

Confronto, su territorio campano, tra modello geoidico EGM2008 e modello di ondulazione da grigliati

M. Pepe, G. Prezioso, R. Santamaria

Università degli Studi di Napoli "Parthenope", Dipartimento di Scienze Applicate
Centro Direzionale Isola C4, 80143 Napoli, Tel. 081 5476690
massimiliano.pepe@uniparthenope.it, pina.prezioso@uniparthenope.it, raffaele.santamaria@uniparthenope.it

Riassunto

L'accuratezza e la disponibilità del modello globale di ondulazione EGM2008, suggerisce un'analisi dei dati per un suo impiego nel campo geodetico quale alternativa agli attuali modelli locali. In questo lavoro, tale indagine è stata effettuata al fine di stimare, in territorio campano, le differenze tra EGM2008 e ITALGEO 2005. Nel dettaglio, partendo dai grigliati I.G.M., è stato sviluppato un algoritmo, in ambiente Matlab®, che ha consentito la realizzazione di un modello di ondulazione su vasta area. Confrontando i valori del modello di ondulazione generato dai grigliati con quelli EGM2008 è stato possibile stimare le differenze tra i due modelli. Dai risultati di tale analisi si è desunto che in Campania il modello globale EGM2008, opportunamente traslato verticalmente, può fornire un valido supporto altimetrico in numerose applicazioni.

Abstract

The accuracy and availability of the global geoidic model EGM2008, suggests an analysis of data for its use in geodetic as an alternative to existing local models.

In this work, the research was conducted to estimate the differences between EGM2008 and ITALGEO2005, in Campania region. In particular an algorithm in Matlab® was developed in order to read and implement on a wide area, the grids containing the undulations geoidic provided by I.G.M. and to make a comparison with the EGM2008 model.

Introduzione

I sistemi GNSS forniscono quote ellissoidiche rispetto all'ellissoide WGS84, mentre nel sistema geodetico si adotta la quota ortometrica, ossia quella calcolata rispetto al livello medio del mare, individuato per l'Italia continentale dal mareografo di Genova e per le isole da quello di Catania e Cagliari. Per convertire le quote ellissoidiche in ortometriche, come è noto, occorre conoscere il valore dell'ondulazione geoidica. A tal fine, nel corso degli anni, sono stati calcolati numerosi modelli di geoidi sia globali che locali.

Un esempio di modello globale è l'EGM2008 (Pavlis et al., 2008) calcolato da dati provenienti dal satellite GRACE (Mayeret et al., 2007), dati topografici (Saleh et al., 2002; Pavlis et al., 2007) e da osservazioni gravimetriche a terra (Pavlis et al., 2007 e 2008).

In letteratura, la validità locale di tale modello è stata ampiamente testata comparando i valori del modello relativi al territorio di una nazione con altre tipologie di misure (GPS, livellazione, ecc.), come nel caso della Turchia (Kotsakis et al., 2008), della Svezia (Ågrenm, 2008) o dell'area mediterranea (Barzaghi et al., 2009).

Un qualsiasi modello globale può essere, inoltre, adattato localmente (Fiani et al., 2003) avendo a disposizione un numero sufficiente di punti di cui siano note le quote in entrambi i sistemi altimetrici.

I modelli locali, validi per aree di ampiezza limitata, raggiungono un'accuratezza maggiore di quelli globali. In Italia, attualmente, viene utilizzato il modello ITALGEO2005 distribuito sotto forma di grigliati I.G.M. e gestito da relativo software interpolatore che consente singole elaborazioni per aree non superiori ad un foglio al 50.000 (Barbarella et al., 2005).

In questo lavoro, poiché il modello globale EGM2008 è liberamente disponibile si sono volute stimare le differenze, su territorio campano, rispetto a quello locale ITALGEO2005 per verificare la possibilità di impiegarlo come alternativa all'attuale geoide nazionale.

A tal fine, sono state implementate delle routine in Matlab® con cui è stato possibile generare un grigliato unico per tutta la Campania e da esso un modello di ondulazione relativo all'intera regione. I valori di ondulazione di tale modello sono stati confrontati con quelli estrapolati dal modello EGM2008 non adattato. Infine, calcolato il valore medio delle differenze tra i due modelli, il modello EGM2008 è stato traslato verticalmente ottenendo un modello di ondulazione regionale impiegabile, gratuitamente, in varie applicazioni.

Modelli di geoide: EGM2008 e ITALGEO2005

Un modello di geoide è una descrizione numerica approssimata del geoide ottenuta, ad esempio, mediante sviluppi in serie di opportune funzioni (armoniche sferiche) arrestati ad un grado più o meno elevato.

Per la determinazione di tali modelli possono essere utilizzate osservazioni di diverse tipologie tra cui le misure gravimetriche, il confronto tra posizionamenti GNSS e livellazione, misure di deviazione della verticale, studio delle orbite dei satelliti.

Di interesse per questo studio è l'attuale modello globale di geoide EGM2008, rilasciato pubblicamente dall'U.S. National Geospatial - Intelligence Agency (NGA) EGM Development Team.

Il modello EGM2008 è disponibile on line, gratuitamente, all'indirizzo dell'NGA (Figura 1):

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_gis.html

sotto forma di 32 file *raster* ESRI GRID ognuno dei quali contiene, con passo di 2,5', i valori di ondulazione del geoide relativi ad un'area di 45° x 45°.

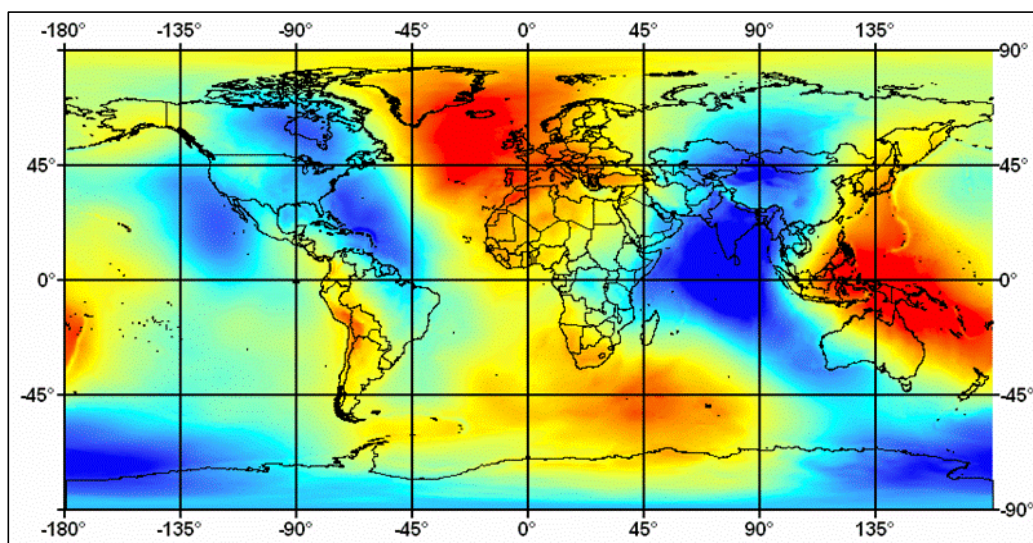


Figura 1. Modello geoidico EGM2008.

Tutti i modelli globali, compreso l'EGM2008, non tengono conto delle variazioni locali pertanto, per meglio approssimare la superficie del geoide vengono calcolati, per aree limitate (ad es. per una nazione), i modelli locali.

In Italia, il Politecnico di Milano, in collaborazione con l'Istituto Geografico Militare di Firenze, calcola il modello ITALGEO valido per l'intero territorio nazionale e zone immediatamente confinanti.

Tale modello deriva da misure gravimetriche integrate da osservazioni GPS/LEV (eseguite per il collegamento della rete geodetica IGM95 alla rete di livellazione nazionale), misure di deviazione della verticale (astronomiche) e tiene conto della conformazione topografica del terreno (DTM).

Nel corso degli anni, per i miglioramenti sia dei dati utilizzati che dei metodi di stima, ITALGEO è stato rilasciato in versioni successive sempre più accurate la più recente delle quali è ITALGEO2005. Tale modello fornisce, con passo di 2', valori di ondulazione per un'area compresa tra (Figura 2):

$$35^{\circ} < \varphi < 48^{\circ}$$

$$5^{\circ} < \lambda < 20^{\circ}$$

ITALGEO2005 è stato stimato con la classica tecnica *remove-solve-restore* mentre le componenti residue del geoide sono state calcolate usando l'approccio *Fast Collocation*. A tale modello di geoide viene attribuito un'accuratezza assoluta dell'ordine di 4 cm nella parte continentale e di circa 5 cm in Sicilia e Sardegna (Barzaghi, 2009).

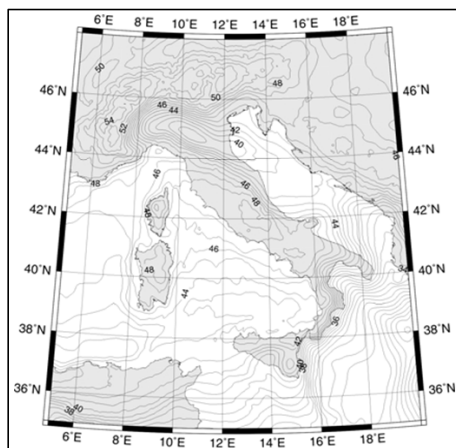


Figura 2. ITALGEO05 (equidistanza = 1 m).

Algoritmo per l'estensione su area vasta

ITALGEO2005 è implementato nei grigliati *.gk che sono dei file di testo suddivisi in due parti (Tabella 3), la prima contenente le informazioni per il passaggio fra i vari *datum* (riga 3 – 264), la seconda comprendente le indicazioni per il calcolo delle ondulazioni (riga 265 – 408) (Barbarella et al., 2005).

In tali file i valori delle ondulazioni, riferite a coordinate geografiche, sono organizzati in modo da formare una griglia 14x10, con passo costante di 2'. I grigliati, così come sono realizzati, non coprono vaste aree pertanto, l'algoritmo implementato legge, *in primis*, tutti i grigliati forniti in input e da essi genera un unico grigliato coprente l'intero territorio campano e che conserva la stessa struttura dei file *.gk.

Nella costruzione di questo modello di ondulazioni su area vasta vi è una sovrapposizione di nodi; infatti, come mostrato in Figura 4, considerando quattro grigliati relativi a quattro fogli al 50.000 adiacenti si osserva, per ciascuno di essi, una duplicazione di 4 righe e 4 colonne.

Record	Parametri caratteristici del record
265-266	Commento ondulazioni geoidiche
267-406	Valori delle ondulazioni
407	Latitudine di riferimento per le ondulazioni
408	Longitudine di riferimento per le ondulazioni
409-410	Commento

Tabella 3. Struttura dei record contenenti i valori altimetrici nei file *gk*.

Pertanto, al fine di snellire le dimensioni del file contenente il grigliato unico, e quindi rendere le operazioni più fluide e rapide, si è proceduto ad un *editing* dei dati, ovvero all'eliminazione dei nodi delle righe e delle colonne che si sovrapponevano.

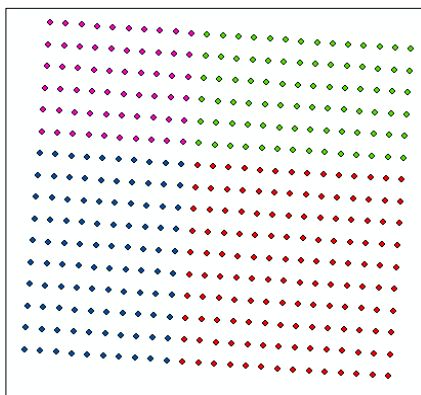


Figura 4. Distribuzione spaziale di quattro grigliati I.G.M. adiacenti.

Considerando che in molti casi si opera con coordinate piane del tipo (E, N, h), occorre che il grigliato unico realizzato venga convertito in un grigliato in coordinate piane UTM-WGS84. Come è noto, la trasformazione da coordinate geografiche a coordinate piane si può ottenere con diversi sviluppi in serie delle formule di corrispondenza; in questa nota è stata implementata quella dovuta ad Army (1973):

$$\begin{cases} \text{NORD} = K1 + K2p^2 + K3p^4 \\ \text{EST} = K4p + K5p^3 \end{cases} \quad [1]$$

ove i coefficienti K sono dati da:

$$K1 = SK_0$$

$$K2 = 0.5 K_0 \sin^2 1'' N \sin(\varphi) \cos(\varphi)$$

$$K3 = \frac{1}{24} \left[K_0 \sin^4 1'' N \sin(\varphi) \cos^3(\varphi) \right] \left[5 - \tan^2(\varphi) + 9e' \cos^2(\varphi) + 4e' \cos^4(\varphi) \right]$$

$$K4 = K_0 \sin 1'' N \cos(\varphi)$$

$$K5 = \frac{1}{6} \left[K_0 \sin^3 1'' N \cos^3(\varphi) \right] \left[1 - \tan^2(\varphi) + e' \cos^2(\varphi) \right]$$

Il valore di S, presente nel coefficiente K1, è dato da:

$$S = A'\varphi - B'\sin(2\varphi) + C'\sin(4\varphi) - D'\sin(6\varphi) + E'\sin(8\varphi)$$

$$\begin{aligned}
 A' &= A \left[1 - n + \frac{5}{4}(n^2 - n^3) + \frac{81}{64}(n^4 - n^5) \right] \\
 B' &= \left(3 \tan \left(\frac{\rho}{2} \right) \right) \left[1 - n + \frac{7}{8}(n^2 - n^3) + \frac{55}{64}(n^4 - n^5) \right] \\
 C' &= \left(15 \tan^2 \left(\frac{\rho}{16} \right) \right) \left[1 - n + \frac{3}{4}(n^2 - n^3) \right] \\
 D' &= \left(35 \tan^3 \left(\frac{\rho}{48} \right) \right) \left[1 - n + \frac{11}{6}(n^2 - n^3) \right] \\
 E' &= \left(315 \tan^4 \left(\frac{\rho}{512} \right) \right) [1 - n]
 \end{aligned}$$

in cui

- φ latitudine del punto
- λ longitudine del punto
- λ_0 longitudine del meridiano centrale
- K_0 coefficiente di contrazione (0.9996)
- e eccentricità
- n $(a-b)/(a+b)$
- N gran normale
- ρ raggio di curvatura del meridiano
- p $\lambda - \lambda_0$

La procedura indicata consente la creazione di un grigliato unico, ricoprente una vasta area, in coordinate sia geografiche che piane.

A partire da questo grigliato, si è ricavato un modello tridimensionale delle ondulazioni mediante triangolazione di *Delaunay*, la cui operazione duale è il diagramma di Voronoi che si ottiene dall'unione dei bordi delle celle di Voronoi. In Figura 5 viene mostrato il modello delle ondulazioni derivante dall'applicazione della triangolazione al grigliato I.G.M. 420.

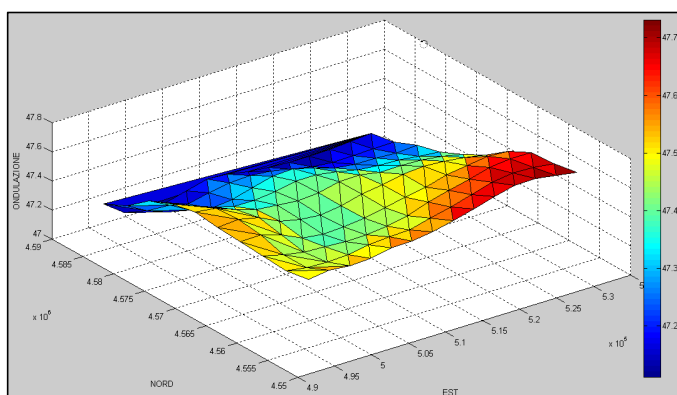


Figura 5. Triangolazione di Delaunay per il grigliato 420 dell'I.G.M.

La triangolazione con grigliato unico, ottenuto dall'unione di 41 grigliati, ha permesso di ricavare il modello di ondulazione dell'intera Regione Campania (Figura 6). In tale operazione l'*editing* sui punti dei grigliati, descritto precedentemente, ha reso più celere l'elaborazione dei dati in quanto i punti da trattare si sono ridotti da 5470 (140 x 41) a 3308.

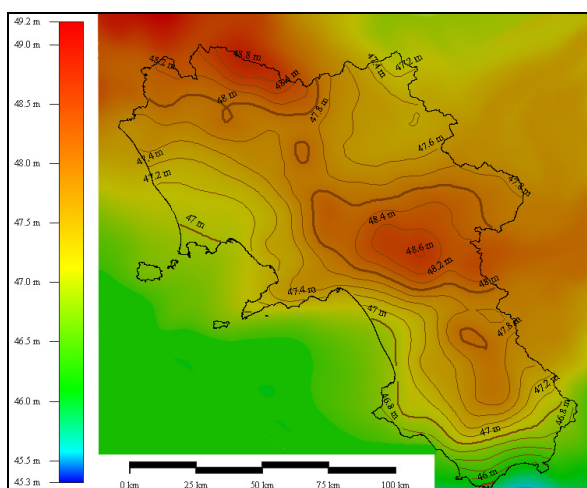


Figura 6. Ondulazioni geoidiche in Campania.

Dal modello delle ondulazioni su vasta area, così realizzato, si evince che in Campania le ondulazioni geoidiche oscillano tra i 45.0859 m e i 49.3889m.

Il passo successivo è stato quello di estrarre il valore dell'ondulazione in determinati punti mediante un'interpolazione di tipo bilineare.

Nel dettaglio, considerando un punto di coordinate (x, y) all'interno di una maglia di quattro nodi, ed indicando con j e k gli indici per cui si ha $x_j < x < x_{j+1}$ e $y_k < y < y_{k+1}$, l'interpolazione bilineare sarà del tipo (Figura 7):

$$z(x, y) = (1-t)(1-u)z_{j,k} + t(1-u)z_{j+1,k} + tu z_{j+1,k+1} + (1-t)u z_{j,k+1} \quad [2]$$

ove

$$t = \frac{x - x_j}{x_{j+1} - x_j} \quad u = \frac{y - y_k}{y_{k+1} - y_k}$$

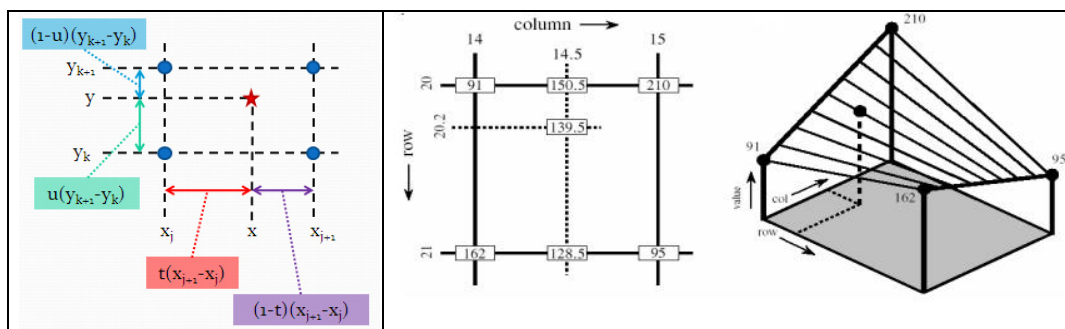


Figura 7. Interpolazione bilineare.

Confronto tra modello su area vasta e EGM2008

Estrapolando il modello geoidico EGM2008 nell'area corrispondente alla regione Campania (Figura 8) e confrontandone i valori di ondulazione con quelli ottenuti operando su area vasta da grigliati I.G.M., sono state calcolate le differenze di ondulazione geoidica tra i due modelli.

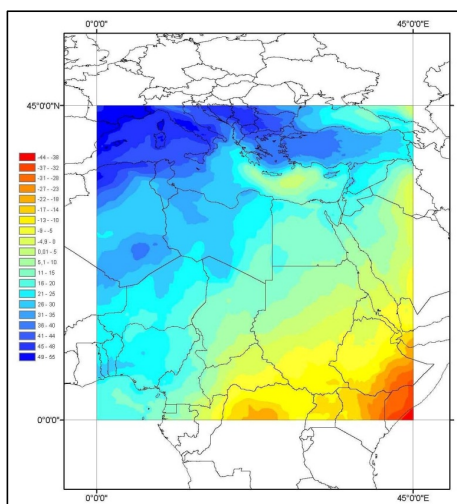


Figura 8. Porzione di $45^\circ \times 45^\circ$ del modello EGM2008 relativo al territorio campano.

Una rappresentazione statistica dei valori delle differenze si può ottenere da quei parametri che forniscono informazioni sulla caratteristica della distribuzione di una variabile monodimensionale; questi parametri sono il momento di primo grado, o media, e la deviazione standard. Indicando con la frequenza relativa f_i si ha:

$$m_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i f_i \quad [3]$$

$$v_i = x_i - m_1(x) \quad [4]$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2(x)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 f_i} \quad [5]$$

Nel caso in esame, le differenze di ondulazione hanno mostrato valori di media e deviazione standard pari a:

$$m_1(x) = -0.217022726 \text{ m}$$

$$\sigma = 0.085145579 \text{ m}$$

con valori minimi e massimi di:

$$\min = -0.76 \text{ m}$$

$$\max = +0.52 \text{ m}$$

L'analisi dei dati statistici induce ad applicare, al modello EGM2008, una traslazione costante pari a $-m_1(x)$, ottenendo un nuovo modello di geoide locale che presenta, rispetto a quello globale, valori di differenza di ondulazione minima e massima di:

$$\min = -0.16 \text{ m}$$

$$\max = +0.22 \text{ m}$$

In Figura 9 sono rappresentate le isolinee delle differenze di ondulazione tra EGM2008 traslato e il modello implementato su vasta area da grigliati I.G.M..

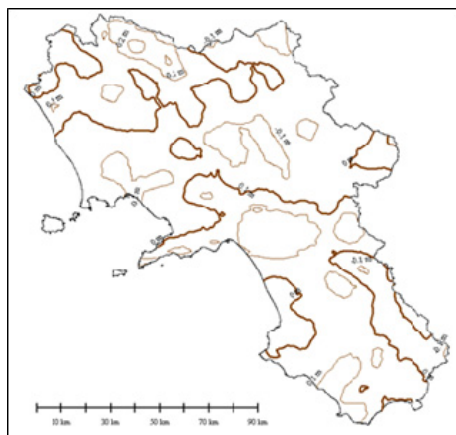


Figura 9. Isolinee delle differenze di ondulazione tra EGM2008 traslato e modello su area vasta.

Per verificare la validità del modello EGM2008 traslato, sono state valutate le quote di 163 vertici primari della Regione Campania. Le differenze di quote confermano i valori minimi e massimi evidenziati sopra con un errore medio di 4 cm e deviazione standard di 7 cm.

Conclusioni

In questo lavoro si è evidenziato che, per il territorio campano, il modello globale EGM2008, opportunamente traslato, può essere utilizzato per calcoli speditivi e per posizionamenti in *real time*, contenendo gli errori in maniera più efficace rispetto al dato grezzo di partenza e portandoli a valori centimetrici.

Bibliografia

- Army Department of 1973 (1973), "Universal Transverse Mercator Grid", *U.S. Army Technical Manual TM 5-241-8*, pag.64
- Barbarella M., Ronci E. (2005), "Applicativo per l'utilizzo e l'integrazione del dato VERTO su aree vaste", *Bollettino SIFET*, 1/2005, pagg. 161-172
- Barzaghi R., Carrion D. (2009), "Testing EGM2008 in the Central Mediterranean area", *External Quality Evaluation Reports of EGM08*, International Association of Geodesy and International Gravity Field Service, Issue 4, pagg.133-143
- Fiani M., Prezioso G., Troisi S., Turturici L., Wirz M. (2003), "Una rete GPS per il monitoraggio delle variazioni morfologiche delle coste", *Bollettino SIFET*, 1/2003, pagg. 35-52
- Kotsakis C., Katsabalos K., Ampatzidis D., Gianniou M. (2008), "Evaluation of EGM2008 in Greece using GPS and leveling heights", *IAG International Symposium on Gravity, Geoid and Earth Observation*, Greece, June 23-27, 2008
- Mayer-Guerr T. (2007), "The latest GRACE gravity field solution computed in Bonn", *Joint int. GSTM and SPP Symposium*, Germany, October 15 -17, 2007
- Pavlis N.K., Factor J.K., Holmes S.A. (2007), "Terrain-related gravimetric quantities computed for the next EGM", *1st International Symposium of the International Gravity Field Service (IGFS)*, Turkey, Special Issue 18, pagg.318-323
- Pavlis N. K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K. (2008), "An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008", *General Assembly of the EGU*, Vienna, April 13-18, 2008
- Saleh J., Pavlis N.K (2002), "Development and evaluation of the global digital terrain model DTM2002", *3rd Meeting of the International Gravity and Geoid Commission of the International Association of Geodesy*, edited by I. Tziavos, pagg. 207-22