

Il modello di geoide locale ADBVE 2006

Massimo MASO(*)

(*) Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione Dorsoduro 3593 - 30123
VENEZIA - tel. 041.714444 remote.sensing@adbve.it

Riassunto

Il crescente utilizzo di dati derivati da osservazioni eseguite con ricevitori GPS nonché di rilievi laser a scansione aerotrasportati, comporta una sempre maggiore necessità di accuratezza nell'ambito delle trasformazioni da riferimento geodetico tipico del GPS (WGS84) ai sistemi locali. L'operazione di determinazione dell'altezza ortometrica o pseudortometrica a partire da quella ellissoidica necessita di disporre del valore di scostamento da ellissoide di riferimento (WGS84) e la superficie equipotenziale rappresentata dal geoide.

La precisione di tale operazione è sostanzialmente riconducibile alla risoluzione ed alla qualità del Modello di geoide utilizzato.

Nell'ambito degli studi di modellizzazione territoriale eseguiti dall'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico, si è riscontrato che i modelli di conversione standard disponibili nelle aree di interesse non soddisfano i parametri di precisione planoaltimetrica richiesti.

Con lo scopo di migliorare la qualità dei dati appartenenti a piani quotati derivati dalle tecnologie sopraccitate, si è individuato nella tecnica basata sull'elaborazione di banche dati derivate da campagne di rilievo microgravimetrico, una metodologia precisa e speditiva per la produzione di un modello di superficie di riferimento geoidico locale.

Viene presentato il nuovo riferimento geoidico locale sviluppato dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione e denominato ADBVE2006.

Coordinato dalla direzione dei lavori dell'Autorità Di Bacino, il lavoro è stato condotto dal gruppo di cartografia e telerilevamento (CARS, Cartography and Remote Sensing) dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale

Abstract

The growing need for data deriving from observations with GPS receivers and airborne laser scanning reliefs asks for a greater and greater accuracy when shifting from the GPS typical geodetic datum to the local systems. The analysis of territorial modelling developed at the Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico has demonstrated that the standard available conversion models do not meet the necessary parameters of planoaltimetric precision. Therefore, the Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico has devised a state of the art methodology, which processes data from microgravimetric surveys for the creation of a local surface geodetic model. Under the supervision of the group leader, this work has been carried out by the Departments of Cartography and Remote Sensing at the National Institute of Oceanography and Applied Geophysics – OGS.

We present the new high resolution geoid model for the north-eastern Italy develop by Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione and labelled ADBVE2006

Introduzione

Il geoide è una superficie equipotenziale del campo di gravità terrestre approssimabile alla superficie media degli oceani e può essere immaginato come una superficie su di cui l'acqua dovrebbe stare all'interno di tunnel connesso con l'oceano, (Fig.1) (Marussi A., 1985). Una volta fissata questa superficie viene usata come riferimento al posizionamento verticale dei punti.

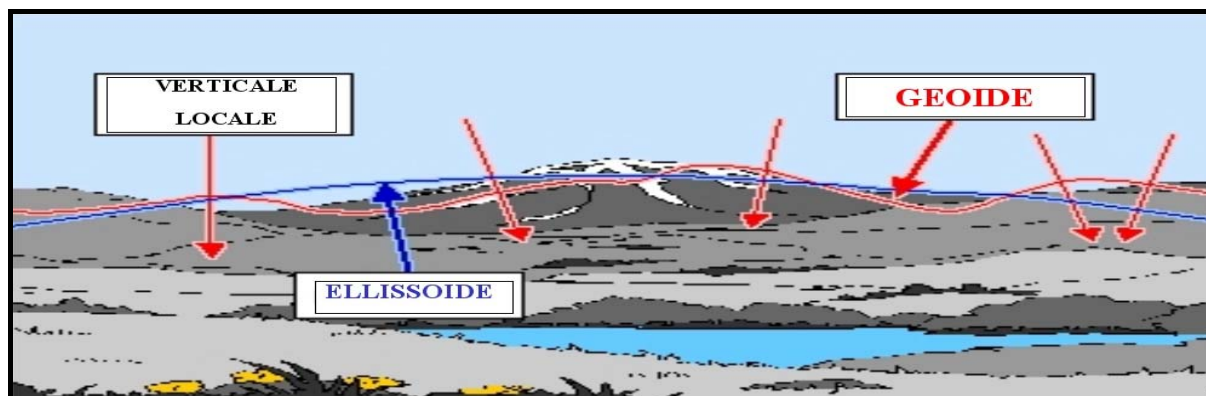


Fig. 1

Nell'ambito di un esteso lavoro di inquadramento geodetico dei fiumi dell'Alto Adriatico che ha visto l'acquisizione di oltre 1850 km² di dati laser a scansione, ortofoto digitali, realizzazione di sezioni in alveo e di rilevamenti multibeam, l'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico ha proceduto al calcolo di un geoide gravimetrico di precisione in alta risoluzione (Fig.5).

È particolarmente durante le fasi di conversione dei valori da WGS84 a quota ortometrica delle nuvole di punti derivate dalle scansioni LIDAR, che è risultata evidente la necessità di disporre di un unico ed omogeneo sistema di riferimento, infatti la scarsa risoluzione spaziale dei modelli di superficie geoidica standard disponibili, si ripercuoteva negativamente sulla qualità e sulla accuratezza dei dati derivati dalle operazioni di trasformazione.

La procedura implementata all'interno del software di conversione IGM si appoggia a dei grigliati che permettono, attraverso un'interpolazione tra valori presenti nelle griglie di riferimento, il passaggio tra i vari sistemi. Griglie a maglia pressoché quadrata di 0°,833333 in latitudine e 0°,125 in longitudine contengono il dominio di calcolo, ed i valori ricadenti in tale maglia sono ricavati per mezzo di interpolazione bilineare rispetto ai quattro vertici.

La difficoltà del trattamento dell'enorme quantità di dati, la loro elevata risoluzione spaziale (1 punto/m²) e soprattutto la loro collocazione geografica distribuita prevalentemente in maniera longitudinale, lungo le aste principali dei maggiori fiumi delle regioni Veneto e Friuli V.G, con tratti di lunghezza superiori ai 100 KM lineari, ha reso palese la necessità di disporre di uno strumento più preciso.

La soluzione a questo problema è stata individuata nella tecnologia di calcolo di modellazione gravimetrica.

La modellazione è stata eseguita sulla base di dati derivati da una importante campagna di prospezione eseguita nelle aree di competenza dell'Autorità Di Bacino, con la quale sono stati misurati i valori di anomalia del campo gravimetrico su punti associati ad una precisa osservazione DGPS. Nelle fasi di calcolo della modellazione della superficie geoidica, il set di dati rilevato con le operazioni di campagna, dopo opportune operazioni di controllo validazione è stato integrato con valori appartenenti a banche storiche.

Metodologia di calcolo del geoide locale

La procedura di calcolo è stata condotta mediante derivazione dell'ondulazione del geoide partendo dalla sua relazione con il potenziale anomalo T , dato dalla differenza del potenziale totale del campo gravimetrico W e dal potenziale di gravità normale all'ellissoide U , cioè $T=W-U$. Questa funzione è armonica fuori dalle masse, cioè $\Delta T = 0$, (Moritz H., 1980).

Passando alla rappresentazione sferica e trascurando gli errori tra sfera ed ellissoide l'equazione ha una soluzione data dall'integrale di Stokes sulla superficie della terra:

$$T = R/4\pi \iint \Delta g S(\psi) d\sigma \quad (1)$$

dove Δg è l'anomalia di gravità, $S(\psi)$ è la funzione di Stokes, R è il raggio terrestre e σ denota la superficie della Terra, (Groten E., 1980).

Selezionando l'ellissoide di riferimento in modo che abbia lo stesso potenziale normale rispetto al potenziale di gravità del geoide, T può essere messo in relazione all'ondulazione del geoide N attraverso la gravità normale γ sull'ellissoide di riferimento $T = \gamma N$, da cui l'ondulazione del geoide N può essere ottenuta dal potenziale anomalo a ogni punto sul geoide: questa espressione viene chiamata formula di Brun, (Heiskanen, Moritz, 1967).

Nell'ultimo decennio sono state sviluppate diverse metodologie di computazione del geoide a partire dall'integrale di Stokes, tenendo presente che l'integrale di Stokes vale solamente per T armonica, cioè nel caso in cui non ci siano masse poste "al di fuori" della superficie geoidica, il che però non è sempre verificato.

In caso contrario vale l'equazione di Poisson $\Delta T = -4\pi G\rho$, dove G è la costante di gravitazione e ρ è la densità.

Le varie tecniche si differenziano sulle metodologie di riduzione del problema alla soluzione dell'integrale di Stokes con l'introduzione di una superficie di "comodo", detta co-geoide, (Rapp R.H., Wang Y.M., 1993).

Dalla (1) si nota che l'unica incognita in input è la Δg in generale acquisita su di una griglia regolare con spaziatura di 1-5 km con un gravimetro Lacoste&Romberg e posizione dei punti e altezza sull'ellissoide (misure GPS).

Inoltre l'anomalia di gravità deve essere decomposta secondo la

$$\Delta g = \Delta g(FA) - \Delta g(H) - \Delta g(GM) \quad (2)$$

(Sjoberg L.E., Fan H., 1986),

$\Delta g(FA)$ è l'anomalia all'aria libera.

$\Delta g(H)$ tiene conto del fatto che il campo gravimetrico locale è perturbato alle alte frequenze dai cosiddetti effetti topografici: in sostanza una forte componente del segnale gravimetrico è dovuta all'attrazione gravitazionale delle masse topografiche e quindi il modello digitale del terreno deve essere usato per lisciare il campo gravimetrico.

Questa procedura viene chiamata in letteratura terrain reductions, (Forsberg R., 1984): in generale il modello digitale del terreno viene spezzettato in blocchi infinitesimi (per semplicità di calcolo si usano dei prismi rettangolari di densità costante) e per ogni punto gravimetrico viene calcolato attraverso l'integrazione numerica il contributo gravitazionale.

$\Delta g(GM)$ è modello di geoide globale, in generale si usa il geoide globale EGM96 prendendo in considerazione solamente le basse frequenze, (Lemoine et al., 1998).

Si utilizza il metodo del remove-restore per reintrodurre il dato caratterizzato da alte frequenze che unito alle basse frequenze costituirà il dato finale. Infine dalla formula di Brun si ricava il geoide.

Il geoide ADBVE 2006

Per il rilievo dei dati relativi al valore di anomalia gravimetrica, le operazioni di campagna sono state effettuate utilizzando un gravimetro LaCoste-Romberg mod D-018 munito di un feedback ideato dalla ZLS (Zero Length Spring) di Austin (Texas, Usa).

Prima di iniziare le fasi di acquisizione è stata verificata l'attendibilità del fattore di scala K e la sua stabilità nell'intero range di misura. Il fattore di scala viene, in prima approssimazione, determinato dalla casa madre, e, successivamente, verificato o con metodi di laboratorio o con misure lungo apposite linee di taratura in cui sono noti i Δg o attraverso misure relative o attraverso misure assolute. È stata accertata l'attendibilità delle misure mediante taratura strumentale eseguita sulle stesse posizioni geografiche dei punti stazione di livellazione di alta precisione BBT Brennero Novacella su cui erano state eseguite recenti e precise misure di gravità assoluta.

I valori di anomalia di gravità derivati da una campagna di prospezione della durata di circa 20 mesi, sono stati acquisiti lungo aste fluviali dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Cavrato, Cellina-Meduna, Piave, Brenta, Bachiglione, Tesina e Retrone.

Poiché i gravimetri misurano solo differenze di gravità è evidente che, prescindendo dagli errori sistematici, l'errore accidentale aumenta quanto più grande sarà il numero n delle singole differenze successive misurate, secondo la regola che dopo la n^{ma} tratta l'errore della singola misura viene moltiplicato per $\sqrt{n}$.

Pertanto, nelle operazioni di campagna si è ritenuto di non partire sempre e soltanto da un caposaldo di riferimento, ma è stata opportunamente istituita una serie di capisaldi omogeneamente distribuiti nell'area da rilevare, paragonabile ad una "Rete di I° Ordine", i punti di tale rete, sono stati direttamente e ripetutamente collegati tra di loro secondo lo schema del "passo del pellegrino" che prevede la seguente sequenza di misure: ABABCBCD.

Per rafforzare ulteriormente la struttura della rete sono stati effettuati, sempre secondo lo schema del "passo del pellegrino", anche collegamenti fra stazioni non consecutive. Almeno un caposaldo della "Rete di I° Ordine" è stato collegato con una stazione in cui è noto il valore di gravità o attraverso misure assolute o attraverso collegamenti con la rete nazionale. I valori di gravità, così ottenuti, hanno rappresentato, i valori di riferimento per la successiva acquisizione nelle reti gravimetriche di dettaglio.

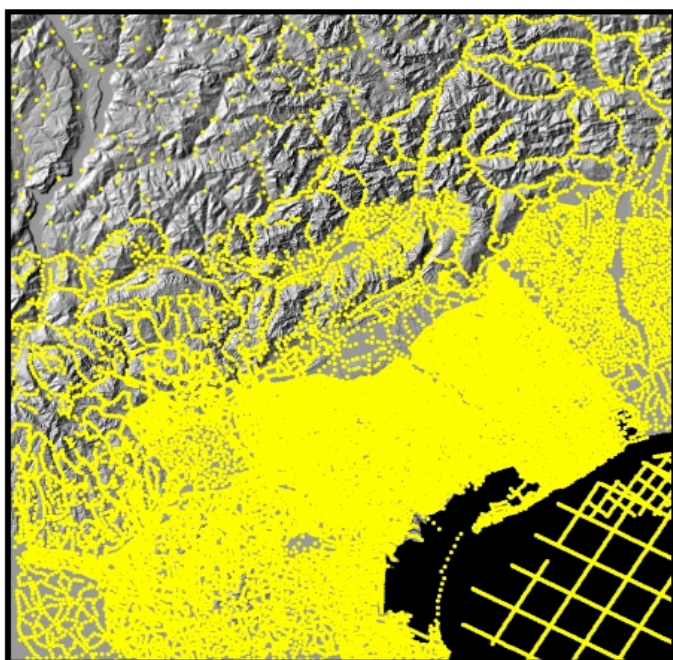


Fig 2 distribuzione dei punti gravimetrici

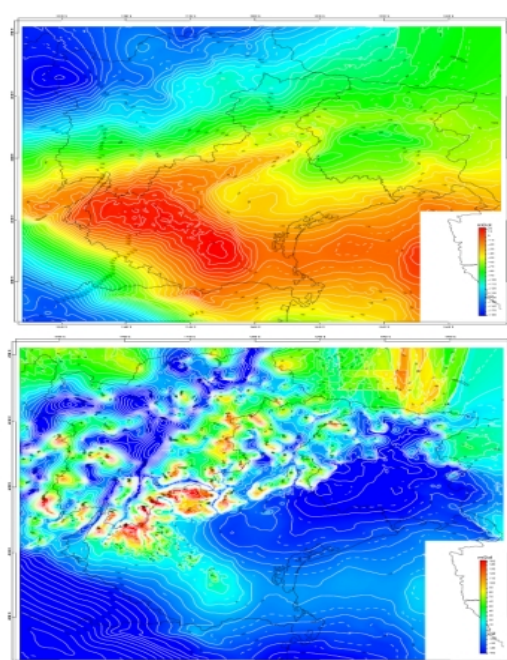


Fig 3,4 anomalia di bouguer-faye

I dati acquisiti sono stati compensati rigorosamente con il metodo dei minimi quadrati, mediante la risoluzione di un sistema lineare costituito dalle equazioni d'osservazione.

Le operazioni di acquisizione dei dati sono proseguite con la disposizione planimetrica di stazioni gravimetriche di dettaglio secondo un criterio che ha garantito un'omogeneità areale dei punti, un'assenza di correzione topografica vicina, una facilità d'accesso. Sono state materializzate mediante appositi segnali spray sul terreno per permettere una corretta ubicazione della strumentazione GPS.

L'equidistanza delle stazioni di dettaglio è stata mediamente di circa 5 km. e sono stati istituiti 74 circuiti gravimetrici, per un totale di 641 stazioni gravimetriche.

Nonostante la quantità di punti rilevati, vista l'area di interesse, la loro distribuzione spaziale geografica è stata ritenuta abbastanza disomogenea, tenuto quindi in considerazione il rischio di introduzione di errori grossolani nelle fasi di interpolazione su griglia regolare, si è avviato a questo inconveniente introducendo nei calcoli i valori di gravità presenti nella banca dati dell' OGS.

La fusione dei dati contenuti nei vari archivi (Fig.2) ha reso disponibile un set di dati con valore di anomalia gravimetrica e associato a precisi valori di livellazione caratterizzati da una elevata risoluzione (1 punto ogni 500 m²) in pianura e da una omogenea collocazione spaziale.

Il numero totale dei punti valicati e utilizzati nel calcolo è stato circa di 28.500.

Tutti i dati in input sono stati interpolati su una griglia regolare con spaziatura di 0.02' nella regione 44.80° – 46.80° in latitudine e 11.00° – 13.70° in longitudine usando il metodo di collocazione per il gridding dei dati.

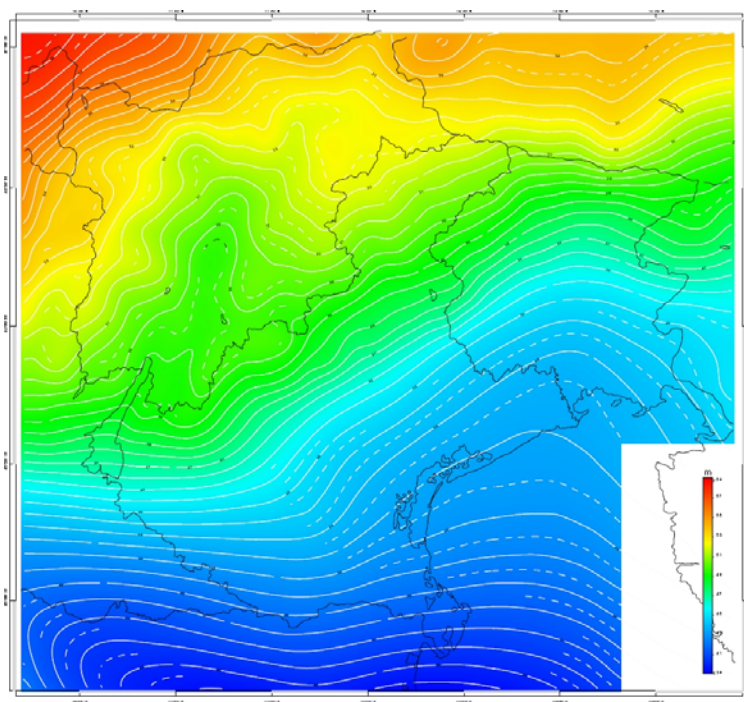


fig.5 modello geoide adbve 2006

A screenshot of the GGC software interface. The window title is "GGC: input file [????] -> output file [output.xyz]". The interface is divided into two main sections: "Formato delle coordinate" and "Conversione". The "Formato delle coordinate" section has two columns of options. The left column has "D.DD/m" selected. The right column has "D.DD/m" selected. Below these are input fields for "Longitudine:" (13.75954722), "Latitudine:" (45.647188611), "Altezza Ellissoidica:" (52.80), "Datum ROSSO:" (WGS84), "Proiezione ROSSO:" (latlong), and "Punto IGM ROSSO:" (Trieste-Molo Santeo). The right column has "D.DD/m" selected. Below these are input fields for "Est.:" (2423346.995), "Nord:" (5055619.899), "Altezza Ellissoidica:" (52.97), "Datum BLU:" (Roma40-E), "Proiezione BLU:" (Gauss-Boaga), and "Punto IGM BLU:" (Trieste-Molo Santeo). There are checkboxes for "APPLY GEOID MODEL" and "APPLY GEOID MOD". At the bottom are buttons for "Converti", "Do some magic", and a help icon.

fig. 6 software di conversione

Seguendo le metodologie di calcolo precedentemente descritte, sono state restituite una prima versione della modellazione delle superfici che rappresentano le anomalie di bouguer e faye (Fig.3,4) ed su di una superficie superiore per estensione alle aree di competenza della Autorità di Bacino è stato quindi ottenuto il prototipo di modello di geoide locale (Fig.5)

Da una prima e speditiva operazione di verifica della qualità dei dati ottenuti è stata valutata la differenza fra le quote derivate dai punti IGM e quelli determinanti per interrogazione del geoide ADBVE2006 essa è risultata minima, con valori che raggiungono gli estremi di -0.254 m e 0.263 m ed una deviazione standard di 0.135.

La precisione del geoid ottenuto è sufficiente all'applicazione di tutti i modelli di analisi idraulica attualmente impiegati consentendo di ottenere una precisione media di 0.135 m (1 δ) nella trasformazione fra le quote ellissoidiche (WGS84) ed ortometriche.

Per permettere un facile utilizzo della base dati ottenuta, con il presente lavoro è stata progettata e realizzata una piattaforma di calcolo per l'esecuzione delle conversioni tra i diversi datum altimetrici, il software denominato Geoid Corrected Coordinate Converter è stato editato con codice python utilizzando le librerie proj.4 (Fig.6).

Conclusioni.

I modelli gravimetrici e geoidici di alta risoluzione rivestono un ruolo sempre crescente soprattutto con l'avanzare delle metodologie di georeferenziazione diretta.

Il geoid ADBVE2006 è agganciato alla rete IGM, quindi di fatto compatibile con lo standard di riferimento cartografico istituzionale. Le implicazioni ovviamente risultano essere molto importanti. Nel caso delle operazioni di georeferenziazione diretta ottenute sia mediante rilievo GPS convenzionale, sarà possibile trasformare direttamente le quote da ellissoidiche in ortometriche con la accuratezza compatibile alla precisione dei sistemi laser a scansione aerotrasportati.

Al momento della stesura del presente documento sono in corso le operazioni di verifica e collaudo dei prodotti descritti.

Bibliografia

Forsberg R.: A Study of Terrain Reductions, Density Anomalies and geophysical Inversion Methods in Gravity Field Modelling, Reports of the Department of Geodetic Science and Surveying, n. 355, The Ohio State University, Columbus Ohio, 1984

Forsberg, R., C.C.Tscherning and P.Knudsen: An overview manual for the GRAVSOF Geodetic Gravity Field Modelling Programs. Kort og Matrikelstyrelsen, Draft 1. ed., Sept. 2003

Groten E.: Geodesy and Earth's Gravity Field, Duemmler and Bonn, 1980

Lemoine F.G., Kenyon S.C., Factor J.K., Trimmer R.G., Pavlis N.K., Chinn D.S., Cox C.M., Klosko S.M., Luthcke S.B., Torrence M.H., Wang Y.M., Williamson, R.G.Rapp, R.H., and Olson T.R., The development of the joint NASA/GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) geopotential models, EGM96, NASA, TP-1998-206861, 575 pp, July 1998

Moritz H.: Advanced Physical Geodesy, Abacus Press Tunbridge Wells Kent, 1980

Mostafa, M.M.R., J. Hutton, and E. Lithopoulos, 2001. Direct Georeferencing of Frame Imagery - An Error Budget. Proceedings, The Third International Mobile Mapping Symposium, Cairo, Egypt, January 3-5.

Reid, D.B., E. Lithopoulos, and J. Hutton, 1998. Position and Orientation System for Direct Georeferencing (POS/DG), Proceedings, Institute of Navigation 54th Annual Meeting, Denver, Colorado, USA, June 1-3, pp. 445-449.

Scherzinger, B., 1997. A Position and Orientation Post-Processing Software Package for Inertial/GPS Integration (POSProc). Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KISS 97), Banff, Canada, June 1997.