

Liceo Musicale “M. Polo”, Venezia

Corso di:  
**TECNOLOGIE MUSICALI**  
1 MUS A

a.s. 2012/2013

**Relazione tra parametri musicali e  
grandezze acustiche**

Docente: Marco Gasperini



**QUALITA' DEL SUONO**

- Tradizionalmente un evento sonoro viene caratterizzato attraverso il riferimento a quattro parametri:
  - **altezza**: grave / acuto;
  - **durata**: breve / lungo;
  - **intensità**: piano / forte;
  - **timbro**: grandezza vettoriale (multidimensionale).

# Modello di corrispondenza fisico/percettivo

In prima approssimazione è possibile tracciare delle relazioni univoche tra i parametri musicali e le grandezze fisiche.

fisico		percettivo
ampiezza	—————	intensità
durata	—————	durata
frequenza	—————	altezza
forma d'onda	—————	timbro

Edgar Varèse (1883-1964): *Density 21.5*, per flauto solo (1936)

Philippe Pierlot, *flauto*

The musical score for flute solo, titled "Density 21.5" by Edgar Varèse, is presented on four staves. The tempo is marked as quarter note = 72. The score includes various dynamic markings: *mf*, *f*, *p*, *f*, *mf*, *f*, *p*, *mf*, *f*, *p*, *mf*, *f*, *mf*, *subito*, *ff*, *mf*, *subito*, *fff*, *f*, and *ff*. The notation includes triplets, slurs, and accents, indicating complex rhythmic and dynamic structures.

# EDGAR VARESE (1883-1964)

- Compositore francese emigrato negli Stati Uniti.
- Appartiene, assieme a Arnold Schoenberg, Igor Stravinsky, Anton Webern, Bela Bartok, etc. alla generazione che ha definitivamente svincolato il linguaggio musicale dalla sintassi tonale.
- Pioniere della musica elettronica: utilizza le onde theremin; *Desèrts*, per strumenti a fiato, pianoforte, percussioni e nastro magnetico (1954); *Poème électronique*, per suoni elettronici (1958).

Edgar Varèse (1883-1964): *Density 21.5*, per flauto solo (1936)

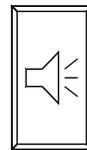
The image displays a musical score for the piece *Density 21.5* by Edgar Varèse, originally composed for solo flute in 1936. The score is written in 4/4 time with a tempo marking of quarter note = 72. It features four staves of music. The score is annotated with various dynamic markings and circled terms. On the first staff, there are markings for *mf*, *f*, *mf*, *f*, and *mf*. The second staff includes *f > p*, *mf*, and *p subito*. The third staff shows *f*, *ff*, *mf subito*, *ff*, and *f*. The fourth staff has *ff*. A large triangle is drawn over the score, with its vertices at the bottom left and right corners. The text 'indicazioni dinamiche' is located at the bottom left, and 'dinamiche estese' is at the bottom right. The triangle's lines connect these labels to the circled dynamic markings throughout the score.

# DINAMICA

- Scala delle dinamiche:  
(..., *ppp*), *pp*, *p*, *mp*, *mf*, *f*, *ff*, (*fff*, ...)
- indicano dei campi temporali (più o meno estesi) di intensità media;
- crescendo e diminuendo: andamenti dinamici notati per esteso (tendenze dinamiche).
- Indicazioni relative alla gamma dinamica di uno strumento, alle scelte interpretative, alle necessità espressive, etc., *non* indicazioni assolute.

# AMPIEZZA

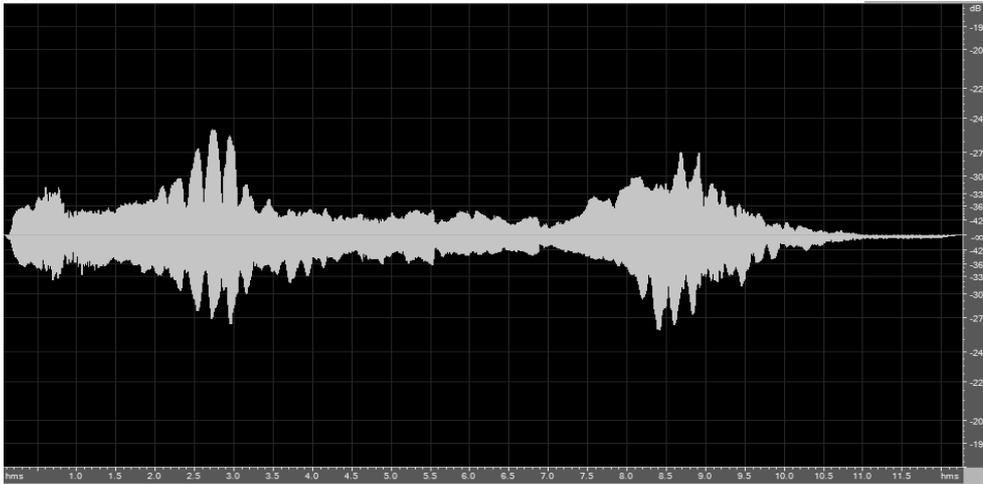
- **SUONO**: variazione di pressione dell'aria.
- Pressione (unità di misura): pascal [Pa].
- La minima variazione di pressione udibile è di 20  $\mu$ Pa (0.00002 Pa) per una frequenza (di variazione) di 1000 Hz; la soglia del dolore si situa attorno ai 20 Pa.
- Si utilizza una scala logaritmica [dB]
- Gamma di valori: 0-120 dB ca.
- Un incremento di 6 dB equivale al raddoppio dell'ampiezza.



# AMPIEZZA



forma  
d'onda



# AMPIEZZA

- Sensazione di intensità.
- La rappresentazione della **forma d'onda** descrive l'andamento delle variazioni di pressione dell'aria.
- esempio n.1 (Audacity)
- Proporzionalità (inversa) dell'ampiezza rispetto alla distanza dalla fonte sonora: più si è distanti dalla fonte sonora minore è l'intensità percepita.

# AMPIEZZA

FONTE RUMORE	INTENSITA' [dB]	STRUMENTO	INTENSITA' [dB]
soglia di udibilità	0-5	clarinetto	86
bisbiglio	15	pianoforte	94
sala insonorizzata	20-30	trombone	107
sala (campagna)	30	timpani	113
sala (città)	40		
automobile	50		
stazione ferroviaria	55-65		
concerto rock	110		
soglia del dolore	120-130		

Potenze massime di alcuni strumenti.

*Misurazioni effettuate all'aperto a 3 metri di distanza.*

Livelli medi di rumore di alcuni ambienti.

## Audacity: esercitazione n.1

- **Generare due suoni sinusoidali della durata di 1" ciascuno, con frequenza di 440 Hz, distanziati l'uno dall'altro di 0.1" con ampiezze l'una la metà dell'altra.**
- **Menù Genera**
  - **Tono...:** sinusoidale, 440 Hz, Ampiezza  $x$ , Durata 1"
- **Menù Genera**
  - **Silence...:** durata 0.1"
- **Menù Genera**
  - **Tono...:** sinusoidale, 440 Hz, Ampiezza  $x/2$ , Durata 1"
- **Menù File**
  - **Salva...** nome file: **es01.aup**

# ARTICOLAZIONE



*staccato*



*sforzato*



*portato*



*accentato*



*strappato*

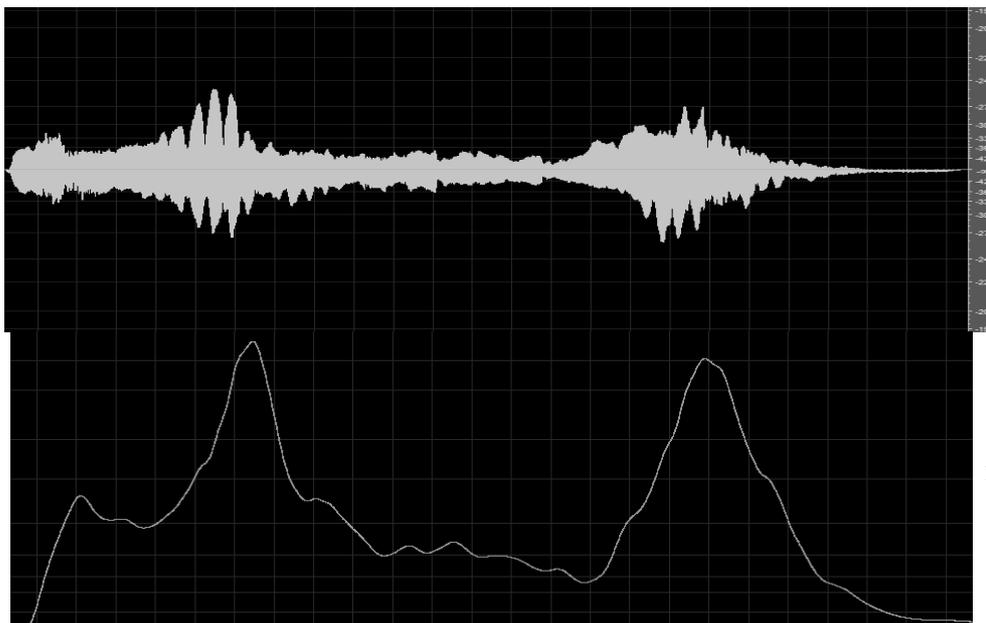


*legato*

- Rimandano ai metodi di produzione sonora, cioè all'articolazione strumentale.

# INVILUPPO

- Inviluppo: il contorno dei picchi d'ampiezza (o di energia: *rms*), ovvero l'evoluzione dell'energia acustica nel tempo.



forma d'onda

inviluppo

# INVILUPPO



- Il modello di inviluppo più semplice è quello ADSR (Attack, Decay, Sustain, Release).
- Contiene le informazioni fondamentali per il riconoscimento della fonte sonora.

Esempi inviluppo

ADSR

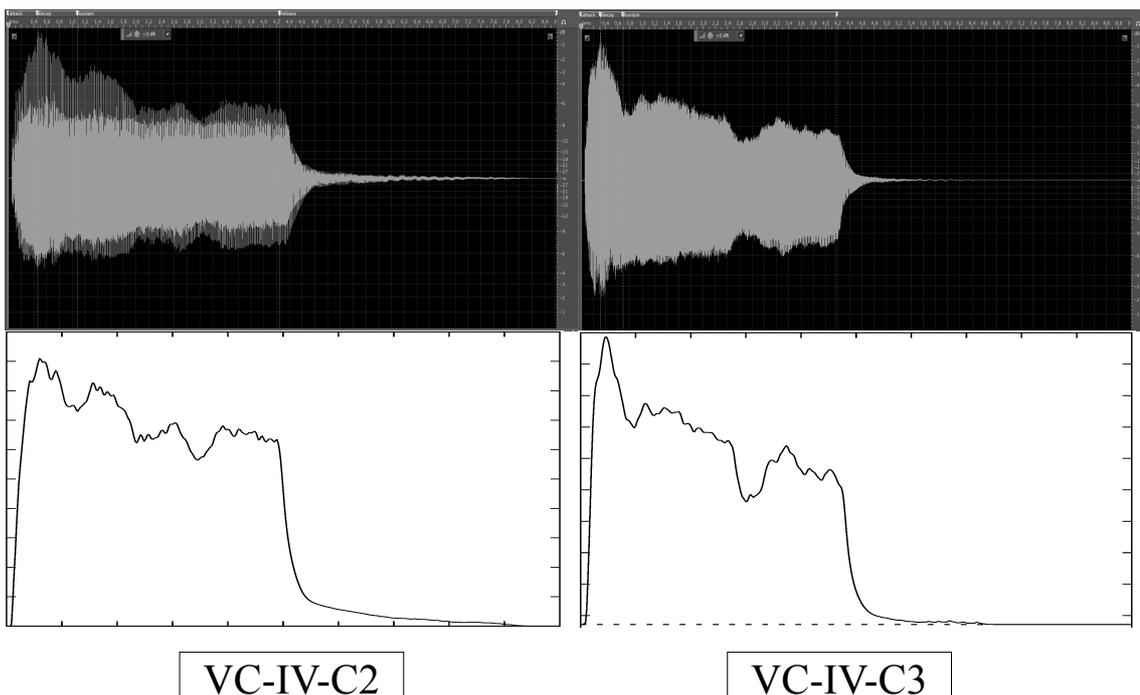
violoncello

pianoforte (preparato)

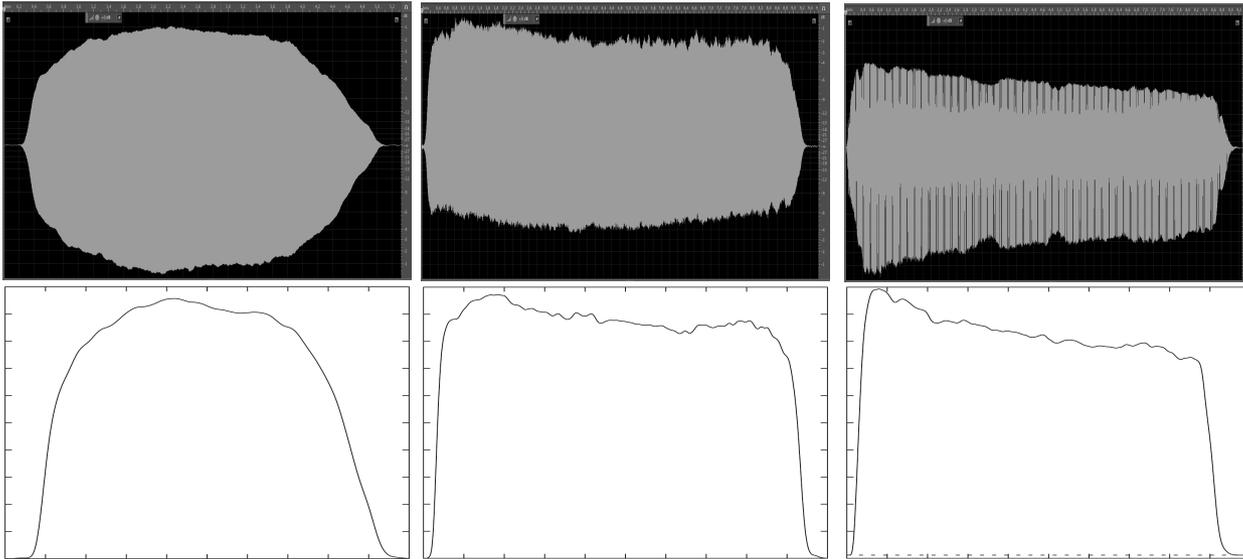
– Esempi:

- 1
- 2

## INVILUPPO: archi



# INVILUPPO: fiati



Clarinetto Sib  
F5

Flauto  
F4

Trombone  
C#4

# Audacity: esercitazione n.2

- Applicare un inviluppo di tipo ADSR a 10 toni sinusoidali successivi (440 Hz) della durata di 1" separati da 1" di silenzio. Diminuire progressivamente la durata dell'attacco da 0.25" a 0.01" ed aumentare la durata dell'estinzione da 0.25" a 0.75". Diminuire anche la percentuale di *sustain* da 100% a 25 %. Mantenere costante il decadimento a 0.1"

## Esempio:

- Generare un tono sinusoidale (440) della durata di 1 sec. (vedi esercitazione n.1);
- Selezionare il segnale generato;
- Menù Effetti
  - ADSR linear envelope...: Attack time 0.25", Decay time 0.1", Sustain percentage 100%, Release time 0.25
- Generare 1" di silenzio
- Salvare il progetto come **es02.aup**
- Ripetere le operazioni per il tono successivo.

Edgar Varèse (1883-1964): *Density 21.5, per flauto solo (1936)*

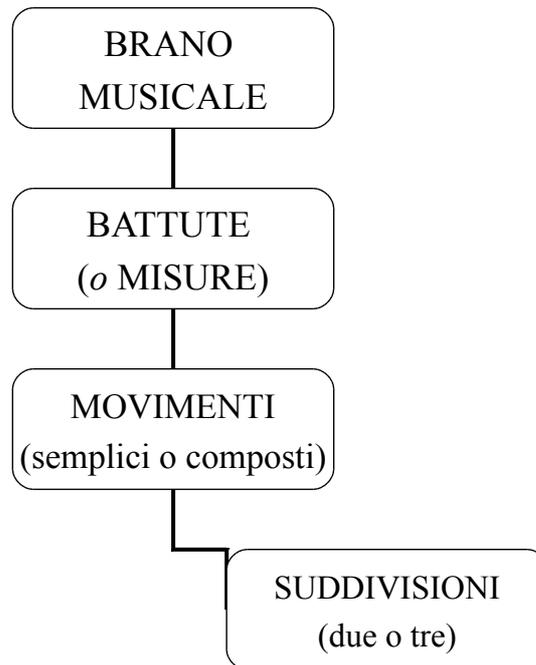
The musical score for 'Density 21.5' is presented in four staves. The first staff begins with a tempo marking of quarter note = 72 (♩ = 72). The music is characterized by complex rhythmic patterns, including triplets and sixteenth notes, with dynamic markings such as *mf*, *f*, *p*, and *fff*. The score is annotated with metric indicators and durations.

indicazioni metriche

durate

# METRO

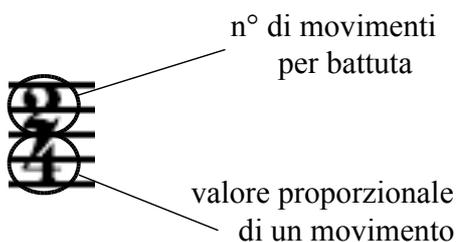
- Dimensione temporale.
- Ordini di suddivisione metrica: battute, movimenti, suddivisioni.
- Battuta: unità fondamentale di raggruppamento *metrico-ritmico*.
- L'estensione di un brano può essere indicata specificando il numero di battute in cui è suddiviso.



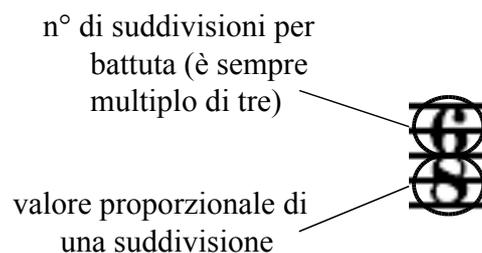
# METRO

- Indicazione di tempo in chiave:
  - movimenti per battuta;
  - valore proporzionale di un movimento;
  - suddivisione del movimento.
  - tipo di movimento: semplice o composto

tempi semplici



tempi composti



# METRO

- Indicazioni metronomiche: stabiliscono la relazione tra i valori proporzionali ed il valore temporale assoluto.
- p.es:  $\text{♩} = 60$ 
  - la semiminima (1/4) deve avere una pulsazione di 60 battiti al minuto (*bpm*): la sua durata sarà dunque di 1 secondo.
  - per calcolare la durata, in secondi, di un valore metronomico si usa questa formula: **60 / bpm**
- L'indicazione metronomica può essere assente, ma solitamente è sostituita (o accompagnata, se presente) da un'indicazione agogica: *allegro*, *moderato*, *adagio*, *etc.*

# AGOGICA

	Metronomo [bpm]	Indicazione
• Corrispondenza approssimativa tra indicazioni agogiche e valori metronomici.	40	grave
	...	largo
	50	lento
	...	adagio
• Esistono anche indicazioni per variare dinamicamente la velocità dei battiti: <i>accelerando</i> , <i>rallentando</i> , <i>etc.</i>	60	larghetto
	...	andante
	80	andantino
	...	moderato
	100	allegretto
	...	allegro
	140	allegro assai
	...	vivace
180	presto	

# DURATE

- Figure musicali: le note scritte sul rigo determinano, con la loro posizione su di esso, l'altezza, con la loro forma, la durata del suono o del silenzio (pause).

	-	4/4, 2/2		1/16
	-	4/8, 2/4, 1/2		1/32
	z	2/8, 1/4		1/64
	7	1/8		

# DURATE

- Altri segni:
  - punto;
  - legatura di valore;
  - corona;
  - gruppi irregolari (quintine, settimine, etc.).

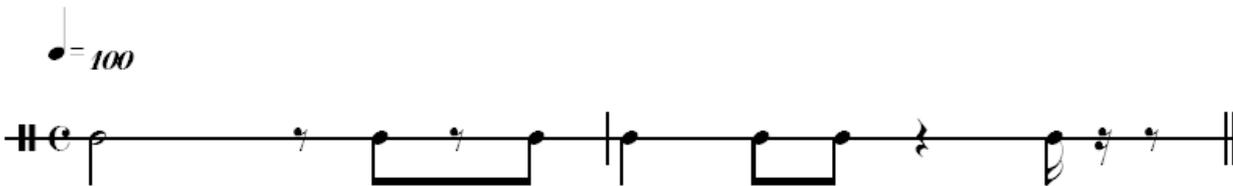
la figura	corrisponde alla somma dei valori di:	e quindi vale	figure legate	valore complessivo	altra possibile scrittura
	1/2 1/4 1/8 1/16 1/32			= 1 + 1/2 = 3/2	= 
	=  + 	= 3/4		= 1/2 + 1/4 + 1/8 = 7/8	= 
	=  +  + 	= 7/8		= 1/2 + 1/8 = 5/8	
	=  +  +  + 	= 15/16		= 3/8 + 3/8 = 6/8 = 3/4	= 
	=  +  + 	= 7/16		= 3/8 + 3/16 = 9/16	
	=  +  +  + 	= 15/32		= 3/4 + 1/4 = 4/4 = 1	= 
				= 1/16 + 1/1 = 17/16	

# TEMPO

- Suddivisione temporale cronologica:
  - hh : mm : ss.ms
  - secondi
  - millisecondi
  - campioni

## Audacity: esercitazione n.3

- **Realizzare il ritmo dell'esempio utilizzando frammenti di rumore bianco. Applicare inviluppi di tipo ADSR.**



### Esempio *minima+croma*:

- Calcolare durata semiminima (= 60 / bpm )
- Menù **Genera**
  - **noise...**: Durata 1.2", ampiezza x;
- Menù **Effetti**
  - **ADSR linear envelope...**
- Menù **Genera**
  - **silence...**: Durata 0.3";

Suggerimento: registrare, producendo un timbro il più possibile vicino al rumore bianco con la voce o con uno strumento, il ritmo dell'esercitazione. Successivamente derivare i valori degli inviluppi e dei picchi d'ampiezza dalla registrazione.

Edgar Varèse (1883-1964): *Density 21.5, per flauto solo (1936)*

altezza

chiave di lettura  
(SOL 4)

modificazioni dell'altezza

tempo

- La partitura può essere vista come un diagramma cartesiano tempo-altezza, dove l'altezza assume valori discreti.
- Le teste delle note scritte sul rigo determinano, con la loro posizione su di esso, l'altezza.

## ALTEZZA

- L'altezza è quella qualità per cui distinguiamo i suoni in gravi ed acuti.
- L'evoluzione del pensiero musicale ha individuato delle successioni di altezze, progressivamente crescenti, denominate scale.
- La successione basilare delle note è:
  - DO4-RE-MI-FA-SOL-LA-SI-(DO5)
- Questa successione è detta scala diatonica.



# ALTEZZA

- L'intervallo tra DO(n) e DO(n+1) è detto **ottava**.
- Due suoni in rapporto di ottava sono talmente simili che il secondo può essere considerato un'emanazione del primo.
- Il nostro sistema musicale prevede una suddivisione dell'ottava in dodici parti equidistanti (semitoni): **scala cromatica**.

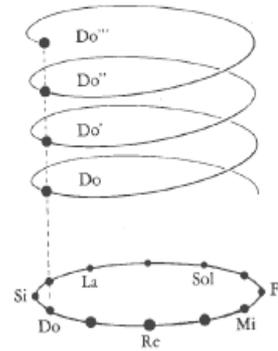


Figura 4.4  
Le note della scala diatonica viste come punti disposti su una spirale ascendente. Il Do sopra il Do centrale è in qualche misura simile al Do centrale e in qualche misura dissimile. In questa figura tutti i Do sono disposti sulla stessa verticale, il che rappresenta la loro somiglianza; lo stesso si può dire dei Re, e così via.

# FREQUENZA

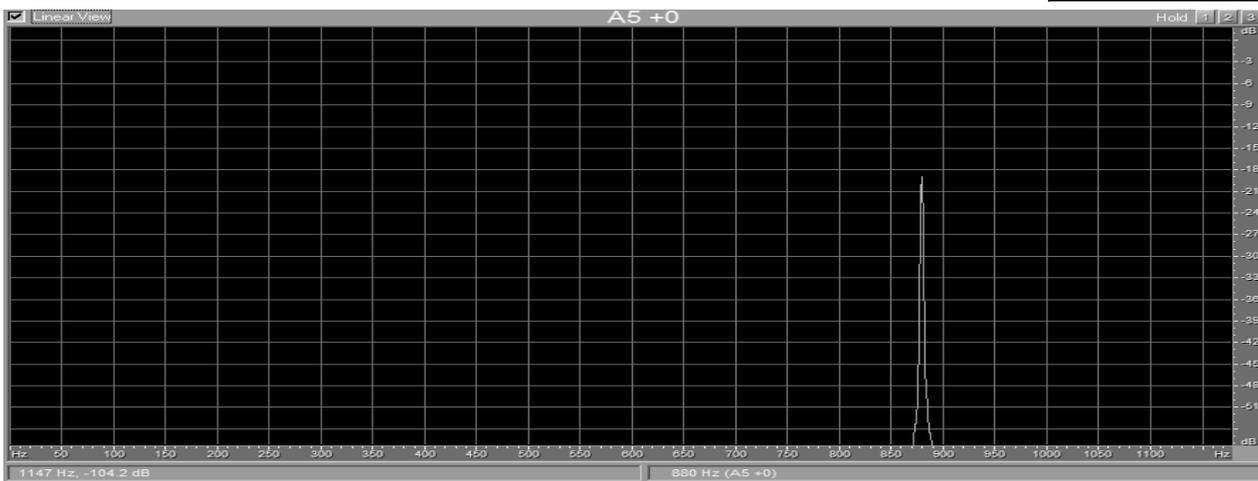
- La sensazione di altezza è data dal numero di variazioni (di pressione) al secondo;
  - frequenza [Hz]
- Soglie di udibilità:
  - (16)20-17000(20000) [Hz]
  - al di sotto: infrasuoni
  - al di sopra: ultrasuoni



# FREQUENZA

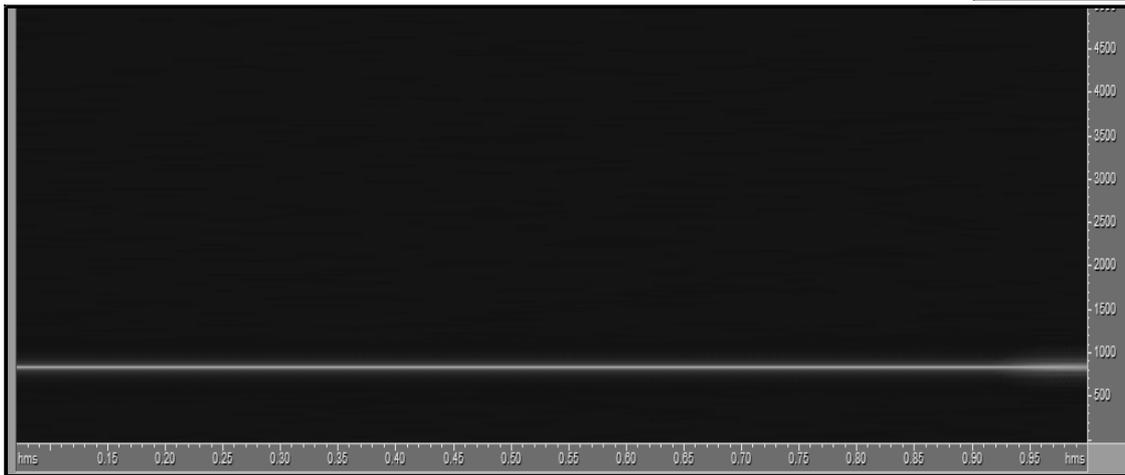
- Periodo

# FREQUENZA



- Rappresentazione frequenza-ampiezza: spetrogramma.
- Mostra, istante per istante, l'ampiezza delle componenti in frequenza.
- Esempio: LA 5 (880), sinusoidale.

# FREQUENZA



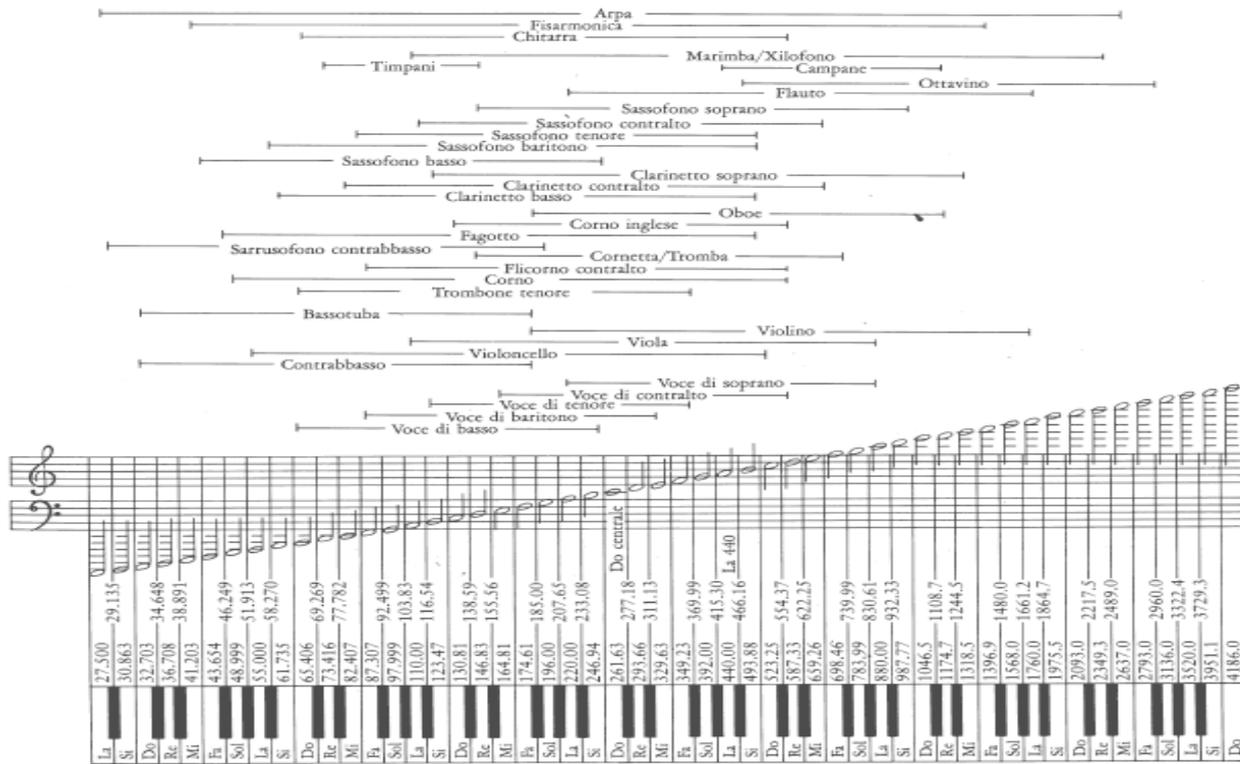
- Rappresentazione tempo-frequenza: sonogramma.
- Evoluzione nel tempo delle frequenze: parallela alla notazione musicale.
- Esempio: LA 5 (880), sinusoidale.

# FREQUENZA

- Ad ogni nota del nostro sistema musicale corrisponde un valore di frequenza fondamentale.

ottave	0	1	2	3	4	5	6	7
DO	32.7032	65.4064	130.8128	261.6256	523.2511	1046.5023	2093.0045	4186.0090
DO#	34.6478	69.2957	138.5913	277.1826	554.3653	1108.7305	2217.4610	4434.9221
RE	36.7081	73.4162	146.8324	293.6648	587.3295	1174.6591	2349.3181	4698.6363
RE#	38.8909	77.7817	155.5635	311.1270	622.2540	1244.5079	2489.0159	4978.0317
Mi	41.2034	82.4069	164.8138	329.6276	659.2551	1318.5102	2637.0205	5274.0409
FA	43.6535	87.3071	174.6141	349.2282	698.4565	1396.9129	2793.8259	5587.6517
FA#	46.2493	92.4986	184.9972	369.9944	739.9888	1479.9777	2959.9554	5919.9108
SOL	48.9994	97.9989	195.9977	391.9954	783.9909	1567.9817	3135.9635	6271.9270
SOL#	51.9131	103.8262	207.6523	415.3047	830.6094	1661.2188	3322.4376	6644.8752
LA	55.0000	110.0000	220.0000	440.0000	880.0000	1760.0000	3520.0000	7040.0000
LA#	58.2705	116.5409	233.0819	466.1638	932.3275	1864.6550	3729.3101	7458.6202
SI	61.7354	123.4708	246.9417	493.8833	987.7666	1975.5332	3951.0664	7902.1328

# FREQUENZA

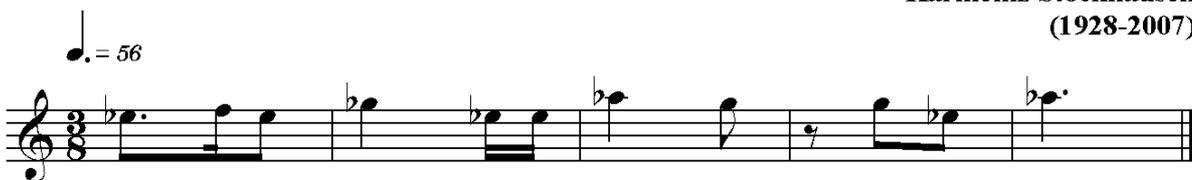


## Audacity: esercitazione n.4

- Realizzare la seguente frase utilizzando onde quadre (Genera; Tone; Forma d'onda: *square (no alias)*... ). Applicare un inviluppo di tipo ADSR.

## Aquarius

Karlheinz Stockhausen  
(1928-2007)



# INTERVALLI

- La *distanza* (in altezza e in frequenza) tra le note è detta *intervallo*.
- Gli intervalli tra due note si misurano contando i gradi della scala che le separano (estremi compresi), oppure contando il numero di semitoni compresi tra le due note;
- gli intervalli tra due frequenze si esprimono come rapporti numerici tra le rispettive frequenze:
  - ottava: 2/1
  - quinta: 3/2
  - semitono temperato:  $2^{(1/12)} = 1.059$  ca.
- Per calcolare il valore di frequenza di una nota un'ottava sopra (o sotto) la nota data, si prende il valore di quest'ultima e lo si moltiplica (o si divide) per 2.

# TIMBRO

- Non esiste una scala per il timbro in quanto è un parametro che non può essere considerato in maniera univoca;
- è il risultato di tutti i fattori che concorrono al fenomeno sonoro (materiali costituenti il corpo vibrante, modo esecutivo, ambiente di diffusione, etc.);
- Categorie timbriche: le classi di strumenti e, all'interno di queste, modi esecutivi.



# CATEGORIE TIMBRICHE FONDAMENTALI

- Sinusoide: la più semplice vibrazione periodica.
- Rumore bianco: il modo vibrante più complesso. L'energia è ugualmente distribuita su tutto lo spettro. Non presenta la minima periodicità.
- Sia il suono sinusoidale che il rumore sono idealmente infiniti nel tempo, cioè non possiedono un attacco né un estinzione.
- Impulso: il massimo dell'energia concentrata nel minimo tempo possibile.
- Tutti i suoni naturali sono formati da una combinazione di tutte queste categorie elementari.

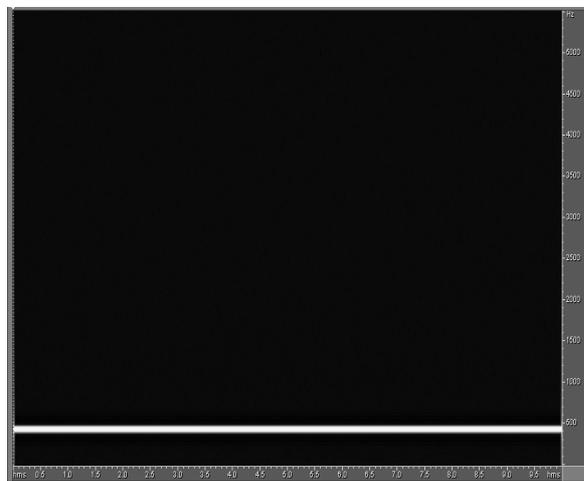
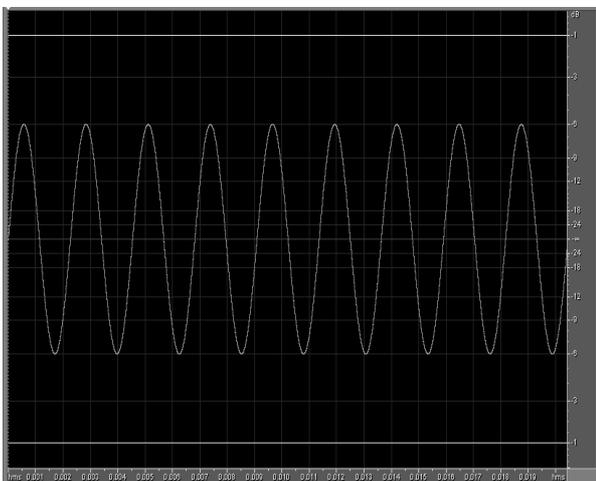
Max/MSP

PureData

## SINUSOIDE

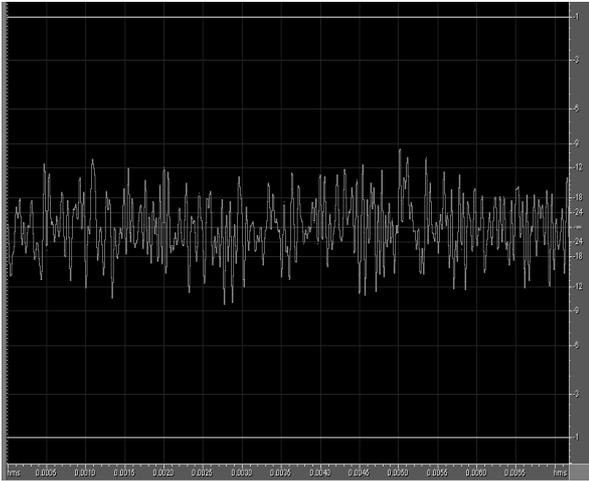
FORMA D'ONDA

SONOGRAMMA

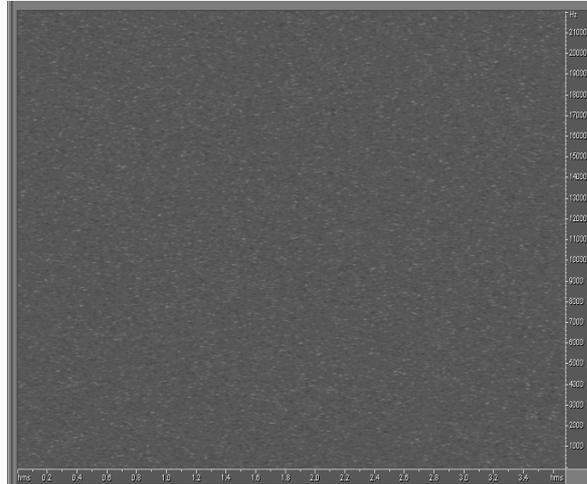


# RUMORE BIANCO

## FORMA D'ONDA



## SONOGRAMMA



# IMPULSO

## FORMA D'ONDA

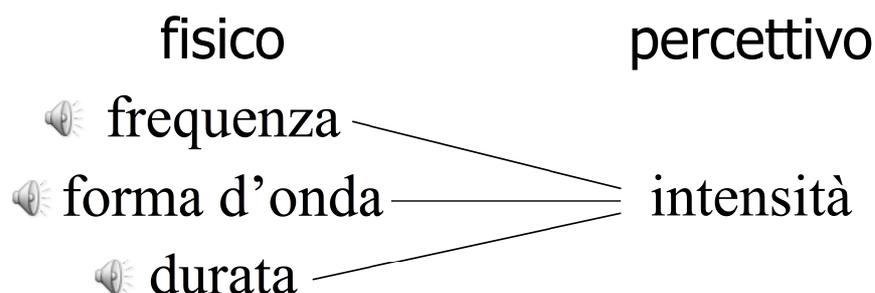


## SONOGRAMMA



# considerazioni finali

- In generale non esistono delle relazioni univoche tra i vari parametri, ma ciascuna grandezza fisica influenza sensibilmente tutte le grandezze musicali.



## LINKS

- [http://xoomer.virgilio.it/alessandro\\_corti/acustica\\_musicale.htm](http://xoomer.virgilio.it/alessandro_corti/acustica_musicale.htm)
  - Acustica
- <http://www.maurograziani.org>
  - Audio digitale
    - acustica per musicisti
- <http://audacity.sourceforge.net/>
  - Risorse relative al *software* Audacity.

# BIBLIOGRAFIA

- S. Lanza, *Introduzione alla musica*, Zanibon, Padova, 1987
- J.R. Pierce, *La scienza del suono*, Zanichelli Editore, Bologna, 1987