

2015

ASITA



Federazione italiana delle
Associazioni Scientifiche
per le **Informazioni Territoriali**
e **Ambientali**



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI CARTOGRAFIA



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI TELERILEVAMENTO



PLATINUM
SPONSOR

GOLDEN
SPONSOR

SILVER
SPONSOR

BRONZE
SPONSOR



CON IL PATROCINIO DI



Provincia di Lecco



Comune di Lecco



Camera di Commercio
Lecco



LECCO
VERSO E OLTRE
EXPO₂₀₁₅



Consiglio Nazionale
Geometri e Geometri Laureati



Consulta Regionale
Geometri e Geometri Laureati
della Lombardia



Collegio Geometri e Geometri Laureati
della Provincia di Lecco



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



Ordine
dei Geologi
della Lombardia

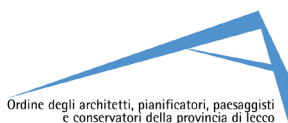


POLITECNICO
MILANO 1863

POLO TERRITORIALE DI
LECCO

UNIVERLECCO

CON LA COLLABORAZIONE DI



Ordine degli architetti, pianificatori, paesaggisti
e conservatori della provincia di Lecco



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
Roberto DI PACE	Intergraph Italia
Andrea FAVRETTO	Università degli Studi di Trieste
Mario A. GOMARASCA	CNR-IREA, Milano
Stefano NICOLODI	SIFET
Livio PINTO	Politecnico di Milano
Mauro SALVEMINI	Università "La Sapienza", Roma
Monica SEBILLO	Università degli Studi di Salerno
Giuseppina VACCA	Università degli Studi di Cagliari

CONSIGLIO SCIENTIFICO (CS)

Stefano GANDOLFI (<i>Presidente</i>)	Università degli Studi di Bologna
Sergio FARRUGGIA (<i>Vice-Presidente</i>)	AM/FM GIS Italia
Laura BERARDI	Università "La Sapienza", Roma
Enrico BORGOGNO	Università degli Studi di Torino
Giuseppe BORRUSO	Università degli Studi di Trieste
Mirco BOSCHETTI	CNR-IREA, Milano
Andrea LINGUA	Politecnico di Torino
Giovanni MAURO	Università degli Studi di Trieste
Titi MELIS	Università degli Studi di Cagliari
Beniamino MURGANTE	Università degli Studi della Basilicata
Alessandro NOBILI	Associazione Italiana di Cartografia
Andrea SCIANNA	Università degli Studi di Palermo

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

Telerilevamento e GIS per la valutazione e il monitoraggio delle isole di calore in ambiente urbano <i>S. Adelfio, C. Enea, G. Bazan, P. Orlando</i>	3
Metodologia per la caratterizzazione spettrale delle superfici saline e delle aree interessate da aspersioni sabbiose tramite proximal sensing e remote sensing in Tunisia <i>G-M. Afrasinei, M.T. Melis, F. Frau, V. Demurtas, C. Buttau, C. Arras, G. Ghiglieri</i>	11
UAV per la generazione di DSM multi-temporali per il monitoraggio delle dinamiche di ricostituzione post-incendio di aree boschive <i>I. Aicardi, F. Chiabrando, A. Lingua, E. Lingua, R. Marzano, P. Maschio, M. Piras</i>	19
Aggiornamenti puntuali di dati cartografici per modellazioni ambientali <i>I. Aicardi, F. Chiabrando, C. Danna, V. Garraffo, A. Lingua, F. Noardo</i>	27
Navigazione mediante smartphone in ambienti indoor: precisioni ed accuratezze ottenibili <i>I. Aicardi, P. Dabove, N. Grasso, G. Ghinamo, A. Lingua, P. Maschio</i>	29
Mappatura delle aree inondate da immagini Landsat 8 combinate con modelli geomorfologici in ambiente GIS: il caso studio della piena del fiume Sava (Bosnia Erzegovina) del 2014 <i>A. Annis, F. Nardi, F. Castelli</i>	31
La Rete GNSS Interregionale di Regione Piemonte e Regione Lombardia: dal progetto alla gestione dell'infrastruttura <i>M. Albertelli, S. Campus, L. Chiapale, A. Cozzi, D. Dal Puppo, M. De Agostino, M. Pipino, G.B. Siletto</i>	33
BHIMM e Augmented Information: il rilievo per la conoscenza e la valorizzazione di Castel Masegra <i>L. Barazzetti, R. Brumana, F. Banfi, F. Lostaffa, F. Piraino, M. Previtali, D. Oreni, F. Roncoroni, L. Villa</i>	35
Applicazioni geomorfologiche di una stereo-coppia di immagini satellitari GEOEYE-1 <i>M. Barbarella, M. Fiani, C. Zollo</i>	47
Computer vision/structure for motion per la diffusione dei beni culturali <i>V. Barrile, G. Bilotta, D. Lamari, G. M. Meduri, U. Monardi Trungadi, A. Ricciardi</i>	51
Utilizzo di Reti Neurali, Algoritmi genetici e SVM applicati ad immagini telerilevate per la classificazione di discariche incontrollate	61
<i>V. Barrile, G. Bilotta, G.M. Meduri, U. Monardi Trungadi, A. Ricciardi</i>	61
Estrazione rapida di strade mediante segmentazione di immagini telerilevate da satellite integrabili in Open Street Map per situazioni di emergenza <i>V. Barrile, G. M. Meduri, G. Bilotta</i>	71
Analisi economica di un servizio da dati telerilevati a scala regionale: il caso del monitoraggio agricolo nel Progetto Space4Agri <i>A. Basoni, P. Carrara, A. Crema, A. de Carli, A. L'Astorina, F. Pontoni, D. Stroppiana, I. Tomasoni</i>	77
Pro-Vision: un approccio innovativo per l'analisi della visibilità in ambito stradale. Test e risultati <i>M. Bassani, N. Grasso, A. Lingua, M. Piras</i>	81
Applicazione di un modello integrato per la stima dell'evapotraspirazione di piante d'olivo (<i>Olea europea</i> L.) <i>P. Battista, M. Chiesi, B. Rapi, M. Romani, F. Sabatini, F. Maselli, C. Cantini, A. Giovannelli, G. Marino, C. Cocozza, R. Tognetti, A. Raschi</i>	87

IMAGOGIS: un progetto opensource per la gestione cartografica comunale <i>M. Beretta, O. Campolmi, G. Giori</i>	95
Cartografia storica tra ingegno e innovazione <i>M. Bertacchini</i>	103
Dal monitoraggio alla gestione adattativa del patrimonio sistematorio trentino <i>G. Bertoldi, G. Degasperì, R. Valentinotti</i>	107
Contributi geomatici al progetto MEP (Map for Easy Paths) <i>L. Biagi, M. Negretti, M.G. Visconti</i>	115
WebGis Open Source per Pubbliche Amministrazioni Locali il Caso di Studio RomaNatura <i>C. Biancalana, C. Crisciotti, M. Dalla Bernardina, A. Salvoni</i>	117
La geomatica per la modellazione 3D di placche rocciose di grandi dimensioni e applicazioni geologiche: il caso della rupe di San Leo (RN) <i>G. Bitelli, L. Borgatti, F. Cervi, M. Dellapasqua, F. Franci, V. Alena Girelli, A. Lambertini, A. Landuzzi, E. Mandanici, A. Pacini, M.C. Spreafico, M.A. Tini</i>	123
Utilizzo di immagini satellitari multispettrali ad alta risoluzione nella gestione di emergenze umanitarie <i>G. Bitelli, F. Franci, M. Luppi, E. Mandanici, F.G. Tonolo</i>	131
Il progetto In-Cul.Tu.Re: innovazione nella cultura, nel turismo e nel restauro <i>T. Bolognesi, G.L. Spoto, S. Giammaruco, F. Stifani, L. Donateo, G. Miceli, G. Montinaro, F. De Matteis, P. Durante</i>	139
Il sistema satellitare polare Landsat 8 oli per il monitoraggio del mar piccolo di Taranto <i>F. Borfecchia, L. De Cecco, A. Petrocelli, E. Cecere, G. Portacci, c. Caroppo, T. Cibic, C. Micheli, V. Pignatelli</i>	145
Informazione Geografica Volontaria interoperabile: esempio di applicazione per la valorizzazione dell'informazione agricola <i>G. Bordogna, P. Carrara, L. Frigerio, T. Kliment, A. Crema, D. Stroppiana, M. Boschetti, S. Brivio, S. Sterlacchini</i>	157
Tecnologie GIS per l'analisi dell'accessibilità ferroviaria in emergenza <i>F. Borghetti, P. Gandini, G. Marchionni, M. Ponti</i>	159
Il SIIG per la mappatura del rischio associato al trasporto di sostanze pericolose: applicazione in aree vulnerabili del contesto lombardo <i>F. Borghetti, P. Gandini, G. Pastorelli, L. Studer, V. Todeschini</i>	167
PTA-DESTINATION. Un sistema di supporto alle decisioni per la valutazione dei rischi antropici e ambientali connessi al trasporto di merci pericolose su strada <i>F. Bratta, M. Orso Giacone, A. Navarretta, L. Bonura</i>	175
La Carta di Copertura del Suolo della Regione Veneto come strumento di supporto alla pianificazione territoriale e paesaggistica <i>D. Brentan, M. Cestaro, M. De Gennaro, M. Foccardi, A. Miotto</i>	183
Archivio storico aerofotogrammetrico della Città di Torino: plugin di visualizzazione del dato fotografico in ambiente GIS <i>O. Caddia, G. Pirrello, L. Annibaletto, L. Chiapale, M. De Agostino, S. Giorgi, M. Pipino</i>	191
Utilizzo di ricevitori a basso costo e del software goGPS per il monitoraggio geodetico <i>S. Caldera, E. Realini, R. Barzaghi, M. Reguzzoni, F. Sansò</i>	199
Una infrastruttura geografica europea: il Progetto E.L.F. (European Location Framework) <i>S. Campus, P. Nazio, G.B. Siletto</i>	207
Esperienze di rilievi UAV per la prevenzione del rischio ambientale <i>M. Caprioli, R. Trizzino</i>	215

Un WebGIS per la divulgazione delle analisi dei processi di desertificazione del territorio della Puglia <i>G. Caradonna, E. Tarantino, A. Novelli, B. Figorito, U. Fratino</i>	217
Sviluppi del progetto Phytos.I.S in Calabria: la carta della biodiversità vegetale del lago di Tarsia <i>D. Caridi, G. Maiorca, I. Antonucci, A. Leuzzi, G. Spampinato, P. Cameriere, A. Crisafulli</i>	225
WebGIS delle «no fly zones» per SAPR in Italia <i>V. Caroselli, C. Iannucci</i>	231
Recupero di riprese fotogrammetriche storiche per l'analisi e la pianificazione territoriale: il caso studio della Val Grande <i>C. Cassatella, G. Garnero, P. Guerreschi, B. Seardo</i>	237
Stima dei trend di stato trofico in laghi profondi da dati MERIS (2002-2012) <i>I. Cazzaniga, C. Giardino, M. Bresciani, S. Peters</i>	245
La tecnologia laser scanning per la valutazione statica delle strutture storiche <i>F. Chiabrando, E. Donadio, G. Sammartano, A. Spanò</i>	253
Tendenze recenti del cambiamento. La banca dati Uso e Copertura del Suolo di Regione Toscana (2007/2010/2013) <i>C. Ciampi, L. Bottai, M. Corongiu, B. Giusti, F. Lucchesi, U. Sassoli</i>	263
Piattaforma WebGis e strumenti Open Source per i sistemi di trasporto ed una pianificazione territoriale sostenibile <i>A. Ciuffi, C. Lembo, R. Nocera</i>	271
La geologia di Roma (1820-2008): l'evoluzione della conoscenza geologica attraverso le mappe storiche della città <i>M.P. Congi, F. Console, M. Pantaloni, P. Perini, M. Roma</i>	277
Il telerilevamento in ambito marino-costiero per applicazioni legate alla pesca <i>P. Conte, E. Mandanici, G. Bitelli</i>	287
Telerilevamento a supporto della precision farming <i>A. Crema, G. Candiani, M. Boschetti, C. Franchino</i>	289
Protocollo operativo per la validazione geometrica di immagini satellitari ad alta risoluzione <i>M. Crespi, R. De Paulis, F. Pellegrini, P. Capaldo, F. Fratarcangeli, R. Gini, A. Nascetti, F. Selva</i>	293
La Citizen Science e la Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine (LTER-Italia): esperienze nei siti d'alta quota <i>L. Crisculo, A. Oggioni, P. Carrara, S. Lanucara, A. Campanaro, M. Freppaz, A. Lami, M. Maggioni, G. Matteucci, A. Puggnetti, M. Rogora</i>	295
Un sistema per il monitoraggio geofisico con ricevitori GNSS a singola frequenza: l'esperienza del progetto SIMULATOR <i>D. Curone, A. Amodio, M. Osmo, M. Chersich</i>	297
Osservazione delle zone marine costiere da dati ottici multi-sensore: il caso studio della foce del Volturno <i>S. Daneshgar, E. Matta, C. Giardino, M. Bresciani, G. Sona</i>	305
Trasformazione tra Sistemi di riferimento e GIS: quali precisioni? <i>M. De Agostino, M. Pipino, G.B. Siletto, S. Campus</i>	313
Applicazione GIS per la gestione dei dati di monitoraggio ambientale Integrazione tra Tecnologie Gis ESRI e Tecnologie Microsoft <i>L. De Rosa, A. Salluzzo</i>	323
Nuove prospettive per l'utilizzo del remote sensing nella gestione delle emergenze da rischi Natech e l'uso della terminologia specifica <i>S. Di Franco, R. Salvatori, E. Rapisardi</i>	331

AGAT Marathon Map – Un progetto di cartografia partecipata <i>A. Di Somma, R. Mastrolorenzo, E. Marini, F. Zonetti, M. Miranda, S. Werther Pechar, A. Scarfone, V. Ferrari</i>	339
Un'applicazione al settore ambientale di fotogrammetria con piattaforma UAV <i>M.G. D'Urso, A. Gargiulo, A. Rotondi, R. Bracaglia</i>	347
La Geomatica per il monitoraggio del patrimonio architettonico della provincia di Matera <i>M. Delli Santi</i>	355
La complessità dell'organizzazione spaziale nell'agricoltura toscana <i>L. Fastelli, C. Ciampi, B. Giusti, F. Lucchesi, F. Monacci, M. Rovai</i>	363
Ottimizzazione della modellistica di simulazione del rischio idraulico tramite algoritmi di <i>Optimal Sensor Location</i> <i>G. Fattoruso, A. Agresta, G. Guarnieri, A. Buonanno, B. Lanza, M. Molinara, C. Marrocco, S. De Vito, F. Tortorella, G. Di Francia</i>	373
Variazioni geomorfologiche nell'area centrale della Laguna di Venezia. Elaborazione di cartografia storica e foto aeree <i>B. Favaretto, F. Rizzetto, E. Molinaroli</i>	381
Consumo di suolo e forme insediative nei Sistemi locali urbani <i>A. Ferrara, F. Lipizzi, G. Endennani</i>	389
Tecniche di telerilevamento per il riconoscimento dei soggetti arborei appartenenti al genere <i>Platanus spp.</i> <i>S. Fiorillo, G. Villa, A. Marchesi</i>	391
Mappatura della coltivazione e monitoraggio della crescita di riso nel distretto agricolo di salonicco (Grecia) tramite l'utilizzo di dati SAR <i>G. Fontanelli, F. Holecz, F. Collivignarelli, L. Gatti, M. Barbieri, D. Katsantonis, Ch. Dramalis, A. Kaliait̃zidis, L. Ranghetti, L. Busetto, M. Boschetti</i>	399
Sistemi decisionali per la gestione dell'erosione costiera <i>M. Funaro, M. Ioannilli</i>	401
Mappatura del rischio sulle aree costiere dell'effetto combinato dell'innalzamento del livello medio del mare e degli eventi meteorologici straordinari <i>S. Hosseini, M. Scaioni</i>	409
Proposta di schema fisico banca dati territoriale provinciale <i>M. Gadaldi, P. Maspes, M. Spinelli</i>	411
SIMULATOR: Sistema Integrato ModULAre per la gesTione e prevenziOne dei Rischi <i>R. Gianfreda, D. Curone, S. Sterlacchini, M. Faravelli, R. Salerno, R. Mangiaracina, S. Grilli, M. Riva</i>	419
Dalla cartografia storica alla cartografia 2.0 nella Toscana preunitaria: toponomastica idrografica e attività manifatturiere <i>M. Grava, M. De Silva, M. Gesualdi, F. Lucchesi, A. Martinelli, C. Torti</i>	421
Analisi e gestione della cartografia storica per la ricostruzione virtuale dell'area termale euganea (PD): il caso di Monteortone <i>S. Greggio, E. Faresin, P. Zanovello, G. Salemi</i>	429
Scenari di pericolo/rischio da eventi di frane superficiali per reti viarie <i>G. Gullà, L. Borrelli, G. Cofone</i>	437
Il rischio idrogeologico: un'esperienza problematica con i dati delle Autorità di Bacino (AdB) <i>F. Guzzetti, A. Pasquinelli, A. Privitera, M. Ronconi</i>	445
La scarsa attendibilità del CAP come riferimento geografico in Italia <i>F. Guzzetti, A. Pasquinelli, A. Privitera, M. Ronconi</i>	453

L'utilizzo della geolocalizzazione per contrastare il rischio sociale connesso al gioco d'azzardo patologico <i>F. Guzzetti, A. Pasquinelli, A. Privitera, M. Ronconi</i>	461
Processi di realizzazione di SDI: ruoli tecnici e gestionali a confronto <i>C. Iannucci, V. Caroselli</i>	469
Monitoraggio idrografico del Banco di Graham (Canale di Sicilia) e sicurezza della navigazione <i>R. Ivaldi, N. Langellotto, N. Moschetto, N. Pizzeghello, M. Garbarino</i>	481
Sperimentazione in ambiente GIS di una metodologia per l'automatizzazione di procedure nell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) <i>A. Lambertini, D. Loi, G. Bitelli</i>	487
I multicotteri controllano il suolo del superParco della Brianza, palestra di scoperte archeologiche <i>M.M. Langfelder, G. Langfelder</i>	495
Nutrire mente e corpo con Leonardo maestro di interoperabilità <i>S. Langfelder, M.M. Langfelder</i>	497
Un modello per il calcolo della distribuzione del volume dei sedimenti prodotti da un bacino idrografico attraverso l'utilizzo di un plug-in in ambiente PyQGIS <i>S. Larosa, C. Vacca, R. Dominici, G. Cianflone, A. Viscomi, R. De Rosa</i>	499
Primi passi per la modellazione delle regole geospaziali <i>R. Laurini</i>	501
Il rilievo 3D nella tutela e conservazione di un bene architettonico in un'area a elevato rischio geologico <i>L. Leone, D. Laudani Fichera, G. Pulvirenti, P. Spicuzza, M. Leone, C. Caruso</i>	509
Studio e sviluppo di un GIS per la gestione della lotta dei grandi incendi secondo la direttiva INSPIRE <i>A. Lingua, M. Piras, M.A. Musci, F. Noardo, N. Grasso, V. Verda</i>	517
Strumenti Tecnologici GIS e Open Data a supporto dell'interoperabilità dei Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale o di Area Vasta <i>N. Lopez, V.F. Uricchio, V. Guerra</i>	523
Monitoraggio dell'umidità dei suoli per un corretto uso delle risorse idriche <i>A. Lugli, A. Seravalli, M. Solmi, D. Rondini, I. Ghinello, L. Boni</i>	531
Sviluppo di tecnologie smart per l'agricoltura: opportunità di collaborazione tra ricerca e scuola <i>A. L'Astorina, I. Tomasoni, G. Bordogna, A. Crema, L. Frigerio</i>	539
"Le mappe di comunità": esperienze di cartografia partecipata per lo sviluppo locale <i>C. Madau</i>	541
Mappatura dell'attività fumarolica sul cono de La Fossa (Isola di Vulcano) e sua applicazione al monitoraggio del rischio vulcanico <i>P. Madonia, M. Cangemi, M. Costa, I. Madonia, C. Sammarco</i>	549
Strumenti GIS, integrati con modelli di valutazione della qualità dell'aria, a supporto delle politiche pianificatorie <i>G. Maffei, S. Greco, R. Gianfreda, A. Cherubini, F. Ferrari</i>	555
Lo spazio della proprietà pubblica: la mappa di Firenze <i>N. Magnolfi, G. Androzzì, F. Lucchesi, I. Scatarzi</i>	557
Sviluppo di un corner reflector a banda X per il monitoraggio multitecnologico di deformazioni lente in ambiente alpino <i>V. Mair, M. Mulas, C. Iasio, A. Corsini, G. Chinellato, D. Mosna, C. Strada, S. Tagnin</i>	565
Analisi di serie temporali di dati satellitari per la caratterizzazione della variabilità di pratiche agricole del frumento duro nel Parco Regionale della Camargue, Francia <i>G. Manfron, S. Delmotte, M. Boschetti, P.A. Brivio</i>	567

Monitoraggio innovativo per la gestione dell'inquinamento ambientale provocato da rilasci abusivi di rifiuti: l'esperienza del progetto DroMEP <i>C. Massarelli, M.R. Muolo, V.F. Uricchio, N. Dongiovanni</i>	569
Immagini Iperspettrali CASI per lo studio della sostanza organica nei suoli <i>R. Matarrese, V. Ancona, R. Salvatori, M.R. Muolo, V.F. Uricchio, M. Vurro</i>	577
Metodologia di calcolo delle distanze verticali su foto aeree oblique <i>M. Molinari, S. Medda, S. Villani</i>	583
Il rilievo 3D dell'ex Stazione Frigorifera Specializzata (Magazzini Generali di Verona) mediante metodologia laser scanning terrestre <i>M. Monego, V. Achilli, D. Bragagnolo, M. Fabris, A. Menin, G. Targa</i>	591
Il supporto delle B.D. territoriali nella valutazione di un progetto di realizzazione di un nuovo elettrodotto <i>D. Morelli, M.C. Reitano, M. Leone</i>	597
Verifica e Miglioramento degli High Resolution Layers Copernicus in Italia <i>M. Munafò, B. Alesse, L. Congedo, F. Ferraro, P. De Fioravante, S. Marzeddu, L. Sallustio, D. Tonti, M. Ottaviano, M. Marchetti</i>	605
Gestione del rischio idraulico residuo mediante modellazione idro-morfologica in ambiente GIS: il caso di studio del fiume Tevere <i>F. Nardi, A. Annis</i>	611
Stima di mappe di LAI su are risicole lombarde utilizzando immagini ad alta risoluzione e tecnologie smart <i>F. Nutini, M. Boschetti, L. Ranghetti, L. Busetto, R. Braggio, C. Franchino, P.A. Brivio</i>	613
Applicazioni GIS in epidemiologia ambientale: esposizione a rumore aeroportuale ed effetti sulla salute. Il caso studio dell'aeroporto di Firenze <i>D. Nuvolone, P. Pepe, F. Cipriani</i>	617
Il progetto SINOPIAE, impiego di dati telerilevati multisorgente per applicazioni ambientali innovative <i>G. Ober, W. Di Nicolantonio, R. Colombo, G. Maffeis, I. Cazzaniga, R. Brumana, P. Marras, L. Ferrero, A. Cacciari, N. Marmorale, A. Rampini, M. Bresciani, S. Cogliati, B.o Di Mauro, R. Garzonio, R. Gianfreda, F. Ferrari, L. Barazzetti, M. Previtali, B. Tattarletti, E. Bolzacchini, G. Sangiorgi, M.G. Perrone, S. Pastore, F. Casini, N. Fiorentino</i>	619
QI2S - Sistema per l'elaborazione ed interpretazione di immagini iperspettrali direttamente a bordo del satellite <i>G. Ober, J. Naghmouchi, O. Bischoff, P. Aviely, R. Nadler, D. Guiser, V. Messina, R. Freddi</i>	627
SEGUICI: Smart tecnologie per la Gestione delle risorse idriche ad Uso Irriguo e Civile <i>G. Ober, A. Candelieri, F. Sapio, F. Ferrari, E. Biserni, F. Dell'Acqua, S. Meucci, M. Mancini, N. Marmorale, G. Tramontano, N. Fiorentino, A. Taramelli, R. Venturino, G. Ravazzani, C. Corbari, G. Maffeis, R. Gianfreda</i>	633
Soluzioni innovative in ambito Geospatial, Utilities & Communication <i>T. Orsenigo, S. Colla, R. Di Pace</i>	635
Il Repertorio dei dati territoriali disponibili ai fini dell'implementazione di un SIT per la Città di Tricase <i>M. Palazzo, D. Rausa</i>	637
Gestione e ripristino del territorio in aree soggette a rischio idraulico/idrogeologico attraverso la Riqualificazione Fluviale <i>A. Palumbo</i>	645
Evoluzione della normativa per la gestione del pericolo da alluvioni nella Provincia Autonoma di Trento <i>C. Pendino, E. Sbrissa, R. Valentinotti, S. Fait</i>	653

Metadati di sensori: esemplari tipo precompilati ed editing assistito per generare SensorML corretti <i>M. Pepe, A. Oggioni, C. Fugazza, P. Tagliolato, F. Pavesi, A. Basoni, M. Bastianini, S. Menegon, P. Carrara</i>	661
Nuove applicazioni cartografiche e “vecchie” problematiche territoriali. I limiti amministrativi della Sardegna <i>C. Podda</i>	663
Una procedura robusta per la ricostruzione vettoriale degli ambienti interni degli edifici a partire da nuvole di punti <i>M. Previtali, L. Díaz-Vilariño, M. Scaioni, R. Brumana, P. Arias</i>	673
Il GIS a supporto della pianificazione comunale di protezione civile: il caso del comune di Pulsano <i>D. Rausa, M. Palazzo</i>	675
Stima e validazione delle prestazioni di un Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto in Agricoltura di Precisione <i>G. Ristorto, F. Mazzetto, G. Guglieri, F. Quagliotti</i>	683
ASTI Atlante Statistico Territoriale delle Infrastrutture <i>C. Santoro, L. De Iaco, S. Portuesi, J. Marca</i>	693
Il progetto SEGUICI e lo sviluppo di soluzioni Smart per la Gestione delle risorse idriche ad uso Civile <i>F. Sapio, C. d’Alessandro, M. Luigia Nitti, I. Giordani, A. Rossi, A. Candelieri</i>	701
La modellazione del reticolo idrografico: elemento cardine per la pianificazione e la tutela del territorio <i>E. Sbrissa, C. Pendino, R. Valentinotti, S. Fait</i>	703
Fonti, criteri e modalità per l’individuazione del perimetro urbano ai sensi della 65/2014 <i>M. Scamporrino, L. Di Figlia, G. De Luca</i>	711
Tecniche cartografiche e valutazione del paesaggio <i>G. Scanu</i>	719
Contributo alla definizione del numero dei nuraghi della Sardegna: quando la carta storica è rivisitata in ambiente GIS <i>G. Scanu, C. Podda</i>	731
Riconoscimento di specie arboree mediante classificazione di immagini multispettrali e multitemporali ad altissima risoluzione <i>G. Sona, R. Gini, D. Passoni, L. Pinto</i>	743
Telerilevamento iperspettrale da aereo per il monitoraggio di ecosistemi forestali: mappa di specie e stima di parametri biofisici <i>G. Tagliabue, C. Panigada, R. Colombo, C. Cilia, F. Fava, F. Baret, A. Schickling, U. Rascher, K. Vreys, K. Meuleman, M. Rossini</i>	745
Un approccio a regole per la mappatura precoce delle colture in Lombardia tramite dati satellitari ottici e radar <i>P. Villa, G. Fontanelli, D. Stroppiana, R. Azar, P.S. Brivio</i>	753
Il livello di dettaglio dei modelli 3D geomatici per l’analisi strutturale FEM <i>D. Visintini, A. Spangher</i>	755
Mappe comunitarie dell’acqua: il potenziale del sensing partecipativo nella gestione delle risorse idriche <i>D. Vito</i>	763
Il progetto OnToMap: costruire conoscenza territoriale attraverso l’uso di un’applicazione ICT <i>A. Voghera, R. Crivello, L. Ardissono, M. Lucenteforte, A. Savoca</i>	771

Interpretazioni geografiche sulla localizzazione dei forti del campo trincerato di Roma <i>F. Zonetti, S. Werther Pechar, M. Miranda, A. Di Somma, R. Mastrolorenzo, E. Marini, A. Scarfone, V. Ferrari</i>	779
Strumenti per la modellazione di colate detritiche e la mappatura del pericolo: sviluppo di una SDI con servizi di elaborazione, basata sul modello numerico TRENT2D <i>N. Zorzi, A. Rizzi, D. Zugliani, S. Piffer, G. Rosatti</i>	787
Concept di un modello di dati GIS per l'analisi integrata dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) e Territoriale Paesistico (PTP) <i>V. Angeloro, F. Nardi</i>	795
Ponti antichi e moderni: utilizzo di tecniche geomatiche per il rilievo, la rappresentazione e la modellazione strutturale <i>S. Artese, A. Miceli, P. Talarico, A. Venneri, G. Zagari, R. Zinno</i>	797
Rilievo e modellazione di infrastrutture viarie con tecniche geomatiche <i>G. Artese, S. Artese, S. Benvenuto, A. Di Rienzo, G. Garotto, M. Molinari</i>	805
L'intermediazione geospaziale per la valorizzazione del paesaggio e lo sviluppo di sistemi museali multimediali <i>F. Banfi, L. Barazzetti, R. Brumana, D. Oreni, M. Previtali, F. Roncoroni, P. Mazzetti</i>	811
Infrastrutture Verdi Urbane: fra sostenibilità ed INSPIRE <i>L. Berardi</i>	821
La revisione del Corpus di Conoscenze nel progetto Geographic Information – Need to Know <i>L. Berardi, S. Farruggia, B. Murgante, M. Salvemini, M. Sebillo</i>	827
Il nuovo modello digitale del terreno della Regione Lombardia; un esempio di utilizzo di dati esistenti <i>M. Bocci, D. Dal Puppo, D. Fasolini</i>	833
Quantificazione del Biotope Area Factor (BAF) con procedure automatiche di analisi della cartografia esistente <i>V. Casella, M. Franzini, G. Girone, P. Marchese</i>	843
Caratteristiche delle stazioni GNSS permanenti italiane <i>N. Cenni, P. Baldi, M. Barbarella, M.E. Belardinelli, S. Gandolfi, F. Loddo, E. Mantovani, L. Poluzzi, L. Tavasci, M. Viti</i>	853
GIS 3D/4D per le reti tecnologiche sottosuolo (e soprasuolo) <i>A. Deiana</i>	861
Monitoraggio altimetrico di elevata precisione di ponte in acciaio <i>B. Federici, I. Ferrando, D. Sguerso, S. Belfiore, P. Bellina</i>	867
Precisioni ottenibili dall'approccio PPP mediante uso di parametri di trasformazione regionali <i>S. Gandolfi, L. Tavasci, L. Poluzzi</i>	869
Nuove tecniche di rilievo ed integrazione dati per il territorio vitivinicolo: esempi di applicazione nel territorio del nebbiolo in Langa <i>M. Giardino, L. Perotti, R. Vigna</i>	875
Cartografie vecchie e nuove: il caso delle trasformazioni territoriali nel Litorale Pisano <i>P. Macchia</i>	877
Linea retta o spartiacque? Cartografia storica e rilievo topografico per il confine provinciale in Trentino <i>M. Mastronunzio, D. Buffoni, S. Girardi</i>	885
Ontologie e modelli di dati per l'informazione spaziale dei Beni Architettonici <i>F. Noardo</i>	893
Proposta per una codifica standard dell'informazione idrografica della Regione Siciliana <i>M.T. Noto, E.M. Castrogiovanni, S. Sicilia, M. Romeo</i>	901

Applicazioni metodologiche per la valutazione dell'incidenza delle trasformazioni territoriali a carattere antropico su alcuni processi ambientali. Un caso di studio in Sardegna <i>C. Podda, G.L. Scanu</i>	903
Stima delle variazioni della superficie allagata in risaia nel distretto lombardo-piemontese tramite dati MODIS per il periodo 2000-2014 <i>L. Ranghetti, L. Busetto, A. Crema, M. Fasola, E. Cardarelli, M. Boschetti</i>	913
Studio dei fenomeni di dissesto geologico sulla superficie lunare a partire dai dati telerilevati dai satelliti Chang'E 1 e 2 <i>M. Scaioni, V. Jordanov, R. Brumana, M.T. Brunetti, M.T. Melis, Z. Kang, A. Zinzi</i>	917
Utilizzo delle texture nella classificazione di vegetazione in immagini ad altissima risoluzione acquisite da UAS <i>G. Sona, R. Gini</i>	917
Catasto degli scarichi idrici non afferenti al servizio idrico integrato della Città Metropolitana di Bari <i>A. Varasano, G. Ritrovato, M. Casulli, G. Garziano, D. Labella, E. Andriani, A. Cerrato, F. D'Anna, F. Defrenza, F. Di Domenico, G. Errico, D. Gallo, G. Gentile, F. Giangrande, M. Gioia, V. Iusco, A. Marinò, F.M. Marvulli, M. Miali, G. Preziosa, M. Piscitelli, N. Positano</i>	921
“SHARE FOR CARE” una piattaforma comunitaria per lo sviluppo attraverso la condivisione di dati <i>D. Vito</i>	929
Rilievi aerei ad alta precisione per certificare la demanialità delle lagune del Delta del Po <i>A. Zanellato, F. Rigoni, G. Monaldi, L. Palieri, L. Rossi, V. Fortuna, A. Melchiorri, D. Colaiocco</i>	937
Biomonitoraggio dei radionuclidi tramite Api nel territorio comunale di Rotondella - MT (2012) <i>F. Schiuma, E. Viti, A.M. Grippo, S. Ghini, C. Porrini, S. Pace</i>	939
Correzioni gravimetriche per la rete di livellazione geometrica italiana: stato dell'arte e l'esempio della Provincia di Trento <i>R. Barzaghi, B. Betti, D. Buffoni, D. Carrion, R. Maseroli, R. Revolti, G. Venuti, A. Vitti</i>	949
Introduzione alla fotogrammetria terrestre, aerea, da satellite e da drone: “La facilità e potenza del Sw “Photomod” 6.x0” di Racurs, Mosca” <i>F. Campolo</i>	951
Panoramica dell'attività dell'INSPIRE MIG: uno sguardo alla fase implementativa <i>C. Cipolloni, M. Munafò</i>	957
Un approccio integrato all'analisi dei geo-hazard con dati INSPIRE armonizzati <i>C. Cipolloni, M. Pantaloni</i>	959
Da palude a “Granaio del Tirolo”: la bonifica della Val Venosta nel XIX secolo attraverso la cartografia <i>E. Dai Prà, M. Proto</i>	961
OpenBonifica, un servizio di monitoraggio delle aree agricole nella “terra dei fuochi” mediante dati di Osservazione della Terra da satellite <i>S. Falanga Bolognesi, L. Marotta, M. Colandrea, E. Anzano, I. Mula, C. De Michele, G. D'Urso</i> ..	967
Ottimizzare i Metadati Geospaziali per il Web Semantico <i>C. Fugazza, M. Pepe, A. Oggioni, P. Tagliolato, F. Pavesi, A. Basoni, S. Menegon, P. Carrara</i>	971

Un'applicazione al settore ambientale di fotogrammetria con piattaforma UAV

Maria Grazia D'Urso (*), Antonella Gargiulo (**), Andrea Rotondi (***), Roberto Bracaglia (****)

(*) DICeM –Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Via G. Di Biasio, 43 – 03043 Cassino (FR); fax:089 2580897; durso@unicas.it (10 pt)

(**) Tirocinante, DICeM –Via G. Di Biasio, 43 – 03043 Cassino (FR); antonella_gar@hotmail.it

(***) Dottorando di ricerca, DICeM –Via G. Di Biasio, 43 – 03043 Cassino (FR); a.rotondi@unicas.it

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

Sommario

Lo scopo del lavoro è quello di presentare i primi risultati di un'attività di rilevamento mediante piattaforme aeree a pilotaggio remoto per la documentazione e il monitoraggio di una cava attiva, da cui si estrae materiale calcareo, sita in località Alatri nel Lazio meridionale.

Dall'elaborazione delle immagini si ottengono prodotti geomatici con proprietà metriche che permettono una precisa analisi dimensionale della cava e il suo monitoraggio.

Dalle immagini acquisite si è passati all'informazione cartografica grazie alla elaborazione mediante Agisoft PhotoScan che ha permesso di generare ortofoto ad alta risoluzione georeferenziate (fino a 4 cm con precisione GCP) e DEM eccezionalmente dettagliati di texture e mesh poligonali. Il flusso di lavoro solo in parte automatizzato ha consentito di trattare un totale di 156 immagini e produrre dati fotogrammetrici di apprezzabile qualità.

Abstract

Aim of this paper is to present the first results of a surveying with aerial platforms of UAV, Unmanned Aerial Vehicles, for illustrating and monitoring an active quarry, sited in a place denominated Alatri, in the Southern Lazio, from which, actually, calcareous material is mined. By elaborated images are carried out geomatic products with metric properties which allow a precise dimensional analysis of the quarry and its monitoring. From acquired images one is passed to cartographic information through the elaboration with software Agisoft PhotoScan that has allowed to generate high resolution orthophotos, georeferenced (up to 4 centimeters of precision on GCP) and DEM remarkably detailed in the texture and polygonal meshes. The flow of the work, only partially automated, has allowed to deal an amount of a number of 156 images and to produce photogrammetric data of significant quality.

Introduzione

I sistemi aerei a pilotaggio remoto (SAPR) anche noti con il nome di UAV - Unmanned Aerial Vehicles - costituiscono uno dei temi centrali della ricerca nel campo delle tecniche di rilievo short-e close-range e la loro applicazione in ambito civile sta avendo una vasta diffusione, in svariati settori quali: agricoltura, silvicoltura, archeologia ed architettura, ambiente, gestione delle emergenze, monitoraggio ambientale.

L'applicazione della tecnica fotogrammetrica con UAV rappresenta un'appropriata e efficace soluzione se si tiene conto della disponibilità e frequenza richiesta nello sfruttamento dei siti di estrazione. D'altronde il calcolo volumetrico di un sito di deposito è essenziale per la stima del materiale da estrarre, del suo valore economico nonché per il controllo delle superfici da ripristinare nelle fasi successive all'estrazione.

Considerata la conformazione estesa della cava in oggetto e le caratteristiche morfologiche dell'intorno, è stato utilizzato un drone ad ala fissa (eBee- SenseFly) sul quale sono state installate una fotocamera digitale (Canon IXUS 127 HS), una piattaforma IMU per l'orientamento interno e un'antenna GPS. L'inserimento di GCP misurati con una coppia di ricevitori satellitari GNSS a doppia frequenza ha consentito la validazione dei prodotti del volo.

Inquadramento topografico e geologico dell'area

La cava oggetto di studio è destinata al prelievo di inerti calcarei per l'edilizia ed è sita a SE del centro storico del comune di Alatri, individuata nella tavoletta IGM in scala 1:25000 Foglio 151 II S.E Alatri (cfr. Figura 1). Il territorio comunale di Alatri si estende per circa 80 Km² lungo le propaggini meridionali dei Monti Ernici, che costituiscono il confine naturale del Lazio con l'Abruzzo. Esso si inserisce tra i territori comunali di Frosinone a sud, Veroli ad est, Ferentino ad ovest, Trivigliano, Vico nel Lazio e Collepardo a nord. Il vasto territorio alatrense, subpianeggiante a sud, dove cede il passo all'ampia depressione della Media Valle Latina, è montuoso e/o collinare per la restante parte, comprende nella sua estensione gran parte del bacino idrografico del Fiume Cosa, affluente del Sacco che scorre ad est del centro cittadino in direzione media nord-sud. A scala locale, sotto l'aspetto geologico, il territorio di Alatri si inserisce all'interno del comprensorio pre-ernico dell'Appennino centro meridionale, e costituisce un'estesa fascia di raccordo con l'area depressionaria della Media Valle Latina.



Figura 1 - Stralcio Tavoletta IGM 1:25000 Foglio n° 151. In rosso si inquadra l'area.

Realizzazione della rete topografica di appoggio

Una rete topografica caratterizzata da una precisione centimetrica è stata installata per il rilevamento della cava e dell'area limitrofa. La determinazione delle coordinate dei punti di controllo a terra, GCP (Ground Control Point) è stata eseguita con una coppia di ricevitori satellitari GNSS (Global Navigation Satellite System) geodetici RTK (Real Time Kinematics) a doppia frequenza, in modalità Post-Processing (DGPS) per garantire sia una migliore precisione sia il controllo delle misure.

Il riattacco al sistema di riferimento nazionale è stato eseguito attraverso uno stazionamento differenziale statico dei ricevitori GPS della durata di 20 minuti sul vertice trigonometrico "151076 Alatri" (Lat. 41° 42' 48.51996" N; Long. 13° 21' 38.72073" E; H=295.18 mt s.l.m.) in modo da orientare con precisione il rilievo GPS.

Nell'applicazione qui illustrata la rete di appoggio è costituita da 14 capisaldi materializzati con target infissi nel terreno e visibili, posizionati lungo la strada che costeggia l'intero perimetro della cava e all'interno del corpo della stessa, in corrispondenza di punti di estrazione del materiale.



Figura 2 - Rete di inquadramento a terra.

I punti sono stati ubicati in luoghi facilmente accessibili e su manufatti già presenti in loco aventi dimensione, consistenza e destinazione di uso tali da garantire un'adeguata stabilità nel tempo. Nella scelta della posizione, inoltre, si è tenuto conto della stazionabilità in modo da consentire il centramento forzato, oltre all'assenza di ostacoli per la ricezione del segnale dai satelliti (Figura 2).

Acquisizione immagini: strumenti e metodi

Il sistema di acquisizione delle immagini utilizzato è costituito da una componente hardware e da una componente software. La componente hardware è composta da un drone UAV eBee, completamente autonomo sul quale è installata una fotocamera digitale Canon IXUS 127 HS (cfr. Tabella 3 e Tabella 4); la componente software è costituita da una componente software costituita da un primo software di pianificazione, gestione e georeferenziazione immagini, eMotion2 e da un secondo software di elaborazione, Agisoft Photo Scan, per la generazione di DEM, DTM, Pointcloud, Mesh, Contour Lines e Ortofoto.


	Caratteristiche principali di eBee	
	Peso al decollo	630 gr
	Ampiezza alare	96 cm
	Autonomia	45 min per batteria
	Resistenza al vento	Fino a 45 km/h
	Velocità di crociera	36-57 km/h
	Portata radio	fino a 3 km
	Area coperta	0.75 km ² per volo (fino a 8 voli giornalieri)
	Atterraggio autonomo	Circolare o lineare
	Risoluzione a terra	3-30 cm/px (dipendente dall'altezza di volo)

Tabella 3

Caratteristiche principali della fotocamera				
Camera model	Resolution	Focal Length	Pixel size	Sensor dim.
Canon IXUS 127 HS	4608 x 3456	4.3 mm	1.33853 x 1.33853 μm	6.17 x 4.63 mm

Tabella 4

Emotion2 è un software di recente generazione che permette di pianificare, simulare e gestire missioni di volo progettate semplicemente definendo l'area mappata.

Attraverso una specifica finestra di selezione, anche importabile da Google Earth, è possibile definire l'area che si vuole rilevare. In funzione del ricoprimento, della sovrapposizione delle immagini e dell'altezza di volo l'area in questione viene acquisita in una sequenza di strisciate progettate nel piano di volo i cui parametri sono riportati nella Tabella 5.

Parametri di volo							
α	H Flight	GSD	Overlap	Sidelap	B	N° di strisciate	N° di immagini
71°	130 m	4 cm	70%	70%	65 m	18	156

Tabella 5

Il volo fotogrammetrico è stato effettuato in condizioni meteorologiche perfette (assenza di nubi, foschia, ecc.) e negli orari centrali della giornata, per sfruttare la massima illuminazione disponibile e per minimizzare l'influenza delle ombre al suolo.

Georeferenziazione dei modelli e analisi dei risultati

Il rilevamento della cava situata in località Monte Sant' Angelo, a SE del centro storico di Alatri, in provincia di Frosinone, nel Lazio meridionale è stato eseguito mediante il drone ad ala planante UAV eBee in data 12/04/2013 alle ore 12 circa. Il centro estrattivo destinato al prelievo di inerti calcarei per l'edilizia è costituito da un fronte di altezza massima di circa 50 m che si sviluppa su un' area di circa 6 ettari. In condizioni meteorologiche ottimali e con una velocità del vento del valore di circa 10m/s il volo è stato pianificato ed eseguito ad una quota di 130 metri su un'area di circa 36 ettari ed ha consentito di acquisire circa 200 immagini georeferenziate. Il primo step della georeferenziazione dei modelli è consistito in un processo di geotag (effettuato mediante il software di pianificazione Emotion2) che ha permesso di ricollocare geograficamente le varie immagini attraverso le informazioni GPS-IMU registrate durante il volo.

Attraverso il software di pianificazione del volo, come è noto, è stato possibile creare:

- geotag delle immagini;
- geoinfo con relative informazioni geografiche ed angoli di assetto;
- file kml per verificare come l'apparecchio si è comportato in volo;
- file di interfaccia per integrazione con altri software di elaborazione.

L'elaborazione mediante Agisoft Photo Scan, un software per l'elaborazione di immagini acquisite da droni plananti e a rotore relative a vaste coperture areali del territorio, ha permesso di generare ortofoto ad alta risoluzione georeferenziate (fino a 4 cm con precisione GCP) e DEM (Digital Elevation Model) eccezionalmente dettagliati di *texture* e *mesh* poligonali. Il flusso di lavoro in buona parte automatizzato ha elaborato in totale 156 immagini e il processo di elaborazione immagini, una volta avviato, è stato suddiviso in cinque passaggi:

- 1) importazione delle immagini;
- 2) individuazione di punti chiaramente riconoscibili nei vari fotogrammi;
- 3) correlazione tra i punti omologhi durante la fase di *matching* utile a localizzare i vari punti di legame "*tie Points*".
- 4) processamento *bundle-adjustment*, un procedimento che, una volta individuati i *tie points* che legano i vari fotogrammi, porta alla generazione dei parametri di orientamento esterno necessari per la fase di stereo-restituzione dei singoli fotogrammi.
- 5) generazione di un formato raster di anteprima a bassa risoluzione.

Successivamente sono stati inseriti i *markers*, ovvero i GCPs rilevati, posizionati lungo la strada che costeggia l'intero perimetro della cava e all'interno del corpo cava, su materiale geologico classificato come calcare granulare bianco giallastro. Questa fase ha permesso di geo-referenziare il

modello e ridurre gli errori delle coordinate X,Y,Z, come illustrato nella Tabella 6. Quindi, è stato rilanciato il processo di *bundle-adjustment* impostando parametri di alta definizione: le impostazioni di qualità più elevate permettono di ottenere informazioni dettagliate e una geometria più precisa.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
101	0.002728	-0.008869	0.009043	0.012957	4	0.119229
102	-0.060732	-0.093119	-0.083172	0.138842	6	0.140892
103	-0.052367	0.058390	-0.188142	0.203836	6	0.171271
105	0.018342	-0.040825	0.093229	0.103416	11	0.385202
106	0.018023	0.074300	-0.066925	0.101608	17	0.241253
107	0.030755	-0.048029	-0.363148	0.367599	18	0.418336
108	0.006234	-0.100641	-0.111770	0.150532	18	0.362229
109	0.022001	-0.099547	-0.100091	0.142870	17	1.061324
110	0.003953	0.541712	0.211783	0.581652	15	1.631892
111	0.016681	0.127091	0.490157	0.142870	20	1.645927
112	0.031873	-0.131045	0.296052	0.325324	18	0.679931
113	0.015445	-0.159930	-0.401925	0.432851	14	0.920052
114	-0.020959	-0.034568	0.152194	0.157471	13	0.324424
115	-0.031976	-0.084142	0.050453	0.103188	13	0.666215
Total	0.028758	0.169520	0.234515	0.290794	190	0.885772

Tabella 6 - Residui dei punti di controllo.

Il software Agisoft PhotoScan, dopo l’inserimento dei GCP, ha elaborato 156 immagini, generando ortofoto ad alta risoluzione georeferenziate fino a 4 cm di precisione.

A causa di alcuni fattori come la scarsa consistenza di alcuni elementi dell’immagine, rumori e particolari non inerenti al rilievo eseguito, come ad esempio alberi, automezzi, passaggio di persone, ecc., si possono verificare dei punti “anomali” per eliminare i quali si può ricorrere all’impiego di algoritmi di filtraggio. Nel caso in esame si è scelto un filtraggio di tipo aggressivo e l’insieme dei punti ottenuti è stato convertito direttamente in una superficie poligonale (mesh) e, per una visualizzazione fotorealistica, il modello geometrico è stato, poi, texturizzato.

Una volta che il set di immagini è stato orientato, si ottiene una ricostruzione 3D attraverso un processo di modellazione da cui si possono estrarre misure della superficie e informazioni vettoriali. Infatti un potente algoritmo “*image matching*” consente di estrarre dalla *mesh*, nuvola sparsa di punti, una nuvola di punti densa 3D mostrata in Figura 7, con una sufficiente risoluzione per descrivere la superficie rilevata e le sue discontinuità.

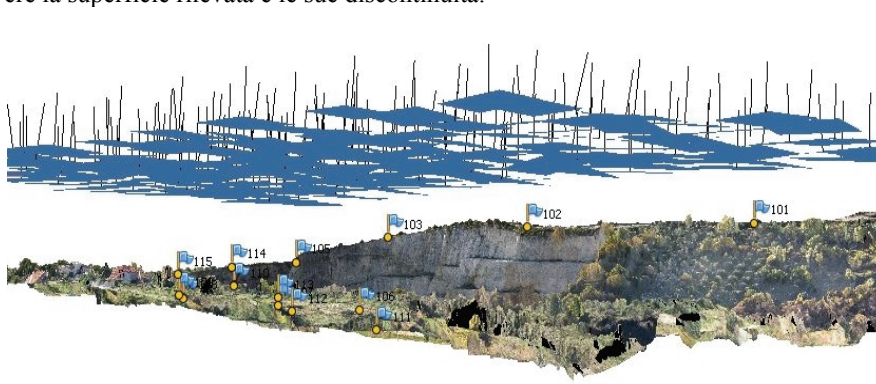


Figura 7 - Nuvola densa dei punti con l’allineamento delle immagini.

La successiva Figura 8, che rappresenta una nuvola densa classificata, mette in evidenza le discontinuità della superficie con un colore uniforme di grigio, le zone di mancanza di dati di aggregazione in una scala di grigio più chiari e le aree ricoperte di vegetazione in una tonalità di grigio più scuro.

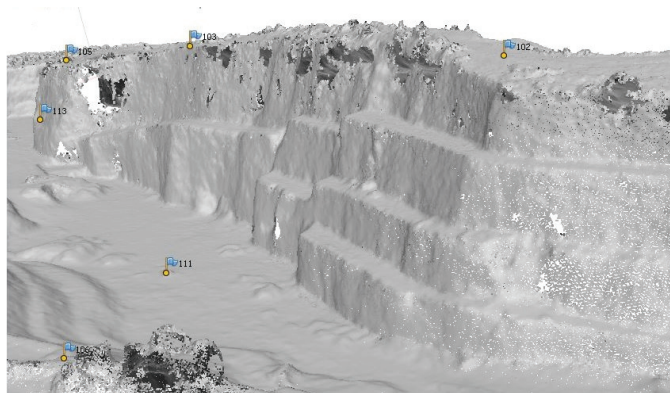


Figura 8 - Nuvola densa classificata.

Le osservazioni dei GCPs sono state usate all'interno dell'algoritmo di *bundle-adjustment* in modalità "self-calibrating" per ottenere i parametri dell'orientamento interno, per correggere gli errori sistematici e le deformazioni di acquisizione delle immagini e, infine, per garantire una scala carta affidabile e una conseguente georeferenziazione.

Nel dataset della esperienza descritta, alla fine della soluzione *bundle-adjustment*, viene garantito un errore di riproiezione di 1 pixel, definito come quell'errore geometrico corrispondente alla distanza, nel piano dell'immagine, del punto proiettato rispetto a quello misurato.

Successivamente è stata condotta l'analisi della precisione teorica del rilievo della cava. Conoscendo la distanza focale c pari a 4.3 mm; la distanza della cava, h , pari alla quota di volo di 130 metri; la distanza media tra i due centri di proiezione b uguale a 65 m, si è ottenuto la scala immagine m_b mediante la relazione seguente:

$$m_b = \frac{h}{b} \quad [1]$$



Figura 9 - Ortofoto georeferenziata.



Figura 10 - Modello 3D georeferenziato.

Le immagini del blocco hanno una scala media di 1:30000. Nota la σ_x^2 , precisione stimata nello spazio immagine pari a 1.33853 μm , ovvero la dimensione del pixel, attraverso la relazione [2] è stato possibile calcolare la precisione della distanza di campionamento a terra σ_x , e attraverso la relazione [3] la precisione in volo σ_z :

$$\sigma_x \cong \sigma_y \cong m_b \cdot \sigma_x^2 \quad [2]$$

$$\sigma_z \cong m_b \cdot \frac{h}{b} \cdot \sigma_x^2 \quad [3]$$

ottenendo, pertanto, un valore di scarto planimetrico $\sigma_x \cong \sigma_y = 4 \text{ cm}$.

Studi sperimentali hanno valutato un fattore di progetto, q , definito come il rapporto dello scarto quadratico medio dell'ascissa x e quello della z come si riporta nella relazione seguente:

$$q = \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \quad [4]$$

Per valori di q compresi tra 1.5-3.0 si verifica che si restituisce una rete geometrica affidabile.

L'analisi della precisione teorica delle coordinate stimate della cava rilevata ha fornito, quindi, valori di $\sigma_x \cong \sigma_y$ pari a ± 4 centimetri e σ_z pari a ± 8 centimetri; inoltre l'analisi della matrice di covarianza della soluzione "bundle adjustment" ha confermato il valore dell'ordine della dimensione del pixel di 1.3 μm . Attraverso lo studio dei DEM ottenuti è stato possibile risalire al volume del materiale di scavo alla data in cui è stato effettuato il rilievo: è stato digitalizzato in ArcMap un poligono vettoriale per foto-interpretazione da una sorgente dato ortofoto. Il poligono che circoscrive il corpo della cava è stato importato nel software QT Modeler e, tramite l'operazione di "smooth" e l'interpolazione delle quote circostanti il corpo cava, si è potuto stimare il volume medio pari a 1'217'954 m^3 . L'accuratezza di questa procedura è fortemente dipendente dalla risoluzione ottenuta delle immagini e dalla capacità di elaborazione del software utilizzato. La precisione in elevazione σ_z dipende dalla scala dell'immagine m_b , dal rapporto tra la distanza dell'oggetto h e la *baseline* tra le due immagini b , e dall'indice di precisione σ_x^2 stimata nello spazio immagine secondo la relazione (3); per il caso di studio è stata valutata una precisione media di elevazione, σ_z , di circa 8 cm. Infine nella Figura 11 si riporta il DEM restituito da Agisoft PhotoScan sovrapposto a Google Earth in cui la variazione colorimetrica rappresenta la variazione di quota: al rosso corrisponde la quota massima (364 mt) e al blu la quota minima (268mt).

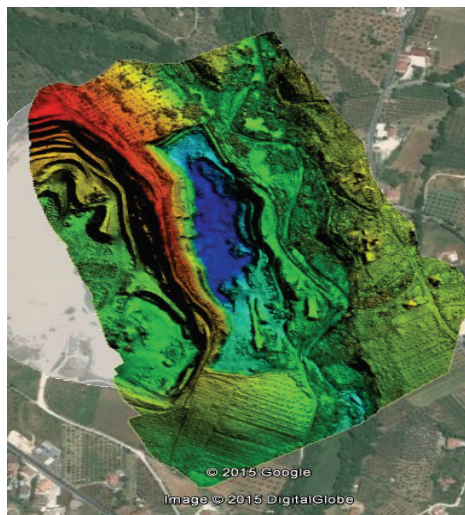


Figura 11 - DEM sovrapposto su Google Earth.

Conclusioni

I primi risultati dell'attività di rilevamento eseguita permettono di confermare i vantaggi offerti dai sistemi UAV. Per supportare correttamente le analisi geo – meccaniche e valutazioni sui volumi dei materiali di scavo è necessario disporre di una affidabile documentazione su aree estese (l'intera cava, in questo caso) e, al contempo, di un elevato livello di dettaglio.

Il principale vantaggio della tecnica di rilevamento adottata con piattaforma UAV è la possibilità di documentare ad alta risoluzione aree di notevole estensione e di raggiungere in tempi contenuti anche zone difficilmente o completamente non accessibili.

Tuttavia per validare la precisione dei modelli ottenuti sarebbe sempre auspicabile la comparazione dei risultati ottenuti con i nuovi sistemi UAV con quelli ottenuti con tecniche di analisi tradizionale e innovative quali laser-scanning, o, preferibilmente, impiego di stazioni totali di alta precisione, e/o fotogrammetria digitale con impiego di camere di alta/altissima precisione.

Bibliografia

- Aguilera D.G., Hernández J.F., Taboada J.M., González P.R., López D.H., García B.F., Sanz I.G., Perez B.A. – 3D Modelling and accuracy assessment of granite quarry using unmanned aerial vehicle – *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I – 3*, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.
- Candiago S., Remondino F., De Giglio M., Dubbini M., Gattelli M. – Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images - *Remote Sens.* 2015, 7(4), 4026-4047; doi:[10.3390/rs70404026](https://doi.org/10.3390/rs70404026).
- Cavegn S., Haala N., Nebiker S., Rothermel M., Tutzauer P. – Benchmarking density image matching for oblique airborne imagery – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3*, 2014 ISPRS Technical Commission III Symposium, 5 – 7 September 2014, Zurich, Switzerland.
- Dell'asta E., Thoeni K., Santise M., Forlani G., Giacomini A., Roncella R. - Network Design and Quality Checks in Automatic Orientation of Close-Range Photogrammetric Blocks - *Sensors* 2015, 15, 7985-8008; doi:[10.3390/s150407985](https://doi.org/10.3390/s150407985).
- Hartley R., Zisserman A. - *Multiple View Geometry in Computer Vision* – New York (USA): Cambridge University Press, 2003. ISBN 0-521-54051-8.
- Remondino F., Nex F., Sarazzi D. – Piattaforme UAV per applicazioni geomatiche – *Geomedia* n°6, 2011.
- Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D. - UAV Photogrammetry for mapping and 3D modeling – Currente status and future perspectives – *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.
- Remondino F. - State of the art in dense image matching - *The Photogrammetric Record* 29(146): 144–166 (June 2014) DOI: [10.1111/phor.1206](https://doi.org/10.1111/phor.1206).
- Salvini R., Riccucci S., Gulli D., Giovannini R., Vanneschi C., Francioni M. – Geological application of UAV photogrammetry and terrestrial laser scanning in marble quarrying (Apuan Alps, Italy) – *Engineering Geology for Society and Territory – Volume 5*, doi:[10.1007/978-3-319-09048-1_188](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_188) – Springer International Publishing Switzerland, 2015.
- Zylka A. – University of Vermont – *Small Unmanned Aerial System (sUAS) for Volume Estimation*- 2014.