

# APPLICAZIONI DIGITALI PER IL RILIEVO LASER SCANNER TERRESTRE DEL SITO ARCHEOLOGICO DEL II SECOLO A.C. NELLA CITTÀ DI TERAMO



Figura 1 - Ubicazione dell'area di scavo.

di Arcangelo Piscitelli, Cosimo Pignatelli, Maurilio Millella, Alessandra Tursi, Giuseppe Antonio Mastronuzzi

Il rilievo ambientale con impiego di tecnologia digitale di acquisizione Laser Scanner Terrestre (Terrestrial Laser Scanner = TLS) ormai rappresenta un sistema veloce e preciso di applicazione consueta in molti campi delle scienze e delle applicazioni. Molti esempi possono essere fatti del suo impiego accoppiato a tecnologie DGPS per quanto riguarda le applicazioni nel campo della geomorfologia, della geofisica, dell'ingegneria e dell'archeologia. Esso, affiancato alle metodologie classiche di rilevamento di un'area archeologica, permette di poter studiare con approssimazioni ridotte il sito di interesse e di disporre di dati estremamente versatili per le più disparate elaborazioni descrittive e ricostruttive. Inoltre i rilievi acquisiti possono essere introdotti in banche dati in ambiente GIS facilmente integrabili con rilievi successivi o di aree prossime.

Questo tipo di indagine permette di ridurre i tempi di lavoro, nonché di poter mettere in luce alcuni aspetti che le tradizionali tecniche di rilievo consentono con minore precisione o con maggiore impiego di tempo: i - costruire/tracciare sezioni e/o piante di una porzione dell'area di scavo; ii - costruire modelli tridimensionali di strutture complesse o articolate; iii - il dimensionamento areale e volumetrico; iv - la costruzione di un database cartografico; v - la gestione dei dati in piattaforme informatiche utili per qualsiasi tipo di progettazione.

### IL CASO DI STUDIO

L'area archeologica in cui è stato effettuato il rilievo per mezzo del Laser Scanner è ubicata nella periferia della città di Teramo (Provincia di Teramo), in Via dei Cavalieri di Vittorio Veneto (Coordinate Geografiche con sistema di riferimento Gauss-Boaga 42°38' N e 13°40' E Greenwich), a circa 300 m s.l.m. (Fig. 1).

L'andamento di Via dei Cavalieri di Vittorio Veneto ricalca in parte l'antica Via Caecilia, una strada romana lastricata del II secolo a.C. (Fig. 2) che, separandosi dalla Via Salaria, da Roma raggiungeva la costa adriatica abruzzese. Tale via cir-

condata da monumenti viene definita dagli archeologi come la Via Sacra d'Interamnia; con tutta la dovuta prudenza e in proporzione, la si può considerare una sorta di Via Appia di Teramo per le similitudini con la famosa Via Appia antica di Roma.

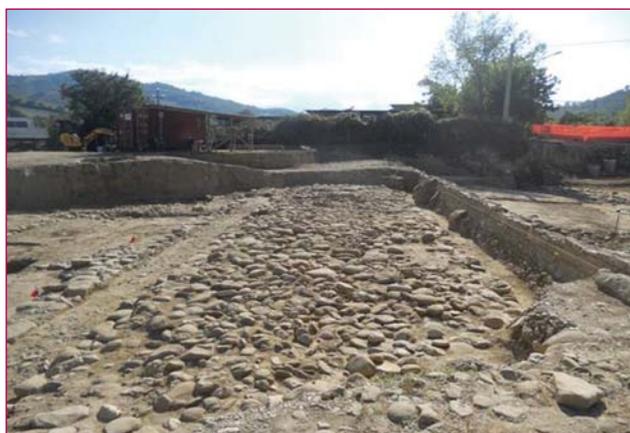


Figura 2 - Particolare dello scavo archeologico.

### RILIEVO LASER SCANNER TERRESTRE E DGPS

L'indagine è stata effettuata in uno scavo archeologico di circa 1.250 m<sup>2</sup>. Lo strumento utilizzato è un Laser Scanner Terrestre Leica ScanStation2 integrato con un GPS Differenziale Leica ATX 1230 GG (GPS+GLONASS) (Fig. 3).



Figura 3 - Fase di scansione.

Dopo aver esaminato la morfologia dell'area oggetto di rilievo sono state individuate otto posizioni di scansione utili a coprire il sito con parziale sovrapposizione e con passo di acquisizione di 3 mm, utilizzando 5 target riflettenti per la georeferenziazione. La nube di punti così ottenuta (Fig. 4) risulta costituita da 20.000.000 di punti contenenti informazioni riguardanti le tre coordinate X, Y, Z.

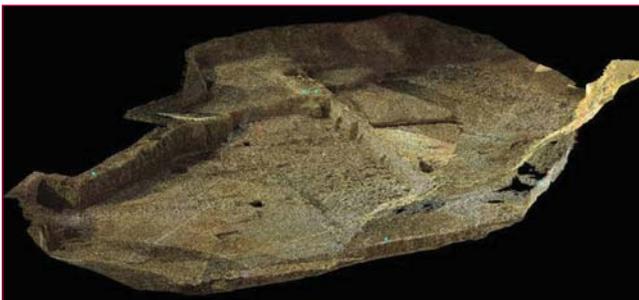


Figura 4 - Nube di punti dell'area scansionata restituita dal Laser Scanner Terrestre.

Durante la fase post-processing le singole scansioni sono state registrate (cioè analizzate) utilizzando il software Cyclone 6.x che in una seconda fase ha permesso di filtrare tutti gli outliers (punti anomali) dalle diverse scansioni. Successivamente è stato possibile procedere all'unione delle diverse nubi di punti per mezzo dei target utilizzati in modo da ottenere una rappresentazione tridimensionale (Fig. 5) dell'intera area di indagine.

Per ottenere una precisa georeferenziazione di tutti i punti scansionati, visto che essi risultano adimensionali e privi di qualsiasi sistema di riferimento spaziale, sono stati associati i dati acquisiti mediante Laser Scanner con quelli DGPS, ottenendo una nube di punti georeferita secondo il sistema di riferimento IGM95-ETRF89. Il rilievo topografico



Figura 5 - Rappresentazione tridimensionale dell'area scansionata.

utile alla georeferenziazione è stato effettuato utilizzando la metodologia cinematica "stop and go" RTK (Real Time Kinematics) con tempi di stazionamento compresi tra 30 e 60 secondi, utilizzata per rilevare target, punti notevoli, perimetrazione aree, ecc. Ogni punto acquisito è stato corretto tramite collegamento, mediante un telefono mobile, alla stazione permanente di Ascoli Piceno della rete GNSS ItalPoS. I punti così acquisiti sono stati elaborati con il software Leica Geo Office, al fine di ottenere le coordinate chilometriche X, Y, Z UTM (Fuso 33). La quota ortometrica è stata acquisita utilizzando il software dell'Istituto Geografico Militare VERTO3 in parallelo ai grigliati di riferimento dei fogli IGM 1:50.000 (339 TERAMO). Il software Leica Geo Office ha permesso di esportare i punti ottenuti in formato ASCII, compatibili con le piattaforme GIS e CAD.

### ELABORAZIONI OTTENUTE

Successivamente alle fasi di rilievo, analisi e gestione dati, sono stati ricavati elaborati grafici quali: planimetria, sezioni, piano quotato e curve di livello.

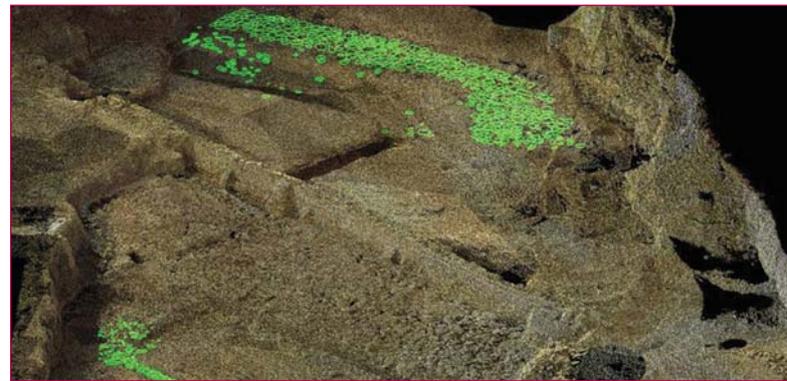


Figura 6 - Ricostruzione planimetrica dei particolari della strada romana.

Per la ricostruzione della planimetria dell'area archeologica è stato utilizzato un tool di modellizzazione Cyclone - Model. Con esso è stato possibile editare l'intera nube di punti intersecandola con dei piani di taglio lungo un qualsiasi asse di riferimento; in particolare, è stato creato un piano di taglio x-y al fine di individuare gli elementi rappresentativi della strada romana e di poterne riprodurre l'esatta posizione (Fig. 6). Spostando lungo l'asse z il piano di riferimento sono stati editati tutti gli elementi caratterizzanti il sito archeologico alle diverse quote, con un dettaglio superiore e teoricamente infinito rispetto alla tradizionale stratigrafia archeologica, le parti superiori di un muro intermedio, la perimetrazione dello scavo. Applicando la medesima metodologia e traslando il piano di taglio lungo x-z e y-z si sono individuate delle sezioni rappresentative (Fig. 7 - 8).

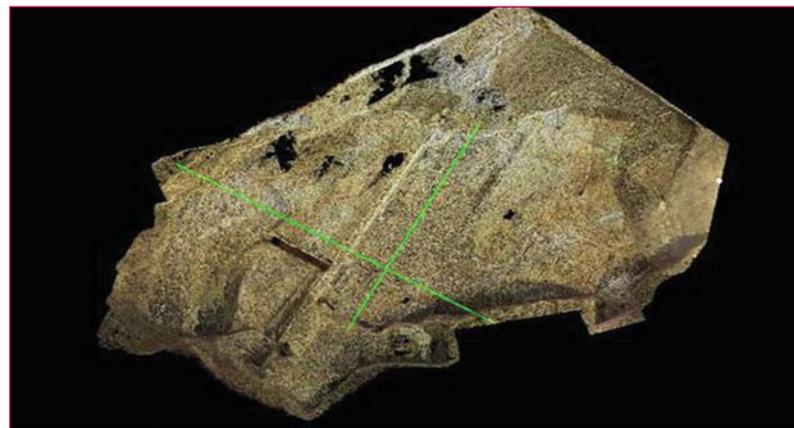


Figura 7 - Pianta delle sezioni lungo x-z e y-z.

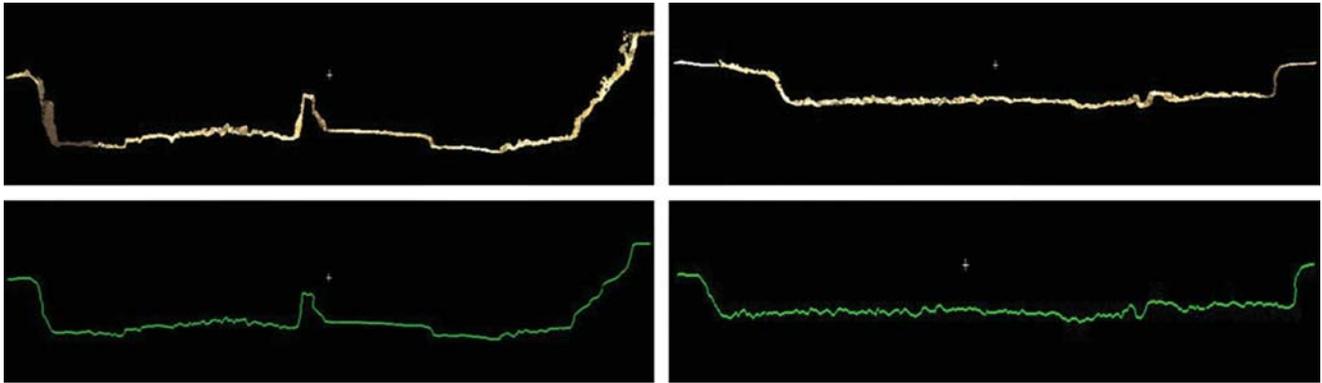


Figura 8 - Profili delle sezioni tracciate.

Dalle informative relative alla latitudine, longitudine UTM e quota ortometrica è stato possibile ottenere il piano quotato e le curve di livello della nube di punti. Utilizzando particolari algoritmi di interpolazioni di punti presente all'interno di Topocal è stato possibile ottenere un piano quotato con le curve di livello aventi una equidistanza di 50 centimetri (Fig. 9).

L'intera nube di punti georeferenziata, la pianta, il piano quotato e le curve di livello registrate in formato di interscambio .dxf sono state importate in ambiente CAD per la creazione delle tavole finali rappresentative.

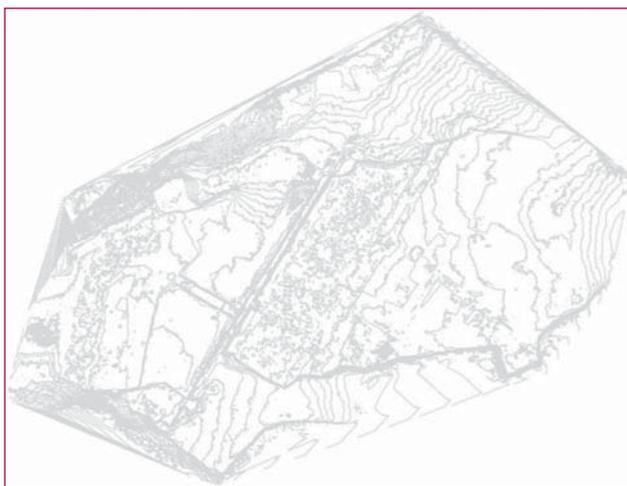


Figura 9 - Piano quotato e curve di livello.

### COSTRUZIONE DI FOTOPIANI

Per restituire una coerente e dettagliata documentazione metrico-morfologica e fotografica del tracciato stradale oggetto di rilievo archeologico, si sono impiegati:

- dati topografici: numero limitato di coordinate polari e geocentriche, che costituisce la struttura metrica fondamentale del rilievo, per generare una struttura geometrica in grado di georeferenziare la nuvola di punti e fornire l'andamento del livello zero;
- dati Laser Scanner Terrestre 3D: la nuvola di punti contenente dati spaziali x, y, z, è stata utilizzata per la restituzione morfometrica da cui si sono ricavati i dati necessari alle elaborazioni;
- dati raster: sono state effettuate immagini fotografiche ad alta risoluzione, per una migliore definizione qualitativa delle superfici. L'altezza di riproduzione delle immagini è stata di circa 2,5 m con asse fotografico ortogonale al piano di indagine, spostandosi in parallelo, in modo da avere una sovrapposizione stereoscopica dei fotogrammi. Si è posta particolare cura per lavorare nelle migliori condizioni di luce possibili, al fine di evitare zone in ombra discordanti con l'immagine generale.



Figura 10 - Porzione di fotopiano.

Il modello ottenuto dall'elaborazione della superficie tridimensionale ha permesso l'estrazione dei piani di sezione per la composizione dei fotopiani.

La metodologia di rilevamento utilizzata per la realizzazione del fotopiano complessivo della pianta (Fig. 10) è basata sulla realizzazione dei fotopiani digitali parziali, dato l'andamento generalmente piano degli stessi, realizzati mediante la tecnica di ortorettifica.

Le riprese fotografiche sono state, in una prima fase, foto-raddrizzate singolarmente, con un procedimento analitico inserendo dai 5 ai 10 punti con coordinate spaziali note, rilevate con la tecnologia Laser Scanner ed individuate in fase di acquisizione.

Successivamente, basandosi su una vista renderizzata in scala 1:50 del modello tridimensionale a superficie *mesh* (Fig. 11), che consente una maggiore osservazione delle forme e microforme del rilievo, è stata effettuato il fotomosaico di ogni singola immagine, mantenendo esclusivamente la parte centrale di ognuna di esse, meno soggetta ad aberrazione. Particolare cura è stata posta alle aree di transizione e sovrapposizione tra un fotogramma e l'altro.

Le singole immagini fotografiche sono state elaborate cromaticamente per eventuali correzioni di gamma, livelli di luminosità, tono, saturazione, contrasto al fine rendere più omogenea possibile l'immagine complessiva risultante.

Il progetto delle riprese è stato realizzato in modo tale da potere garantire la scala nominale di restituzione finale pari a 1:50 con possibilità di ingrandimenti dei particolari fino ad 1:20, senza perdita di definizione.

Il modello morfometrico tridimensionale complessivo è stato utilizzato per la realizzazione di sezioni-prospetto (Fig. 12) e come supporto delle restituzioni grafiche bidimensionali dell'oggetto di indagine secondo i due assi, longitudinale e trasversale individuati nel perimetro del rilievo.

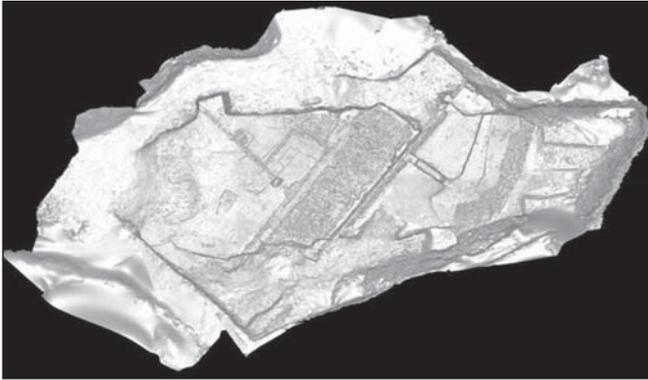


Figura 11 - Modello mesh dell'area di scavo.

## CONCLUSIONI

L'impiego della tecnologia Laser Scanner Terrestre integrata con GPS Differenziale nell'ambito di un rilievo archeologico ha reso possibile analizzare ed ottenere informazioni più dettagliate ed in tempi ristretti rispetto quelle che si sarebbe potuto ottenere con il rilevamento tradizionale. Infatti tale metodologie di rilievo comportano, non solo una veloce acquisizione dei dati, con relative elaborazioni in tempi brevi, ma anche la possibilità di poter usufruire della nube di punti finale per molteplici finalità. Avere a disposizione un database quale quello derivato da rilievi TLS, rende possibile qualsiasi realizzazione progettuale: i - la realizzazione di un rendering generale o di un particolare dettaglio; ii - la ricostruzione tridimensionale dello scenario e, di conseguenza, la sua "rianimazione"; iii - l'intervento puntuale su un piccolo particolare in fase di restauro; iv - la costruzione di carte tematiche utili per poter meglio apprendere ed analizzare la realtà del periodo storico cui si attribuiscono gli oggetti rilevati.

## Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare alla società TE.CO. S.r.l. Terra Consulting di Terni che ha permesso la realizzazione della scansione dell'intera area archeologica.

## ABSTRACT

*The environmental survey with the digital technology acquisition of Terrestrial Laser Scanner (= TLS) nowadays represents a rapid and precise application in many fields of science and technology. The Terrestrial Laser Scanner technology integrated with differential GPS can be used in the geomorphological, geophysics, engineering and archeological applications. This kind of technology, joined with the classical methods of the archaeological area survey, allows us to study the site of interest with reduced approximation. The TLS survey methods, in fact, let us not only a fast acquisition of data but also the possibility to take advantage of the points cloud for a lot of the final purposes, such as the three-dimensional reconstruction of the scenario and the creation of a rendering of a particular detail.*

## PAROLE CHIAVE

LASER SCANNER, MODELLAZIONE 3D, ARCHEOLOGIA ROMANA, TERAMO.

## AUTORI

GIUSEPPE ANTONIO MASTRONUZZI  
GIUSEPPEANTONIO.MASTRONUZZI@UNIBA.IT  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA E GEOAMBIENTALI  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI ALDO MORO  
LAGAT-TA, LABORATORIO GIS-AMBIENTALE E DI TELERILEVAMENTO -  
II FACOLTÀ DI SCIENZE IN TARANTO, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI ALDO MORO.

ARCANGELO PISCITELLI  
ARCANGELO.PISCITELLI@LIBERO.IT  
MAURILIO MILLELLA  
MAURISIMO@LIBERO.IT  
SPIN OFF ACCADEMICO  
ENVIRONMENTAL SURVEYS S.R.L.,

COSIMO PIGNATELLI  
COSIMO.PIGNATELLI@EMAIL.IT  
SPIN OFF ACCADEMICO  
ENVIRONMENTAL SURVEYS  
GEO DATA SERVICE S.R.L.,

ALESSANDRA TURSI  
ALESSANDRATURSI@GMAIL.COM

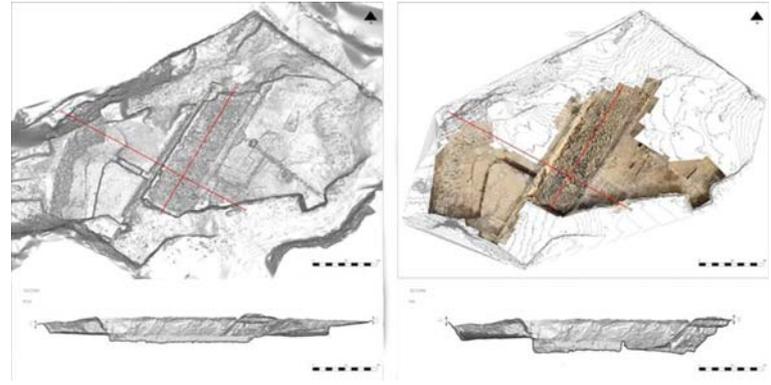


Figura 12 - Sezioni e prospetti dell'area scansionata.

## BIBLIOGRAFIA

- Caldara M., Capolongo D., Infante M., Marsico A. & Pennetta L. (2010). Gli effetti delle modifiche alle difese costiere rilevate con la tecnologia laser scanner terrestre. In: "Il monitoraggio costiero mediterraneo, problematiche e tecniche di misura" FIRENZE, CNR Ibimet, 385-394.
- Caldara M., Capolongo D., Damato B. & Pennetta L. (2006). Can the ground laser scanning technology be useful for coastal defenses monitoring? Italian Journal of Engineering Geology and Environment 1, 35-49.
- Caldara M., Marsico A., Infante M. & Recchia G. (2008). Applicazioni del rilievo laser tridimensionale alle fortificazioni dell'età del Bronzo di Coppa Navigata. In: Atti del 28° Convegno Nazionale sulla Preistoria, Protostoria e Storia della Daunia. S. Severo, 25-26 Novembre 2007, 225-238, FOGGIA, Stab. Lit. Centrografico Francescano.
- Costantino D., Angelini M.G. & Caprino G. (2010). Laser scanner survey of an archaeological site - Scalo di Furno (Lecce, Italy). International Archivi of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII, 5, 178-183.
- Cartellino E., Pignatelli C., Piscitelli A., Bruno V. & Mastronuzzi G. (2010). Dal rilievo mediante Laser Scanner Terrestre al Sistema Informativo Geografico di Impianti Industriali. Workshop "Dal telerilevamento al Geo-Spatial Intelligence", ENEA - Università degli Studi di Bari, Taranto 16-17 settembre 2010, 8.
- Maerker M., Capolongo D., Natuzzi G., Pelacani S. & Rodolfi G. (2006). Application of geoelectric tomography and LIDAR analysis for the assessment of gully erosion dynamics and badland evolution. Geophysical Research Abstracts 8, 09737.
- Marsico A., Pennetta L. & Infante M. (2012). Some Results of Coastal Defences Monitoring by Ground Laser Scanning Technology. Environmental Earth Sciences. ISSN: 1866-6280, doi: 10.1007/s12665-012-1695-y.
- Marsico A., Pignatelli C., Piscitelli A., Mastronuzzi G. & Pennetta L. (2009). Rilievo con laser scanner e ricostruzione 3D di blocchi accumulati da eventi estremi in Italia Meridionale. In: Atti 13° Conferenza Nazionale Asita, 1377-1385.
- Mastronuzzi G. & Pignatelli C. (2011). Determination of Tsunami Inundation Model Using Terrestrial Laser Scanner Techniques. In: Mörner N.A. (Ed.) "The Tsunami Threat", Research and Technologies, INTECH, 219-236.
- Pignatelli C., Ferilli S., Capolongo D., Marsico A., Milella M., Pennetta L., Piscitelli A. & Mastronuzzi G. (2010a). Evidenze morfologiche, rilievo digitale ed applicazioni informatiche al fine della valutazione del limite di inondazione da tsunami. Rivista Italiana di Telerilevamento 42, 129-142, ISSN: 1129-8596.
- Pignatelli C., Piscitelli A., Damato B. & Mastronuzzi G. (2010b). Estimation of the value of Manning's coefficient using Terrestrial Laser Scanner techniques for the assessment of extreme waves flooding. Zeitschrift für Geomorphologie 54, 3, 317-336.
- Schiavone D., Capolongo D. & Loddo M. (2009). Near station topographic masses correction for high accuracy gravimetric prospecting. Geophysical Prospecting 57, 4, 739-752.
- Tanzi N. (2010). Reverse engineering e telerilevamento di impianti industriali. Workshop "Dal telerilevamento al Geo-Spatial Intelligence", ENEA - Università degli Studi di Bari, Taranto 16-17 settembre 2010, 14.