

Piero Bonaguri

# Home Recording per chitarristi

Tecniche e suggerimenti  
per la registrazione  
della chitarra classica solista

Con un contributo di **Lucio Matarazzo**

Prefazione di **Luigi Picardi**

**UT**ORPHEUS

## **Bonus MP3 Files**

I file MP3 degli esempi di registrazioni audio (eseguiti da Piero Bonaguri) sono disponibili per il download alla pagina:  
**[www.utorpheus.com/downloads](http://www.utorpheus.com/downloads)**

LB 35

ISBN 978-88-8109-512-4

© Copyright 2019 Ut Orpheus Edizioni S.r.l.

Piazza di Porta Ravegnana 1 – 40126 Bologna (Italy)

[www.utorpheus.com](http://www.utorpheus.com)

Tutti i diritti riservati. È vietata la riproduzione, memorizzazione o trasmissione, anche parziale, in qualsiasi forma o con qualunque mezzo, elettronico, meccanico, fotocopia, disco o altro, senza preventiva autorizzazione scritta dell'editore.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Printed in Italy 2019 – Global Print S.r.l. – Via degli Abeti 17/1 – Gorgonzola (Mi)

## Indice

Prefazione <i>di Luigi Picardi</i> .....	5
Introduzione .....	7
1. La catena audio .....	13
2. Il suono, sue caratteristiche. Hertz, decibel, forma d'onda .....	14
3. Posizionamento dell'interprete e del microfono nell'ambiente. Calcolo della frequenza di risonanza della stanza. Eventuali trattamenti acustici ambientali. Registrazione della chitarra "dry" o con ambiente .....	21
4. Microfoni .....	28
5. Microfonazione stereo e tecniche stereo consigliate. Problemi di fase .....	41
6. Cavi .....	51
7. Preamplificatore .....	51
8. Mixer .....	53
9. Convertitore .....	55
10. Decibel nel dominio analogico e digitale .....	58
11. Settaggio del gain .....	60
12. Scheda audio, ingressi ed uscite. Latenza. Ingresso ed uscita digitale. PC: rumorosità, hard disk, porte, RAM, processore .....	61
13. Software .....	64
14. Plugin .....	68
15. Ascolto: cuffie, casse monitor e loro posizionamento .....	73

16. Registrazione .....	76
17. Editing.....	79
18. Backup.....	83
19. Postproduzione .....	83
20. Equalizzazione .....	84
21. Compressione.....	86
22. Limiter.....	92
23. Accenni su mixing e mastering. Contributo di Lucio Matarazzo .....	96
24. Equipaggiamento minimo per iniziare .....	104
25. Upgrade delle apparecchiature.....	105
26. Esempi di registrazioni .....	112
27. Registrazione di video musicali.....	119
Conclusione .....	135
Bibliografia e siti Internet.....	136

## Prefazione

Con l'avvento del digitale e la scomparsa delle case discografiche, assorbite dalle multinazionali della musica, a partire dalla fine del secolo scorso si sono moltiplicati gli studi di registrazione privati, ai quali è demandato il compito di registrare, mixare e consegnare il prodotto finale all'artista, il quale a sua volta lo rivende alla major discografica. In anni più recenti, con l'abbattimento dei costi della tecnologia digitale, specie nel campo chitarristico, si è affermata la cosiddetta *home recording* – in italiano “registrazione casalinga” non suona purtroppo bene – la quale ha preso molte volte una deriva dilettantesca con prodotti spesso di discutibile qualità, specie nel campo della chitarra classica in cui il solismo e l'empirismo la fanno da padrone, insieme all'arte di arrangiarsi. Il libro (molto ben fatto) dell'amico Piero, un vero e proprio manuale, vuol mettere dei punti fermi sull'argomento ma soprattutto fornire delle basi tecniche allo scopo di guidare il chitarrista a organizzare e trasformare lo spazio casalingo in un vero e proprio studio di registrazione. Colgo l'occasione per invitare i colleghi chitarristi che si avvicinano alla difficile arte della fonìa a fare esperienza presso studi di registrazione di livello allo scopo di apprendere come si riprende *il* suono più in generale, andando al di là del piccolo mondo delle sei corde. La musica innanzi tutto. *Ad maiora!*

LUIGI PICARDI

Assistente musicale e conduttore della Rubrica “L'Arpeggio”  
Radio Vaticana Italia (Programmi musicali)



## Introduzione

Questo manuale nasce a seguito della possibilità emersa recentemente di tenere un corso pratico di *home recording*, dedicato ai chitarristi classici, presso il Conservatorio di Bologna.

Avendo letto diversi libri sull'argomento mi son chiesto anzitutto quale di essi avrei potuto utilizzare come testo base del corso, e la risposta è stata che nessuno tra quelli che conoscevo – ed a tutti sono debitore di qualcosa – rispondeva pienamente allo scopo del mio corso, proprio perché questi testi sono nati per rispondere ad esigenze diverse e meno mirate rispetto alla registrazione della chitarra classica solista (intendiamoci, questo non è un male, e certamente una formazione più ampia sul tema “registrazione sonora” aiuta anche a capire meglio i problemi specifici della registrazione della chitarra).

Ho allora iniziato a farmi una scaletta degli argomenti che mi sarebbe piaciuto trattare nel corso, mettendoli in un ordine opportuno; poi ho iniziato a scrivere, sotto i titoli dei vari argomenti, quello che mi sarebbe piaciuto dire, nel contesto del corso, su quegli argomenti... ed un po' alla volta è venuto fuori questo testo. Oggi esiste una enorme quantità di informazioni reperibili, anche in rete, su questa materia: il difficile, per il chitarrista che è digiuno in questo campo e vuole iniziare ad acquisire conoscenze utili, è scegliere tra tutte queste informazioni disponibili quelle che servono, in un ordine progressivo.

Da qui il mio tentativo: il prodotto è questo scritto, volutamente essenziale, che nasce quindi sia dalle mie numerose letture che dalla mia esperienza personale. Forse l'aspetto più utile di questo libro, e che in fondo ne giustifica l'esistenza, è proprio quello di nascere dalle esperienze pratiche di un chitarrista che un po' alla volta ha imparato a registrarsi e qui racconta “come fa”. Devo

anche dire chiaramente che in questo testo non intendo andare oltre rispetto al racconto e spiegazione di come ho fatto io. Per esempio, so che oggi è ormai comune l'uso dell'ambiente operativo Mac rispetto a quello Windows che io continuo ad usare, ed anche a livello di tecniche e software l'evoluzione è molto rapida. Io non intendo quindi assolutamente dire "si deve fare così", ma piuttosto "ho fatto e faccio così", confortato dai risultati ottenuti. Alcune indicazioni che darò possono perciò essere superate, ma nascono dal mio modo di lavorare e dagli strumenti con cui lavoro.

La stessa richiesta che avevo ricevuto di tenere il corso di home recording, e poi le successive dimostrazioni di interesse che ho riscontrato ancor prima di iniziare, testimoniano l'ormai diffusa percezione del vantaggio, per un chitarrista classico, di imparare a registrarsi.

Da un lato oggi è diventato molto economico farlo, almeno ad un cosiddetto, ma comunque dignitosissimo, *entry level*; d'altra parte – grazie ad Internet ed ai *social media* – l'odierna possibilità di proporre il proprio lavoro letteralmente "al mondo" – anche saltando tanti intermediari una volta indispensabili – rende l'home recording una possibilità che sarebbe poco saggio ignorare, in particolare per un giovane interprete desideroso di farsi conoscere. Recentemente un mio video postato su Facebook ha superato in meno di 24 ore la quota di 4.000 visualizzazioni: non tantissime, certo, se paragonate ai video cosiddetti "virali" che circolano in rete... ma mi chiedo: quanto tempo ci metterebbe un mio cd contenente quello stesso brano a raggiungere così tanta gente in tutto il mondo? Per non parlare poi del feedback immediato che si riceve, dei commenti provenienti da tante parti diverse del mondo, dei dialoghi, delle richieste di informazioni...

L'avvento del digitale sta, inoltre, ulteriormente rendendo alla portata di tutti il mondo della registrazione sonora, con il drastico attuale ridimensionamento del costo degli



strumenti operativi minimi necessari. Già con un semplice smartphone si può fare qualcosa...

Per un chitarrista classico, poi, le esigenze operative in termine di strumentazione richiesta per registrarsi sono particolarmente ridotte, grazie alle dimensioni, al tipo di suono ed alla trasportabilità dello strumento che suona.

Per esperienza posso infine dire che registrarsi aiuta ad accorgersi di propri difetti esecutivi che forse altrimenti non si noterebbero ed a monitorare la propria crescita tecnica ed interpretativa nel lavoro su un brano musicale, per cui costituisce un grande aiuto anche a livello di studio personale della musica e dello strumento (ricordo, a questo proposito, come tempo fa il grande Alirio Díaz sottolineasse l'importanza fondamentale, per uno strumentista, di sviluppare il senso autocritico).

La registrazione mi è anche molto utile nel rapporto di collaborazione con i tanti compositori che scrivono per me: poter fornire loro velocemente esempi del mio *work in progress* sui brani nuovi che mi mandano è molto utile nel dialogo a distanza che si instaura tra il compositore e me.

C'è poi anche un altro fattore da considerare: se è vero che uno studio di registrazione professionale, e fonici professionisti, hanno indubbiamente strumentazioni e *know how* superiori a quelle che può formarsi in poco tempo il musicista che inizia a registrarsi da solo in casa, lo stesso musicista (studente avanzato o professionista che sia) ha il vantaggio di poter contare su una conoscenza della musica e del proprio strumento certo più sviluppata, mediamente, di chi fa un altro mestiere. E, mentre alcune informazioni e strumentazioni essenziali per iniziare a registrare a livello dignitoso sono oggi di relativamente facile acquisizione per un musicista, un fonico – anche bravissimo nel suo settore specifico – che non conosca la musica, non sappia leggerla, non sappia suonare uno strumento – la chitarra classica, nel nostro caso –, che non veda la musica dal punto di

vista di un interprete a livello professionale manca, a sua volta, di competenze essenziali alla buona realizzazione del prodotto finale per quanto riguarda la registrazione musicale – competenze che, invece, non è così facile e veloce apprendere.

Anche per questa ragione credo che per un musicista professionista valga la pena di investire tempo e risorse per dotarsi della possibilità (in termini di competenze e strumentazione) di autoregistrarsi.

Limito l'argomento di questo testo alla registrazione digitale della chitarra classica solista, campo nel quale ho maturato una lunga esperienza nel tempo attraverso la registrazione in proprio di tanti cd (destinati al mercato) e più recentemente di tanti video (destinati ai social media).

Come dicevo – e non sono solo io a dirlo – le conoscenze teoriche richieste a questo scopo non sono oggi così estese come lo erano un tempo; anche per questo motivo, ed intendendo mantenere questo lavoro nei limiti di un ausilio pratico, fornirò solo un minimo di nozioni teoriche che mi sembrano utili ad incominciare a muoversi – incoraggiando naturalmente a svilupparle attraverso ulteriori letture e rapporti con professionisti della registrazione.

Di conseguenza, certi argomenti dei tanti che potrebbero essere compresi in un corso completo sulla registrazione sonora qui non saranno trattati, o saranno appena accennati, o comunque sviluppati solo in funzione dello scopo pratico da raggiungere.

Evidentemente il testo che segue sarà particolarmente utile a chi ha frequentato anche delle lezioni pratiche sull'argomento, ma lo ritengo un buon concentrato di informazioni comunque utili.

Mi scuso anche se la terminologia da me adoperata non sarà sempre la più ortodossa, ma ho cercato anche di essere comprensibile ai non addetti ai lavori...

Questo tipo di libri, poi – lo dico avendone letti tanti – possono soffrire per certi aspetti di un veloce invecchia-

mento, dovuto alla continua evoluzione tecnologica – io stesso continuo ad usare apparecchiature e software in versioni non sempre aggiornatissime; ma alcuni principi basilari rimangono comunque validi.

Ho letto abbastanza sull'argomento per rendermi conto che anche in questo campo esistono, su diversi argomenti, diverse "scuole di pensiero". Una delle poche cose sulle quali sono veramente tutti d'accordo è l'invitare chi si dedica all'home recording a sperimentare tanto ed a fidarsi del proprio orecchio – che deve essere educato.

È un consiglio che faccio mio e che verrà più volte ripetuto nel corso di questo libro.

Ho ritenuto utile anche realizzare, come ausilio al presente testo, piccoli esempi di registrazioni audio ascoltabili online al sito web dell'Editore. In questo modo sarà possibile fare una comparazione (quello che nell'ambiente si dice *shootout*) tra diverse tecniche di ripresa e diversi microfoni, e sentire come l'applicazione di alcuni effetti modifica il suono. Le registrazioni sono state fatte tutte nello stesso ambiente, nella stessa giornata e con le apparecchiature (preamplificatore, convertitore, scheda audio) settate allo stesso modo. La mia posizione nella stanza è rimasta invariata, come pure, per quanto possibile, la distanza tra chitarra e microfoni. Alla fine della sezione del libro dedicata all'audio gli esempi vengono commentati.

Dovrei ringraziare molte persone dalle quali (oltre che dai libri e da internet) ho imparato quello che so sull'argomento: voglio almeno citare qui l'amico e collega Lucio Matarazzo (per i tanti consigli disinteressati che mi ha dato nel tempo e per l'importante contributo sul *mastering* che ha scritto appositamente per questo testo) ed il chitarrista, fonico e producer statunitense Bob Hansmann, i cui consigli ed osservazioni sono stati veramente illuminanti!



## 1. La catena audio

Direi che i fattori sotto elencati sono di importanza decrescente, anche se ognuno di essi può rovinare l'effetto dei precedenti e dei seguenti – ma non può migliorarlo. Da qui deriva l'insostituibilità, ad esempio, per ottenere una buona registrazione, di iniziare bene: avere cioè buone idee musicali e le capacità tecniche ed interpretative per realizzarle allo strumento, avere studiato bene il pezzo che si registra, avere sviluppato un buon suono, e poi avere buone corde ed un buono strumento, registrare in una *location* provvista di una buona sonorità ambientale... tutte cose che, se mancano, non sono poi ricreabili pienamente a posteriori, anche con l'ausilio dei migliori elementi successivi della catena.

Mi sembra poi che valga la pena di affermare che, come ho anche letto più volte in ambiti specialistici, vale molto di più imparare ad usare bene gli strumenti di registrazione che si hanno rispetto alla ricerca spasmodica dello strumento migliore. Come scrive Geoffrey Francis:<sup>1</sup>

Being able to make the best of what you have is more important than having the best.

Questo, per inciso, – come tanti chitarristi sanno bene – vale anche per lo strumento musicale che si suona, oltre che per le apparecchiature che si usano per registrarsi. Mentre non è (ovviamente) sbagliato in sé ambire agli strumenti migliori (dalla chitarra ai microfoni fino al software),

---

<sup>1</sup> Geoffrey Francis, *Home Recording for Beginners*, Cengage Learning PTR, 2009.

questa ambizione potrebbe essere fuorviante se non fosse accompagnata dalla consapevolezza che nulla sostituisce il proprio impegno creativo per ottenere il massimo risultato con gli strumenti che si hanno.

E la sostanza del risultato finale dipende assai più dalla seconda cosa (usare bene quel che si ha) che dalla prima (la strumentazione).

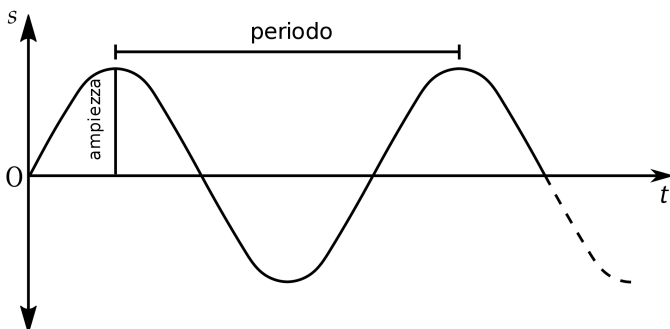
Ecco allora quella che per me è la catena di registrazione della chitarra:

- interprete
- mani (unghie della mano destra)
- corde
- strumento
- ambiente
- microfono (o microfoni)
- cavi
- preamplificatore (o mixer)
- convertitore
- scheda audio
- computer
- software

## **2. Il suono, sue caratteristiche. Hertz, decibel, forma d'onda**

Le onde sonore (che sono cicli di pressione e rarefazione dell'aria originati da un corpo vibrante come ad esempio la corda pizzicata di una chitarra) se sono regolari (parliamo quindi di suoni e non di rumori) hanno una frequenza che si misura in *hertz* (abbreviato in Hz), che corrisponde al numero di cicli al secondo (vedi fig. 1).

Le frequenze udibili dall'orecchio umano vanno da 20 a 20.000 Hz.

Fig. 1<sup>2</sup>

Rappresentazione grafica di un'onda sonora. Lungo la linea orizzontale del tempo (t) viene rappresentata l'onda sonora. Nel grafico viene indicata l'ampiezza dell'onda (che corrisponde al volume del suono) ed il periodo (la distanza temporale tra un picco e l'altro) da cui dipende la frequenza del suono. La fase di un'onda sonora viene misurata in gradi: l'inizio è a zero gradi, il picco (un quarto di ciclo) a 90°, l'avvallamento a 180° e la fine a 360°. Dalla forma dell'onda dipende invece il timbro.

Come scrivono Bruce e Jenny Bartlett:<sup>3</sup>

Quando un'onda sonora viaggia attraverso l'aria, la distanza fisica tra un picco (compressione) ed il prossimo è chiamata lunghezza d'onda [...]. Suoni bassi hanno grandi lunghezze d'onda (diversi piedi); suoni alti hanno piccole lunghezze d'onda (pochi pollici o meno). La lunghezza d'onda è la velocità del suono divisa per la frequenza. Così la lunghezza d'onda di una onda di 1000 Hz è 1,13 piedi (0,344 metri); 100 Hz è 11,23 piedi (3,44 metri), e 10kHz è 1,35 pollici (3,45 centimetri).

<sup>2</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Onda\\_sonora](https://it.wikipedia.org/wiki/Onda_sonora)

<sup>3</sup> Bruce & Jenny Bartlett, *Practical Recording Techniques*, Focal Press, 2013<sup>6</sup>.

L'onda sonora ha poi un suo comportamento (o *involuppo* – gli inglesi usano la parola *envelope*, oppure *ADSR curve*, da *Attack – Decay – Sustain – Release*) dall'inizio del “suono” al decadimento sotto la soglia della sua udibilità. Il primo elemento della *envelope* è il transiente d'attacco.

*Transiente d'attacco* si potrebbe quindi definire il comportamento dell'onda sonora all'inizio di ogni suono.

La chitarra ha un transiente d'attacco molto breve caratterizzato da un rapidissimo picco; poi c'è un successivo decadimento del volume – e certi tipi di tocco, come ad esempio quello con il pollice usato in tocco appoggiato, fanno “schizzare in alto” il volume del transiente in modo che può sorprendere in fase di registrazione.

Una delle prime cose di cui mi sono accorto quando ho iniziato a registrarci è che i picchi di volume segnalati dal registratore non erano sempre nei momenti nei quali io avrei immaginato che si producessero, all'interno del brano registrato. Un'altra cosa di cui mi sono accorto, e che ancora mi sorprende – cosa che è dovuta alla bizzarra e non sempre prevedibile risposta acustica della chitarra – è questa: a volte alla nostra intenzione di suonare più piano o più forte (intenzione accompagnata da nostri “gesti” strumentali che vanno nella direzione da noi auspicata) non corrisponde una reale diminuzione o aumento generale del volume registrato (per lo meno nella quantità da noi desiderata), e quello che cambia più che altro è il timbro (che diventa più duro quando vogliamo suonare più forte). Mi pare che si possa affermare che la vera curva dinamica ascoltabile nella registrazione di uno strumento come la chitarra dipenda più dalla *texture* complessiva del pezzo che si suona – e dai tipi di gesto che questo implica – che dall'intenzione del chitarrista di suonare più piano o più forte. Questo può sembrare sorprendente (infatti tuttora mi sorprende, dopo tanti anni), ma l'esperienza (ed i livelli di intensità che le macchine misurano in fase di registra-



zione) continua a confermare questo curioso dato. D'altra parte, si può sfruttare proprio la differenziazione timbrica per rafforzare l'effetto dinamico, sia suonando dal vivo che registrando – in quanto un suono penetrante “passa” di più rispetto ad un suono dolce. Così, l'effetto di un diminuendo può essere rafforzato dal cambiamento timbrico che si produce spostando la mano destra verso il centro della corda vibrante, e viceversa.

Frequenze di vibrazione delle corde della chitarra:

- 6<sup>a</sup> corda – Mi: 82,41 Hz
- 5<sup>a</sup> corda – La: 110 Hz
- 4<sup>a</sup> corda – Re: 146,83 Hz
- 3<sup>a</sup> corda – Sol: 196 Hz
- 2<sup>a</sup> corda – Si: 246,94 Hz
- 1<sup>a</sup> corda – Mi cantino: 329.63 Hz

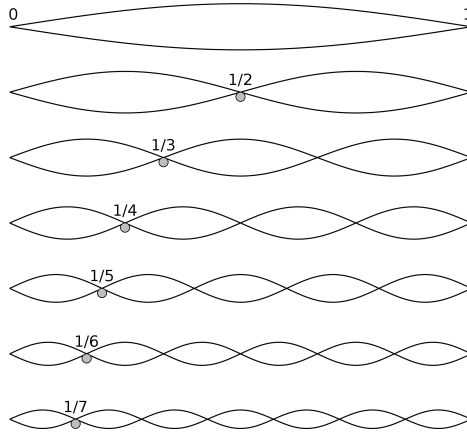
Si al XIX tasto della 1<sup>a</sup> corda: 987,76 Hz

Le frequenze udibili possono essere così suddivise:

- da 20 a 160 Hz: basse
- da 160 a 350 Hz: medio-basse
- da 350 a 2.500 Hz: medie
- da 2.500 a 5.000: medio-alte
- da 5.000 a 10.000: alte
- da 10.000 a 20.000: molto alte

Con i suoni della chitarra, a livello di frequenza fondamentale e fino al XIX tasto della corda più acuta, siamo quindi nell'ambito delle frequenze basse e medie, cioè sotto i mille Hz. A causa però dei suoni armonici che accompagnano l'emissione di ogni suono “fondamentale” (vedi fig. 2a) e che hanno ovviamente frequenze più acute, ed anche molto più acute rispetto alla fondamentale (già il secondo armonico, all'ottava, è ad una frequenza doppia dalla fondamentale, il terzo è a frequenza tripla, ecc...), nell'ambito

della registrazione della chitarra vengono coinvolte anche frequenze alte (da 1.000 a 15.000 Hz).



**Fig. 2a<sup>4</sup>**  
Armonici naturali

Scrivono ancora Bruce e Jenny Bartlett:<sup>5</sup>

Per esempio, se uno strumento ha un attacco percussivo – come il pizzicare della chitarra o il colpo del tom – gli armonici sono più forti all’attacco, poi divengono più deboli durante il decadimento.

Il livello di intensità acustica del suono si misura in *decibel* (dB); decibel riferiti in questo caso alla soglia di pressione sonora (SPL, o *Sound pressure level*). Troveremo spesso associata alla sigla dB qualche altra lettera, perché la parola decibel può applicarsi a realtà diverse.

<sup>4</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Armonici\\_naturali](https://it.wikipedia.org/wiki/Armonici_naturali)

<sup>5</sup> B. & J. Bartlett, *Practical Recording Techniques*, cit.

Il decibel è una grandezza logaritmica (è il logaritmo del rapporto fra due grandezze fisiche omogenee).

È interessante osservare che, riguardo alla percezione dell'ampiezza del suono, anche l'orecchio umano funziona in modo logaritmico.

Ad ogni raddoppio di intensità acustica corrisponde un aumento di 6 decibel, ad ogni dimezzamento una diminuzione di 6 decibel.

Ma, per come funziona l'orecchio umano, "tarato" e specializzato sullo spettro di frequenza del parlato umano (da 500 a 2.000 Hz), la nostra sensibilità all'intensità acustica non è uguale in tutte le frequenze: ad esempio, a 1.000 Hz un incremento di 10 dB corrisponde un raddoppio della sensazione di intensità. Per questo troveremo più avanti la sigla dB(A) che si riferisce a valori calcolati tenendo conto proprio della sensibilità umana alla intensità acustica.

Il range di sensibilità dell'orecchio umano va da 0 a 120-130 dB (stiamo sempre parlando di SPL = *Sound Pressure Level*, o livello di pressione sonora).

Un bisbiglio misura circa 20 decibels, l'interno di una abitazione circa 30-40, una conversazione circa 70.

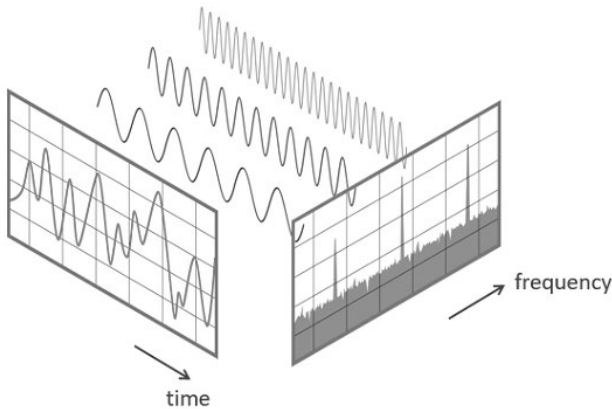
A circa 120-130 dB – è il rumore di un jet! – c'è la soglia del dolore per l'orecchio umano.

La chitarra classica, tanto per capire come ci collochiamo all'interno di questo range, ha come livello minimo di pressione sonora 38 dB a mezzo metro e 32 dB ad un metro, e come livello massimo 81 dB a mezzo metro e 75 dB ad un metro (perché ovviamente la distanza influisce sulla percezione).

La *forma* dell'onda sonora, che i software di registrazione ed editing audio permettono di vedere riprodotta attraverso la loro interfaccia grafica, è quella da cui dipende il timbro. Come si apprende da studi elementari di acustica, la forma d'onda sonora di uno strumento musicale è la risultante

della frequenza del suono fondamentale e di quelle delle sue armoniche.

In ambito audio si parla di *trasformata (veloce) di Fourier*, o FFT. La base della FFT è il fatto che ogni segnale audio può essere scomposto in una serie di onde (sinusoidi), ciascuna delle quali possiede una ben determinata frequenza, ampiezza e fase (secondo il teorema di Fourier). Sono gli armonici, e la maggiore o minore intensità di ogni singolo armonico rispetto alla frequenza della fondamentale, a determinare la forma dell'onda sonora e quindi il timbro del suono di uno strumento (fig. 2b).



**Fig. 2b<sup>6</sup>**

La forma dell'onda sonora che si propaga nel tempo (grafico a sinistra in primo piano) è la risultante della somma delle varie armoniche. Il grafico a destra rappresenta il comportamento del segnale acustico in rapporto alle frequenze (i picchi sono le frequenze particolarmente accentuate).

---

<sup>6</sup> <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FFT-Time-Frequency-View.png>