

ASITA

Federazione italiana delle
Associazioni **S**cientifiche
per le **I**nformazioni **T**erritoriali
e **A**mbientali

2014



PATROCINI

REGIONE



TOSCANA



PROVINCIA
DI FIRENZE



COMUNE
DI FIRENZE



ISTITUTO
GEOGRAFICO
MILITARE



Consiglio Nazionale
Geometri e Geometri Laureati



UNIVERSITÀ
DI SIENA
1240

Centro di
GeoTecnologie



Centro Interuniversitario
di Scienze del Territorio



Collegio Provinciale
Geometri e Geometri Laureati
di Latina



ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI
DELLA PROVINCIA DI FIRENZE



Scuola Superiore
Sant'Anna
di Studi Universitari e di Perfezionamento



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



UNIVERSITÀ DI PISA



UNIVERSITÀ
DI SIENA
1240

SILVER SPONSOR



ISBN 978-88-903132-9-5

Organi ASITA

CONSIGLIO DIRETTIVO (CD)

Giuseppe SCANU (<i>Presidente</i>)	Università degli Studi di Sassari
Paola FILIPPI (<i>Vice-Presidente</i>)	Exelis Visual Information Solutions
Serafino ANGELINI	Litografia Artistica Cartografica
Piero BOCCARDO	Politecnico di Torino
Alessandro CAPRA	Università degli Studi di Modena
Andrea FAVRETTO	Università degli Studi di Trieste
Andrea FIDUCCIA	Intergraph Italia LLC
Mario A. GOMARASCA	CNR-IREA, Milano
Stefano NICOLodi	Collegio dei Geometri e Geometri Laureati della Provincia di Firenze
Livio PINTO	Politecnico di Milano
Mauro SALVEMINI	Università "La Sapienza" Roma
Franco VICO	Politecnico di Torino

CONSIGLIO SCIENTIFICO (CS)

Stefano GANDOLFI (<i>Presidente</i>)	Università degli Studi di Bologna
Sergio FARRUGGIA (<i>Vice-Presidente</i>)	AM/FM GIS Italia
Giuseppe BORRUSO	Università degli Studi di Trieste
Enrico BORGOGNO	Università degli Studi di Torino
Mirco BOSCHETTI	CNR-IREA, Milano
Giovanni MAURO	Università degli Studi di Trieste
Beniamino MURGANTE	Università degli Studi della Basilicata
Alessandro NOBILI	Associazione Italiana di Cartografia
Fulvio RINAUDO	Politecnico di Torino
Livio ROSSI	SIN
Giannina SANNA	Università degli Studi di Cagliari
Monica SEBILLO	Università degli Studi di Salerno

COMITATO ORGANIZZATORE LOCALE (COL)

Margherita AZZARI	Università degli Studi di Firenze
Gherardo CHIRICI	Università degli Studi del Molise
Stefano NICOLodi	Presidente del Collegio dei Geometri e Geometri Laureati della Provincia di Firenze
Umberto SASSOLI	Regione Toscana
Luciano SURACE	Past-President ASITA
Elena TORRETTA	Istituto Geografico Militare
Maurizio TREVISANI	Regione Toscana

SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

Piazzale Morandi 2, 20121 Milano
Tel. 039 2847755, Fax 039 2843722
Cell. 329 9860457
E-mail: segreteria@asita.it

INDIRIZZO INTERNET
www.asita.it

Indice

RELAZIONI PRESENTATE

Strumento SMART a supporto della gestione del Servizio Idrico Integrato nello Stato di Saint Lucia (Caraibi Orientali) <i>I. Agnelli, F. Sapio</i>	3
Il modello idraulico e di qualità dell'acquedotto di Napoli da cartografia storica <i>A. Agresta, G. Fattoruso, M. Fabbricino, B. Lanza, C. Stammelluti, S. De Vito, G. Sorgenti, G. Di Francia</i>	11
I modelli digitali 3D di città come hub informativo per simulazioni energetiche a scala urbana <i>G. Agugiaro</i>	19
Rilievo metrico 3D multiscala per l'indagine e la rappresentazione architettonica e ambientale dell'area archeologica di Susa <i>I. Aicardi, P. Boccardo, F. Chiabrando, E. Donadio, A. Lingua, P. Maschio, F. Noardo, A. Spanò</i>	27
L'utilizzo di dispositivi mass market per la documentazione e la modellazione dei beni culturali <i>I. Aicardi, A. Lingua, M. Piras</i>	35
Censimento dei reati predatori attraverso applicazioni desktop GIS. Problematiche e prospettive <i>V. Alberelli, N. Surano</i>	43
La valutazione delle deformazioni del suolo nella piana di Venafro mediante l'elaborazione di dati PSInSar, morfo-strutturali e stratigrafici <i>V. Amato, P. P.C. Aucelli, E. Bellucci Sessa, M. Cesarano, P. Incontri, G. Pappone, E. Valente, G. Vilaro</i>	51
Rappresentazioni cartografiche della coltura dell'olivo in Campania <i>T. Amodio</i>	55
WebGIS finalizzato al "Programma integrato per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento da nitrati di allevamenti avicoli" nel verso di una maggiore sostenibilità ambientale <i>V. Ancona, N. Lopez, C. Massarelli, V.F. Uricchio, G. Tedeschi</i>	63
La valorizzazione della componente altimetrica del DB geotopografico del Comune di Torino: metodologie e nuove frontiere di utilizzo <i>L. Annibaletto, L. Chiapale, M. De Agostino, S. Manera, M. Pipino</i>	71
Realizzazione di un plugin open source per QGIS per il calcolo degli indicatori di VAS del PTPR della Regione Emilia-Romagna <i>P. Ansaloni, G. Bollini, M.C. Nannetti, M. Roffilli</i>	81
Analisi Spazio-Temporale di Messaggi Twitter per l'Identificazione di Eventi <i>P. Arcaini, G. Bordogna, E. Mangioni, S. Sterlacchini</i>	89
Analisi e sviluppo di un webGIS per il monitoraggio degli estremi idrologici in Toscana <i>G. Arcangioli, V. Chiarello, E. Caporali, T. Pileggi</i>	91
Rilievi close range a supporto di indagini sub superficiali <i>I. Arezzini, L. Capineri, P.L. Falorni, V. Bonora, D. Ostuni</i>	93
L'iniziativa OpenDataNetwork, OpenData senza confini <i>J. Assfalg, E. Bartoli, L. Cipriani, C. Lorenzini, B. Mazzanti, D. Mazzotta</i>	101
Archivi digitali della Cartografia coloniale e delle Esplorazioni italiane <i>M. Azzari, I. Calloud, P. Zamperlin</i>	109
L'anagrafe sanitaria per il monitoraggio della pianificazione del territorio <i>A. Ballocca, F. Scalise</i>	115

Sperimentazione di un sistema di rilevamento ALS ultraleggero <i>M. Balsi, S. Esposito, P. Fallavolita, M. Mura, G. Santopuoli, M. Marchetti, G. Chirici</i>	121
Rilievo di una pista aeroportuale con il Laser Scanner Terrestre <i>M. Barbarella, M.R. De Blasii, M. Fiani, M. Santoni</i>	127
Rete Dinamica Nazionale: versione 2 <i>L. Baroni, R. Maseroli</i>	135
Implementazione di una banca dati per l'analisi spaziale delle dinamiche gestione dei rifiuti, in funzione delle politiche regionali e delle risposte dei cittadini <i>A. Basile, G. Campobasso, G. Netti, C. Massarelli, A.S. Addante, V.F. Uricchio</i>	145
Una metodologia per l'analisi di bisogni e requisiti degli utenti del Progetto Space4Agri <i>A. Basoni, P. Carrara, A. Crema, A. L'Astorina, M. Pepe</i>	147
PRO-VISION: un sistema prototipale per l'analisi di visibilità in campo stradale <i>M. Bassani, N. Grasso, A.M. Lingua, G. Marinelli, M. Piras</i>	149
Interscambio dei dati relativi alle autorizzazioni per gli impianti di gestione rifiuti: l'esperienza della Toscana e il progetto WebImpianti <i>C. Berti, A. Di Marco, S. Mignani</i>	155
Il telerilevamento satellitare per lo studio multitemporale delle dinamiche agrarie nelle aree del progetto Agrosenari <i>M. Bocci, S. Pellegrini, R. Barbetti, E.A.C. Costantini</i>	163
Un sistema di web mapping multi-temporale per divulgare l'informazione su inquinamento atmosferico e rischio per la salute <i>M.P. Bogliolo, G. Contino</i>	169
Analisi spaziale tramite GIS Open Source sulla dislocazione delle isole ecologiche <i>D. Bonaposta, N. Dalla Torre</i>	177
Analisi multicriteriale per il confronto tra requisiti e soluzioni ai fini della progettazione dell'Infrastruttura dati RITMARE <i>G. Bordogna, F. Pavesi, M. Toccu, C. Fugazza, A. Giorgetti, S. Menegon, A. Oggioni, E. Partescano, M. Pepe, A. Sarretta, P. Carrara</i>	185
Assessment della vulnerabilità del tessuto urbano a heat waves ed UHI tramite tecniche di Remote Sensing ed object classification <i>F. Borfecchia, E. Caiaffa, M. Pollino, L. De Cecco, S. Martini, L. La Porta, S. Ombuen, L. Barbieri, F. Benelli, F. Camerata, V. Pellegrini, A. Filpa</i>	187
Classificazione delle coperture forestali con immagini satellitari multispettrali e dati <i>laser</i> scanner aereo <i>F. Bottalico, D. Travaglini</i>	195
Il progetto CLAM-PHYM: utilizzo di dati HICO™ per lo studio dei fenomeni meteo-marini nel Nord Adriatico in prospettiva delle future immagini del sensore PRISMA <i>F. Braga, C. Bassani, C. Manzo, M. Bresciani, C. Giardino, F. Battazza, L. Alberotanza</i>	203
Il progetto INFORM: sviluppo di algoritmi per il monitoraggio dello stato ecologico di acque interne europee da dati telerilevati <i>M. Bresciani, C. Giardino, M. Pinardi, P. Villa, F. Braga, E. Matta, I. Reusen</i>	211
Biodiversità e pianificazione urbanistica: un modello di rete ecologica per il Comune di Trento <i>T. Brunialti</i>	213
Studio per l'individuazione dei caratteri morfotopologici dei paesaggi rurali nel Piano Paesaggistico della Regione Toscana <i>G. Brunori, L. Fastelli, M.R. Gisotti, M. Rovai</i>	221

Il rischio idrogeologico e le tecnologie innovative per la prevenzione e il monitoraggio degli eventi: il sistema di allerta MODS <i>A. Calabrese, C. Massarelli, V.F. Uricchio, D. Piccolo, E.E. Riezzo, M. Zippitelli, M. Del Prete, N. Dongiovanni, S. Napoletano, A. Netti, E. Ciliberti, A. Giove, D. Festa</i>	229
Hackathon@IODD2014 e HackUniTO: esperienze sull'uso di Open Geo Data e di crowdmapping <i>A. Calafiore, A. Cittadino, E. Dansero, A. Di Gioia, G. Garnerò, P. Guerreschi, F. Vico</i>	237
Un Sistema Informativo Territoriale del bacino idrografico del Fiume Arno per la caratterizzazione dell'alluvione del 4 Novembre 1966 <i>F. Calovi, G. Rossi, E. Caporali, T. Pileggi, G.V. Federici</i>	245
Analisi di accuratezza e precisione di DSM e ortoimmagini da riprese con UAV <i>F. Camiciottoli, R. Chiggio, R. Nespoli, L. Surace</i>	247
Open DATA e INSPIRE <i>G. Campanile</i>	249
Il ruolo dell'Associazione Italiana per l'Informazione Geografica Libera (GFOSS.it) nella diffusione della cultura del software geografico libero <i>S. Campus, P. Cavallini</i>	257
Fusione di immagini telerilevate provenienti da dataset eterogenei: ricostruzione di serie temporali ad alta risoluzione spazio-temporale <i>G. Candiani, G. Manfron, M. Boschetti, L. Busetto, F. Nutini, A. Crema, M. Pepe, G. Bordogna</i>	261
Belvedere, componenti qualificanti il paesaggio storico urbano: uno strumento per la verifica delle trasformazioni dello skyline metropolitano <i>C. Capitano</i>	263
Tecniche e metodologie di rilievo per una cava in pietra calcarea <i>M. Caprioli, F. Mazzone, P. Pirulli</i>	273
Fruizione e tutela della cartografia storica e dei beni culturali attraverso itinerari di ecoturismo <i>S. Carallo</i>	281
Una Smart Map per la Tuscia. Tecnologie mobile per la condivisione pubblica del bene geografico <i>L. Carbone</i>	287
Integrazione delle cartografie geologiche e pedologiche in supporto all'elaborazione del Piano Paesaggistico della Toscana <i>S. Carnicelli, B. Baldi, L. Cadrezzati, G. Cecchini, A. Andreetta</i>	295
Processi produttivi ed integrazione di tecnologie nella realizzazione del Database Topografico di Regione Toscana <i>G. Carrai, A. Pasquale, B. Battistini</i>	301
Integrazione tra database comunale e regionale a varie scale e generazione di CityGML e 3D City Database <i>G. Carrai, A. Polistena, G. Tallarico</i>	309
Attuazione della direttiva comunitaria n. 2002/49/CE La mappatura acustica del comune di Catania ai sensi del d.lgs. 194/05 <i>S. Casabianca, M.C. Reitano, M. Leone</i>	317
Come ottenere il massimo dai GIS liberi ed <i>open source</i> <i>P. Cavallini, S. Campus</i>	325
Le mappe e i portolani dell'Istituto di Studi Adriatici: valorizzazione di un patrimonio storico per la ricerca e la divulgazione <i>A. Ceregato, A. Vianello, C. Balletti, E. Campiani, C. Gottardi, S. Menegon, F. Rizzi, F. Trincardi</i>	331
Individuazione di coperture in cemento-amianto e del loro deterioramento da immagini iperspettrali <i>C. Cilia, C. Panigada, M. Rossini, M. Pepe, G. Candiani, R. Colombo</i>	339

Il framework di implementazione e mantenimento di INSPIRE: le attività del MIG <i>C. Cipolloni, M. Munafò</i>	347
Un geodatabase per la gestione delle reti di trasporto e per il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico: primi elaborati del progetto THE ISSUE <i>G. Chirici, B. Lasserre, M. Marchetti, M. Meini, R. Nocera, D. Ciliberti, A. Ciuffi, C. Lembo</i>	351
Corretto utilizzo dei Sistemi Geodetici di Riferimento all'interno dei software GIS <i>V. Cima, M. Carroccio, R. Maseroli</i>	359
Implementazione GIS e DBMS per lo sviluppo del territorio rurale delle "Cento Masserie" di Crispiano <i>M. Claveri, V. S. Alfio</i>	365
Verifica stato di usura delle rotaie delle vie di corse delle gru di piazzale e di banchina site presso il Molo Polisettoriale del Porto di Taranto <i>D. Costantino, M.G. Angelini, C. Donati</i>	373
San Leonardo in Arcetri: innovazione tecnologica per la gestione integrata dei beni culturali <i>F. Costantino, S. Durazzani, D. Poggi, M. Callieri, M. Dellepiane, R. Scopigno</i>	381
Rilevamento GPS della rete sentieristica e degli attrattori del Parco regionale del Monte Arci (Sardegna centro-occidentale) <i>S. Cuccuru, G. Piras, B. Spanu</i>	389
Realizzazione delle mappe di pericolosità e rischio nel quadro della Direttiva 2007/60/CE (Direttiva Alluvioni) <i>M. Curtarello, U. Trivelloni, D. Truco, A. Zampieri, D. Zanette</i>	399
GeoNode per il Supporto alle Emergenze Umanitarie <i>S. Dalmasso, P. Corti</i>	407
AliSto (Ali sulla Storia): navigatore 4D a cent'anni dalla Grande Guerra (1914-2014) <i>A. Deiana</i>	413
PhotoMeshing: generazione automatica di grandi modelli urbani 3D da foto oblique <i>A. Deiana</i>	415
Dalla campagna alla campagna. L'evoluzione dell'uso del suolo agricolo nel territorio periurbano a nord di Trento <i>C. Diamantini, V. Cribari</i>	423
Zenitale e obliquo. Cartografia del paesaggio e visualizzazione tridimensionale <i>A. Doderò, F. Lucchesi</i>	431
Rilievi e indagini diagnostiche non distruttive per l'individuazione delle cripte - La Cattedrale di Ragusa <i>S. D'Amelio, P. Messina, R. Sciortino, I.M. Zisa</i>	439
Civitavecchia penuriava d'acqua dolce da bere da molto tempo già persa... <i>A. D'Ascenzo</i>	447
Cartografia storica e gestione dei confini. Un progetto di ricerca in Trentino <i>E. Dai Prà</i>	455
Open Innovation e Ricerca Scientifica nell'Informazione Geografica <i>T. De Filippis, L. Rocchi, E. Rapisardi</i>	459
La Geomatica per la valorizzazione del patrimonio architettonico nella provincia di Potenza <i>M. Delli Santi</i>	461
L'algoritmo P-SBAS per l'elaborazione automatica di dati SAR interferometrici su grande scala <i>C. De Luca, S. Elefante, P. Imperatore, M. Manunta, I. Zinno, V. Casola, F. Casu</i>	469
Un geodatabase in ambiente <i>Open Source</i> per la gestione del Patrimonio Culturale dell'Emilia-Romagna <i>I. Di Cocco, F. Marucci</i>	477

Indagine sulla geometria delle unità amministrative Italiane tramite database spaziale <i>P. Di Felice</i>	483
Analisi diacronica di aree incendiate mediante tecniche di telerilevamento e WebGIS-Applicazione su dati MODIS <i>V. Di Giuseppe, A. Maltese, R. Sciortino</i>	485
Scenari neogeografici per i “nasoni” della periferia romana <i>A. Di Somma, V. Ferrari, M. Miranda, S. Werther Pechar, F. Zonetti</i>	493
Validazione di una campagna di misure micro-gravimetriche <i>M.G. D'Urso, G. Costantino, E. Tallini</i>	501
GeoTIPO: Geovisualization Tool Interactive Planning Oriented <i>E. Eynard, G. Melis, S. Pensa</i>	509
Valutazione della subsidenza nell'area di Ravenna tramite un approccio integrato InSAR/livellazione classica <i>M. Fabris, V. Achilli, S. Borgstrom, M. Floris, S. Fiaschi, V. Siniscalchi</i>	517
Modelli spaziali per la progettazione delle aree di frangia nella città di Lucca <i>L. Fastelli, M. Rovai, F. Monacci</i>	525
Un'architettura OGC SWE per una gestione <i>intelligente</i> di acquedotti e fognature <i>G. Fattoruso, C. Tebano, A. Agresta, A. Buonanno, S. De Vito, G. Di Francia</i>	533
Progettazione del "Repertorio georeferenziato di archeologia abruzzese" <i>S.L. Ferreri</i>	541
RINASCIMENTO 2.0: il Metodo e la Macchina <i>A. Fiduccia, F. Gugliermetti, V. Lombardi</i>	549
Approfondimento tematico della banca dati della copertura del suolo della Regione del Veneto <i>M. Foccardi, D. Brentan S. Rinaldo, F. Salvo, D. Truco</i>	557
Mappatura precoce delle colture con integrazione di dati ottici e radar: il caso di studio Space4Agri <i>G. Fontanelli, A. Crema, R. Azar, D. Stroppiana, P. Villa, M. Boschetti</i>	565
Come ridurre i rifiuti? Come fare una corretta raccolta differenziata? Beato chi lo sApp! <i>A. Fortunato, E. Sarzotti, A. Ballocca, F. Scalise</i>	567
L'Infrastruttura di Dati Spaziali del progetto Space4Agri a supporto del monitoraggio del settore agricolo in Lombardia <i>L. Frigerio, T. Kliment, A. Crema, D. Stroppiana, G. Bordogna, M. Boschetti, P.A. Brivio</i>	573
Rappresentare Ricercatori e Istituti del Progetto RITMARE nel Web Semantico <i>C. Fugazza, A. Oggioni, M. Pepe, P. Carrara</i>	575
Disease Monitoring Dashboard: un geoportale per la gestione e il contenimento della diffusione della Febbre del Nilo Occidentale (WNV) nel bacino del Mediterraneo <i>S. Gadenz, S. Tora, A. Conte, A. Di Lorenzo, M. Bocci, L. Savini</i>	583
Il porto di Civitavecchia nella duplice funzione di nodo e di periferia. Una sintetica evoluzione (XIX-XXI secc.) <i>A. Gallia</i>	591
Integrazione di dati meteorologici, pedologici e telerilevati per la stima del bilancio idrico di aree semi-naturali <i>L. Gardin, L. Bottai, L. Fibbi, M. Chiesi, L. Angeli, R. Magno, F. Maselli</i>	597
Modello di <i>Conoscenza</i> di <i>Contesto</i> per la Gestione del Rischio nella Progettazione Architettónica <i>S. Gargaro, A. Fioravanti</i>	603
Cruscotto Geografico Monitoraggio Acqua Virtuosa <i>I. Ghinello, M. Vezzani, M. Solmi, L. Boni, L. Bianconcini, A. Seravalli</i>	611

La BuioMetria Partecipativa: integrazione di divulgazione, <i>citizen science</i> e strumenti liberi per la tutela e la valorizzazione de “l'altra metà del paesaggio” <i>A. Giacomelli, S. Costa, F. Giubbilini</i>	617
Web GIS partecipati: nuova frontiera degli strumenti di rappresentazione e gestione del territorio <i>E. Giannola</i>	619
Progetto SUNSHINE: servizi smart, open ed estendibili, per stimare la performance energetica degli edifici residenziali alla scala urbana <i>L. Giovannini, U. Di Staso, P. Cipriano, F. Prandi, R. De Amicis</i>	627
Mappare la partecipazione. L'impronta geografica degli utenti “digitali” del LaMMA, servizio meteo della Toscana <i>V. Grasso, F. Zabini, A. Crisci, M. Perna</i>	635
Un Historical-GIS per alcune Comunità della banca dati “CASTORE”. Vettorializzazione e pubblicazione online (formato 2.0) di serie informative di dati <i>M. Grava</i>	643
Analisi assistita da immagini aeree ad elevata risoluzione geometrica per il riconoscimento del <i>Complesso del Disseccamento Rapido dell'Olivo</i> associato al batterio <i>Xylella fastidiosa</i> in Puglia <i>S. Gualano, E. Tarantino, F. Santoro, F. Valentini, N. Dongiovanni, A.M. D'Onghia</i>	651
La cartografia toscana dal Rinascimento all'Unità d'Italia. Un archivio per la Regione Toscana <i>A. Guarducci</i>	659
Test metrico sulla ricerca automatica della posizione degli indirizzi <i>F. Guzzetti, A. Pasquinelli, A. Privitera, M. Ronconi</i>	667
Le aree di pertinenza: un nuovo strato informativo nel Dbt del Comune di Milano per la “lotta all'evasione” <i>F. Guzzetti, A. Pasquinelli, A. Privitera, M. Ronconi</i>	675
L'informazione geografica nella gestione dei rischi catastrofali <i>F. Guzzetti, A. Pasquinelli, P. Viskanic</i>	683
OS-IS® Sistema sismico per il monitoraggio e la previsione del moto ondoso <i>L. Iafolla, C. Carmisciano, E. Fiorenza, V. Iafolla, G. Manzella, L. Montani, M. Bencivenga, M. Burlando, G. Solari, P. De Gaetano</i>	691
Open data ambientali e requisiti gestionali: esperienze derivate dal progetto SIRA-PFR <i>C. Iannucci, M. Presutti, M. Ricci, V. Sambucini, G. Viola</i>	699
Il progetto MAR VASTO e i disastri naturali e antropici 2010-2014 a Valparaiso, Cile: esempio di studio di prevenzione del rischio non applicato <i>M. Indirli</i>	707
L'interoperabilità del precursore geomatico Leonardo nel dopo Expo di Milano, sancito da una Dieta <i>M.M. Langfelder</i>	715
Potenzialità del sensore WorldView-2 nella stima del Leaf Area Index (LAI) <i>M. Laterza, A. Novelli, E. Tarantino, A. Gioia</i>	721
Telerilevamento e GIS per la riqualificazione degli insediamenti industriali dismessi <i>E. Leggieri, E. Loret</i>	727
La gestione in ambiente gis delle procedure per l'autorizzazione delle s.r.b. nel rispetto delle nuove norme sull'inquinamento da c.e.m. <i>L. Leone, D. Laudani Fichera, G. Pulvirenti, M. Leone</i>	735
Convergenza OpenData/INSPIRE, data mining e usabilità nel nuovo sistema di pubblicazione dei dati ambientali ARPAT <i>C. Licciardello, C. Berti, M. Bazzani, S. Mignani</i>	743

INSPIRE e OpenData per la pianificazione e l'informazione al pubblico in tema di rumore <i>C. Licciardello, D. Palazzuoli</i>	751
Metodologia per la valutazione qualitativa del database topografico in base alla conformità con le caratteristiche reali del territorio <i>V. Liguori, C. Tafi</i>	759
Il monitoraggio della copertura nevosa da dati satellitari per lo studio delle risorse idriche sotterranee <i>A. M. Lingua, F. Noardo, B. Vigna</i>	767
Analisi spaziale in ambiente GIS per la valutazione paesaggistica ed energetica dei pannelli solari in ambito urbano <i>N. Liscia, M. Minchilli</i>	775
Classificazione object-oriented di categorie di uso/copertura del suolo sulla base di dati ALS <i>G. Lopez, M. Mura, G. Chirici, M. Ottaviano, D. Tonti, M. Marchetti</i>	783
I nomi e luoghi. Densità toponomastica e struttura territoriale in Toscana tra XIX e XXI secolo <i>F. Lucchesi, F. Del Maestro, A. Dodero, V. Flora, N. Gabellieri, M. Gesualdi, F. Ghizzani Marcia, B. Giusti, M. Grava, A. Martinelli, S. Marini, M. Massarelli, M. Rossi, G. Tarchi, M. Tofanelli, G. Biagioli</i>	785
I quadri paesaggistici e le condizioni di interservisibilità: le valutazioni realizzate per il Piano Paesaggistico della Regione Toscana <i>F. Lucchesi, M. Moretti, C. Ciampi, M. Ercolini, M. De Silva, E. Loi, F. Nardini, I. Scatarzi</i>	793
Stima della pericolosità d'incendio in Campania mediante serie temporali di misure MODIS nell'infrarosso termico <i>C. Maffei, S. Alfieri, M. Menenti</i>	801
Un GIS per la gestione del pascolo in zone umide costiere: un esempio di integrazione di dati vegetazionali e pedologici nella Palude Frattarolo (FG) <i>P. Magazzini, V.E. Perrino</i>	807
Metodi di rappresentazione dei morfotipi territoriali e urbani del sistema insediativo policentrico della Toscana <i>A. Magnaghi, G. Granatiero</i>	815
L'uso della stereoscopia digitale e dell'analisi morfometrica del MDT per il riconoscimento dei circhi glaciali relitti in Toscana <i>F. Manetti, L. Arcidiaco, M. Perna, L. Bottai, G. Lavorini</i>	823
Valutazione comparativa di tecniche di change detection applicata alla rilevazione di aree interessate da discariche <i>C. Massarelli, A. Basile, V.F. Uricchio, G. Campobasso, G. Netti</i>	831
Living Lab A@GRES: e-government per il supporto decisionale a strategie di adattamento ai cambiamenti climatici nel settore agroalimentare nella Regione Puglia <i>C. Massarelli, A. Calabrese, V.F. Uricchio, D. Piccolo, M. Zippitelli, E. Riezzo, M. Del Prete, L. Trotta, F. Schiavone, G. Laera, A. Petrelli</i>	841
Strumenti open-source a supporto delle attività di caratterizzazione di siti contaminanti con sensori iperspettrali <i>C. Massarelli, R. Matarrese, V.N. Palmisano, V.F. Uricchio</i>	849
Dall'archivio al terreno tra ricerca e misura. Applicazioni sul catasto napoleonico del territorio trentino <i>M. Mastronunzio, D. Buffoni</i>	855
Utilizzo d'immagini ottiche ad alta risoluzione spaziale per lo studio delle caratteristiche del fondale in acque costiere poco profonde <i>E. Matta, M. Aiello, M. Bresciani, M. Gianinetto, C. Giardino</i>	863
Atlante della laguna: un modello di conoscenza condivisa <i>S. Menegon, A. Mulazzani, C. Ferrari, E. Masiero, A. Sarretta, A. Vianello</i>	871

Il nuovo Geoportale MiGKD (Milano Geo Knowledge Discovery): buone pratiche nella gestione integrata del territorio <i>B. Monti</i>	873
Sistemi di supporto decisionale innovativi dedicati alla gestione intelligente delle foreste e dell'agricoltura basati su immagini ottiche satellitari <i>M. Morelli, A. Masini, A. Lupidi</i>	881
Applicazione di tecniche Avanzate DInSAR (A-DInSAR) per il monitoraggio della probabile instabilità degli edifici durante uno sciame sismico ante-evento (foreshock): il caso dell'Aquila. <i>M. Morigi, G. Giuliani, G. Avanzi, R. Di Francesco</i>	887
UAV: strumento operativo per il monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici <i>U. Morra di Cella, E. Cremonese, F. Diotri</i>	895
Il monitoraggio della risorsa idrica nivo-glaciale in ambiente alpino tramite rilievi GPR eliportato <i>U. Morra di Cella, S. Juglair, A. Godio</i>	897
Strutturazione dei dati di un GIS in ontologia: applicazione per la mappatura del degrado di un caso studio <i>F. Noardo</i>	899
Classificazioni di uso del suolo con Reti Neurali su serie storica di dati LANDSAT della Puglia settentrionale <i>A. Novelli</i>	907
GIS e salute: qual è l'impatto della precisione della georeferenziazione negli studi di epidemiologia ambientale. Due casi studio in Toscana <i>D. Nuvolone, M. Santini, P. Pepe, F. Voller, F. Cipriani</i>	913
Lo StarterKit RITMARE: uno strumento abilitante per la costruzione bottom-up di un'infrastruttura di dati marini <i>A. Oggioni, A. Basoni, M. Bastianini, C. Fugazza, S. Menegon, F. Pavesi, M. Pepe, A. Sarretta, P. Carrara</i>	921
LibraRisk, il Piano Comunale di Protezione Civile su smartphone e tablet <i>S. Oliveri, P. Seminati, L. Garibaldo</i>	923
Riegl VUX-1 Laser Scanner per Rilievi Civili Professionali tramite UAV <i>S. Orlandini, M. Pfennigbauer, U. Riegl, P. Rieger, P. Amon</i>	925
Sistema informativo storico della Franciacorta (1807-1809) <i>P. Oscar</i>	929
Valutazione della vocazionalità territoriale in Basilicata per una coltura industriale tipo mediante tecniche GIS <i>S. Pace, A. M. Grippo, L. Viviani</i>	937
La cartografia geologica storica della Biblioteca ISPRA: dall'originale cartografico alla visualizzazione su portale <i>M. Pantaloni, M.P. Congi, F. Console, G. Ercolani, F. Severino, M. Roma</i>	945
Protezione Civile 2.0: il Web-GIS del Servizio di protezione civile di Modugno in bounded crowdsourcing <i>M. Palazzo, D. Rausa</i>	947
Trasformazioni paesaggistiche: la valle del fiume Sarno e la sua memoria produttiva <i>L.M. Papa, P. D'Agostino, A. Strianese</i>	955
Stima della Temperatura Superficiale Terrestre del territorio di Taranto da dati LANDSAT 8 <i>F. Pastore, E. Tarantino, U. Fratino</i>	963
Sistema Informativo finalizzato alla "Gestione e conservazione degli ecosistemi forestali" di elevato interesse naturalistico nel Parco Nazionale del Gargano <i>S. Pecorella, N. Lopez, V.N. Palmisano, C. Massarelli, V.F. Uricchio</i>	971

Urbanizzazione e paesaggio costiero: alcune implicazioni sul rischio di incendio in un'area turistica della Sardegna <i>G. Pellizzaro, B. Arca, G.V. Pintus, R. Ferrara, C. Bouillon, P. Duce</i>	977
Individuazione di dissesti associati ad evento meteorico intenso attraverso l'analisi di immagini satellitari multi-spettrali <i>M. Perna, L. Bottai, F. Manetti, M. Corongiu, C. Villoresi, G. Lavorini</i>	985
Database geotopografico nazionale, DBSN, prime implementazioni e metodologie di lavoro <i>C. Perugi, C. Tafì</i>	987
Classificazione di immagini multispettrali e multitemporali acquisite da UAS per il contenimento di specie alloctone in aree protette <i>L. Pinto, G. Sona, D. Passoni, P. Dosso, A. Biffi, M. Baracani</i>	993
Sistemi Informativi Geografici per la conservazione e valorizzazione della toponomastica della Sardegna <i>C. Podda</i>	995
Processi cartografici e ridefinizione dei limiti amministrativi comunali della Sardegna. Il caso di Olbia <i>C. Podda, D. Carta, M.E. Greco</i>	1007
Carte di sintesi e norme figurate nel piano paesaggistico della Toscana <i>D. Poli</i>	1017
La fotogrammetria area per la modellazione 3D del territorio in automatico: la Provincia di Venezia <i>D. Poli, K. Legat, R. Gasser, S. Picchio, N. Bucceri, D. Gariboldi</i>	1023
Iniziative, progetti e prospettive per la condivisione e l'apertura delle informazioni sulla ricerca marina <i>A. Pugnetti, M. Bastianini, P. Carrara, S. Guerzoni, S. Menegon, A. Oggioni, A. Sarretta</i>	1031
GEOBASI: il Database Geochimico della Regione Toscana <i>B. Raco, A. Buccianti, M. Corongiu, G. Lavorini, P. Macera, F. Manetti, R. Mari, G. Masetti, S. Menichetti, B. Nisi, G. Protano, S. Romanelli</i>	1033
Metodologia per la realizzazione di una carta della qualità ambientale del comune di Capaccio/Paestum <i>M. Riitano</i>	1041
Metodologia per una valutazione, a larga scala, della vulnerabilità sismica. Applicazione alla città di Firenze <i>M. Ripepe, G. Lacanna, P. Deguy, M. De Stefano, V. Mariani, M. Tanganelli</i>	1049
Carte storiche e foto aeree nello studio dell'evoluzione geomorfologica delle pianure costiere: il territorio a sud della Laguna di Venezia <i>F. Rizzetto</i>	1053
Uso di tecnologie open source per la realizzazione della infrastruttura software necessaria all'inventario dell'uso e copertura del suolo della Regione Toscana <i>S. Romanelli, R. Mari, N. Sabatini, L. Bottai, B. Gozzini</i>	1061
Uso di software open source per la realizzazione di un GIS partecipativo nell'area metropolitana di San Salvador (El Salvador) <i>S. Romanelli, C. Marioni, R. Mari, M. Carta, G. Carta</i>	1069
Compensazione di reti topografiche integrate a supporto di misure di gravità <i>L. Rossi, D. Sampietro, C. Braitenberg, D. Zuliani</i>	1077
La Carta della Rete Ecologica della Regione Toscana: aspetti metodologici e applicativi <i>G. Santini, C. Castelli, B. Foggi, F. Frizzi, L. Lombardi, M. Giunti M.</i>	1083

Stima della batimetria di un vaso artificiale mediante elaborazione di immagini multispettrali: l'invaso di Bilancino <i>C. Santoro, T. Pileggi, E. Caporali, R. Furferi</i>	1091
Cartografia storica e topografia antica e post antica in un comprensorio della locride meridionale (Calabria): Capo Bruzzano ed il suo retroterra <i>G. Sapio</i>	1093
La raccolta dei requisiti per l'infrastruttura dati del Progetto bandiera RITMARE <i>A. Sarretta, F. Pavesi, A. Giorgetti, M. Ribera D'Alcalà, A. Oggioni, E. Partescano, P. Carrara</i>	1099
Ambiente e costruito in comprensori costieri liguri: analisi e rappresentazione tramite GIS per una conoscenza critica <i>M. Scaglione</i>	1101
Viewshed e line of sight analysis come strumento di supporto decisionale. Verso la progettazione di un nuovo paesaggio portuale <i>M. Scamporrino</i>	1107
Dimensionare il piano urbanistico locale partendo dalla CTR: il caso di Roccastrada <i>M. Scamporrino, G. De Luca</i>	1115
Nuove forme di gestione dei dati geografici nelle pubbliche amministrazioni. Un esempio del nord Sardegna <i>G. Scanu</i>	1123
Geomatica e nuovi percorsi di valorizzazione turistica del parco del Monte Arci (Sardegna Centro – Occidentale) <i>G. Scanu</i>	1135
Prime sperimentazioni per la costruzione con librerie <i>open source</i> di un mosaico raster delle mappe degli originali di impianto catastale in Piemonte <i>G.B. Siletto, S. Campus, M. Pipino, D. Mo, M. De Agostino</i>	1149
Ambienti di processing per la ricerca ecologica: bisogni e soluzioni <i>P. Tagliolato, A. Oggioni, T. Kliment, P. Carrara</i>	1157
Il Radgyro: un autogiro dedicato ad acquisizioni airborne multiparametriche <i>E. Tufarolo, M. Baldoncini, G.P. Bezzon, F.N.A. Brogna, G.P. Buso, I. Callegari, L. Carmignani, T. Colonna, G. Fiorentini, E. Guastaldia, M. Kaçeli Xhixhae, F. Mantovanib, L. Moud, C. Pagottog, E. Realinih, M. Reguzzonif, C. Rossi Alvarez, R. Salvinia, D. Sampietroh, V. Stratib, G. Xhixab, A. Zanond</i>	1159
DroneAGE: un ambiente virtuale a supporto delle missioni di UAS per il telerilevamento di terreni agricoli e altre applicazioni <i>M.G. Todeschini, E. Romano, G.P. Viganò, M. Sacco</i>	1167
Galleria dell'Accademia a Firenze: un rilievo metrico per l'analisi di vulnerabilità sismica <i>G. Tucci, V. Bonora, A. Conti, L. Fiorini, N. Guardini</i>	1175
Fotogrammetria digitale e sistemi UAV: applicazioni al monitoraggio ambientale <i>G. Tucci, V. Bonora, A. Gulec Korumaz, S. Orlandini</i>	1183
Il modello del Ratto delle Sabine del Giambologna: realizzazione ed impiego del modello 3D <i>G. Tucci, A. Conti, L. Fiorini</i>	1189
Rilevo e modellazione 3D a supporto dell'analisi strutturale: un approccio metodologico e sostenibile per il patrimonio architettonico <i>G. Tucci, N. Guardini</i>	1197
Itinerari in Lombardia per il Fuori-EXPO 2015 <i>S. Urbisci, P. Petrarota, M. Ogiari, C. Ragno</i>	1211
Il Continuum geologico interregionale delle Regioni Emilia-Romagna, Marche, Toscana e Umbria: un database spaziale di dati geotematici <i>G. Verdiani, P. Conti, G. Cornamusini, A. Pirro, G. Lavorini</i>	1219

Integrazione di misure satellitari e in situ per la realizzazione di un modello digitale del terreno a supporto della gestione territoriale <i>A. Vianello, L. Tosi, P. Teatini</i>	1227
Il contributo della Geomatica per l'analisi strutturale dei beni culturali: l'esempio di una statua romana lesionata <i>D. Visintini, A. Spangher</i>	1229
Progetto di un APR Low Cost <i>G. Vozza</i>	1237
Ritratti regionali. Un indicatore di polinuclearità dei sistemi insediativi <i>I. Zetti, F. Lucchesi</i>	1245
Un approccio multisensore per il rilievo e il monitoraggio di strutture e siti soggetti a rischio ambientale <i>I. Aicardi, P. Boccardo, F. Chiabrando, E. Donadio, A.M. Lingua, P. Maschio, F. Noardo, A. Spanò</i>	1253
Svilupi e semantica nel Portale del Servizio Geologico d'Italia <i>V. Campo, C. Cipolloni, M.P. Congi, D. Delogu</i>	1261
Modelli digitali da scanner CT. Case study: il micro contesto archeologico di un'urna cineraria (necropoli del Piovego, Padova) <i>E. Faresin, D. Vicenzutto, M. Cupitò, G. Leonardi, G. Salemi</i>	1263
Itinerari per un turismo alternativo: dal Web alla portabilità mobile <i>A. Favretto, M. Scherbi, G. Petrarulo</i>	1269
L'approccio integrato delle applicazioni spaziali per superare i limiti tecnologici e generare risposte multi-utente <i>A. Nassisi</i>	1279
Stima della frazione evaporativa delle colture in Lombardia da dati meteo e satellitari MODIS nell'ambito del progetto Space4Agri <i>F. Nutini, D. Stroppiana, D. Bellingeri, M. Boschetti, P.A. Brivio, E. Zini</i>	1281
Definizione europea del corpus di conoscenze nel progetto <i>Geographic Information – Need to Know</i> <i>M. Salvemini, M. Sebillo, S. Farruggia, B. Murgante, F. Di Massa</i>	1283
Un nuovo approccio al rilevamento di errori nei geodatabase <i>S. Savino, M. Rumor</i>	1285

Validazione di una campagna di misure micro-gravimetriche

Maria Grazia D'Urso (*), Giuseppina Costantino (**), Enrico Tallini (***)

(*) DICeM – Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Via G. Di Biasio, 43 – 03043 Cassino (FR);
tel: +39-0776 2994309; fax:089 2580897; durso@unicas.it

(**) Ingegnere libero professionista, tel: 3334322774; costgiusy@libero.it

(***) GEORES S.r.l. Piazzale De Matthaeis, 41, 03100 Frosinone, info@geores.it

Sommario

In questo lavoro è stato affrontato lo studio e l'analisi degli effetti della gravità e, in particolare, la interpretazione delle cosiddette "anomalie gravimetriche". A tale scopo è stato effettuato un confronto tra le anomalie di *Bouguer* osservate nel corso di un rilievo geofisico che ha interessato il *Tarhunah Campus* universitario, a sud-est di Tripoli, in Libia, e quelle ottenute applicando un approccio analitico recentemente proposto per il calcolo del potenziale gravitazionale. Tale approccio, basato su una opportuna applicazione del teorema di Gauss, consente di esprimere il potenziale gravitazionale e la gravità mediante semplici espressioni algebriche implementate in un codice Matlab. I valori di gravità misurati sono stati rilevati in un set di 1170 punti stazione microgravimetrici georeferenziati. Tali valori sono stati, poi, confrontati con i valori ottenuti dall'applicazione del nuovo approccio ove i valori di anomalia sono stati calcolati rispetto ad una densità costante di $2.67 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. L'accuratezza degli scostamenti tra le anomalie di *Bouguer* calcolate con entrambi i metodi è dell'ordine del $4.5^\circ/\infty$. I risultati del confronto tra i valori sperimentali e quelli teorici hanno permesso di rilevare che il recente approccio analitico è in grado di apportare un sostanziale contributo alla valutazione della variazione del campo gravitazionale terrestre.

Abstract

We illustrate a study and an analysis related to the gravity effects and, in particular, to the interpretation of the so-called "gravimetric anomalies". To this end it has been carried out a comparison between the Bouguer's anomalies observed during a geophysical survey at the University Tarhunah Campus, North-Eastern Tripoli, in Libya, and those carried out by an application of a recently formulated analytical approach for computing the gravitational potential. Such an approach, based upon a suitable application of Gauss theorem, allows one to express the potential and the gravity vector by means of simple algebraic expressions which have been implemented in a Matlab code. The measured gravity values have been derived from a dataset of 1170 geo-referenced micro-gravimetric station points. Subsequently, these values have been compared with those obtained from the application of new approach where the anomaly values have been calculated with a constant density 2.67 g/cm^3 . The accuracy between Bouguer's anomalies computed with both methods is of the order of $4.5^\circ/\infty$. The results of the comparison between the experimental and analytical values have allowed us to notice that the recent analytical approach proposed can yield an essential contribute to the evaluation of the gravity variation.

Introduzione

Durante i mesi aprile e maggio dell'anno 2010 è stato effettuato in Libia un rilievo geofisico avente lo scopo di valutare le condizioni del sottosuolo e rilevare la presenza di eventuali cavità carsiche. Normalmente le cavità possono essere riempite da acqua, sedimenti, materiale collassato, e, pertanto, risultano contraddistinte da una densità minore rispetto al materiale circostante. Questa densità di contrasto tra "vuoti" e roccia viene evidenziata dall'analisi delle anomalie di Bouguer poiché la variazione di massa nel sottosuolo, viene rilevata mediante una variazione della forza di

gravità della Terra. La microgravimetria risulta sensibile alle diverse tipologie di strutture, variazioni di densità degli strati profondi, spessori del riempimento di depositi (Benson and Baer, 1989; Roberts et al., 1990; Benson and Floyd, 2000) nonché alla disomogeneità geologica.

Comunemente utilizzata per rilevare cavità dal 1960 (Colley, 1963; Neumann, 1967) la microgravimetria è ancora oggi uno degli approcci più efficaci per la localizzazione e il monitoraggio di cavità nel sottosuolo, siano esse cavità naturali generate da collassi o fenomeni carsici che cavità determinate da attività antropiche, come, ad esempio, costruzioni di gallerie e pozzi di vecchie miniere (Butler, 1984; Hinze, 1990; Wenjin and Jiajian, 1990; Camacho et al., 1994; Yule et al., 1998; Beres et al., 2001). Tutto ciò è possibile poiché il metodo della microgravimetria risulta influenzato dalla distribuzione della densità nel sottosuolo e, quindi, dalla presenza di una variazione di massa rispetto al terreno circostante.

Importante è la sua applicazione per esplorazioni mineralogiche e petrolifere: ripetute misure gravimetriche associate a tecniche topografiche di livellazione possono essere utilizzate per rilevare cedimenti e movimenti di masse causate dall'estrazione di petrolio, nonché fenomeni legati alla cessazione di tale attività. È sempre più diffuso l'utilizzo del metodo gravimetrico anche per il monitoraggio geotermico, sismico e vulcanico, nonché rilievi in aree urbane.

È fondamentale tenere in considerazione alcuni effetti di disturbo: la latitudine, la quota e la topografia influenzano le misure. In generale le mappe delle anomalie di Bouguer mostrano dei valori negativi che possono essere messi in relazione con distribuzioni di valori di basse densità e croste sottili. Tali anomalie sono principalmente correlate ai grabens e i loro bacini colmati da sedimenti.

Il dato gravimetrico può costituire il punto di partenza per una modellazione dell'assetto strutturale profondo; la correlazione tra anomalia di Bouguer locale e profondità della Moho, discontinuità che segna il limite crosta-mantello, ha permesso di ottenere anche una stima dello spessore della crosta di alcune aree della superficie terrestre.

Principali allineamenti tettonici sono stati individuati grazie all'elaborazione delle anomalie di Bouguer sviluppate con il metodo di Blakely and Simpson (1986), che ha permesso di definire i confini dei corpi anomali presenti nel sottosuolo i quali sono stati correlati alle note faglie superficiali. Infine il carattere di indagine "non distruttivo" di tale tecnica di misura pone la gravimetria in posizione preferenziale per quelle applicazioni in cui si rende necessaria la salvaguardia delle opere presenti nell'area di indagine, come ad esempio in ambito archeologico.

La variazione di gravità relativa al caso studio è stata calcolata per un dataset di 1170 punti di stazione microgravimetrica in funzione delle rispettive coordinate cartografiche. Tale variazione è stata sottratta al valore di gravità teorica o "gravità normale" che, in funzione della variazione della gravità con la latitudine, è valutata adottando, come modello rappresentativo della superficie terrestre, un ellissoide privo al suo interno di variazioni orizzontali di densità. In questo modo è stato ottenuto il valore della gravità ridotta al geoide, che, sottratta alla gravità misurata durante il rilievo microgravimetrico, ha permesso di ottenere la cosiddetta anomalia di Bouguer.

I dati di tale anomalia sono stati calcolati per un valore di densità costante di $2.67\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, e ciò ha consentito di isolare, a seguito dell'analisi della mappa gravimetrica ottenuta, elementi caratterizzati da una densità diversa.

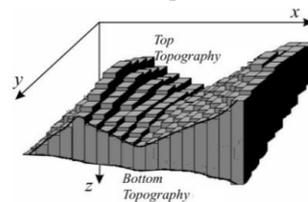


Figura 1 - Schematizzazione del terreno.

Approccio analitico proposto

I risultati dello studio microgravimetrico del *Tarhunah Campus* sono stati confrontati con i valori ottenuti dall'applicazione di un recente approccio computazionale che sfrutta le proprietà del teorema di Gauss (D'Urso, 2012). Tale approccio analitico calcola in un punto della superficie terrestre il potenziale gravitazionale e il suo gradiente, che, come è noto, rappresenta l'accelerazione di gravità, e si basa sulla modellazione del terreno in un adeguato numero di prismi, come mostrato in Figura 1.

A causa della sua semplicità, il prisma, parallelepipedo rettangolare, con le sue varie espressioni del potenziale in forma chiusa, è stato al centro dell'interesse scientifico per quasi due secoli.

Esso svolge un ruolo importante soprattutto nello studio della modellazione del campo gravitazionale terrestre locale quando la cosiddetta approssimazione *flat-Earth* è sufficiente. Inoltre i modelli di massa poliedrici tridimensionali offrono una grande flessibilità nella rappresentazione 3D delle strutture complesse.

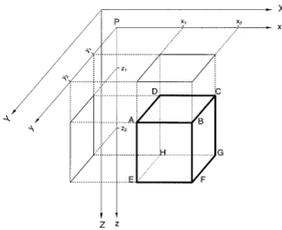


Figura 2 - Il prisma.

Dalla schematizzazione del terreno è stato ricavato un singolo prisma, rappresentato in Figura 2, delimitato da piani paralleli agli assi del sistema di riferimento e definito dalle coordinate X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1 e Z_2 ; mentre il punto P, per il quale si andrà ad esplicitare l'espressione del potenziale, è posto per semplificazione nell'origine degli assi del sistema di riferimento x, y, z . È possibile esplicitare il potenziale gravitazionale nel punto P, ottenuto risolvendo l'integrale triplo esteso a tutto il dominio del prisma ABCDEFGH indicato con Ω

$$U(P) = G\delta \int_{\Omega} \frac{1}{(r \cdot r)^{1/2}} dV \quad [1]$$

ove $r(x, y, z) = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ è il vettore che congiunge P con un punto arbitrario di Ω ; G è la costante di gravitazione universale che nel Sistema Internazionale (S.I.) vale $6.67 \cdot 10^{-11} m^3 kg^{-1} sec^{-2}$ e δ la densità considerata costante. Le nuove formule, ottenute mediante applicazione del teorema di Gauss, mettono in evidenza le potenziali fonti di singolarità e indicano come tenerne conto in modo corretto. L'espressione del potenziale gravitazionale è stata esplicitata limitandoci al caso in cui P coincida con uno dei vertici del prisma. Quindi, consideriamo un sistema di riferimento cartesiano x, y, z avente origine in P e con assi paralleli ai lati del prisma, le cui lunghezze saranno indicate rispettivamente con a, b, c , come rappresentato in Figura 3.

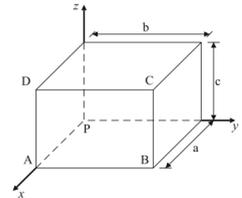


Figura 3 - Il prisma e il sistema di riferimento 3D.

Il nostro scopo è quello di calcolare il potenziale attraverso due applicazioni consecutive del teorema di Gauss; in primo luogo, l'integrale di volume viene trasformato nella somma di integrali 2D estesi ad ogni faccia del prisma e, successivamente ciascuno degli integrali 2D viene espresso come somma di integrali 1D estesi ad ogni lato della generica faccia. Tuttavia, nell'applicazione del teorema di Gauss, particolare attenzione deve essere posta alle possibili singolarità del campo scalare che compare nella [1]. È infatti evidente che il potenziale non è ben definito se $P \in \Omega$, vale a dire se $r = 0$. Per gestire formalmente questo caso dobbiamo ricordare alcune proprietà dell'operatore di divergenza e della delta di Dirac (D'Urso 2012; Tang, 2006). Grazie alle proprietà di tale funzione l'espressione del potenziale U può essere espresso, a prescindere dalla posizione di P rispetto al dominio Ω , mediante la formula

$$U(P) = G\delta \int_{\Omega} \frac{1}{(r \cdot r)^{1/2}} dV = \frac{G\delta}{2} \int_{\Omega} \text{div} \frac{r}{(r \cdot r)^{1/2}} dV \quad [2]$$

che rappresenta la formula di base per il calcolo effettivo del potenziale gravitazionale. Infatti, indicando con n il vettore unitario rivolto verso l'esterno, sulla frontiera $Fr(\Omega)$ si ha

$$U(P) = \frac{G\delta}{2} \int_{Fr(\Omega)} \frac{r \cdot n}{\sqrt{r \cdot r}} dA = \frac{G\delta}{2} \sum_{i=1}^6 \int_{F_i} \frac{r_i \cdot n_i}{\sqrt{r_i \cdot r_i}} dA_i \quad [3]$$

dato che Ω è un prisma e F_i una delle sue facce. Per esprimere il precedente integrale 2D in termini di integrale di linea, è necessaria una ulteriore applicazione del teorema di Gauss, ora nel piano di ciascuna faccia. A tal fine si considera la proiezione ortogonale del punto P sulla faccia i -esima, che verrà indicata con P_i , e si assume questo punto come origine di una sistema di riferimento locale

2D. Indicando con $\rho_i = (\xi_i, \eta_i)^T$ il vettore posizione di ogni punto della faccia i -esima rispetto al punto P_i e osservando che il prodotto $d_i = r_i \cdot n_i$ è costante su ogni faccia, l'espressione precedente può essere scritta:

$$U(P) = \frac{G\delta}{2} \sum_{i=1}^6 d_i \int_{F_i} \frac{dA_i}{(r_i \cdot r_i)^{1/2}} = \frac{G\delta}{2} \sum_{i=1}^3 d_i \int_{F_i} \frac{dA_i}{(\rho_i \cdot \rho_i + d_i^2)^{1/2}} \quad [4]$$

ove la sommatoria è stata limitata alle facce che non contengono P in modo che $d_i \neq 0$.

Eseguito la derivata del primo ordine del potenziale gravitazionale, sopra riportato, secondo lo sviluppo analitico riportato nel lavoro D'Urso 2012, si ricavano i valori di accelerazione di gravità, non riportati di seguito per brevità, da utilizzare per la validazione delle misure micro-gravimetriche in campo. Un codice in Matlab è stato implementato per il calcolo del potenziale gravitazionale e del suo gradiente.

Applicazione: descrizione e rilievo del sito

Lo scopo del sondaggio del rilievo di misure micro-gravimetriche eseguito da geofisici nel Tarhunah Campus, situato a circa 70 km a sud-est di Tripoli, nel periodo dal 15 aprile all'11 maggio 2010, è stato quello di valutare le condizioni del sottosuolo e identificarne le caratteristiche carsiche. La presenza di eventuali cavità carsiche, specie se superficiali, con forme, dimensioni e distribuzione estremamente variabile, può condizionare, in modo spesso determinante, le caratteristiche di stabilità del sottosuolo; pertanto la loro individuazione diventa un presupposto indispensabile sia per la minimizzazione dei rischi derivanti dalla loro presenza che per una ottimale pianificazione del territorio. Un vuoto rappresenta, dunque, una mancanza di massa nel sottosuolo che si traduce in una riduzione della forza di gravità della Terra, definita "anomalia gravimetrica negativa".

Figura 4 - Area di indagine con identificazione in rosso dei punti di osservazione microgravimetrica.



Il sondaggio geofisico ha interessato un'area totale di poco più di 162.000 m² e suddivisa in una griglia regolare di 10m x 10m, corrispondente a 1170 stazioni microgravimetriche, in cui la distanza massima tra due punti di lettura è circa 500 m. In generale il sito risulta caratterizzato nella parte sud e sud-est da formazione calcarea; la restante porzione è costituita, invece, da sedimenti fluvio-eolici composti da sabbia e limo, del periodo Olocene, Quaternario, e formazione di Nalut, una formazione risalente al Cretaceo superiore e costituita da sedimenti di carbonio. Calcarei dolomitici gialli e grigi e dolomie formano letti spessi con abbondanti sedimenti di selce tubolari e sferici e costituiscono la parte bassa della formazione. La parte alta è costituita, invece, da calcari dolomitici contenenti intercalazioni calcareo marnose giallastre e grigie. Caratteristica di questa formazione è la presenza di dolomie in rocce calcaree.

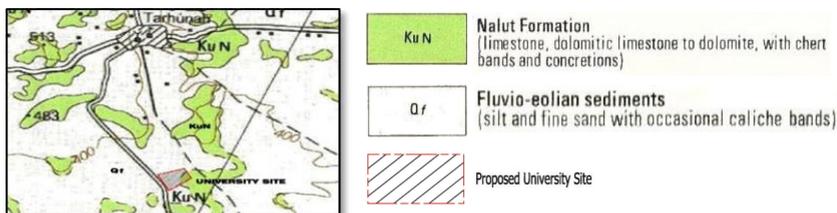


Figura 5 - Caratteristiche geologiche del Tarhunah.

Campagne di misura

Le misure microgravimetriche sono state effettuate utilizzando lo *Scintrex CG5*, gravimetro a lettura automatica che fornisce misure relative di gravità e adatto per eseguire rilievi ad alta risoluzione, in quanto sensibile a variazioni di accelerazione gravitazionale di 0.001 mGal.

Sono stati distinti 56 profili di gravità, la cui numerazione, incrementandosi verso est, va da 100 a

BASE	APRIL													MAY														
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
22222																												
639																												
1339	X	X	X	X	X																							
100																												
1332																												
1328																												
619																												
1310																												
2109																												
2231																												
2422																												
2909																												
4009																												
4005																												

5701; le misure gravimetriche sono state effettuate seguendo un circuito chiuso "loop", per cui, la prima e l'ultima misurazione sono relative al medesimo punto; per ogni loop l'intera sessione di misura è stata della durata di circa 2-3 ore. Nella Figura 6 vengono rappresentate in giallo le stazioni di legame, utilizzate come stazioni di controllo, mentre le basi locali sono contrassegnate da una "X".

Figura 6 - Elenco delle stazioni di legame e delle stazioni base.

Elaborazione delle misure

L'accelerazione di gravità teorica determinata in un punto qualsiasi della superficie della Terra, è data dalla seguente relazione:

$$g_t = g_e(1 + c_1 \sin^2 \varphi + c_2 \sin^2 2\varphi)$$

dove φ è la latitudine geografica del punto considerato e g_e la gravità all'equatore che assume valore pari a 978031.846 mGal. In tale formula, detta della "gravità normale", le costanti c_1 e c_2 dipendono dal modello di Terra scelto; i valori qui utilizzati sono quelli forniti dalla Commissione dell'Unione Geologica e Geofisica Internazionale (I.U.G.G.) nel 1967, pertanto $c_1 = 0.0053024$ e $c_2 = -0.0000058$. Sulla superficie terrestre la gravità varia in funzione della quota del punto considerato e della morfologia ad esso circostante. Riducendo, mediante opportune correzioni, il valore teorico calcolato con la precedente relazione, e confrontandolo con quello misurato sulla superficie topografica, si rilevano delle differenze definite "anomalie gravimetriche" che sono legate a disomogeneità nella distribuzione di massa al di sotto della superficie di riferimento.

Le correzioni necessarie per giungere al corretto valore di anomalia gravimetrica, generata da un corpo a differente densità nel sottosuolo, si dividono in temporali e spaziali. Le correzioni temporali sono di deriva strumentale e di marea, mentre quelle spaziali sono di latitudine, di quota, chiamata anche correzione di aria libera, di Bouguer e topografica. La riduzione di Bouguer, dunque, presuppone che la superficie topografica del terreno sia piana. Se questa condizione non risulta soddisfatta è necessario tener conto sia degli avvallamenti, ossia delle masse introdotte nel calcolo della correzione di piastra ma in realtà inesistenti, sia di colline o di montagne, dunque a quota superiore rispetto a quella della generica stazione di misura, e non considerate. È per questo che risulta necessaria la correzione topografica. Data l'elevata precisione del rilievo, e nonostante il sito sia piuttosto pianeggiante, questa correzione è stata considerata per 1 km di raggio. Se al valore della gravità teorica, calcolata nell'ipotesi di una distribuzione omogenea di densità sull'ellissoide, si apportano tutte le correzioni sopra esposte, si ottiene la cosiddetta gravità ridotta (al geode):

$$G_{model} = g_t - (\delta g / \delta z - 2\pi G \rho_c)h - TC$$

ove $\rho_c = 2.67 g \cdot cm^{-3}$ è la densità media della crosta continentale, h la quota del punto di stazione (m), $\delta g / \delta z = 0.3086 mGal \cdot m^{-1}$ rappresenta la correzione di aria libera, $2\pi G \rho_c$ la correzione di piastra o correzione di Bouguer, mentre con TC si è indicata la correzione topografica.

Si riporta di seguito un campione di dati rappresentativo dei 1170 punti di stazione oggetti del rilievo microgravimetrico nel *Tarhunah Campus*. Nella tabella si osserva il calcolo dell'anomalia

di *Bouguer*, come differenza tra il valore di gravità misurato, $G_{measured}$ e il valore G_{model} , ottenuto sottraendo alla gravità teorica g_t , il Δg output dell'implementazione dell'algoritmo.

$$Bouguer\ Anomaly = G_{measured} - G_{model}$$

Si noti come gli scostamenti tra le anomalie di *Bouguer* ottenute applicando il nuovo approccio computazionale (indicate con il termine "Anomalia") e quelle calcolate nel rilievo geofisico (indicate con il termine "Bouguer d=2.670"), sono risultati per tutti i 1170 punti di lettura, inferiori ai 2mGal; in particolare sono compresi nel range 1.79 - 1.92 mGal. In sintesi, all'aumentare della quota la correzione di *Bouguer* aumenta, e nella formula aumenta anche G_{model} ; di conseguenza a parità di $G_{measured}$ l'anomalia di *Bouguer* diminuisce.

	Gmeasured	gt	Δg	gt - Δg	Anomalia calcolata con l'alg.	Bouguer d=2.670	[Anomalia-Bouguer]	note
pt	[mGal]	[mGal]	[mGal]	[mGal]	[mGal]	[mGal]	[mGal]	
100	978999.87	979514.4680	73.1114	979441.3566	-441.487	-443.386	1.899	pt di min quota
101	978999.79	979514.4679	73.1803	979441.2876	-441.498	-443.378	1.880	
102	978999.78	979514.4679	73.2016	979441.2663	-441.486	-443.365	1.879	
107	978999.84	979514.4677	73.2666	979441.2011	-441.361	-443.212	1.851	
108	978999.72	979514.4677	73.3460	979441.1217	-441.402	-443.261	1.859	pt di max quota
200	978999.84	979514.4606	73.1553	979441.3053	-441.465	-443.357	1.892	
201	978999.87	979514.4605	73.1574	979441.3031	-441.433	-443.333	1.900	
202	978999.92	979514.4605	73.1349	979441.3256	-441.406	-443.299	1.893	
203	978999.91	979514.4605	73.1581	979441.3024	-441.392	-443.287	1.895	
204	978999.90	979514.4605	73.1760	979441.2845	-441.384	-443.273	1.889	
205	978999.86	979514.4605	73.2185	979441.242	-441.382	-443.267	1.885	
206	978999.83	979514.4604	73.2505	979441.2099	-441.380	-443.250	1.870	
207	978999.83	979514.4604	73.2719	979441.1885	-441.359	-443.237	1.878	
208	978999.84	979514.4604	73.2670	979441.1934	-441.353	-443.233	1.880	
300	978999.90	979514.4532	73.1219	979441.3313	-441.431	-443.327	1.896	
301	978999.90	979514.4532	73.1275	979441.3257	-441.426	-443.321	1.895	

	Gmeasured	gt	Δg	gt - Δg	Anomalia calcolata con l'alg.	Bouguer d=2.670	[Anomalia-Bouguer]	note
pt	[mGal]	[mGal]	[mGal]	[mGal]	[mGal]	[mGal]	[mGal]	
5405	978999.65	979514.0786	73.1220	979440.9566	-441.307	-443.187	1.880	pt di min quota
5406	978999.63	979514.0786	73.1170	979440.9616	-441.332	-443.215	1.883	
5407	978999.52	979514.0785	73.1929	979440.8856	-441.366	-443.240	1.874	
5408	978999.50	979514.0785	73.2073	979440.8712	-441.371	-443.244	1.873	
5409	978999.38	979514.0784	73.3096	979440.7688	-441.389	-443.247	1.858	
5410	978999.29	979514.0784	73.3802	979440.6982	-441.408	-443.255	1.847	
5411	978999.20	979514.0784	73.4455	979440.6329	-441.433	-443.269	1.836	pt di max quota
5500	978999.74	979514.0713	73.0777	979440.9936	-441.254	-443.141	1.887	
5501	978999.66	979514.0712	73.1255	979440.9457	-441.286	-443.168	1.882	
5502	978999.55	979514.0712	73.1803	979440.8909	-441.341	-443.217	1.876	
5503	978999.57	979514.0711	73.1613	979440.9098	-441.340	-443.218	1.878	
5504	978999.45	979514.0711	73.2495	979440.8216	-441.372	-443.239	1.867	
5505	978999.36	979514.0711	73.3254	979440.7457	-441.386	-443.241	1.855	
5601	978999.60	979514.0638	73.1961	979440.8677	-441.268	-443.142	1.874	
5602	978999.51	979514.0638	73.2105	979440.8533	-441.343	-443.216	1.873	
5701	978999.58	979514.0564	73.1908	979440.8656	-441.286	-443.154	1.868	

Tabella 1 - Confronto tra le anomalie di *Bouguer* ottenute dall'applicazione dell'algoritmo e quelle calcolate nel rilievo geofisico (1mGal = 10⁻⁵ m/s²).

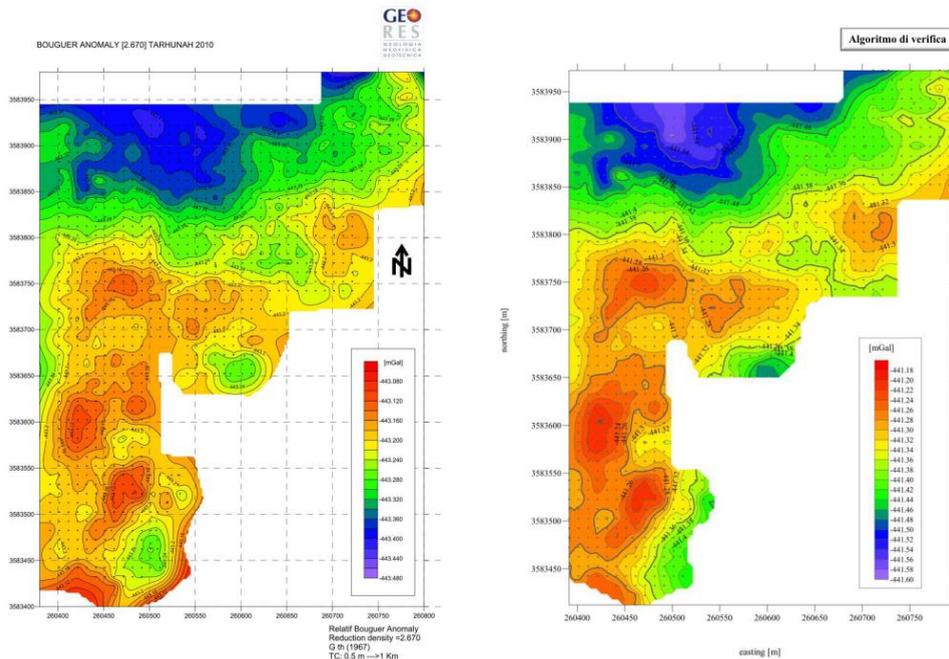


Figura 7 - Anomalie gravimetriche risultate dal confronto tra metodo sperimentale (a sinistra) e metodo analitico (a destra).

La variazione totale di anomalia è di 0.39mGal (min: -441.59 mGal; max: -441.20mGal). È altresì evidente una significativa differenza di gravità lungo il perimetro del caso studio. Nella parte settentrionale l'anomalia raggiunge i valori più bassi (indicati con il colore bleu) con un minimo all'incirca nella zona centrale; la transizione verso anomalie maggiori (zone in rosso) è chiaramente visibile e si possono distinguere, nella porzione centrale dell'area di rilievo, diversi raggruppamenti. La zona meridionale appare, invece, abbastanza complessa con massimi isolati circondati da valori più bassi.

Conclusioni

Lo studio microgravimetrico utilizza l'anomalia gravimetrica come strumento fondamentale per l'interpretazione della distribuzione non omogenea delle masse all'interno della Terra.

È sempre più diffusa l'applicazione di tale tecnica di rilievo per esplorazioni mineralogiche e petrolifere, monitoraggio geotermico, sismico e vulcanico. In questo lavoro le anomalie ottenute dal rilievo in campo sono state confrontate con quelle calcolate mediante l'applicazione di un nuovo approccio analitico proposto per il calcolo del potenziale gravitazionale e dell'accelerazione di gravità in un punto della superficie terrestre, sfruttando le proprietà del teorema di Gauss. Il metodo analitico permette di risolvere alcune singolarità dell'anomalia nel modello di calcolo e i risultati del confronto tra metodo sperimentale e metodo analitico hanno dimostrato l'affidabilità del nuovo approccio di calcolo; infatti, gli scostamenti tra le anomalie di Bouguer sono risultati inferiori ai 2mGal per un dataset di 1170 punti stazione geo-riferiti. Da tale confronto è possibile osservare come le anomalie più basse sono caratterizzanti della zona settentrionale del sito oggetto di studio. Viceversa, nella parte meridionale, in cui i massimi isolati sono evidenti, è possibile distinguere i più alti valori di anomalie gravimetriche che dimostrano la presenza di superficie rocciosa profonda. I minimi presentano una forma arrotondata il che risulta indicativo della possibile presenza di depressioni rocciose, cavità o vuoti nel terreno di copertura.

Bibliografia

- Barzaghi A., Sansò F. (1983), "Sulla stima empirica della funzione di covarianza", *Boll. Geod. Sci. Affini* 4, 389-415
- Behncke B., Berrino G., Corrado G., Velardita R. (2006), "Ground deformation and gravity changes on the island of Pantelleria in the geodynamic framework of the Sicily Channel", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 150, 146-162
- Benson, A.K., Baer, J.L. (1989), "Close order gravity survey – a mean of fault definition in valley fill sediments", *Proc. 23rd Symp. On Engineering Geology and Soil Engineering*, 219-240
- Benson, A.K., Floyd, A.R. (2000), "Application of gravity and magnetic methods to assess geological hazards and natural resource potential in the Mosida Hills, Utah County, Utah", *Geophysics* 65, 1514-1526
- Beres, M., Luetscher, M., Olivier, R. (2001), "Integration of ground - penetrating radar and microgravimetric methods to map shallow caves", *Journal of Applied Geophysics* 46, 249-262
- Blakely, R.J., Simpson, R.W. (1986), "Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies", *Geophysics* 51, 1494 -1498
- Butler, D.K. (1984), "Microgravimetric and gravity gradient techniques for detection of subsurface cavities", *Geophysics* 49, 1084-1096
- Camacho, A.G., Vieira, R., Montesinos, F.G., Cuellar, V. (1994), "A gravimetric 3D global inversion for cavity detection", *Geophysical Prospecting* 42, 113-130
- Casten U., Snopek K. (2006), "Gravity modelling of the Hellenic subduction zone - a regional study", *Tectonophysics* 417, 183-200
- Colley, G.C. (1963), "The detection of caves by gravity measurements", *Geophysical Prospecting* 11, 1-9
- D'Urso, M.G. "New Expressions of the Gravitational Potential and its derivatives for the prism", *Proceedings VII Hotine Marussi International Symposium on Mathematical Geodesy - July, 6th-10th 2009, Rome, Italy Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012 DOI 10.1007/978-3-642-22078-4, pp. 251-256*
- D'Urso M.G. (2013), "On the evaluation of the gravity effects of polyhedral bodies and a consistent treatment of related singularities" *Journal of Geodesy* 87:239-252 DOI:10.1007/s00190-012-0592 - 1 Springer Verlag Berlin Heidelberg
- D'Urso M.G., Bianchi I., Costantino G. (2013), "Determinazione degli effetti della gravità per modelli digitali del terreno", *Atti 17ª Conferenza Nazionale ASITA*, 529-536
- Hinze, W.J. (1990), "The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies". In: Ward, S.H. (Ed.), *Geotechnical and Environmental Geophysics*, vol. 1. *Society of Exploration Geophysicists*, Tulsa, Oklahoma, pp. 75-126
- Maouche S., Abtout A., Merabet N.-E., Aïfa T., Lamali A., Bouyahiaoui B., Bougchiche S., Ayache M., "Tectonic and Hydrothermal Activities in Debagh, Guelma Basin (Algeria)", *Journal of Geological Research* Volume 2013
- Neumann, R. (1967), "La gravimetrie de haute précision. Application aux recherches de cavités", *Geophysical Prospecting* 15, 116-134
- Wenjin, L., Jiajian, X. (1990), "Effectiveness of the high - precision gravity method in detecting sinkholes in Taian Railway Station of Shangdong province". In: Ward, S.H. (Ed.), *Geotechnical and Environmental Geophysics*, vol. 3. *Society of Exploration Geophysicists*, Tulsa, Oklahoma, pp. 169-174
- Yule, D.E., Sharp, M.K., Butler, D.K. (1998), "Microgravity investigations of foundation conditions", *Geophysics* 63, 95-103