



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Fisica Terrestre

Introduzione

Stefano Parolai stefano.parolai@units.it

Visita guidata al CONRAD OBSERVATORY (Austria)

<https://www.zamg.ac.at/cms/en/geophysics>

<https://cobs.zamg.ac.at/gsa/index.php/en/>

Cosa è



Entrance of ZAMG's Conrad Observatory
located at the Trafelberg in Lower Austria
(© ZAMG/Leonhardt)



Quando

Giovedì 16 / Venerdì 11 ottobre

Come

Mezzi a noleggio/dell'Università

Costi

Fondi per la didattica

potrebbe esservi richiesto di sostenere personalmente le
spese della cena del 12/10

Scadenze

Adesione entro **questa settimana**

Chi siamo

Giovanni Costa



`costa@units.it`

Tutti i giorni su appuntamento
(previa richiesta via mail)
Palazzina P

Stefano Parolai



Stefano.parolai@units.it

[Stefano Parolai](#)

Tutti i giorni su appuntamento
(previa richiesta via mail)
Palazzina P

Informazioni pratiche sul corso

Orario

Riduci/espandi griglia

	lunedì	Cattura reti martedì	mercoledì	giovedì	venerdì
08:00-09:00					
09:00-10:00	PAROLAI, COSTA - Aula C				
10:00-11:00	PAROLAI, COSTA - Aula C				
11:00-12:00			PAROLAI, COSTA - Aula C		
12:00-13:00		PAROLAI, COSTA - Aula A Zucchi Stolfa	PAROLAI, COSTA - Aula C		
13:00-14:00		PAROLAI, COSTA - Aula A Zucchi Stolfa			
14:00-15:00					
15:00-16:00	PAROLAI - Aula C				
16:00-17:00	PAROLAI - Aula C				
17:00-18:00		PAROLAI - Aula C			
18:00-19:00		PAROLAI - Aula C			
19:00-20:00					

Il corso prevede lezioni frontali ed esercitazioni in aula

Codice Teams:
u5gyuij

legenda orario

Argomenti del corso

Il corso è suddiviso in diverse unità didattiche.

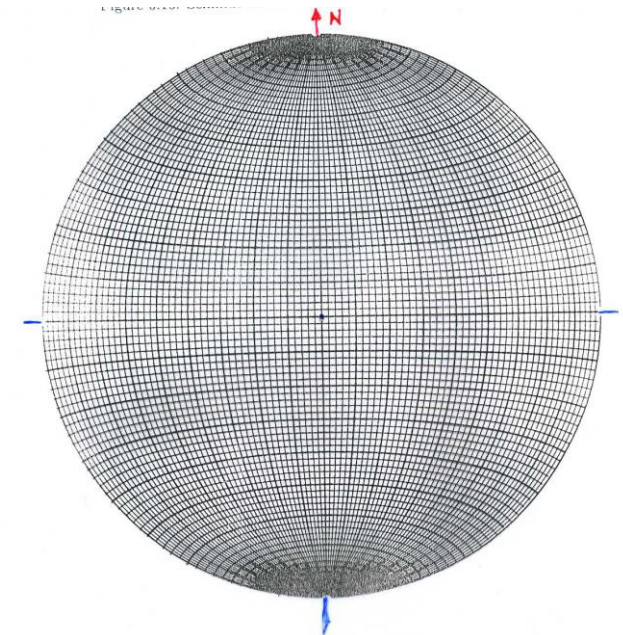
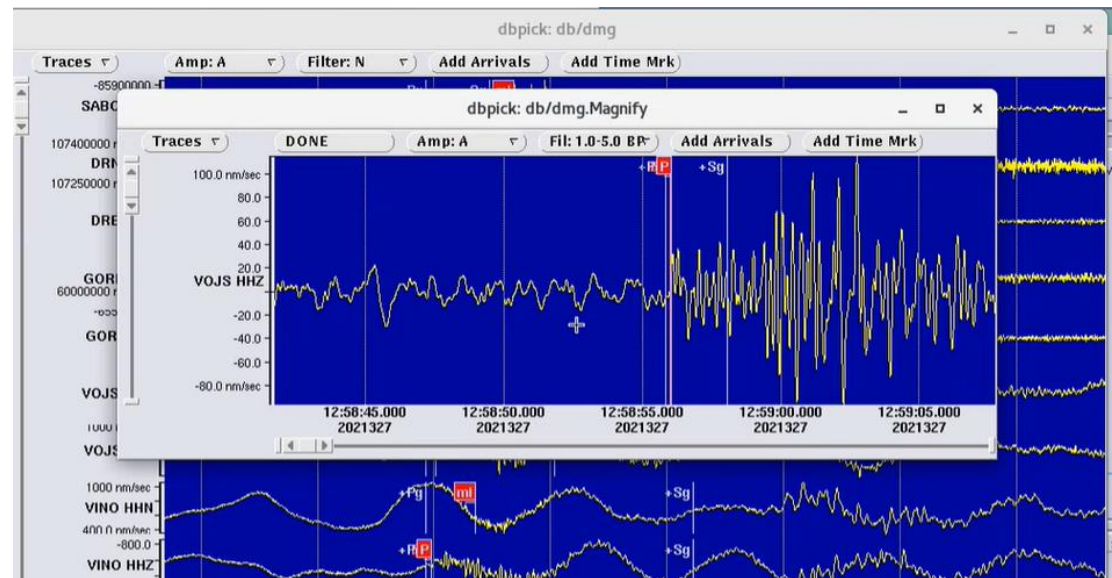
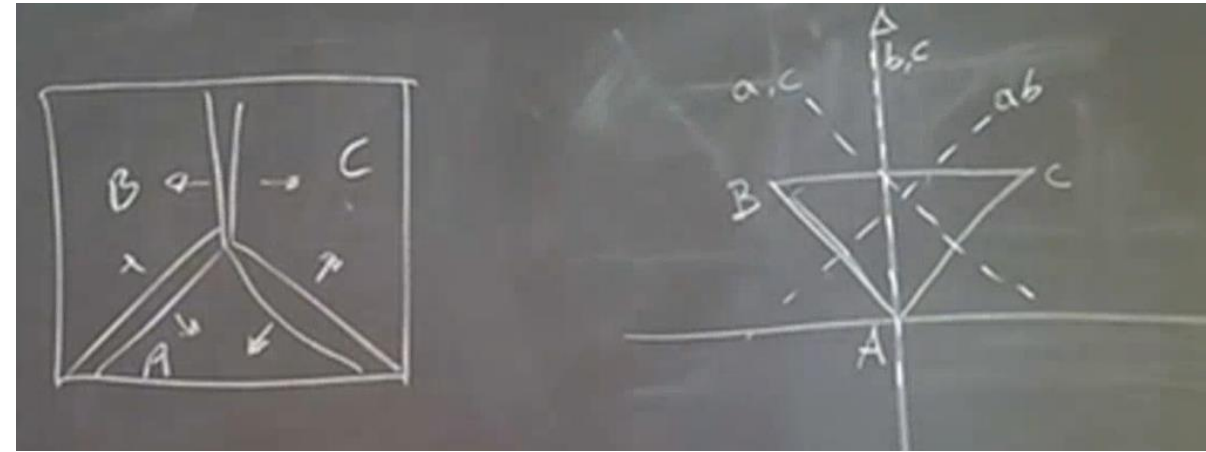
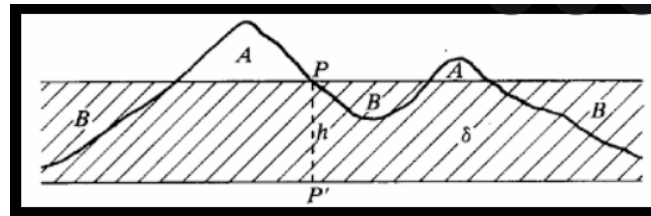
In particolare:

- Introduzione alla materia (docente: Prof. S. Parolai)
- Teoria delle placche (docente: Prof. S. Parolai)
 - Esercitazioni in aula (docente: S. Parolai)
- Terremoti (docente: Prof. G. Costa)
 - Matrici (docente: Prof. G. Costa)
 - Equazioni del moto armonico e teoria delle onde (docente: Prof. G. Costa)
 - Esercitazioni in aula (docente: Prof. G. Costa)
- Gravimetria (docente: Prof. G. Costa)
- Magnetismo (docente: Prof. S. Parolai)
- Geotermia (docente: Prof. S. Parolai)

Esame finale

Prova orale

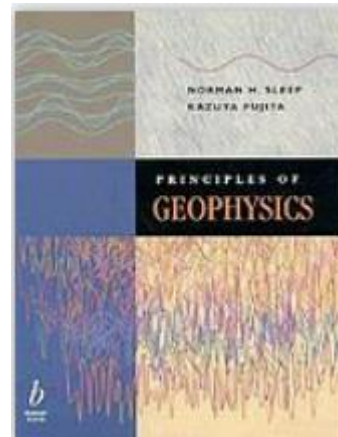
- domande su tutti gli argomenti trattati nel corso
- brevi esercizi



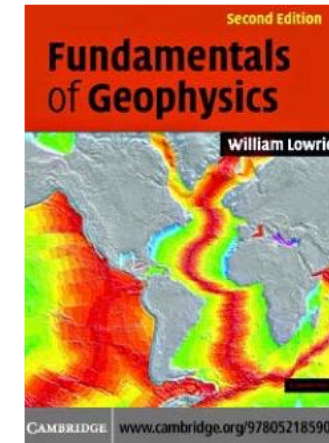
Testi di riferimento



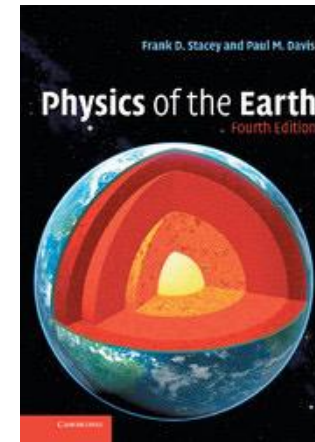
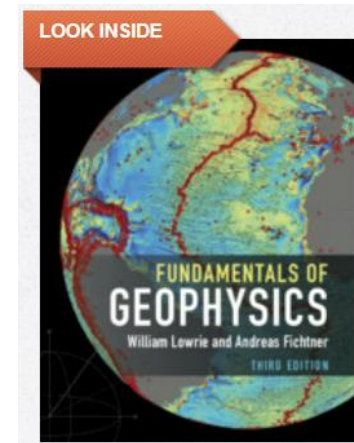
Fisica Terrestre: dispense del docente prof. Peter Suhadolc



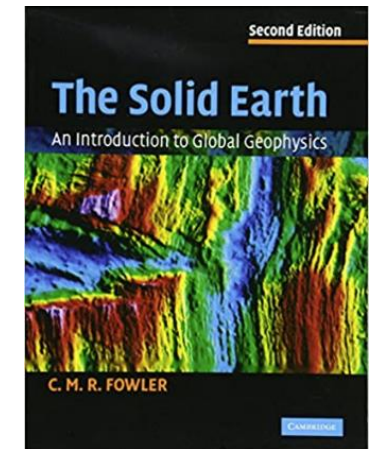
N. SLEEP & K. FUJITA.
*PRINCIPLES OF
GEOPHYSICS*. Blackwell
Science, 1997



W. LOWRIE. *FUNDAMENTALS OF GEOPHYSICS*.
Cambridge University Press, 1st Ed 1997 o 2nd Ed 2007

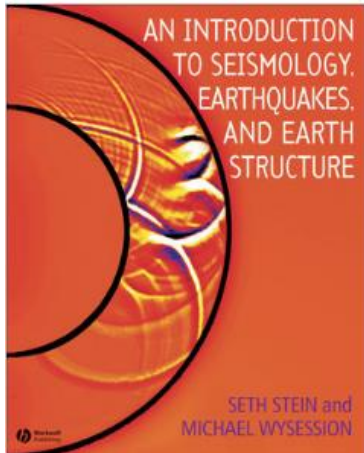


F.D. STACEY. *PHYSICS OF
THE EARTH*. Brookfield
Press, 1st Ed 1992

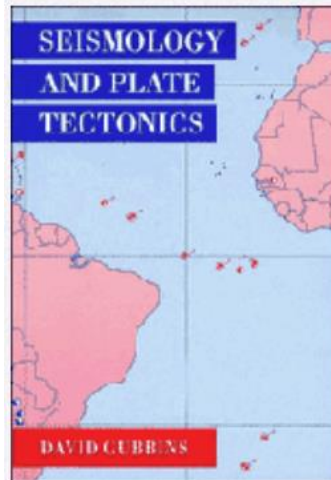


C.M.R.FOWLER. *THE SOLID EARTH:
An introduction to global
geophysics*. Cambridge University
Press, 1993

Testi di riferimento



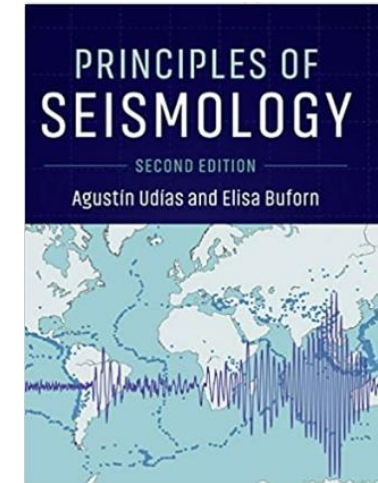
S. STEIN &
M.WYSESSION. *AN
INTRODUCTION TO
SEISMOLOGY,
EARTHQUAKES, AND
EARTH STRUCTUR.*
Blackwell, 2003



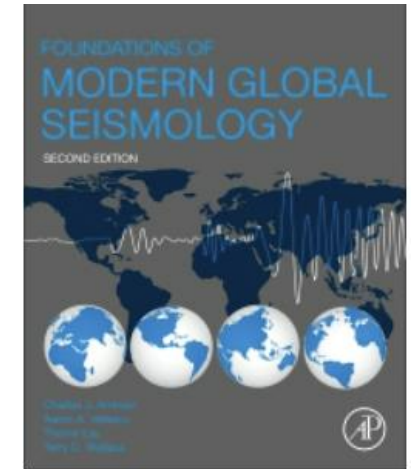
D.GUBBINS.
*SEISMOLOGY AND
PLATE TECTONICS.*
Cambridge University
Press, 1990



K.KASAHARA.
*EARTHQUAKE
MECHANICS.*
Cambridge
University Press,
1981



A. UDIAS.
*PRINCIPLES OF
SEISMOLOGY.*
Cambridge
University Press,
1999

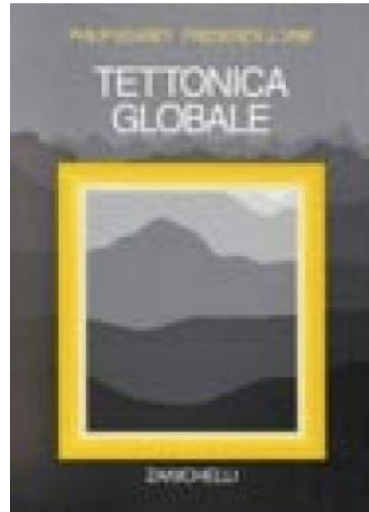


T.LAY &
T.C.WALLACE.
*MODERN GLOBAL
SEISMOLOGY.*
Academic Press,
1995

Testi di riferimento



A.COX & R.B.HART. *LA TETTONICA DELLE PLACCHE/ PLATE TECTONICS*
Meccanismi e modalità /How it works Zanichelli
1986/Blackwell, 1986



P. KEARY & F.J.VINE.
TETTONICA GLOBALE/ GLOBAL TECTONICS.
Zanichelli/ Blackwell,
2nd Ed 1996

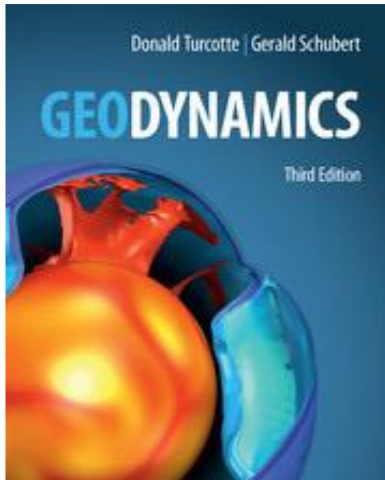


A. ZOLLO & A. EMOLO.
TERREMOTI E ONDE.
Liguori editore, 2011

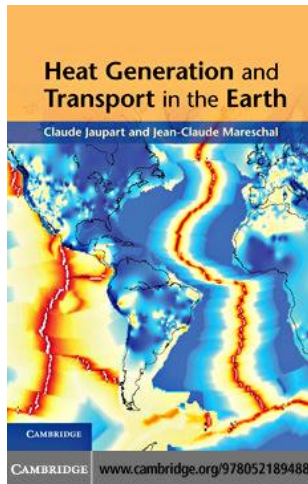


M. FEDI e A. RAPOLLA. *I METODI GRAVIMETRICO E MAGNETICO NELLA GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA.* Liguori editore, 1993

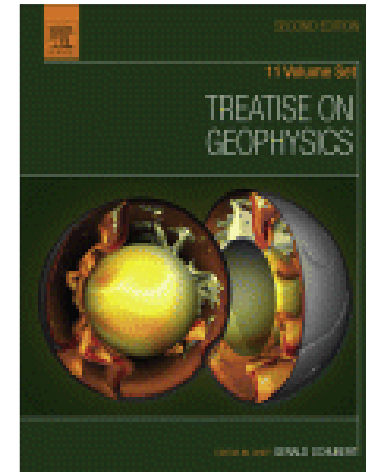
Testi di riferimento



TURCOTTE & SCHUBERT
Geodynamics 3rd Ed 2014



JAUPART & MARESCHAL
*Heat Generation and
Transport in the Earth* 2010



Treatise on Geophysics
2nd Ed editor G. SCHUBERT,

Obiettivi del corso

Il corso **applica metodologie proprie della matematica e della fisica** per lo **studio** e la **modellazione** dei fenomeni geologico-fisici che interessano i processi dinamici del pianeta Terra -> *È fortemente consigliato aver sostenuto gli esami di Matematica e Fisica prima di dare l'esame di Fisica Terrestre*

Tali metodologie permettono di arrivare ad una **comprensione quantitativa dei processi geologici e geofisici**

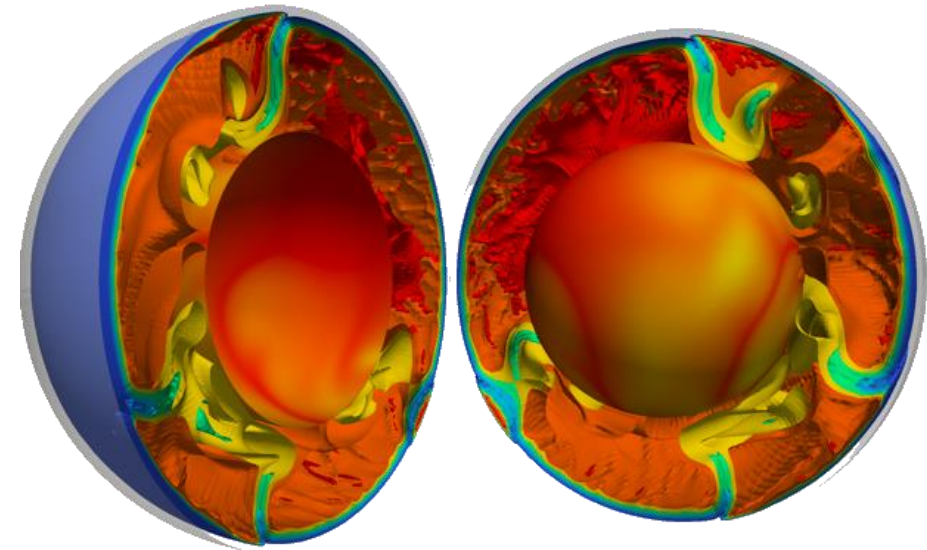
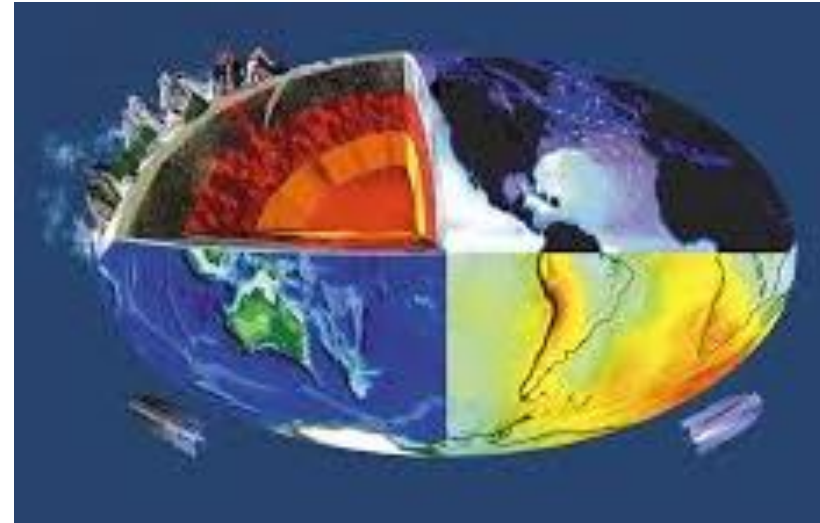
L'obiettivo risiede nello **sviluppare le capacità di analisi di tali fenomeni fisici** fornendo inoltre gli strumenti di base necessari per poterli sfruttare al fine di studiare le caratteristiche del nostro pianeta

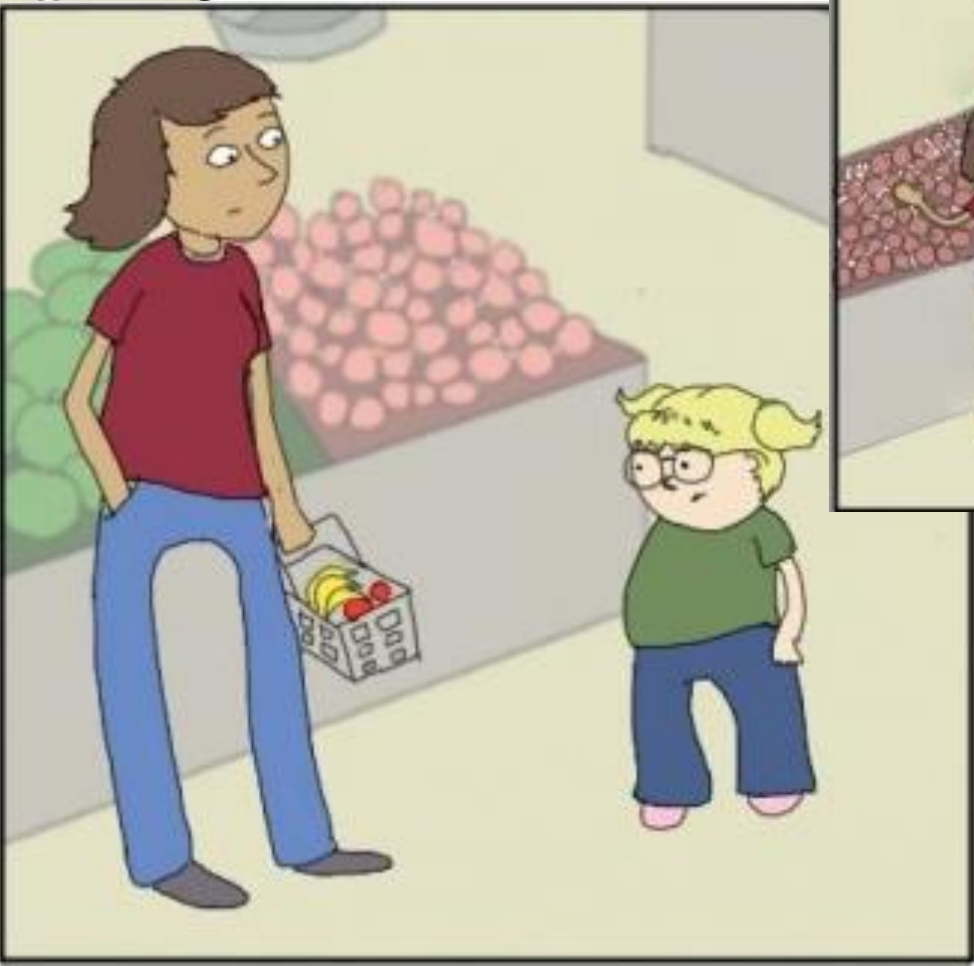
Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geologia?

Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

La **Fisica Terrestre** applica misure e metodi della fisica allo studio della quasi totalità dei fenomeni (termodinamici, ottici, elettrici ecc.) che interessano la Terra e delle proprietà fisiche del pianeta. A volte il termine «fisica terrestre» è usato come sinonimo di **Geofisica**.

Nel senso più generale, è la scienza che studia i fenomeni fisici di cui è sede la terra, dal **nucleo** della terra all'**alta atmosfera**.

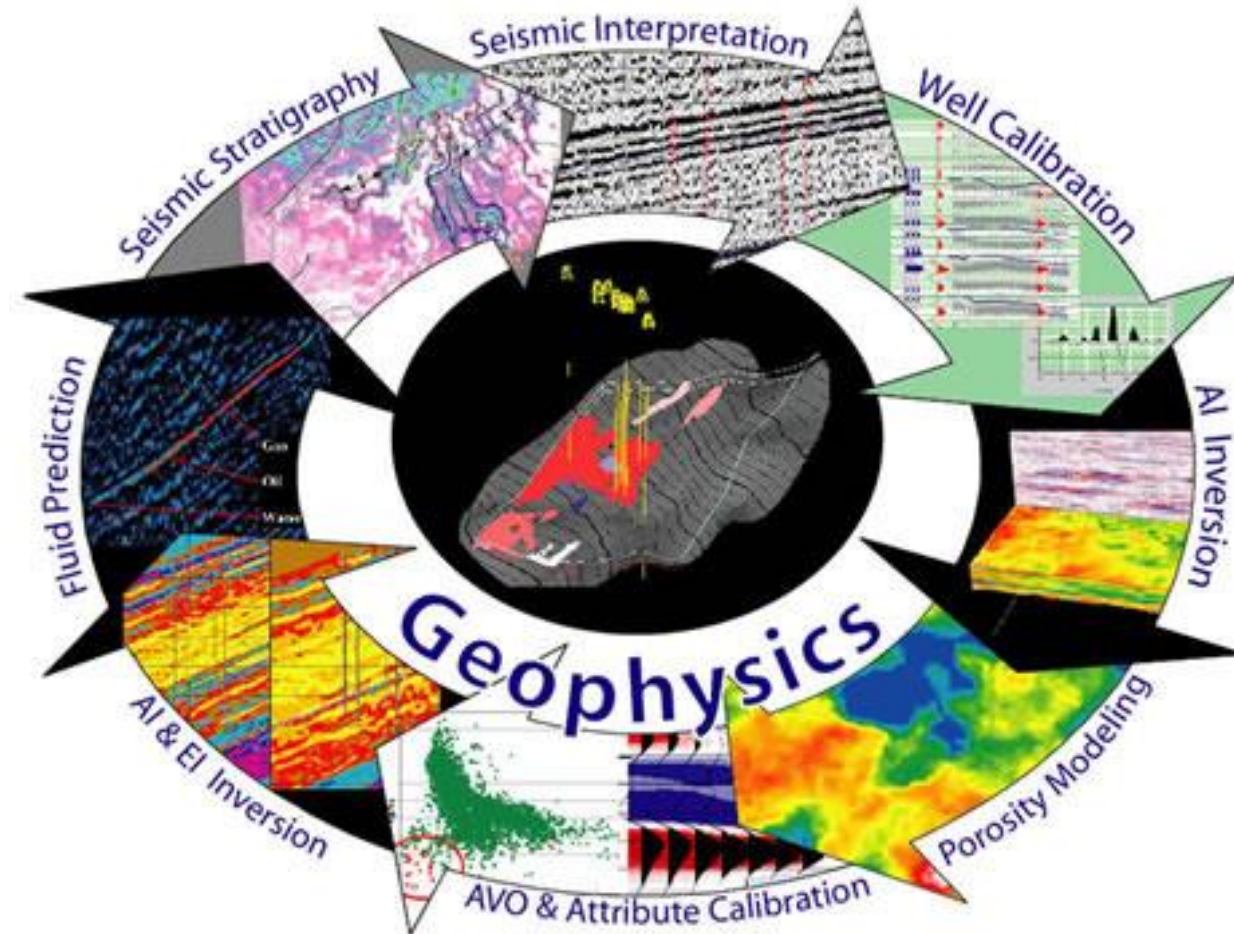




Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

La fisica terrestre/geofisica si divide in **tre branche fondamentali**, corrispondenti ai tre stati di aggregazione (solido, liquido, gassoso) della materia che costituisce la Terra:

- ✓ **fisica della Terra solida:**
Tettonofisica e Geodinamica, Geomagnetismo, Geodesia e Gravimetria, Geotermia, Sismologia, Geoelettricità,
- ✓ **fisica delle acque superficiali e profonde (idrosfera):**
Idrologia, Glaciologia, Oceanografia Fisica
- ✓ **fisica dell'atmosfera:**
Meteorologia e Climatologia, Fisica dell'Alta Atmosfera



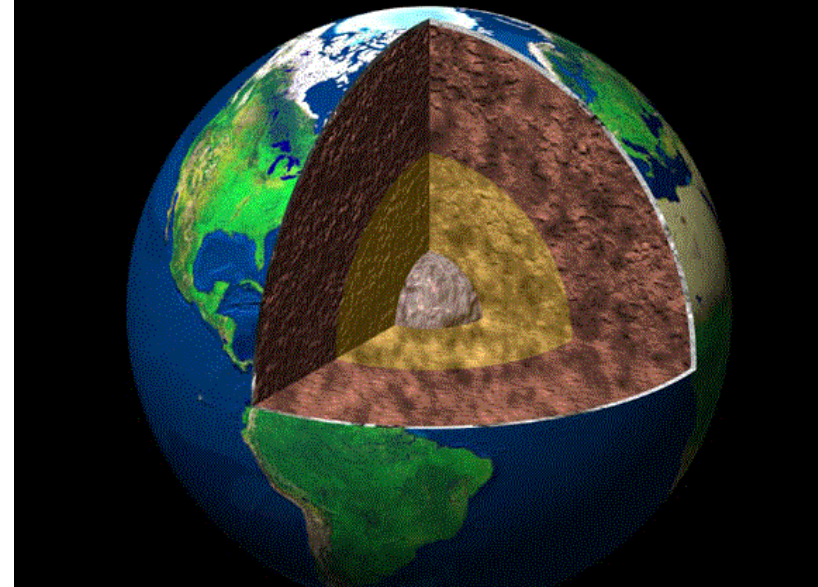
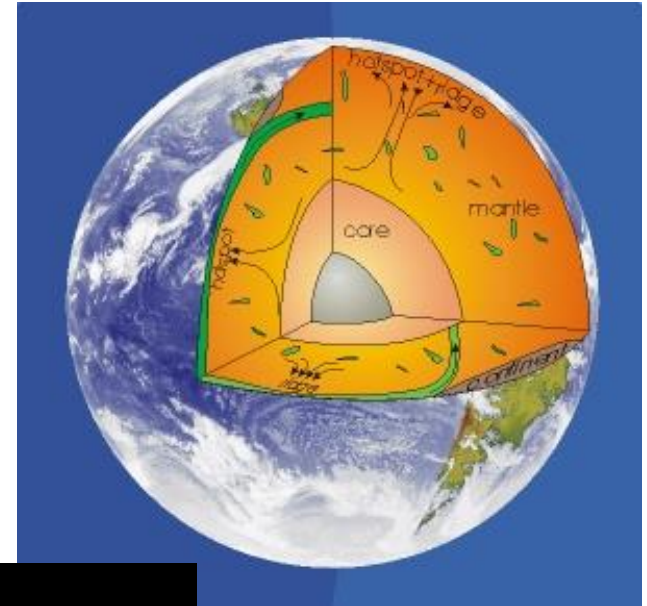
Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

Considerato che le rocce e le loro strutture sono formate da processi fisici, chimici e biologici



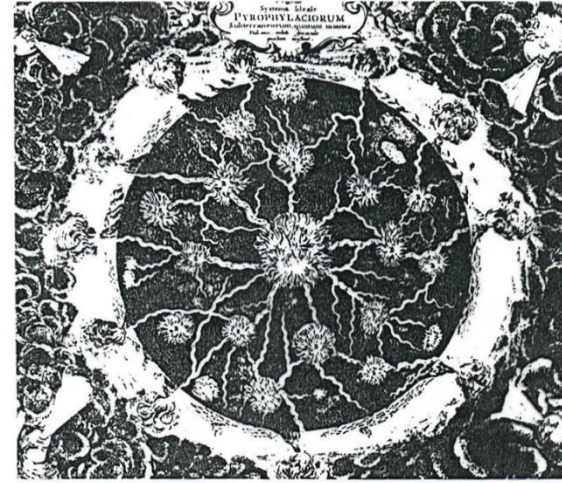
la fisica terrestre/geofisica si occupa di tutto ciò che nella geologia non è chimico e/o biologico

La geofisica è una scienza di tipo preminentemente sperimentale, che condivide il campo di applicazione sia con la fisica sia con la geologia e comprende al suo interno diverse branche



Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

I principali studi sulle proprietà globali della Terra vennero svolti tra il 1600 ed il 1900 -> **la fisica terrestre è una scienza relativamente giovane**



Una prima visione dell'interno della Terra (metà 1600 circa).

L'autore concepiva la Terra come una sfera di materiale solido fessurato da tubi di magma che collegavano sacche di gas eruttivo con bocche vulcaniche in superficie.

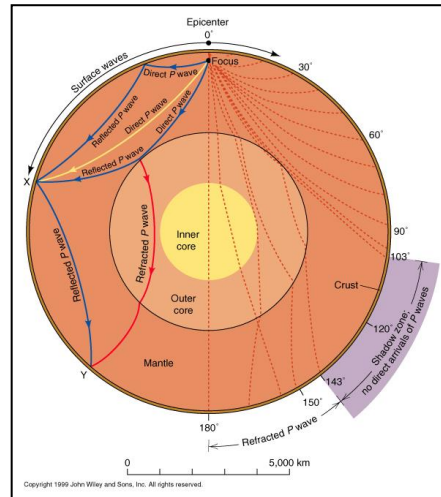
Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

I principali studi sulle proprietà globali della Terra vennero svolti tra il 1600 ed il 1900 -> **la fisica terrestre è una scienza relativamente giovane**

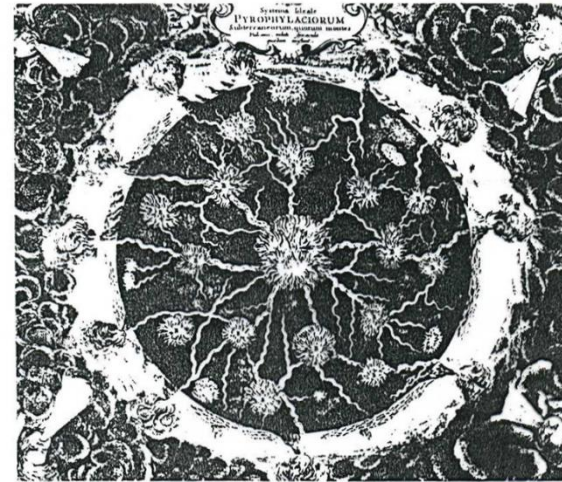


Abb. 1: Ernst von Rebeur-Paschwitz, dem 1889 in Potsdam die weltweit erste Fernaufzeichnung eines Erdbebens gelang

Fig. 1: Ernst von Rebeur-Paschwitz, who successfully completed the world's first remote recording of an earthquake in 1889 in Potsdam

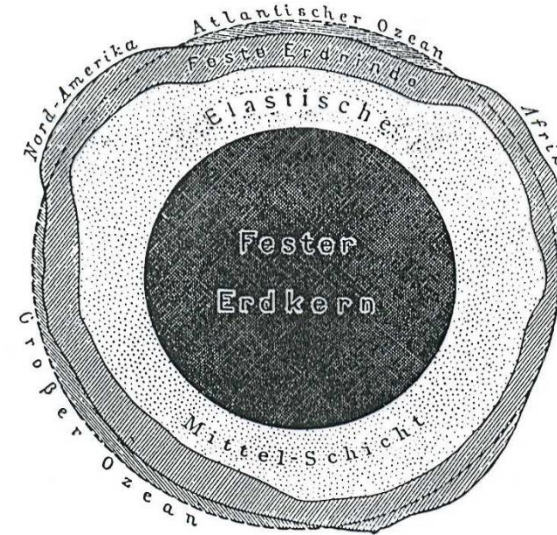


Solo **nella prima metà del Novecento** venne riconosciuta la struttura interna della Terra, grazie all'utilizzo delle prime registrazioni sismografiche.



Una prima visione dell'interno della Terra (metà 1600 circa).

L'autore concepiva la Terra come una sfera di materiale solido fessurato da tubi di magma che collegavano sacche di gas eruttivo con bocche vulcaniche in superficie.



Schizzo dell'interno della Terra pubblicato a Berlino nel 1902 (H.Kramer).

La Terra ha tre strati: una crosta solida, un mantello elastico un nucleo solido.

Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

Curiosità: Registrazione del Terremoto della Liguria Occidentale del 1887!

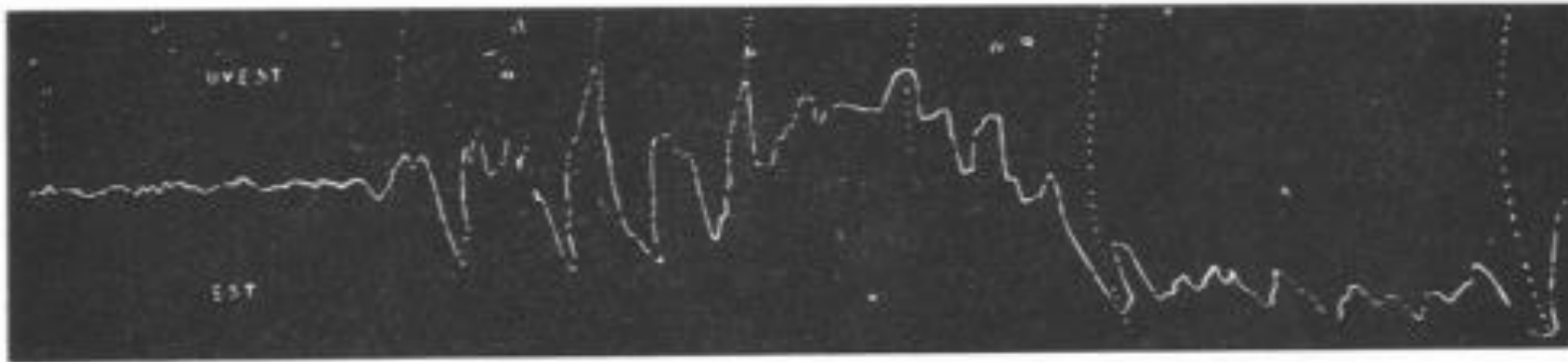


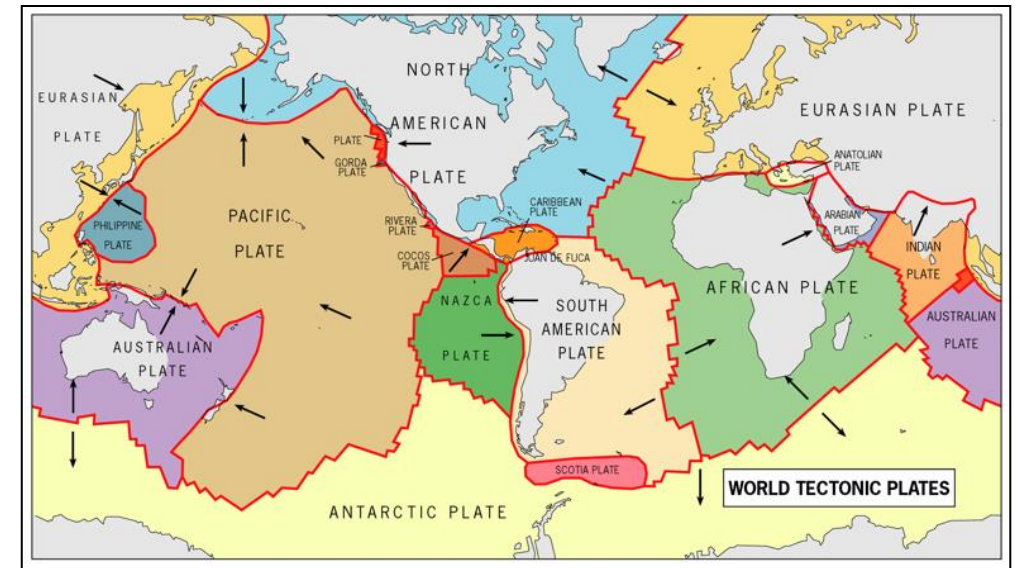
FIG. 6. The record obtained by a Cecchi seismograph at Moncalieri, Italy, on February 23, 1887 (reproduced from Fouqué, *Tremblements de Terre*, Bailliére, p. 79).

Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

I principali studi sulle proprietà globali della Terra vennero svolti tra il 1600 ed il 1900 -> **la fisica terrestre è una scienza relativamente giovane**

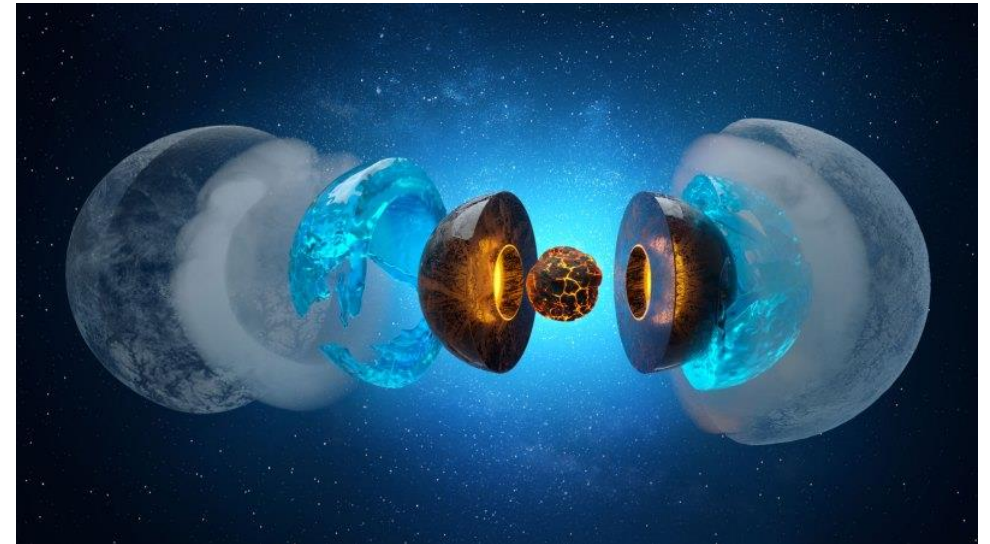
Solo **nella prima metà del Novecento** venne riconosciuta la struttura interna della Terra, grazie all'utilizzo delle prime registrazioni sismografiche.

Solo **nella seconda metà del Novecento** si cominciarono a studiare i processi geodinamici in atto sulla superficie terrestre, con la formulazione della teoria della tettonica a zolle.



Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

Si è ancora **alla ricerca della spiegazione** dei **meccanismi che determinano il funzionamento del sistema Terra nel suo insieme** e, in particolare, dell'evidente dinamicità della sua evoluzione, di cui sono un chiaro esempio l'attuale disposizione di continenti e oceani e la distribuzione dei terremoti e dei vulcani.



Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

Le discipline della geofisica che si occupano della componente solida del globo sono:

Tettonofisica e geodinamica

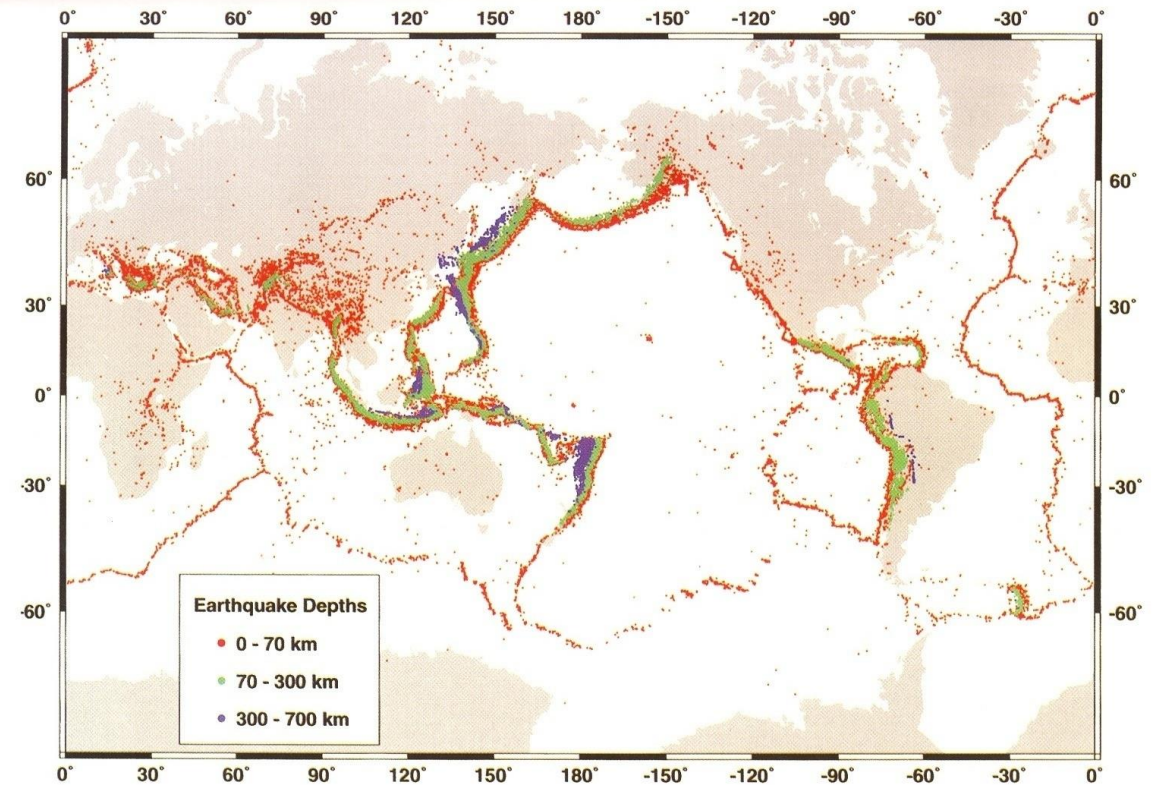
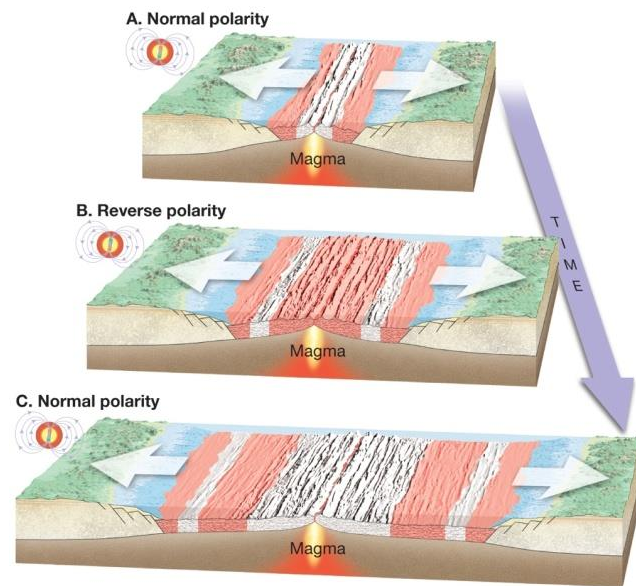


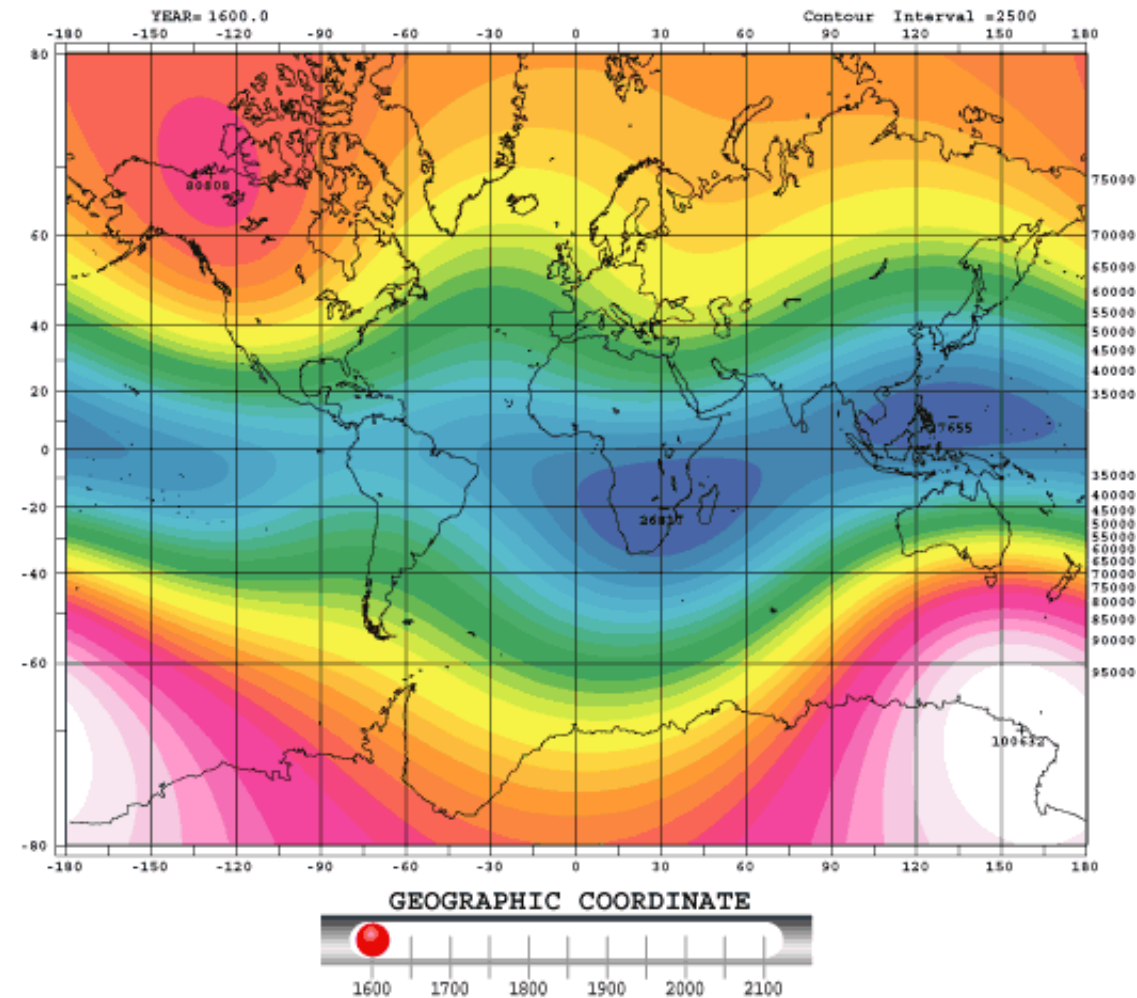
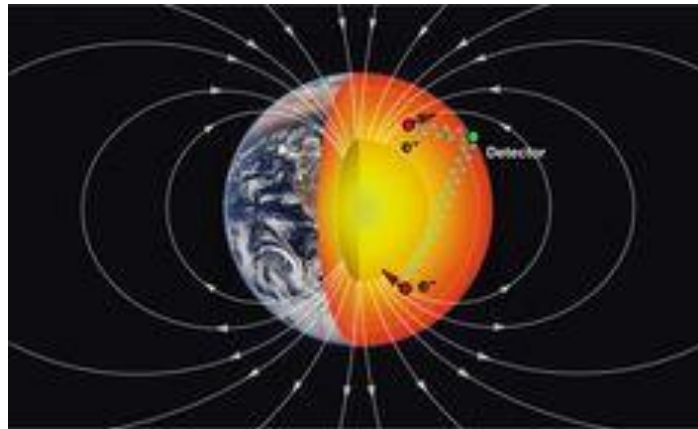
Figure 2.2. The global distribution of both shallow and deep seismicity for well-located earthquakes with magnitude > 5.1. The shallow seismicity closely delineates plate boundaries. Based on Engdahl et al. (1998).

Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

Le discipline della geofisica che si occupano della componente solida del globo sono:

Tettonofisica e geodinamica

Geomagnetismo



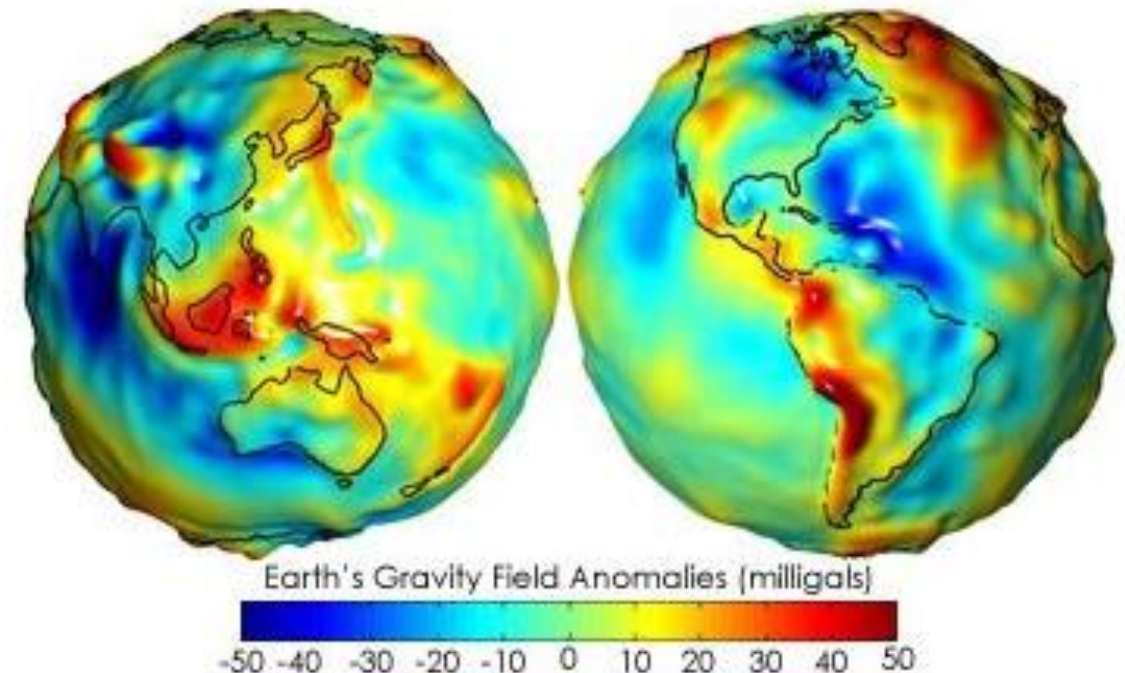
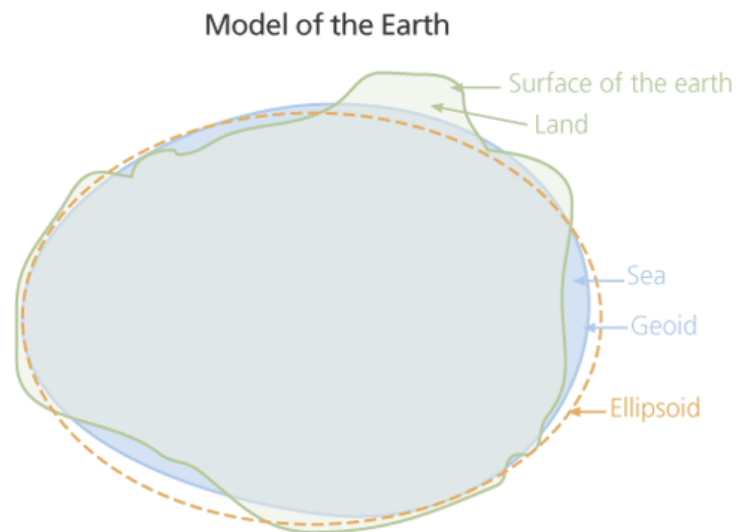
Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

Le discipline della geofisica che si occupano della componente solida del globo sono:

Tettonofisica e geodinamica

Geomagnetismo

Gravimetria e Gradiometria gravimetrica



Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

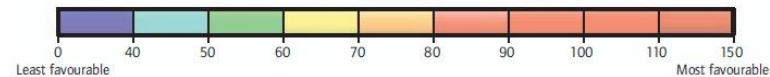
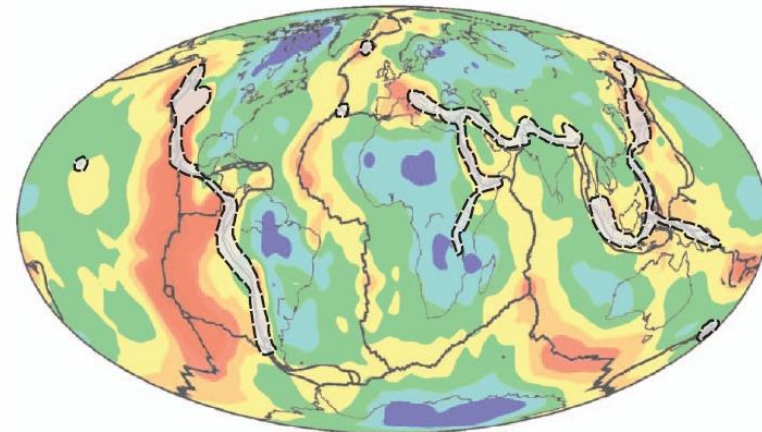
Le discipline della geofisica che si occupano della componente solida del globo sono:

Tettonofisica e geodinamica

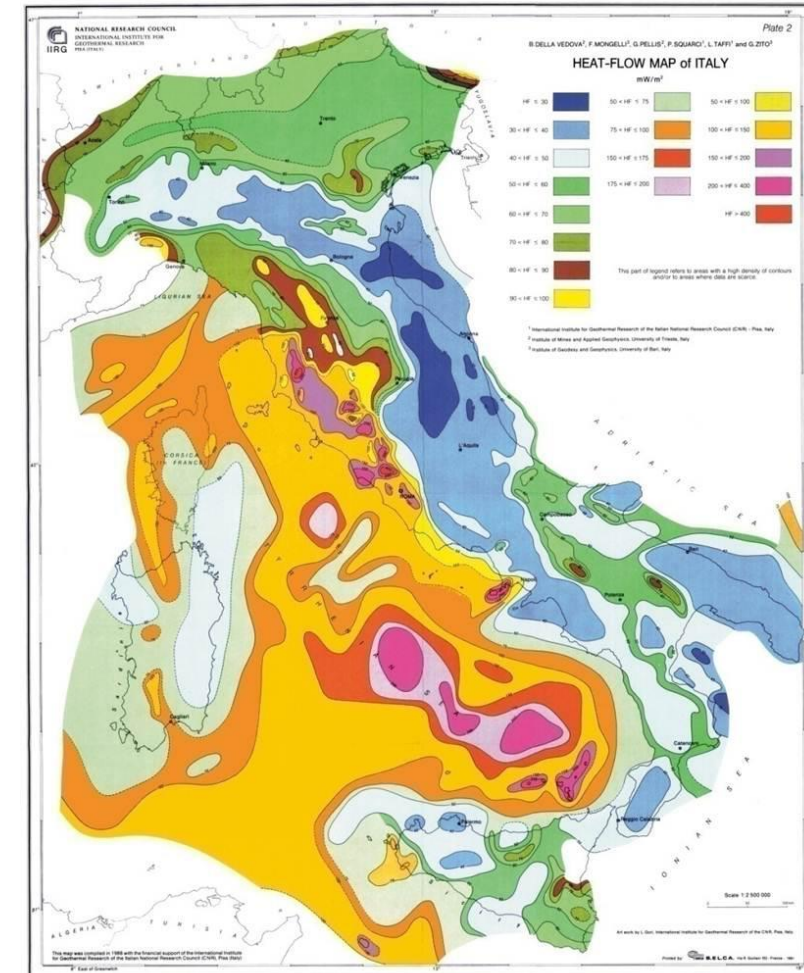
Geomagnetismo

Gravimetria e Gradiometria gravimetrica

Geotermia



Note: Convective hydrothermal reservoirs are shown as light grey areas, including heat flow and tectonic plates boundaries.
Source: Background figure from (Hamza et al., 2008), adjustments from (IPCC, forthcoming).



Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

Le discipline della geofisica che si occupano della componente solida del globo sono:

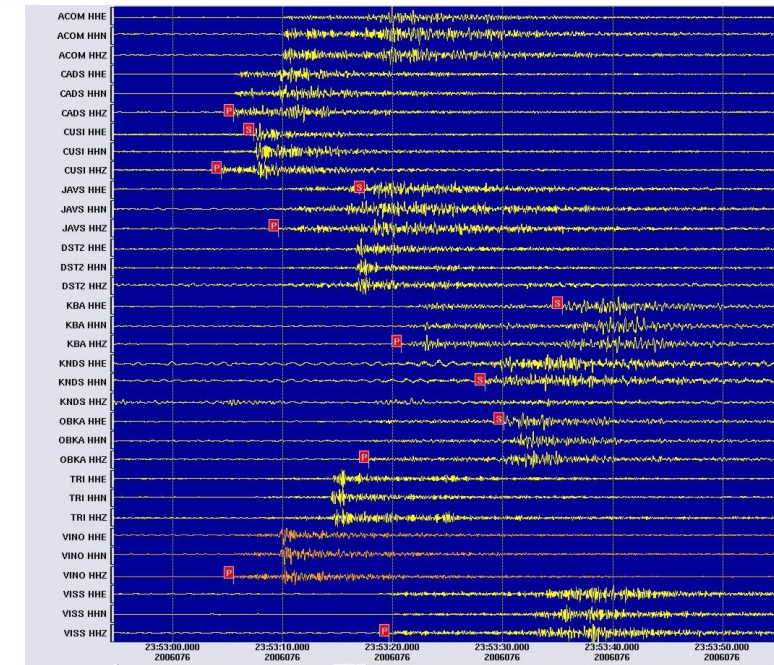
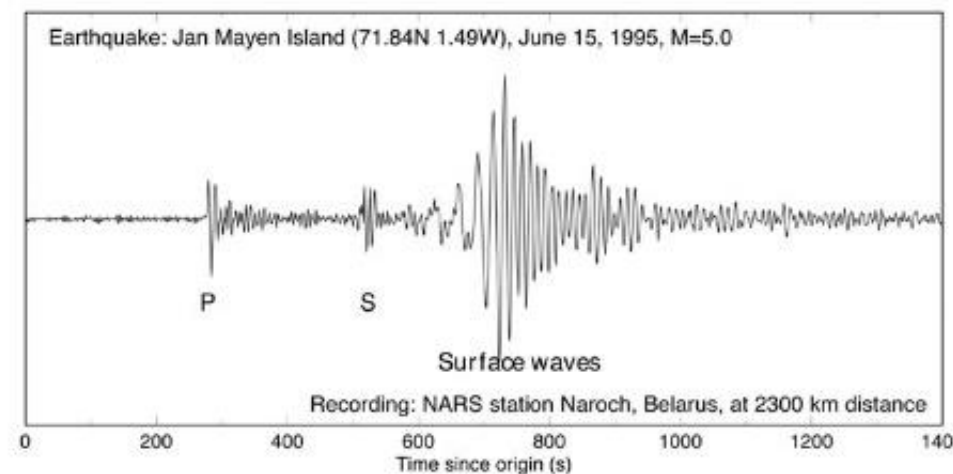
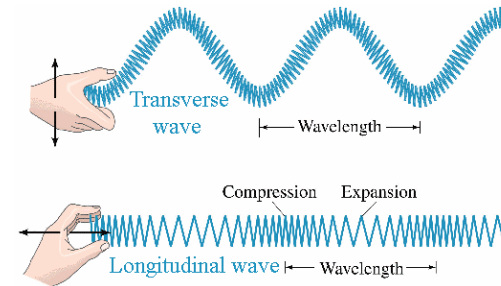
Tettonofisica e geodinamica

Geomagnetismo

Gravimetria e Gradiometria gravimetrica

Geotermia

Sismologia



Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

Le discipline della geofisica che si occupano della componente solida del globo sono:

Tettonofisica e geodinamica

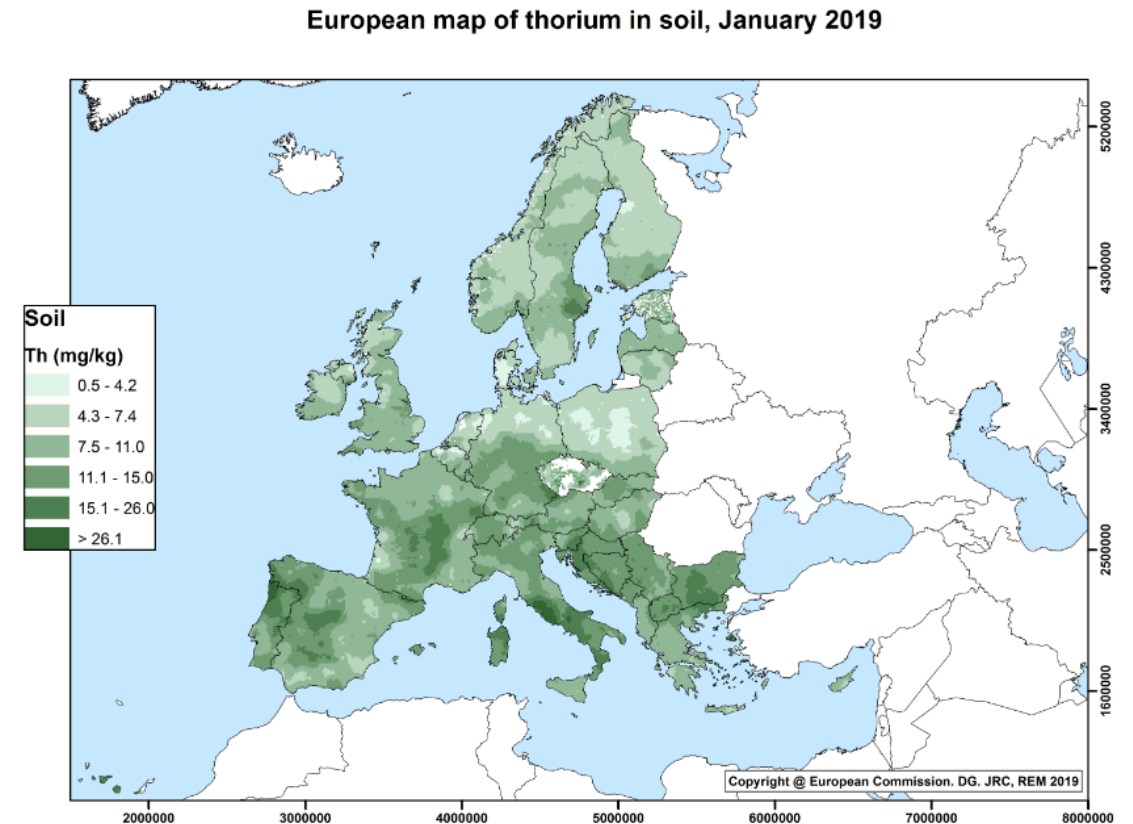
Geomagnetismo

Gravimetria e Gradiometria gravimetrica

Geotermia

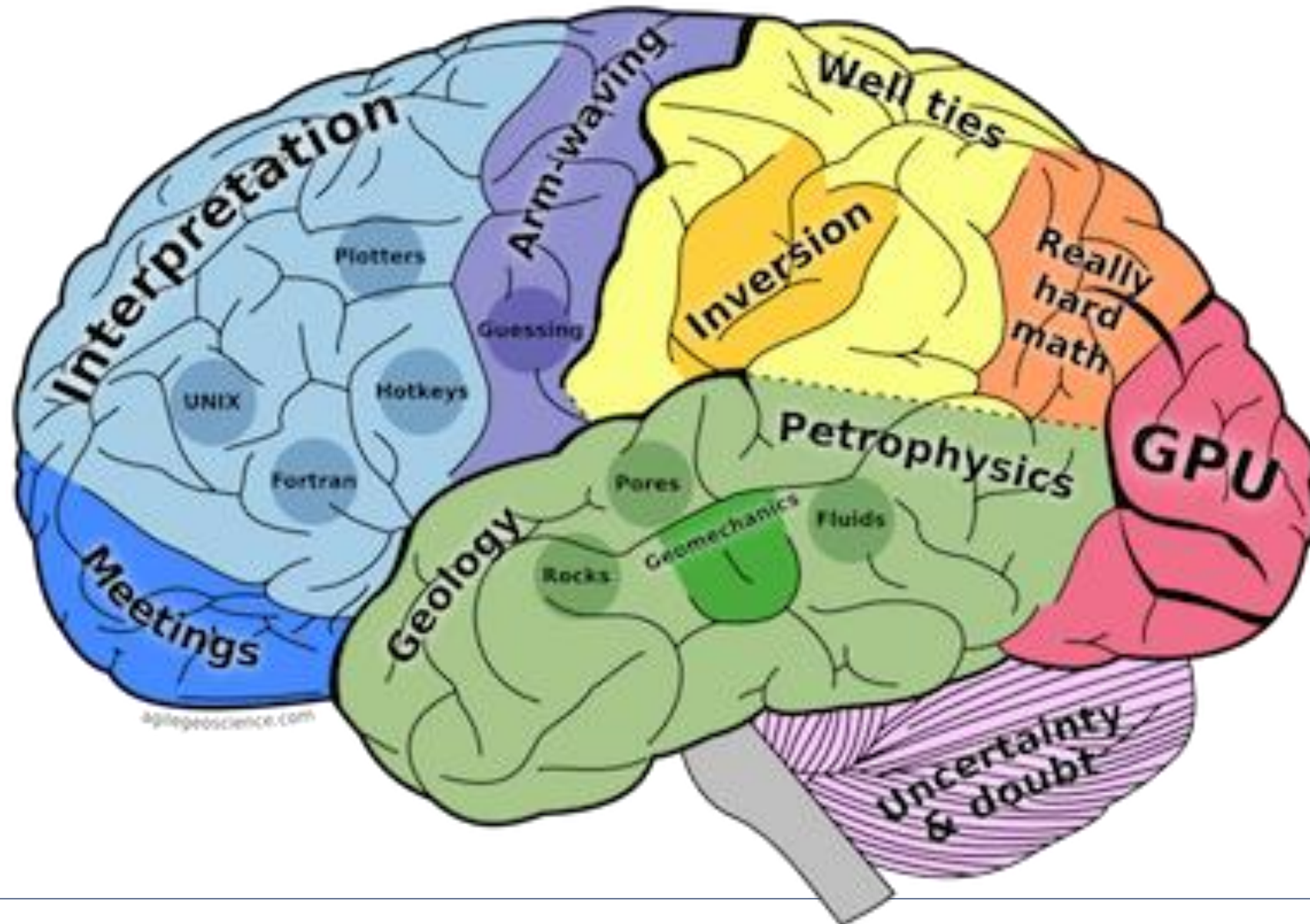
Sismologia

Radioattività Terrestre



<https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Digital-Atlas>

The geophysical brain



Perché studiare Fisica Terrestre?

Perché studiare Fisica Terrestre?

Propedeutica per i seguenti corsi di studio della LT e delle LM:

Laurea Triennale	Geofisica Applicata		
	Elementi di geofisica per la Protezione Civile		
	Laboratorio di sismica per la Geotecnica		
Laurea Magistrale GEOSCIENZE	Geotermia	Monitoraggio geodetico e telerilevamento	
	Interpretazione sismica a riflessione		
	Microzonazione sismica	Sismica a riflessione	
Laurea Magistrale GEOPHYSICS AND GEODATA	Electromagnetic methods in Geophysics	Geothermics	Seismology
	Interpretation of reflection seismic data	Geodynamics	Applied Seismology
	Remote sensing and geodetic monitoring	Microzonation	Seismic Imaging
	Potential methods	Seismic risk	Exploration Seismology

Perché studiare Fisica Terrestre?

Alcuni sbocchi professionali



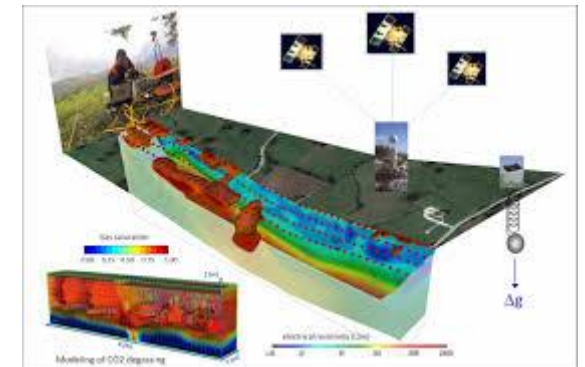
Sismologo



Libera professione



Geofisico



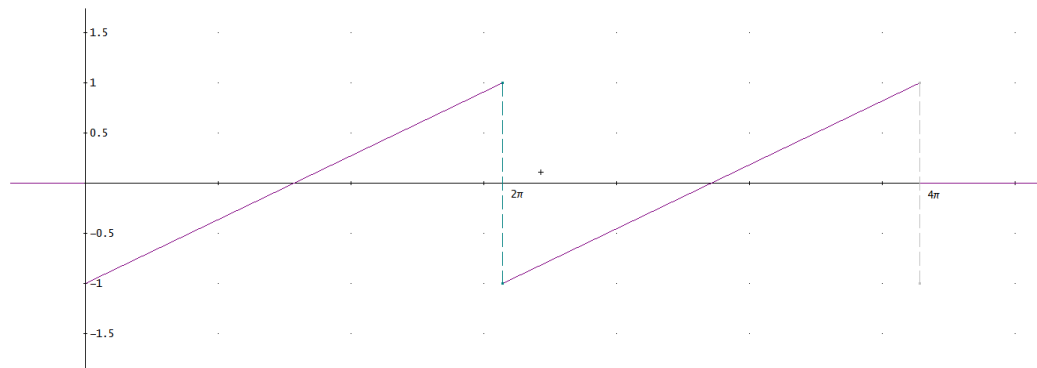
Breve riassunto di concetti di base in Fisica e Matematica?

Serie di Fourier

In particolare, per molti tipi di onde vale oltretutto il cosiddetto principio di sovrapposizione per cui se in un determinato punto dello spazio transitano due o più onde, lo spostamento di una particella che si trova in quel punto è dato semplicemente dalla somma degli spostamenti che le onde, singolarmente, le conferiscono agendo da sole.

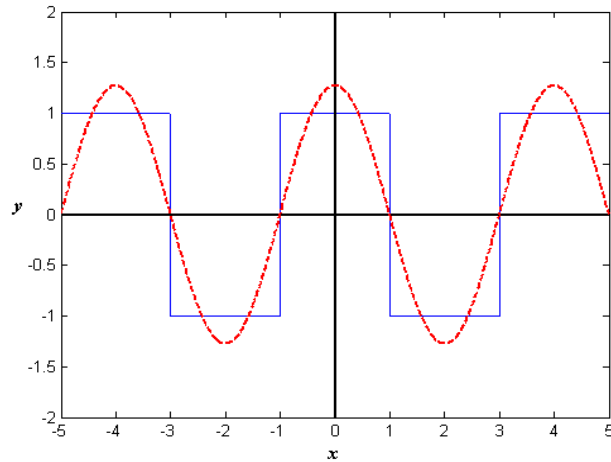
In tal modo è possibile analizzare un fenomeno ondulatorio, anche molto complesso, attraverso una combinazione di moti ondulatori più semplici.

Esempio: funzione a denti di sega

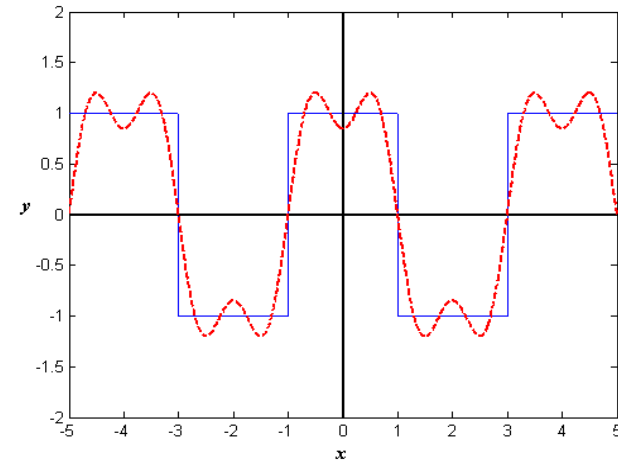


Serie di Fourier

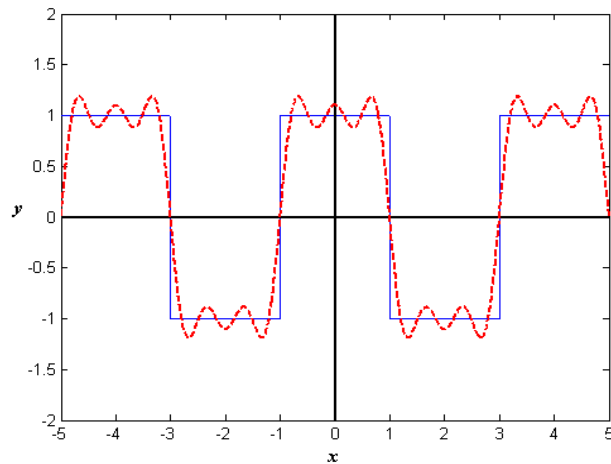
Esempio onda quadra:



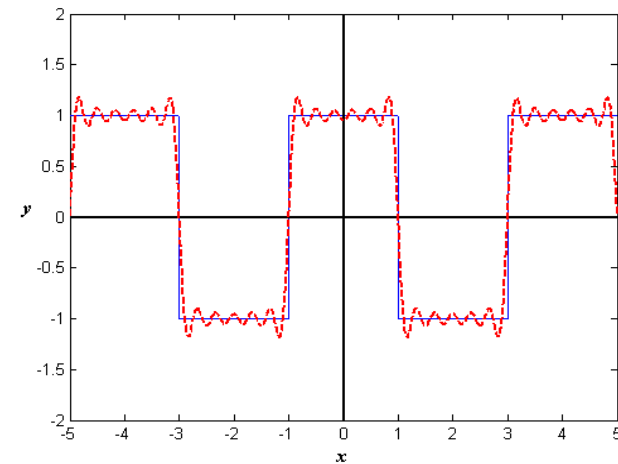
$N = 1$



$N = 3$



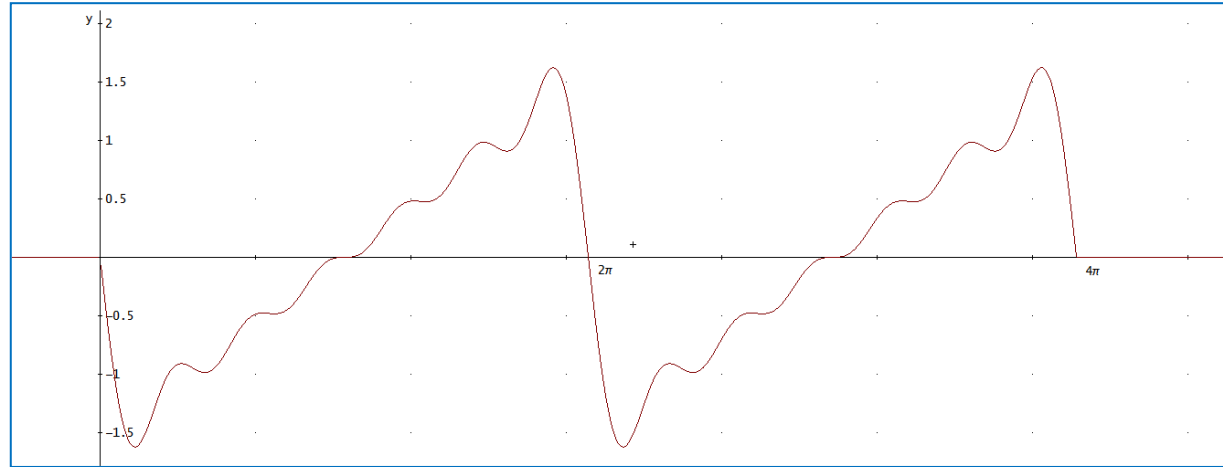
$N = 5$



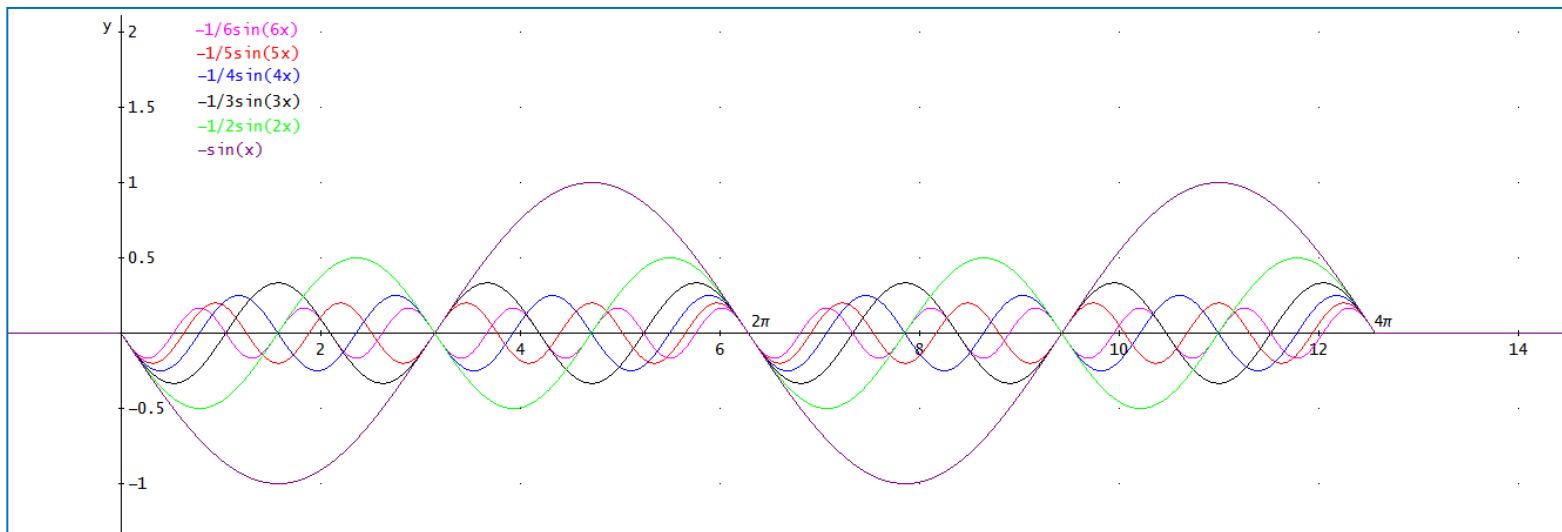
$N = 11$

Serie di Fourier

Può essere approssimata da una curva di questo genere:



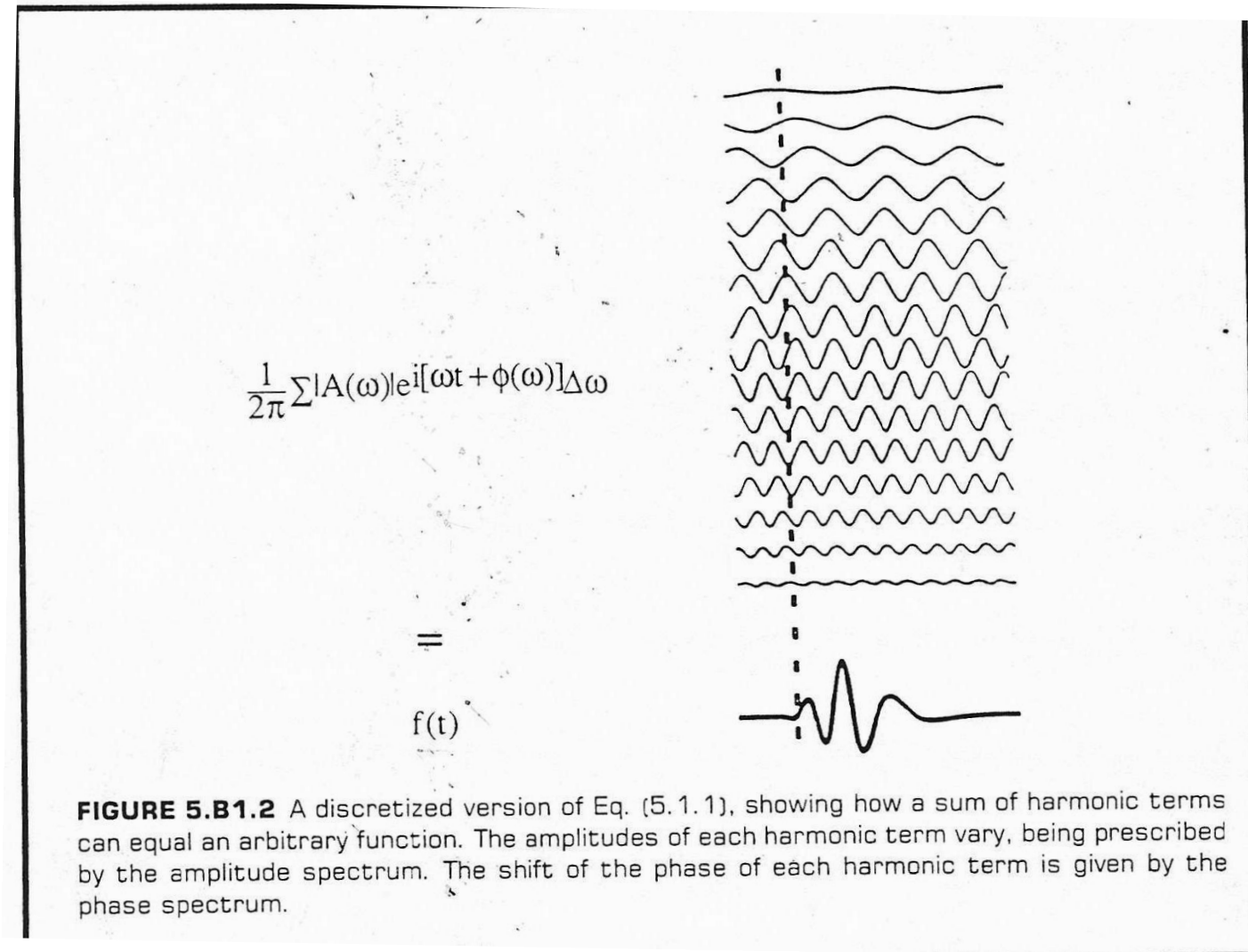
Ottenuta mediante la somma di semplici funzioni goniometriche:





Nato: il 21 Marzo
1768 a Auxerre,
Bourgogne,
France

Morto: 16 May
1830 a Paris,
France



Fourier spectrum:

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \exp(i\omega t) dt$$

- Esistono dunque 2 numeri per ogni frequenza? Dalla teoria dei numeri complessi:

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$

- Usando questa definizione possiamo riscrivere l'equazione come:

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) [\cos(\omega t) + i \sin(\omega t)] dt$$

- E quindi possiamo ottenere:
- I due numeri ad ogni frequenza sono $a(\omega)$ e $b(\omega)$ (per $g(t)$ reale).



$$a(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \cos(\omega t) dt$$

$\cos(\omega t)$ funzione pari

$$b(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \sin(\omega t) dt$$

$\sin(\omega t)$ funzione dispari

$$G(\omega) = a(\omega) + ib(\omega)$$

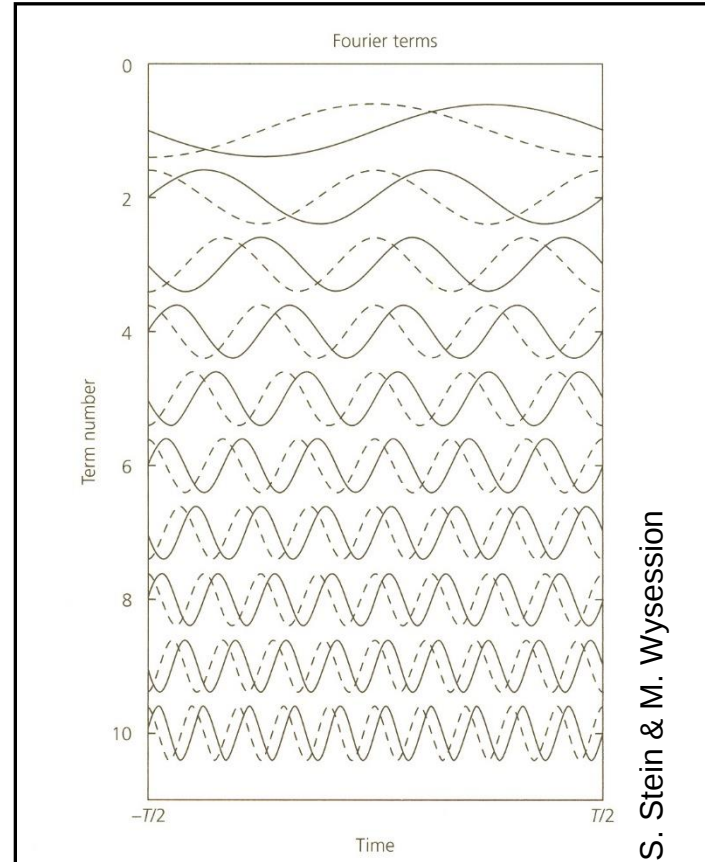
Modified from D.
Boore, 2004

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) \right]$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) dt$$

$$b_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) dt$$

with
n positive integer



Spettro di Fourier:

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \exp(i\omega t) dt$$

$$a(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \cos(\omega t) dt$$

$$b(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \sin(\omega t) dt$$

$$G(\omega) = a(\omega) + ib(\omega)$$

È molto utile definire lo spettro di ampiezza

$$|G(\omega)| = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)}$$

E lo spettro di fase:

$$\phi(\omega) = \tan^{-1} \frac{b(\omega)}{a(\omega)}$$

Modified from D. Boore, 2004

Alcune proprietà della trasformata di Fourier $\mathfrak{F}$

-Linearità: $\mathfrak{F}[a_1 f_1(t) + a_2 f_2(t)] = a_1 \mathfrak{F}f_1(\omega) + a_2 \mathfrak{F}f_2(\omega)$

-Derivata: $\mathfrak{F}[f^{(n)}(t)] = (i\omega)^n \mathfrak{F}f(\omega)$

-Traslazione: $\mathfrak{F}[f(t-a)] = e^{-i\omega a} \mathfrak{F}f(\omega)$

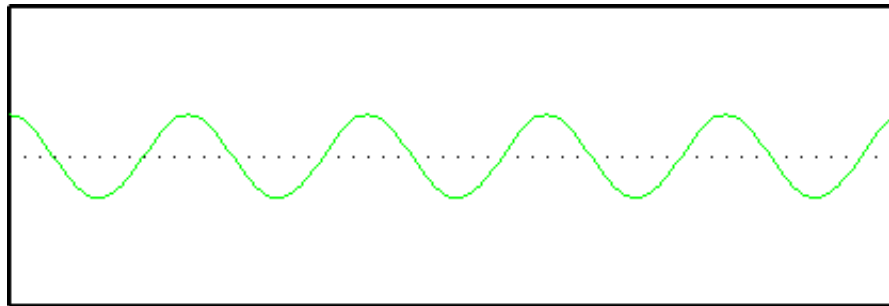
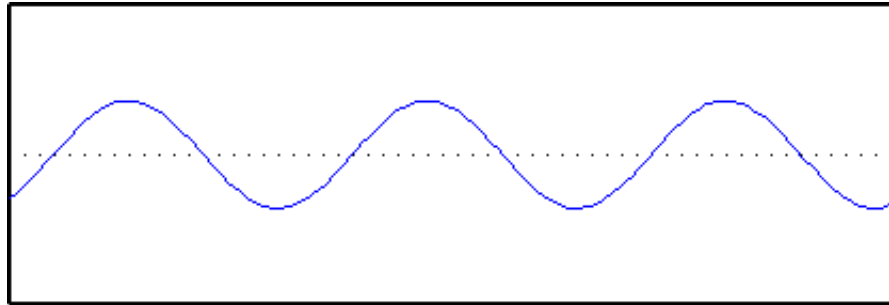
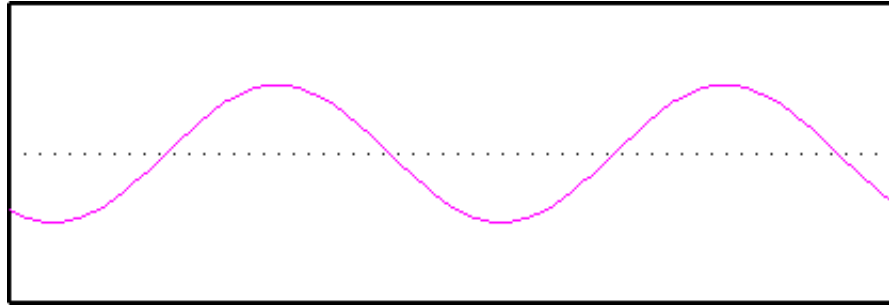
-Convolutione: $\mathfrak{F}[f_1(t) * f_2(t)] = \mathfrak{F} \int_0^t f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau = \mathfrak{F}f_1(\omega) \mathfrak{F}f_2(\omega)$

Applicazione: Sistemi lineari (sorgente*percorso*sito*strumenti), misura del tempo e/o ritardo di propagazione (e.g. antenne di sensori), etc...

Identità di Parseval
(summa dei quadrati dei valori) $\|f(t)\|_2 = \|\mathfrak{F}f(\omega)\|_2$

Fourier spectrum

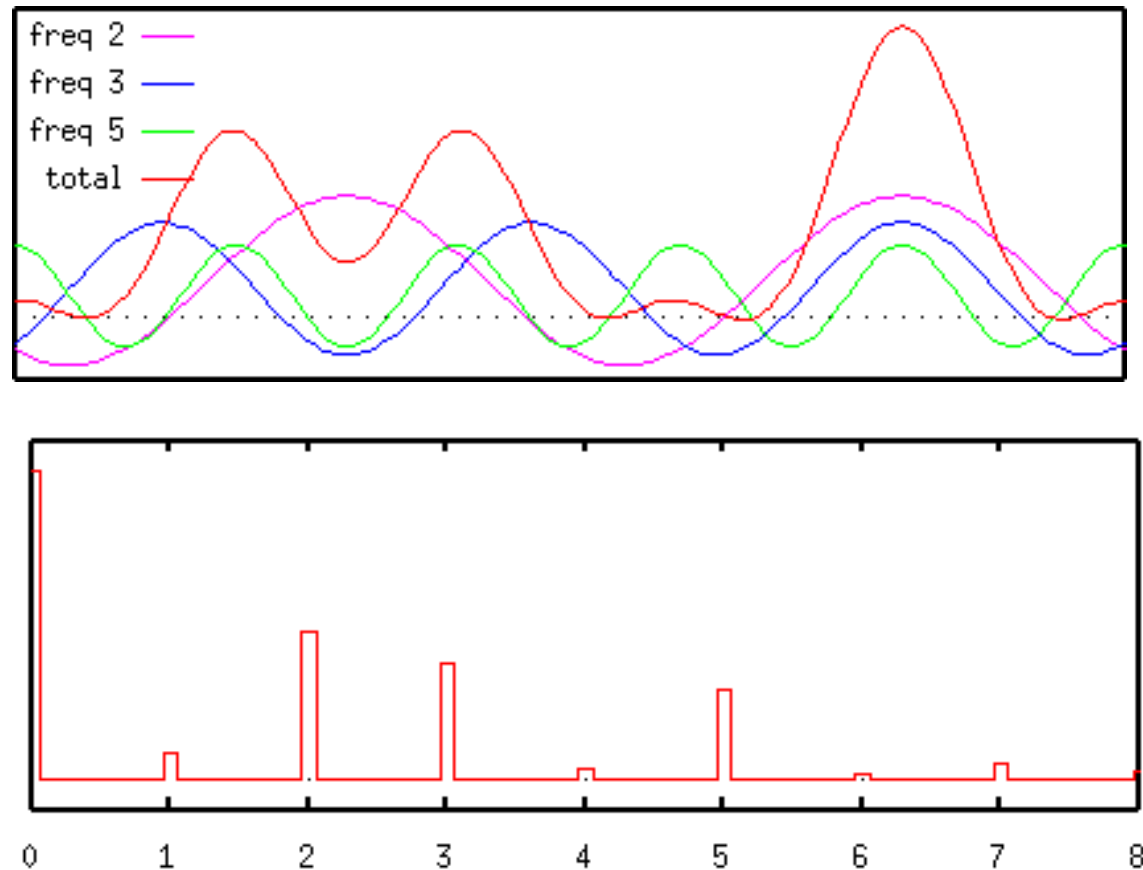
Somma di tre sinusoidi:



Courtesy of D. Boore

Fourier spectrum

La somma delle 3 sinusoidi produce il segnale sopra) e lo spettro di ampiezza di Fourier (sotto)



Courtesy of D. Boore

Alcune proprietà della trasformata di Fourier $\mathfrak{F}$

-Linearità: $\mathfrak{F}[a_1 f_1(t) + a_2 f_2(t)] = a_1 \mathfrak{F}f_1(\omega) + a_2 \mathfrak{F}f_2(\omega)$

-Derivata: $\mathfrak{F}[f^{(n)}(t)] = (i\omega)^n \mathfrak{F}f(\omega)$

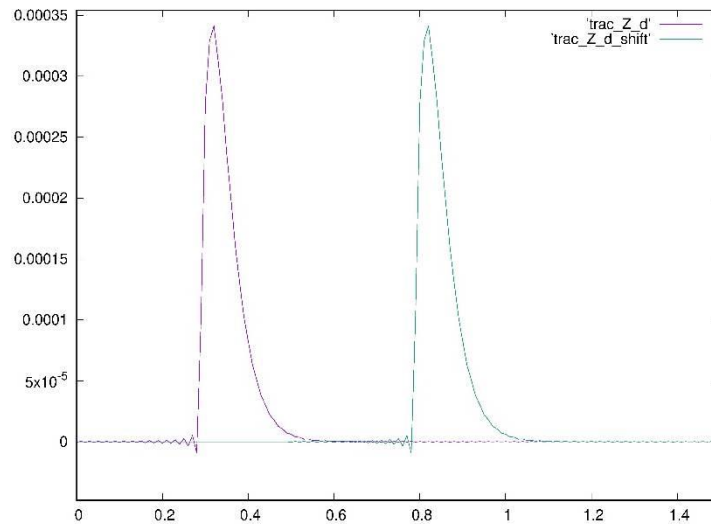
-Traslazione: $\mathfrak{F}[f(t - a)] = e^{-i\omega a} \mathfrak{F}f(\omega)$

-Convolutione: $\mathfrak{F}[f_1(t) * f_2(t)] = \mathfrak{F} \int_0^t f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau = \mathfrak{F}f_1(\omega) \mathfrak{F}f_2(\omega)$

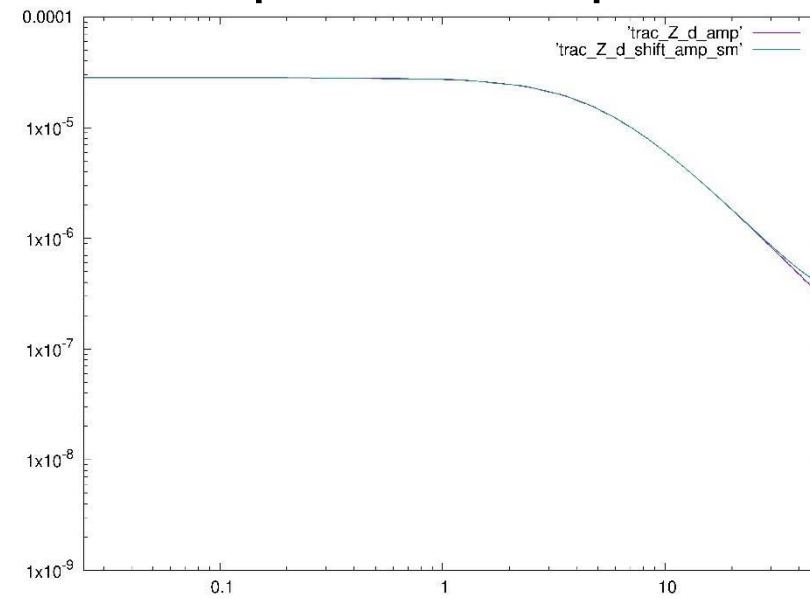
Applicazione: Sistemi lineari (sorgente*percorso*sito*strumenti), misura del tempo e/o ritardo di propagazione (e.g. antenne di sensori), etc...

Identità di Parseval
(summa dei quadrati dei valori) $\|f(t)\|_2 = \|\mathfrak{F}f(\omega)\|_2$

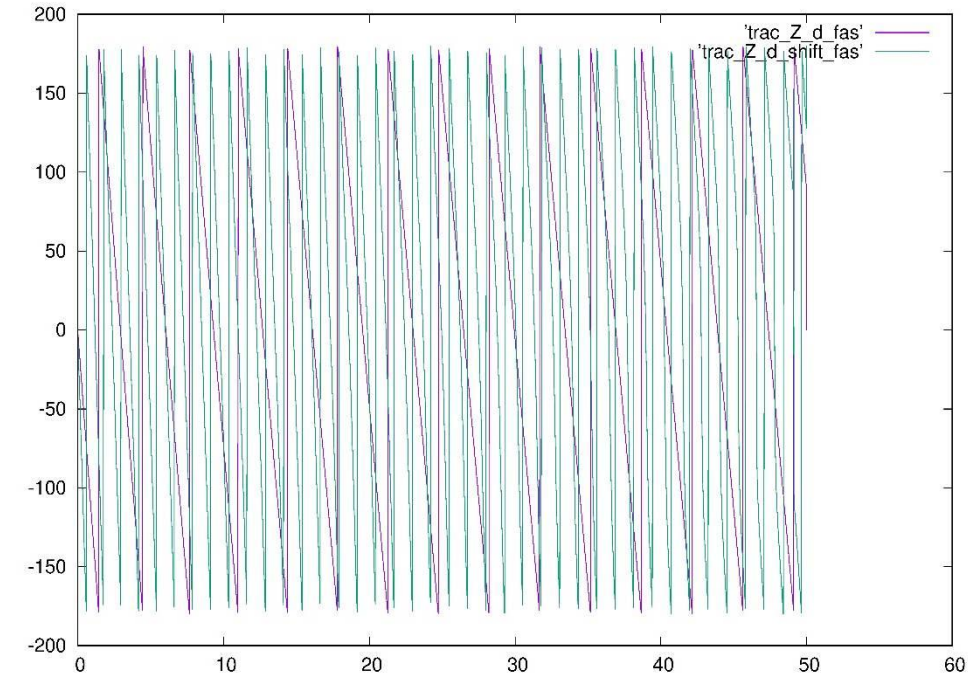
Serie temporale



Spettro di ampiezza



Spettro di fase





**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

Stefano Parolai

Dipartimento di Matematica, Informatica e Geoscienze

stefano.parolai@units.it

www.units.it