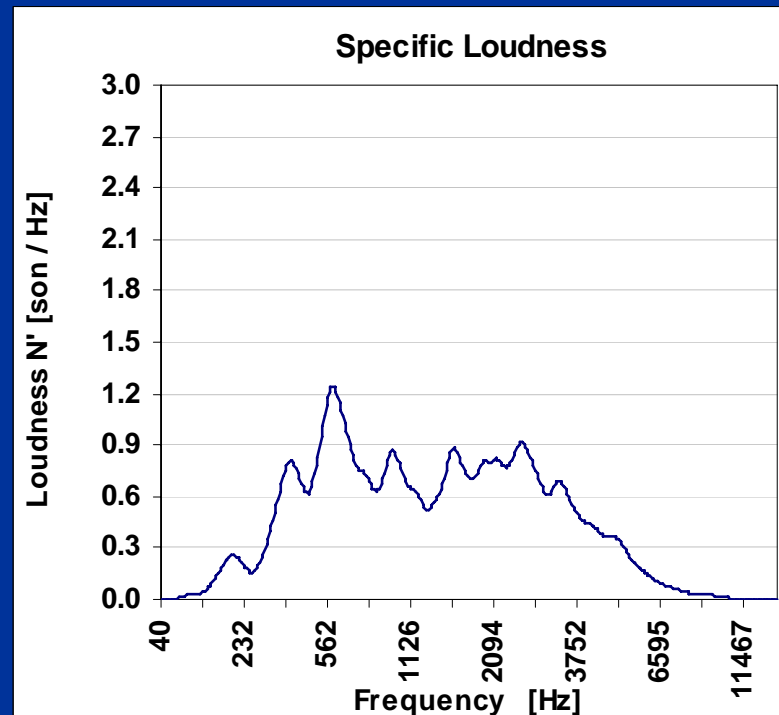
La misura della intensità soggettiva percepita (loudness) può essere eseguita adottando un modello che rappresenti il funzionamento dell'orecchio a partire dal suono captato dal padiglione auricolare sino alla trasformazione in impulsi neurali che raggiungono il cervello.

FINE PRIMA SESSIONE

Determinazione della loudness per segnali stazionari



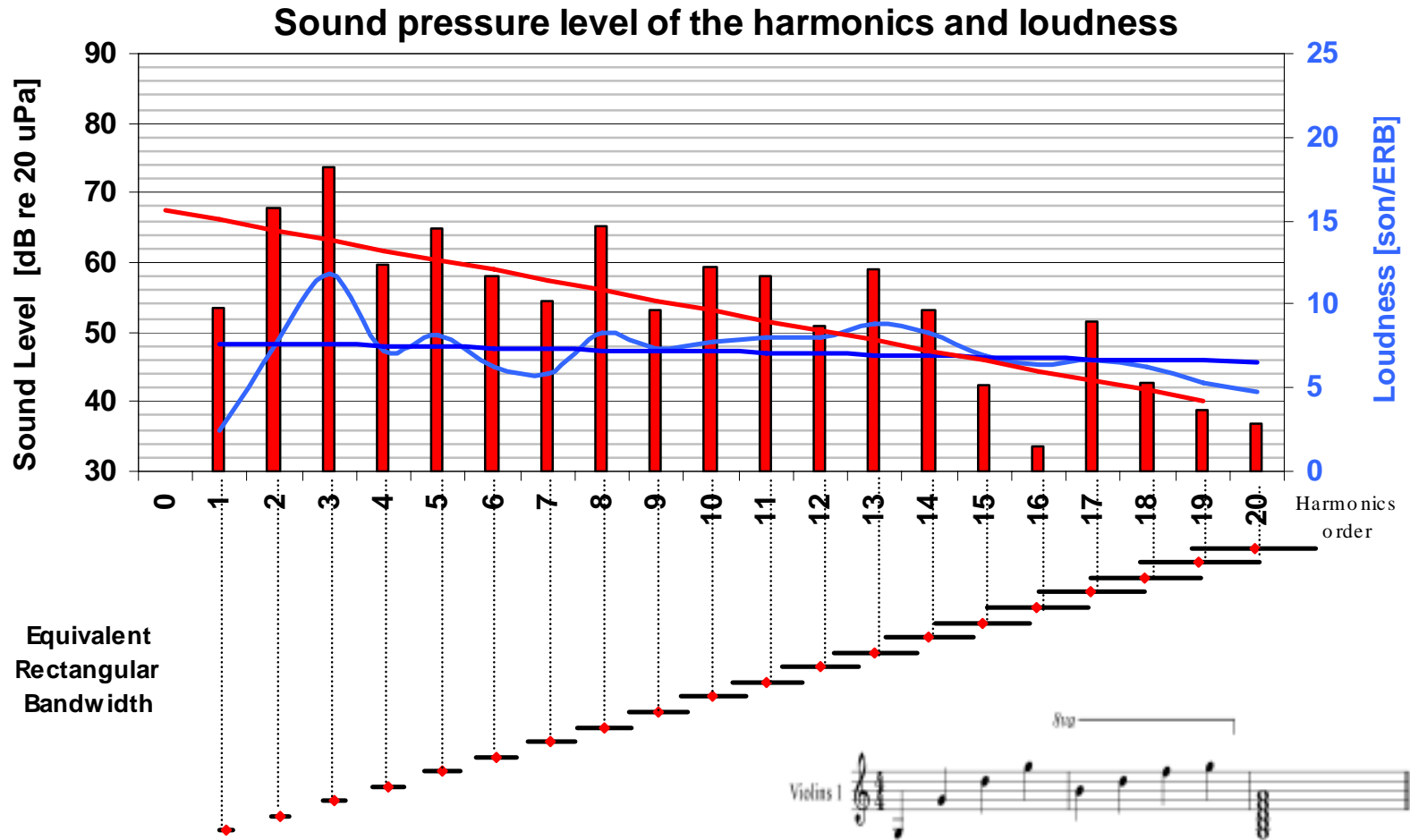
*spettro della nota
SOL di un violino*



*calcolo della loudness
specifica espressa in
son/Hz*

Sommando i valori della loudness specifica si ottiene il valore di loudness complessiva in Son

Determinazione della loudness di ciascuna armonica della IV corda SOL del violino



Le armoniche di un suono stazionario sono percepite con intensità soggettive legate alla frequenza

Rappresentazione del timbro mediante analisi cosiddetta “*tristimolo*”

Le qualità timbriche di un suono stazionario possono essere espresse dai seguenti rapporti:

$$f_0 = \frac{S_0}{S}$$

$$m = \frac{S_m}{S}$$

$$h = \frac{S_h}{S}$$

dove:

S_0 è la loudness del tono fondamentale [Son];

S_m è la loudness complessiva della seconda, terza e quarta armonica [Son]

S_h è la loudness complessiva delle restanti armoniche [Son]

S è la loudness complessiva del suono prodotto dal violino [Son]

Determinazione della loudness per segnali variabili nel tempo

Si introduce il mascheramento della sensazione uditiva in funzione della durata dei suoni elementari.

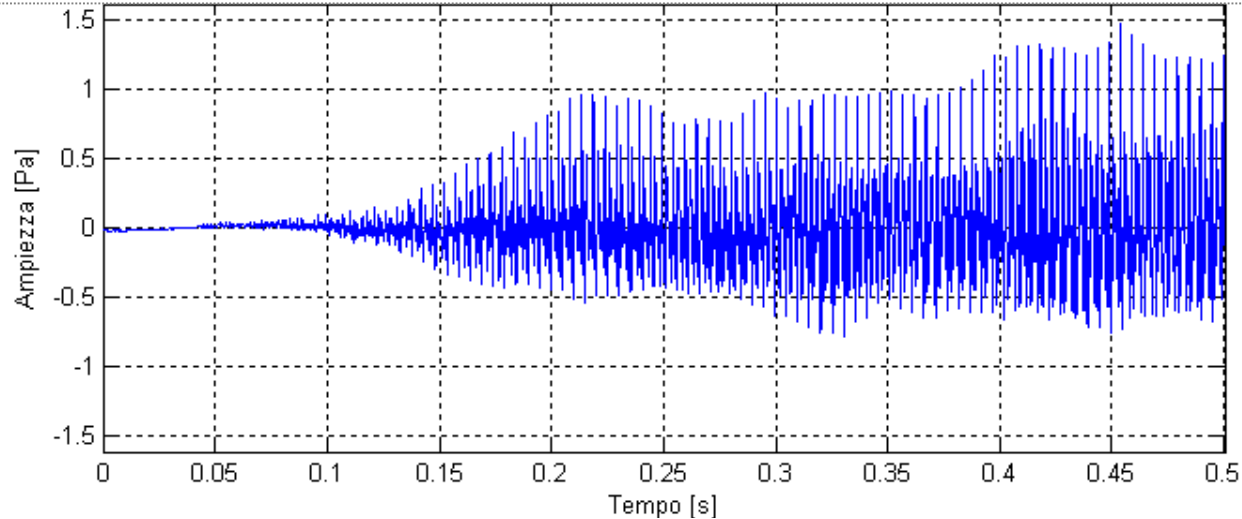
Il pattern di eccitazione si calcola mediante l'analisi spettrale FFT a risoluzione multipla.

L'analisi procede per finestre temporali che avanzano di 1 ms per formare un diagramma storico della loudness istantanea ad elevata risoluzione temporale.

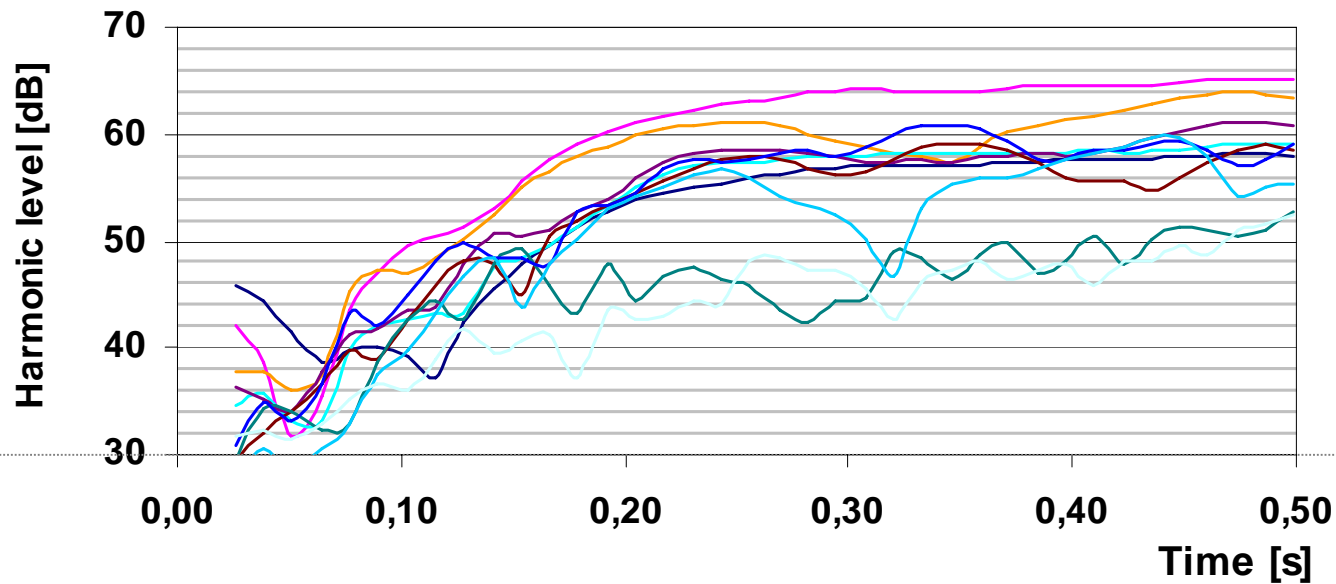
La serie di valori della loudness istantanea è opportunamente pesata nel tempo per giungere alla loudness calcolata su tempo breve (short-term loudness STL) che esprime meglio il concetto di loudness variabile nel tempo e sul cui andamento possono essere calcolati diversi descrittori psicoacustici.

Analisi del transitorio di attacco

Tracciato del segnale



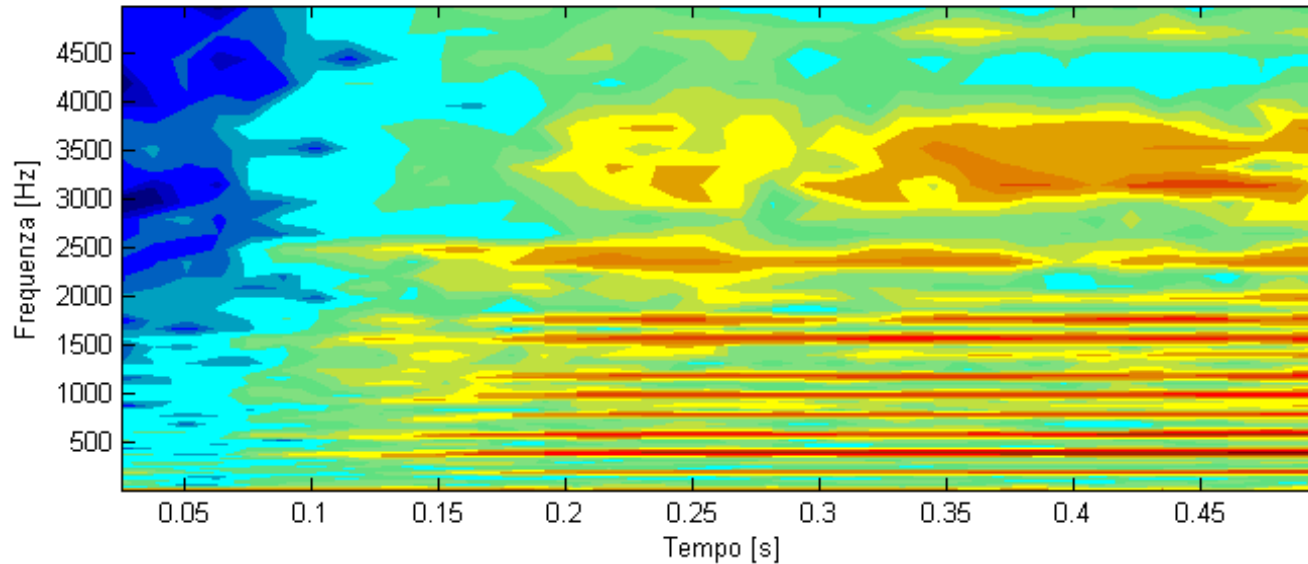
— Fundamental — II — III — IV — V — VI — VII — VIII — IX — X



Evoluzione temporale del segnale e del livello delle armoniche durante l'attacco della nota SOL

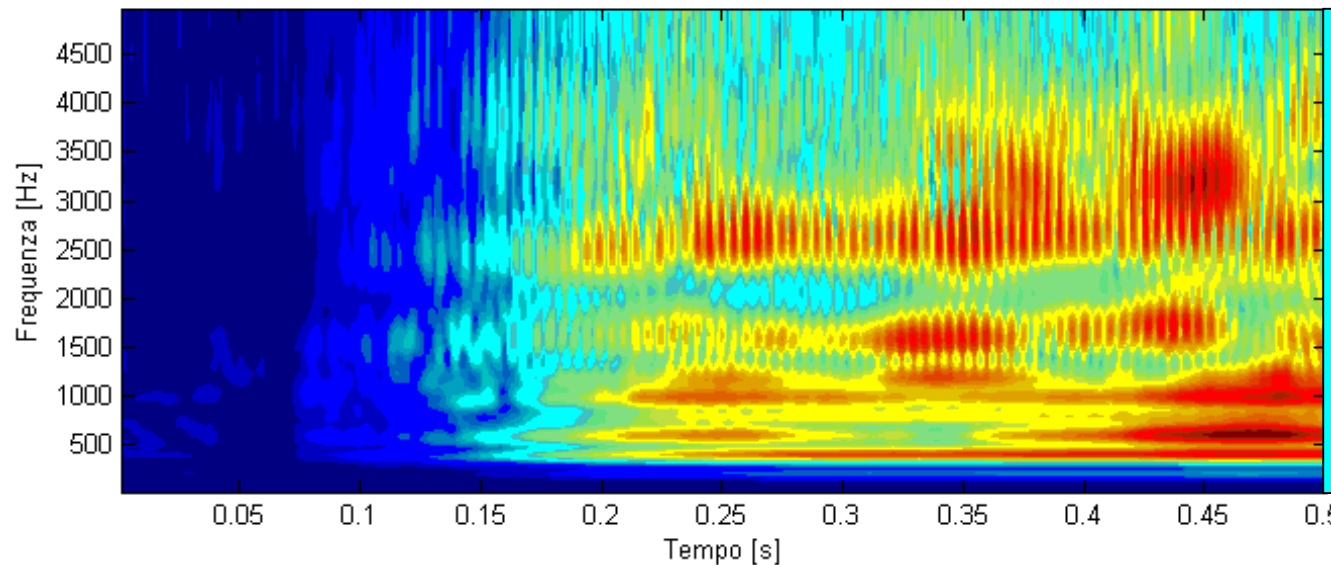
Sonagrammi del transitorio di attacco della corda del SOL

Spettrogramma del segnale



Sonagramma a banda stretta (tempo frequenza e livello)

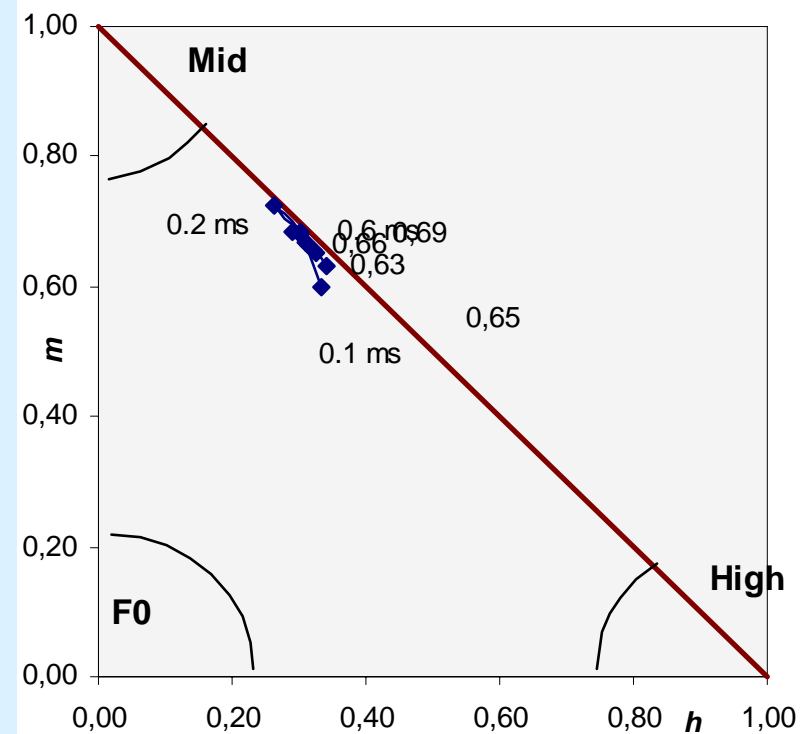
Loudness tempo-frequenza



Sonagramma a bande rettangolari equivalenti (tempo, frequenza dei filtri ERB e loudness)

Tristimolo relativo al transitorio di attacco della corda SOL

Time [s]	Regions		
	f_0	m	h
0,05	0,07	0,33	0,60
0,10	0,02	0,30	0,68
0,15	0,01	0,26	0,73
0,20	0,02	0,30	0,68
0,25	0,02	0,31	0,67
0,30	0,02	0,32	0,65
0,35	0,02	0,29	0,69
0,40	0,02	0,31	0,66
0,45	0,02	0,33	0,65
0,50	0,02	0,34	0,63



Rappresentazione dei rapporti che definiscono la variazione del timbro nella fase transitoria

CONCLUSIONI

Gli indicatori desunti dalla psicoacustica sono più indicati per esprimere il confronto tra i suoni prodotti da diversi strumenti a parità di condizioni

Il tristimolo sintetizza la qualità del suono se si producono anche variazioni significative nella messa a punto (spostamento dell'anima, tipo di cordiere, etc.)

Si confrontano, per lo stesso violino, due tipi di cordiere:



una cordiera tradizionale

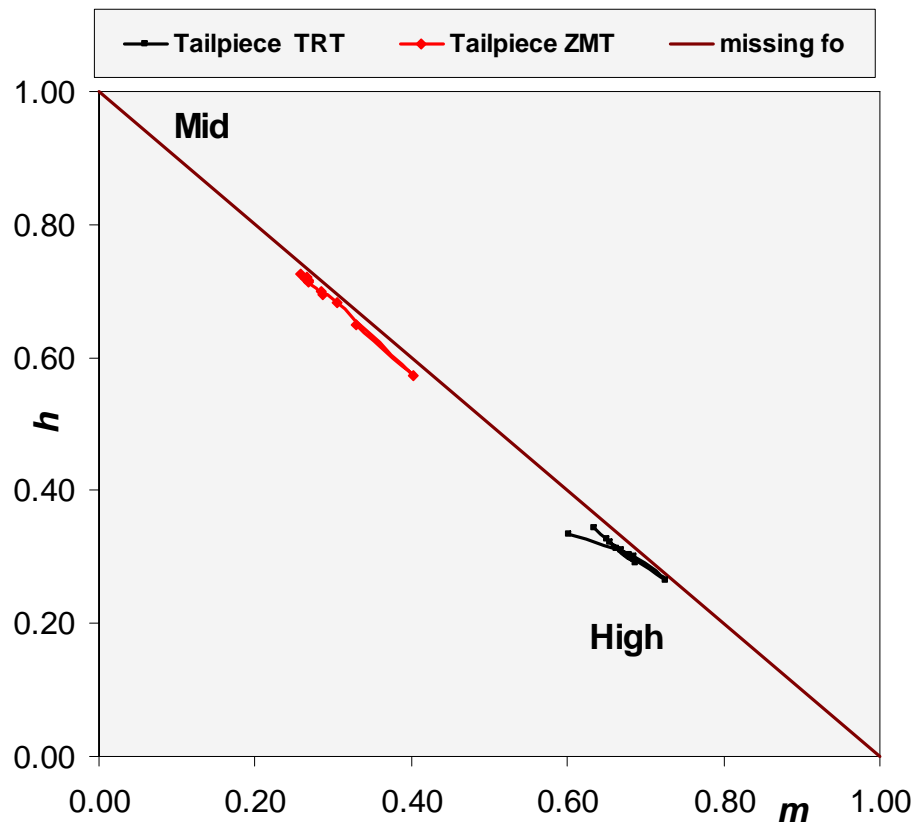


*una costruita con lunghezza
variabile delle corde*



CONCLUSIONI

Confronto degli spazi di esistenza dei rapporti del tristimolo relativo alla nota SOL per lo stesso violino con cordiera tradizionale rettilinea (TRT) e con cordiera a profilo variabile (ZMT)



Lo spostamento verso la zona in cui prevale la loudness delle frequenze medie indica una maggiore pienezza del suono prodotto dalla cordiera a profilo variabile a parità di condizioni di assetto e d'uso dello strumento