



A P A T

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO

Servizio Geologico d'Italia

Organo Cartografico dello Stato (Legge N°. 68 del 2-2-1960)

***GRAVITY MAP OF ITALY
AND SURROUNDING SEAS***

CARTA GRAVIMETRICA D' ITALIA

1:1.250.000

Carta realizzata da:



Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia

Servizio Geofisica

Servizio Cartografico relazioni e documentazione di base

In collaborazione con:



Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale

Dipartimento di Geofisica della Litosfera

CARS (Cartography and Remote Sensing)



S.p.A. Divisione Exploration & Production

Raccolta, omogeneizzazione, elaborazione dati a cura di:

F. Ferri * , R. Ventura **, F. Coren*, C. Zanolla***,**

* APAT - SUO-GFI Dir. **L. Bonci** ** APAT - SUO-MAP Dir. **N. Accardi**

*** OGS - CARS

Direttore responsabile: Leonello SERVA

REDAZIONE a cura del Servizio Cartografico, Relazioni e Documentazione di Base

Dirigente: Normanno ACCARDI

Capo Settore: Domenico TACCHIA

Coordinamento cartografico-editoriale: Domenico TACCHIA

Elaborazione cartografica digitale: Sabrina GROSSI e Renato VENTURA

Collaboratore: Valerio VITALE

ROMA - 2005

ABSTRACT

A new gravity map of Italy at 1:1.250.000 scale has been compiled using land and offshore data extracted respectively from the Italian Agency for Environmental Protection and Technical Services (APAT) - Land Resources and Soil Protection Dept. and the Italian National Institute for Oceanography and Experimental Geophysics (OGS) databases. The whole original gravity data has been re-corrected using the IGSN-71 (International Gravity Standardization Net) net as reference and the 1980 formula to compute the normal gravity. For the onshore data, Bouguer anomaly has been computed using a nominal density of 2.67 g/cm^3 ; the terrain correction has been computed up to a radius of 166.736 km. On the marine data, most of them acquired along survey lines, the processing consisted in the computation of Free-air anomaly only. The gridded database is produced interpolating the merged onshore and offshore dataset onto a 1 km node spacing square grid; the resulting map is based on the contouring of this grid. The map offers detailed gravity information for geophysical studies related to subsurface geology and medium-scale tectonic features in Italy; it can be considered as a valuable tool for identifying major structural lineaments and outlines geologic bodies at a regional scale.

INTRODUCTION

In 1975 the late Italian Geodetic Commission set up a new Bouguer anomaly map of Italy based on up to date reduction standards and homogeneous methodology. Lecce University (Carrozzo M.T. et al.1981) took the coordination for compiling this map. The significant results were the 3 sheets of the Gravity Map of Italy at 1:500.000 scale. This map was published in 1991 by the National Research Council (CNR) (C.N.R. - P.F.G. 1991) as part of the Structural Model of Italy. In this map the gravity values were referred to the IGSN-71 (Morelli et al. 1971), a digital mean height model of Italy (Carrozzo M.T. et al.1982) was prepared and used for the terrain correction which was extended to a radius of about 50 km, a simple plate formula was computed for the Bouguer correction with nominal density of 2.4 g/cm^3 . The former Geological Survey of Italy (now APAT - Land Resources and Soil Protection Dept.) was in charge for collecting the available gravity data that were used for compiling the map. The main data contribution came from the Italian National Oil Company (ENI - AGIP - Direzione Esplorazione Idrocarburi) acquisitions that have been performed between 1978 and 1983 with 217000 stations (Cassano E. 1983).

In 1989 the Geological Survey of Italy together with ENI - AGIP published a new gravity map of Italy at 1:1.000.000 scale, using the dataset collected for the 1:500.000 CNR project (Servizio Geologico d'Italia, 1989). This map displays Bouguer anomalies as contour lines with a contour interval of 10 mGals on a simplified geological basemap compiled in the early 70's for mining purposes. The Bouguer reduction using a spherical cap of 166.736 km radius (Hayford Zone O2) and the similar extension of the terrain correction were the most important new features of this map.

In the 90's the Geological Survey undertook an extensive land gravity cartography program that should cover the whole national territory at the scale of 1:50.000; this scale was chosen to unify the representation with that of the new Italian Geological Mapping Program (CARG). The Italian geophysical community, belonging to the scientific and exploration institutions and companies, formed a steering committee that produced guidelines and procedures (in the form of internal reports) for the new gravity map compilation, which included also specific reduction formulas. International standard procedures for gravity reduction remain a matter of scientific debate (LaFehr, T.R., 1991a - 1998; Talwani, M., 1998) so the

above mentioned specifications are still considered as the standard processing methodology in APAT Geophysical Service and have been adopted for this new version of the gravity map. These recommendations suggest the following parameters to be used for the land data: 1 - a constant nominal density of 2.67 g/cm^3 , 2 - the international formula 1980 (IAG 80) for theoretical gravity (Moritz, H., 1980), 3 - a second order free air reduction, 4 - a Bouguer reduction calculating the effect of a spherical cap of surface radius 166.736 km, 5 - a terrain reduction also extended to 166.736 km using a digital elevation model. More detailed information on these topics is given in the following chapters.

THE LAND AND MARINE GRAVITY DATASETS

As pointed out in the introduction, the land gravity data available at the former Geological Survey of Italy were a collection from different sources: ENI, OGS, USDMA (U.S. Defence Mapping Agency), academic and exploration organisations, the former Italian Geological Survey itself. For the publication of this new gravity map, land gravity data of Corsica were kindly provided by the Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) France. Some datasets resulted not having all the necessary details for the processing so only the observed values from the following sources were used to produce this new gravity map.

Data sources Number of onshore stations[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469114[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469273APAT[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469114[Fine del segnalibro RTF: }_Toc724692739398[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469115[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469274ENI[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469115[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469274235277[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469116[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469275OGS[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469116[Fine del segnalibro RTF: }_Toc7246927523387[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469117[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469276USDMA[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469117[Fine del segnalibro RTF: }_Toc724692768545BRGM1256**Total stations277863**

For the majority of the data, very little or none information was available concerning the accuracy of the observed values, the elevation determination method or the gravity meter type. Moreover most of the surveys were made for regional exploration purposes, where a realistic estimate for accuracy could be considered within a tenth of a mGal. Only for the more recent proprietary surveys an estimate of a few hundredths of a mGal can be given.

Before populating the database the first task was the referencing of all the observed gravity values to IGSN-71 and to a common cartographic projection (Transverse Mercator, ED50, Central Meridan 14°E), the removal of gross errors and station duplicates through automatic routines verifying the location (coordinates), elevation and observed gravity outlying values. The normal gravity formula used for the computation is that referenced by the Geodetic Reference System 1980. The greatest difficulty arose in finding the gravity reference used for the older surveys from the available documentation and consequently the application of correct datum shifts.

OGS acquired a large geophysical dataset in the Mediterranean Sea; most of the cruises took place in the period 1961-1972 (with R/V Marsili, R/V Bannock, R/V Geomar, MS MMI Mango, SACLANT Maria Paolina) with a Graf - Askania model G17, G27 e G32 sea gravimeter and in the nineties (with R/V Explora) with the Bodenseewerk KSS31 gravimeter. The whole dataset consists in 80288 gravity measurements (Makris, 1998).

The station distribution and density can be evaluated from **figures 1 and 2**.

A NEW GRAVITY MAP OF ITALY AND SURROUNDING SEAS

figure 1
The overall gravity stations spatial distribution.

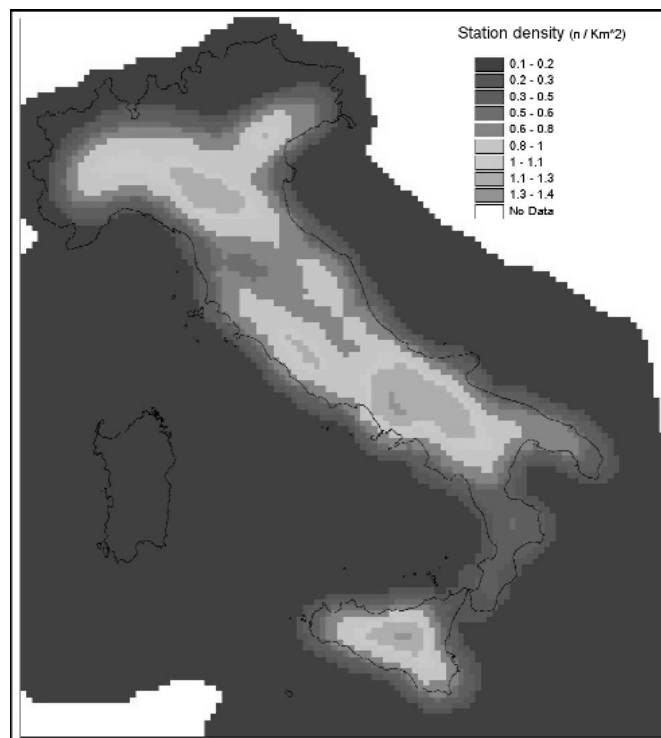


figure 2
The Italy gravity station density (number of stations/Kmq) for the APAT dataset; low values are located in the Alps mountain range, parts of Sicily and Sardinia.

THE DIGITAL ELEVATION MODEL AND THE TERRAIN CORRECTION

In order to compute ex novo the terrain correction for the gravity stations, it has been necessary to construct a digital elevation model (DEM) for Italy including the depth values of the sea floor. The DEM used is based on the one adopted for the Gravity map of Italy at 1:500000 mentioned before (Carrozzo M.T. et al.1982) which consists of a mean elevation grid of lat 7.5", long 10" interval (approx. 230m) spacing, integrated with SRTM data (JPL, 1999) for the area of Corsica and along the Swiss border.

In recent times a digital elevation model for onshore Italy is also available with a resolution of 20 m (source IGM – Italian Military Geographic Institute) and is used for near station terrain corrections.

For the offshore areas, the USGS Gtopo30 (Global Digital Elevation Model) with a grid interval of 30" was used (USGS, 1996). With an appropriate resampling of the USGS model, the missing offshore data of the Italy DEM was filled and the resulting model could be employed for the correction. To construct the first Gravity Map of Italy, back in the early 80's, the computation of the terrain or topographic correction was an important, expensive and demanding task also considering the hardware available. This problem is now solved adopting modern technology and revised versions with new improved algorithms of the computing programs that were developed by APAT.

Terrain corrections are based on the calculation of the gravitational effect of the excess or defect of mass from the spherical cap or infinite plate model (Bouguer reduction) and on the elevation data of the topographic surface around the station. The usual computational approach divides the surrounding topography in cells (or quadrants) where a mean elevation is computed; at this stage all the contributions are summed within a specific distance (radius) from every station, summing the contribution from all zones (Hammer, S., 1939). With the availability of a DEM, machine time consuming interpolation techniques are no longer necessary for calculation of the cell mean elevation. Dividing the topography around any station in a high number of cells, number depending on the grid node, their shape will closely resemble that of a rectangular prism, whose analytical solution is well known. The elevation of the station is checked against the corresponding value of the DEM in the terrain correction computation. Usually these values do not correspond exactly but it is assumed that if the difference is very large, in the order of some tenths of meters, the station location is wrong and therefore it will be rejected. For the calculation of the terrain correction the station elevation is replaced with the appropriate DEM value. The terrain reduction process is a 5 steps correction procedure:

- up to 25 m, near station correction, obtained by computation of the gravitational attraction of conical elements, using field collected topographic data (when available)*
- between 25 and 250 m from the station, calculation of the gravitational attraction of conical elements using the highest resolution elevation model (20 m or 230 m grid cell).*
- between 250 m and 10 km from the station, calculation of the gravitational attraction of vertical prisms using the highest resolution elevation model (20 m or 230 m grid cell).*
- between 10 km and 50 km calculation of the gravitational attraction of vertical prisms using a square 1000 m grid cell elevation model, resampled from the original 230 m grid cell model.*
- calculation from 50 km to 166.736 km using a square 3000 m grid elevation model, resampled from the original 230 m grid cell model.*

GRAVITY ANOMALIES CALCULATION AND PRESENTATION OF THE GRAVITY MAP

The Bouguer Anomalies of the land stations were calculated using the following formula:

$$BA = Go - (N + F + B + T)$$

Where BA = Bouguer anomaly, Go = observed gravity, N = theoretical gravity, F = free air reduction, B = spherical cap reduction, T = terrain reduction. The B term is calculated using the exact solution with the formula of Talwani (Talwani M.,1973).

The entire offshore dataset has been processed up to the computation of the free-air anomaly. This anomaly describes the anomalous field as computed with a still ship (instrument), and is referenced to the IGSN71 (Morelli et al. 1971); the normal gravity formula used for the computation is that referenced by the Geodetic Reference System 1980.

$$\text{Free air anomaly} = Go + Eotvos - N$$

$$Eotvos = 14.5842 * vel * \sin(Az) * \cos(lat) + 0.01570 * vel^2$$

Where vel = vessel velocity, lat = latitude of the vessel, N = normal gravity computed using the GRS80 formula, Go = observed gravity value.

The complete scattered data set was then interpolated onto a square grid with a cell size of 1 km. We adopted Kriging (Cressie, 1990) as the interpolation algorithm because it has been proven (Feichtinger & Grohenig, 1993; Rauth, 1998) to be an effective and accurate gridding method for geopotential data. A square bidimensional gaussian filter operator has then been applied to the grid (operator length 11 km, alpha coefficient 2 - SD of the gaussian function) to reduce local noise. After gridding, the gravity contours were plotted in a GIS system where stations with inconsistent values were edited or deleted. For the final map, contours were also slightly smoothed. The map is a colour shaded relief presentation, with an artificial light source from the North East with an elevation of 45°.

The new map shows a good agreement between the free air anomaly computed for the offshore sector and the Bouguer (topographically corrected up to 166.736 km) onshore. The Free air anomalies pattern is mostly driven by the sea floor topography, as expected. This implies that in areas with rough bathymetry as in case of Tyrrhenian Sea a quantitative analysis of the anomalies can be difficultly performed whereas in the North Adriatic basin, due to its shallow and smooth bathymetry, the free-air anomalies are numerically close to the Bouguer.

THE GRAVITY MAP DOMAINS

The overall gravity map identifies at least five gravity homogeneous domains that are showed in **figure 3**

Area A – Is characterised by a set of negative anomalies that runs in NW-SE direction along the entire Italian peninsula; gravity anomalies in this sector presents low frequency (half-wavelength higher than 100 km) and general extension in NW-SE direction.

In the offshore area (Adriatic Sea) the free air anomalies are comparable in amplitude and shape to the Bouguer anomalies plotted onshore in the northern sector, mainly because the bathymetry is relatively flat and shallow. In the southern sector of Adriatic Sea the free air anomaly is much more modulated by the sea floor component.

Area B – In this area the offshore free air anomalies are mainly related to the rough sea floor morphology that characterises the Tyrrhenian Sea. The mean half-wavelength of the anomalies is in the order of 20-30 km.

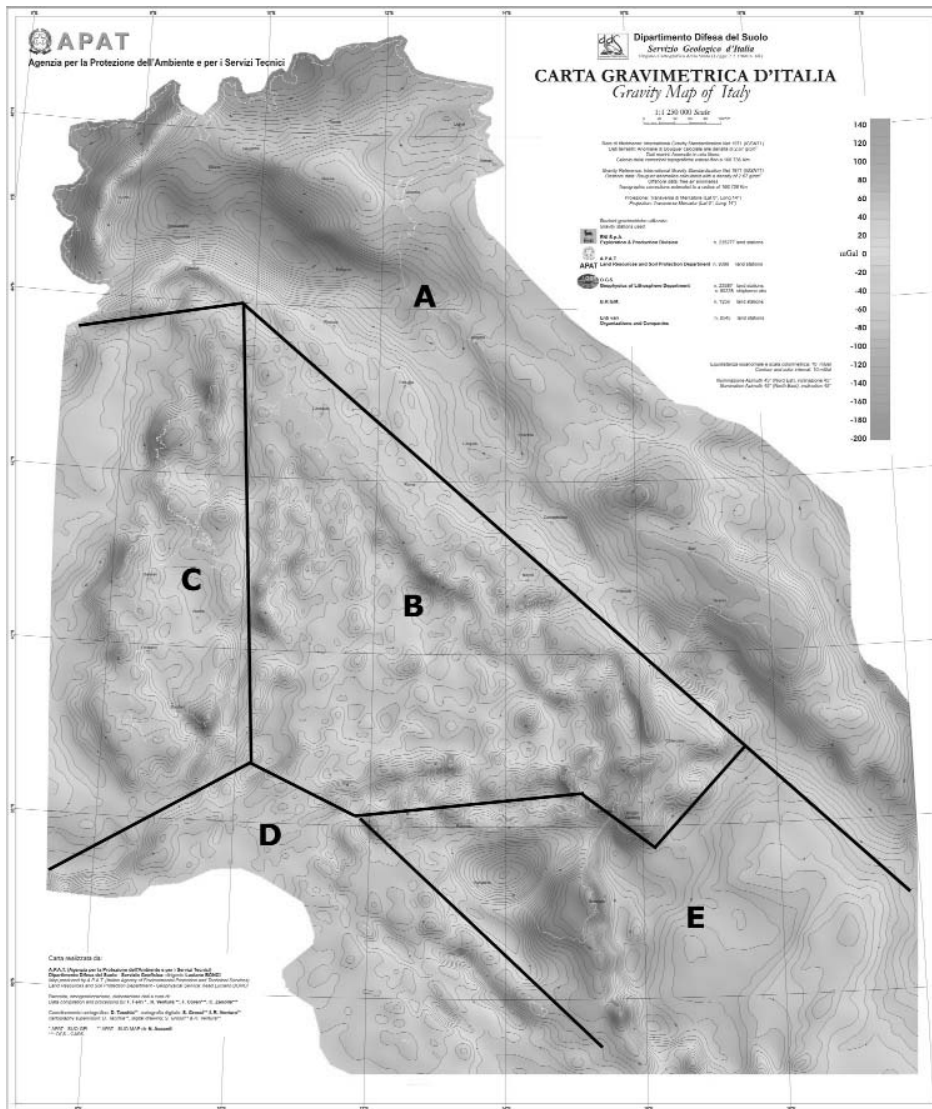


figure 3 - The resulting gravity homogeneous domains.

Area C – Medium half-wavelength (from 30 to 50 km) with N-S trend dominates this region where the positive values extend offshore to the west of Sardinia Island limit.

Area D – This area presents a broad positive anomaly modulated by slight variation of 50 km mean half-wavelength that comprehensively spans between +20 and +60 mGal.

Area E – Low frequency (more than 100 km half wavelength) high amplitude (-120 +180 mGal) anomalies characterise this area.

ACKNOWLEDGMENTS

We wish to thank ENI S.p.A. Exploration & Production Division for allowing the use of gravity proprietary data, collected in the APAT gravity database, and B.R.G.M. CDG/MA for providing the onshore data of Corsica.

REFERENCES

Carrozzo M.T., Chirenti A., Giada M., Luzio D., Margiotta C., Quarta T., Zuanni F.
1 9 8 1
Carta Gravimetrica d'Italia: Tecniche automatiche per la sua realizzazione. Atti del I Convegno GNGTS

Carrozzo M.T., Chirenti A., Giada M., Luzio D., Margiotta C., Miglietta D., Pedone M., Quarta T., Zuanni F., 1982: *Data bases of mean height values and of gravity values. Proceed. of the 2nd Intern. Symposium of the Geoid and Mediterranean*

Cassano E. 1983. *Contributo AGIP alla carta gravimetrica d'Italia, Atti del II convegno GNGTS*

C.N.R. - P.F.G. 1991. *Structural model of Italy and gravity map, Quaderni della Ricerca Scientifica, n. 114, vol. 3.*

Cogbill, A. H. 1990. *Gravity terrain corrections calculated using Digital Elevation Models, Geophysics, 55(1), 102-106.*

Cressie, N. A. C. 1990. *The Origins of Kriging, Mathematical Geology, v. 22, 239-252.*

Feichtinger H.G., Grøhenig K. 1993. . In Benedetto J. and Frazier M., editors, *Wavelets: Mathematics and Applications, CRC Press, 305-363.*

Gettings, M. E. ,1982, *Near-station terrain corrections for gravity data by a surface-integral technique, U.S. Geological Survey Open-File Report 82-1045, i+14 pages.*

JPL, 1999. *The SRTM homepage. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>*

Hammer, S., 1939. *Terrain corrections for gravimeter stations, Geophysics, 4, 184-194.*

Hardy, R.. L. ,1971. *Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces, Journal of Geophysical Research, 76, 1905-1915.*

Krohn, D. H. ,1976. *Gravity terrain corrections using multiquadric equations, Geophysics, 41, 266-275.*

LaFehr, T.R., 1991a. *Standardization in gravity reduction, Geophysics, 56, 1170-1178.*

LaFehr, T.R., 1991b. *An exact solution for the gravity curvature (Bullard B) correction, Geophysics, 56, 1179-1184.*

LaFehr, T.R., 1998. *On Talwani's "Errors in the total Bouguer reduction", Geophysics, 63, 1131-1136.*

Li, X., Gotze, H.-J., 2001. *Tutorial: Ellipsoid, geoid, gravity, geodesy, and geophysics, Geophysics, 66,1660-1668.*

Makris J., Morelli C., Zanolli C., 1998. *The Bouguer gravity map of the Mediterranean Sea (IBCM-G). Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata – BGTA – Vo. 39. 78 - 98*

Morelli, C., (ed.), 1974. *The International Gravity Standardization Net 1971, International Assn. Geod. Spec. Publ. 4.*

Moritz, H., 1980. *Geodetic Reference System 1980*, *Bulletin Geodesique*, 54, 395-405.

Plouff, D. ,1966. *Digital terrain corrections based upon geographic coordinates*, *Geophysics*, 31, 1208.

Renka, R. J. ,1984. *Algorithm 624, Triangulation and interpolation at arbitrary points in a plane*, *ACM Trans. on Math. Software*, 10(4), 440-442.

Renka, R. J. and A. K. Cline ,1984. *A triangle-based C1 interpolation method*, *Rocky Mt. Jour. of Mathematics*, 14(1), 223-237.

Renka, R. J. ,1996. *Algorithm 751: TRIPACK: A constrained two-dimensional Delauney triangulation package*, *ACM Trans. on Math. Software*, 22(1), 1-8.

Renka, R. J. ,1996. *Algorithm 752: SRFPACK: Software for scattered data fitting with a constrained surface under tension*, *ACM Trans. on Math. Software*, 22(1), 9-17.

Servizio Geologico d'Italia, 1989. *Carta gravimetrica d'Italia - scala 1: 1000000*

Talwani, M., 1998. *Errors in the total Bouguer reduction*, *Geophysics*, 63, 1125-1130.[Inizio del segnalibro RTF: }hammer[Fine del segnalibro RTF: }hammer

Talwani, M.,1973. *Computer usage in the computation of gravity anomalies*, in *Bolt. B.A. Ed., Geophysics: Methods in computational physics 13*, Academic Press, 343-389

USGS, 1996. *The Gtopo 30 home page*.
<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>

INTRODUZIONE

Nel 1975 la Commissione Geodetica Italiana decise la realizzazione di una nuova carta delle anomalie di Bouguer dell'Italia, basata su una metodologia omogenea e con formule aggiornate per la riduzione dei valori. Il coordinamento di tale progetto fu affidato alla Università di Lecce (Carrozzo M.T. et al.1981) ed il risultato fu la pubblicazione nel 1991 dei tre fogli della Carta gravimetrica d'Italia alla scala 1: 500.000, da parte del C.N.R., a corredo del Modello Strutturale di'Italia (C.N.R. - P.F.G. 1991). In questa carta i valori di gravità erano riferiti alla IGSN-71 (Morelli et al. 1971), fu realizzato un modello digitale di quote medie del territorio nazionale (Carrozzo M.T. et al.1982) da utilizzare per la correzione topografica che fu estesa ad un raggio di circa 50 Km, fu inoltre adottato per la correzione di Bouguer il modello a piastra infinita ed una densità di calcolo di 2.4 g/cm³. L'allora Servizio Geologico d'Italia (ora Dipartimento Difesa del Suolo-APAT) fu incaricato di curare l'archivio dei dati gravimetrici disponibili per tale progetto, archivio costituito principalmente da circa 217000 valori di gravità misurati tra il 1978 ed il 1983 e forniti dall' ENI – Agip (Cassano E. 1983). Nel 1989 il Servizio Geologico d'Italia in collaborazione con ENI – Agip pubblicò una nuova Carta gravimetrica d'Italia alla scala 1: 1.000.000 utilizzando il set di dati raccolto per le carte 1:500.000 del C.N.R. (Servizio Geologico d'Italia, 1989). Questa carta mostrava le anomalie di Bouguer tramite isolinee con intervallo di 10 mGal sovrapposte ad una base geologica semplificata ricavata negli anni 70 per scopi minerari. Elementi innovativi di questa carta erano la correzione di Bouguer effettuata utilizzando la formula della calotta sferica con raggio di 166.736 km dal punto stazione (Zona O2 nello schema di Hayford) e la correzione topografica estesa allo stesso raggio. Negli anni 90 il Servizio Geologico d'Italia intraprese un nuovo programma di cartografia gravimetrica del territorio nazionale alla scala 1: 50.000, questa scala era la stessa adottata dal programma di cartografia geologica denominato CARG. Fu formato un comitato di esperti geofisici italiani provenienti dal mondo accademico e da compagnie di esplorazione allo scopo di produrre linee guida e procedure per la realizzazione di questa nuova cartografia gravimetrica, comprendendo esse anche specifiche formule di calcolo. Una procedura standard di elaborazione del dato gravimetrico ai fini di ottenere le anomalie di Bouguer è tuttora materia di dibattito scientifico (LaFehr, T.R., 1991a – 1998; Talwani, M., 1998) e per questo motivo le linee guida allora ricavate sono applicate ancora oggi dal Servizio Geofisica dell'APAT e sono la base per la realizzazione della presente nuova versione della carta gravimetrica. Tale normativa prevede che per i dati a terra sia adottata la seguente procedura: 1- densità di calcolo costante di 2.67 g/cm³, 2- uso della formula internazionale del 1980 (IAG 80) per il calcolo della gravità normale, 3 – correzione in Aria libera del secondo ordine, 4- correzione di Bouguer effettuata calcolando l'effetto di una calotta sferica con raggio di 166.736 km dal punto stazione, 5- correzione topografica estesa a 166.736 km dal punto stazione utilizzando un modello digitale del terreno.

I DATI GRAVIMETRICI UTILIZZATI

Come descritto nell'introduzione, l'archivio gravimetrico, disponibile all'allora Servizio Geologico d'Italia, proveniva da diverse Fonti: ENI, OGS, USDMA (U.S. Defence Mapping Agency), Società di esplorazione, Istituzioni accademiche ed infine lo stesso Servizio Geologico. Inoltre ai fini della pubblicazione della presente carta, il Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) ha gentilmente fornito I dati gravimetrici onshore della Corsica. Alcune misure dell'archivio gravimetrico sono risultate mancare dei necessari riferimenti per la loro elaborazione per cui si è deciso di utilizzare solo i dati provenienti dagli Enti descritti nella seguente tabella:

Ente Numero di stazioni onshore[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469114[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469273APAT[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469114[Fine del segnalibro RTF: }_Toc724692739398[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469115[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469274ENI[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469115[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469274235277[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469116[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469275OGS[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469116[Fine del segnalibro RTF: }_Toc7246927523387[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469117[Inizio del segnalibro RTF: }_Toc72469276USDMA[Fine del segnalibro RTF: }_Toc72469117[Fine del segnalibro RTF: }_Toc724692768545BRGM1256**Totale277863**

Per la maggioranza dei dati, scarse o nulle sono risultate le informazioni relative all'accuratezza dei valori osservati, il metodo di determinazione della quota stazione od il modello di gravimetro utilizzato. Inoltre molti rilevamenti furono eseguiti a scopo di esplorazione regionale dove una stima realistica dell'accuratezza risulta compresa nel decimo di mGal. Solo per le più recenti misure effettuate dal Servizio Geofisica si è potuto stimare una accuratezza di alcuni centesimi di mGal. Le prime operazioni effettuate sui dati di origine sono state il riferimento di tutti i valori osservati alla IGSN-71, l'adozione di un'unica proiezione cartografica (Trasversa di Mercatore, ED 50, Meridiano Centrale 14° Est) e la eliminazione di errori grossolani e duplicati tramite routines automatiche di controllo sulle coordinate, quota e gravità osservata. Inoltre si è adottata come formula della gravità normale quella del Geodetic Reference System 1980. La maggiore difficoltà riscontrata è stata l'attribuzione, in base alla documentazione disponibile, dei valori di gravità di riferimento utilizzati dai rilevamenti più vecchi e la conseguente applicazione di un corretto datum shift.

Per quanto riguarda i dati marini, acquisiti dall'OGS nel Mar Mediterraneo, la maggior parte delle crociere fù effettuata nel periodo 1961 – 1972 (con la R/V Marsili, R/V Bannock, R/V Geomar, MS MMI Mango, SACLANT Maria Paolina) utilizzando un gravimetro di superficie Graf - Askania modello G17, G27 e G32 e negli anni 90 (con la R/V Explora) con il gravimetro Bodenseewerk KSS31. La totalità dei dati arriva a 80288 misure di gravità (Makris, 1998). La distribuzione e densità delle stazioni di misura può essere valutata dalla **figure 1 e 2**.

IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E LA CORREZIONE TOPOGRAFICA

Per poter elaborare ex novo la correzione topografica per le stazioni gravimetriche è stato necessario realizzare un modello digitale del terreno (DEM) per l'Italia che comprenda anche i valori di quota del fondo marino. Il DEM utilizzato si basa su quello creato per la Carta gravimetrica d'Italia 1: 500.000 già menzionata (Carrozzo M.T. et al.1982), che consiste in una griglia di quote medie con cella elementare di 7.5" in latitudine e 10" in longitudine (cella di circa 230 m), integrato con dati SRTM (JPL, 1999) per l'area della Corsica e lungo il confine svizzero. Recentemente un modello digitale delle aree emerse dell'Italia con una risoluzione di 20 m è stato reso disponibile dall'I.G.M. (Istituto Geografico Militare) e viene usato per le correzioni topografiche delle zone vicine alla stazione di misura. Per le aree offshore si è utilizzato il Gtopo30 dell'U.S.G.S. con una risoluzione di 30" (USGS, 1996). Tramite un adeguato ricampionamento del DEM dell'USGS si è potuto assicurare la copertura della zona del DEM italiano mancante di dati ed il modello risultante è stato infine adoperato per la correzione topografica. Nei primi anni 80 il calcolo della correzione topografica risultava essere un fattore oneroso anche a causa del hardware allora disponibile. Il problema è ora risolto con le moderne tecnologie e migliorando gli algoritmi di elaborazione dei programmi utilizzati dal Servizio Geofisica dell'A.P.A.T.. Le correzioni topografiche sono basa-

te sul calcolo dell'effetto gravitazionale di un eccesso o difetto di massa rispetto al modello della calotta sferica o della piastra infinita (riduzione di Bouguer) e richiede i dati di quota della superficie topografica che circonda la stazione di misura. Il tradizionale metodo di calcolo divide tale topografia in celle o quadranti per i quali viene calcolata una quota media; quindi tutti i contributi delle celle sono sommati fino ad una specifica distanza (raggio) da ogni stazione, sommando il contributo di tutte le relative zone (Hammer, S., 1939).

Con la disponibilità di un DEM, non è più necessario usare tecniche di interpolazione impegnative per tempo-macchina al fine di ottenere la quota media di una cella. Dividendo la superficie topografica intorno alla stazione in un alto numero di celle, numero dipendente dalle dimensioni del nodo della griglia del DEM, la loro forma approssimerà quella del prisma rettangolare, la cui soluzione analitica è ben nota. La quota della stazione viene confrontata con quella del punto corrispondente del DEM. Di solito tali valori non corrispondono esattamente per cui si assume che se la differenza di quota è molto grande, dell'ordine di alcune decine di metri, la posizione o la quota della stazione è errata ed essa viene quindi eliminata. Per il calcolo della correzione topografica la quota stazione viene sostituita con quella corrispondente del DEM. In dettaglio il processo di calcolo della correzione topografica si sviluppa in 5 fasi:

- da 0 a 25 m dal punto stazione: correzione topografica vicina ottenuta tramite calcolo dell'attrazione gravitazionale di elementi conici, utilizzando quote rilevate in campagna (ove disponibili)
- da 25 a 250 m dal punto stazione: calcolo dell'attrazione gravitazionale di elementi conici, utilizzando il DEM a maggior risoluzione disponibile (cella elementare di 20 o 230 m)
- da 250 m a 10 km: calcolo dell'attrazione gravitazionale di prismi verticali, utilizzando il DEM a maggior risoluzione disponibile (cella elementare di 20 o 230 m)
- da 10 a 50 km: calcolo dell'attrazione gravitazionale di prismi verticali, utilizzando un DEM con cella elementare di 1000 m ottenuto ricampionando il DEM originale a cella di 230 m.
- da 50 a 166.736 km: calcolo dell'attrazione gravitazionale di prismi verticali, utilizzando un DEM con cella elementare di 3000 m ottenuto ricampionando il DEM originale a cella di 230 m.

IL CALCOLO DELLE ANOMALIE DI GRAVITÀ E LA RAPPRESENTAZIONE DELLE ANOMALIE

Per le stazioni di terra le Anomalie di Bouguer sono state calcolate usando la seguente formula:

$$BA = Go - (N + F + B + T)$$

Dove BA = Anomalia di Bouguer, Go = gravità osservata, N = gravità teorica o normale, F = correzione in Aria libera, B = correzione di Bouguer per la calotta, T = correzione topografica. Il termine B è stato calcolato utilizzando la soluzione esatta con la formula di Talwani (Talwani M., 1973).

Il dataset offshore è stato elaborato fino al calcolo dell'Anomalia in Aria libera. Tale anomalia descrive il campo anomalo ottenuto a nave ferma ed è riferito alla IGSN-71 (Morelli et al. 1971); La formula utilizzata per la gravità normale è quella del Geodetic Reference System 1980.

$$\text{Anomalia Aria libera} = Go + Eotvos - N$$

$$\text{con } Eotvos = 14,5842 * vel * \sin(Az) * \cos(lat) + 0,01570 * vel^2$$

dove Go = gravità osservata, vel = velocità nave, lat = latitudine punto nave, N = gravità normale,

L'insieme dei dati acquisiti è stato in seguito interpolato su una griglia regolare quadrata con cella elementare di 1 km. Come algoritmo di interpolazione è stato impiegato il Kriging (Cressie, 1990) perché si è dimostrato un metodo efficace ed accurato per il gridding di dati di geopotenziale (Feichtinger & Grohenig, 1993; Rauth, 1998). Ai fini di ridurre il rumore locale è stato poi applicato alla griglia un

filtro gaussiano bidimensionale (lunghezza operatore 11 km, coefficiente α 2-SD della funzione gaussiana). I contour sono stati in seguito verificati su un sistema GIS dove i punti di misura con valori inconsistenti sono stati editati od eliminati. Infine per il prodotto finale si è provveduto ad un leggero smoothing delle isolinee.

La carta finale è una rappresentazione a colori con ombreggiatura (shaded relief), con una sorgente artificiale di illuminazione posta a Nord Est ad una altezza di 45° .

Questa nuova carta mostra un buon accordo tra l'anomalia in Aria libera del settore a mare e la Bouguer (corretta per la topografia fino a 166.367 km) del settore a terra.

Come previsto l'andamento delle anomalie in Aria libera è principalmente dovuto dalla topografia del fondo marino. Questo implica che in aree con batimetria molto variabile, come avviene nel Mar Tirreno, una analisi quantitativa delle anomalie può essere effettuata con difficoltà, mentre nel bacino Nord Adriatico, a causa della batimetria dolce e poco profonda, le anomalie in Aria libera sono numericamente prossime alle anomalie di Bouguer.

I DOMINI DELLA CARTA GRAVIMETRICA

L'insieme della carta gravimetrica evidenzia almeno cinque domini omogenei delle anomalie gravimetriche che sono mostrati in **figura 3**

Area A – è caratterizzata da una serie di anomalie negative che si sviluppa in direzione NW-SE lungo l'intera penisola italiana; le anomalie gravimetriche in questo settore hanno una bassa frequenza (semi lunghezza d'onda /2 maggiore di 100 km) ed una estensione generale in direzione NW-SE. Nell'area offshore (Mar Adriatico) le anomalie in Aria libera sono comparabili in ampiezza e forma con le anomalie di Bouguer onshore del settore settentrionale principalmente perché la batimetria è poco profonda ed uniforme. Nel settore meridionale del Mar Adriatico le anomalie in Aria libera sono modulate molto di più dal fondo marino.

Area B – in questa area le anomalie offshore sono principalmente legate alla morfologia tormentata del fondo marino che caratterizza il Mar Tirreno. La /2 delle anomalie risulta dell'ordine di 20-30 km.

Area C – Questa regione è caratterizzata da anomalie con /2 di media entità (da 30 a 50 km) con un trend N-S. I valori positivi si estendono offshore ad Ovest del limite della Sardegna.

Area D – Quest'area presenta una vasta anomalia positiva con una /2 leggermente variabile intorno ai 50 km, con ampiezze che vanno da + 20 a + 60 mGal.

Area E – Caratterizzata da anomalie a bassa frequenza (/2 maggiore di 100 km) e grande ampiezza (-120 +180 mGal)

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare ENI S.p.A. Exploration & Production Division, per il permesso di utilizzare i dati gravimetrici di loro proprietà e residenti nel database dell'APAT, e B.R.G.M. CDG/MA per aver fornito i dati gravimetrici onshore della Corsica.

