

SPESSORE LITOSFERICO NEL BACINO DEL PARANÁ DALL'ANALISI DEI DATI GRAVIMETRICI DI NUOVA GENERAZIONE (GOCE)

P. Mariani¹, C. Braitenberg¹, N. Ussami²

¹ Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Trieste. Trieste, Italia

² Departamento de Geofísica, IAG, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Il satellite GOCE (Gravity Field and Steady State Ocean Circulation Explorer), messo in orbita il 17 marzo 2009, rappresenta l'ultima generazione della gravimetria da satellite. Con GOCE è possibile disporre di dati di gravità globali con una precisione senza precedenti (Rummel et al., 2002) rendendo possibile il controllo della qualità dei dati gravimetrici terrestri, anche essi inclusi in alcuni modelli gravimetrici globali (e.g. EGM08). I dati terrestri infatti non hanno carattere globale e incorrono in alcune problematiche: non sono omogeneamente spaziatati, ed a causa dei diversi sistemi di riferimento impiegati nelle campagne dei diversi stati, è necessario apportare riduzioni alle misure. I dati terrestri restano comunque indispensabili nell'analisi delle strutture geologiche, in quanto permettono di individuare variazioni di anomalie di lunghezza d'onda minori (< 1 km) rispetto ai modelli satellitari (80 km). La massima risoluzione possibile di un modello gravimetrico in armoniche sferiche è legata alla relazione: $\lambda_{min} = 2\pi R / N_{max}$ (Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005), con R raggio terrestre ed N_{max} il massimo grado di sviluppo.

L'area oggetto di studio è il bacino intracratonico del Paraná in Sud America (Almeida et al., 2000) ed ha un'estensione geografica che corrisponde al depocentro del fiume Paraná. La sua formazione è legata alla rottura del super continente Gondwana che ha causato la separazione dell'Africa e del Sud America e la formazione del Oceano Atlantico meridionale, ma la sua genesi è ancora fonte di dibattito (Gibson et al., 1997; Anderson, 1994).

La finalità di questo lavoro è la caratterizzazione della litosfera sulla quale è ubicato il bacino del Paraná. Il mezzo principale utilizzato è l'osservazione del campo di gravità, ma sono presi in considerazione anche dati sismologici, al fine di interpretare al meglio la struttura litosferica nell'area del bacino intracratonico del Paraná e di comprendere le variazioni geodinamiche e strutturali della litosfera sottostante il bacino.

Nella modellazione gravimetrica è stato impiegato principalmente il modello EGM08 (Pavlis et al., 2008), sviluppato fino al suo massimo grado e ordine, 2159. La risoluzione di EGM08 è incrementata grazie all'integrazione dei dati gravimetrici terrestri che consente l'osservare della minima lunghezza d'onda di 10 km. Posto che i dati terrestri non sono omogeneamente distribuiti nello spazio è necessario effettuare un controllo nella qualità degli stessi utilizzando il modello gravimetrico fornito da GOCE. Offriamo perciò un'analisi statistica della variazione della deviazione standard tra i modelli satellitari principalmente impiegati, che sono i modelli EGM08 (Pavlis et al., 2008), GOCE (Migliaccio et al., 2011; Bruinsma et al., 2010; Pail et al., 2011) e GOCO02s (Goiginger et al, 2011). La comparazione infatti evidenzia una mancanza nei dati EGM08 nell'area del bacino del Parecis che perciò dovrà essere considerata con attenzione durante l'analisi gravimetrica.

L'analisi della struttura litosferica ha stimato il contributo gravimetrico dei livelli conosciuti ed è stata effettuata con il software Lithoflex (sviluppato dall'Università di Trieste), utilizzando vincoli geofisici noti in letteratura (Melfi et al., 1988). Il bottom della sequenza sedimentaria consiste in rocce sedimentarie paleozoiche con uno spessore maggiore di 3500 m ben correlate al depocentro topografico del reticolo idrografico del Paraná. Sopra queste rocce poggiano i basalti tholeiitici della Formazione Serra Geral (Creataceo Inferiore), una della maggiori provincie ignee della Terra. All'attività effusiva tholeiitica è inoltre associata l'attività magmatica intrusiva diabasica (Ponta Grossa) ed effusiva delle provincie ignee alcaline e alcaline carbonatiche, le quali interessano il bacino del Paraná in diversi periodi: Permo-Triassico, Cretaceo inferiore, Cretaceo superiore e Paleogene. Chiude la sequenza sedimentaria post-vulcanica del gruppo Bauru (Creataceo superiore). I sedimenti poggiano sul settore più limitato (nord-est) del bacino del Paraná, e lo spessore massimo è 300 m. Sono stati inoltre calcolati i contributi gravimetrici delle radici ideali: di Airy e della flessione regionale e reali dalle moho sismologiche di Lloyd et al. (2010) e quella di Feng et al. (2007). E' stato infine calcolato il residuo isostatico. I dati sismologici nell'area del bacino del Para-

ná, non sono univoci a causa delle diverse metodologie applicate (Feng et al., 2007). Questi però sono in accordo nel riscontrare una crosta continentale molto spessa: 40-46 km (Feng et al., 2004; 2007; Assumpção et al., 2002, 2004a, 2006; An and Assumpção, 2006; Lloyd et al., 2010; Juliá et al., 2008), e la sua genesi è fonte di dibattito in quanto bacino sedimentario. Il confronto tra le moho sismologiche e la gravimetria localizza una Moho superficiale: nel bacino del Chaco e del Pantanal, rappresentante il foreland delle Ande, e in oceano come predetto all'isostasia di Airy. Nel limite Paraná/cratone di San Francisco si osserva un importante salto gravimetrico, riscontrato anche in studi magnetotelurici (Bologna et al., 2011). Questa ripida variazione dei campi sembra essere legata alla provincia magmatica alcalina di età Cretaceo superiore/Terziario inferiore e quindi all'alineamento azimutale 125° (Biondi et al., 2005), come testimoniato anche dall'attività sismica intrapacca (Assumpção et al., 2004b) ed alla alta conducibilità riscontrata nella crosta superiore, legata alla risalita dei fluidi magmatici. Nel bacino del Paraná la profonda Moho sismologica concorda con il segnale gravimetrico negativo, al centro del bacino, in corrispondenza del corso idrografico principale, però l'anomalia di Bouguer evidenzia un massimo gravimetrico relativo, che non trova corrispondenza con le Moho sismologiche. Molteplici sono le ipotesi legate a questa anomalia. In passato alcuni autori sostenevano l'ipotesi di intrusione di massa densa nella crosta inferiore (Molina et al., 1989), e ciò è ritenuto molto comune nelle aree di bacini sedimentari e nelle aree di rift continentale (Durrheim and Mooney, 1994) e questo potrebbe anche spiegare il forte spessore crostale del bacino. Altri autori sostengono che ad alti rapporti V_p/V_s è possibile individuare fenomeni di underplating (Juliá et al., 2008). Numerosi studi sismologici non concordano su tali ipotesi, non notando variazioni di velocità elevate da testimoniare tali intrusioni né nella crosta inferiore né in quella superiore (An and Assumpção, 2006; Feng et al., 2004).

Per spiegare la presenza di questo massimo relativo quindi è stato calcolato il contributo gravimetrico del deposito basaltico, ma il volume anche se elevato non è sufficiente a motivare tale anomalia positiva. Mentre invece l'analisi della Bouguer corretta dall'effetto di gravità dei sedimenti individua un ampio eccesso di massa, ubicato in corrispondenza di una zona con alto rapporto V_p/V_s (Juliá et al., 2008), che localizza la presenza di masse maggiormente femiche e quindi di possibile underplating.

Dalla relazione della densità/velocità delle rocce (Sufang, 2009) inoltre si potrebbe ipotizzare che sia la sismologia a non riuscire a rivelare la transizione di tipo di rocce a causa del simile comportamento sismologico. Un esempio di questo tipo è rappresentato dalla coppia eclogite-dunite.

Infine un'ulteriore ipotesi porta a ricercare la fonte dell'anomalia non più nella crosta ma nel mantello. Studi tomografici infatti rivelano in questo livello una sorgente più densa, con velocità sismiche maggiori rispetto a quelle attese. Questo localizzerebbe le masse più dense non nella crosta continentale ma nel mantello superficiale (Feng et al., 2004). La presenza di alte velocità nel mantello superiore sembra confermare la presenza di una spessa litosfera come nel cratone Amazonico e di San Francisco (Sial et al., 1999), che avvalorerebbe maggiormente la tesi della presenza di un nucleo cratonico al di sotto del bacino del Paraná (Cordani et al., 1984) che potrebbe spiegare la presenza del elevato spessore crostale nel bacino del Paraná Proterozoico.

Riconoscimenti. Ringraziamo l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) per il supporto nel progetto GOCE-Italy e il progetto FAPESP (Brasile). Il lavoro è stato parzialmente supportato dal progetto PRIN contratto 2008CR4455_003.

Bibliografia:

- Almeida, F.F.M., Neves B.B.B., Carneiro C.D.R.D.; 2000: The origin and evolution of the South American Platform, *Earth Sci. Rev.*, 50, 77–111, doi:10.1016/S0012-8252(99)00072-0.
- An M., and Assumpção M.; 2006: Crustal and upper mantle structure in the intracratonic Paraná Basin, SE Brazil, from surface wave dispersion using genetic algorithm, *J. S. Am. Earth Sci.*, 21, 173–184.
- Anderson D.L.; 1994: The sublithospheric mantle as the source of continental flood basalts: the case against the continental lithosphere and plume head reservoir, *Earth and Pl. Sc. Lett.* 123, 269-280.
- Assumpção M.S., and Snoko A.; 2002: Crustal thicknesses in SE Brazilian Shield by receiver function analysis: Implications for isostatic compensation, *J. Geophys. Res.*, 107(B1), doi:10.1029/2001JB000422.
- Assumpção M.S., An M., Bianchi M., França G.S.L., Rocha M., Barbosa J. R., Berrocal J.; 2004a: Seismic studies of the Brasília Fold belt at the western border of the São Francisco craton, central Brazil, using receiver function, surface wave dispersion, and teleseismic tomography, *Tectonophysics*, 388, 173–185.

- Assumpção M.S., Schimmel M., Escalante C., Barbosa J.R., Rocha M., Barros L.V.; 2004b: Intraplate seismicity in SE Brazil: Stress concentration in lithospheric thin spots, *Geophys. J. Int.*, 159, 390–399.
- Assumpção M., Heintz M., Vauchez A., Egydio-Silva M.; 2006: Upper mantle anisotropy in SE and central Brazil from SKS splitting: Evidence of asthenospheric flow around a cratonic keel, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 250, 224–240.
- Biondi J.C.; 2005: Brazilian mineral deposits associated with alkaline and alkaline-carbonatite complexes. In: Comin-Chiaromonte P., Gomes, C.B. (eds.) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. Edusp/Fapesp, São Paulo, 707-750.
- Bologna M.S., Padilha A.L., Vitorello I., Pádua M.B.; 2011: Signatures of continental collisions and magmatic activity in central Brazil as indicated by a magnetotelluric profile across distinct tectonic provinces, *Precambrian Res.*, 185, 55-64, doi:10.1016/j.precamres.2010.12.003.
- Bruinsma S.L., Marty J.C., Balmino G., Biancale R., Foerste C., Abrikosov O. and Neumayer H.; 2010: GOCE Gravity Field Recovery by Means of the Direct Numerical Method, presented at the ESA Living Planet Symposium, 27th June - 2nd July 2010, Bergen, Norway.
- Campbell I.H., Gri?ths R.W.; 1990: Implications of mantle plume structure for the evolution of flood-basalts. *Earth Planet Sci. Lett.* 99, 79-93.
- Cordani, U.G., Brito Neves B.B., Fuck R.A., Porto R., Thomas Filho A., Cunha F.M.B.; 1984: Estudo preliminar de integração do préCambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares Brasileiras, *Bul. Cienc. Tec. Pet. Secao Explor. Pet.*, 70.
- Durrheim R., and Mooney W.; 1994: Evolution of the Precambrian lithosphere: Seismological and geochemical constraints, *J. Geophys. Res.*, 99 (B8), 15,359–15,374, doi:10.1029/94JB00138.
- Feng M., Assumpção M., van der Lee S.; 2004: Group velocity tomography and lithospheric S velocity structure of the South American continent, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 147, 315–331, doi:10.1016/j.pepi.2004.07.008.
- Feng M., van der Lee S., Assumpção M.; 2007: Upper mantle structure of South America from joint inversion of waveforms and fundamental mode group velocities of Rayleigh waves, *J. Geophys. Res.*, 112, B04312, doi:10.1029/2006JB004449.
- Gibson S.A., Thompson R.N., Weska R.K., Dickin O.H., Leonardos A.P.; 1997: Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil, *Contrib Mineral Petrol* 126, 303 - 314.
- Goiginger H., Höck E., Rieser D., Mayer-Gürr T., Maier A., Krauss S., Pail R., Fecher T., Gruber T., Brockmann J.M., Krasbutter I., Schuh W.D., Jäggi A., Prange L., Hausleitner W., Baur O., Kusche J.; 2011: The combined satellite-only global gravity field model GOCO02S, presented at the 2011 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 4-8, 2011
- Hofmann-Wellenhof B., and Moritz H.; 2005: *Physical Geodesy*, Springer, 1-403.
- Julià J., Assumpção M., Rocha M.P.; 2008: Deep crustal structure of the Paraná Basin from receiver functions and Rayleigh-wave dispersion: Evidence for a fragmented cratonic root, *J. Geophys. Res.*, 113, B08318, doi:10.1029/2007JB005374.
- Lloyd S., van der Lee S., França G.S., Assumpção M., Feng M.; 2010: Moho map of South America from receiver functions and surface waves, *J. Geophys. Res.*, 115, B11315, doi:10.1029/2009JB006829.
- Melfi A.J., Piccirillo E.M., Nardi A.J.R., 1988. Geological and Magmatic aspects of the Paraná Basin - An introduction. In *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin. Petrogenetic and geophysical aspects*. Ed E.M. Piccirillo & A.J. Melfi, 1988.
- Migliaccio F., Reguzzoni M., Gatti A., Sansò F., Herceg, M.; 2011: A GOCE-only global gravity field model by the space-wise approach, *Proceedings of the 4th International GOCE User Workshop*, 31 March - 1 April, Munich 2011.
- Molina E.C., Ussami N., Sa' N.C., Blitzkow D.; 1989: Interpretação dos dados gravimétricos da parte norte da bacia do Paraná. *Rev. Bras. Geociências* 19, 187–196.
- Pail R., Bruinsma S., Migliaccio F., Foerste C., Goiginger H., Schuh W.-D., Hoeck E., Reguzzoni M., Brockmann J.M., Abrikosov O., Veichert M., Fecher T., Mayrhofer R., Krasbutter I., Sansò F., Tscherning C.C., First GOCE gravity field models derived by three different approach, *J. Geodesy*, in review, 2011.
- Pavlis N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K.; 2008: An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008, presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008.
- Rummel R., Balmino G., Johannessen J., Visser P., Woodworth P.; 2002: Dedicated gravity field missions-principles and aims. *J. Geodyn.*, 33, 3-20.
- Sial, A.N., Agnol R.D., Ferreira V.P., Nardi L.V.S., Pimentel M.M., Wiedemann C.M.; 1999: Precambrian granitic magmatism in Brazil, *Episodes*, 22, 191–198.
- Sufang; 2009: PhD thesis. Deep structure beneath the Central-South Tibet crustal density modelling and azimuthal anisotropy variation inferred from Quasi-Love waves.