

The background features a dark blue gradient with a starry space pattern. Overlaid on this are several technical diagrams, including circular gauges with numerical scales (170, 180, 190, 200, 230, 240, 250, 260) and various circular arrows, some solid and some dashed, indicating motion or cycles.

GEOLOGIA

GEOFISICA

UNIVERSITÀ DELLA TERZA ETÀ

“Gian Piero Profumi”

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

DEFINIZIONE

Scienza che studia i fenomeni fisici che avvengono sulla superficie della Terra, nella sua atmosfera e nel suo interno.

La **Geofisica** applica metodi e tecniche per determinare la forma e le caratteristiche delle rocce nel sottosuolo, mediante misure quantitative di campi fisici, **effettuate dalla superficie.**

METODI GEOFISICI

Sono metodi di **prospezione (osservazione e misurazione)** basati sulla applicazione di principi fisici per lo studio della geologia del sottosuolo.

1. Metodi sull'osservazione e la misura di Fenomeni Naturali

- Gravimetria (studio del Campo Gravitazionale della Terra)
- Magnetometria (studio del Campo Magnetico Terrestre)
- Meteorologia
- Radioattività
- Telerilevamento (immagini da satelliti o aerei)
- Sismica Passiva (studio e monitoraggio dei Terremoti)

2. Metodi sull'osservazione e la misura di Fenomeni Indotti

- Sismica attiva (per l'Esplorazione Petrolifera e non)
- Geoelettrica
- Magnetotellurica

DEFINIZIONE

La Geofisica è in generale l'applicazione di misure e metodi fisici allo studio delle proprietà fisiche del pianeta Terra e rappresenta, a tutti gli effetti, un ramo della Geologia.

IL GEOFISICO

Descrizione

Il geofisico studia i fenomeni fisici che hanno luogo nell'atmosfera, sulla superficie e all'interno della Terra. Svolge in modo specifico ricerche sull'estrazione e la gestione delle risorse energetiche (acqua, petrolio, gas, fossili e minerali).

Attività Lavorativa

Nel dettaglio, il geofisico svolge molte attività:

Progetta, esegue e coordina gli interventi che riguardano la ricerca e la produzione di fonti di energia, l'individuazione di acquiferi (complessi rocciosi permeabili), di cavità sepolte e di inquinanti.

- ✓ Si avvale di strumenti di analisi che utilizza prevalentemente sulla superficie terrestre, oppure in profondità.
- ✓ Utilizza tecniche che si avvalgono di telerilevamenti da satelliti, integrati con concetti di fisica e scienza dei materiali.
- ✓ Si occupa dell'analisi e del trattamento numerico dei dati geofisici, avvalendosi della modellazione matematica e numerica dei fenomeni naturali.

Conoscenze e capacità personali

Per fare il geofisico e per comprendere i fenomeni geologici, si deve possedere:

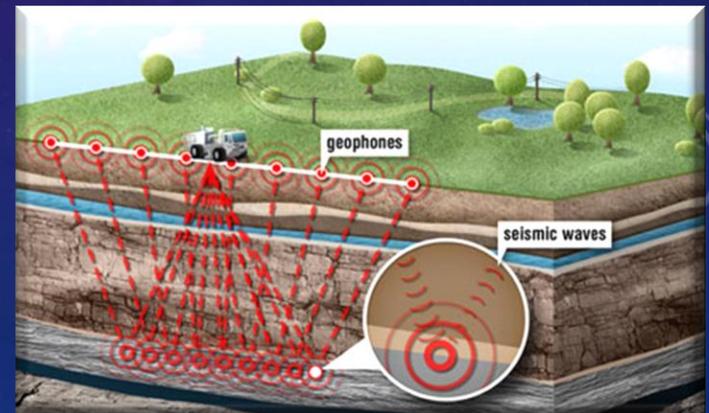
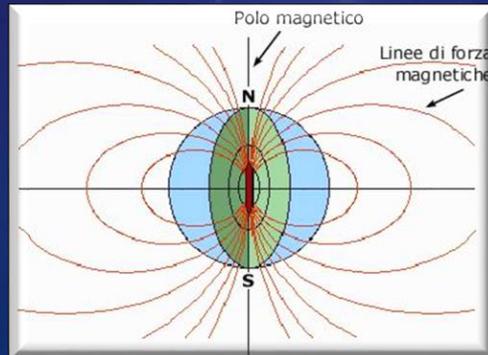
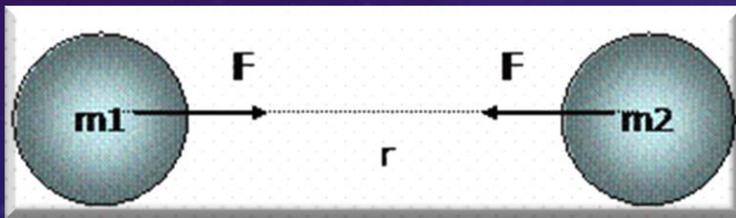
- ❖ Una buona conoscenza della geologia, della fisica, della matematica e dell'informatica.
- ❖ Una buona padronanza dei metodi scientifici di indagine, nonché delle tecniche di analisi ed interpretazione dei dati.

PARLEREMO DI

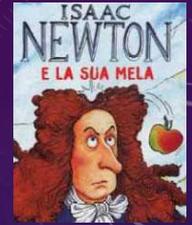
1. GRAVIMETRIA

2. MAGNETOMETRIA

3. SISMICA

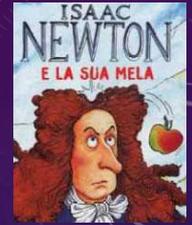


GRAVIMETRIA



- Quando un corpo si avvicina alla Terra tende a cadere con una velocità crescente, l'incremento di velocità è comunemente chiamato **Accelerazione di Gravità** o semplicemente **Gravità (g)**.
- Scopo della **Gravimetria** è quello di *studiare il campo di gravità della Terra e le sue variazioni di gravità tra i vari punti della superficie terrestre.*
- Se la Terra fosse una sfera perfetta e la crosta terrestre avesse una struttura concentrica uniforme, la gravità avrebbe ovunque un valore costante. In realtà **la Terra non è né sferica né uniforme, inoltre ruota**, tutti questi fattori contribuiscono quindi alla **variazione della gravità sulla sua superficie.**

LA GRAVIMETRIA

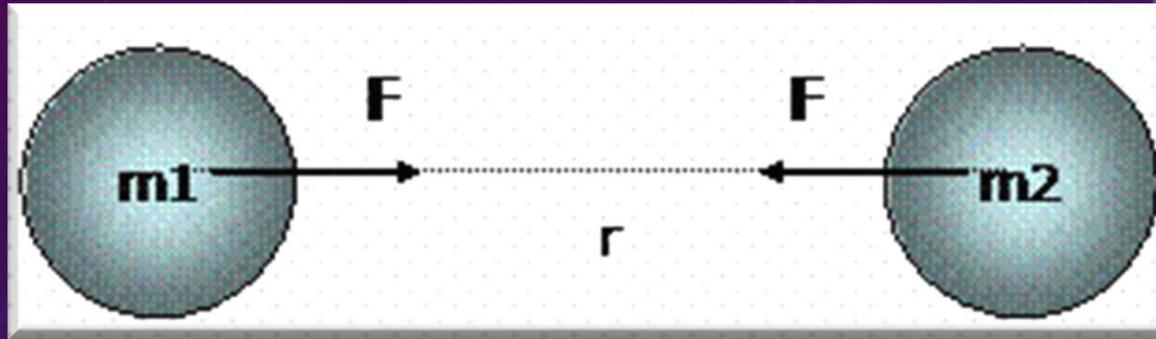
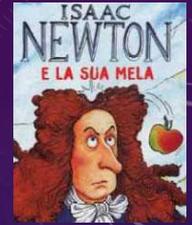


Si chiama **Gravimetria** il settore della geofisica che studia la gravità terrestre, i valori del campo di gravità e le sue **variazioni**.

La **Gravimetria** studia il campo della forza di gravità o del **potenziale** di gravità terrestre. Questo ci permette di ottenere informazioni sulla distribuzione di **densità** degli strati interni del nostro pianeta e, su scala locale, la distribuzione della densità nel sottosuolo.

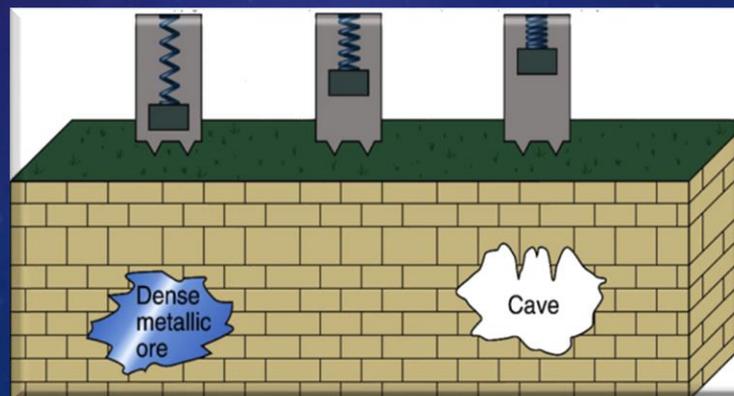
La **Gravimetria** è la scienza che misura il valore dell'accelerazione di gravità **g** sulla superficie terrestre. Dalla formula di **Newton** risulta che l'accelerazione di gravità dipende dalla massa della Terra o, più in generale, da tutte le masse che compongono la Terra come monti, valli, sedimenti, ecc. Ne segue che la gravità è influenzata da molti fattori come la **topografia** della zona (se c'è una montagna vicina, la massa di roccia di questa influenzerà la misurazione), la **latitudine** (la terra non è una sfera perfetta, anzi), le **maree**, la **quota** a cui si effettua la misurazione e molte altre.

L'ATTRAZIONE GRAVITAZIONALE



$$F = G (m_1 m_2)/r^2$$

- F è la forza tra le masse;
- G è la costante di gravitazione universale ($9,81 \text{ m/s}^2$);
- m_1 è la prima massa;
- m_2 è la seconda massa;
- r è la distanza tra i centri delle masse.



COSA MISURA – COME SI MISURA

Con la *Gravimetria* si cercano quelle **Anomalie di Gravità** (cioè le variazioni del valore normale di g) causate da fattori **strutturali** di grande portata come le variazioni di spessore della crosta o la presenza di un bacino colmato di rocce sedimentarie, che sono relativamente più leggere, o di giacimenti petroliferi; con una opportuna *elaborazione* delle carte si può anche arrivare a mettere in evidenza delle strutture minori.

L'area da investigare viene coperta da una serie di misure (ad esempio una ogni km^2) ed i risultati, opportunamente elaborati, danno **mappe** che vengono utilizzate per avere informazioni sulla presenza e sull'estensione di regioni di **interesse geologico, minerario, petrolifero, archeologico, ecc.**

COSA MISURA – COME SI MISURA

Lo strumento che misura la gravità è il **Gravimetro**. Esso è uno strumento deputato alla misurazione dell'accelerazione di gravità **g**. La forza con cui una determinata massa è attratta verso il centro della Terra è precisamente bilanciata, all'interno del gravimetro, da un sistema elastico o da molle (o ancora da forze elettromagnetiche nei gravimetri più moderni). Una piccolissima variazione di questa dà luogo ad un'oscillazione che si fermerà soltanto quando le forze saranno nuovamente bilanciate.

L'unità di misura dell'anomalia di gravità è il **Gal (Galileo)** che corrisponde a $10^{-2}m/s^2$ (cioè circa al 10% di **g**) anche se in geologia si preferisce usare il **mGal**= $10^{-5}m/s^2$. La sensibilità di un moderno gravimetro è 0,001 mGal; le anomalie terrestri maggiori hanno valori di circa 10-100 mGal.

In prossimità della superficie terrestre il valore di **g** è approssimativamente:

$$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$$

TIPI DI GRAVIMETRO

Esistono due tipi di gravimetri, strumenti deputi alla misurazione della Gravità g :

1. Il Gravimetro Assoluto che misura il valore di g in quel punto;
2. Il Gravimetro Relativo che misura, invece, la differenza di gravità g tra due punti.

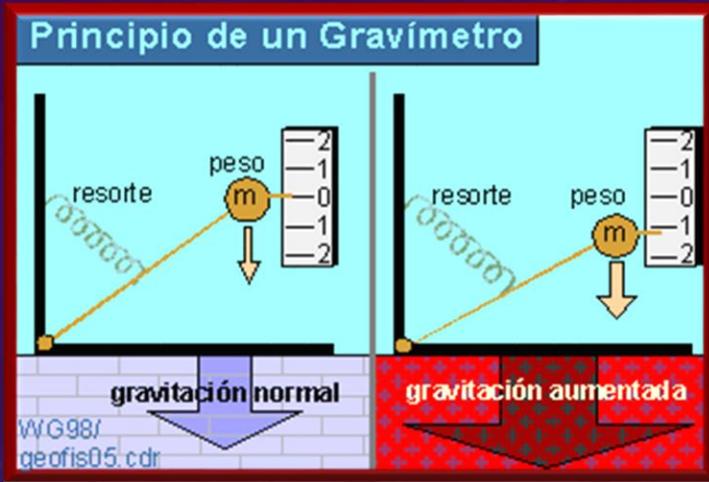


TIPI DI GRAVIMETRO - ASSOLUTO

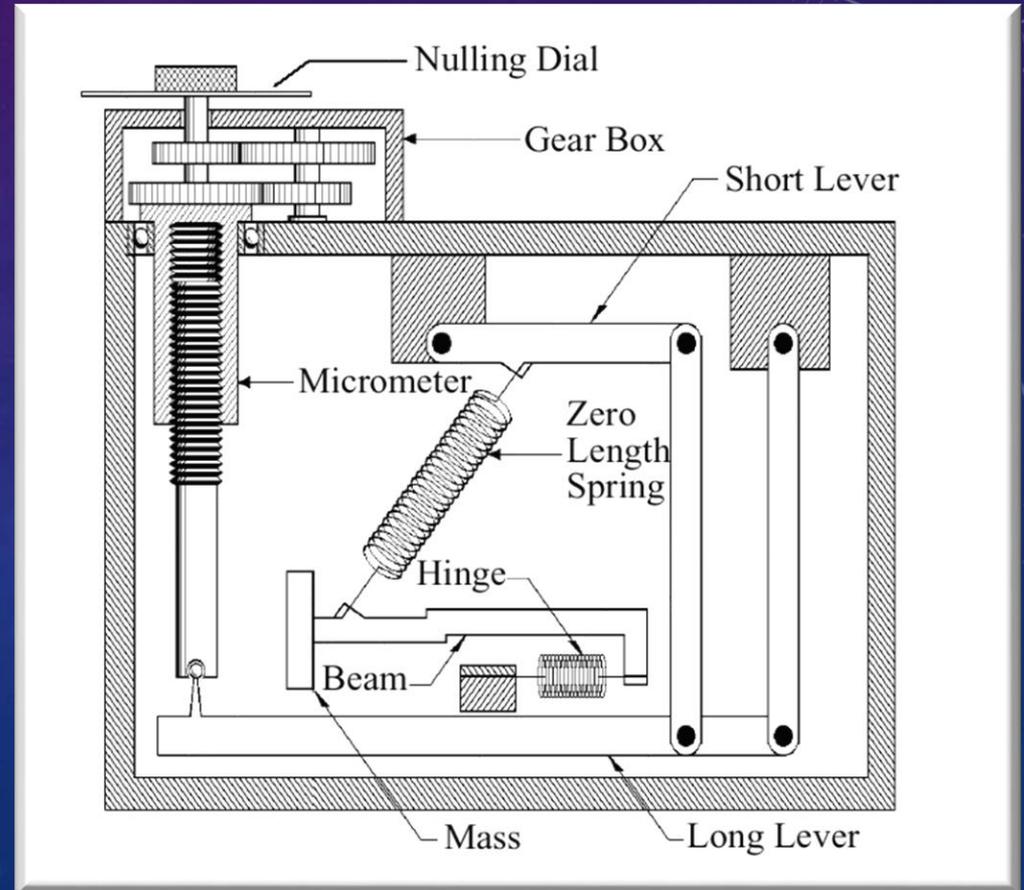
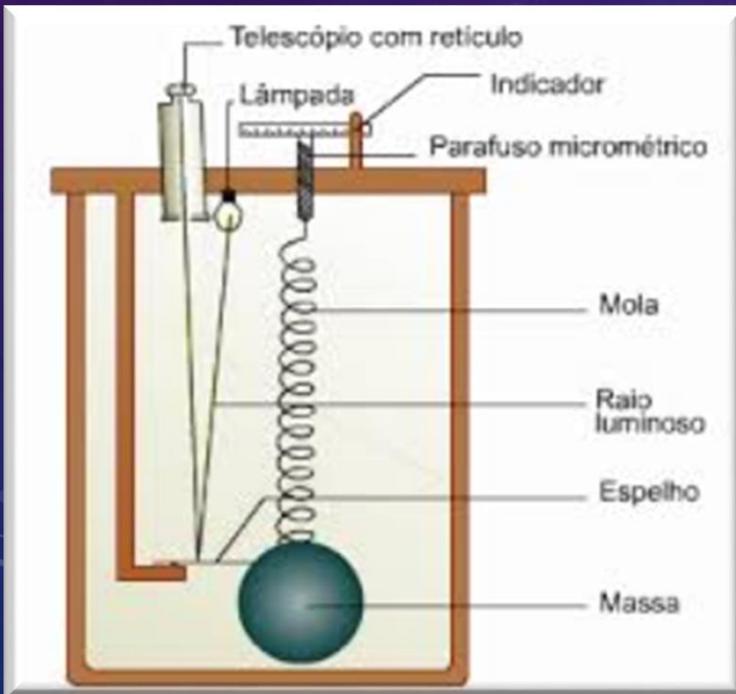


Il gravimetro assoluto trasportabile (figure A e B) misura in modo assoluto l'accelerazione di gravità locale, g , con un'incertezza minore di $1 \mu\text{Gal}$ ($1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^2$). A questo livello di accuratezza, il valore di g convenzionale di **9,80665** m/s^2 è tutt'altro che costante, sia nello spazio sia nel tempo. La conoscenza accurata di **g** è necessaria non solo in metrologia ma anche in altri campi, come, per esempio, geodesia, geologia, geofisica, vulcanologia, balistica e persino nel commercio.

TIPI DI GRAVIMETRO - RELATIVO



COME FUNZIONA



TIPI DI GRAVIMETRO - RELATIVO



**GRAVIMETRI
TERRESTRI**



**LACOST &
ROMBERG**

WORDEN

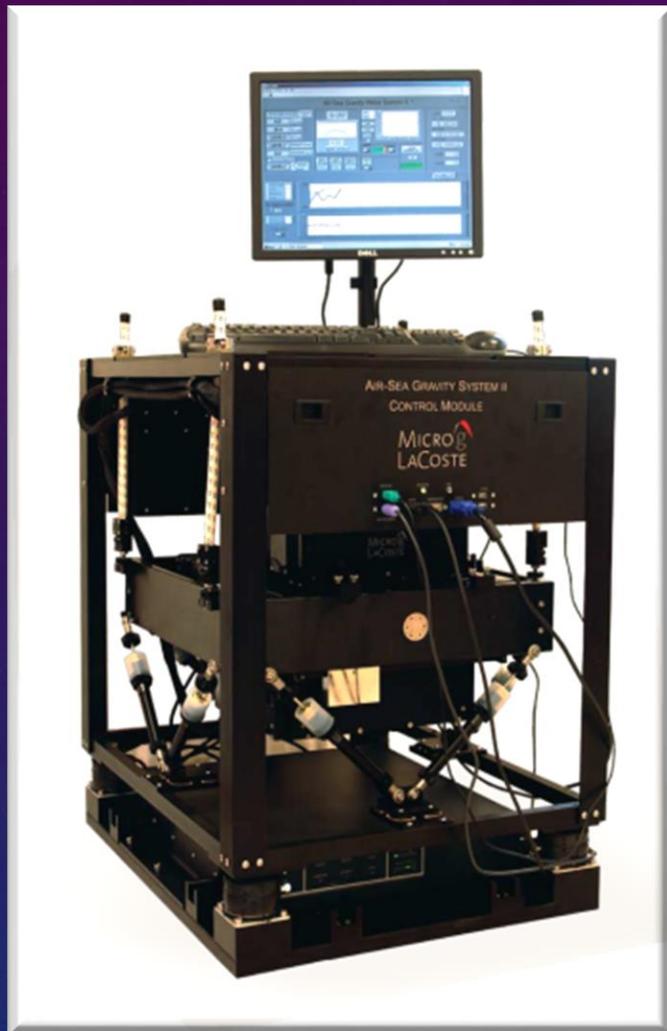


**LACOST &
ROMBERG**



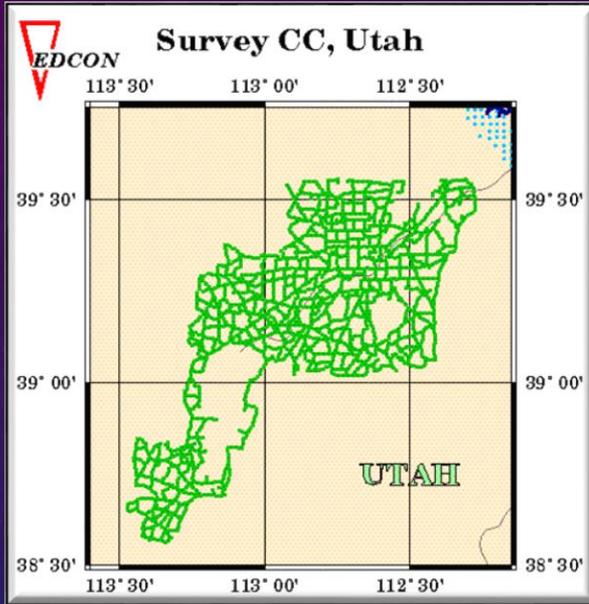
SCINTREX

TIPI DI GRAVIMETRO - RELATIVO

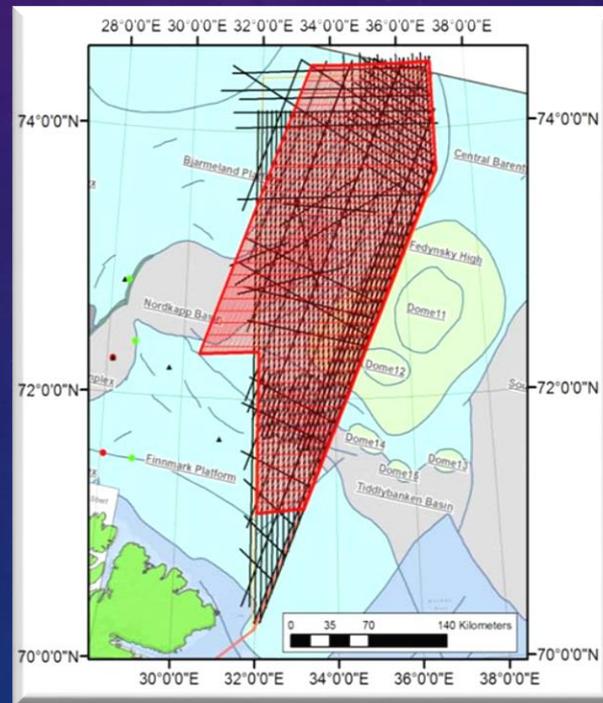


GRAVIMETRI MARINO e AEREO

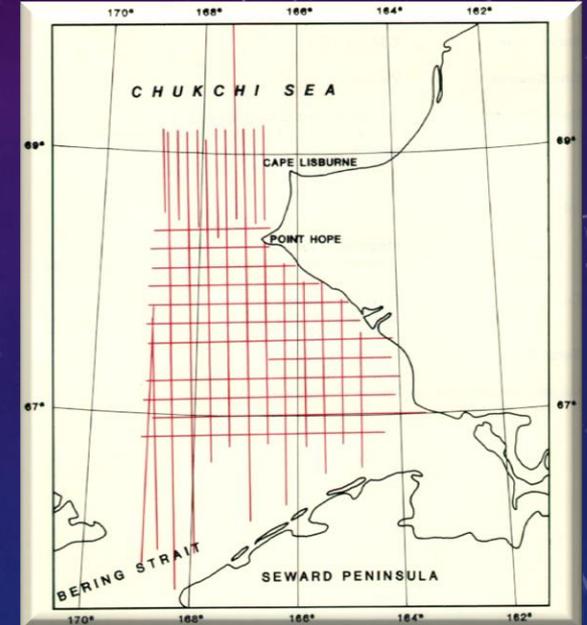
TIPI DI RILIEVI GRAVIMETRICI



Rilievo Terrestre



Rilievo Aereo

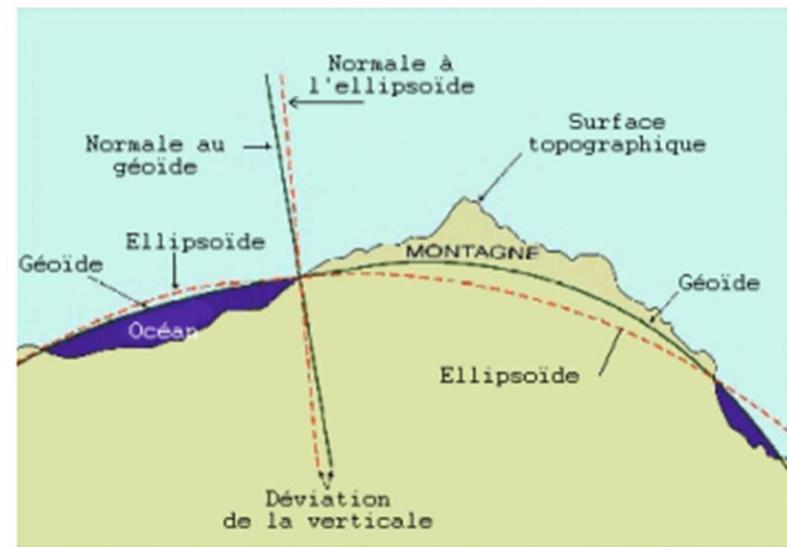
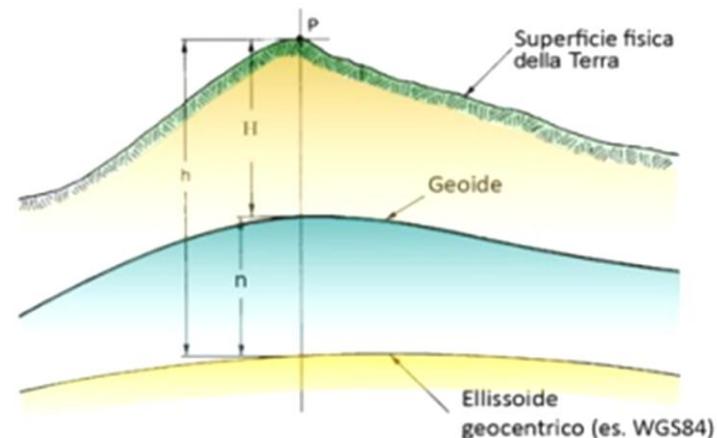


Rilievo Marino

CORREZIONI DELLE MISURE DI GRAVITÀ

Superfici topografica, geoidica ed ellissoidica

- La **superficie geoidica** è quella che “percepriamo” studiando l’attrazione gravitazionale.
- La **superficie ellissoidica** è una astrazione matematica, una semplificazione che noi adottiamo per sostituire la vera Terra con un modello che siamo in grado di descrivere analiticamente.
- La **superficie topografica** è quella che noi vediamo.



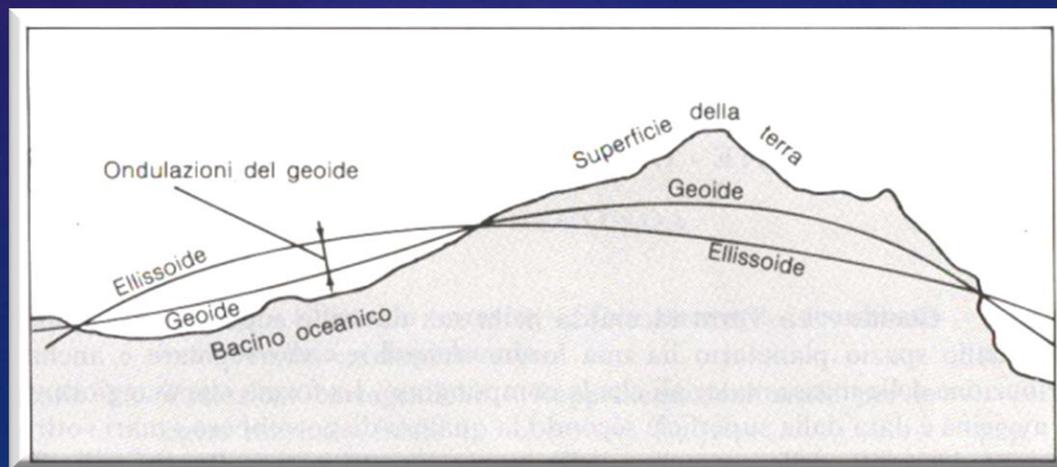
CORREZIONI DELLE MISURE DI GRAVITÀ

GEOIDE

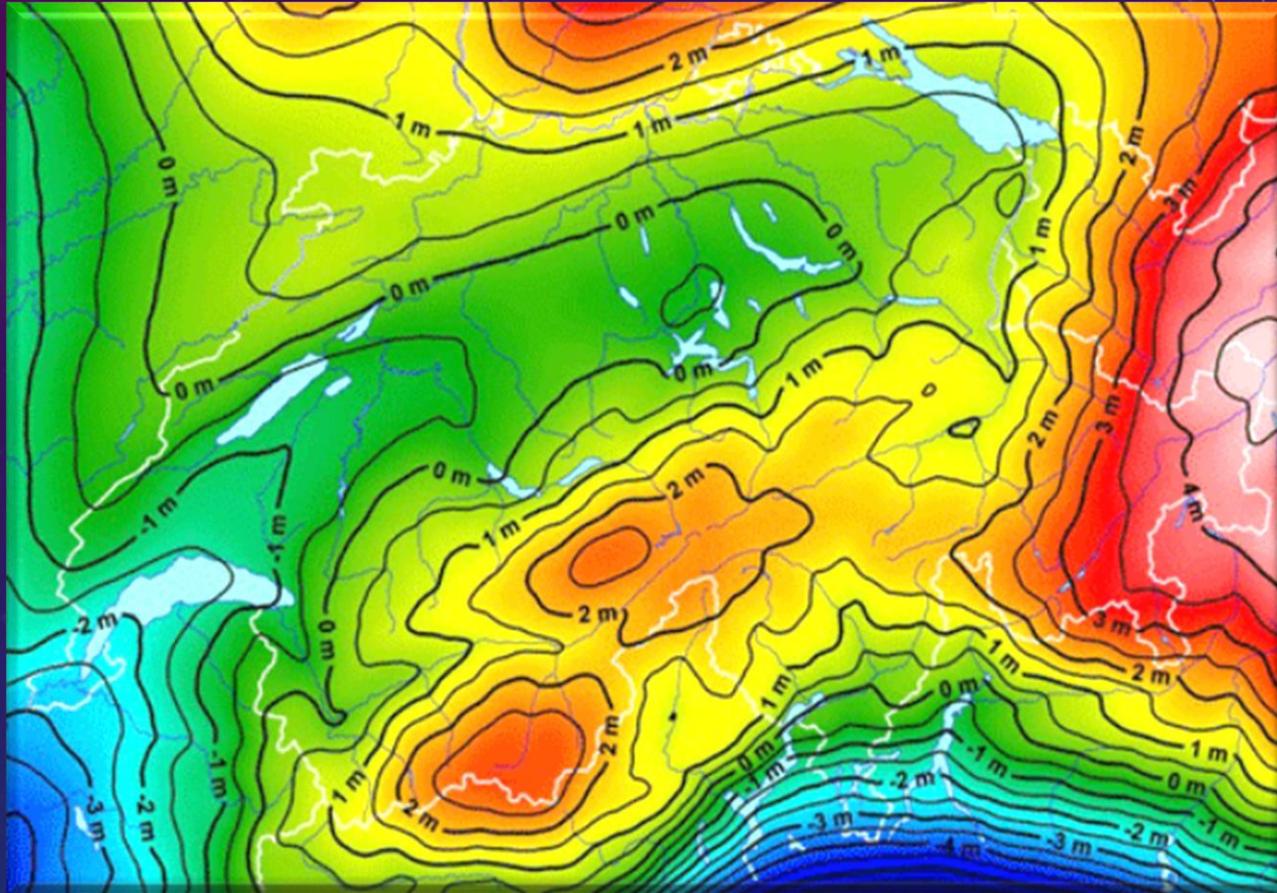
Solido teorico che rappresenta idealmente la Terra, la cui superficie è in ogni punto perpendicolare alla direzione della gravità. Questa è la superficie che meglio descrive la superficie media degli oceani (a meno dell'influenza di maree, correnti ed effetti meteorologici) e, quindi, la superficie media della Terra.

ELLISSOIDE

In geodesia, un **ellissoide di riferimento** è una superficie definita matematicamente che approssima il geode (con un errore accettabile), la vera forma della Terra, o di un altro corpo celeste. A causa della relativa semplicità, gli ellissoidi di riferimento sono usati comunemente come superficie di riferimento per definire una rete geodetica e qualunque punto dello spazio di cui sia definita la latitudine, la longitudine e l'elevazione sull'ellissoide.



CORREZIONI DELLE MISURE DI GRAVITÀ



Il geoid della Svizzera (CHGeo2004) rispetto all'ellissoide di riferimento locale (differenza in metri).

CORREZIONI DELLE MISURE DI GRAVITÀ

LE VARIAZIONI DI GRAVITÀ

Essendo la terra leggermente schiacciata ai poli, il valore di g varia con la latitudine. All'**equatore** il valore di g è $9,78 \text{ m/s}^2$, mentre ai **poli** è $9,83 \text{ m/s}^2$ [oppure 983 cm/sec^2 o 983 gal ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/sec}^2$)]. **Gal** deriva da **Galileo** che per primo scoprì il significato della gravità.

CORREZIONI PER IL CALCOLO DELL'ANOMALIA GRAVIMETRICA

Le misure gravimetriche vengono generalmente effettuate sulla superficie topografica (ma anche marina ed in aereo) che può **differire** anche molto dal livello medio del mare (l.m.m.), **ossia dal Geoide**. Lo studio del Campo Gravitazionale viene affrontato analizzando le **Anomalie Δg** che rappresentano la **differenza** tra la **gravità misurata** (g_{mis}) e quella teorica γ per quel punto.

$$\Delta g = g_{\text{mis}} - \gamma$$

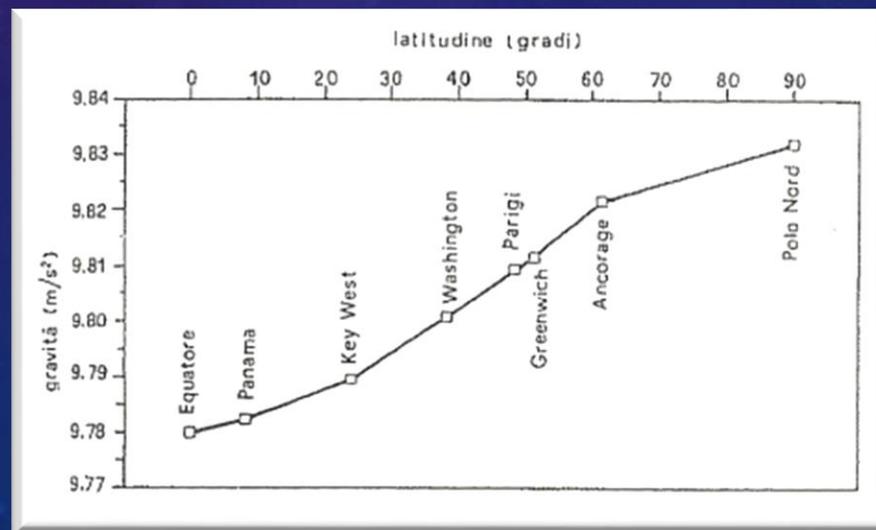
CORREZIONI DELLE MISURE DI GRAVITÀ

1. Correzione della Latitudine
2. Correzione di Faye o Free Air (in aria libera)
3. Correzione di Bouguer
4. Correzione Topografica (Terrain Correction)

1. LATITUDINE

In ogni punto della sfera terrestre il valore di g teorico dipende solo dalla Latitudine φ (Correzione della Latitudine al Geoide) e viene espresso da questa formula (GRS 1967 – Geodetic Reference System):

$$\gamma \text{ (in m/sec}^2\text{)} = 9,780318 (1 + 0,0053024 \text{ sen}^2 \varphi - 0,0000058 \text{ sen}^2 2\varphi)$$



CORREZIONI DELLE MISURE DI GRAVITÀ

2. CORREZIONE DI FAYE (o IN ARIA LIBERA)

Questa correzione considera la diminuzione dell'accelerazione gravitazionale con la quota a partire da una superficie di riferimento.

$$C_F \text{ o } C_{AL} = 0.308H \text{ mGal (H in metri)}$$

3. CORREZIONE DI BOUGUER

Per calcolare l'effetto delle masse interposte tra superficie di riferimento e superficie topografica, nel 1749 Pierre Bouguer suggerì che l'attrazione addizionale dovuta alle masse topografiche potesse essere trattata come quella dovuta all'azione di una piastra orizzontale infinita di spessore uguale all'altezza della stazione rispetto alla superficie di riferimento.

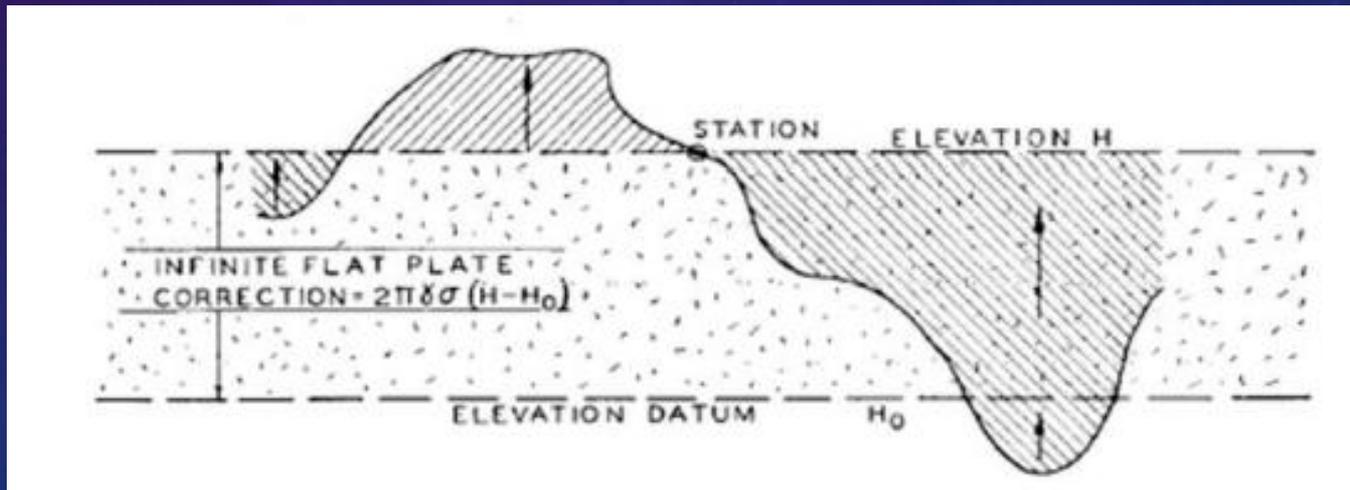
$$C_B = - 0.000419\Delta h\rho$$

(Δh in metri e ρ , densità, in kg/m^3)

CORREZIONI DELLE MISURE DI GRAVITÀ

4. CORREZIONE TOPOGRAFICA (TERRAIN CORRECTION)

La riduzione di Bouguer presuppone che la superficie topografica del terreno sia piana. Se questa condizione non è soddisfatta bisogna tener conto sia degli avvallamenti (masse introdotte nel calcolo della correzione per la piastra, ma in realtà inesistenti) sia delle colline o delle montagne sporgenti a quota superiore rispetto a quella della generica stazione di misura (masse non considerate nella riduzione di piastra)

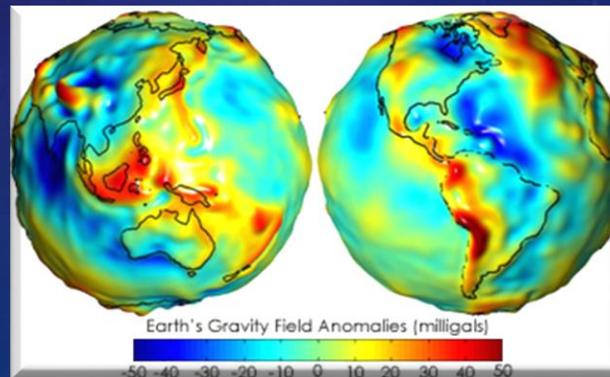


L'ANOMALIA DI BOUGUER

In geodesia e geofisica, L'ANOMALIA DI BOUGUER (dal nome di Pierre Bouguer) è una anomalia gravitazionale che, una volta calcolata, fornisce la differenza fra l'accelerazione di gravità misurata in un punto della superficie terrestre e quella teorica che si sarebbe osservata sul geoide, nel punto corrispondente lungo la verticale.

$$\Delta g_b = \Delta g_{obs} + C_\phi + C_F - C_B + C_T$$

L'ANOMALIA DI BOUGUER dà informazioni riguardo alle variazioni di Densità, sia profonde che superficiali; le linee che congiungono i punti di uguale anomalia sono dette Isoanomale Secondo Bouguer.



LA DENSITÀ

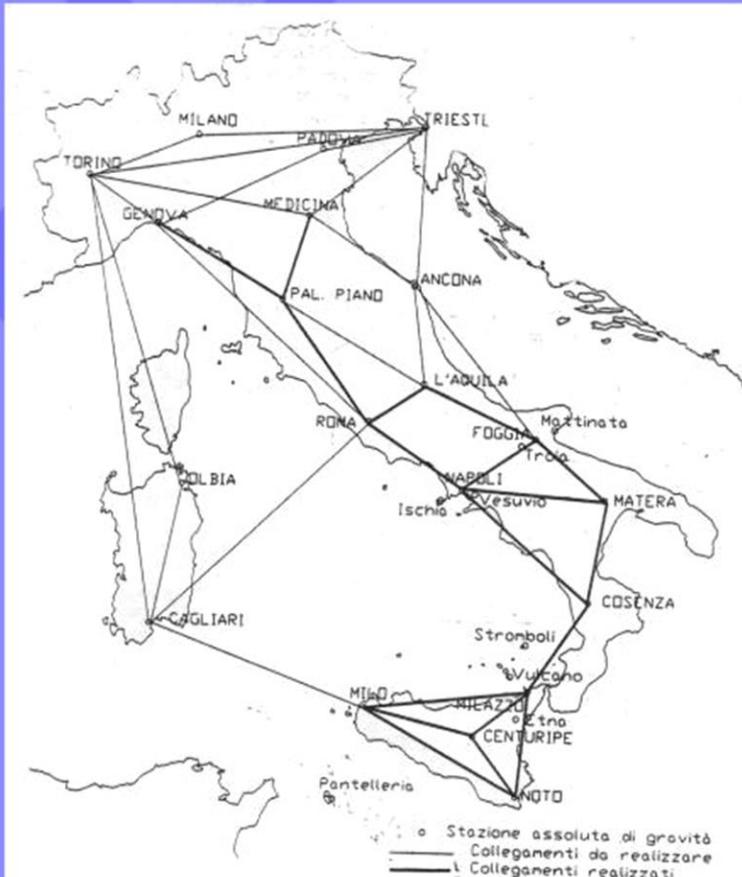
Rock Type	Range (g/cm ³)	Average (g/cm ³)	Mineral	Range (g/cm ³)	Average (g/cm ³)
Sediments(wet)			Metallic minerals		
Overburden		1.92	Oxides, carbonates		
Soil	1.2 – 2.4	1.92	Bauxite	2.3 – 2.55	2.45
Clay	1.63 – 2.6	2.21	Limonite	3.5 – 4.0	3.78
Gravel	1.70 – 2.40	2.0	Siderite	3.7 – 3.9	3.83
Sand	1.70 – 2.30	2.0	Rutile	4.18 – 4.3	4.25
Sandstone	1.61 – 2.76	2.35	Manganite	4.2 – 4.4	4.32
Shale	1.77 – 3.20	2.40	Chromite	4.3 – 4.6	4.36
Limestone	1.93 – 2.90	2.55	Ilmenite	4.3 – 5.0	4.67
Dolomite	2.28 – 2.90	2.70	Pyrolusite	4.7 – 5.0	4.82
Sedimentary rocks (av.)			Magnetite	4.9 – 5.2	5.12
		2.50	Franklinite	5.0 – 5.22	5.12
Igneous rocks			Hematite	4.9 – 5.3	5.18
Rhyolite	2.35 – 2.70	2.52	Cuprite	5.7 – 6.15	5.92
Andesite	2.40 – 2.80	2.61	Cassiterite	6.8 – 7.1	6.92
Granite	2.50 – 2.81	2.64	Wolframite	7.1 – 7.5	7.32
Granodiorite	2.67 – 2.79	2.73	Sulfides, arsenides		
Porphyry	2.60 – 2.89	2.74	Sphalerite	3.5 – 4.0	3.75
Quartzdiorite	2.62 – 2.96	2.79	Malachite	3.9 – 4.03	4.0
Diorite	2.72 – 2.99	2.85	Chalcopyrite	4.1 – 4.3	4.2
Lavas	2.80 – 3.00	2.90	Stannite	4.3 – 4.52	4.4
Diabase	2.50 – 3.20	2.91	Stibnite	4.5 – 4.6	4.6
Basalt	2.70 – 3.30	2.99	Pyrrhotite	4.5 – 4.8	4.65
Gabbro	2.70 – 3.50	3.03	Molybdenite	4.4 – 4.8	4.7
Peridotite	2.78 – 3.37	3.15	Marcasite	4.7 – 4.9	4.85
Acid igneous	2.30 – 3.11	2.61	Pyrite	4.9 – 5.2	5.0
Basic igneous	2.09 – 3.17	2.79	Bornite	4.9 – 5.4	5.1
			Chalcocite	5.5 – 5.8	5.65

Rock Type	Range (g/cm ³)	Average (g/cm ³)	Mineral	Range (g/cm ³)	Average (g/cm ³)
Metamorphic rocks			Cobaltite	5.8 – 6.3	6.1
Quartzite	2.50 – 2.70	2.60	Arsenopyrite	5.9 – 6.2	6.1
Schists	2.39 – 2.90	2.64	Bismuththinite	6.5 – 6.7	6.57
Graywacke	2.60 – 2.70	2.65	Galena	7.4 – 7.6	7.5
Marble	2.60 – 2.90	2.75	Cinnabar	8.0 – 8.2	8.1
Serpentine	2.40 – 3.10	2.78	Non – metallic minerals		
Slate	2.70 – 2.90	2.79	Petroleum	0.6 – 0.9	—
Gneiss	2.59 – 3.00	2.80	Ice	0.88 – 0.92	—
Amphibolite	2.90 – 3.04	2.96	SeaWater	1.01 – 1.05	—
Eclogite	3.20 – 3.54	3.37	Lignite	1.1 – 1.25	1.19
Metamorphic	2.40 – 3.10	2.74	Softcoal	1.2 – 1.5	1.32
			Anthracite	1.34 – 1.8	1.50
			Chalk	1.53 – 2.6	2.01
			Graphite	1.9 – 2.3	2.15
			Rocksalt	2.1 – 2.6	2.22
			Gypsum	2.2 – 2.6	2.35
			Kaolinite	2.2 – 2.63	2.53
			Orthoclase	2.5 – 2.6	—
			Quartz	2.5 – 2.7	2.65
			Calcite	2.6 – 2.7	—
			Anhydrite	2.29 – 3.0	2.93
			Biotite	2.7 – 3.2	2.92
			Magnesite	2.9 – 3.12	3.03
			Fluorite	3.01 – 3.25	3.14
			Barite	4.3 – 4.7	4.47

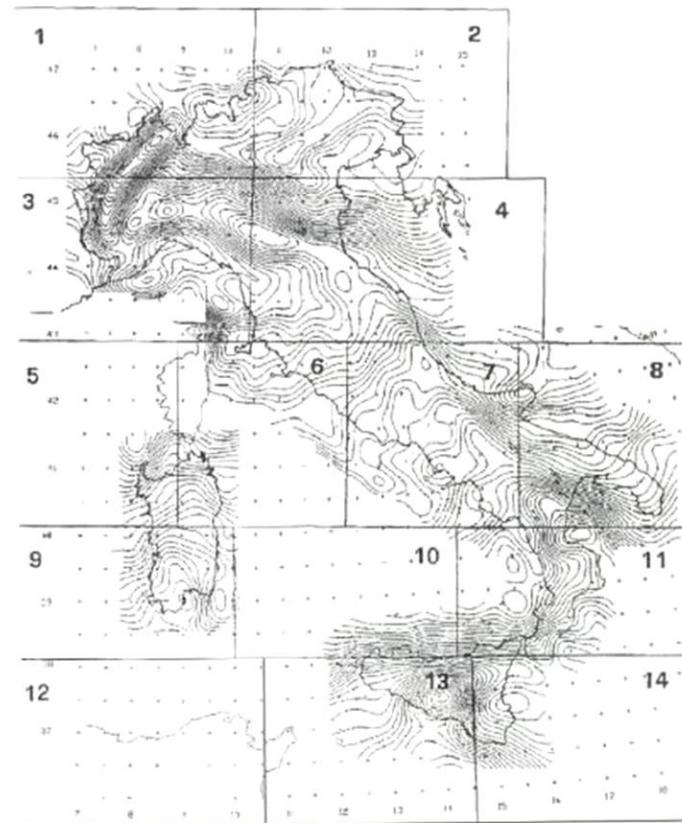
Valori di densità espressi in g/cm³ per differenti tipi di rocce e minerali. Dati tratti da Seigel (1995).

LA GRAVIMETRIA IN ITALIA

Rete gravimetrica italiana di ordine zero



Mappa di isolinee di ugual valore di g



SCOPI DEGLI STUDI GRAVIMETRICI

Gli studi gravimetrici hanno fra i principali scopi:

- **Individuazione di giacimenti petroliferi;**
- **Studio tettonico e geodinamico;**
- **Studio di bacini sedimentari;**
- **Indagini archeologiche;**
- **Indagini sul rischio vulcanico.**
- **Misurazioni dello spessore dei ghiacci polari.**

ANALISI DEI DATI

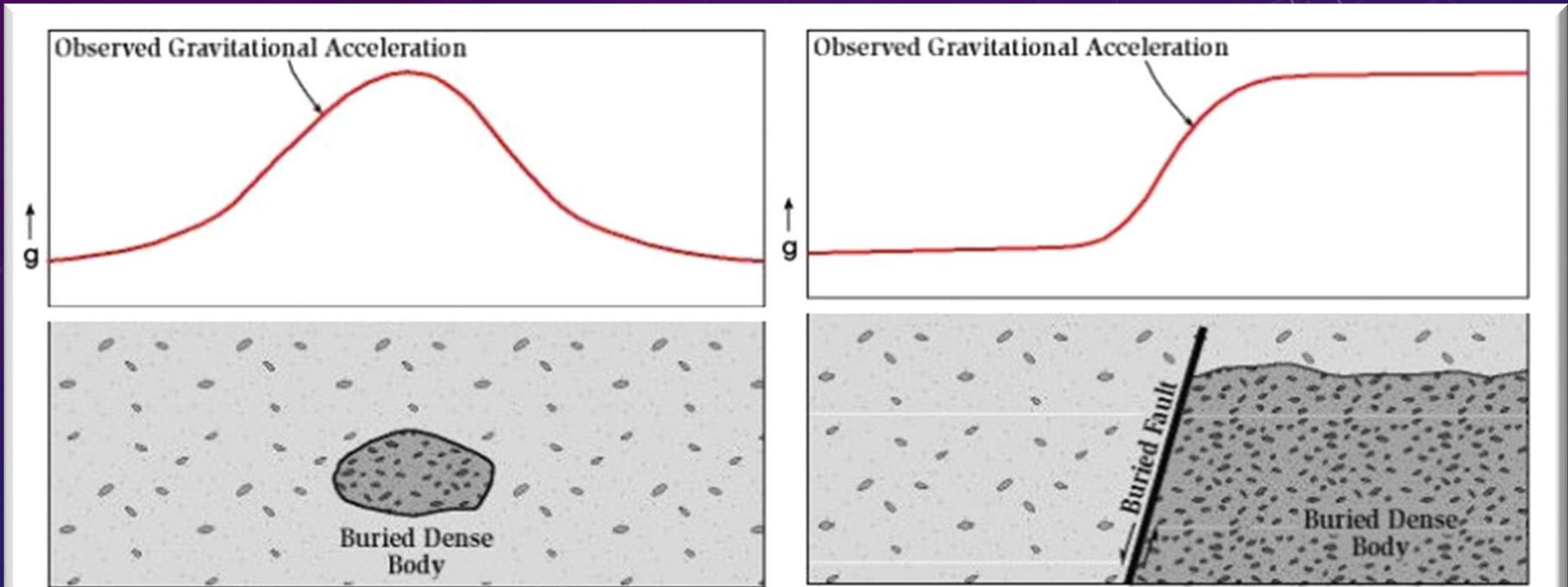
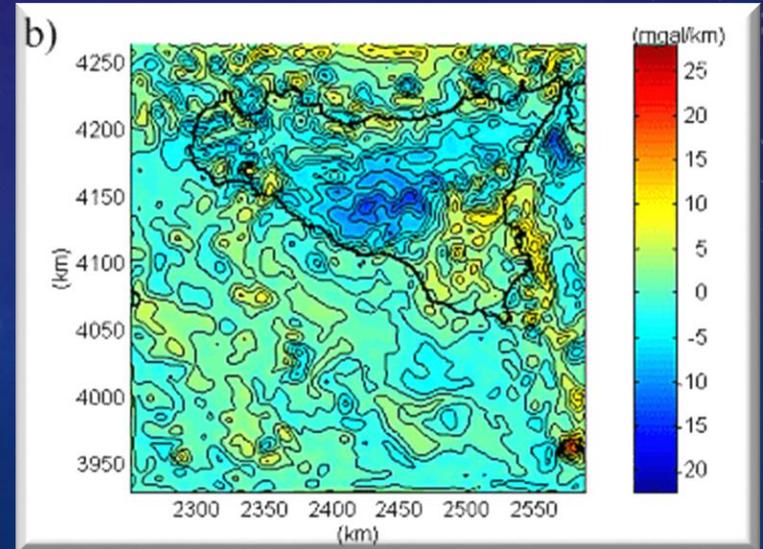
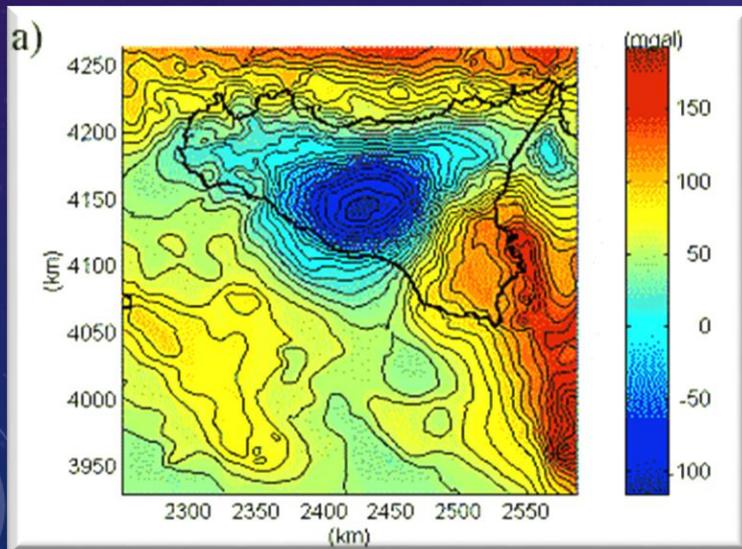
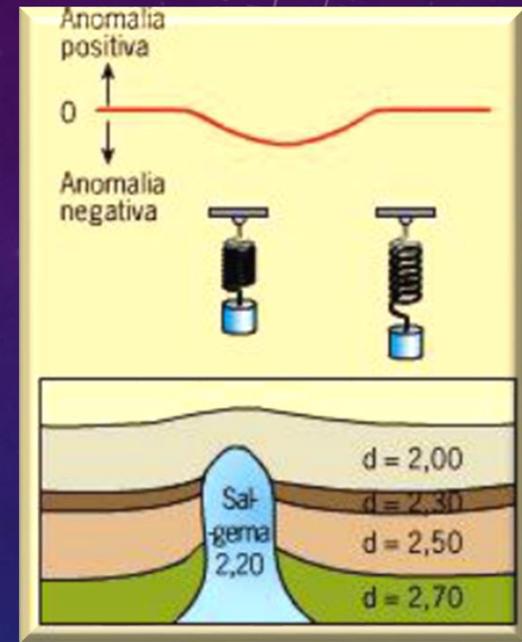
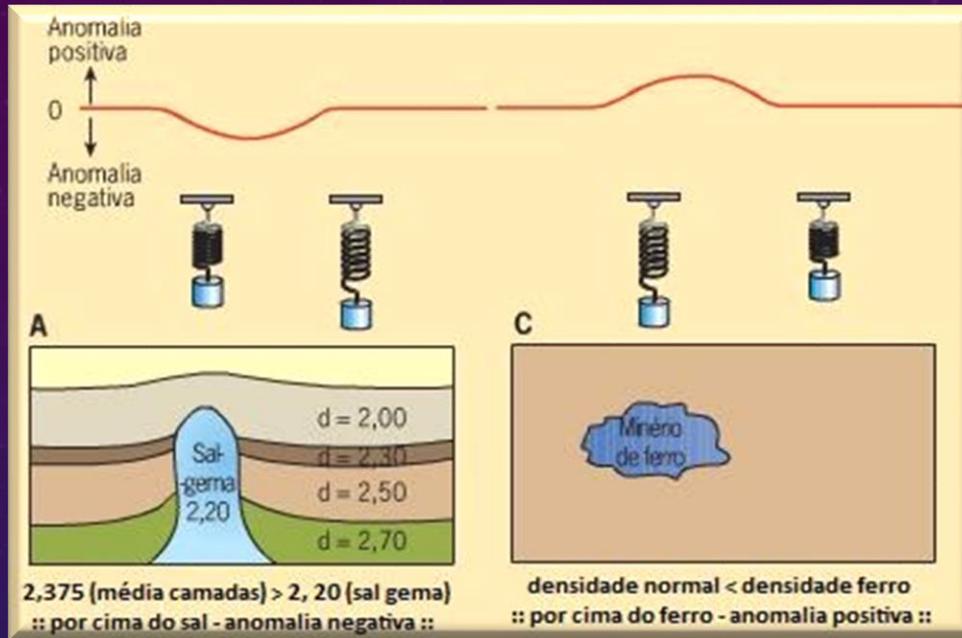
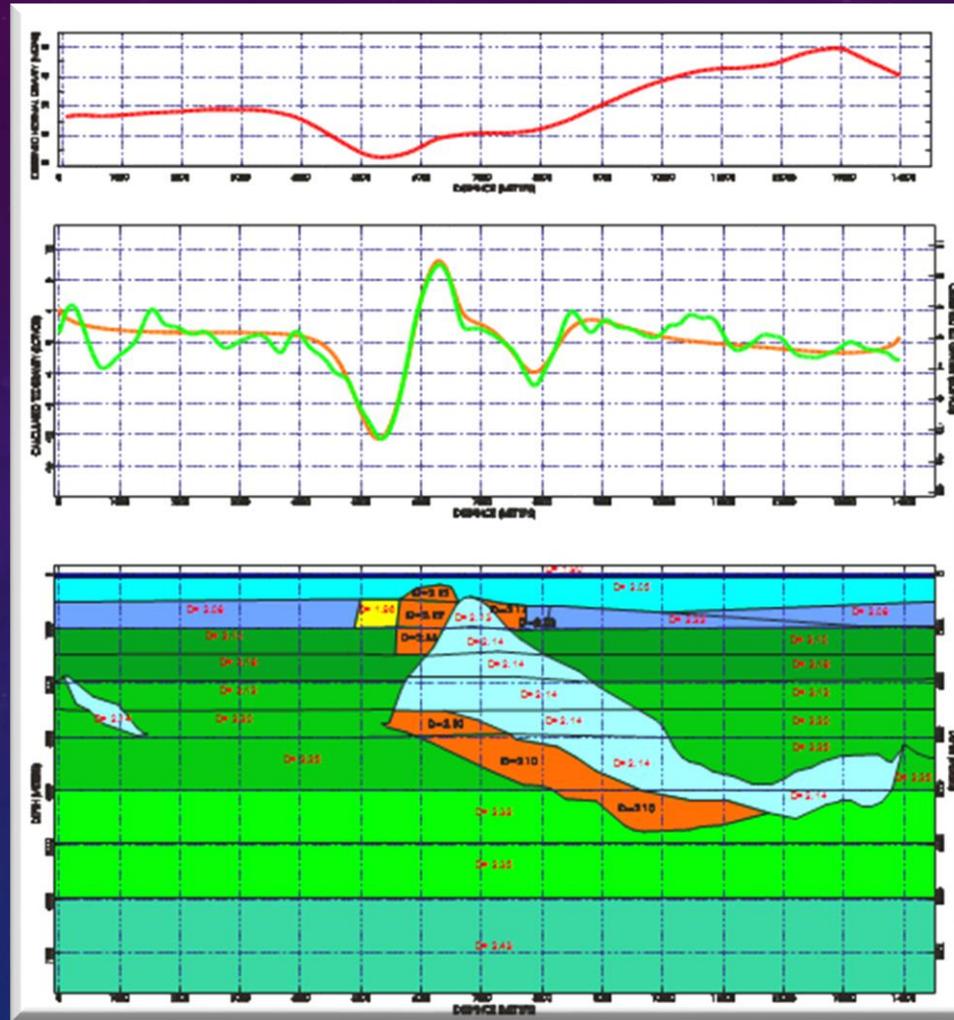


FIGURE 1: Illustrations showing the relative surface variation of Earth's gravitational acceleration over geologic structures

ANALISI DEI DATI



ANALISI DEI DATI - MODELLING



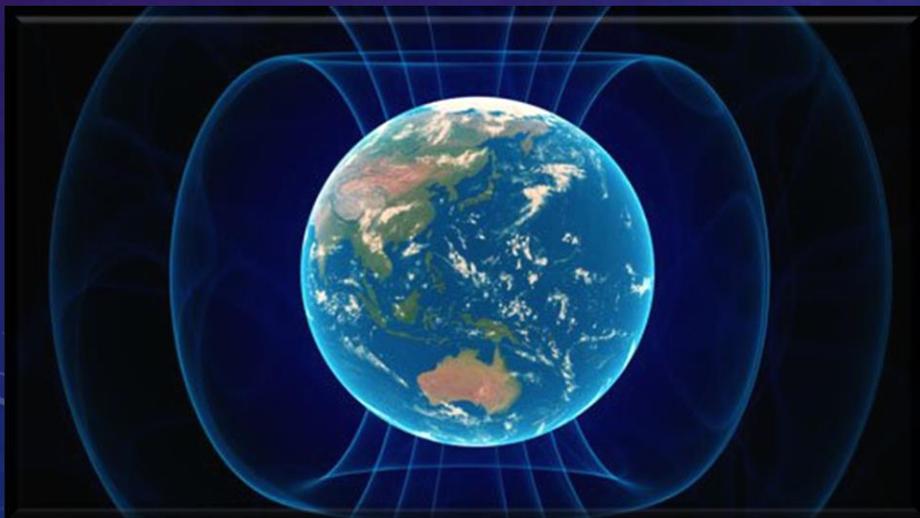
MODELLING

Rappresenta il confronto tra l'anomalia calcolata, a partire da un modello geologico, con l'anomalia misurata.

MAGNETOMETRIA

La **Magnetometria** rappresenta un metodo d'indagine del sottosuolo che misura le anomalie del campo magnetico originate da strutture sotterranee **ferromagnetiche** di vario tipo.

Questo tipo di prospezione viene ampiamente utilizzato nel campo delle ricerche archeologiche, nell'esplorazione petrolifera, nelle discariche per verificare la presenza di eventuali corpi anomali (bidoni, fusti, ecc.) e nelle aree a rischio d'inquinamento da rifiuti pericolosi. La magnetometria può anche trovare impiego per la ricerca di ordigni bellici.



IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE - CMT

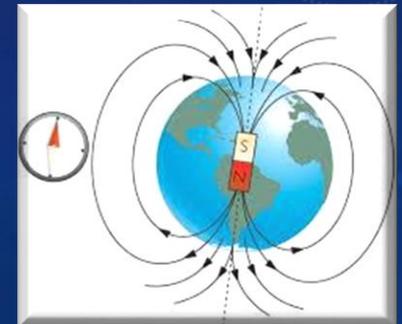
Le linee di forza del campo le possiamo solo immaginare, il verso del campo è quello della bussola e le linee sono orientata in modo che escono dalla Terra dall'emisfero sud per entrare in quello nord.

Il magnetismo terrestre è caratterizzato da:

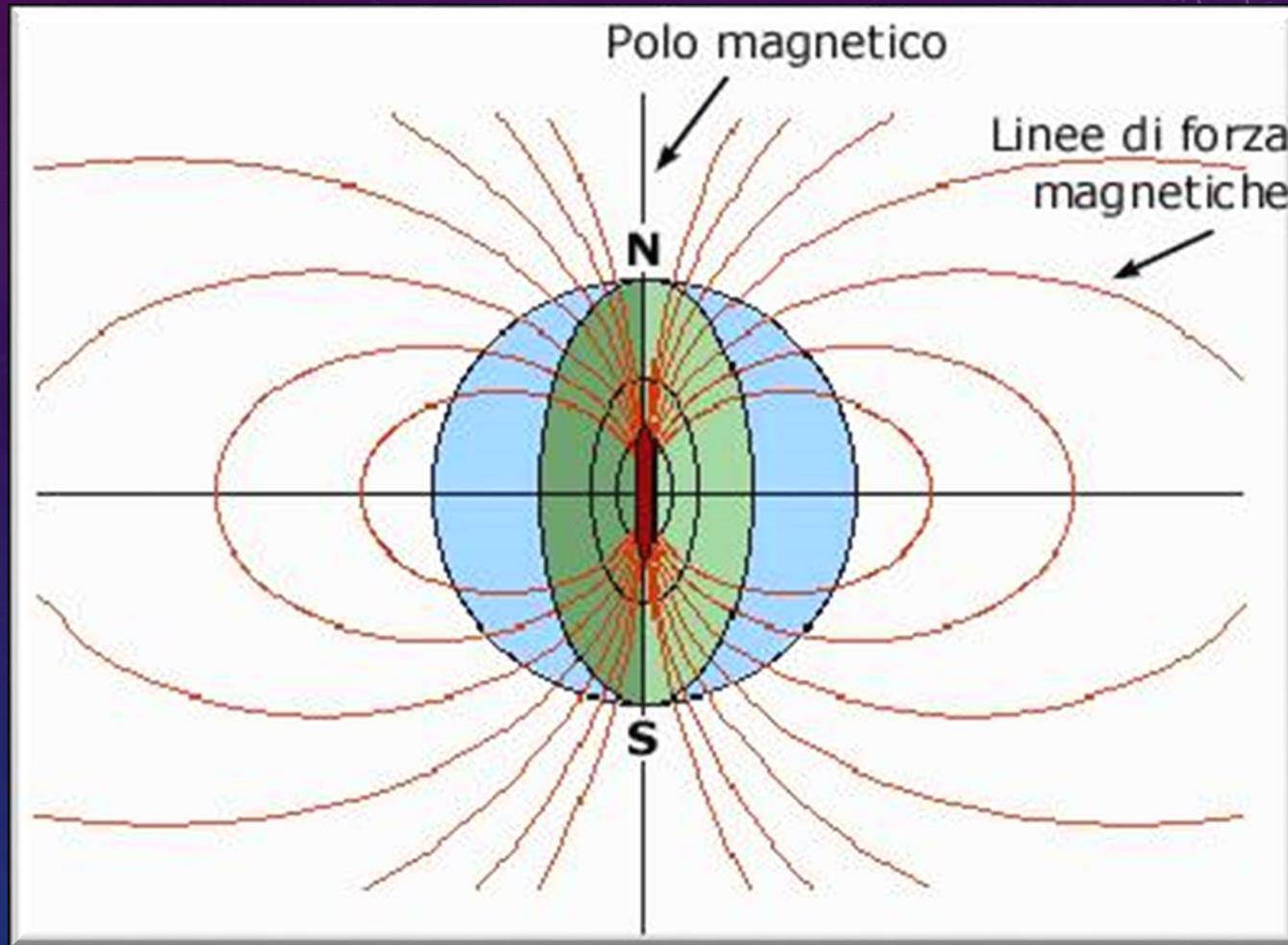
Declinazione Magnetica: La declinazione magnetica è il valore dell'angolo sul piano orizzontale tra la direzione dell'ago magnetico e la direzione del meridiano del luogo. Più semplicemente è la distanza angolare tra Nord Geografico (il punto di intersezione dell'asse di rotazione terrestre con la superficie dell'emisfero boreale) e il Nord Magnetico (il punto di intersezione dell'asse del campo magnetico terrestre con la superficie dell'emisfero boreale). Il suo valore varia da luogo a luogo e varia nel tempo in quanto il Nord Magnetico a differenza di quello Geografico non è statico (mediamente oggi vale 11° Est - a Roma vale circa $2^\circ 37'$ Est).

Inclinazione Magnetica: l'inclinazione magnetica è data dall'angolo formato dalla direzione del campo magnetico con il piano orizzontale su un qualunque punto della superficie della terra. Corrisponde a 0° all'Equatore Magnetico ed a 90° al Polo Magnetico. In Italia è circa 57° N.

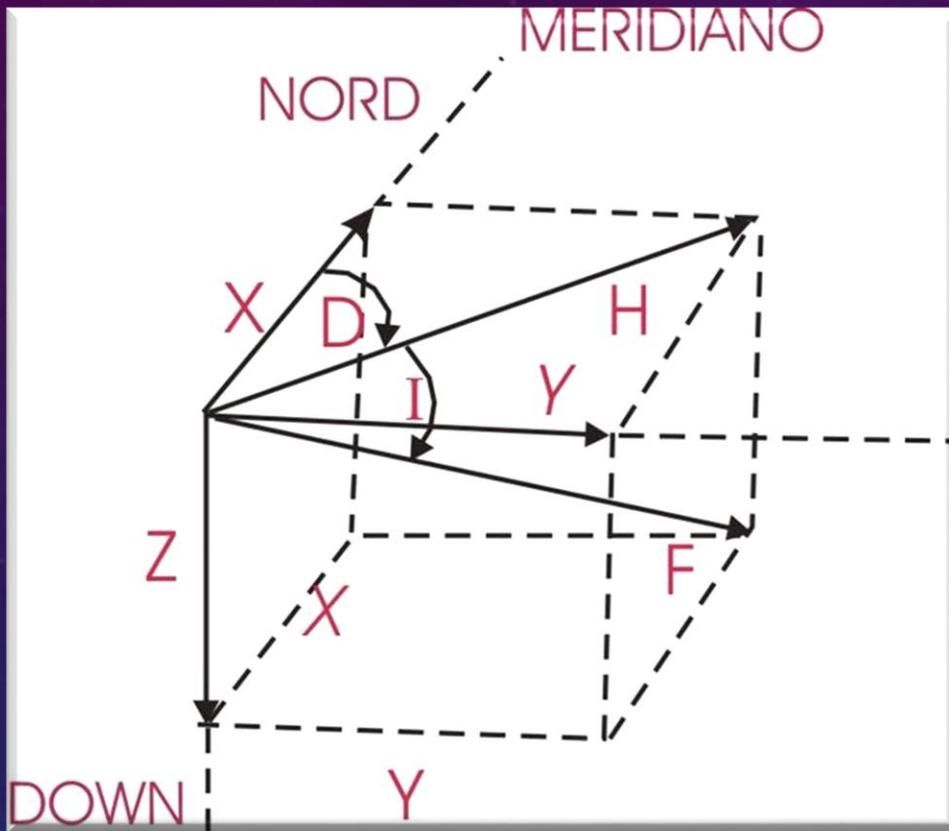
Intensità: misurata con gli **strumenti chiamati magnetometri.**



IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE - CMT



IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE - CMT



F: Forza del campo totale

Z: Componente verticale

H: Componente orizzontale

I: Inclinazione

Variazioni spaziali del CMT:

Inclinazione

Intensità

Scomposizione del Campo Magnetico Terrestre secondo una terna cartesiana di riferimento convenzionale.

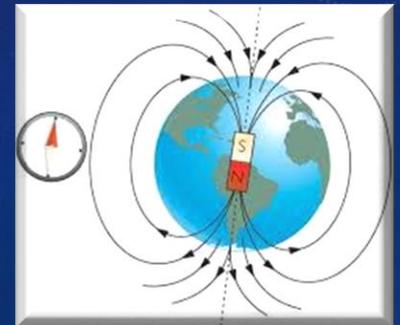
IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE - CMT

Dai dati raccolti in alcune centinaia di anni si è potuto vedere che il campo geomagnetico è composto da tre parti, le prime due appartenenti al campo interno e la terza all'esterno:

Il CAMPO NUCLEARE, il quale, sebbene non costante nel tempo, varia in modo relativamente lento ed **ha origine nel nucleo esterno ad opera di sistemi di correnti elettriche**. (Maggiore del 94%).

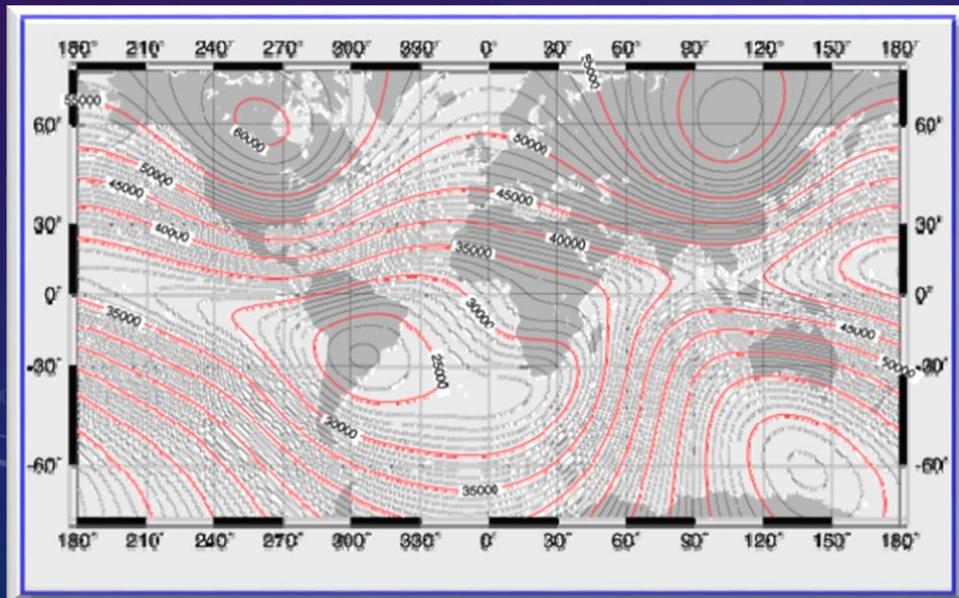
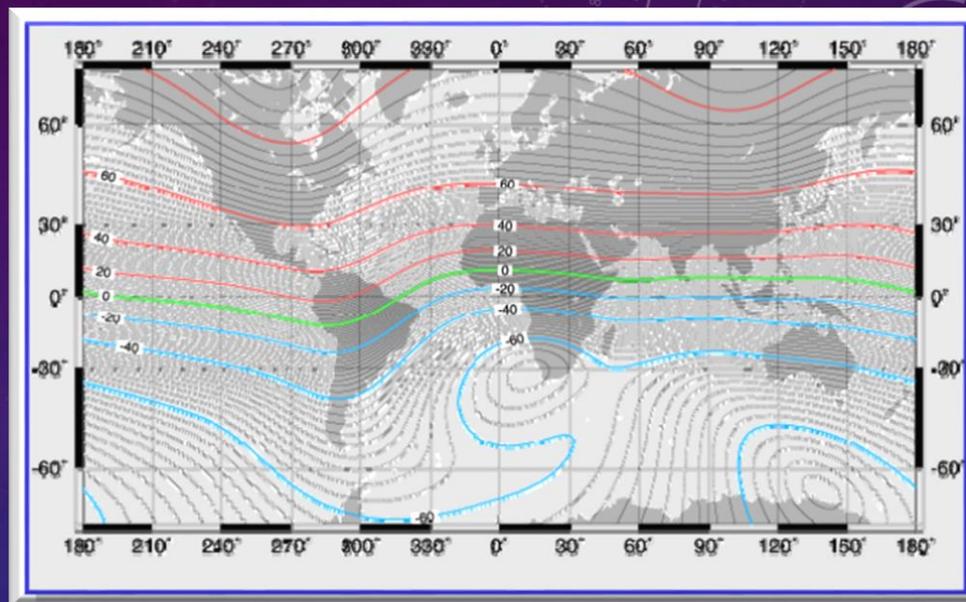
Il CAMPO CROSTALE, generato da rocce magnetizzate dal campo nucleare, che crea anomalie magnetiche locali. (dell'ordine di qualche punto percentuale).

Il CAMPO ESTERNO O ATMOSFERICO e il campo indotto interno, generato, il primo, da correnti elettriche prodotte nell'atmosfera terrestre per interazione del campo magnetico con il vento solare e il secondo da un campo indotto nella crosta e nel mantello dalle stesse correnti. (la loro somma è compresa tra qualche punto percentuale e qualche punto per mille).



IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE - CMT

Carta dell'Inclinazione Magnetica (I) del CMT.



Carta dell'Intensità Totale (F) del CMT

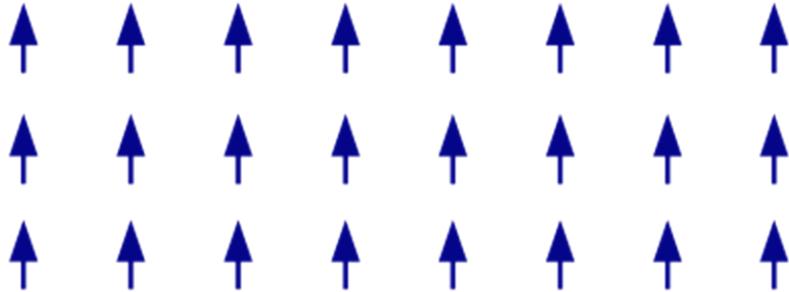
LA MAGNETIZZAZIONE DELLE ROCCE

Le rocce sono aggregati di minerali che contengono in piccole quantità anche minerali magnetici (dotati di proprietà magnetiche). Questi ultimi vengono suddivisi, secondo il valore della **Suscettività Magnetica**, dal modo di variare di questa al variare della temperatura e in base all'intensità del campo magnetizzante, in:

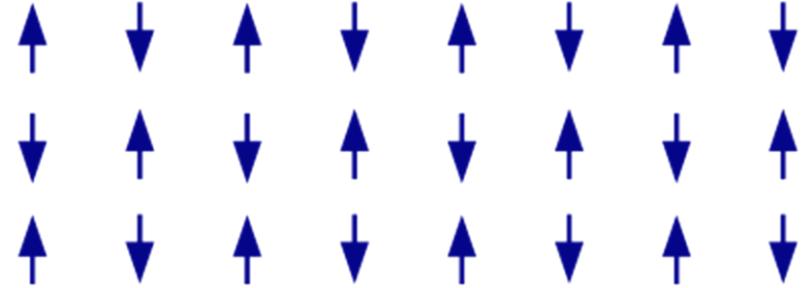
- 1. Paramagnetiche:** è una forma di magnetismo che alcuni materiali mostrano solo in presenza di campi magnetici – Alluminio, Calcio, Ossigeno
- 2. Diamagnetiche:** sono caratterizzate dal fatto che la magnetizzazione ha verso opposto rispetto al campo magnetico, e quindi di esserne debolmente "respinti". In ambito non scientifico i materiali diamagnetici sono spesso semplicemente detti "non magnetici – Acqua, Oro, Argento, Mercurio.
- 3. Ferromagnetiche:** Il ferromagnetismo è la proprietà di alcuni materiali, detti materiali ferromagnetici, di magnetizzarsi molto intensamente sotto l'azione di un campo magnetico esterno e di restare a lungo magnetizzati quando il campo si annulla, diventando così magneti – Ferro, Magnetite, Nichel.
- 4. Antiferromagnetiche:** è l'opposto del precedente i materiali non si magnetizzano – Manganese, Cromo, Ematite

Per lo studio del campo magnetico terrestre e delle sue variazioni, interessano solo i minerali **ferromagnetici** e **antiferromagnetici**, che hanno proprietà magnetiche intense e stabili e quindi misurabili in termini di **Suscettività Magnetica**.

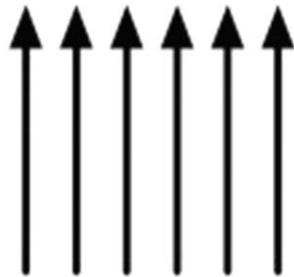
LA MAGNETIZZAZIONE DELLE ROCCE



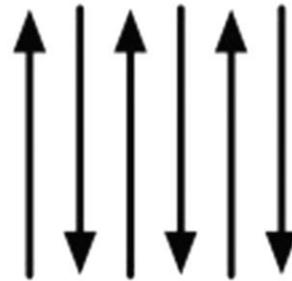
Materiali Ferromagnetici



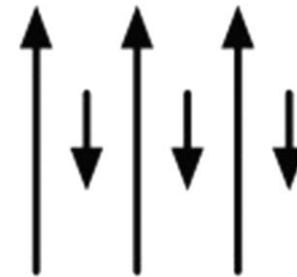
Materiali Antiferromagnetici



Ferromagnetism



Antiferromagnetism



Ferrimagnetism

LA MAGNETIZZAZIONE DELLE ROCCE

Il campo magnetico deriva per il 95% dalla conformazione interna della Terra e il restante 5% da forze esterne. **Occorre precisare che ogni materiale magnetico perde la sua proprietà a partire da temperature mediamente superiori a 600°C detto punto di Curie, queste temperature sono circa a 20/30 km dalla superficie terrestre quindi tutto è generato dalla crosta.**

IL PALEOMAGNETISMO COS'È?

È il campo magnetico terrestre che si trova fossilizzato all'interno delle rocce sotto forma di magnetizzazione residua molto debole. Questo perché le rocce fuse alla genesi della struttura della terra hanno inglobato la direzione del polo magnetico che c'era in quel periodo. Questo paleomagnetismo si divide in tre parti:

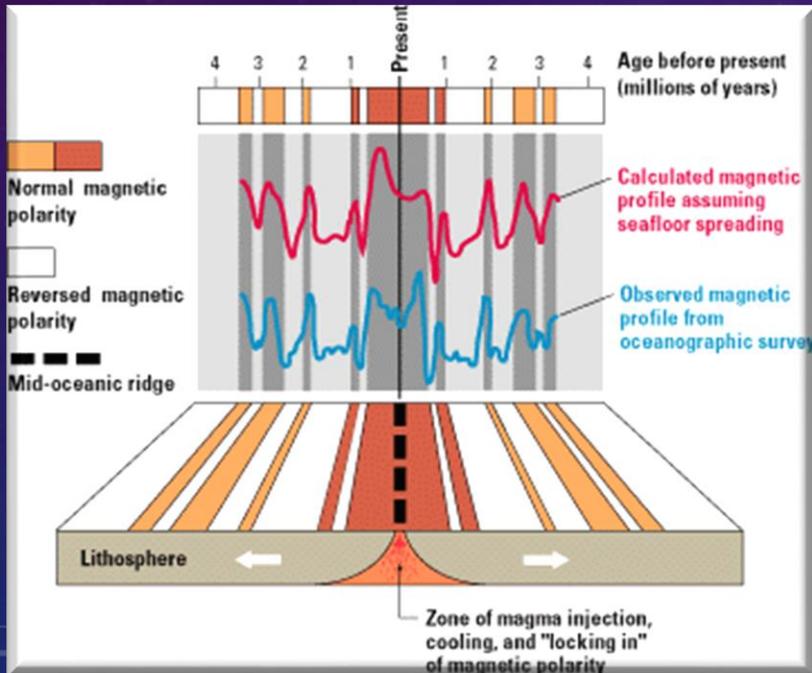
Magnetizzazione termorimane: quella acquisita dalle rocce magmatiche quando si raffreddano sotto il punto di Curie come quando la lava esce dal condotto vulcanico, una volta che questa si raffredda il segno del campo rimane fissato.

Magnetizzazione detritica rimanente: derivata dai sedimenti detritici che contengono dei granuli ferromagnetici e che si allineano con il campo durante la sedimentazione.

Magnetizzazione chimica rimanente: acquisita dalle rocce durante i processi metamorfici che portano alla formazione di nuovi minerali all'interno della roccia.

IL PALEOMAGNETISMO

Il Paleomagnetismo è lo studio dell'orientamento e dell'intensità del campo magnetico terrestre nel corso delle ere geologiche in base ai dati forniti dal magnetismo delle rocce vulcaniche.



Age in M.Y.

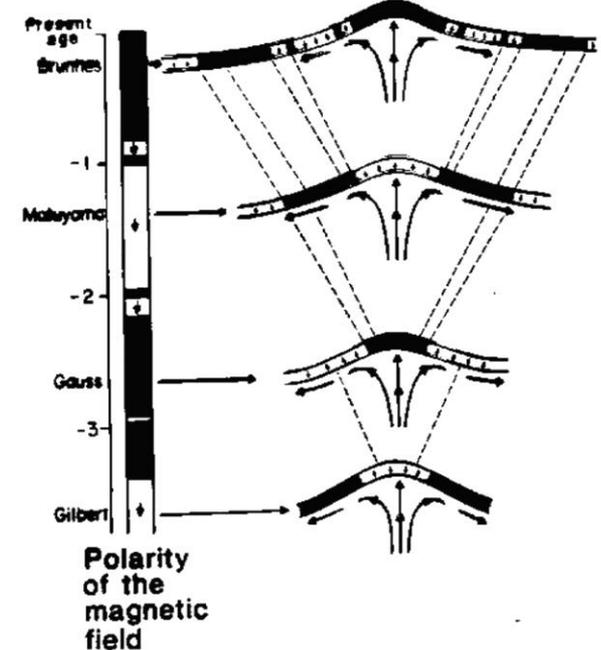
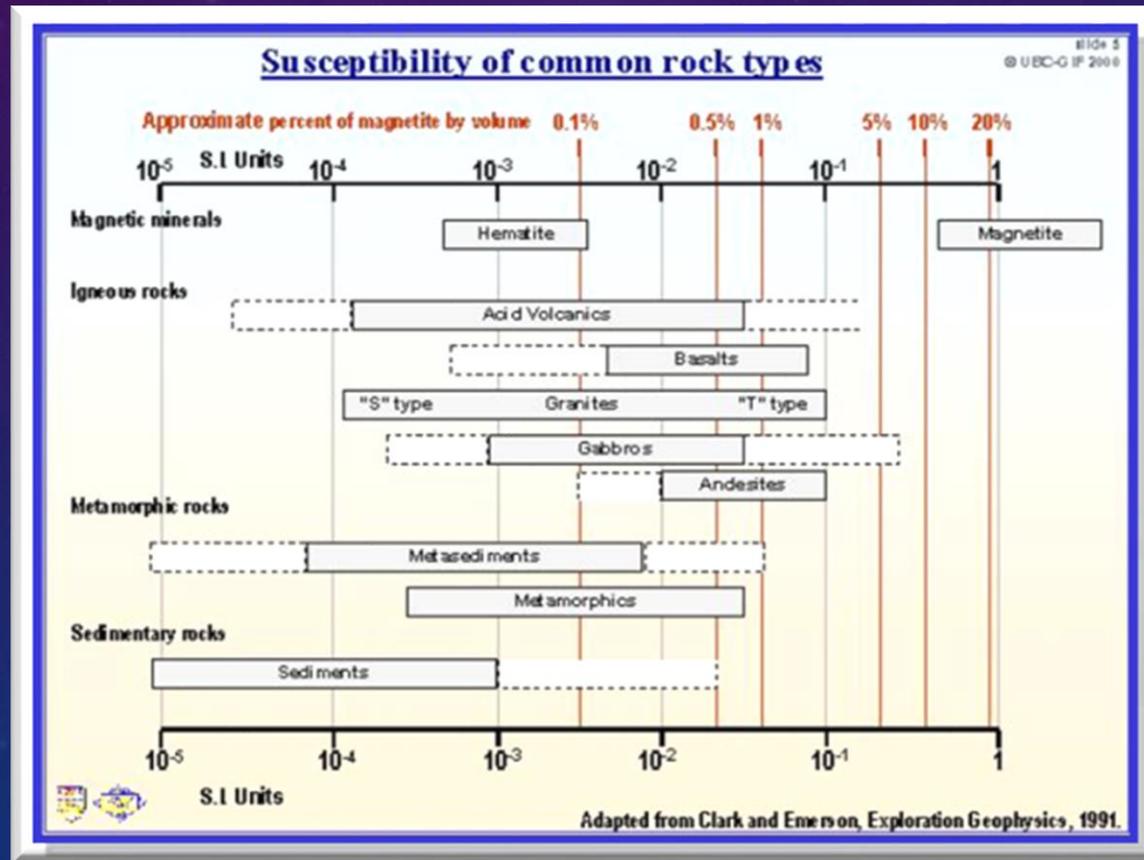


FIGURE 22 The seafloor's remnant magnetization forms a pattern of alternating normal and reversed magnetic bands that record the magnetic field at the time the oceanic crust was formed. Because oceanic crust is formed within a narrow band at the ridge axis and then spreads away from the ridge with time, the alternation between normal and reversed magnetic orientation forms an accurate horizontal record of the magnetic time scale.

LA MAGNETIZZAZIONE DELLE ROCCE

SUSCETTIVITÀ MAGNETICA

In fisica, la **Suscettività Magnetica** di un materiale è una costante di proporzionalità adimensionale che quantifica il grado di polarizzazione magnetica (magnetizzazione) del materiale in seguito all'applicazione di un campo magnetico.



LA MAGNETIZZAZIONE DELLE ROCCE

Sample	K in SI x 10 ⁻⁶
I	251
II	234
III	56
IV	16740
V-VIa	28980
V-VIb	10240



Basement - Basalt

LE ANOMALIE MAGNETICHE

- Le variazioni **Temporali** del CMT sono da considerare come disturbo (noise) mentre le anomalie o variazioni **Spaziali** invece, sono dovute alla presenza di **Magnetite** o di altri minerali ad essa collegati.
- Ovviamente la presenza di ferro provoca grandi anomalie mentre piccole anomalie possono essere dovute a rocce con magnetite dipendente dal materiale.
- Un'anomalia magnetica rappresenta un disturbo locale del CMT che nasce da una variazione locale nella magnetizzazione, questa è causata dalla variazione della geologia del terreno o dalla presenza nel sottosuolo di strutture o materiali magnetizzati o magnetizzabili.

LE ANOMALIE MAGNETICHE

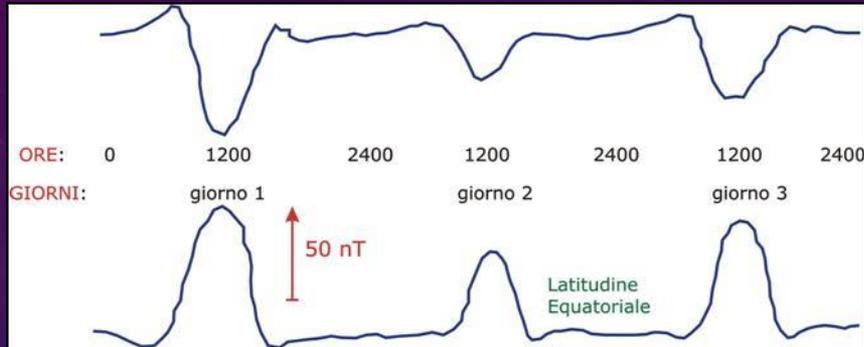
VARIAZIONI TEMPORALI DEL CMT

Il CMT è soggetto anche a variazioni temporali, con periodi o durata di secondi o minuti, che dipendono dall'attività solare e sono chiamate **Variazioni Diurne**.

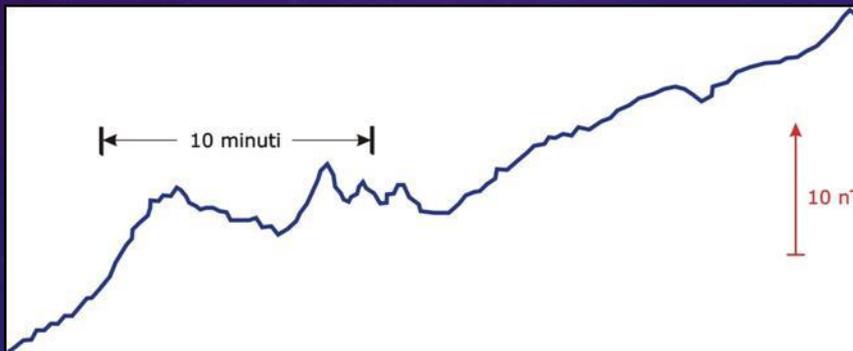
A queste si aggiungono le **Micropulsazioni**, fenomeni di periodo molto più breve che si verificano sia di giorno che di notte ed hanno ampiezze anche notevoli.

Sorgenti più attendibili per quanto riguarda le variazioni del CMT sono le **Tempeste Magnetiche** che accadono diverse volte in un mese contemporaneamente in tutto il mondo. Alcune tempeste possono presentare variazioni di centinaia di nT e possono durare un giorno o di più.

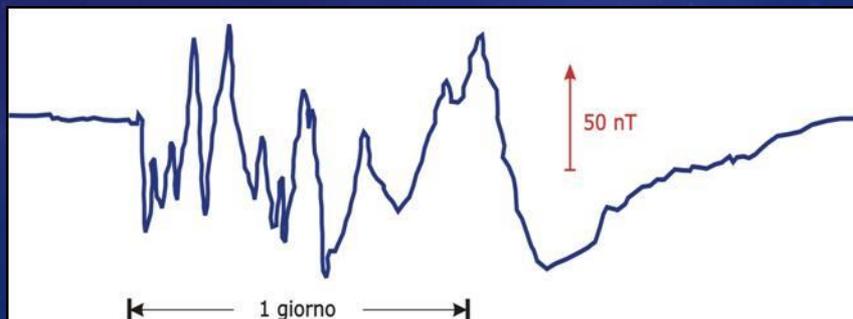
LE ANOMALIE MAGNETICHE



Variazioni Diurne del CMT

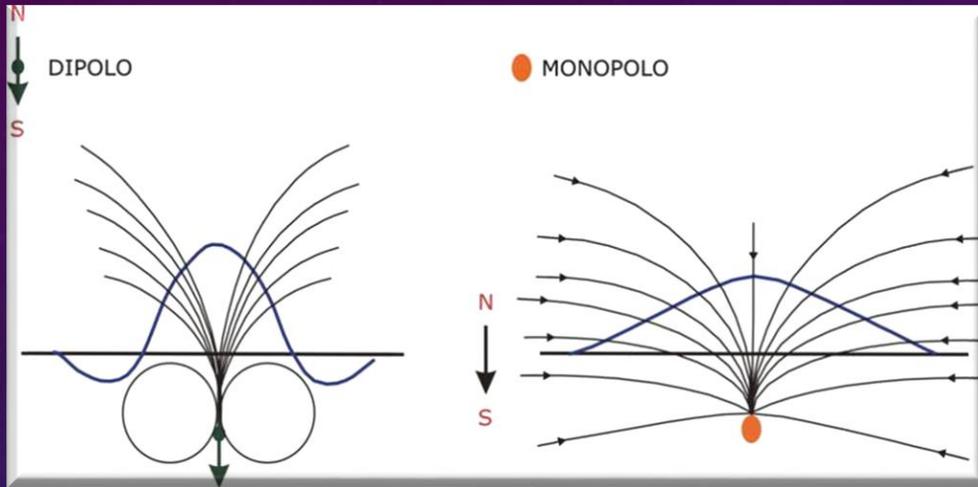


Micropulsazioni

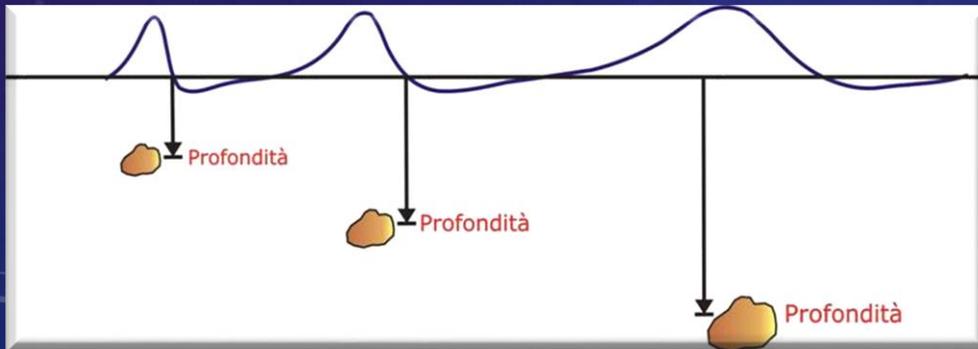


Tempesta Magnetica

LE ANOMALIE MAGNETICHE



Esempio di andamento delle linee di forza del campo in caso di monopolo o dipolo magnetico.



Effetto della profondità sull'ampiezza di una anomalia.

Le anomalie sono estremamente variabili in forma ed ampiezza, sono quasi sempre asimmetriche e qualche volta appaiono complesse anche se dovuta a sorgenti semplici. La natura asimmetrica delle anomalie è soprattutto una conseguenza delle direzioni delle linee di campo della sorgente

Altra caratteristica significativa di un'anomalia magnetica è la **variazione della sua ampiezza con la profondità** della sorgente, più profonda è la sorgente più "larga" è l'anomalia. Questa proprietà permette di determinare velocemente con buona approssimazione la profondità della sorgente.

LE ANOMALIE MAGNETICHE

Il campo crostale è il campo magnetico generato da rocce della crosta terrestre che siano magnetizzate dal campo nucleare (quello interno).

A proposito di questa magnetizzazione, vi sono quattro importanti osservazioni:

1. La prima osservazione riguarda il fatto che, a rigore, **tutte le rocce terrestri sono magnetizzate dal campo nucleare**, ma quelle che danno un contributo misurabile al campo magnetico totale sono soltanto quelle nelle quali il campo nucleare induce una relativamente grande magnetizzazione, cioè le cosiddette **rocce ferromagnetiche e ferrimagnetiche**; esse sono dette corrente-mente, rocce magnetiche per distinguerle dalle altre (rocce diamagnetiche, paramagnetiche e antiferromagnetiche), che, al loro confronto, si magnetizzano assai più debolmente.
2. La seconda osservazione riguarda il fatto che per poter portare in conto la magnetizzazione di queste rocce occorre che la loro temperatura sia non troppo alta, e precisamente sia minore di quella temperatura, variabile da roccia a roccia e detta **temperatura di Curie**, al di sopra della quale cambia drasticamente il comportamento magnetico, passando piuttosto bruscamente nella categoria delle rocce paramagnetiche, pochissimo magnetizzabili. Per i vari tipi di rocce magnetiche (cioè ferro o ferrimagnetiche) **la temperatura di Curie varia, all'incirca, tra 400 e 1200 °C**, come dire che sorgenti del campo di magnetizzazione crostale possono essere soltanto rocce ferri- o ferromagnetiche a profondità non maggiore di 100-200 km.

LE ANOMALIE MAGNETICHE

3. La terza osservazione è che **le misure dell'intensità del campo crostale ricavate in una certa zona della superficie terrestre contengono informazioni sulla natura chimico-fisica delle rocce sottostanti, e ciò è molto importante dal punto di vista geologico, relativamente all'individuazione sia della costituzione degli strati, anche relativamente profondi, del terreno sia di rocce o altre formazioni naturali industrialmente interessanti (giacimenti di minerali, di petrolio, ecc.).**
4. La quarta osservazione riguarda il fatto che **una roccia ferrimagnetica o ferromagnetica di natura lavica presenta una magnetizzazione propria che non deriva dal CMT attuale ma dal CMT esistente nel momento in cui la roccia in questione si è formata, consolidandosi dal suo magma primigenio; dalle misure di questa particolare magnetizzazione è possibile ricavare quindi informazioni sul CMT che è esistito nelle varie regioni terrestri nel lungo corso dei tempi geologici, e ciò costituisce quella parte del geomagnetismo che è detta paleomagnetismo terrestre, o semplicemente paleo geomagnetismo.**

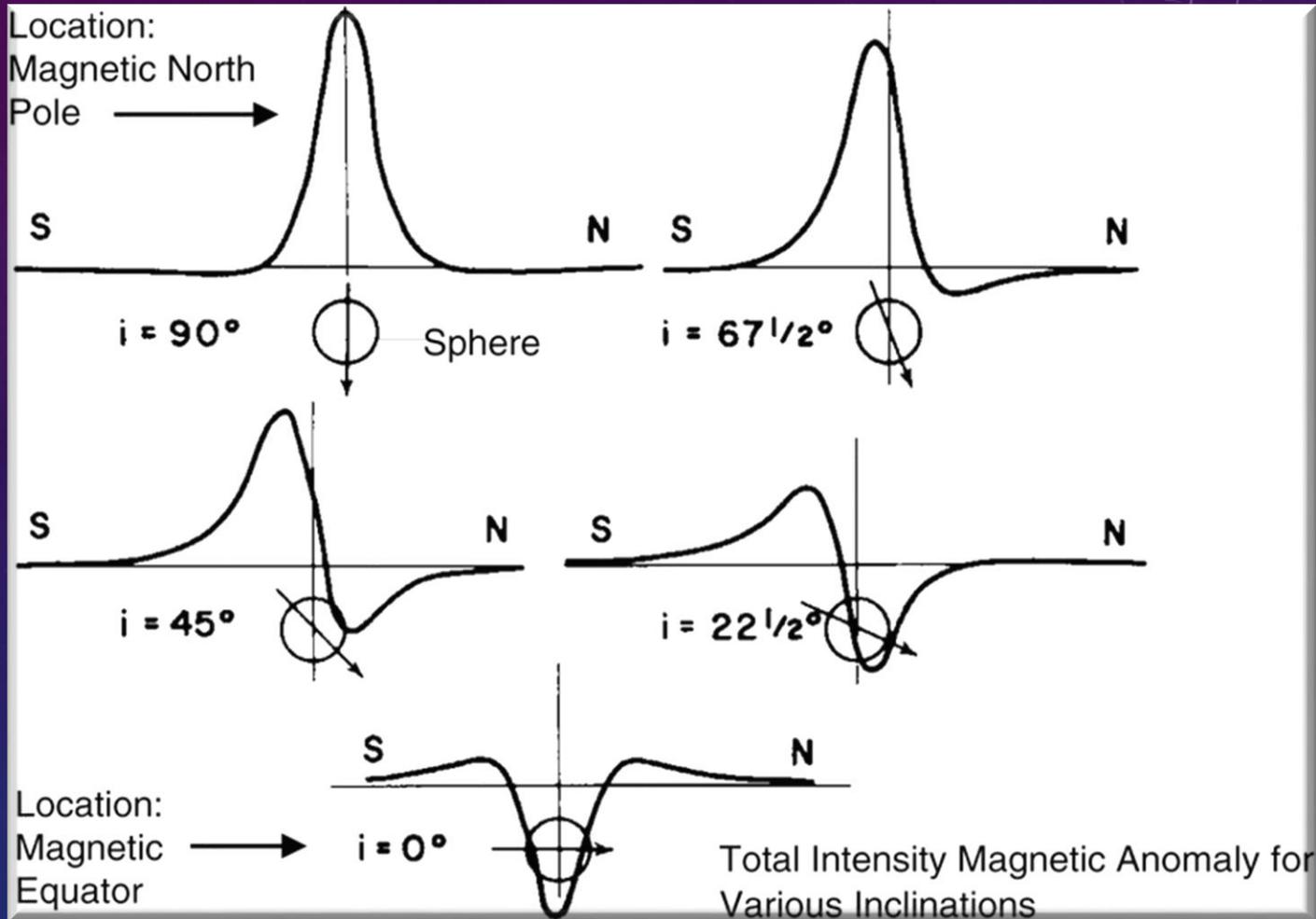
LE ANOMALIE MAGNETICHE

CORREZIONI

Come per i rilievi gravimetrici anche le misure magnetiche richiedono appropriate correzioni per arrivare al dato finale interpretabile:

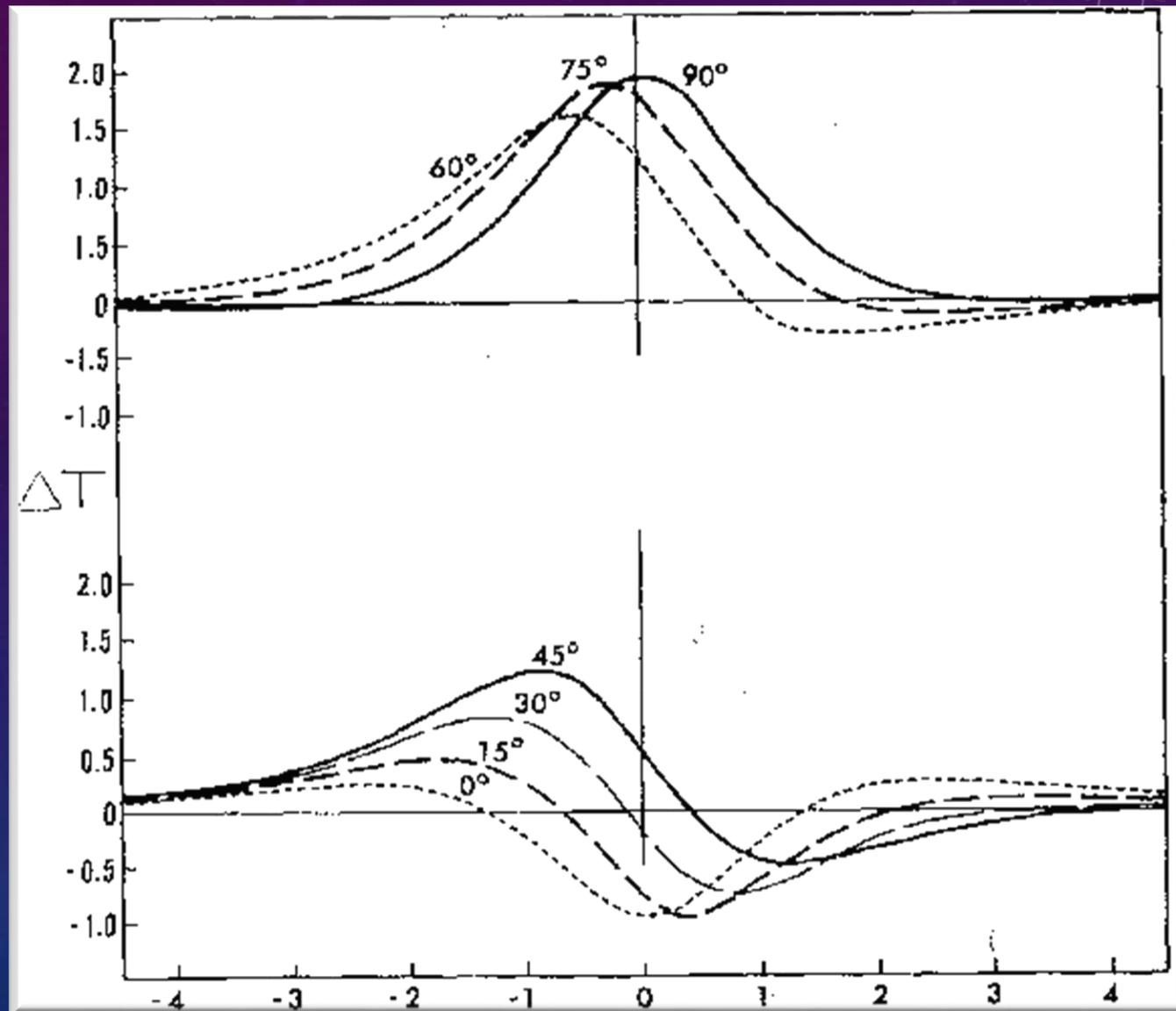
- **Correzione Diurna (da magnetometro fisso a terra);**
- **Correzione della Quota (se rilievo aereo);**
- **Correzione IGRF (Campo Magnetico di Riferimento).**

LE ANOMALIE MAGNETICHE



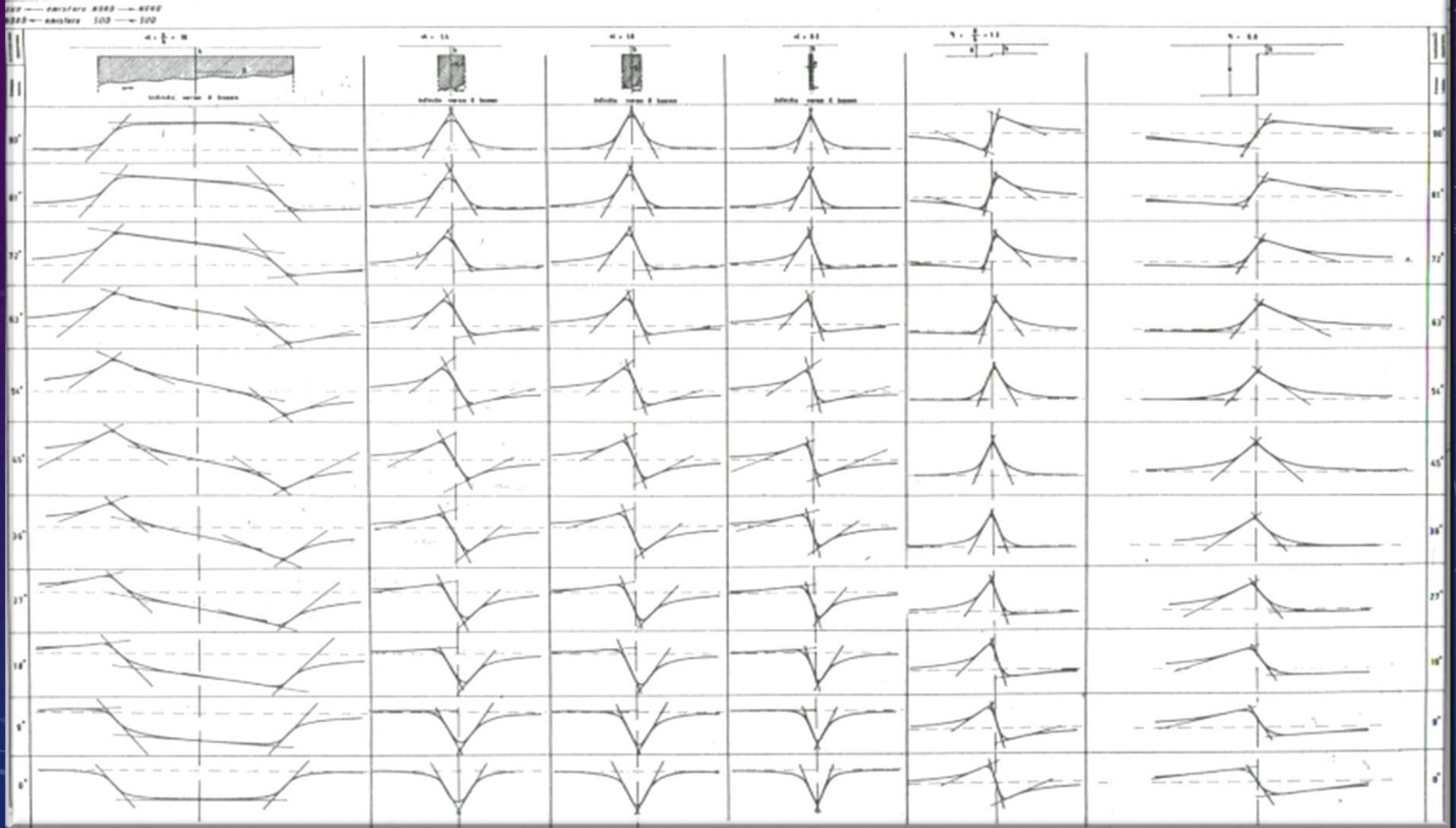
Profiles of magnetic total intensity anomalies for the same object at different latitudes in the northern hemisphere.^[1]
Copyright: Society of Exploration Geophysicists.

LE ANOMALIE MAGNETICHE



LE ANOMALIE MAGNETICHE

Corpi a Due dimensioni



LE MISURE E GLI STRUMENTI

Le misure di campo magnetico vengono eseguite mediante strumenti detti **Magnetometri**. L'applicazione della metodologia avviene mediante la distribuzione di una fitta rete di stazioni di misura la cui minima distanza è condizionata dal tipo di indagine e specialmente dalla profondità dell'obiettivo da investigare.

Dopo aver misurato i valori di campo magnetico su una griglia di stazioni che coprono l'area di indagine, i valori misurati vengono corretti, elaborati e riportati sotto forma di una **Mappa del Campo Magnetico Totale**.

L'unità di misura dell'intensità del campo magnetico nel Sistema Internazionale (SI) è il **tesla** (simbolo **T**). Si dice che un campo magnetico ha intensità di 1 tesla quando esercita una forza di 1 newton su un filo conduttore della lunghezza di 1 m percorso da una corrente di 1 ampere:

$$1 \text{ T} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}} 1 \text{ A}$$

I valori del campo, espressi in quest'unità di misura, sono molto piccoli e nella pratica si utilizza il suo sottomultiplo **nanotesla (nT)**, pari a 10^{-9} T. Dall'equatore ai poli, sulla superficie terrestre, il valore del campo varia da circa poco più di 20.000 nT all'equatore ai circa 70.000 nT delle zone polari.

LE MISURE E GLI STRUMENTI

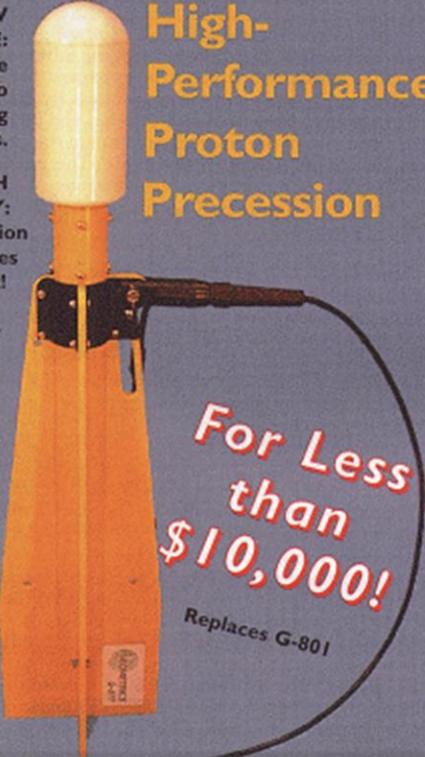
The New G-877 Marine Magnetometer

- **ULTRA-LOW SYSTEM PRICE:** very cost-effective compared to competing technologies.
- **HIGH SENSITIVITY:** 0.1 nT resolution with sample rates up to 4 Hz!
- **DIGITAL OUTPUT:** now includes MagLog Lite™ computer logging/display software.
- **EVERY SYSTEM includes:** depth sensor; 200-ft. tow cable; no hydrocarbons; single-man operation (50 lbs); power/data junction.

High-Performance Proton Precession

For Less than \$10,000!

Replaces G-801

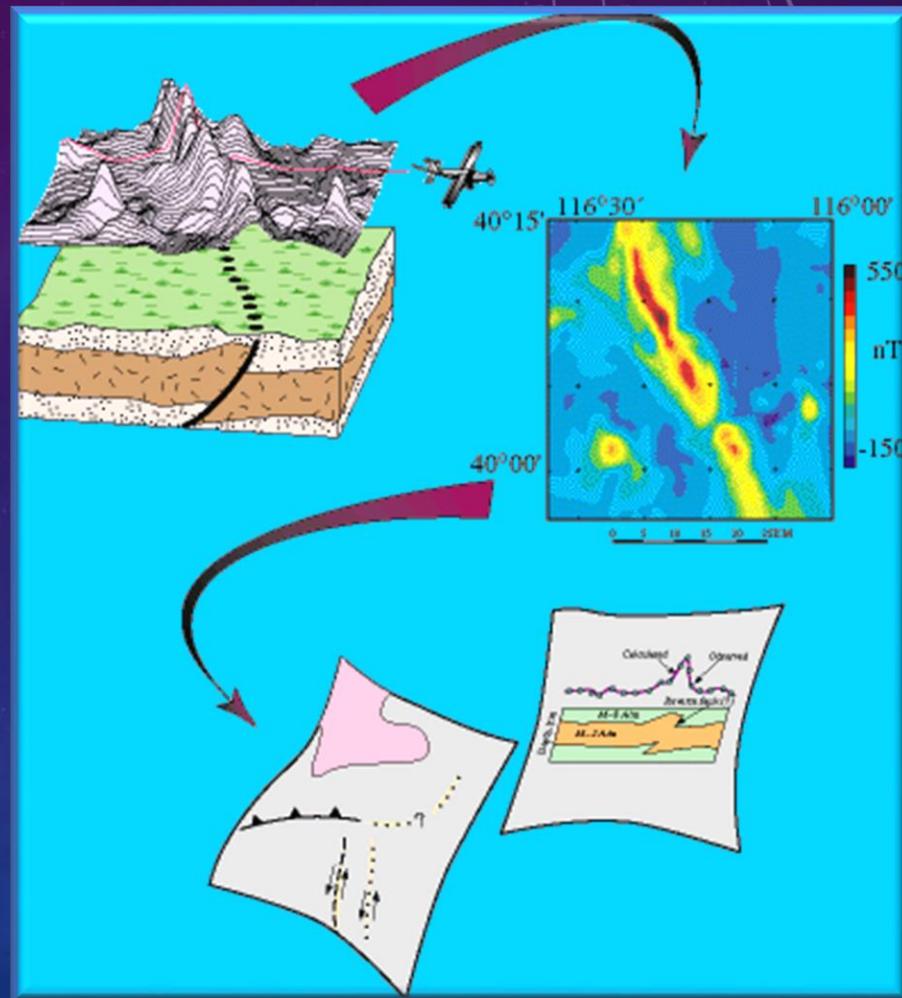
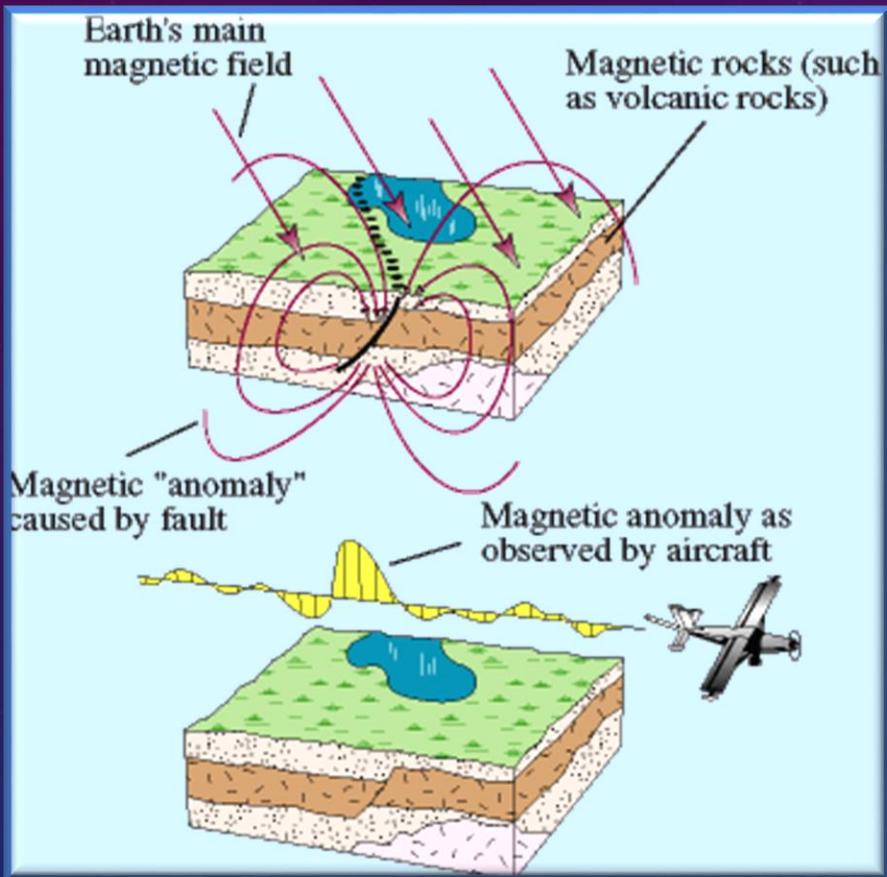


Magnetometro Marino



Magnetometro Aereo

LE MISURE – LE FASI PER L'INTERPRETAZIONE



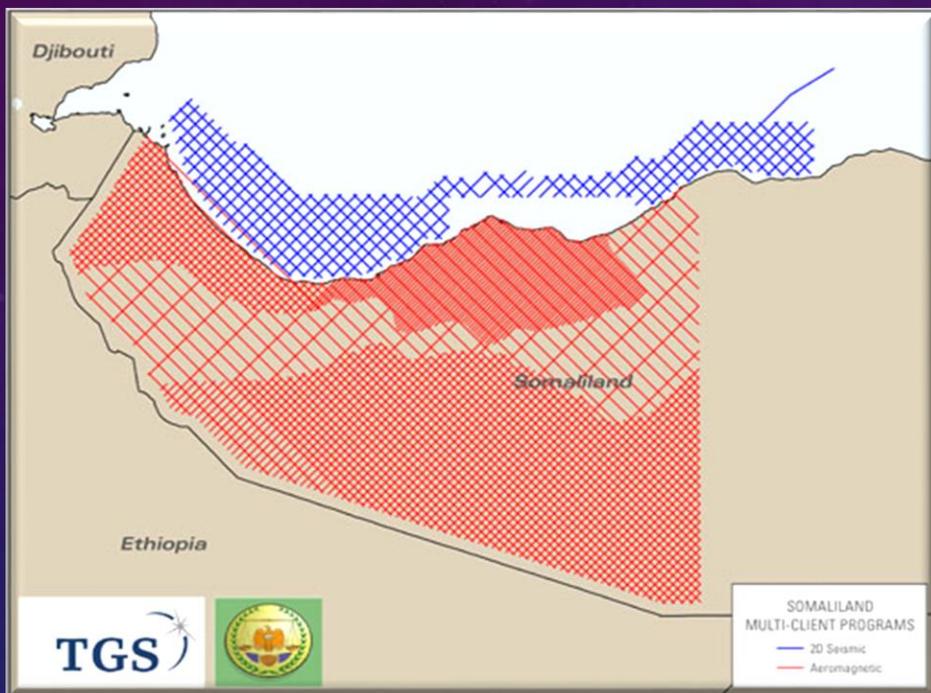
LE MISURE E GLI STRUMENTI

Dall'osservazione di questa **mappa** si individuano le aree di anomalia e si estraggono dei profili magnetici utili per un'interpretazione quantitativa dell'anomalia stessa.

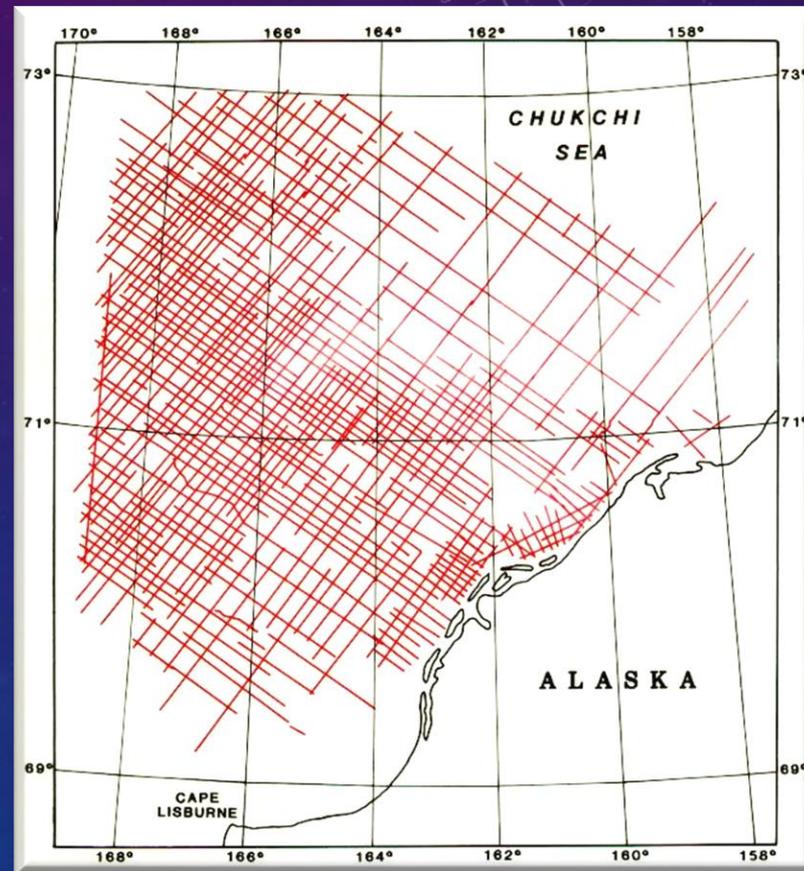
La magnetometria può essere usata anche per indagini di tipo regionale; in questi casi i dati vengono generalmente acquisiti da aereo (aeromagnetismo) in modo da coprire grandi superfici in poco tempo.

La magnetometria da aereo ha ovviamente lo svantaggio di non poter fornire dettaglio elevato rispetto a quella fatta a terra; si usa generalmente per studiare l'assetto geologico regionale di strutture e bacini sedimentari. In generale con l'aeromagnetismo non si vanno ad indagare le proprietà intrinseche dei litotipi investigati ma il loro assetto a grande scala. Risulta però molto efficace nell'ambito della ricerca mineraria e di materiali metallici.

LE MISURE – I TIPI DI PROSPEZIONI

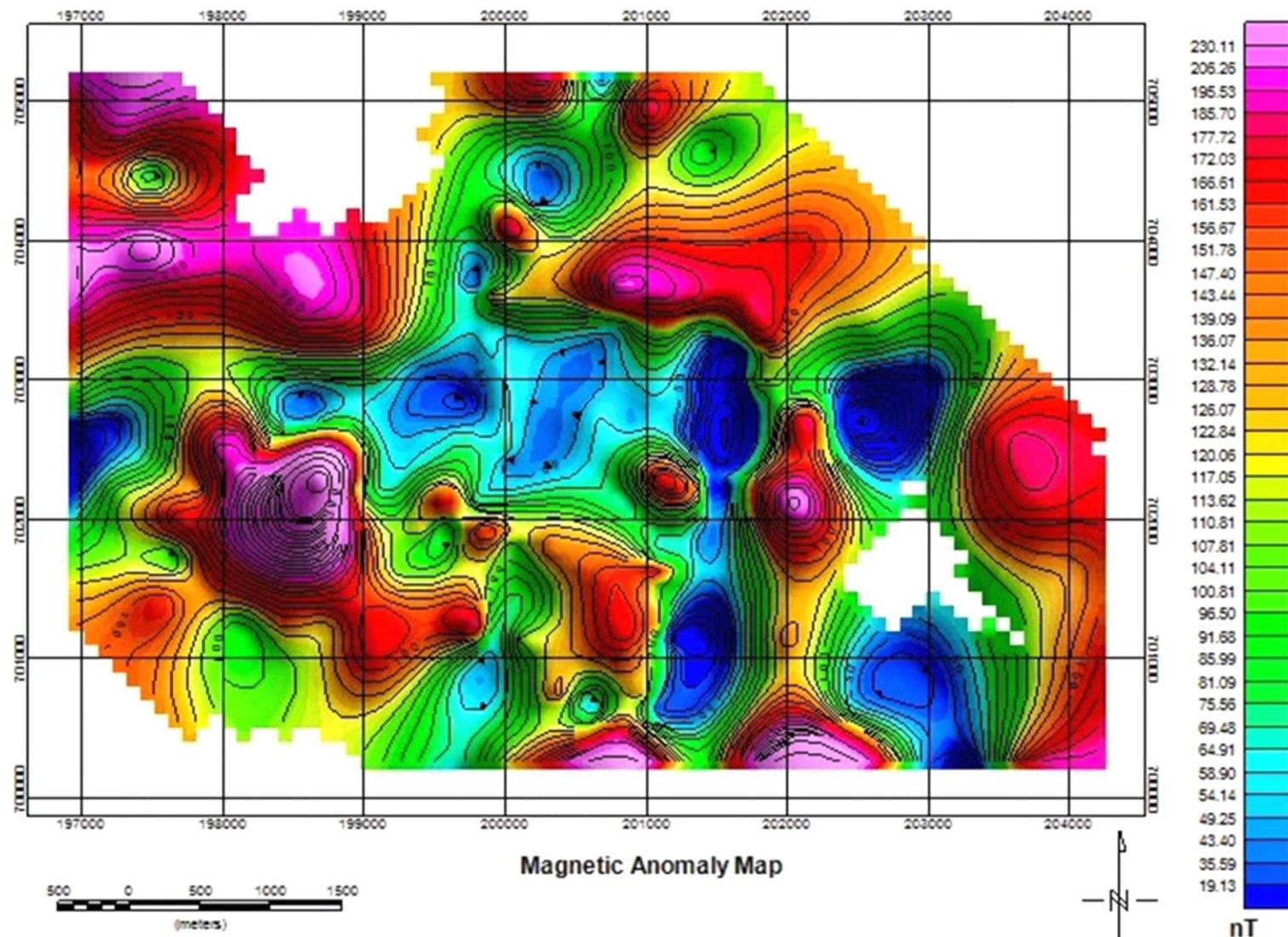


Rilievo Aeromagnetico

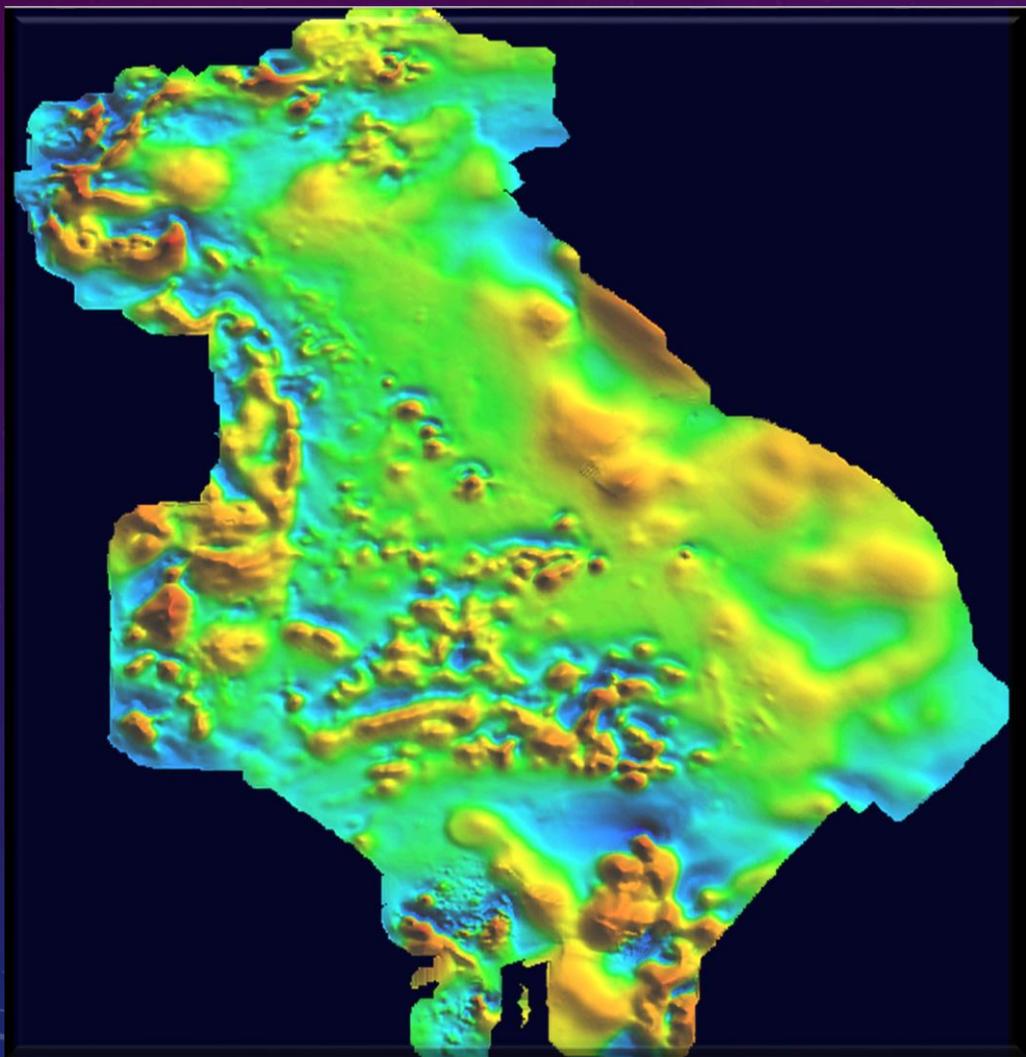


Rilievo Marino

LE MISURE E GLI STRUMENTI



LA MAGNETOMETRIA IN ITALIA



ITALIA

**CAMPO MAGNETICO
TOTALE**

Grid 2x2 km

~ 600000 km²

56 Rilievi

(1974 – 2003)

SCOPI DEGLI STUDI MAGNETOMETRICI

Gli studi magnetometrici hanno fra i principali scopi:

- **Individuazione di giacimenti petroliferi;**
- **Studio tettonico e geodinamico;**
- **Studio di bacini sedimentari;**
- **Indagini archeologiche;**
- **Presenza di vulcani e vulcaniti;**
- **Indagini ambientali (p.e. fusti sepolti);**
- **Indagini militari (p.e. bombe abbandonate)**

SISMICA

Le prospezioni sismiche appartengono al settore delle indagini indirette che si occupano dell'esplorazione del sottosuolo attraverso lo studio della propagazione di onde elastiche **appositamente generate in superficie, SISMICA ATTIVA**, o sfruttando sorgenti di sollecitazioni naturali (**SISMICA PASSIVA o SISMOLOGIA – i Terremoti**).

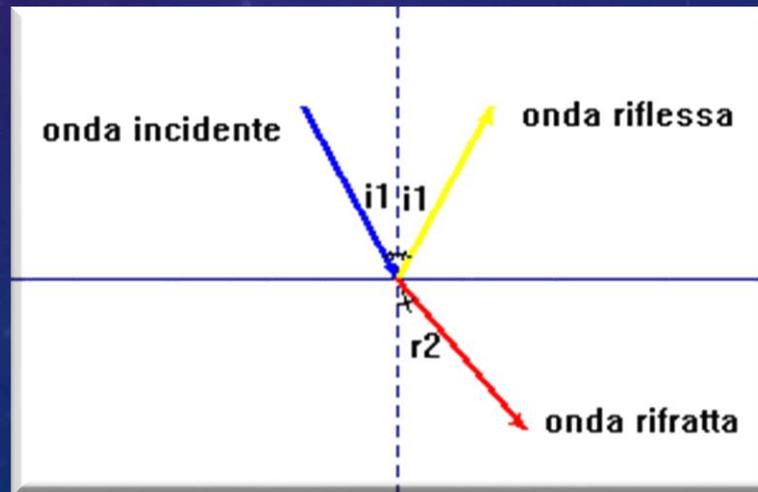
Le metodologie della **SISMICA ATTIVA** si basano sulla tecnica di **generare onde sismiche** in un punto del terreno o in mare e di rilevarne il percorso nel sottosuolo fino all'arrivo in altri punti posti in superficie, mediante sensori (**Geofoni**). Attraverso lo studio delle **Velocità** si può risalire alla disposizione geometrica e alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi (rocce) presenti al di sotto della zona di indagine.

LA LEGGE DI SNELL

Nell'approssimazione dell'ottica geometrica, se consideriamo un raggio sismico che attraversa la superficie di separazione fra due mezzi diversi si genera un'onda riflessa (con angolo d'incidenza uguale a quello di riflessione) ed un'onda rifratta secondo la legge di **SNELL**:

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

dove i_1 e r_2 sono gli angoli dell'onda incidente e di quella rifratta, v_1 e v_2 le velocità delle onde nel primo e nel secondo mezzo.



LA VELOCITÀ

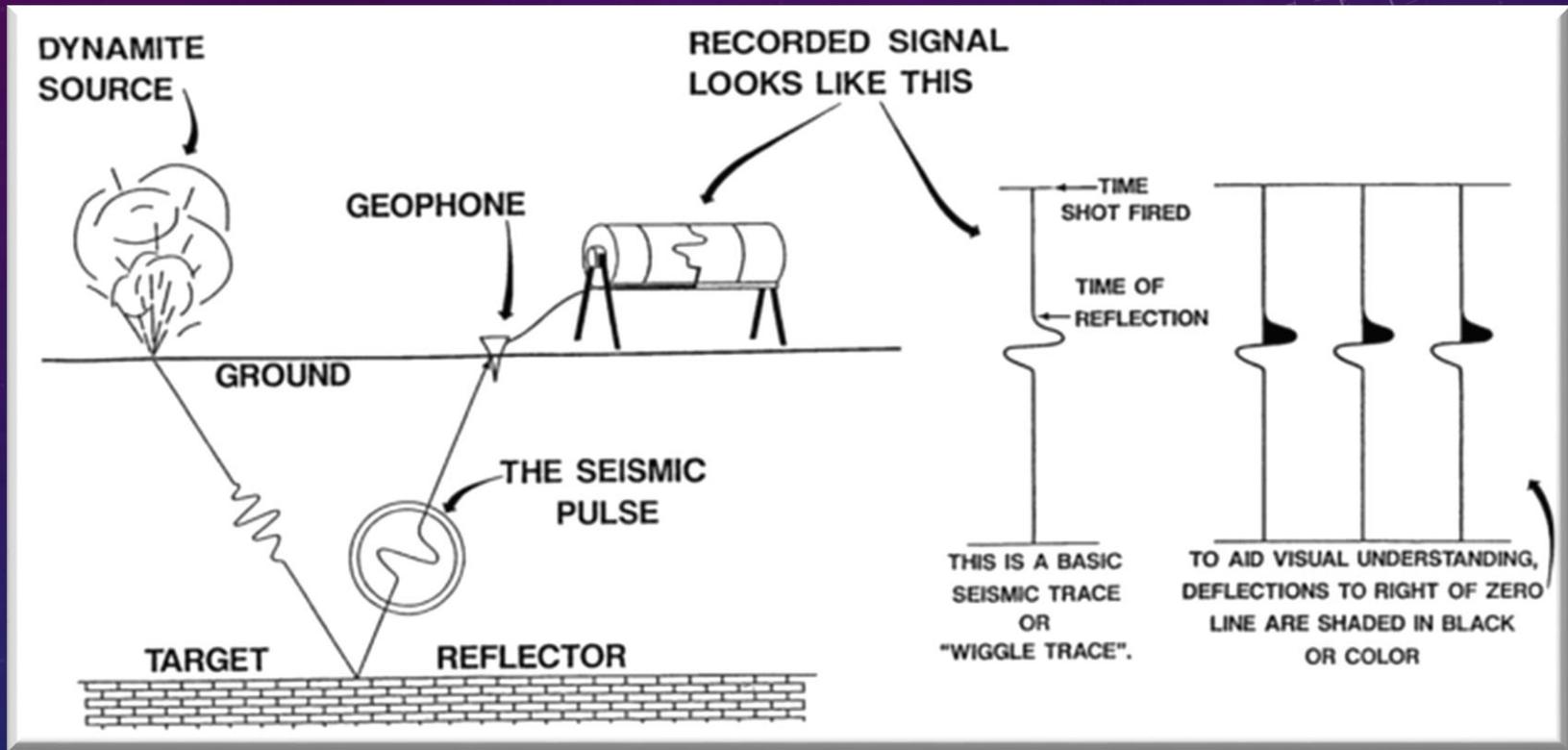
Grandezza fisica che misura istante per istante la rapidità del movimento di un corpo, valutabile in prima approssimazione dal rapporto tra il cammino percorso in un certo intervallo di tempo e l'intervallo stesso.

(Da enciclopedia Sapere)

$$v = s/t$$

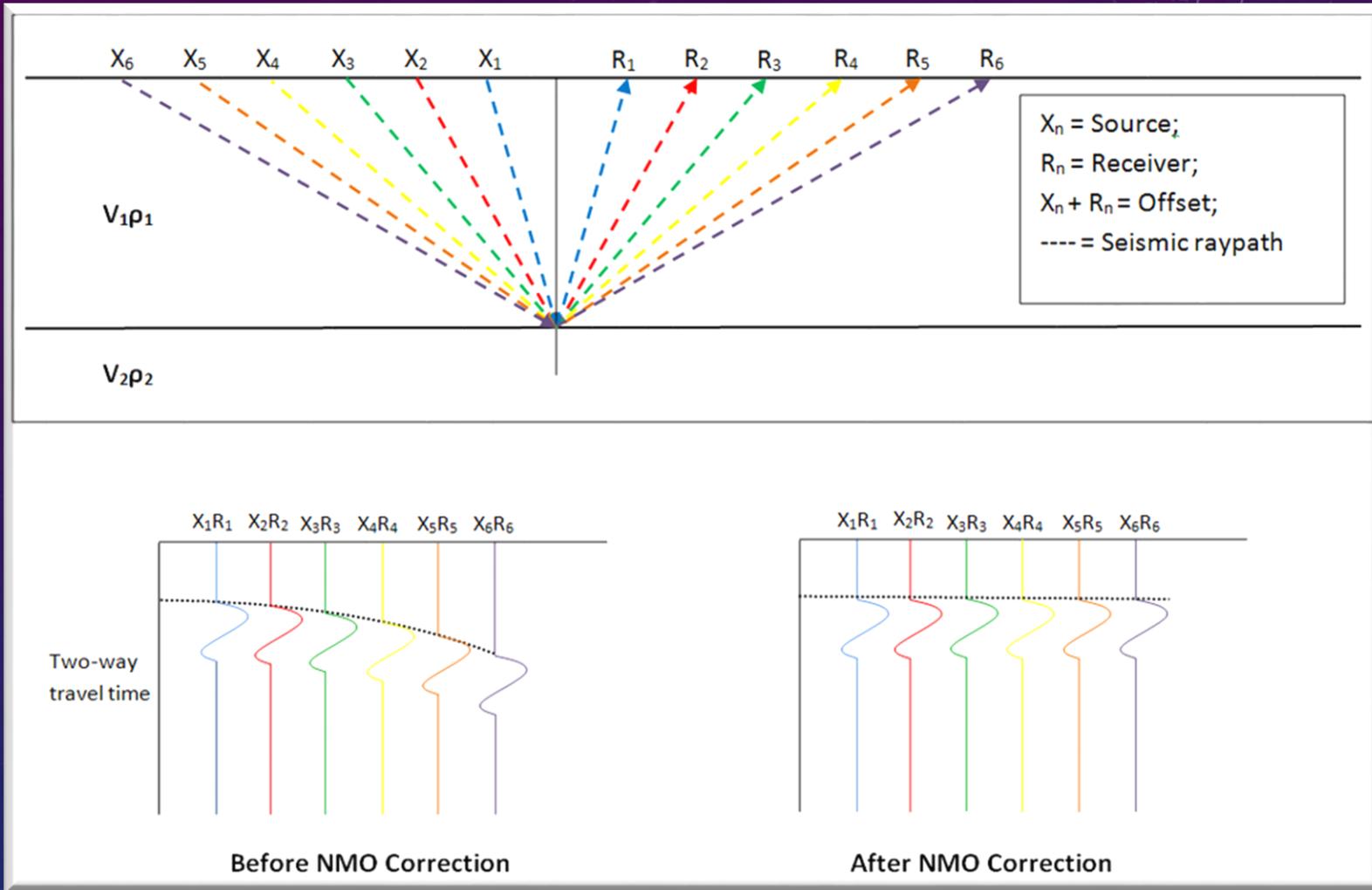
$$v = \frac{\text{spazio percorso}}{\text{tempo impiegato a percorrerlo}} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} = \frac{\text{metri}}{\text{secondo}}$$

LA VELOCITÀ



$$v = s/t$$

CORREZIONE NMO (Normal MoveOut)



In reflection seismology, **normal moveout (NMO)** describes the effect that the distance between a seismic source and a receiver (the offset) has on the arrival time of a reflection in the form of an increase of time with offset.

RILIEVI SISMICI - TIPI

I rilievi sismici, vengono acquisiti essenzialmente per scopi minerari (Esplorazione Petrolifera) e per scopi geologico-strutturali sia in terra sia in mare.

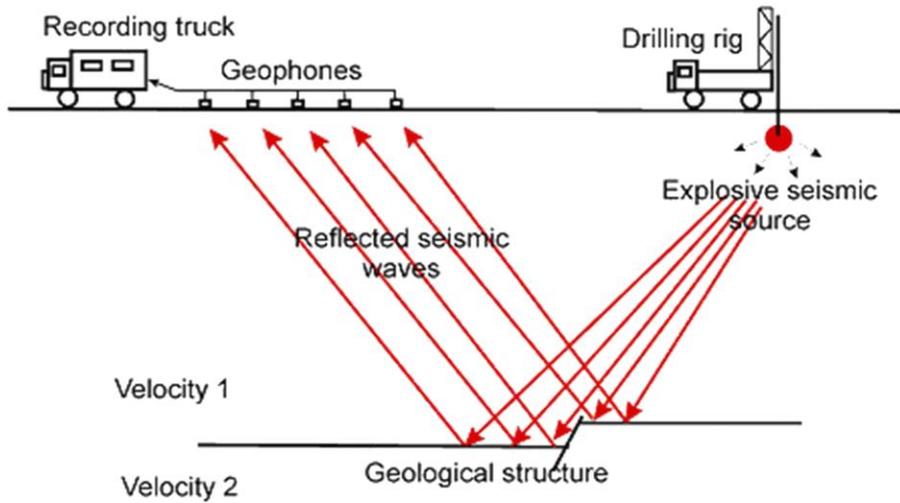
L'energia per poter essere trasmessa deve essere a contatto con la superficie.

IN TERRA: **Esplosivo**
 Vibroseis

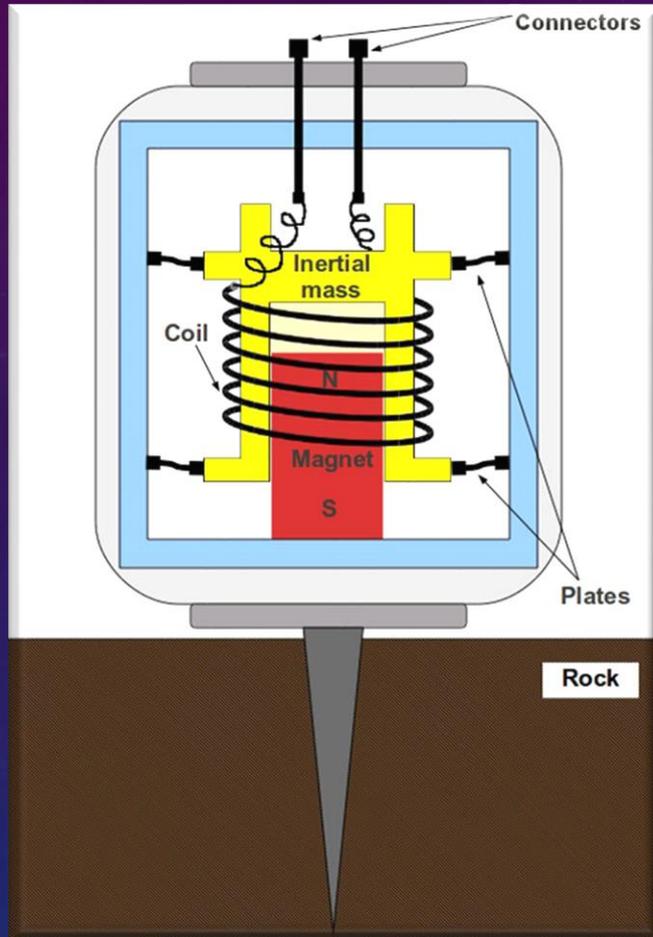
IN MARE: **Air Gun**

ESPLOSIVO - TERRA

Seismic reflection profiling



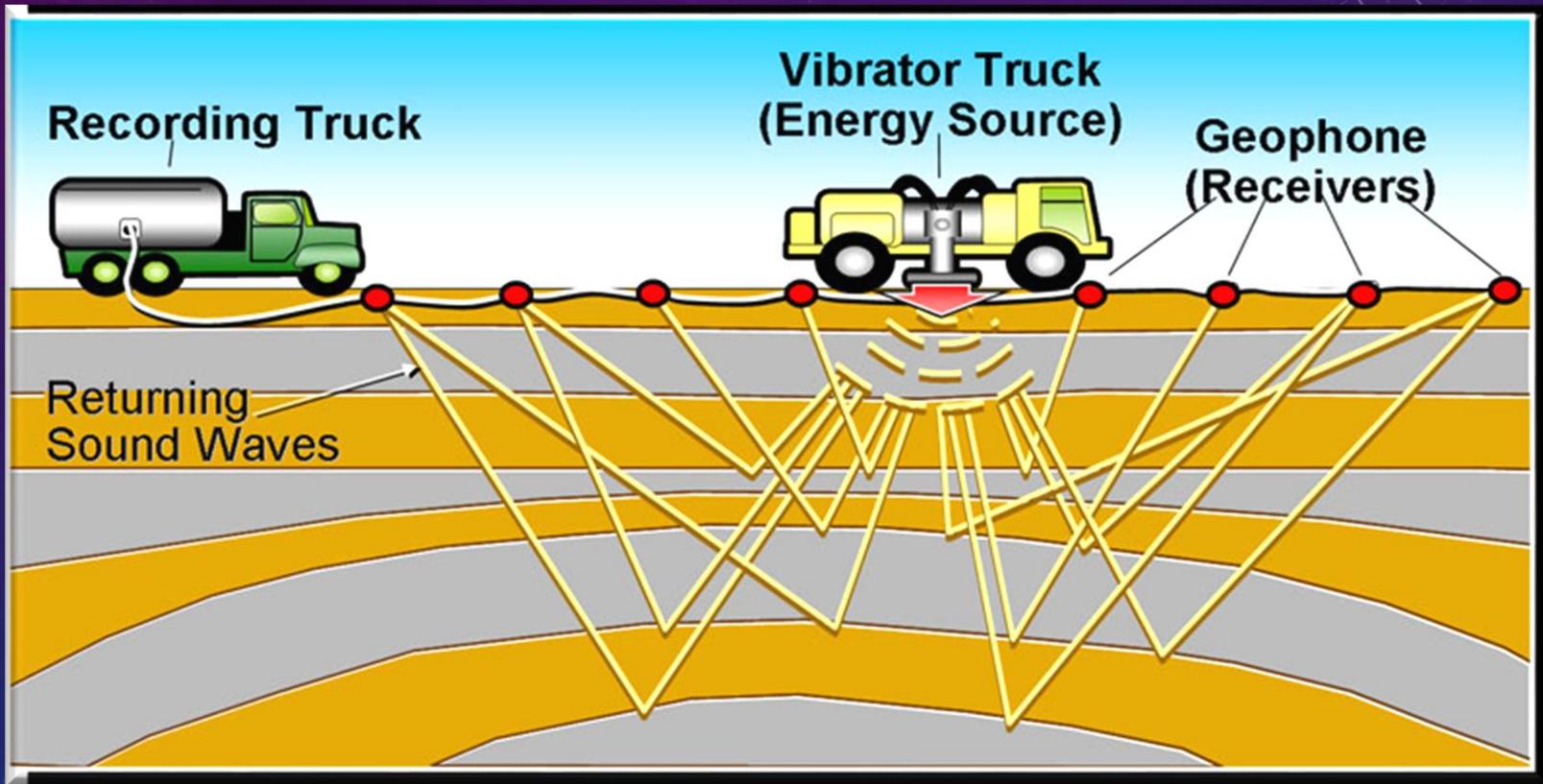
GEOFONI



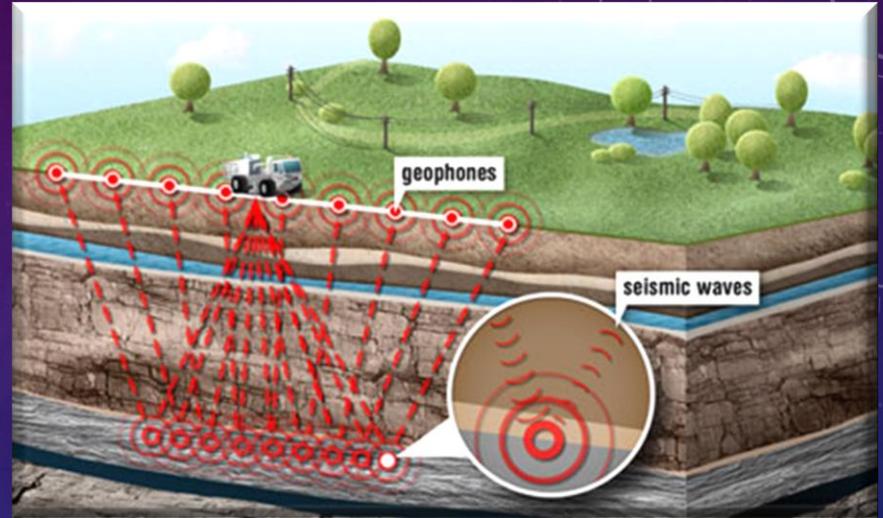
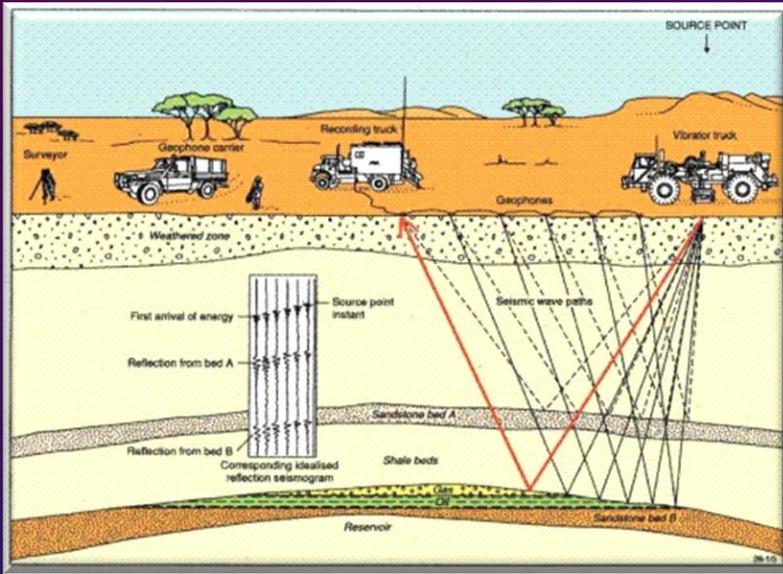
VIBROSEIS - TERRA



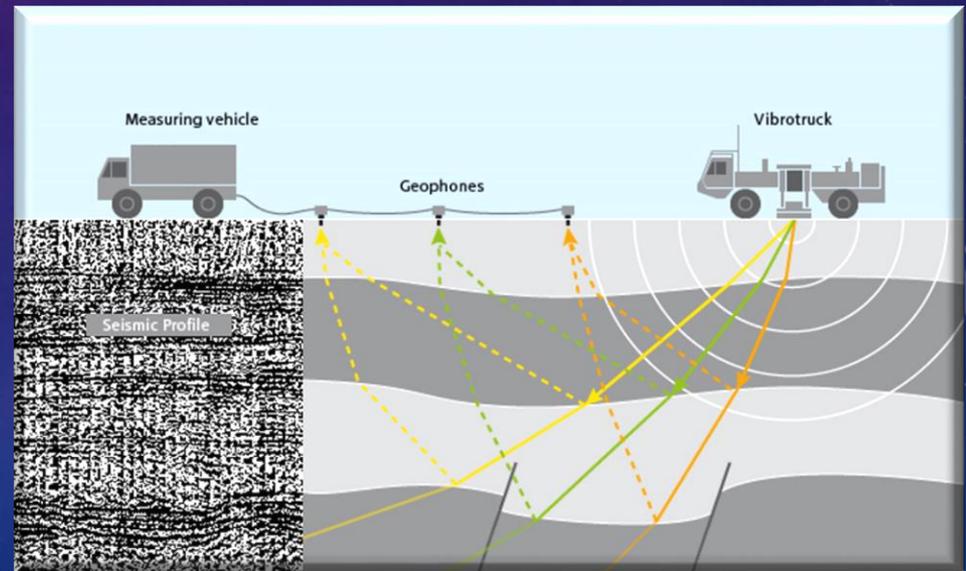
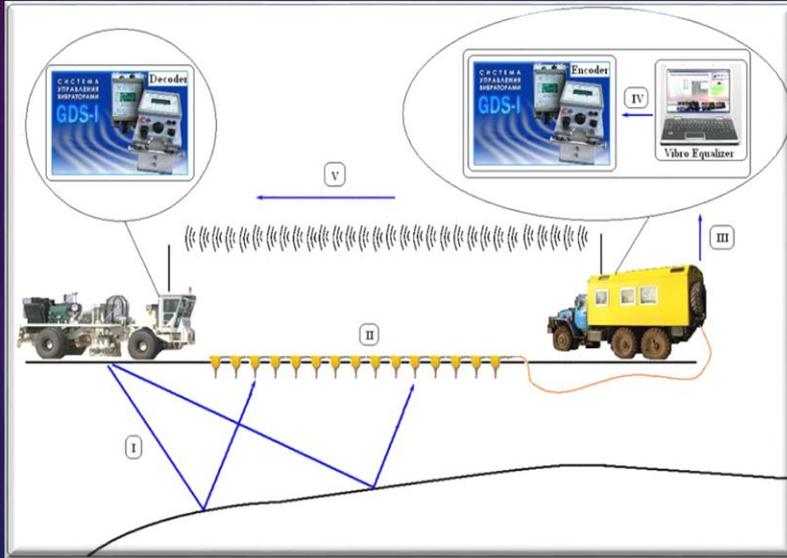
VIBROSEIS - TERRA



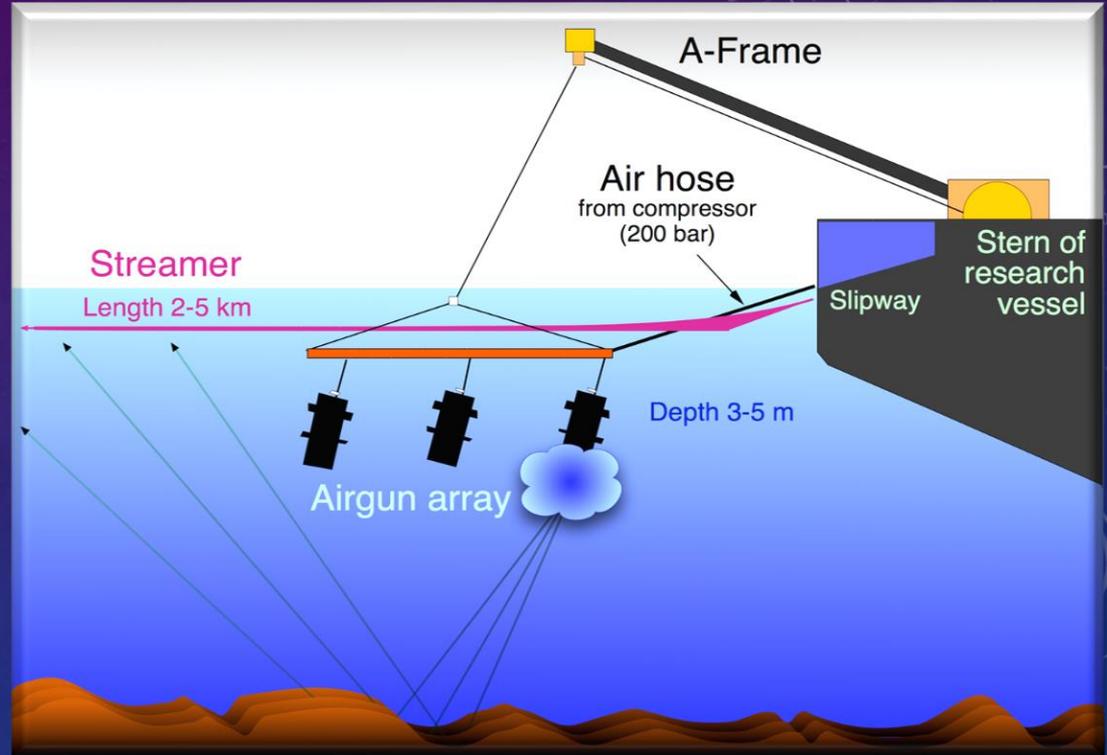
VIBROSEIS - TERRA



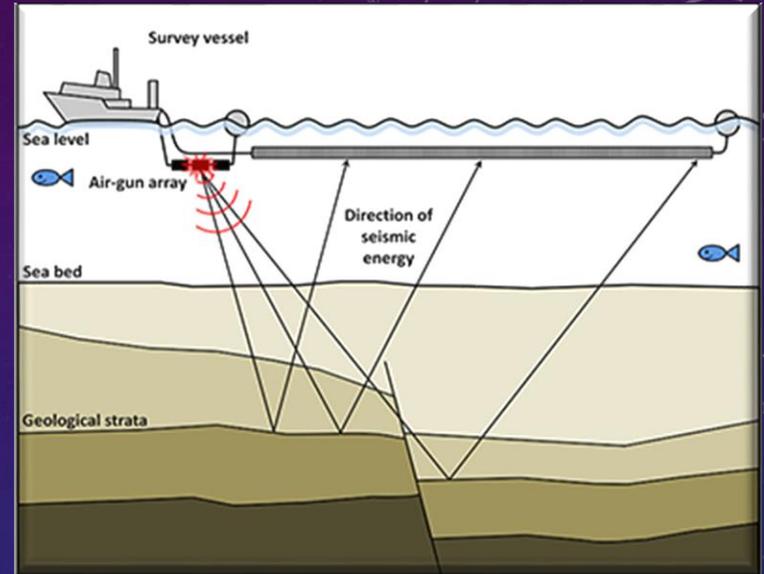
VIBROSEIS - TERRA



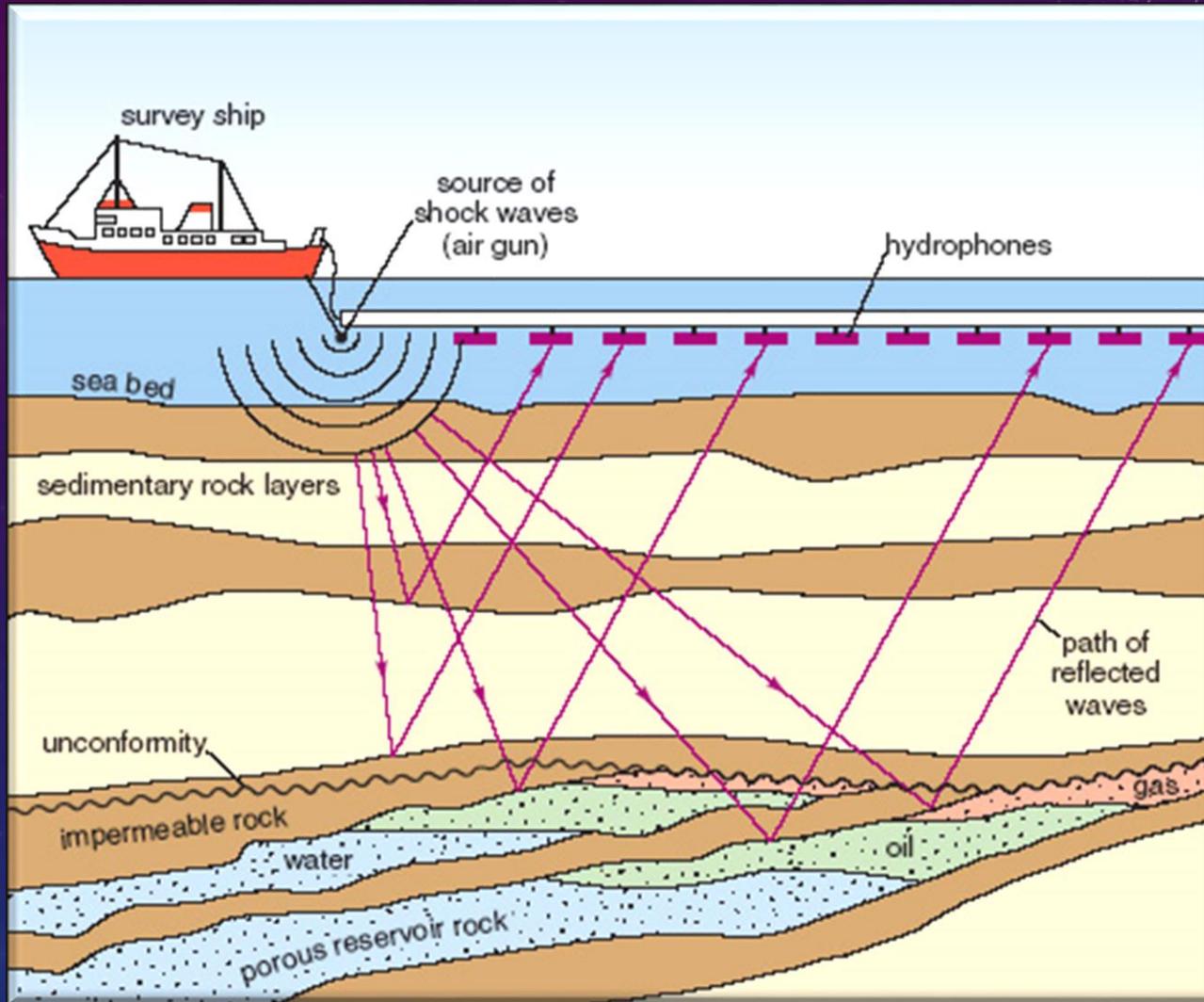
AIR GUN - MARE



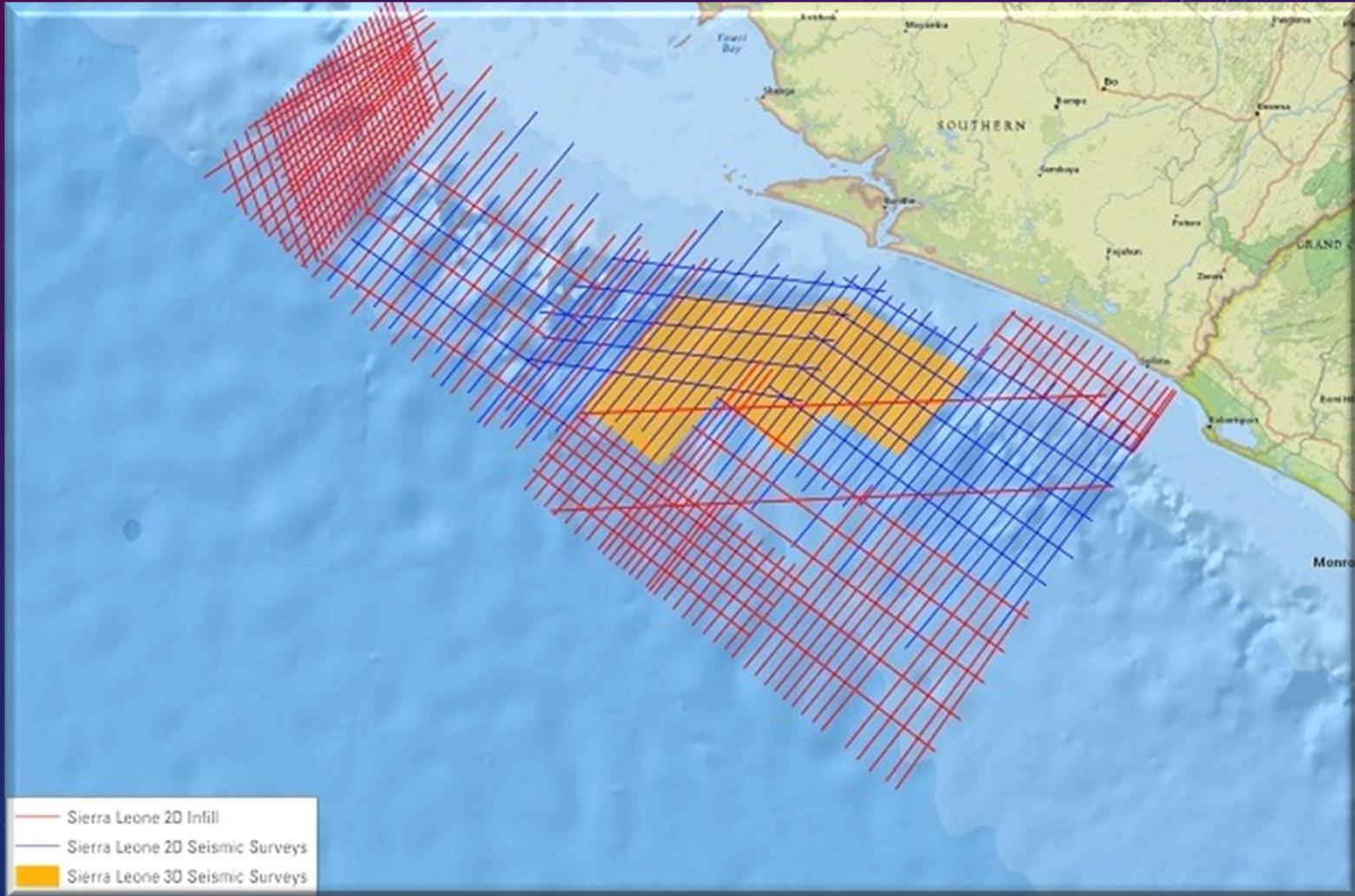
IDROFONI



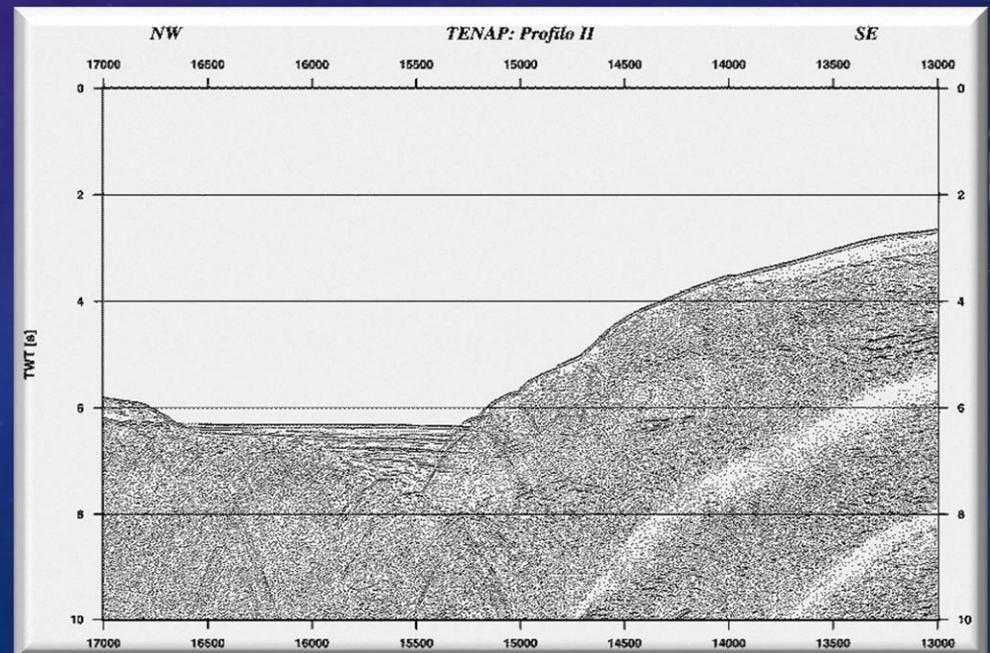
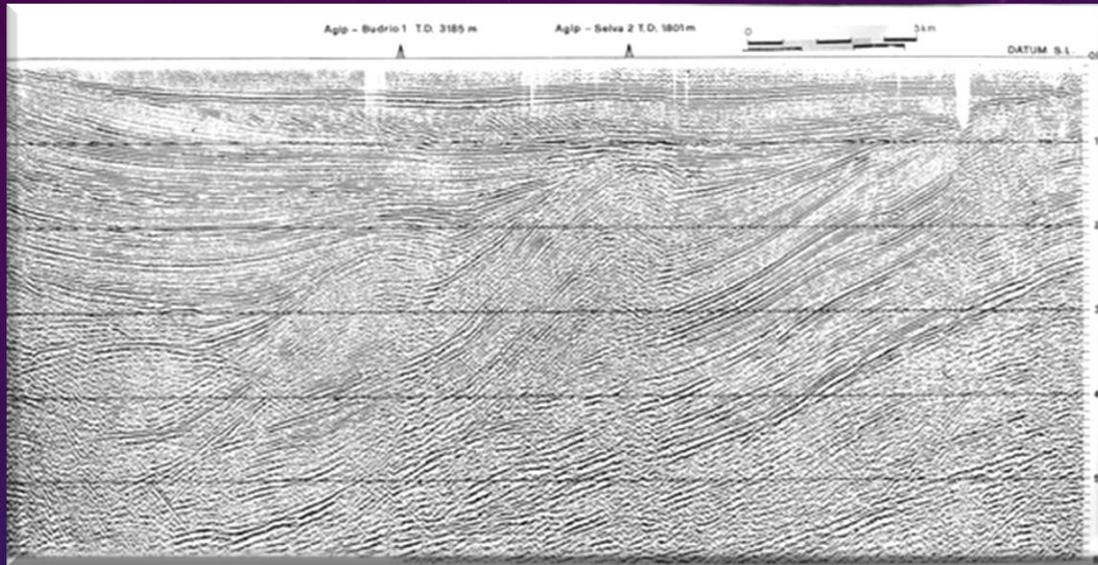
AIR GUN - MARE



SEISMIC MARINE SURVEY



SEZIONI SISMICHE



SEZIONI SISMICHE ED INTERPRETAZIONE

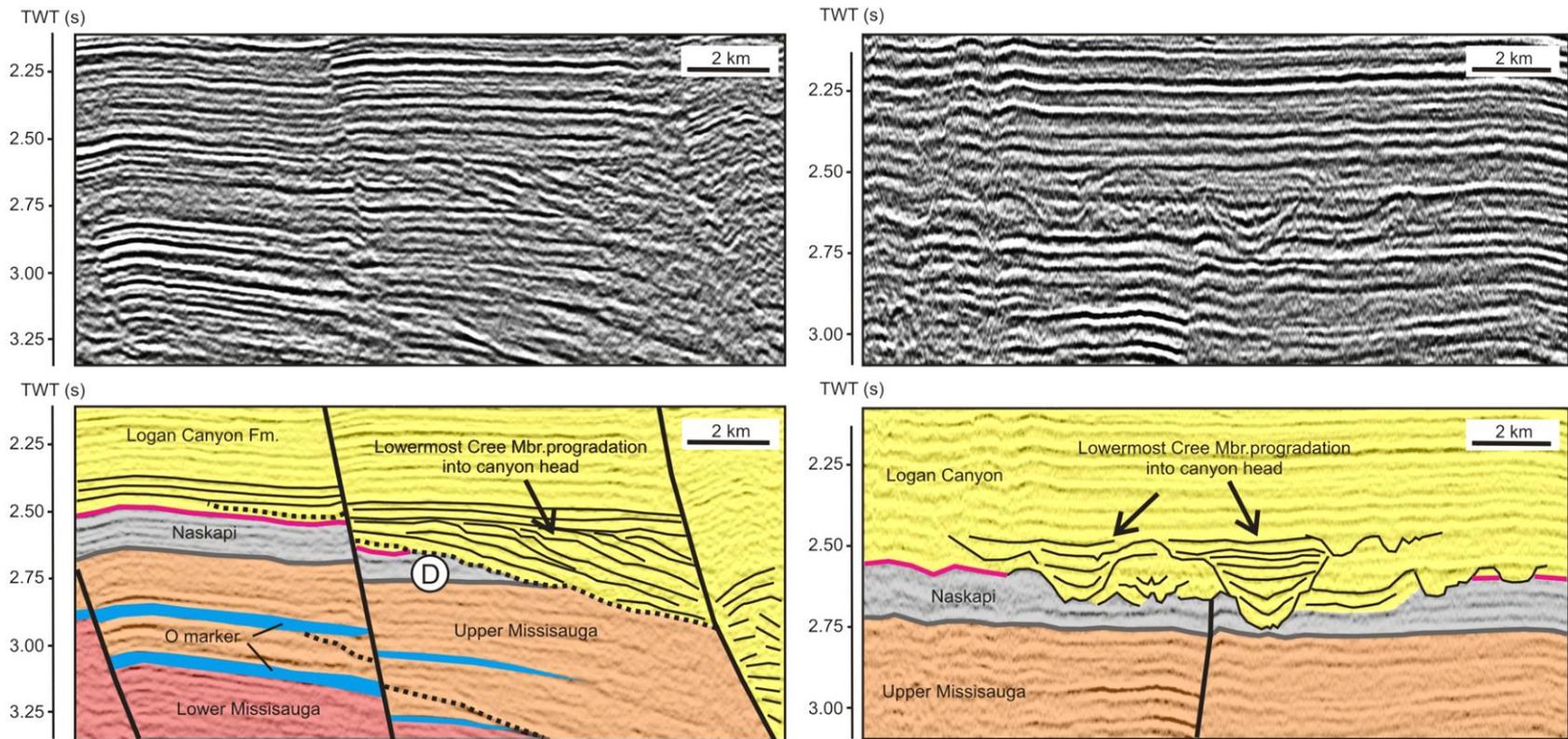


Figure 24 - Uninterpreted and interpreted dip (left) and strike (right) seismic profiles of lowermost Cree member progradation into a late Aptian/early Albian canyon head. A deeper Upper Missisauga canyon head (Canyon system C) is also noted.

SEZIONE SISMICA ED INTERPRETAZIONE

