

Geofisica

Scienze Geologiche

AA 2019-2020

Corso di LT, Dip. Di Fisica e Scienze della Terra,
Università di Ferrara.

Docente: Prof. Nasser Abu Zeid

Studio: studio 215, lab. 205, Il piano, Blocco B

E-mail: a.nasser@unife.it

Orario di ricevimento: disponibile sempre previa appuntamento

Lunedì: 16.00-17.00

Martedì: 12.00-13.00

metodi gravimetrici

parte 4

Variazione di g – fattori:

1. Forma della terra
2. Superficie irregolare della terra
3. Effetto latitudine
4. Forza centrifuga
5. Effetto maree e maree terrestri
6. Errori strumentali noti come:
deriva degli strumenti

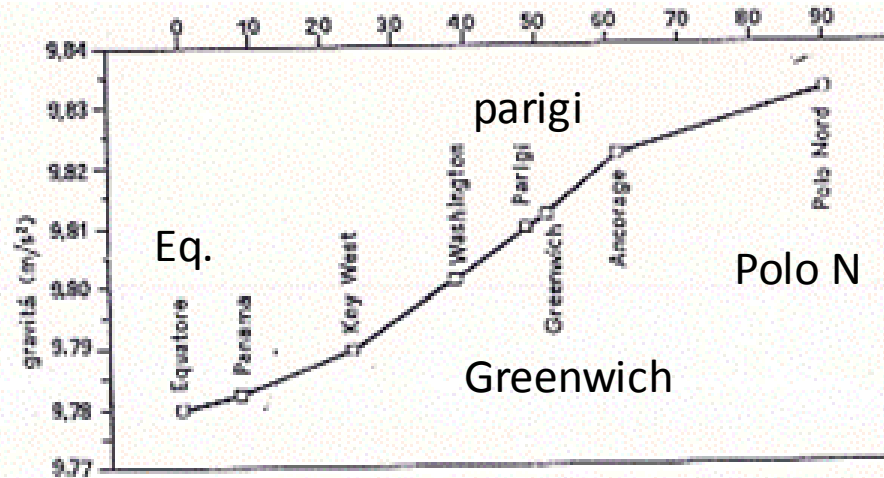
A causa di fattori ambientali non perfettamente controllati: temperatura, pressione e degrado componenti strumentali

Variazione di g – fattori:

3. Effetto latitudine

4. Forza centrifuga

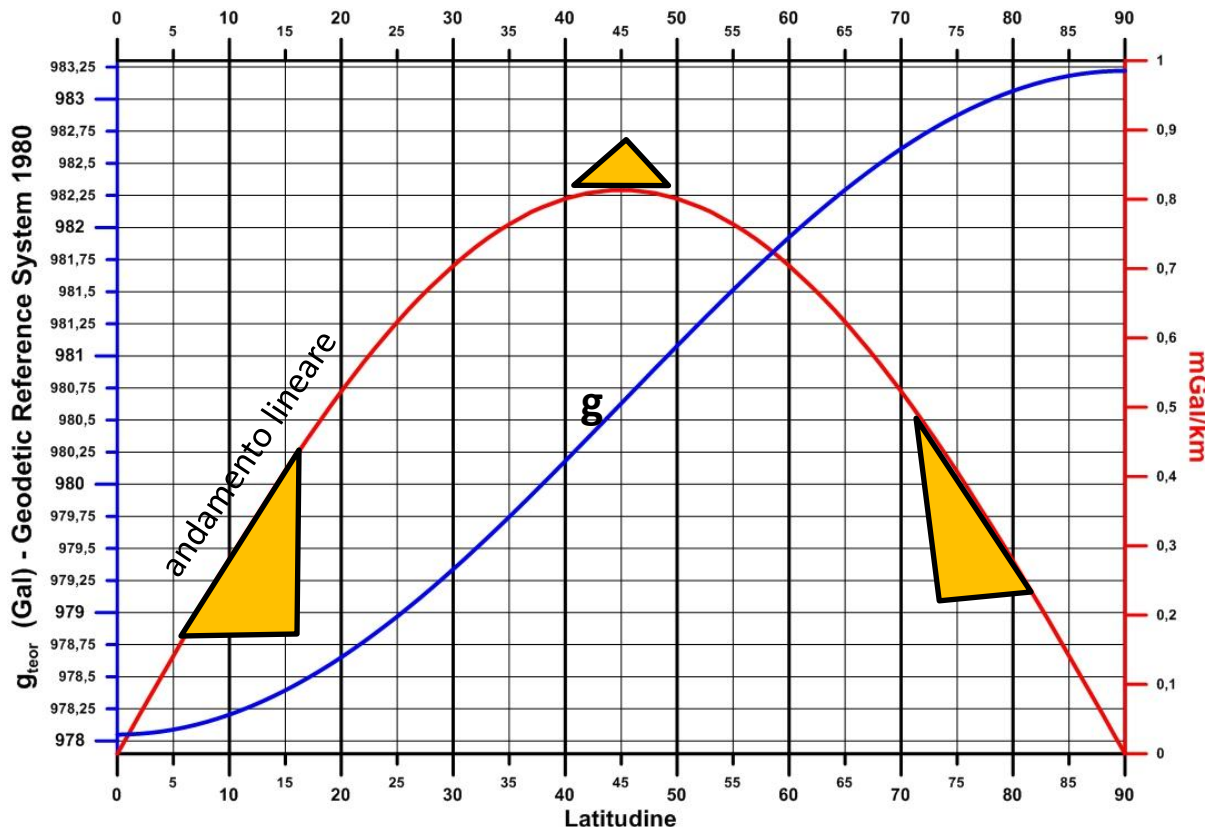
Variazione di g lungo il percorso equatore – polo nord



L'accelerazione di gravità varia da punto a punto nello spazio e, nello stesso punto, varia nel tempo se avvengono delle variazioni nel sottosuolo del punto di misura.

Fattori che influenzano le variazioni spaziali dell'accelerazione di gravità:

Latitudine: poiché la Terra non è un corpo sferico, il suo raggio decresce dall'Equatore ai Poli (**schacciamento geometrico = $R_E - R_P / R_E$**)-differenza è di 21 km, inoltre la Terra ruota attorno al proprio asse di rotazione e la forza centrifuga diminuisce dall'Equatore ai Poli: conseguentemente il valore dell'accelerazione di gravità aumenta dall'Equatore ai Poli in accordo con la seguente relazione:



Equazione valida per Superfici di limitata estensione <2km

$$\Delta g_{LAT} = 0.813 \sin(2\varphi)$$

(mgal / km)

Errore: ~ 0.01 mgal/10 m
Può essere superiore quando L'area da investigare è molto vasta

Correzioni gravimetriche:

I dati di accelerazione di gravità sperimentalmente raccolte, mediante strumentazione dedicata 'gravimetri' devono essere corretti prima di calcolare le diverse anomalie di gravimetriche

Correzioni gravimetriche: osservazioni:

- **il dato osservato di g si misura a quota diversa da quella del l.m.m.;**

La quota $> 0 < \text{l.m.m.} \Rightarrow$ modifica la lunghezza del raggio terrestre

- **Il dato di g si misura sulla superficie del terreno (a terra) quindi tra la quota della punto di misura ed il l.m.m. ci sono masse;**

lo spessore delle masse (quota punto misura) $> \text{l.m.m.}$ contribuisce all'incremento della g;

lo spessore delle masse (quota punto misura) $< \text{l.m.m.}$ contribuisce al decremento della g;

- **La forza di attrazione della luna e del sole contribuisce alla variazione di g**

Correzioni gravimetriche:

I dati di accelerazione di gravità sperimentalmente raccolte, mediante strumentazione dedicata '**gravimetri**' devono essere corretti prima di calcolare le diverse anomalie di gravimetriche

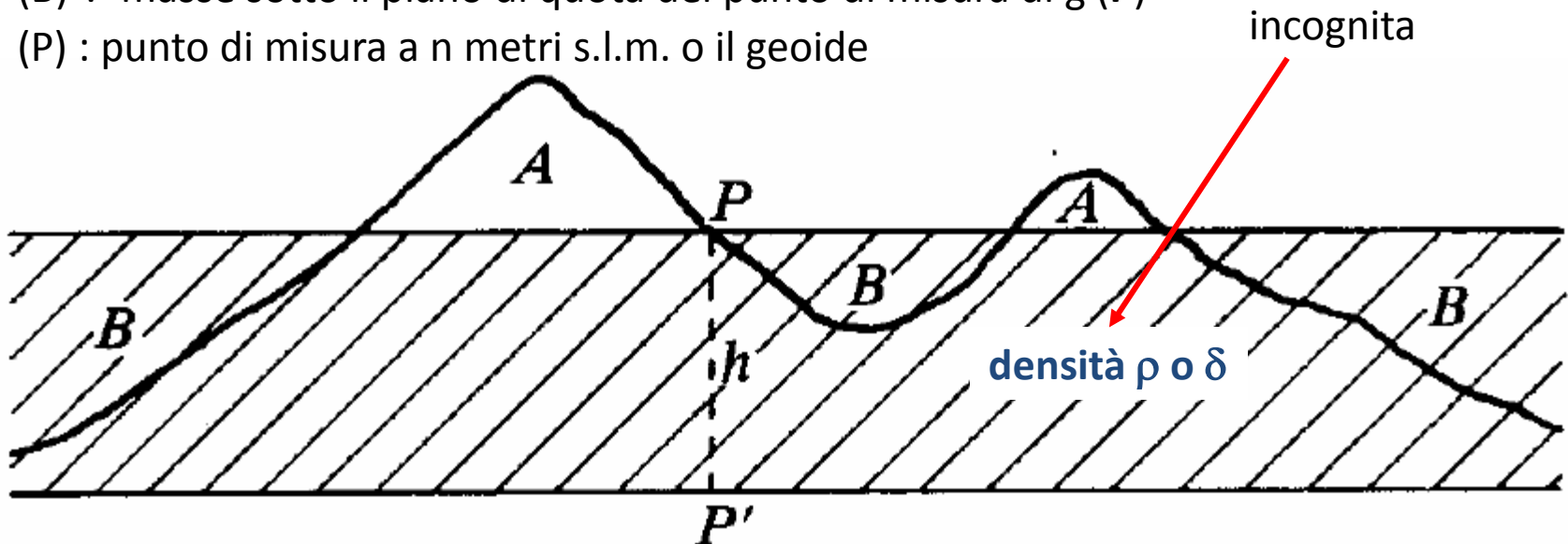
Questi effetti non sono previsti dal modello teorico per il calcolo della g_{normale} osservazioni:

Quindi per arrivare all'anomalia di gravità occorre compensare (o correggere) questi effetti per rendere il dato osservato confrontabile con il dato teorico.

(A) : +masse sopra il piano di quota del punto di misura di g (P)

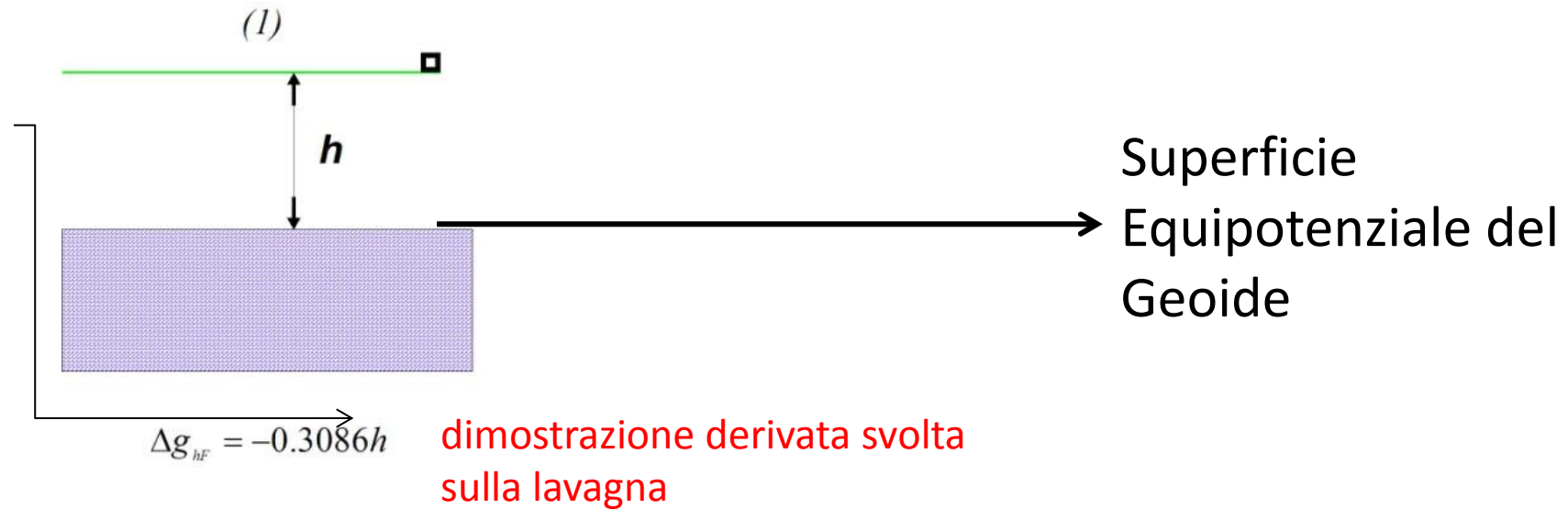
(B) : -masse sotto il piano di quota del punto di misura di g (P)

(P) : punto di misura a n metri s.l.m. o il geoide



Derivazione: correzione in Aria libera
o di **Faye**

Quota: l'accelerazione di gravità in “aria libera” (1) **diminuisce**, al crescere della quota h , ma aumenta per la presenza di una “piastra” (2), di spessore h (la piastra). La quota può essere > 0.0 come < 0.0 l.m.m.



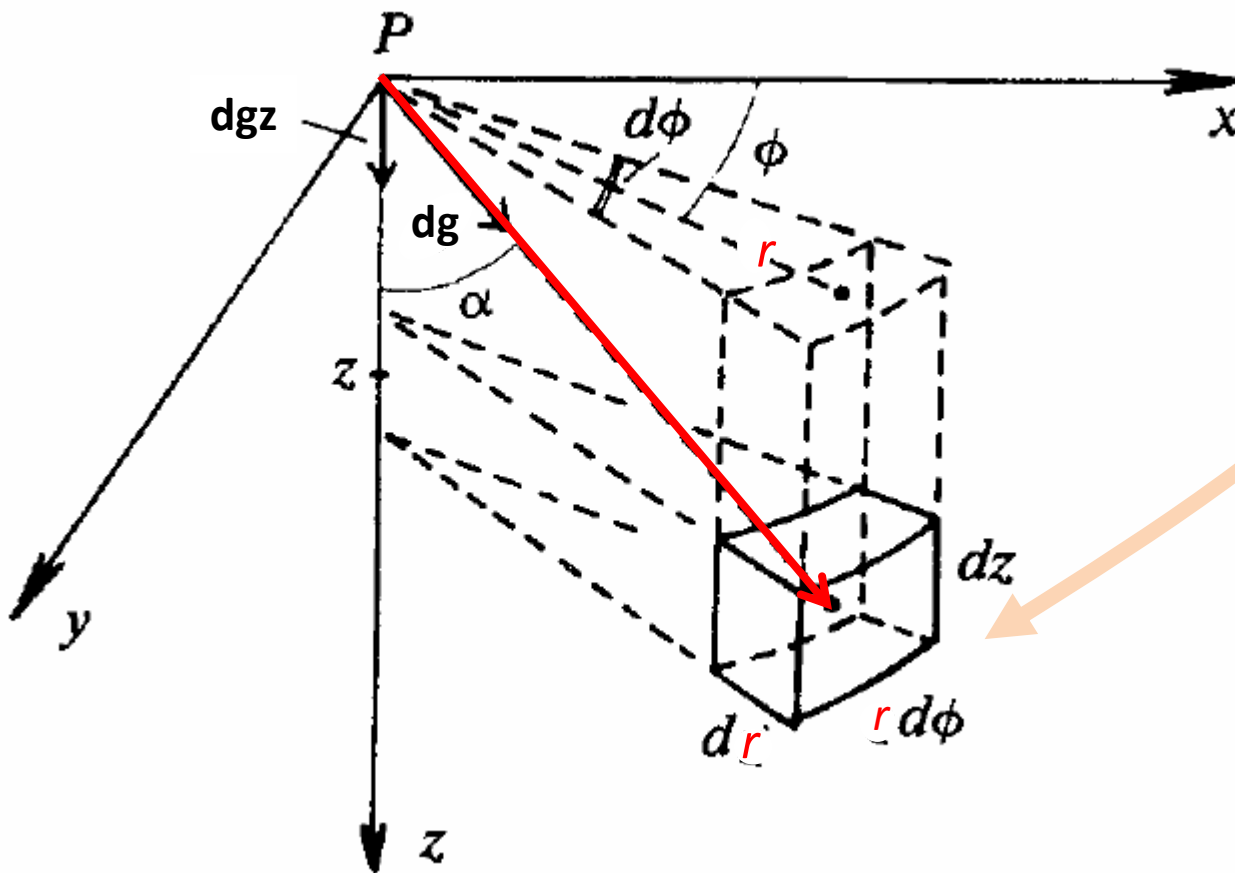
Correzione in aria libera va

- aggiunta alla $g_{osservata}$ se ($h > 0$)
- Sottratta quando $h < 0$

Un errore in h di 5 cm produce un errore in g pari a 0.01 mgal

Concetto: effetto gravimetrico della piastra di spessore elementare dz calcolato nel punto «P» stazione

Consideriamo, in un sistema di coordinate cilindriche, l'effetto dell'attrazione g_n nel punto $P(0,0,0)$ dovuta ad un elemento di massa (dm) con densità ρ e $dv=r d\phi dr dz$



$$\rho = M / V,$$

$$M = \rho * V$$

Concetto: effetto gravimetrico della piastra (calcolato nel punto «P» stazione)

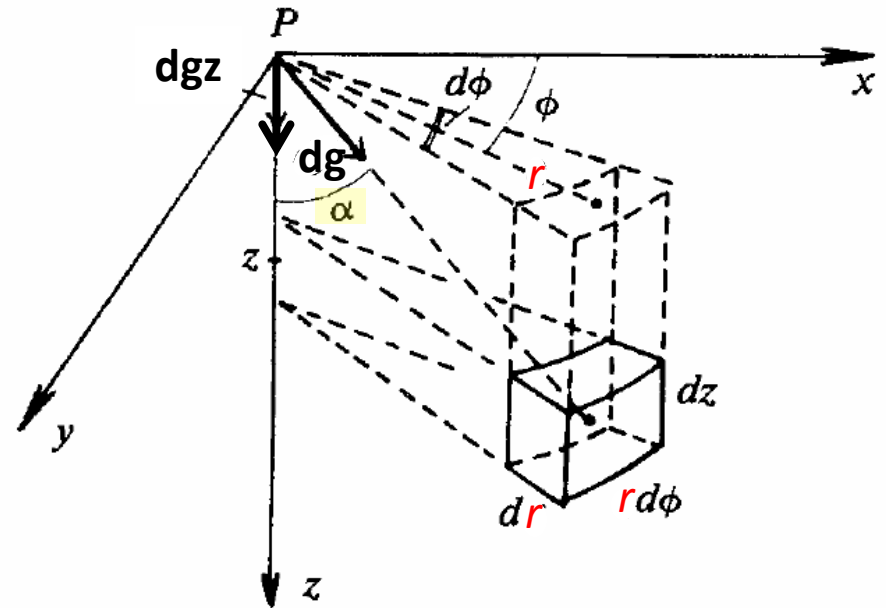
Consideriamo, in un sistema di coordinate cilindriche, l'effetto dell'attrazione g_n nel punto $P(0,0,0)$ dovuta ad un elemento di massa (dm) con densità ρ e $dv=r d\phi dr dz$

L'attrazione newtoniana esercitata da questa massa dm sull'unità di massa in $P(0,0,0)$ è quindi:

$$dg = G \frac{dm}{r^2} = G \frac{\rho dV}{r^2} = G\rho \frac{(r dr d\phi dz)}{(r^2 + z^2)}$$

la cui componente verticale vale

$$dg_z = G\rho \frac{(r dr d\phi dz)}{(r^2 + z^2)} \times \cos(\alpha)$$



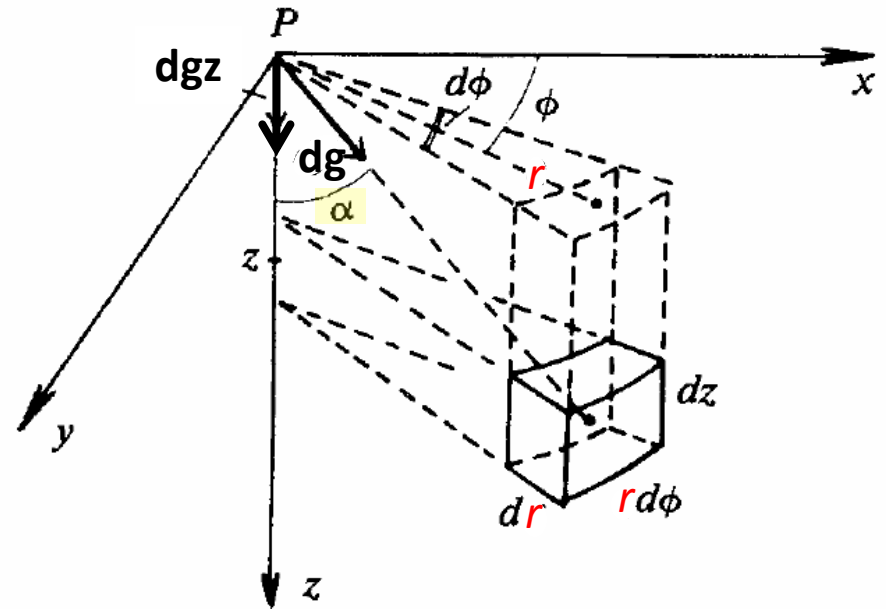
Il contributo di tutta la massa dal punto **P** all'infinito è dato dall'integrale:

Concetto: effetto gravimetrico della piastra (calcolato nel punto «P» stazione)

1  2  3

$$\begin{aligned} g_z &= G\rho \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^h z dz \int_0^\infty \frac{r dr}{(r^2 + z^2)^{3/2}} \\ &= 2\pi G\rho \int_0^h z dz \int_0^\infty \frac{r dr}{(r^2 + z^2)^{3/2}} \\ &= 2\pi G\rho \int_0^h z \left[-\frac{1}{\sqrt{(r^2 + z^2)}} \right]_0^\infty dz \\ &= 2\pi G\rho \int_0^h z \frac{1}{z} dz \end{aligned}$$

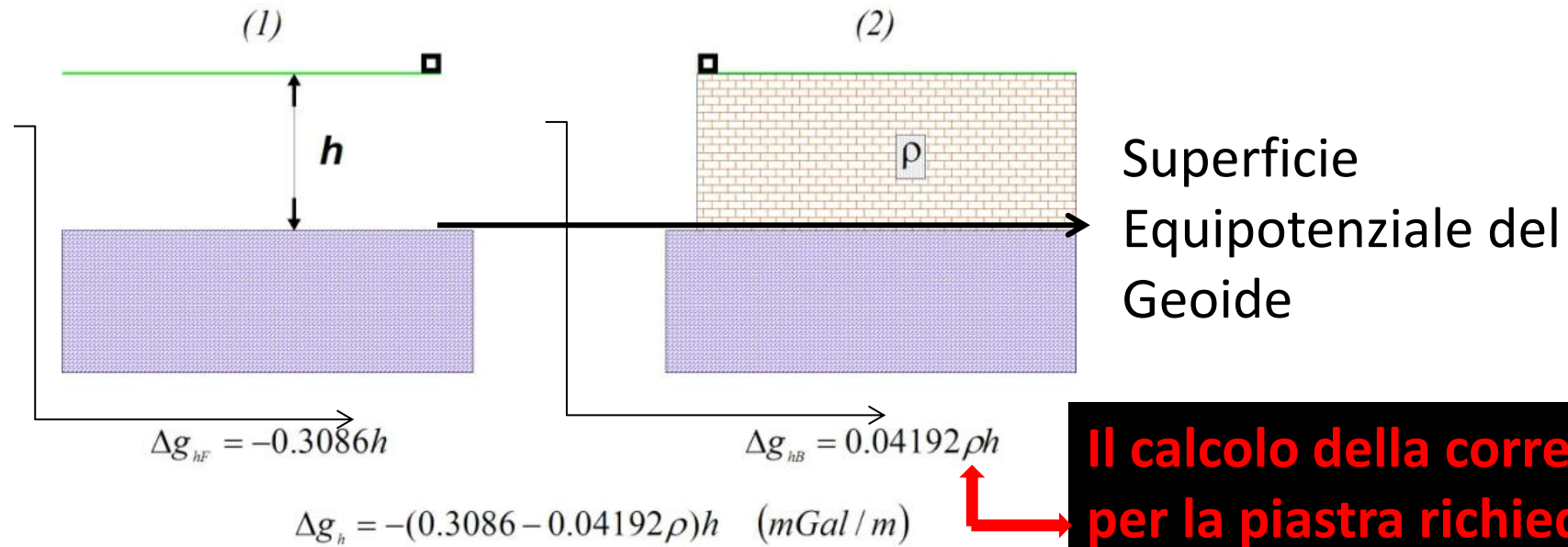
$$= 2\pi G\rho h$$



La Correzione per la piastra dipende:

(1) dalla quota sopra/sotto il geode e (2) dalla densità

Quota: l'accelerazione di gravità in “aria libera” (1) **diminuisce**, al crescere della quota h , ma aumenta per la presenza di una “piastra” (2), di spessore h (la piastra). La quota può essere > 0.0 come < 0.0 l.m.m.



Il calcolo della correzione per la piastra richiede la conoscenza della densità

Correzione in aria libera va

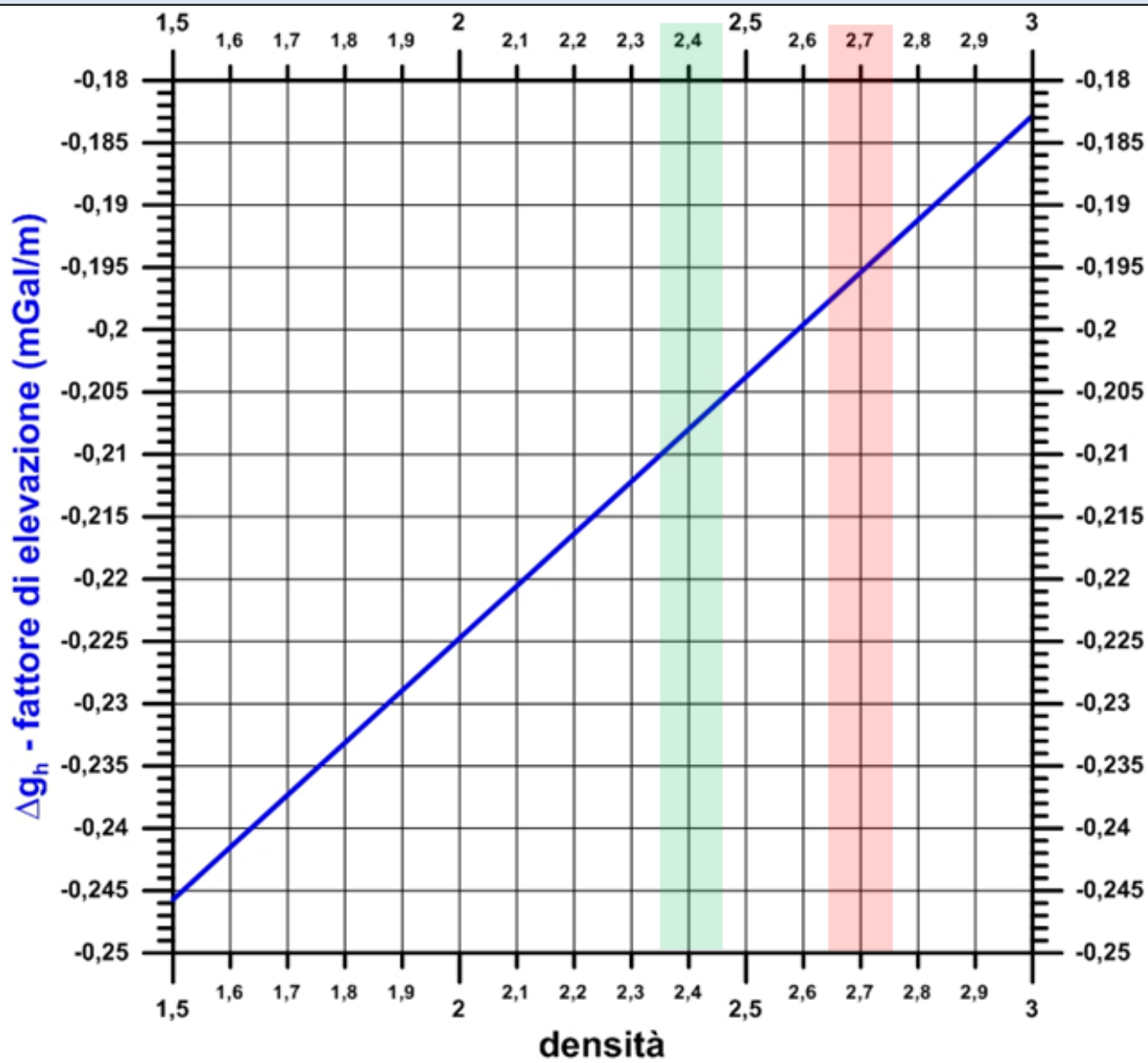
- aggiunta alla $g_{osservata}$ se ($h > 0$)
- Sottratta quando $h < 0$

Correzione di Bouguer o per la piastra

- Va sottratta alla $g_{osservata}$ se ($h > 0$)
- Aggiunta quando $h < 0$

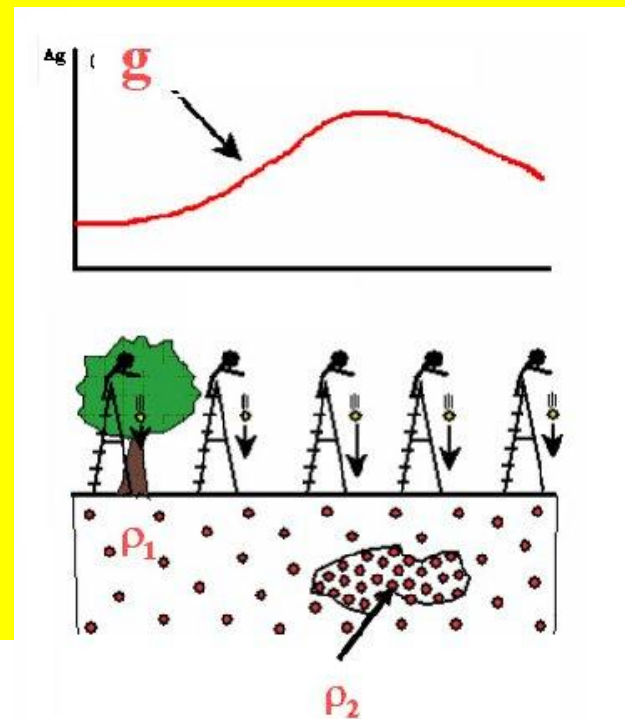
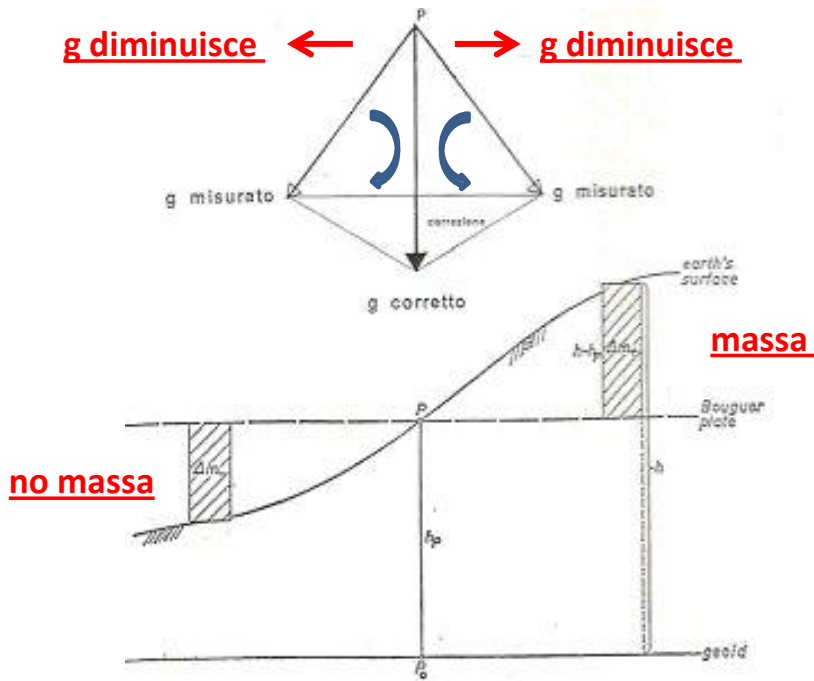
Un errore in h di 5 cm produce un errore in g pari a 0.01 mgal

effetto della densità sul valore della correzione in aria libera (1) e per la piastra (2)



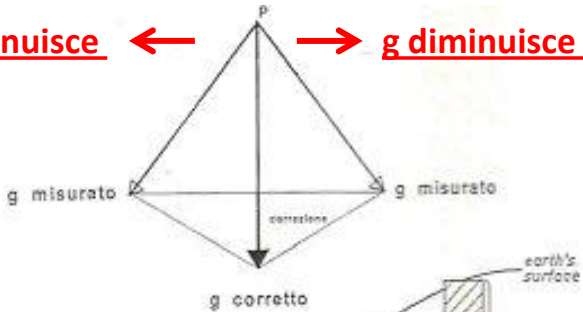
Effetti topografici: la presenza di irregolarità topografiche (montagne, valli, ma anche edifici) riduce il valore dell'accelerazione di gravità

Densità: variazioni laterali di densità determinano un aumento del valore dell'accelerazione di gravità **nel caso di $\rho_2 > \rho_1$** , una diminuzione nel caso in cui $\rho_2 < \rho_1$

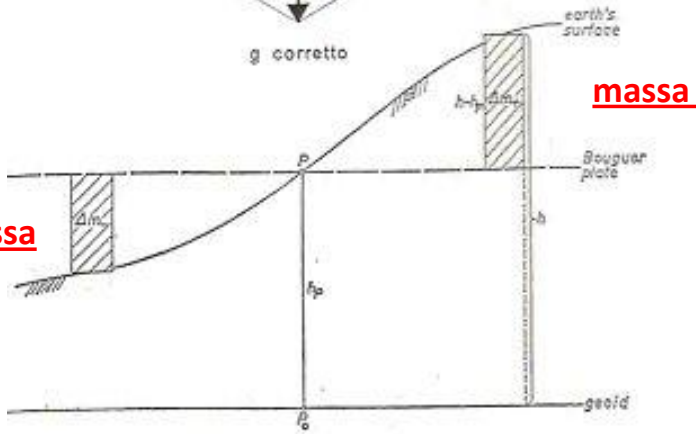


Effetti topografici: la presenza di irregolarità topografiche (montagne, valli, ma anche edifici) riduce il valore dell'accelerazione di gravità

g diminuisce ← → g diminuisce

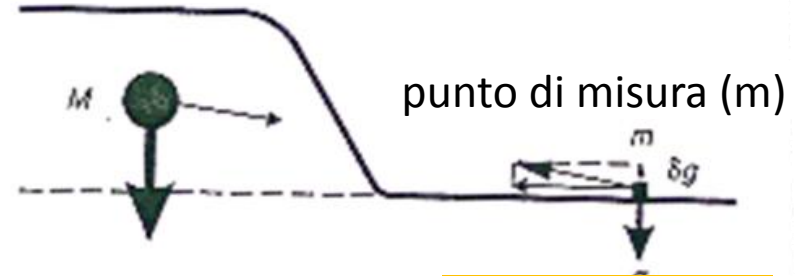


no massa

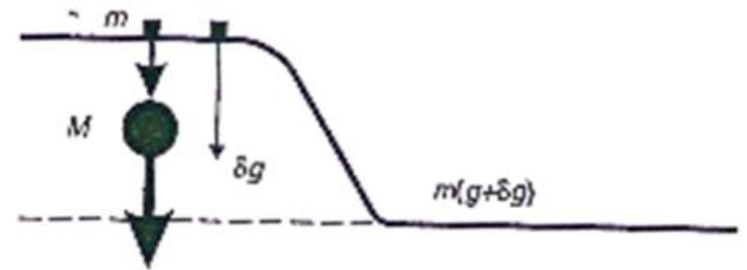


Effetti topografici: in relazione alla posizione dello strumento «Gravimetro» rispetto alla topografia delle masse presenti sopra il geode.

(A) Eccesso di massa



$$g(g_z - \delta g)$$



punto di misura (m)

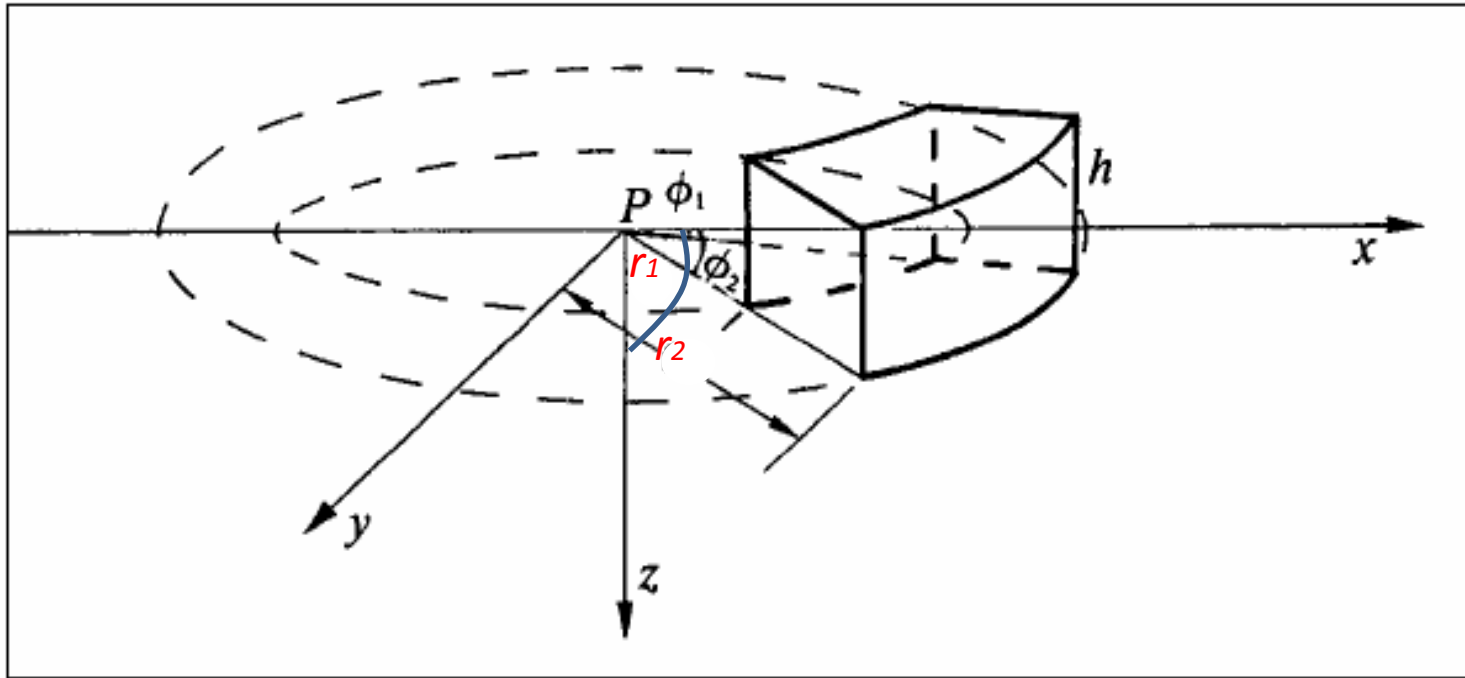


$$g(g_z - \delta g)$$

Correzione topografica:

Concetto del metodo noto con il nome **Hammer**

$$dg_z = G\rho \frac{(rdrd\phi dz)}{(r^2 + z^2)} X \cos(\alpha)$$



I rilievi vengono approssimati come piccoli elemento di massa il cui effetto gravitazionale viene quantificato integrando intorno all'asse z passante per ciascuno dei punti di misura della g, distanza r quindi lunghezza dell'elemento e la differenza di quota.

Quello che ci interessa è soltanto la componente verticale del contributo delle masse

Concetto topografia (Metodo Hammer):

$$g_z = G\rho \int_{\phi_1}^{\phi_2} d\phi \int_{r_1}^{r_2} r dr \int_0^h \frac{z dz}{(r^2 + z^2)^{3/2}}$$
$$= G\rho(\phi_2 - \phi_1) \int_{r_1}^{r_2} r \left[-\frac{1}{\sqrt{(r^2 + z^2)}} \right]_0^h dr$$

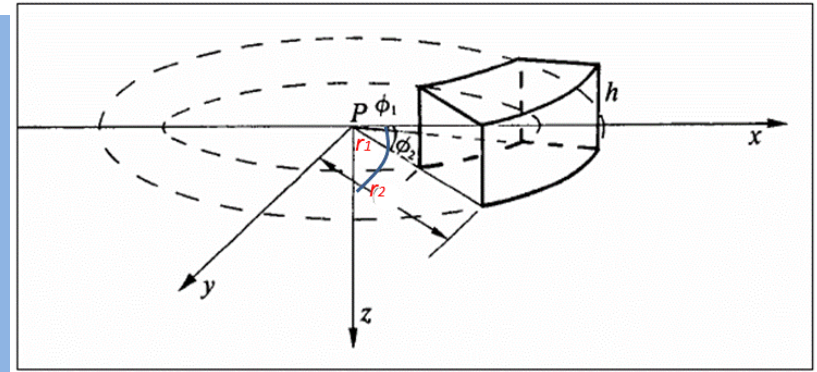
$$= G\rho(\phi_2 - \phi_1) \int_{r_1}^{r_2} r \left[-\frac{1}{\sqrt{(r^2 + z^2)}} \right]_0^h dr$$

$$= G\rho(\phi_2 - \phi_1) \int_{r_1}^{r_2} r \left[-\frac{1}{\sqrt{(r^2 + z^2)}} + \frac{1}{r} \right] dr$$

$$= G\rho(\phi_2 - \phi_1) \int_{r_1}^{r_2} \left[1 - \frac{r}{\sqrt{(r^2 + z^2)}} \right] dr$$

$$= G\rho(\phi_2 - \phi_1) \left[r - \sqrt{(r^2 + z^2)} \right]_{r_1}^{r_2}$$

$$= G\rho(\phi_2 - \phi_1) \left\{ (r_2 - r_1) + \sqrt{(r_1^2 + h^2)} - \sqrt{(r_2^2 + h^2)} \right\}$$



formula di Messerschmidt



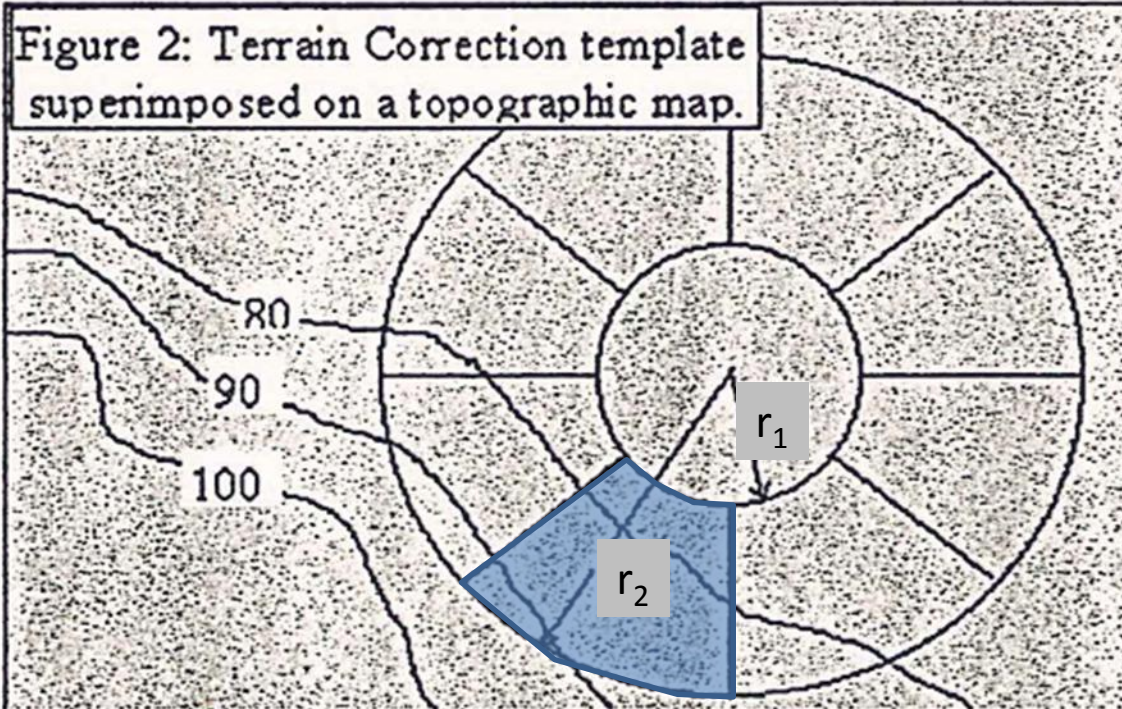
Correzione topografica: Tecnica numerica

Abaco per la correzione topografica con il metodo di Hammer:

La correzione deve essere effettuata per correggere l'effetto non completamente corretto della correzione di Bouguer.

r_2 : raggio esterno
 r_1 : raggio interno

h : differenza di quota
Tra il punto stazione e la
media del settore
considerato



$$= G\rho(\phi_2 - \phi_1) \left\{ r_2 - r_1 + \sqrt{(r_1^2 + h^2)} - \sqrt{(r_2^2 + h^2)} \right\}$$

Correzione di Eötvös (EC) in mgal per knot

La gravità teorica (o normale) **non tiene** conto della variazione di **g** quando si fanno misure gravimetriche **in mare o in volo!**

Il valore di **g** varia sia in direzione E (diminuisce) sia in quella W (aumenta).

Ammonta a ~ 0.1 mgal per knot in EW.

$$EC = [75.03V \sin \alpha \cos \phi + 0.04154V^2] 10^{-3}$$

V: velocità navigazione (knot = 1.852 km/ora)

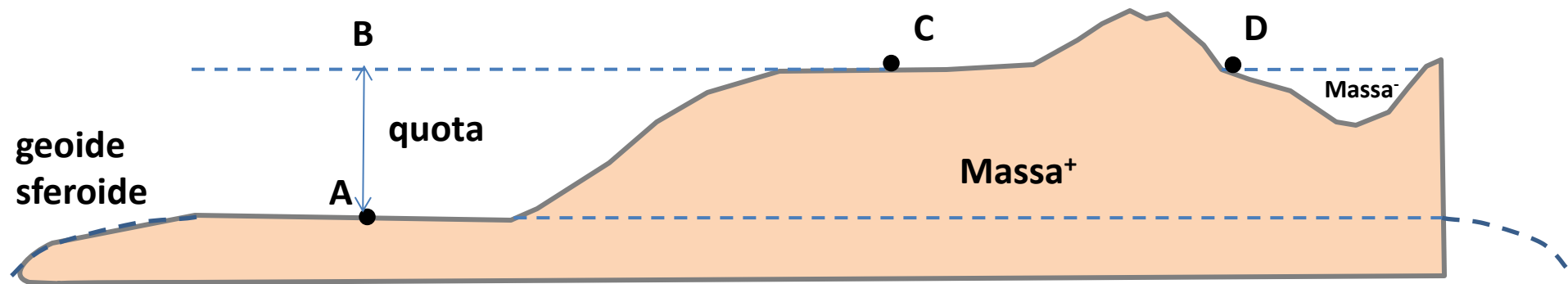
α : direzione di navigazione

ϕ : latitudine

Riassumendo: Per indagini gravimetriche a terra

Correzione per la latitudine: g aumenta verso i poli (978-983 gal circa 5200 mgal)

Correzione in Aria libera: g decresce con $h > 0$ e aumenta con $h < 0$



Correzione per la piastra: g aumenta con $h > 0$ e diminuisce con $h < 0$

Correzione topografica: g diminuisce

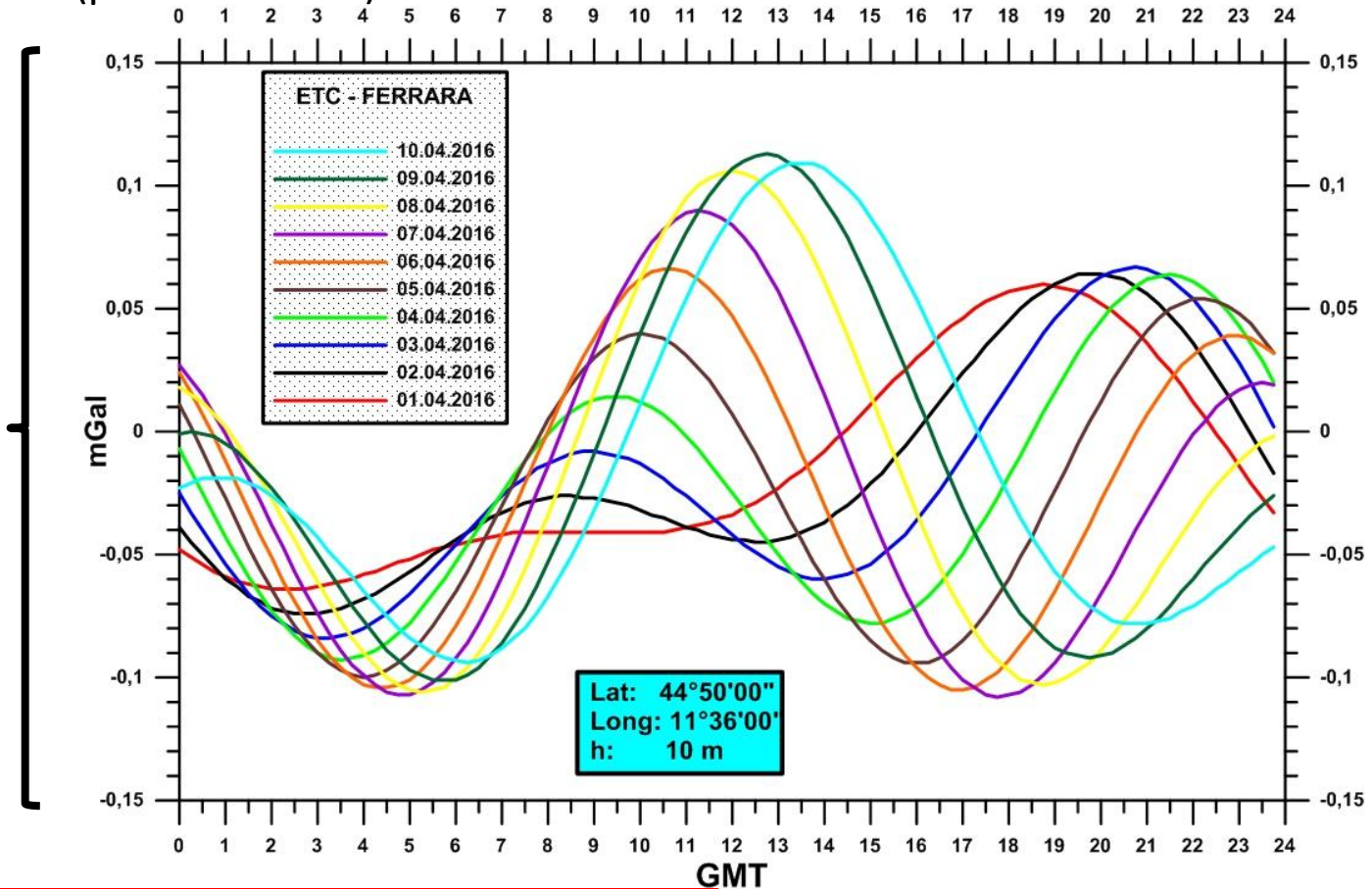
altre correzionig ?

L'accelerazione di gravità varia da punto a punto nello spazio e, nello stesso punto, varia nel tempo se avvengono delle variazioni nel sottosuolo del punto di misura.

Fattori che influenzano le variazioni **temporali** dell'accelerazione di gravità:

Maree Terrestri: derivano, principalmente, dall'attrazione gravitazionale del Sole (per la massa) e della Luna (per la distanza).

~ 0.3 mgal al giorno
In un punto fisso



$$\delta g_t = \frac{3}{2} C(1.16) GR \left[\frac{M_l}{r^3} (\cos 2\theta_l) + \frac{1}{3} \right] + \left[\frac{M_s}{r^3} (\cos 2\theta_s) + \frac{1}{3} \right]$$

Correzioni gravimetriche:

Come si applicano al dato osservato

- **Correzione di Faye (effetto quota) (Δg_f)**
 - **Se $h > 0$ l.m.m. + aggiunta**
 - **Se $h < 0$ l.m.m. - sottratta**
- **Correzione per la piastra (effetto massa) (Δg_B)**
 - **Se $h > 0$ l.m.m. - sottratta**
 - **Se $h < 0$ l.m.m. + aggiunta**
- **Correzione topografica (effetto irregolarità della superficie topografica del terreno) (Δg_T)**
 - **Generalmente va + aggiunta**

stima della densità

**Misure dirette sono sempre preferibili
quindi prelievo di campioni in superficie
o l'analisi di CUTTING da perforazioni**

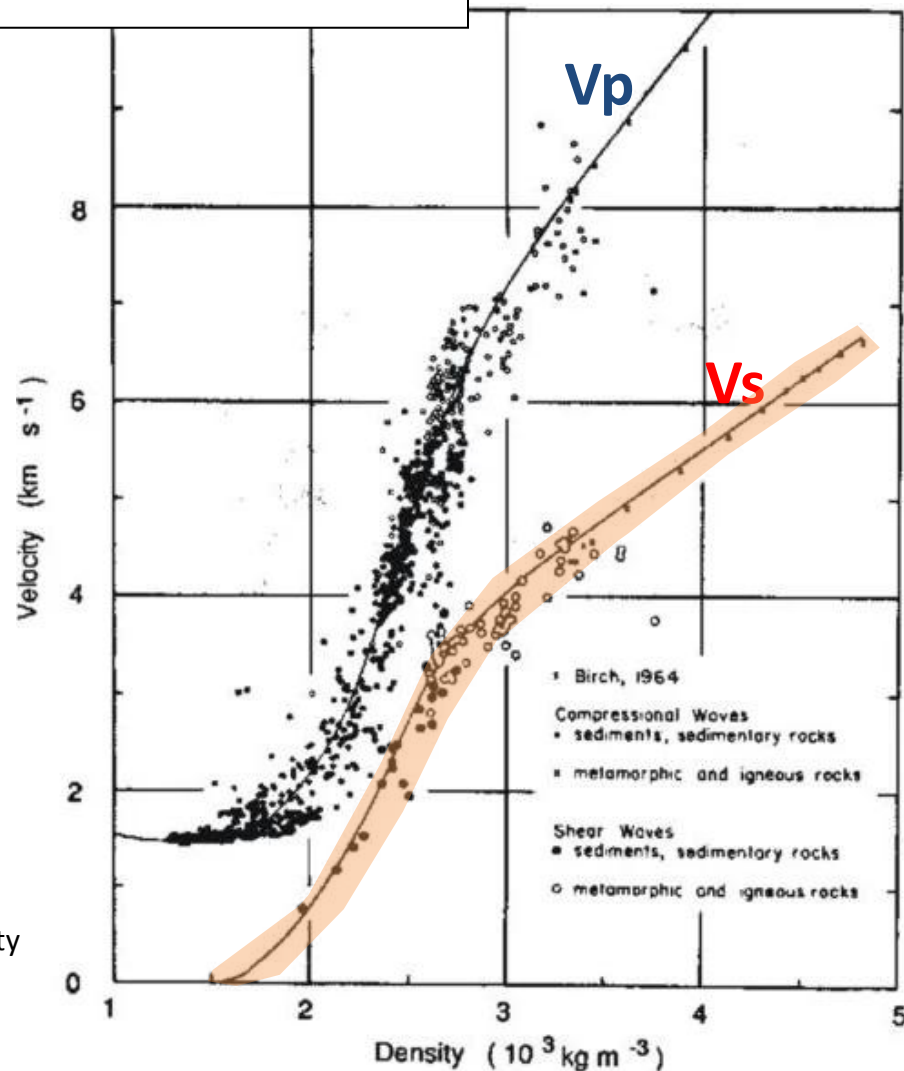
Nafe and Drake

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1.6612V_p - 0.4721V_p^2 + 0.0671V_p^3 - 0.0043V_p^4 + 0.000106V_p^5$$

NB: qualsiasi equazione semi-empirica viene sviluppata in base a dati acquisiti su campioni locali (tanti) o regionali (pochi) o globali (pochi o tanti). Quello che conta è le condizioni con le quali sono state effettuate le misure e la descrizione dei campioni quindi sono da prendere sempre con cauzione e solo come dato di guida; p.es. l'equazione di N&D può essere in errore di $\pm 100 \text{ kg/m}^3$

$$\text{m/s: } \rho = 0.31 V_P^{0.25}$$

Gardner et al. (1974)



Gardner, G. H. F., L. W. Gardner, and A. R. Gregory (1974). Formation velocity and density—the diagnostic basics for stratigraphic traps, *Geophysics* 39, 770–780.

Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and C. L. Drake (1970). Seismic refraction, in *The Sea*, A. E. Maxwell, (Editor) Vol. 4, Wiley-Interscience, New York, 53–84.

Misure in foro con strumentazione geofisica tipo:

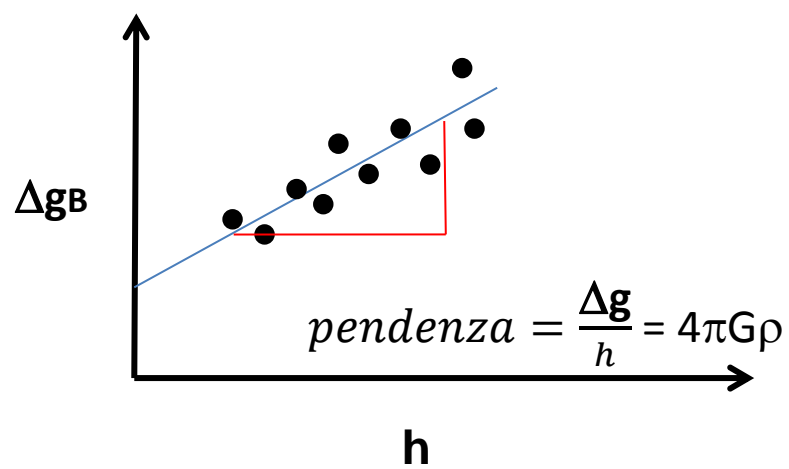
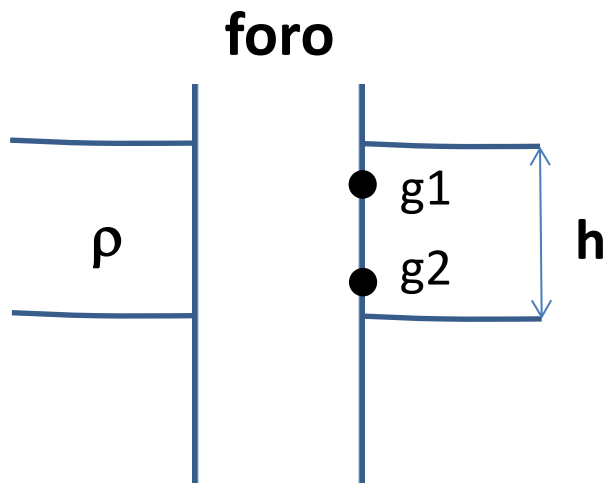
- 1) Carotaggi geofisici: resistività e raggi gamma,
- 2) Velocità onde sismiche (Vp – Vs)
- 3) ...
- 4) Gravimetro

$$\Delta g = g_1 - g_2$$

$$g_1 = g_2 + 0.3086h - 4\pi G\rho h$$

$$g_1 - g_2 = \Delta g =$$

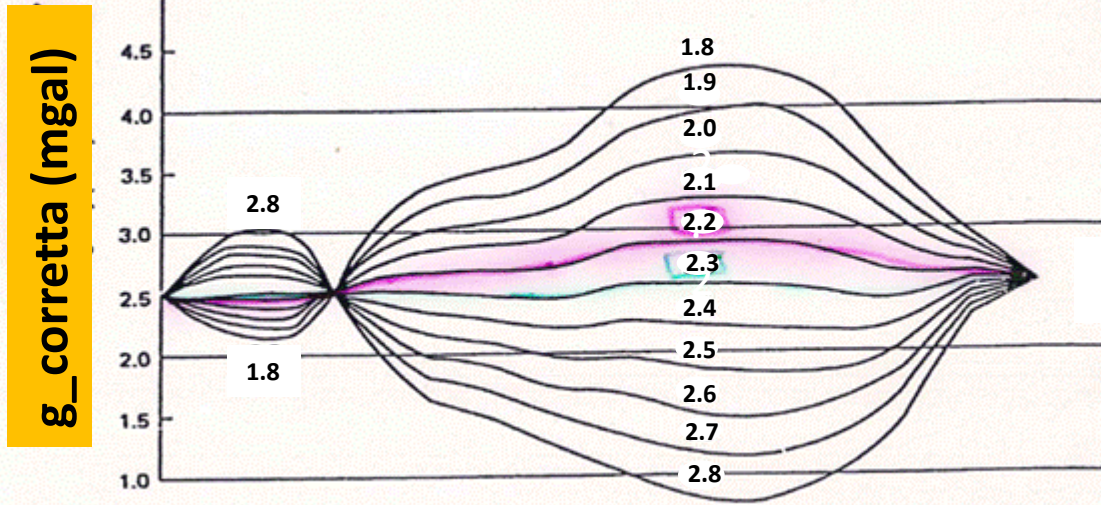
NB:
4 e non 2 perché
occorre tener conto
delle masse sopra e
sotto i punti di misura



$$\rho = \frac{0.3086 * h - \Delta g}{4\pi G * h}$$

Svantaggi:
 Applicazione dipende dalla disponibilità di fori
 Valore di densità è quello della piastra
 Effetto della topografia non è incluso

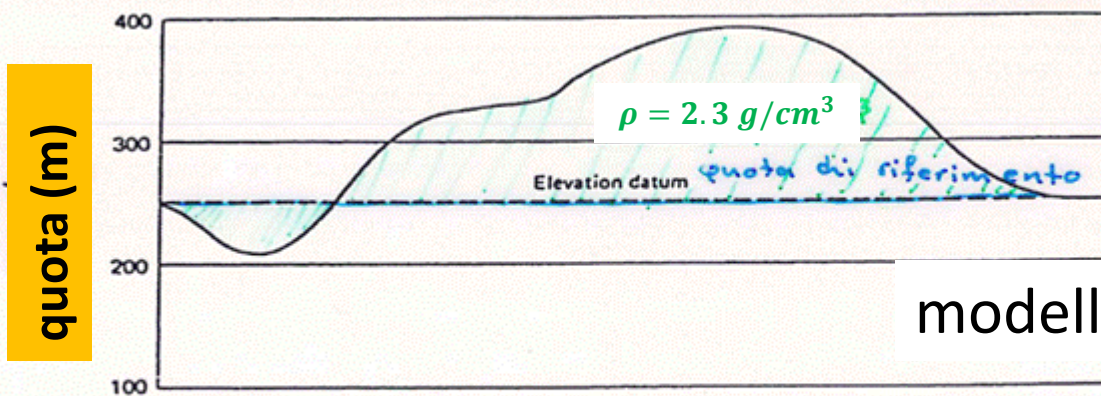
Metodo di Nettelton (1960) per la stima della densità da utilizzare per la correzione della piastra e topografica. Correlazione tra Δg_B e posizione topografica considerato



calcoli rifatti con valori di densità differenti

$$\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$$

Migliore stima della densità= curva di Δg_B che non rispecchia l'andamento della topografia



- tiene in considerazione soltanto l'effetto di densità delle rocce superficiali quindi possono essere affette da alterazione chimico-fisica e da rilassamento
- potrebbe essere difficile trovare elementi topografici nell'area d'interesse e se ci sono possono appartenere a rocce diverse?

Fine parte 04
09/10/2019

Anomalie gravimetriche

Anomalia gravimetrica:

Definita come:

differenza:

$$\text{Anomalia} = g_{\text{ridotta}} - g_{\text{teorica o normale}}$$

- I valori di anomalia di Bouguer non si trovano su un piano di riferimento noto «Datum» ma si trovano a diverse quote