



Ordine dei Geologi del Lazio

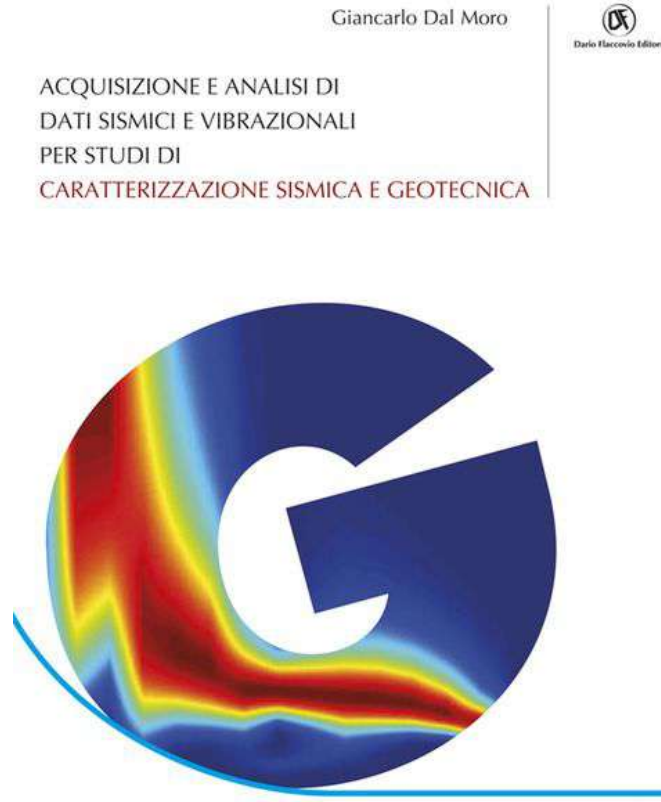
Roma – 20-21 giugno 2024

giancarlo dal moro (gdm@winmasw.com)

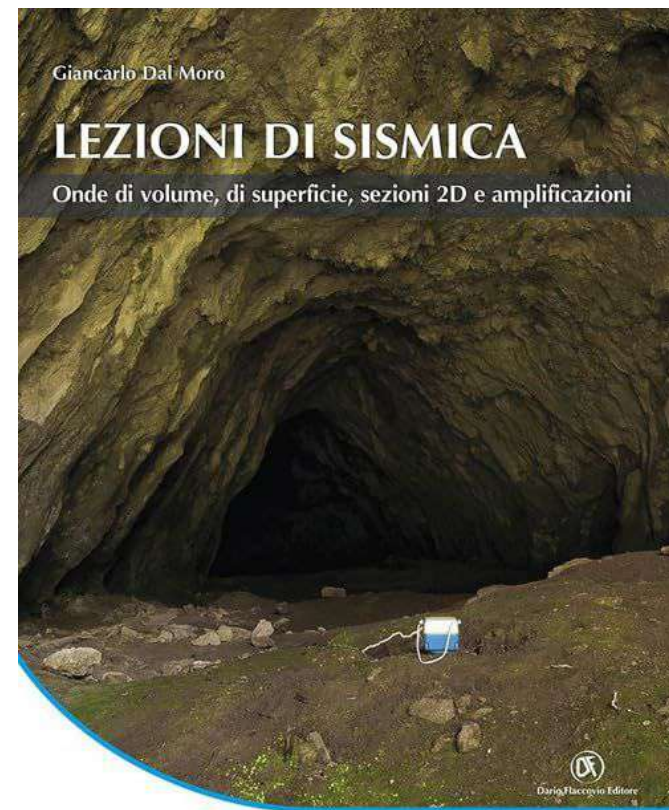
I tre libri in italiano che contengono *quasi* tutto quanto considerato nell'incontro



- ✓ Onde di Rayleigh e onde di Love
- ✓ Acquisizione dati
- ✓ Analisi MASW, ReMi e HVSR
- ✓ Raccolta di casi studio



- ✓ Le NTC nello scenario italiano
- ✓ MASW multi-componente, HoliSurface®, ESAC, MAAM e HVSR
- ✓ Analisi FVS e RPM - Analisi congiunta: concetti e pratica
- ✓ Analisi vibrazionali di cantiere
- ✓ Analisi vibrazionali per la caratterizzazione di edifici (metodo classico e GHM)



- ✓ Generalità: onde di Rayleigh e Love, P e S, velocità di fase e gruppo
- ✓ Sezioni 2D oltre la rifrazione: 2D-SuPPSALA (e non solo)
- ✓ HVSR: identificazione e rimozione di segnali industriali
- ✓ Amplificazioni: HVSR versus SSR e SSRn
- ✓ Esempi di analisi HoliSurface®, ESAC multi-componente con array lineari, MAAM e DownHole

Let's have a deal (Fellini, Flaiano, Sordi, ecc.)

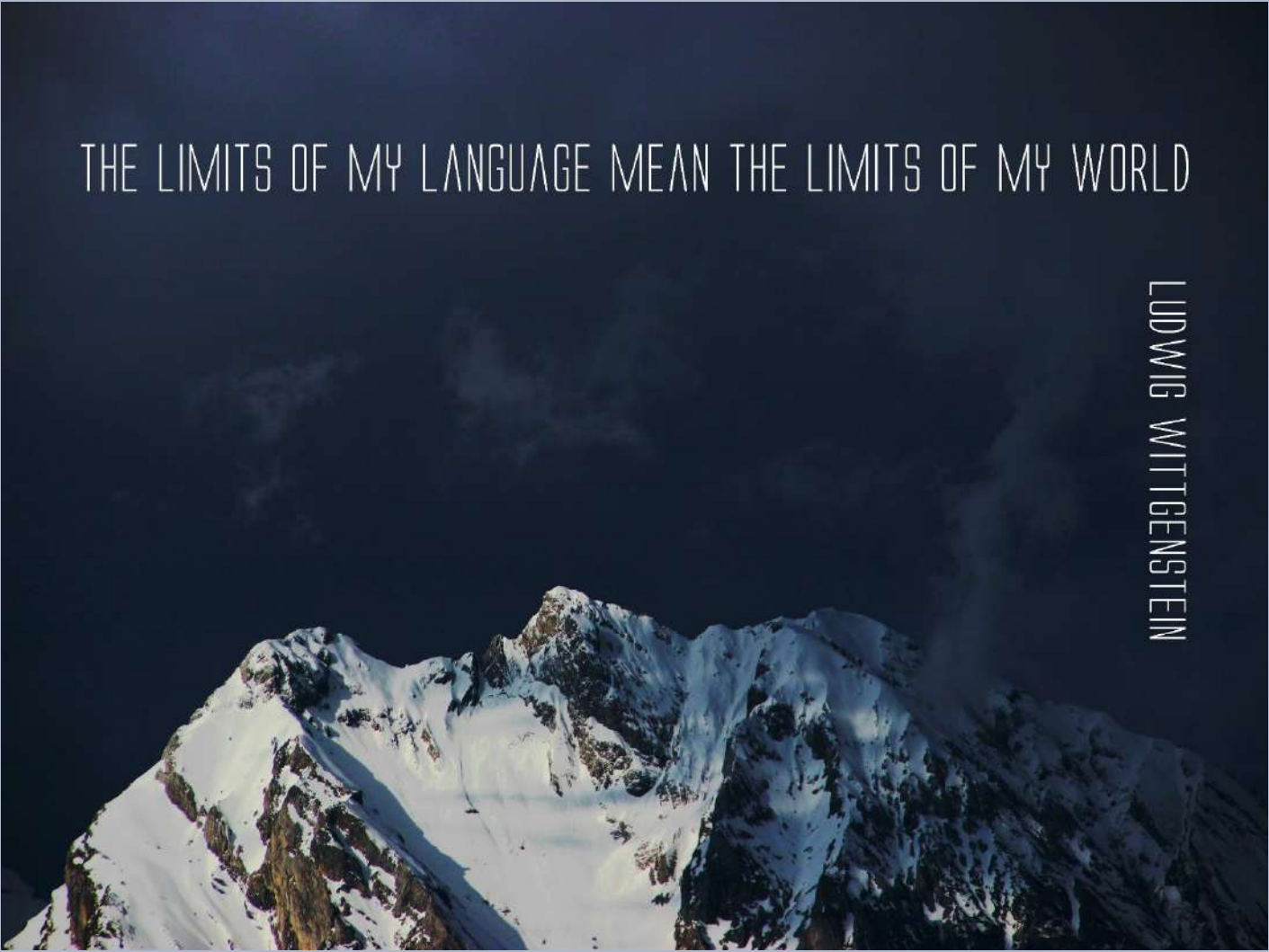
The names of five contemporary international artists with a few
comments on their work/themes

Una tazza di tè

Nan-in, un maestro giapponese dell'era Meiji (1868-1912), ricevette la visita di un professore universitario che era andato da lui per interrogarlo sullo Zen.

Nan-in servì il tè. Colmò la tazza del suo ospite, e poi continuò a versare. Il professore guardò traboccare il tè, poi non riuscì più a contenersi, “E’ ricolma. Non ce ne entra più!”

“Come questa tazza,” disse Nan-in “tu sei ricolmo delle tue opinioni e congetture. Come posso spiegarti lo Zen, se prima non vuoti la tua tazza?”.



THE LIMITS OF MY LANGUAGE MEAN THE LIMITS OF MY WORLD

LUDWIG WITTGENSTEIN

I limiti del mio linguaggio sono i limiti del mio mondo

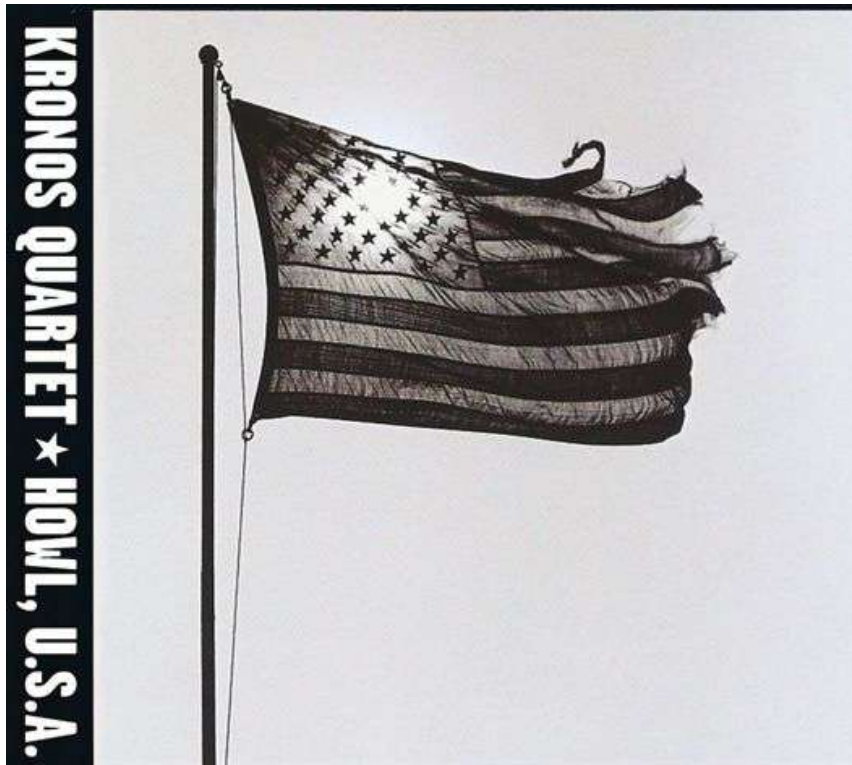


Fasting and being silent for three days





- ▶ Disconnect any notification service (Skype etc)
 - ▶ If you miss a single word you will miss the whole thing
-
- ▶ Massima informalità, massimo rigore [dimostrazioni, argomenti, no «affermazioni»]
 - ▶ Il problema della comunicazione: *capire* quel che già si sa (o crede di sapere), *capire* per come si desidererebbe le cose fossero
 - ▶ No personalismi
 - ▶ Ironia e auto-ironia
 - ▶ Serietà vs seriosità
 - ▶ Partecipazione attiva
 - ▶ Capire *tutto* o non comprendere *nulla* (il problema dello sguardo parziale)



"... every problem has a technological solution."

In sismica i *metodi* non esistono

Esistono *strumenti* (tools)

E gli strumenti van imparati (non basta martello e scalpello per scolpire la Pietà di Michelangelo).

Tutto è *concetto*.

Il giovane volto della Madonna e l'incisivo in più.

Quindi la nostra capacità di comprendere i fatti dipende dal bagaglio di conoscenze che possediamo.

Nell'arte come nella sismica.

Nessuna differenza.

In contenuti scelti discendono da due considerazioni:

- 1) Necessità di conoscenze di base propedeutiche per lavorare in modo consapevole nell'ambito della geofisica
- 2) Lacune osservate e documentabili in ambito professionale

Il nostro motto

“One of the great challenges in this world is knowing enough about a subject *to think* you're wright, but not enough about the subject *to know* you're wrong.”

Neil deGrasse Tyson (astrofisico)

Partial knowledge is more
triumphant than complete
knowledge; it takes things to
be simpler than they are, and
so makes its theory more
popular and convincing.

Friedrich Nietzsche

Un possibile punto di partenza

Il presupposto

Cos'è la geofisica?

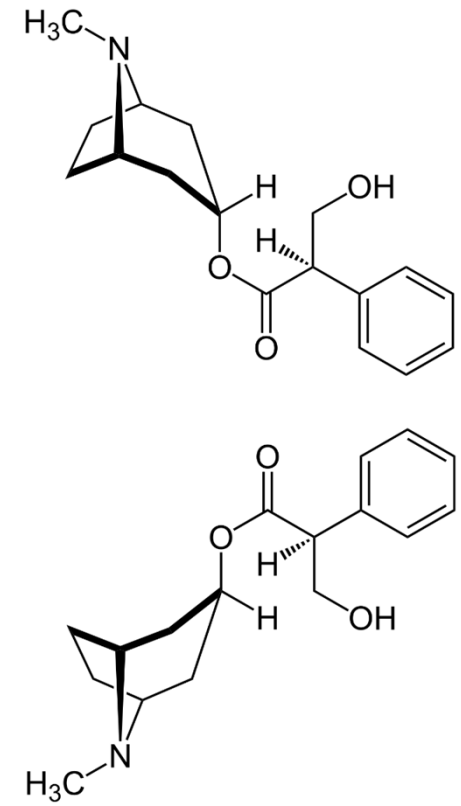
E' l'applicazione di **leggi fisiche e pertinenti procedure matematiche** nell'ambito delle Scienze della Terra.

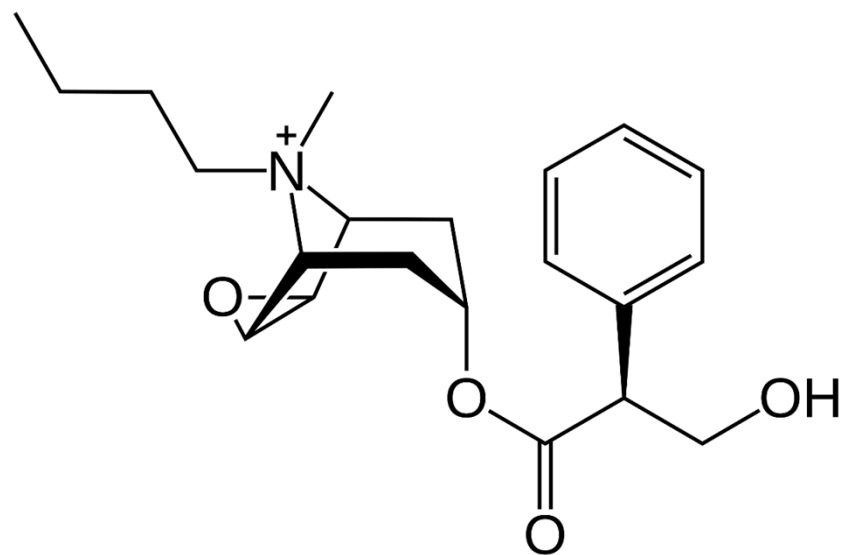
Un corso di *geofisica* è dunque essenzialmente un corso di carattere fisico-matematico.



Lezione su Wittgenstein di Ennio Guglielmetto

«... ma allora non sto facendo matematica...»





Analisi versus interpretazione

La geofisica è fatta di *scelte* (di necessità in qualche misura opinabili) che acquistano senso e valore (o perdono senso e valore) sulla base delle argomentazioni a supporto di ciascuna specifica scelta.

Argomentare richiede la conoscenza e la corretta articolazione dei fondamenti «teorici».

Le «**interpretazioni**» sono fatti che, prettamente soggettivi, si svincolano da tutto questo e, non essendo **falsificabili**, non sono scienza (lettura/interpretazione dei tarocchi *versus* analisi di un dato).

Falsificabilità

Porre nelle condizioni di poter dimostrare che un *qualcosa* è falso

(Karl Popper - *A theory or hypothesis is falsifiable (or refutable) if it can be logically contradicted by an empirical test*)

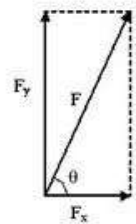
Scalar

A *scalar* has only a magnitude (e.g. temperature, volume or mass of an object, etc.)

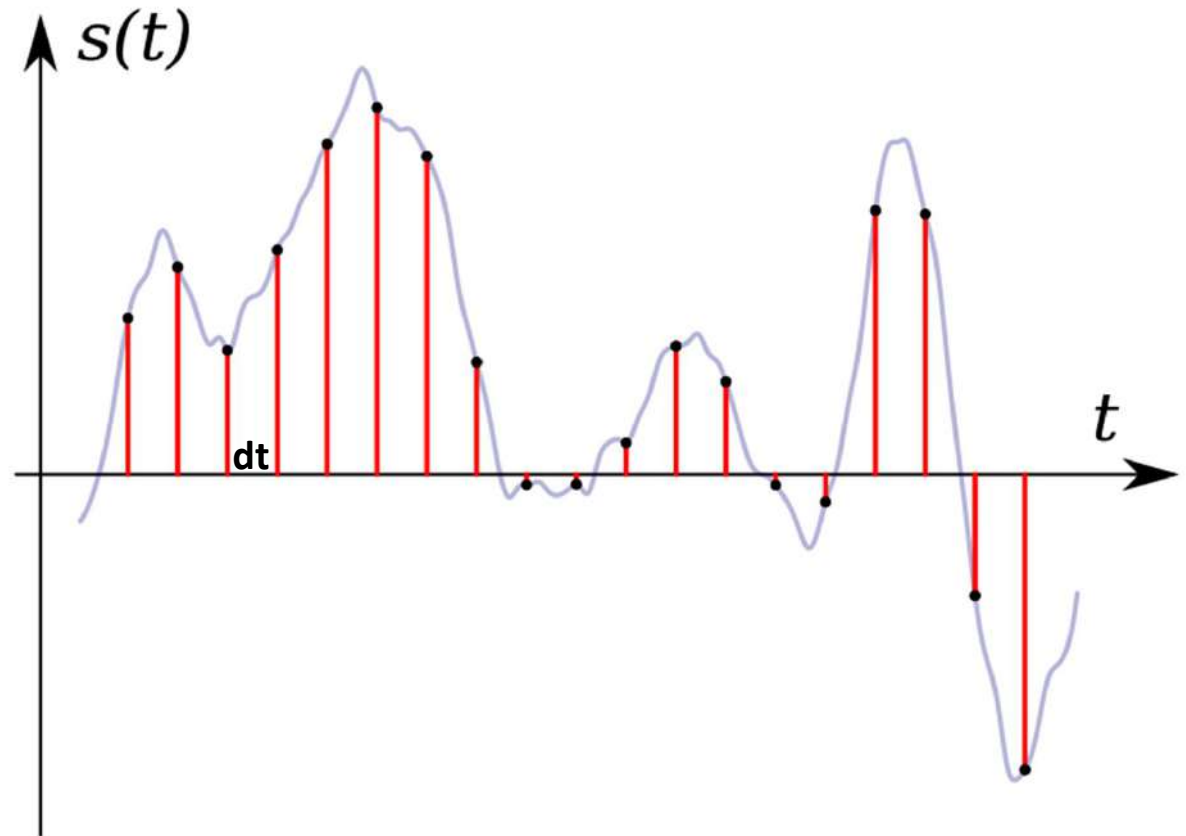
Vector

A *vector quantity*, or *vector*, provides information about not just the magnitude but also the direction of the quantity. When giving directions to a house, it isn't enough to say that it's 10 miles away, but the direction of those 10 miles must also be provided. Variables that are vectors are often indicated with a boldface variable, although it is very common to see vectors denoted with small arrows above the variable (examples: force, velocity, acceleration...)

Components of Vectors



Campionare un segnale



Sistema Internazionale

dt = intervallo di campionamento (s , ms, ns etc?)

$1/dt$ = frequenza di campionamento ($1/s = \text{Hz}$)

Teorema fondamentale del campionamento (Nyquist-Shannon)

La minima frequenza di campionamento necessaria per evitare *aliasing* e perdita di informazione nella ricostruzione del segnale analogico originario (ovvero nella riconversione digitale-analogica) deve essere maggiore del doppio della sua frequenza massima.

Evitare dunque un malinteso/illogico/errato atteggiamento qualitativo secondo qui **di più = meglio**

Come si sceglie la frequenza di campionamento di un segnale?

Dobbiamo avere un'idea delle frequenze in gioco (l'abbiamo *sempre!*) e fissare di conseguenza fissare il *dt* sulla base della frequenza di Nyquist (senza esagerare).

Se in fase di elaborazione ci accorgiamo di avere esagerato possiamo ri-campionare (decimare) il segnale (in modo da «lavorare leggeri»).

Di fatto, 1 ms (1000 Hz) è un valore *passpartout* per qualsiasi cosa di carattere geologico [certamente eccessivamente alta per molta «sismica passiva» (ve ne sono ***moltissimi tipi***) ma ok per qualsiasi tipo di sismica attiva (ve ne sono ***moltissimi tipi***).

Teorema fondamentale: Nyquist-Shannon

Esempio: CD audio con campionamento a 44100 Hz poiché la banda a cui è sensibile il nostro orecchio è *circa* 20-20k Hz

Max frequenze a cui siamo interessati (in senso *molto* lato) in alcuni ambiti della geofisica:

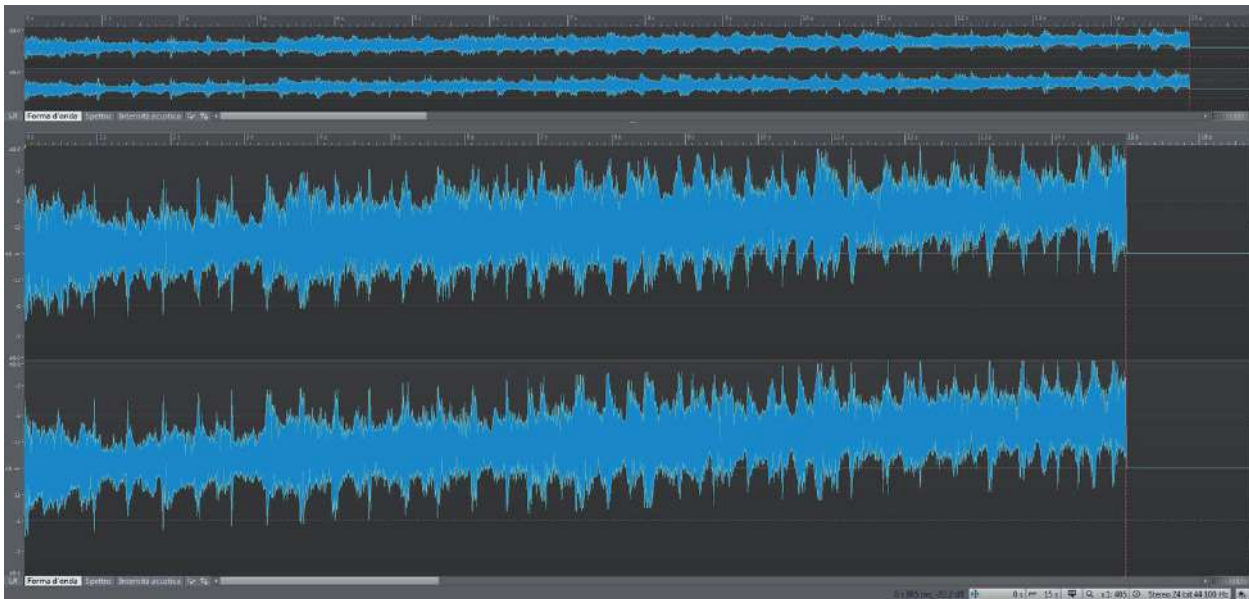
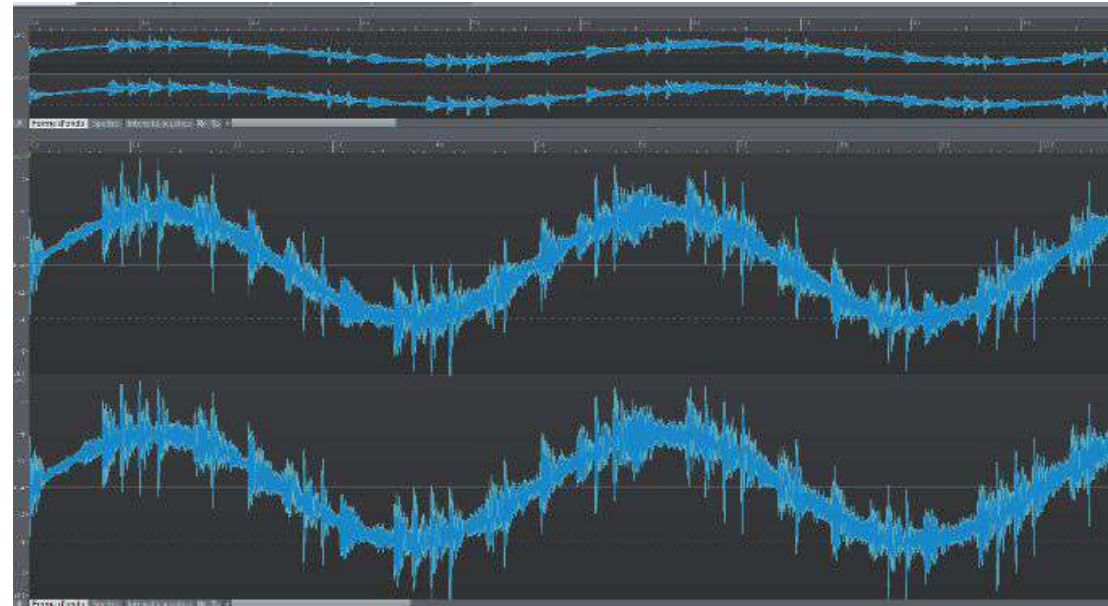
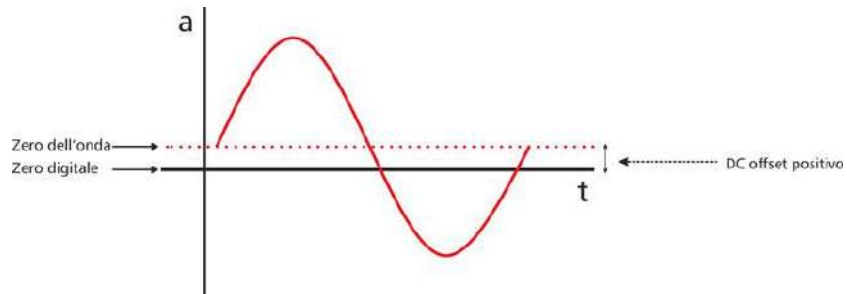
Sismica superficiale: massima frequenza attorno a 50-300 Hz

Sismica (semi)*profonda* (riflessione/rifrazione/SW): frequenze molto variabili a seconda del metodo di analisi (max 20 Hz?)

Sismologia: *range* di interesse attorno a 0.01-1 Hz (periodo 1-100 s). Si lavora prevalentemente riferendosi al periodo T (non alle frequenze)

GPR (*Ground Penetrating Radar*): 100-900 MHz

DC (Direct Current) offset

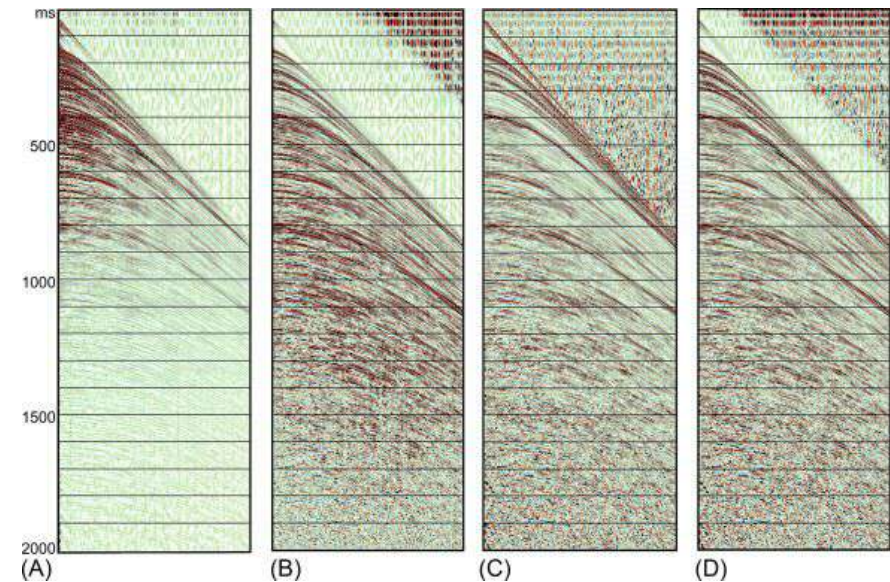
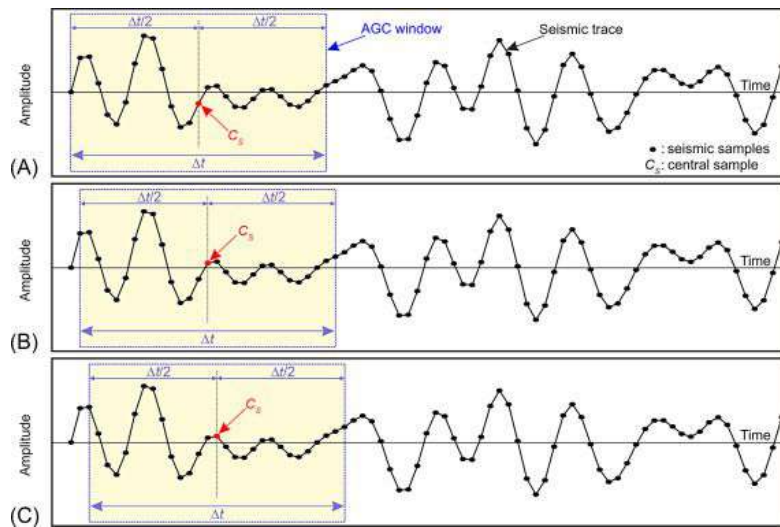


DC offset variabile

Zdroj: <https://www.cubase.it/2021/02/11/dc-offset-il-male-nascosto/>

AGC (Automatic Gain Control)

Automatic gain control (AGC) is a closed-loop feedback regulating circuit in an amplifier or chain of amplifiers, the purpose of which is to maintain a suitable signal amplitude at its output, despite variation of the signal amplitude at the input.



AGC gain corrections for different AGC scalar calculation methods on a marine shot gather. (A) Filtered shot with no gain, and its AGC corrected versions using 500 ms operator length calculated by using (B) mean, (C) RMS, and (D) median values of the amplitudes samples within the AGC window.

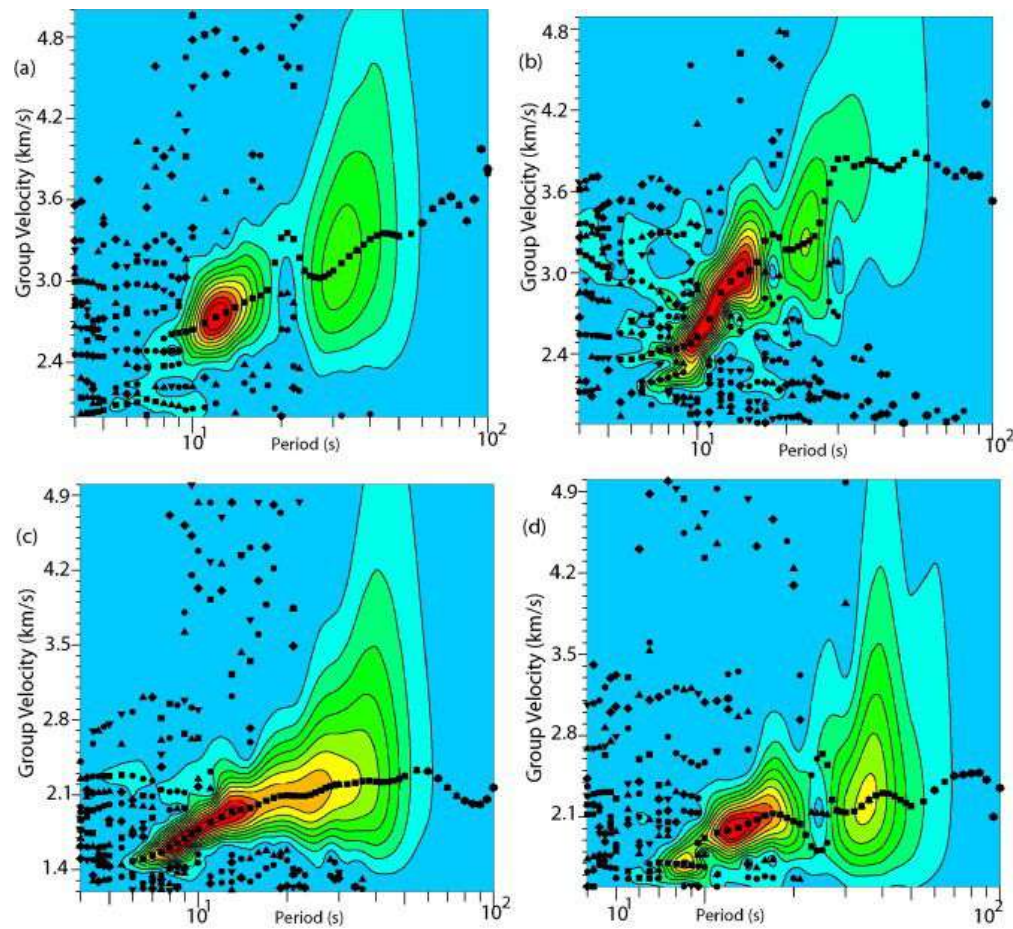
Live

Esempio dell'effetto del cambio di diverse finestre sull'ampiezza (e vedi poi next slide)

I:\ELIOSOFT\Dati\Interesting data\Purgessimo\MASW

Vediamo (in pratica) la questione del campionamento con un *dataset* in cui la rifrazione è estremamente chiara.

- 1. carichiamo dataset originale (very high sampling)**
- 2. Rimuoviamo tempi > 1.2 secondi**
- 3. Verifichiamo il contenuto in frequenza di varie porzioni [SW e rifrazione] («local amplitude»)**
- 4. Ricampioniamo e vediamo quando «scompare» la rifrazione**

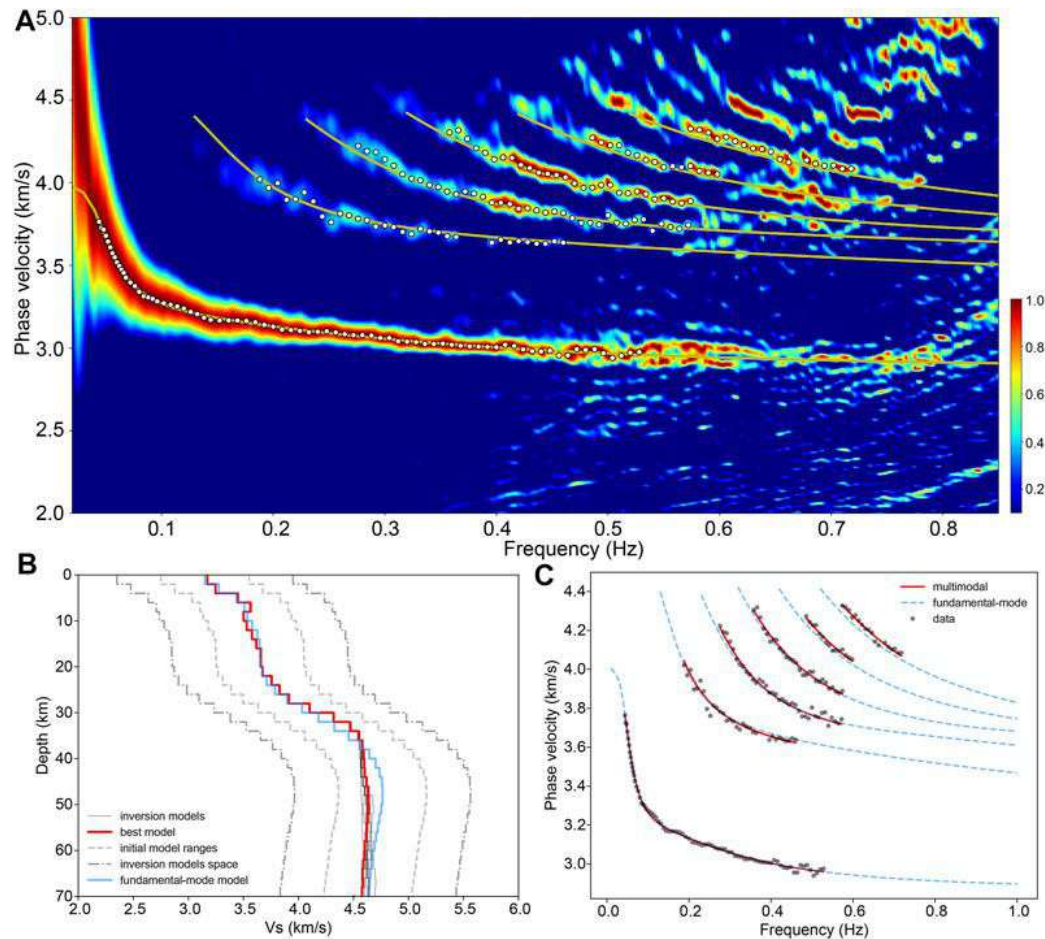


Group velocity dispersion characteristics and one-dimensional regional shear velocity structure of the eastern Indian craton

Prantik Mandal

<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.11.027>

**E noi cosa possiamo fare?
(lo vedremo gestendo dati da nodi)**



Crustal S-Wave Velocity Structure Beneath the Northwestern Bohemian Massif, Central Europe, Revealed by the Inversion of Multimodal Ambient Noise Dispersion Curves

Front. Earth Sci., 08 February 2022

Sec. Solid Earth Geophysics

Volume 10 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/feart.2022.838751>

Perchè queste sottolineature?

Perchè non esistono parametri universali e tutto dipende sempre dal concetto.

L'unica risposta a domande del genere «quali sono i migliori parametri di acquisizione e/o elaborazione del dato?» ha un'unica ed invariabile risposta: «**dipende**».

Dipende dal sito (in termini di sottosuolo), dal sito in termini di caratteristiche del campo dei microtremori e dagli obiettivi e dunque dalla tecnica che possiamo/dobbiamo utilizzare.

Cross-correlazione

In signal processing, **cross-correlation** is a measure of **similarity** of two series as a function of the displacement of one relative to the other.

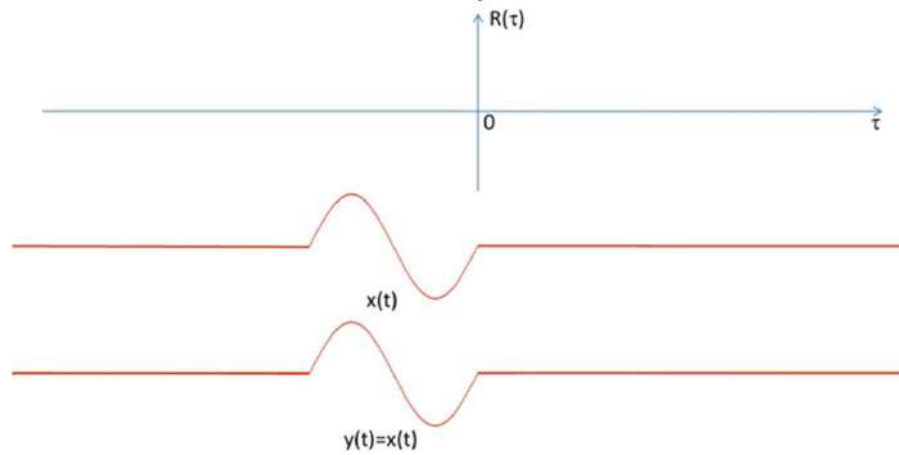
Standard (un-normalized) cross-correlation formula (computing the cross-correlation between the series p and g):

$$\Phi_{pg}(\tau) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} p(k)g(k + \tau)$$

Fondamentale in svariate applicazioni quali, ad esempio, l'interferometria (sismica).

Attenzione: il termine “cross-correlazione” o “correlazione” è spesso utilizzato in modo generico senza specific/puntuale riferimento esattamente all'operazione (matematica) di cross-correlazione.

Auto Correlation Process of a Cycle of a Sine Wave

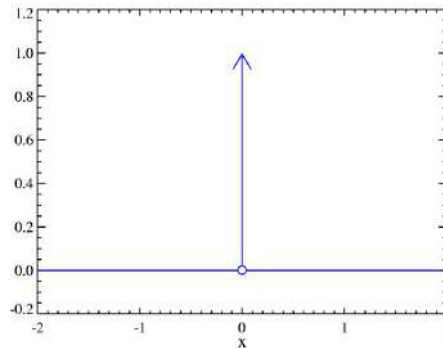


<https://www.youtube.com/watch?v=L6YJqhbsuFY>

Matlab excercise

Delta di Dirac: $\delta(x)$

- Funzione pari a zero per tutti i valori della variabile indipendente ad eccezione del valore in corrispondenza dello zero (valore dell'integrale pari a 1).

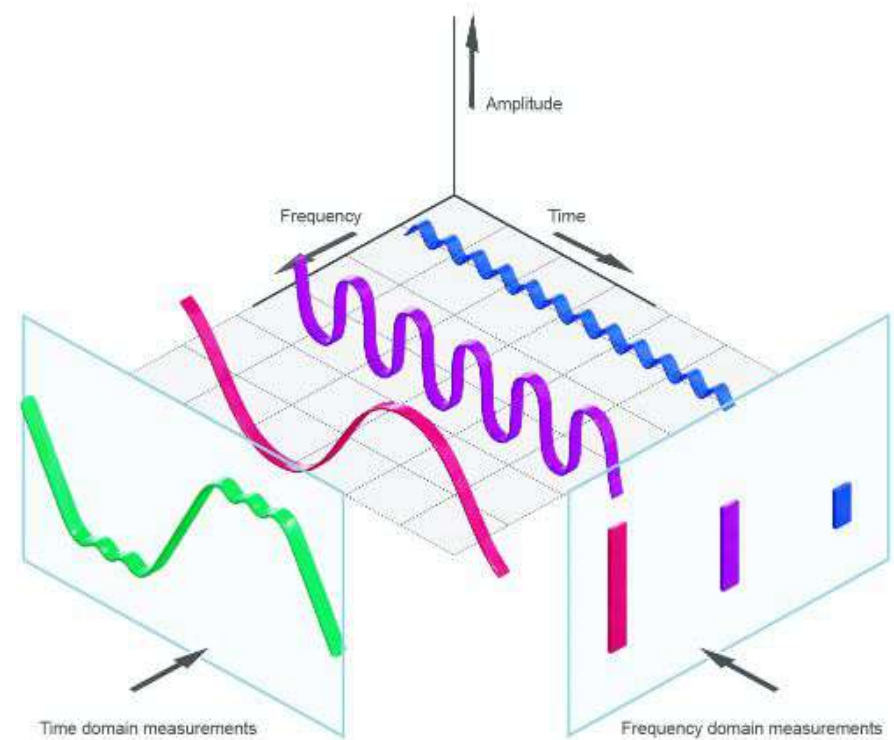


$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1,$$

Per noi importante perché utile nella definizione del *modello convolutivo* del terreno (sismica a riflessione).

Trasformare un segnale dal *dominio del tempo* a quello delle *frequenze*

Trasformare un segnale dal *dominio del tempo* a quello delle *frequenze*



zdroj: <https://www.ifm.com/de/en/shared/technologies/real-time-maintenance/technology/frequency-domain>

Normalizzare le tracce (sismica e GPR)

```
clear
clc

load SeismicDataset.mat

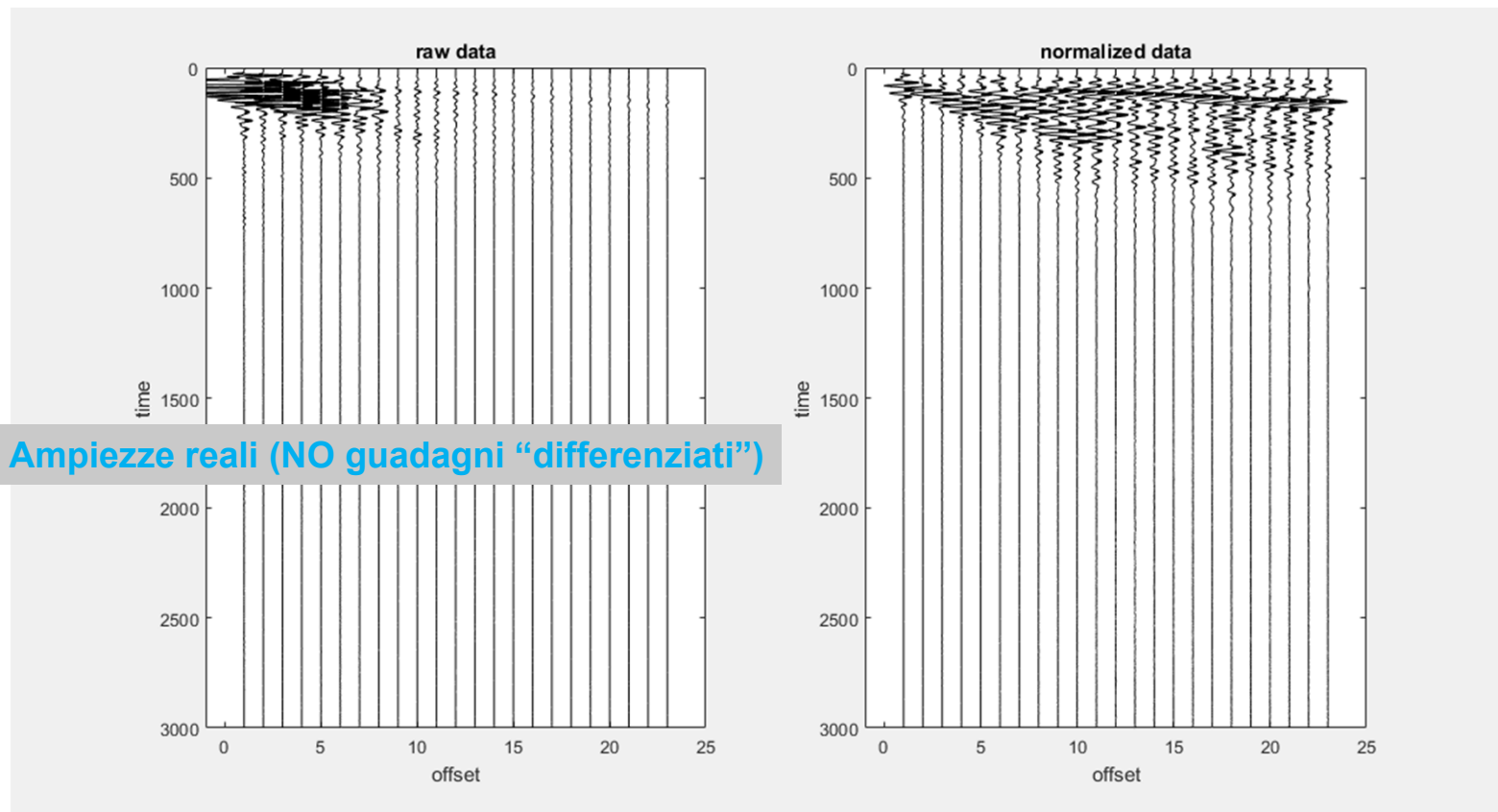
figure
subplot(1,2,1)
wiggle(X)
title('raw data')
xlabel('offset')
ylabel('time')

normX=zeros(size(X));

for i=1:size(X,2)
    maxv=max(abs(X(:,i)));
    normX(:,i)=X(:,i)/maxv;
end

subplot(1,2,2)
wiggle(normX)
title('normalized data')
xlabel('offset')
ylabel('time')
```


Esempio di risultato



Normalizzare le tracce (sismica e GPR)

Perché?

Per vedere quello che, altrimenti, l'*attenuazione* del segnale non consentirebbe di vedere.

Filtraggio f-k

- Cos'è il k ?

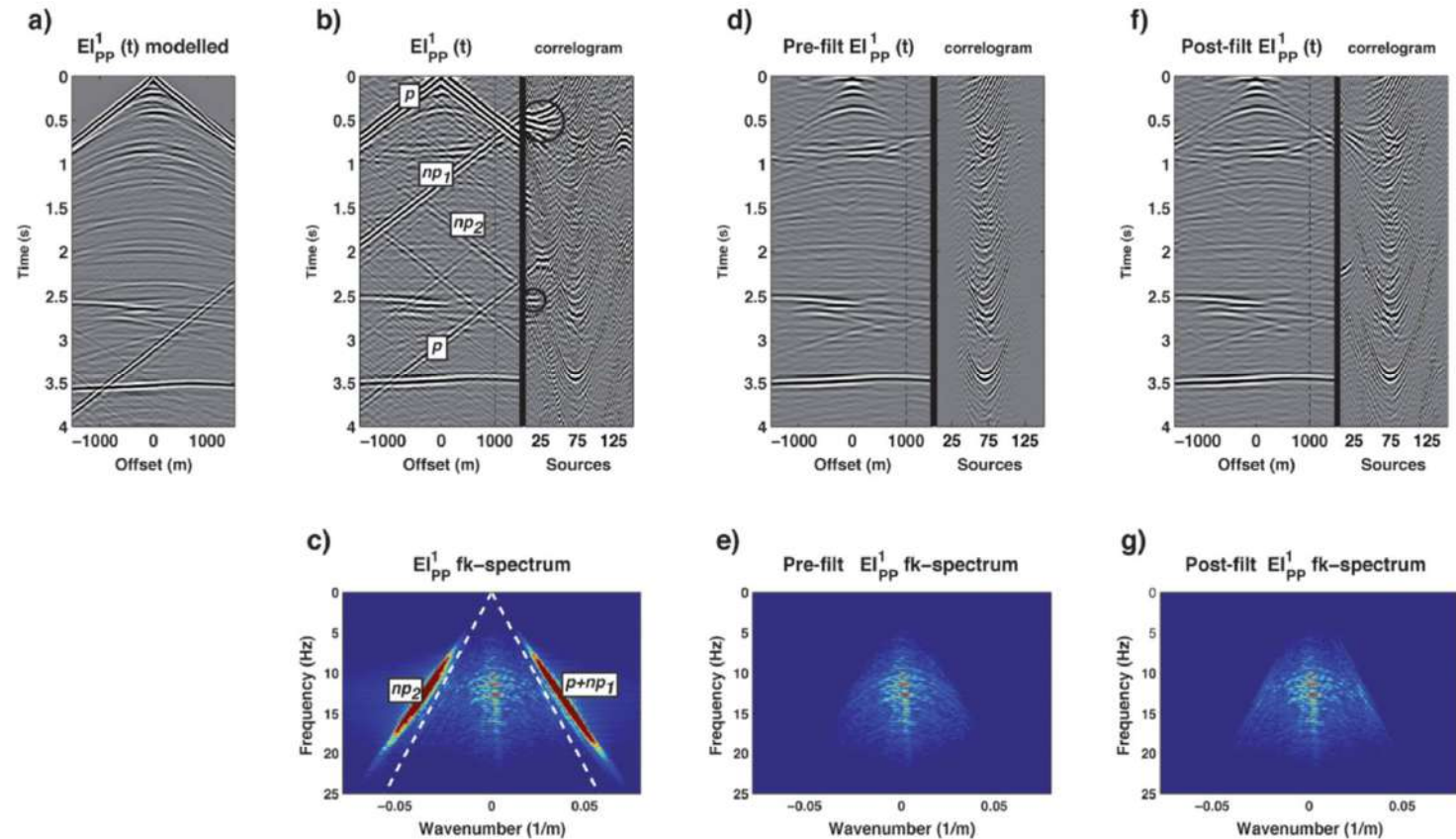


Figure 6. Application of the pre- and post-imaging f - k filters to the linear P-to-P extended image shown in (b) together with its source correlation gather for the pseudo-receiver at 1000 m offset (i.e. integrand in eq. 4 before stacking over sources). The directly modelled EI is shown in (a) for comparison. The f - k amplitude spectrum in (c) shows that physical energy with hyperbolic moveout is present at low wavenumbers and is fairly distinct from physical energy with linear moveout (label p) and spurious energy (labels np_1 and np_2) populating the high wavenumbers of the spectrum. Limiting the incident and emerging angles to lie between $\pm 50^\circ$ suppresses the linear events from the extended image as shown in gather (d), and (e) is its f - k amplitude spectrum. Applying only a post-imaging filter limiting dips to lie in the range of $\pm 50^\circ$ (see white dashed lines in (c)) also produces a reasonable EI as displayed in (f) and (g). Note that the pre-imaging filter has suppressed more energy due to external sources in the source correlation gather (d) than has the post-imaging filter in the source correlation gather (f). Similarly the energy near the critical angle is weaker in the pre-imaging f - k spectrum than in the post-imaging one. Hence, these filters could provide fairly different results for situations where the physical stationary points are due to sources at the edge of the boundary.

Elastic extended images and velocity-sensitive objective functions using multiple reflections and transmissions

Geophysical Journal International 202(2), DOI: [10.1093/gji/ggv173](https://doi.org/10.1093/gji/ggv173)

Filtraggio f-k

Cos'è il k ?

Trasformare un segnale dal *dominio del tempo* a quello delle *frequenze*

Non solo Fourier

Alcuni metodi “alternativi” alla sintesi di Fourier:
Maximum Entropy (e.g. <https://www.mdpi.com/1099-4300/19/11/597>), wavelets, multitapers

Interessante lettura: *Comparison of spectral analysis methods for characterizing brain oscillations*
(<https://memory.psych.upenn.edu/files/pubs/vanVEtal07a.pdf>)

Jean Baptiste Joseph Fourier



Sintesi di Fourier

- 8 -

2. FOURIER SERIES

2.1 Non statistical methods: Fourier series

First of all let us suppose that the given time series $x(t)$ be periodic with period T , that is $x(t + T) = x(t)$ for all values of t .

It is known that, under very large conditions, we can develop the $x(t)$ function in Fourier series as follows:

$$(1) \quad x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \frac{2\pi}{T} kt + b_k \sin \frac{2\pi}{T} kt$$

$$(1) \quad \text{or} \quad x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos \left(\frac{2\pi}{T} kt - \phi_k \right)$$

where

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt$$

$$(2) \quad a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos \frac{2\pi}{T} kt dt$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin \frac{2\pi}{T} kt dt$$

- 9 -

and

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

$$\tan \phi_k = \frac{b_k}{a_k}$$

Moreover, in complex form the Fourier development is given by:

$$(1') \quad x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{\frac{2\pi i}{T} kt}$$

$$(2') \quad c_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-\frac{2\pi i}{T} kt} dt$$

$$\text{where} \quad c_k = \frac{1}{2} (a_k - i b_k)$$

$$= \frac{1}{2} A_k e^{-i \phi_k}$$

by adding that

$$a_{-k} = a_k$$

$$b_{-k} = -b_k$$

$$b_0 = 0$$



Trasformare un segnale dal *dominio del tempo* a quello delle *frequenze*

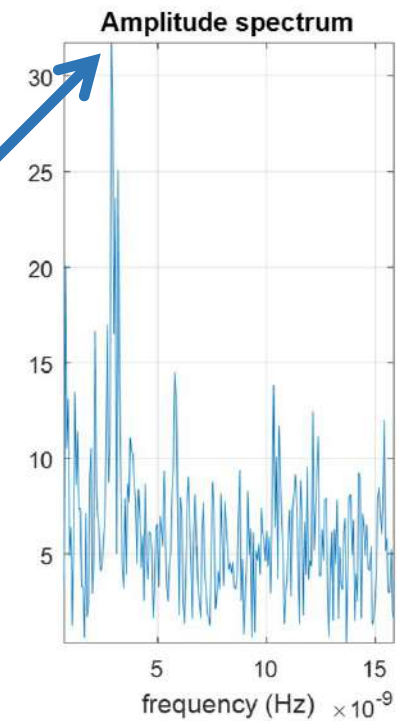
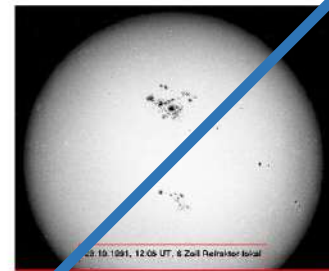
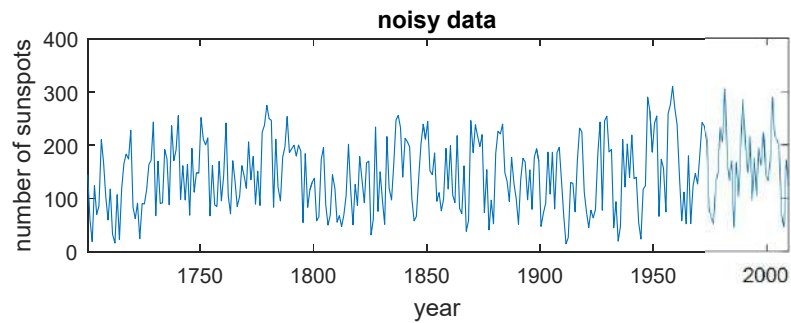
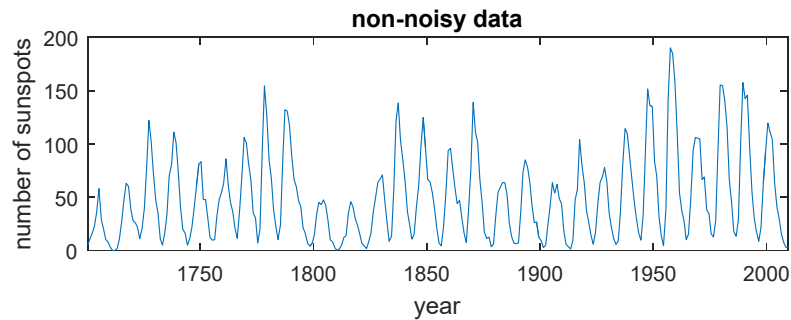
Piccola esercitazione#1

Matlab script: analizziamo le macchie solari per capire come funziona un'analisi di Fourier

obiettivo: comprendere il peso della Δf (vedi articolo sulle «MASW»)



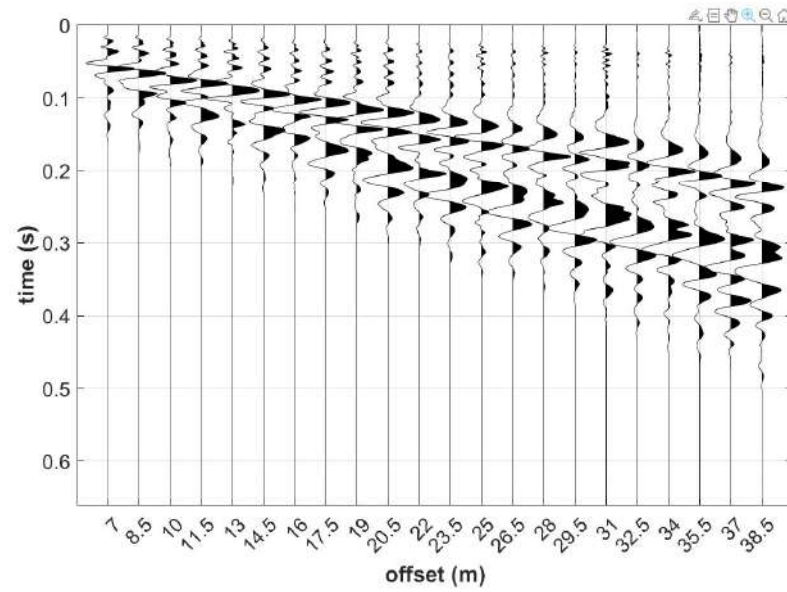
Understanding Fourier:
a Matlab script about sun spots
(*sunspotsandnoiseMAIN.m*)



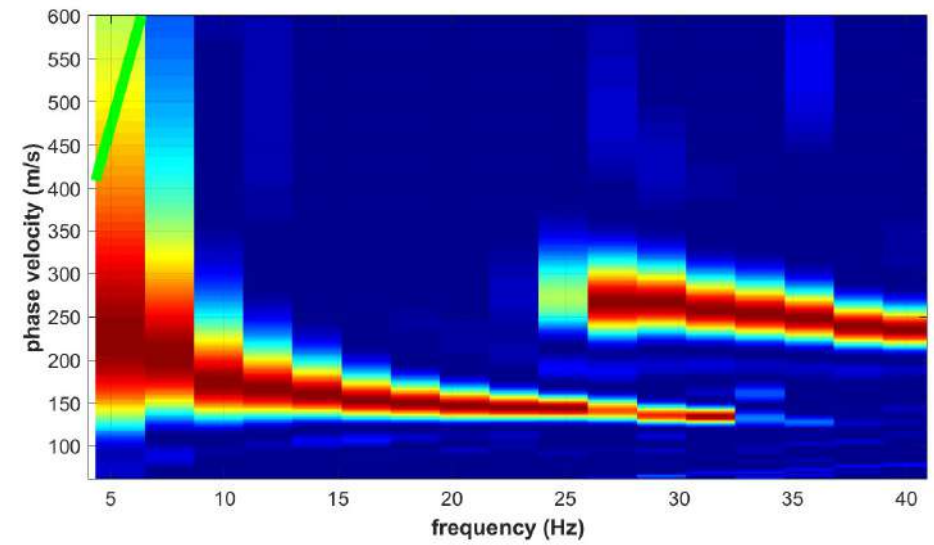
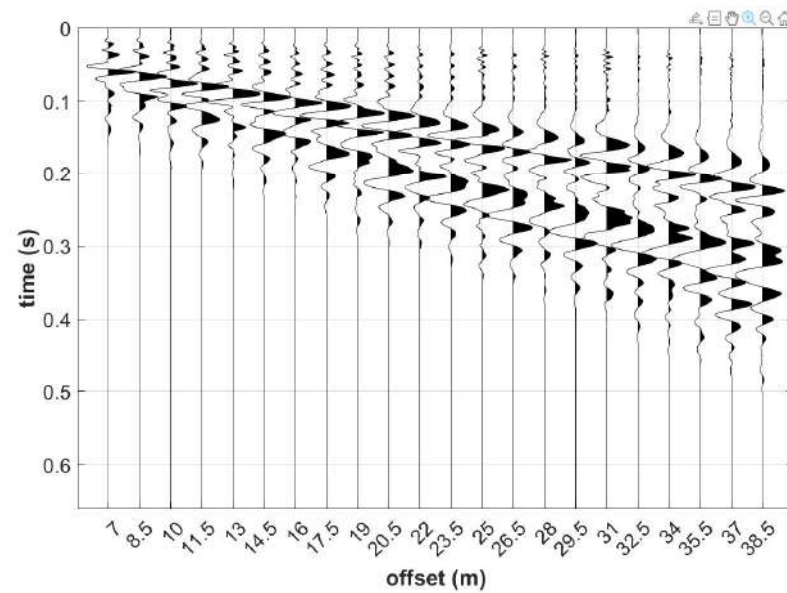
Peak frequency: 2.86×10^{-9} Hz
What is the T (period) (expressed in years)?
Some *dimensional analysis*!

$(365 \times 24 \times 60 \times 60) \times 11$ years

geophone spacing: 1.5 m



geophone spacing: 1.5 m



modelling

Vs

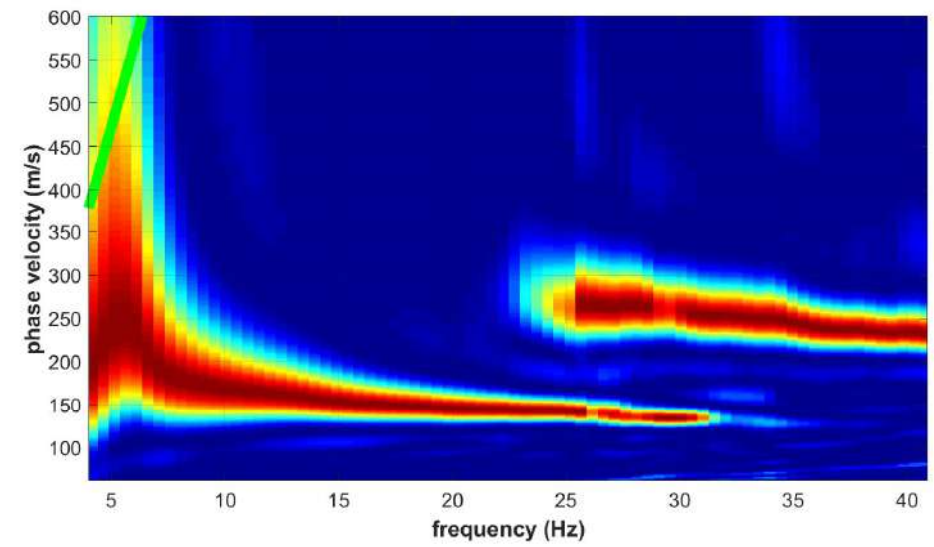
Qs

Poisson

thickness

upload mod.

synthetics (FVS)



modelling

Vs

Qs

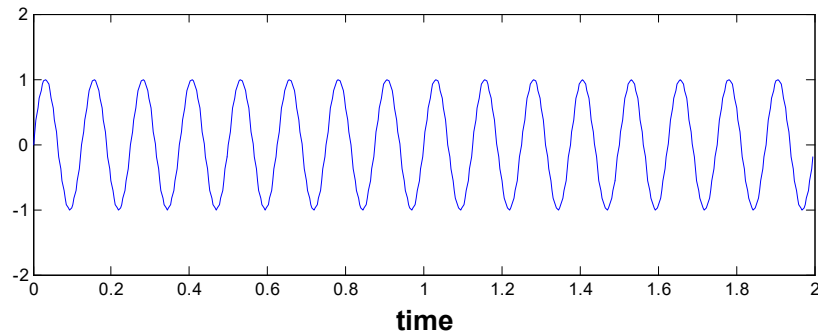
Poisson

thickness

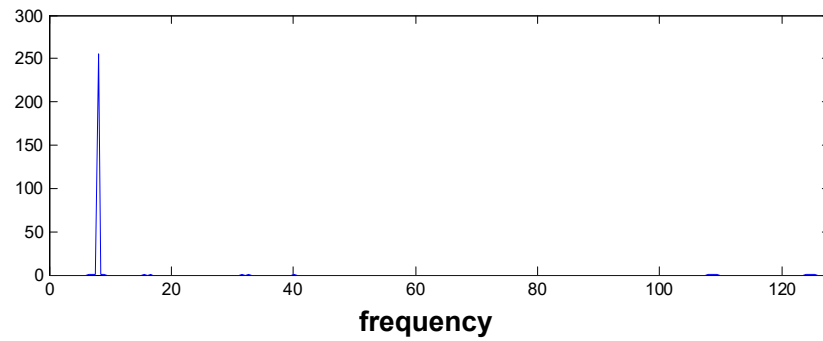
upload mod.

synthetics (FVS)

Some Simple Fourier Transforms

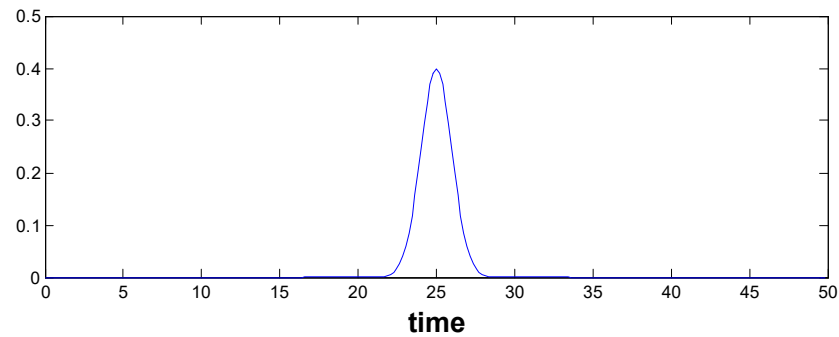


Sine wave

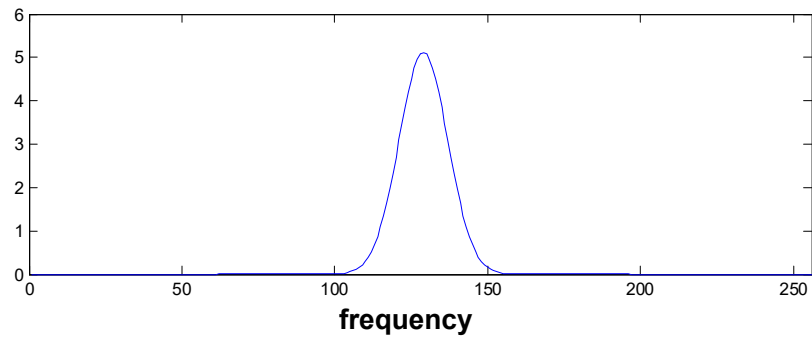


Delta function

Some Simple Fourier Transforms

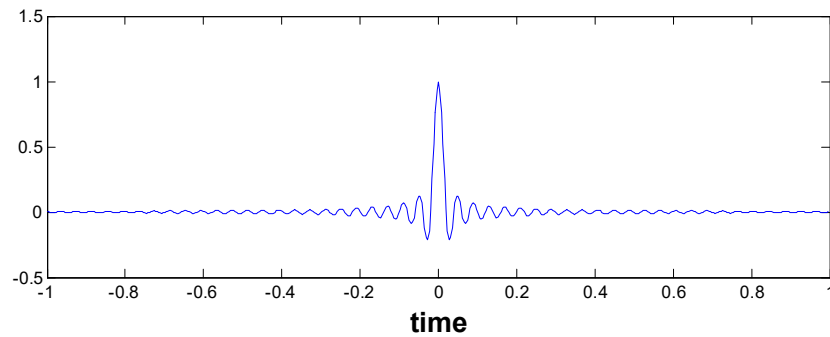


Gaussian

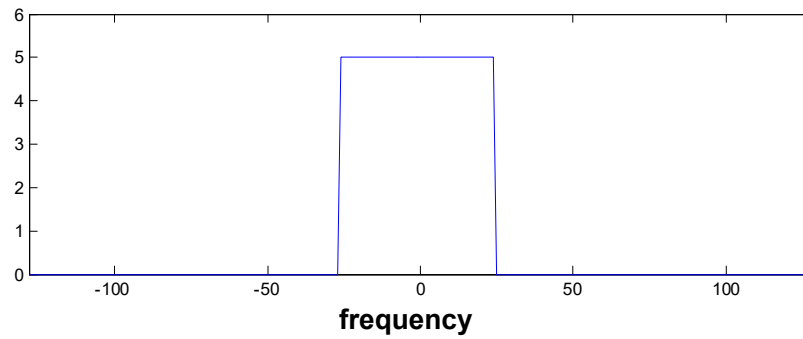


Gaussian

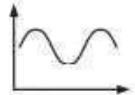
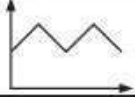
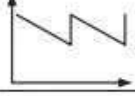
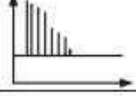
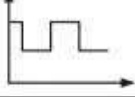
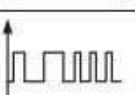
Some Simple Fourier Transforms



Sinc function



Square wave

Waveform	Time domain	Frequency domain
Sinewave		
Triangle		
Sawtooth		
Rectangle		
Pulse		
Random noise		
Bandlimited noise		
Random binary sequence		

Zdroj: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/time-domain-vs-frequency-domain.html>

Spettro di ampiezza della delta di Dirac

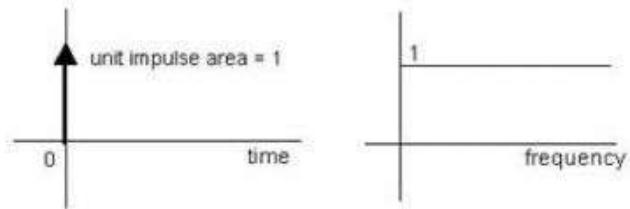
$$\delta(t) = 0 \quad t \neq 0$$

$$\delta(t) = \infty \quad t = 0$$

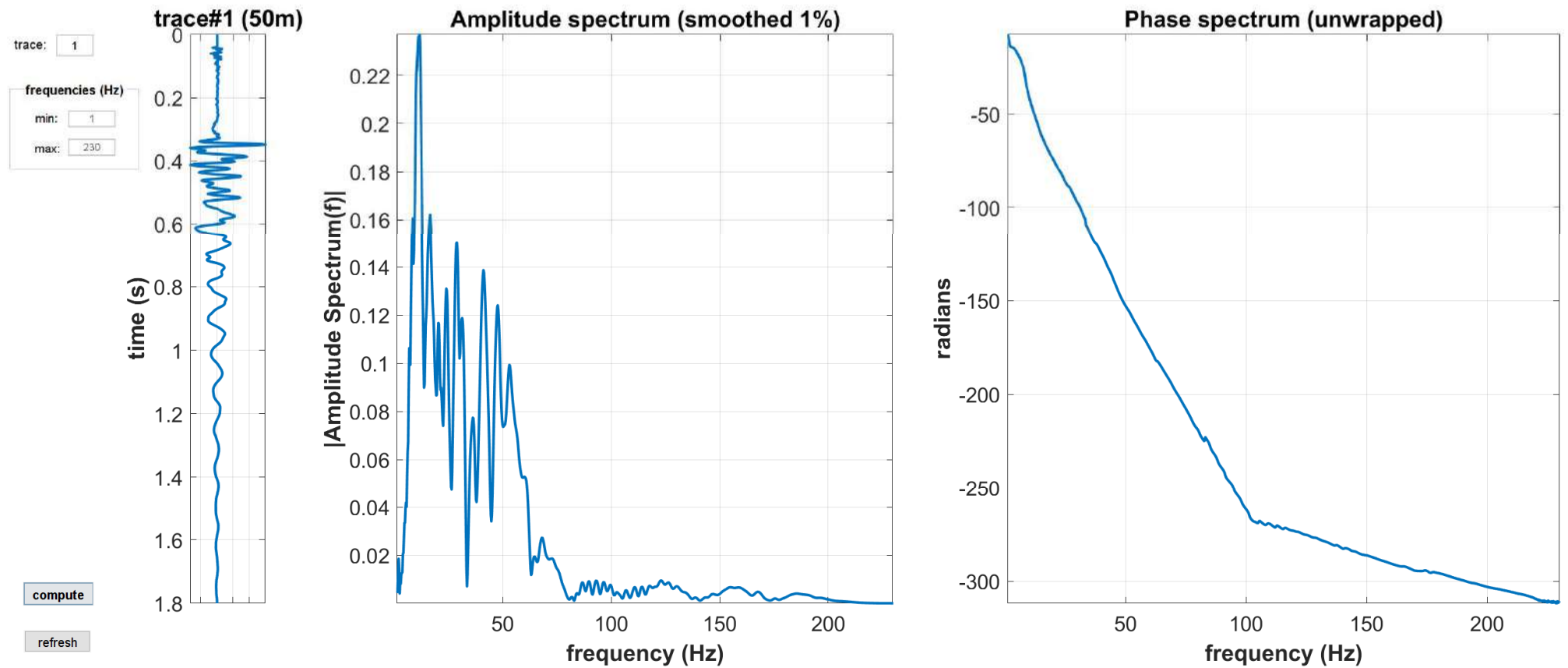
$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t) dt = f(0)$$

$$\text{Fourier Transform } [\delta(t)] = \delta(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) \exp^{-j\omega t} dt = 1$$



spettro versus spettrogramma



spettro *versus* spettrogramma



trace:

window:

min freq (Hz):

max freq (Hz):

computation

log scale

compute

