

15^a
Conferenza
Nazionale
ed EXPO 2011

ASITA

Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche
per le Informazioni Territoriali e Ambientali

ATTI

1861/2011
150° ANNIVERSARIO
DELL'UNITÀ D'ITALIA



15-18
novembre
2011
Reggia di Colorno
Parma

Regione Emilia-Romagna



Provincia di Parma



Comune di Colorno

community
network
EMILIA-ROMAGNA

 **BLOM**
CGR SPA
Platinum Sponsor



 Consiglio Nazionale
Geometri e Geometri Laureati



SIFET
SOCIETÀ ITALIANA DI
FOTOGRAMMETRIA E TOPOGRAFIA



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI CARTOGRAFIA



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI TELERILEVAMENTO

AMFM
INTERNATIONAL
EUROPEAN DIVISION
Geographic
Information
Systems
SEZIONE ITALIANA



Platinum Sponsor

Organi ASITA

CONSIGLIO DIRETTIVO (CD)

Luciano SURACE (<i>Presidente</i>)	Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Firenze
Giuseppe SCANU (<i>Vice-Presidente</i>)	Istituto e Lab. di Geografia, Università degli Studi di Sassari
Serafino ANGELINI (<i>Consigliere</i>)	Litografia Artistica Cartografica
Piero BOCCARDO (<i>Consigliere</i>)	DITAG, Politecnico di Torino
Alessandro CAPRA (<i>Consigliere</i>)	Università degli Studi di Modena
Andrea FAVRETTO (<i>Consigliere</i>)	Università degli Studi di Trieste
Paola FILIPPI (<i>Consigliere</i>)	ITT Visual Information Solutions
Luigi GARRETTI (<i>Consigliere</i>)	CISIS
Mario A. GOMARASCA (<i>Consigliere</i>)	CNR - IREA, Milano
Claudio MINGRINO (<i>Consigliere</i>)	Intergraph Italia
Livio PINTO (<i>Consigliere</i>)	Politecnico di Milano
Mauro SALVEMINI (<i>Segretario</i>)	Fac. Architettura Università "La Sapienza" Roma

CONSIGLIO SCIENTIFICO (CS)

Sergio FARRUGGIA (<i>Presidente</i>)	Consiglio Direttivo AM/FM GIS
Andrea AJMAR (<i>Consigliere</i>)	ITHACA, Politecnico di Torino
Giuseppe BORRUSO (<i>Consigliere</i>)	Università degli Studi di Trieste
Gherardo CHIRICI (<i>Consigliere</i>)	Università degli Studi del Molise
Maria A. DESSENA (<i>Consigliere</i>)	Ente acque della Sardegna (ENAS), Cagliari
Stefano GANDOLFI (<i>Consigliere</i>)	Università degli Studi di Bologna
Beniamino MURGANTE (<i>Consigliere</i>)	Università degli Studi della Basilicata
Alessandro NOBILI (<i>Consigliere</i>)	Istituto Idrografico della Marina, Genova
Fulvio RINAUDO	Politecnico di Torino
Livio ROSSI	SIN
Giannina SANNA	Università degli Studi di Cagliari
Monica SEBILLO (<i>Consigliere</i>)	Università degli Studi di Salerno

SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

GEO Eventi & Servizi srl
Via Plinio 29, 20129 Milano
Tel. 02 29536565, Fax 02 29412827
E-mail: conferenza@asita.it

INDIRIZZO INTERNET

www.asita.it

Indice

RELAZIONI PRESENTATE

Mobile laser scanning lungo i fronti veneziani del Canal Grande <i>A. Adami, C. Balletti, F. Guerra, S. Orlandini, P. Vernier</i>	3
Caratterizzazione del dato WorldView-2 su aree d'interesse naturalistico <i>M. Adamo, C. Tarantino, F.P. Lovergine, G. Pasquariello, P. Blonda</i>	13
Sentieristica digitale: metodi e tecnologie in uso <i>D. Adriani, P. Di Felice</i>	23
Sentieristica digitale: una proposta metodologica per confezionare percorsi su misura <i>D. Adriani, P. Di Felice</i>	35
Il contributo dell'object-based image analysis nell'estrazione di vigneti a copertura plastica <i>A. Aiello</i>	47
Un sistema integrato per la mappatura automatica di immagini IR su scansioni laser di edifici <i>M.I. Alba, L. Barazzetti, E. Di Flumeri, M. Previtali, E. Rosina, M. Scaioni</i>	53
Procedura semi-automatica per la misura dell'urban sprawl tramite serie multitemporale dei dati MIVIS <i>A. Allegrini, C. Atturo, G. Fontinovo, E. Mercuri</i>	65
Modellazione numerica degli alvei fluviali mediante l'uso di DSM <i>R. Amela, M. De Agostino, C. Soffia</i>	71
Studio preliminare di un sistema innovativo per l'identificazione della sostanza organica dei suoli basato sull'integrazione di dati spettroradiometrici e dati analitici <i>V. Ancona, R. Matarrese, M.R. Muolo, R. Salvatori, P. Abbruzzese, V.F. Uricchio, N. Dongiovanni</i>	85
Mappe di uso e di copertura del suolo ottenute attraverso la classificazione di immagini Landsat-TM per la comprensione delle dinamiche in atto nelle regioni sub-Saheliane del Niger <i>M. Antoninetti, F. Nutini, M. Boschetti, P. Villa, M. Bresciani, P.A. Brivio</i>	87
Tecniche avanzate per il rilevamento e la valorizzazione dei beni culturali. La chiesa rupestre di San Nicolò a Modica (RG) <i>G. Anzalone, S. D'Amelio, B. Villa, I.M. Zisa</i>	97
Il rilievo laser scanner a supporto dell'analisi di qualità nella produzione di un Sonar Dome in composito per le Fregate FREMM <i>P. Ardissonne, L. Bornaz, G. Girola, M. Mangiarotti</i>	107
GIS e valori immobiliari: un metodo per l'analisi del rischio d'investimento immobiliare <i>M. Argiolas, K. Coppola, V. Fucas, S. Meloni</i>	113
Territorial domains – competences integration model: geographical and cultural data, archaeological heritage, urban reconstruction project through "augmented reality" techniques <i>E. Arlati, F. Khalilli, M. Langfelder, G. Lechi, E. Rosina, L. Scrinzi</i>	123
City model per un sistema di trasporto urbano: la linea tranviaria Cosenza - Rende - Università della Calabria <i>G. Artese, V. Marcella, L. Vitaliano Rotundo, G. Dodaro, R. Toteda</i>	131
Geo-Progetto: studio di procedure geomantiche per la definizione di un Modello Unico Digitale Cartografico (MUDIC), integrato nel Modello Unico Digitale per l'Edilizia (MUDE) e finalizzato all'aggiornamento cartografico <i>G.P. Artioli, F. Benati, R. Gavaruzzi, E. Guareschi, M. Morani, L. Piccinini</i>	141

Primi risultati delle sperimentazioni del CISIS-CPSG volte alla realizzazione dei DBT Regionali secondo le Specifiche di Contenuto per i DB Geotopografici: utilizzo degli strumenti GeoUML per la realizzazione ex-novo e per l'adeguamento dei DBT esistenti <i>M. Attias, L. Donnalioia, C. Mazzi, P. Milan</i>	153
Informazione geografica, Regioni e metadati: il contributo del CISIS nell'implementazione del Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali <i>M. Attias, A. Rotundo</i>	159
Dalla conoscenza alla conservazione: il Pianoro della Civita di Tarquinia <i>G. Bagnasco, S. Bortolotto, N. Cattaneo, P. Favino, A. Garzulino, F. Guzzetti, M. Marzullo, R. Simonelli</i>	165
Immagini ad alta ed altissima risoluzione per l'aggiornamento della cartografia dell'Aquila <i>V. Baiocchi, R. Brigante, D. Dominici, F. Giannone, F. Radicioni, E. Rosciano</i>	175
Individuazione della linea di costa mediante immagini satellitari multispettrali ad alta risoluzione <i>V. Baiocchi, R. Brigante, D. Dominici, F. Radicioni</i>	183
Il rilievo LIDAR del Cenote Pozzo del Merro (Sant'Angelo Romano) <i>V. Baiocchi, R. Cazzella, F. Giannone, L. Liso, A. Sonnessa, M. Vecchio</i>	195
L'analisi tensoriale per il recupero di disegni e cartografie esistenti <i>C. Balletti, F. Guerra</i>	201
Studio integrato di aree minerarie della Sardegna tramite telerilevamento e analisi mineralogiche <i>T. Balvis, F. Muntoni, A. Marini, P. Lattanzi</i>	209
GPS terminologia ed operatività: alcuni test di verifica tra teoria e prassi <i>L. Baratin, V. Grassi</i>	221
Un applicativo per il raddrizzamento fotogrammetrico senza informazioni metriche nello spazio oggetto <i>L. Barazzetti</i>	229
Un poligono di Calibrazione per Mobile Mapping System finalizzato alla valutazione delle accuratèzze ottenibili <i>M. Barbarella, A. Burchi, S. Gandolfi, E. Ronci</i>	231
Il sistema di riferimento geodetico italiano: un esempio di collaborazione tra CISIS, Università, IGM <i>M. Barbarella, A. Caporali, D. Longhi, F. Sansò</i>	241
Confronto tra stima di parametri di posizione e velocità ottenuti da serie temporali continue o a blocchi <i>M. Barbarella, S. Gandolfi</i>	257
Utilizzo di dati SAR multi-temporali e multi-piattaforma per la generazione di prodotti utili al monitoraggio delle coltivazioni di riso <i>M. Barbieri</i>	267
BRISEIDE - implementazione di servizi OGC con dimensione temporale <i>G. Barrotta, P. Cipriano, S. Pezzi</i>	269
Analisi dell'azione del vento di Sirocco alle foci dei fiumi Brenta-Bacchiglione e Livenza durante l'evento alluvionale di ottobre-novembre 2010 in Veneto <i>F. Baruffi, M. Cappelletto, A. Zandonella</i>	277
Esperienze di utilizzo di Reti di SP GNSS per il monitoraggio <i>R. Barzagli, L. Cannizzaro, C. De Gaetani, L. Pinto</i>	289
Il programma COSMO-skymed: missione, sistema e principali risultati <i>M.L. Battagliere, A. Coletta, F. Covello</i>	291
Controllo qualità dei dati e interoperabilità in aggiornamento <i>A. Belussi, M. Negri</i>	293
Calcolo delle coordinate in una poligonale tridimensionale in metrologia meccanica <i>B. Benciolini, A. Vitti</i>	299

La mappa catastale nel sistema di riferimento WGS84, in regione Piemonte <i>J.H. Bendea, A. Chiaffrino, A. Cina, F.C. Ferrante, L. Garretti, A.M. Manzano, M. Pipino, M. Piras, C. Porporato, G.B. Siletto</i>	305
Utilizzo del laser scanner per i beni culturali: analisi dell'assetto geometrico strutturale e di specifiche anomalie geometriche <i>E. Bertacchini, A. Capra, C. Castagnetti, M. Dubbini, R. Rivola, I. Toschi</i>	315
Estrazione di DTM da immagini satellitari WorldView-1: procedure per la classificazione degli edifici <i>E. Bertacchini, A. Capra, I. Toschi</i>	323
Un nuovo modello radiometrico per l'identificazione di hot spot di incendi boschivi e come strumento di valutazione delle performance dei sensori in ambienti ad orografia complessa <i>S. Bertoldo, L. Corgnati, G. Perona</i>	325
Metodologia GIS per il rilevamento dei Geositi <i>S. Bertozzi, E. Moretti</i>	335
Il progetto HELI-DEM (Helvetia-Italy Digital Elevation Model): scopi e stato di attuazione <i>L. Biagi, M.A. Brovelli, A. Campi, M. Cannata, L. Carcano, M. Credali, M. De Agostino, A. Manzano, M. Peggion, F. Sansò, G.B. Siletto</i>	347
Difesa del suolo attraverso l'uso del suolo: suggestioni per una rivisitazione del vincolo idrogeologico ex RD 3267/23 <i>A. Binetti</i>	349
Analisi del degrado nel campo dei Beni Culturali con sensori termici calibrati geometricamente <i>G. Bitelli, F. Girardi, M. Mannina</i>	361
Metodologia per la determinazione con alta precisione del dislivello esistente tra due punti nell'attraversamento di zone impraticabili <i>G. Bitelli, G. Roncari, M.A. Tini, L. Vittuari</i>	363
Aspetti metodologici di analisi multi temporale, integrata con GPS e laser scanner 3D e modelli matematici per la valutazione del rischio idrogeomorfologico <i>L. Blois, C. Blois, M. Caponi, S. Logozzo, M. Rotondi</i>	373
Mappatura dei prati stabili nel comprensorio del Parmigiano-Reggiano mediante telerilevamento <i>M. Bocci, S. Corticelli, M.C. Mariani, S. Masi, M.C. Cavallo, N. Dall'Olio, M. Ligabue, M. Vissani</i>	379
NaviNFC: una soluzione NFC per la navigazione indoor <i>T. Bolognesi, A. Frisiello, A. Lotito, G. Spoto</i>	391
Monitoraggio delle opere di sistemazione e gestione del rischio idrogeologico nei bacini idrografici calabresi mediante Sistemi Informativi Territoriali <i>G. Bombino, F. Manti, V. Tamburino, D.A. Zema, S.M. Zimbone</i>	403
L'impatto dei sensori SAR di seconda generazione nell'analisi delle deformazioni del suolo con serie temporali DInSAR: il caso di COSMO-SkyMed <i>M. Bonano, F. Casu, R. Lanari, M. Manunta, L. Paglia, E. Sansosti, G. Solaro</i>	409
Comportamenti d'impresa nella provincia di Cuneo: un'analisi delle relazioni territoriali, delle dinamiche produttive e delle modalità di ricerca <i>P. Bonavero, V. Demetrio, P. Guerreschi</i>	419
La Certosa di Pavia e la <i>Mediolanum Ticinum</i> nel contesto dell' <i>Ager Ticinensis</i> : una proposta di valorizzazione dei tracciati storici <i>A.M. Boniardi, S. Bortolotto, P. Favino, R. Simonelli</i>	427
Nuove esperienze di documentazione territoriale con tecnologia LIDAR del B.I.M. dell'Adige ed analisi critica delle risultanze <i>N. Bonuzzi, G. Mistura, M. Michelini, M. Fondelli, M. Gasperi, S. Ceresini, A. Orsi</i>	439

Telerilevamento HR multispettrale/LIDAR e modellistica SVAT 3D per la stima del bilancio energetico in ambiente urbano <i>F. Borfecchia, L. De Cecco, M. Pollino, S. Martini, L. La Porta, M. Zinzi, E. Carnielo</i>	449
Nuovo metodo di elaborazione dati laser scanner e fotogrammetrici applicati all'archeologia: il caso della chiesa di San Giorgio di Hône <i>L. Bornaz, L. Monteleone, G. Sartorio</i>	461
Rilievo e rappresentazione 3D di siti archeologici attraverso tecniche di fotogrammetria di prossimità mediante micro e mini UAV <i>A. Borruso, A. D'Argenio, F. Julitta, L. Mancon, V. Pampalone</i>	471
Batimetria <i>multibeam</i> : sviluppo e possibili applicazioni <i>A. Bosman, D. Casalbore</i>	479
Struttura del progetto CLAM-PHYM per lo studio delle acque costiere e interne italiane tramite il sensore PRISMA <i>F. Braga, C. Giardino, R.M. Cavalli, M. Bresciani, C. Bassani, L. Alberotanza</i>	489
Il contributo del telerilevamento all'interno del Progetto EULAKES <i>M. Bresciani, C. Giardino, E. Matta</i>	491
Tecniche LIDAR per il rilevamento tridimensionale e la calibrazione di rilievi storici di un edificio monumentale <i>R. Brigante, F. Radicioni, A. Stoppini</i>	501
Il sisma aquilano: rilievo laser-scanner delle architetture e interpretazione dei dati <i>V. Buttolo</i>	513
G.I.R.E.T.: uno strumento informatico per la gestione analitica e territoriale di indicatori di realtà energetiche <i>E. Caiaffa, L.G. Giuffrida, G.P.M. Esposito, P. Boschi</i>	521
La gestione del dato in BRISEIDE: analisi, acquisizione e pubblicazione <i>S. Caldon, L. Maroni</i>	533
Metadati, Dati, Servizi: un approccio integrato per esporre il proprio mondo secondo le regole INSPIRE <i>G. Campanile</i>	543
Metadati RNDT e INSPIRE: definizione di un profilo comune basato su casi d'uso reali <i>G. Campanile, P. Cara</i>	549
150 anni di uso del suolo in Emilia-Romagna: dall'unità d'Italia ad oggi <i>E. Campiani, S. Corticelli, M.L. Garberi, M.C. Mariani, S. Masi, S. Panichi</i>	561
I metadati Geologici tra standard nazionale e internazionale: esperienze a confronto <i>V. Campo, P. Cara, C. Cipolloni, M.P. Congi, D. Delogu</i>	571
La ricerca dei dati geologici per canali tematici nel catalogo dei metadati del Servizio Geologico d'Italia <i>V. Campo, C. Cipolloni, M.P. Congi, D. Ceralli, D. Delogu, M. Roma, C. Zonetti</i>	579
Classificazione di aree periurbane per interventi ambientali <i>A.R. Candura, O. De Paoli</i>	581
Generazione radargrammetrica di modelli digitali del terreno da dati SAR ad alta risoluzione: applicazioni a COSMO-SkyMed <i>P. Capaldo, M. Crespi, F. Fratarcangeli, A. Nascetti, F. Pieralice</i>	591
Un sistema informativo interoperabile per la gestione evoluta del servizio idrico integrato <i>M. Cappellesso, E. Conchetto, I. Boscolo, V. Giannotti</i>	593

LIDAR terrestri e aviotrasportati per il monitoraggio di versanti instabili: limiti e potenzialità in integrazione con altri sistemi di rilievo e controllo <i>A. Capra, E. Bertacchini, C. Castagnetti, R. Rivola</i>	605
Valutazione delle trasformazioni del territorio con metodi satellitari <i>M. Caprioli, A. Scognamiglio, L. Mancini</i>	607
Ottimizzazione della rappresentazione di immagini termografiche per la valutazione delle strutture tramite rilievi laser scanner <i>G. Caroti, S. Di Tondo, A. Piemonte</i>	617
La Sorveglianza Marittima Integrata operata dalla Guardia Costiera Italiana in ambito Security, antinquinamento e Pesca <i>D. Cau, L. Caiazzo, W. Conti, G. Campbell, D. Quattrococchi</i>	623
Analisi delle dinamiche territoriali attraverso l'indagine diacronica della copertura del suolo: il caso della Piana del Fucino <i>D. Ceralli</i>	625
Stima dei flussi di carbonio degli ecosistemi forestali italiani attraverso dati telerilevati ed ancillari <i>G. Chirici, M. Chiesi, M. Pasqui, P. Corona, R. Salvati, A. Barbatì, F. Lombardi, F. Maselli</i>	639
Alcune considerazioni sul ricampionamento di modelli digitali a maglia regolare per il cambio di sistema di riferimento <i>V. Cima, D. Del Nista, M. Guiducci</i>	645
Analisi dei cambiamenti dell'uso del suolo attraverso l'utilizzo di immagini iperspettrali <i>F. Cipolletti, M.R. Della Rocca, A. Mei, R. Salvatori, A. Allegrini</i>	651
Il GeoMapView: strumento di visualizzazione dati nel Portale SGI <i>C. Cipolloni, M.P. Congi, D. Delogu, P. Moretti, R. Ventura</i>	657
MOKArtografia storica: un web-gis per la cartografia prima dell'unità d'Italia <i>L. Colò, I. Di Cocco, M.L. Garberi, G. Belvederi</i>	663
La digitalizzazione e georeferenziazione dell'archivio cartografico e aerofotografico storico dell'IBC. Osservazioni metodologiche <i>L. Colò, I. Di Cocco, M.L. Garberi, G. Belvederi, S. Pezzoli, F. Siligardi</i>	671
Monitoraggio di strutture con tecnologia GNSS <i>L. Colombo, B. Marana, D. Galbusera</i>	683
Un applicativo GIS 3D specializzato per l'individuazione, la gestione e la rappresentazione di ostacoli alla navigazione aerea <i>A. Condorelli</i>	693
La classificazione di zone ed agglomerati in Regione Piemonte ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente in attuazione della direttiva 2008/50/CE <i>C. Contardi, F. Matera, G. Turco, S. Costamagna, M. Forcelli, E. Sarzotti</i>	701
i-Tour: un client 3D per dispositivi portatili a supporto della mobilità urbana sostenibile <i>G. Conti, D. Magliocchetti, F. Devigili, R. De Amicis</i>	709
Il Paesaggio Urbano di Pompei: Rappresentazione Multiscalare e Multidimensionale <i>F. Converti, P. Della Morte</i>	717
Stato dell'arte delle applicazioni laser scanning aereo a supporto della gestione delle risorse forestali in Italia <i>P. Corona, M. Marchetti, G. Scrinzi, C. Torresan</i>	721
La rappresentazione cartografica derivata dal Database Topografico <i>M. Corongiu, T. De Filippis, L. Rocchi, G. Carrai</i>	733
Caratteri morfo-sedimentologici per la classificazione dei fondali marini <i>N. Corradi, M. Demarte, R. Ivaldi, R. Lapira</i>	741

Il mare: benessere o discarica? Sistemi informativi come supporto al traffico marittimo e per la valutazione dell'inquinamento ambientale <i>S. Corso, E. Moretti</i>	749
Data Base Topografico ai territori impermeabilizzati della Regione Emilia-Romagna <i>S. Corticelli, M. Luisa Garberi, S. Masi, M.C. Mariani, M. Bocci, S. Gadenz</i>	761
Servizio WPS di planning realistico GNSS per l'intero territorio italiano <i>T. Cosso, B. Federici, D. Natali, D. Sguerso</i>	769
Analisi e monitoraggio della pista dell'Aeroporto "C. Colombo" di Genova tramite rilievo GNSS e livellazione di precisione <i>T. Cosso, P. Dabove, D. Sguerso</i>	775
La tecnica interferometrica dei Persistent Scatterer applicata ai dati SAR COSMO-SkyMed nel Piano di Telerilevamento Ambientale <i>S. Costabile, M. Cudemo, L. Petriglia, F. Minati, A. Ferretti</i>	777
Individuazione automatica di aree coltivate a riso da serie temporale MODIS: primi risultati in ambiente mediterraneo <i>A. Crema, M. Boschetti, G. Manfron, M. Pepe, M. Musanti</i>	779
Test sperimentale di strumenti Volunteered Geographic Information per l'aggiornamento di informazioni territoriali <i>L. Criscuolo, P. Carrara, M. Pepe, A. Rampini</i>	791
Studio del sistema di posizionamento GNSS/INS con strumentazione di basso costo <i>A. Croci, M. De Agostino, A.M. Manzano</i>	799
Prestazioni del software di analisi dati GPS NDA Lite in applicazioni di monitoraggio strutturale <i>D. Curone, M. Chersich</i>	809
Strumenti per l'integrazione fra database topografico e informazioni catastali <i>F. D'Alesio, F. Di Maria, F. Guzzetti, P. Viskanic</i>	821
FreeGIS – Dati e strumenti geografici liberi <i>F.D'Alesio, P. Hopfgartner, P. Viskanic</i>	831
Una prova di sensibilità di sensori accelerometrici triassiali <i>M.G. D'Urso, M. Crespi, N. Barbati</i>	837
Procedura d'aggiornamento dell'edificato nel Database topografico tramite l'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale regionale <i>D. Dal Puppo, M. Segrè</i>	847
SIQA ® Sistema informativo della Qualità <i>N. Dalla Torre, E. Baldo</i>	849
Analisi cartografica e GPS di punti fiduciali <i>G. Dardanelli, V. Franco, S. Catalano</i>	855
Approccio differenziato per la validazione dei dati GPS provenienti dalla rete UNIPA <i>G. Dardanelli, P. Orlando, M. Sciortino</i>	865
Impiego di sensori <i>low cost</i> per la realizzazione di un prodotto innovativo di analisi del territorio: il video solido <i>M. De Agostino, A. Lingua, M. Piras</i>	873
Asinara 3D: il geoportale del Parco Nazionale dell'Asinara <i>A. Deiana</i>	875
Un Sistema Informativo Territoriale per la salvaguardia del patrimonio architettonico in Basilicata <i>M. Delli Santi</i>	883
Un esempio di portale per il turismo transfrontaliero con funzionalità di DSS <i>R. Demontis, E. Lorrà, L. Muscas</i>	889

Realizzazione di un sistema fotogrammetrico automatico per lo studio della dinamica evolutiva di un ghiacciaio pensile <i>F. Diotri, R. Roncella, C. Lucianaz, G. Forlani, M. Vagliasindi, E. Motta</i>	897
Valutazione della produzione di sedimento nei bacini idrografici afferenti alla spiaggia di Santa Margherita di Pula (Sardegna SW) <i>F. Di Gregorio, M. Pusceddu, A. Serreli</i>	909
Sistema di authoring per WebGIS applicato a tour virtuali <i>D. Di Pasquale, N. Maiellaro, M. Padula, P.L. Scala</i>	917
Rilevamento e modellazione 3D del teatro antico di Palazzolo Acreide. Problematiche nell'elaborazione e gestione dei dati laser-scanning <i>F. Di Salvo, M. Lo Brutto, P. Meli, P. Orlando, B. Villa</i>	929
Lo sviluppo del tessuto urbano del Comune di Roma dal dopoguerra a oggi <i>A. Di Somma</i>	939
Applicazione dei laser scanner terrestri in campo agro-forestale e ambientale <i>P. Duce, R. Ferrara, B. Arca</i>	951
Rilievi 3D di architetture medievali a Padova: alcuni test fotogrammetrici <i>M. Fabris, V. Achilli, D. Bragagnolo, A. Menin</i>	963
Aggiornamento delle linee guida per la rappresentazione della Carta Geologica al 50.000 <i>S. Falcetti, D. Tacchia</i>	975
Metodi innovativi per la documentazione e valorizzazione di siti archeologici <i>G. Fangi, E.S. Malinverni, E. D'Annibale, A.N. Tassetti, C.A. Bozzi</i>	981
Le texture polinomiali per l'analisi di reperti di interesse archeologico <i>E. Faresin, G. Salemi</i>	993
Realizzazione di una piattaforma GIS per l'analisi di un esteso fenomeno cinematico in Liguria <i>B. Federici, R. Passalacqua, R. Bovolenta</i>	1003
1015	
Elaborazione di immagini satellitari ad alta risoluzione per l'analisi multiscalar e multitemporale delle dinamiche di uso del suolo: integrazione in ambiente GIS con le metriche del paesaggio <i>C.R. Fichera, G. Modica, M. Pollino, A.B. Della Rocca</i>	1015
1029	
Una SDI tematica per la protezione della natura: il progetto Nature-SDIplus <i>A. Fiduccia, R. Di Pace</i>	1029
Topologie, gerarchie e complessità nelle architetture di sistema di <i>Emergency Operation Center</i> e di Centrali <i>Critical Infrastructure Protection</i> : il ruolo della 3D-COP <i>A. Fiduccia, R. Di Pace</i>	1041
1053	
Applicazioni geomatiche nell'ingegneria delle infrastrutture <i>F. Fiori, L. Mussio, V. Slavazzi, C. Vanetti, S. Vismara</i>	1053
METODOLOGIA di Stima dei potenziali regionali da fonti rinnovabili e per l'efficienza energetica, e azioni per il raggiungimento degli obiettivi UE 20-20-20 al 2020 <i>A. Forni, N. Colonna, R. Del Ciello, A. Disi, V. Iaboni, E. Mancuso, C. Notaro, I. Olivetti, N. Torrez, C. Vieri</i>	1069
I Servizi WEBGIS realizzati dal Portale Cartografico della Provincia di Modena <i>A. Fraulini, C. Ugoletti, B. Mengoli</i>	1079
Studio della propensione al dissesto idrogeologico del bacino sotteso dalla Diga di Medau Zirimilis (Sardegna SW) tramite l'impiego di applicazioni GIS <i>P. Frongia</i>	1089

Rischio integrato da fenomeni franosi, alluvionali ed erosione costiera nel bacino del Rio San Girolamo di Capoterra (Sud Sardegna) <i>P. Frongia, G. Piras, N. Scionis</i>	1101
Il progetto SIT REM per la pianificazione faunistico-botanica del territorio: un caso di cartografia interoperante e partecipativa <i>E. Frontoni, A. Mancini, P. Zingaretti, E.S. Malinverni</i>	1111
Accuratezza nell'interpolazione dei DTM: analisi dei fattori determinati <i>G. Garnero, D. Godone</i>	1121
La fotogrammetria d'archivio per lo studio della frana di Scascoli (Bologna) <i>G. Gatta, A. Landuzzi, A. Zanutta</i>	1129
Un nuovo modello space-wise della gravità terrestre basato su otto mesi di dati GOCE <i>A. Gatti, F. Migliaccio, M. Reguzzoni, F. Sansò</i>	1139
Studio dell'effetto della gravità su circuiti chiusi della livellazione di alta precisione in presenza di dislivelli molto elevati <i>G. Gentile, R. Maseroli, F. Sacerdote</i>	1151
Integrazione di tecnologie e metodi partecipati per la tutela e la promozione del territorio: alcune esperienze made in Italy <i>A. Giacomelli, F. Giubbilini, L. Delucchi, S. Costa</i>	1159
Dal censimento dei consumi energetici all'attuazione del Patto dei Sindaci nei comuni della Provincia della Spezia con R3 EcoGIS <i>P. Giannarelli, P. Viskanic</i>	1165
Fusione di dati cosmo-skymed e geoeye-1 per la classificazione del land cover nella laguna di Venezia <i>M. Gianinetto, M. Rusmini, F. Rota Nodari, G. Candiani, F. Frassy, A. Marchesi, P. Maianti, G. Lechi</i>	1171
GeoServer, il server open source per la gestione interoperabile dei dati geospaziali <i>S. Giannecchini, A. Aime</i>	1183
Utilizzo di droni per la documentazione e la valorizzazione dei beni paesaggistici: il progetto FOGLIE <i>R. Gini, D. Passoni, L. Pinto, G. Sona</i>	1195
Moka Demanio Idrico <i>C. Godoli, G. Ciardi, R. Maltoni</i>	1205
Algoritmi per il telerilevamento <i>M. Gonnelli, G. Spaccavento, F. Sarti</i>	1213
Sensori per il telerilevamento: Confronto sui principi di funzionamento, sui limiti degli apparati e sulle modalità di impiego <i>M. Gonnelli, G. Spaccavento, F. Sarti</i>	1221
Approcci innovativi alla definizione degli standard INSPIRE: il progetto europeo HABITATS <i>M. Gori, M. Guccione, M. Munafò, G. Rago</i>	1231
La cartografia di Geologia Urbana in Umbria: nuovo strumento cartografico di contenuti delle Scienze della Terra <i>L. Gregori</i>	1237
Sperimentazione di corner per banda X nel monitoraggio di colate di terra lente con COSMO SkyMed <i>C. Iasio, A. Corsini, V. Mair, S. Schneiderbauer, A. Tamburini</i>	1249
Analisi morfologica tridimensionale di aree urbane a supporto dello sviluppo di modelli spaziali ambientali <i>M. Ioannilli</i>	1261

Gli indicatori geografici di performance per la valutazione dei servizi pubblici locali <i>M. Ioannilli, M. Ambrosanio</i>	1273
Caratterizzazione ambientale delle acque del Golfo dell'Asinara (Sardegna) attraverso l'uso di spettrofluorimetria laser e immagini telerilevate <i>I. Iocola, D. Pittalis, M. Iannetta, A. Lugliè, B. Padedda, S. Pulina, N. Sechi, L. Fiorani, I. Menicucci, A. Palucci</i>	1285
Utilizzo di tecniche di landscape analysis e Remote Sensing per la caratterizzazione della nicchia ecologica delle specie di <i>Culicoides</i> appartenenti all'Obsoletus Complex <i>C. Ippoliti, A. Conte, M. Bocci, M. Goffredo, R. Salini, S. Gadenz, R. Lelli</i>	1293
Un approccio metodologico innovativo per la localizzazione e la fruizione di un Albergo Diffuso. Caso di studio: Valle dello Jato <i>G. Italiano</i>	1303
Monitoraggio del ciclo fenologico della vegetazione attraverso l'impiego di immagini webcam <i>T. Julitta, R. Colombo, E. Cremonese, M. Migliavacca, M. Rossini, S. Cogliati, L. Busetto, M. Galvagno, U. Morra di Cella</i>	1315
Il miglioramento, attraverso l'impiego di nuove tecnologie, delle performance delle aziende che operano nei settori del turismo, della cultura o della tutela e gestione dell'ambiente <i>G. La Bella</i>	1327
Un sistema informativo territoriale per la tutela del patrimonio archeologico <i>G. La Bella</i>	1333
Umanitaria: la nuova Storia guidata dalla Geomatica alla ricerca del valore da proteggere e proiettare per la difesa del pianeta <i>M.M. Langfelder, E. Arlati</i>	1339
L'interoperabilità dei sensori a più livelli di monitoraggio dei processi satellitari <i>M.M. Langfelder, E. Arlati, S. Giancaspro</i>	1345
Telecondotta, materia metodologica per l'educazione remota alla Geomatica <i>M.M. Langfelder, G. Occhini</i>	1353
Naturalistica per debellare l'inquinamento della cultura di oggi e tutelare arte e paesaggio <i>M. Langfelder, E. Zanaboni</i>	1361
TiMatOnGIS: un acronimo per un approccio Crowd-Cloud allo sviluppo turistico <i>V. Lanza, L. Tilio, F. Scorza, B. Murgante</i>	1367
Considerazioni sugli aspetti della cartografia topografica italiana pre-unitaria <i>L. Laureti</i>	1377
Studio della superficie marziana con metodi di osservazione remota, base di un modello evolutivo della geomorfologia del pianeta <i>G. Lechi, G. Ruggiero</i>	1391
La gestione di un Piano di Emergenza Esterno (P.E.E.) nelle aree industriali in presenza di un incidente a rischio rilevante <i>L. Leone, D. Laudani Fichera, G. Pulvirenti, M. Leone</i>	1401
Elaborazioni GIS 3D per la lettura del territorio: un esempio per la Riserva Naturale delle Salse di Nirano (Appennino Modenese) <i>E. Liberatoscioli, D. Castaldini, M. Conventi, P. Coratza</i>	1409
Analisi delle relazioni tra struttura forestale e del paesaggio per la conservazione della pseudomacchia del PR dei Colli Euganei (PD) <i>E. Lingua, C.J. Zeffiro, M. Garbarino, R. Marzano</i>	1419
Sperimentazione di procedure automatiche in fotogrammetria close-range per il rilievo di Beni Culturali <i>M. Lo Brutto, M.G. Spera</i>	1427

Elaborazione di un indice per il monitoraggio della desertificazione da dati telerilevati..... <i>S. Lo Curzio, F. Russo</i>	1439
Analisi da Remote Sensing di variazioni geomorfologiche dell'area di un invaso artificiale <i>S. Lo Curzio, F. Russo, M. Caporaso</i>	1449
Verifica degli impatti socioeconomici ed ambientali conseguenza dei mutamenti climatici in atto nel bacino del Mediterraneo, attraverso l'uso del telerilevamento satellitare <i>F. Luciani, M. Pierantozzi, S. Zamberlan</i>	1457
Classificazione ad oggetti di mappe uso del suolo: esempi a confronto <i>E.S. Malinverni, E. Frontoni, A. Mancini, P. Zingaretti</i>	1465
Integrazione di tecniche LiDAR e FEM per lo studio e l'analisi della stabilità dei pendii in frana <i>A. Manconi, D. Giordan, P. Allasia, M. Baldo, G. Lollino, S. Ceresini, A. Cavazzini</i>	1475
Studi interferometrici sul terremoto de L'Aquila del 6 Aprile 2009 <i>L. Mangione, F. Costantini, M. Fea</i>	1481
Influenza della severità del fuoco sulle dinamiche di ricostituzione post-incendio: analisi multitemporale di immagini multispettrali <i>E. Marcolin, E. Lingua, F. Pirotti, R. Marzano</i>	1489
Analisi morfometrica del DTM e definizione di unità di paesaggio finalizzate alla realizzazione delle tipologie di suolo e delle unità cartografiche del bacino del fiume Ombrone (Regione Toscana) <i>R. Mari, L. Gardin, R. Nevini, I. Callegari, M. Perna, F. Manetti, G. Lavorini, I. Nevini, M. Arcidiaco, N. Bianconi, F. Ortolano</i>	1499
Correzioni geometriche e radiometriche applicabili a valori di <i>backscatter</i> raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002 <i>G. Masetti, A. Trucco, R. Sacile</i>	1511
Analisi di immagini Quickbird per l'identificazione e la classificazione delle superfici asfaltate <i>A. Mei, R. Salvatori, F. Cipolletti, A. Allegrini</i>	1521
Influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica ed effetti sul servizio di telefonia mobile <i>F. Messina, L.V. Noto, F. Lo Conti</i>	1527
Tecniche di geostatistica per la caratterizzazione di mappe di emissione di CO da osservazioni da satellite <i>F. Migliaccio, C. Zambrano, E. Torresani</i>	1539
Il rilievo con scanner laser di edifici complessi <i>N. Milella, M. Zonno</i>	1551
Il rilievo mediante scansione laser degli insediamenti rupestri <i>N. Milella, M. Zonno, S. Capotorto</i>	1557
Cartografia operativa in supporto alle emergenze <i>M. Milli, M. Nannini</i>	1563
Archivio cartografico online del Comune di Bologna: nuove tecnologie e nuove procedure per il recupero dello storico <i>A. Minghetti, P. Africani, E. Ferrari, L. Lorenzini, E. Paselli</i>	1569
Dinamiche di innesco di incendio forestale in aree periurbane e turistico-rurali mediterranee <i>S. Modugno, A. Badia, R. Mugavero, A. Fiduccia</i>	1575
Validazione di un algoritmo per la stima della manto nevoso basato su dati MODIS a 250 m con immagini LANDSAT e dati a terra <i>N. Mölg, M. Duguay, T. Schellenberger, A. Tetzlaff, A. Costa, L. Irsara, R. Monsorno, C. Steurer, M. Zebisch, C. Notarnicola</i>	1587

Il censimento delle reti di irrigazione dei comuni di Formigine, Spilamberto, Vignola, Savignano sul Panaro e Marano sul Panaro, in provincia di Modena <i>G. Mondani</i>	1599
Gestione unificata dei consumi energetici dell'unione della bassa Romagna <i>M. Mondini, A. Fiore, A. Seravalli</i>	1607
Moderne tecniche di rilievo aereo-fotogrammetrico di oggetti a sviluppo verticale per la produzione di DSM: il caso di Campione del Garda (BS) <i>M. Montagna, P. Rigon, L. Ercolin, D. Sarazzi, F. Julitta</i>	1613
Simulazione della produttività olivicola in Toscana attraverso l'integrazione di telerilevamento e dati a terra <i>M. Moriondo, M. Chiesi, L. Brilli, M. Bindi, F. Maselli</i>	1621
Atlante Biomasse e servizi ENEA a supporto delle filiere a bioenergia <i>V. Motola, S. Sasso</i>	1627
Integrazione di dataset geografici di copertura del Suolo e Censuari per la realizzazione di una mappa statistica sintetica <i>S. Mugnoli, R. Chiocchini, S. Cruciani, A. Esposto, F. Lipizzi</i>	1633
Processi e limiti della derivazione cartografica semiautomatica di una cartografia igm serie 25db da un database relativo alla ctr 10k <i>F. Niceta, A. Scianna</i>	1641
Utilizzo di supporti cartografici georiferiti per il monitoraggio di beni culturali: un progetto per l'area aquilana <i>A. Nolli, M. Pennacchioni</i>	1651
Valutazione del prodotto satellitare DMP tramite misure in situ di produzione di biomassa nelle aree di savana saheliane <i>F. Nutini, M. Boschetti, D. Stroppiana, P.A. Brivio, E. Bartholomè, G. Beyè</i>	1659
Generatori software di traiettorie di oggetti in movimento per valutare le prestazioni di operatori spazio-temporali <i>M. Orsini, P. Di Felice</i>	1671
La gestione e l'aggiornamento del DBT in relazione alle procedure tributarie in un Comune <i>S. Pacchiana, S. Castoldi, G. Monti, P. Viskanic</i>	1679
Individuazione precoce dello stress idrico e nutrizionale in agricoltura da immagini iperspettrali <i>C. Panigada, C. Cilia, L. Busetto, R. Colombo, M. Meroni, S. Amaducci, M. Rossini, S. Cogliati, M. Boschetti, V. Picchi, A. Marchesi, T. Julitta, M. Palladino, G. D'Urso</i>	1687
Interfaccia Economica Territoriale (IET): governance, conoscenza e accountability nei processi di pianificazione territoriale della PAT <i>L. Paolazzi</i>	1697
Analisi della correlazione tra deflusso del Po e Clorofilla-a superficiale nel Nord Adriatico <i>F. Parmiggiani, C. Fragiaco</i>	1707
Analisi integrata dei rischi territoriali: esperienza sull'applicazione del modello di metadati nazionale secondo la direttiva INSPIRE per la condivisione delle informazioni prodotte <i>M. Pasca, C. Di Mauro</i>	1715
Primi dati della Stazione Mareografica Integrata di Porto Garibaldi <i>A. Pellegrinelli, P. Russo</i>	1727
Il Ghiacciaio del Miage: cartografia geomorfologica e studio della copertura detritica attraverso tecniche di fotogrammetria digitale e telerilevamento <i>L. Perotti, M. Bacenetti, P. Zamparutti, M. Giardino</i>	1729

Tecniche geomatiche per lo studio dell'assetto Geo-Morfo-Strutturale della Val Veny (Courmayeur, AO)	
<i>L. Perotti, M. Bacenetti, P. Zamparutti, M. Giardino</i>	1739
Utilizzo di immagini quickbird-2 nella classificazione di tipologie forestali nel sud del Brasile	
<i>V.A. Pesck, A.A. Disperati, J. Disperati, J.R. Dos Santos</i>	1749
COSMO-SkyMed: tecniche ed applicazioni per l'osservazione della terra tramite VHR SAR	
<i>L. Pietranera, F. Britti, L. Cesarano, V. Gentile</i>	1755
GEOSIS web	
<i>M. Pignone, R. Moschillo</i>	1757
Rilievo di una struttura sanitaria: l'ospedale San Bartolomeo a Sarzana	
<i>G. Pinto</i>	1765
L'importanza dei SIT nella tutela del patrimonio ambientale e culturale da rischio idraulico	
<i>F. Pirlone, I. Spadaro</i>	1771
Applicazione del paradigma Internet of places al monitoraggio ambientale attraverso l'uso di standard OGC	
<i>F. Prandi, R. De Amicis, G. Conti, A. Debiassi, M. Calderan, S. Piffer</i>	1701
La rappresentazione dell'invisibile: il sentiment mapping	
<i>M. Preda</i>	1789
Una strategia di matching multi-immagine per la ricostruzione accurata di superfici e oggetti 3D	
<i>M. Previtali, L. Barazzetti, M. Scaioni</i>	1797
Sinergia tra sistemi informativi territoriali e registro tumori: la georeferenziazione dei dati del Registro Tumori di Trapani	
<i>A. Putaggio, G. Candela, S. Pirrello, T. Scuderi, M. Ribaldo, B. Lottero</i>	1807
Web-GIS per l'interrogazione guidata di dati geologico-tecnici per la microzonazione sismica	
<i>G. Ranfone, M. Spadoni, P. Di Felice</i>	1815
Rilievi e Modellazione 3D	
<i>F. Remondino, A. Rizzi, G. Agugiario, B. Jimenez, F. Menna, F. Nex, G. Baratti</i>	1825
Analisi anagrafica stazioni qualità dell'aria ed estrazione dei dati per la validazione del modello nazionale MINNI	
<i>G. Righini, G. Cremona, A. Piersanti, L. Ciancarella, M. D'Isidoro, M. Mircea, L. Vitali, I. Cionni, G. Zanini</i>	1837
Il laser scanning terrestre per il rilievo e l'analisi di Beni Architettonici e Archeologici	
<i>F. Rinaudo</i>	1845
Applicazioni GIS presso l'Autorità europea per la sicurezza alimentare: monitoraggio delle zoonosi, salute delle piante e degli animali	
<i>F. Riolo</i>	1847
Applicazione di una metodologia di analisi di rischio regionale su base GIS per l'utilizzo sostenibile delle falde in un contesto di cambiamento climatico – Applicazione nell'ambito del progetto Life+ SALT	
<i>J. Rizzi, S. Torresan, S. Pasini, F. Iyalomhe, A. Critto, A. Marcomini</i>	1855
Produzione di DTM per la realizzazione di infrastrutture viarie da rilievi fotogrammetrici speditivi: due esperienze a confronto in India	
<i>R. Roncella, C. Re, G. Umili, G. Forlani, P. Butt, G. Carrieri, E. Rabbi, M. Valentincic</i>	1863
Variazioni forestali in un'area dell'Appennino Emiliano	
<i>D. Rondini</i>	1875

Biomassa forestale e piattaforme logistico-commerciali: valutazione delle potenzialità innovative del settore legno-energia in Trentino <i>S. Sacchelli</i>	1887
Il supporto formativo alla Direttiva INSPIRE nell'ambito del progetto BRISEIDE <i>G. Saio, E. Roccatagliata, R. Molina</i>	1897
Integrazione di immagini satellitari e dati di campo per l'analisi delle coperture nevose <i>R. Salvatori, F. Cipolletti, A. Mei, P. Plini</i>	1905
L'introduzione della variabile tempo nei modelli dati/metadati per applicazioni di protezione civile <i>M. Salvemini, L. Berardi, A. Cimbelli, G. Conti, F. Prandi</i>	1913
Servizi operativi per la gestione del rischio sismico basati su dati satellitari SAR e ottici <i>S. Salvi, S. Vignoli, S. Zoffoli, V. Bosi, R. Giuliani</i>	1919
Riuso del software e project management: i casi ASTRID e SIRA Molise <i>V. Sambucini, C. Iannucci, M. Ricci</i>	1921
Integrazione di sensori di ultima generazione per la determinazione ed analisi del rischio in zone vulnerabili <i>C. Sánchez Murillo, A. Gomez Molina, F. Borrego Piorno, A. Ghetti</i>	1929
Piattaforma UAV per l'acquisizione ed elaborazione fotogrammetrica di immagini di scavi archeologici e strutture architettoniche <i>D. Sarazzi, L. Mancon, F. Julitta, A. Quartieri</i>	1933
L'idrocarburo sulla superficie marina: caratteristiche qualitative e quantitative deducibili dall'osservazione ed impiegabili in ambito forense <i>F. Sarti, M. Gonnelli, G. Spaccavento</i>	1943
Tecniche di generalizzazione cartografica dalla grande alla media scala <i>S. Savino, M. Rumor, S. Congiu</i>	1953
Fruizione di modelli dati GIS 3D di ambiente urbano tramite Web Services <i>A. Scianna</i>	1961
Sistema informativo trasporto rifiuti transfrontalieri della Regione Lombardia - Semplificazione nella P.A. e tracciabilità rifiuti con GPS <i>D. Sciunnach, G. Beduschi, L. Grimaldi, G. Farinola, G. Conforto, I. Allevi</i>	1971
Ottimizzazione delle pratiche colturali dei vigneti tramite l'uso di dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità <i>A. Scordo, M. Tulone, S. Nizza, V. Pampalone, V. Di Giuseppe, A. Borruso</i>	1983
Analisi del Disco di Festo <i>E. Scorsetti</i>	1993
Comparazione fra metodiche per la valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi. Applicazione all'acquifero del Sulcis Iglesiente (Sardegna meridionale) <i>R. Secci, G. Uras</i>	2011
Un GIS per il Centro Storico di Napoli: Analisi, Restauro e Manutenzione dell'Insula di San Giovanni a Carbonara <i>S. Sessa, B. Cardone, M. Barone, E. Colangelo, P. Serrapica</i>	2023
Un metodo innovativo per mappare le aree bruciate nell'Europa Mediterranea basato su indici spettrali e tecniche di <i>soft computing</i> <i>D. Stroppiana, G. Bordogna, M. Boschetti, P. Carrara, L. Boschetti, P. A. Brivio</i>	2033
Un applicativo ERSI <i>Python</i> per la valutazione della ricarica degli acquiferi <i>E. Suozzi</i>	2041
Miglioramento della risoluzione spaziale di immagini TIR MODIS su aree costiere <i>S. Teggi, F. Despini, M. Serafini</i>	2043

Ramses: un progetto per la salvaguardia e la tutela di Venezia <i>R.M. Todaro</i>	2049
Mimuv, monitoraggio degli interventi di manutenzione urbana a Venezia <i>R.M. Todaro</i>	2059
Un sistema “Cloud Computing Server” per analisi 3D del terreno <i>O. Tommasi</i>	2067
Monitoring INSPIRE 2011 in Regione Piemonte: le attività del Punto Focale Regionale/SINAnet <i>G. Turco, S. Costamagna, A. Navarretta, E. Bonansea, M. Alibrando</i>	2075
Fusione di DSM ed immagini per l'estrazione automatica di linee di rottura dal DSM <i>G. Umili, G. Forlani</i>	2083
Accesso geografico alle collezioni e alle opere d'arte lombarde <i>S. Urbisci, M. Delfino</i>	2095
Monitoraggio integrato delle acque del lago Omodeo tramite analisi delle immagini MERIS e analisi limnologiche <i>M. Vascellari, M. Bresciani, C. Giardino, M.A. Dessena, P. Buscarinu</i>	2101
Analisi di serie temporali di mappe di copertura nevosa ottenute da immagini Cosmo-SkyMed in aree alpine <i>B. Ventura, T. Schellenberger, C. Notarnicola, M. Zebisch, V. Maddalena, L. Tampellini, R. Ratti</i>	2103
Irrigazione di mais da granella a rateo variabile mediante mappe indice di stress idrico da acquisizioni SPOT HRG <i>M. Vincini, E. Frazzi, F. Calegari</i>	2113
Soluzioni software VNS e GeoVIEW per l'analisi ambientale e l'impatto visivo 3D realtime <i>M. Gualdrini</i>	2119

Una prova di sensibilità di sensori accelerometrici triassiali

Maria Grazia D'Urso (*), Mattia Crespi (**), Nunzio Barbatì (***)

(*) Di.M.S.A.T., Università di Cassino, via G. Di Biasio 43, 03043 CASSINO (FR), Italy, Tel. +39 0776 299 4309
Fax +39 0776 299 3939, mob.:+39 - 339 47 44 449, durso@unicas.it

(**) Area di Geodesia e Geomatica, DICEA, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18
00184 ROMA, Tel. e fax 0644585097, mattia.crespi@uniroma1.it

(***)Di.M.S.A.T., Università di Cassino, Via G. Di Biasio 43, 03043 CASSINO (FR), Italy
mob.: +39 3283022961, n.barbati@unicas.it

Sommario

E' noto che i sensori accelerometrici a tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) possono comunicare in modalità wireless con un'unità di elaborazione e un sistema di trasmissione dati e possono funzionare da inclinometri; sperimentazioni preliminari in tal senso sono state condotte e presentate negli scorsi anni. In particolare, se resi solidali ad un elemento rigido, tali sensori consentono di misurare e monitorare l'inclinazione dell'elemento stesso in quanto la variazione nel tempo dell'inclinazione è rappresentativa della cinematica del punto al quale l'elemento e il sensore sono vincolati. Tale applicazione è significativa nell'ambito delle tecniche di monitoraggio geomatico low-cost, in particolare nella determinazione dei movimenti di versanti in frana in quanto è possibile ottenere informazioni sull'evoluzione cinematica della sua parte superficiale. Scopo di questo lavoro è presentare e sviluppare una prima analisi dei risultati di una prova di sensibilità di tali sensori accelerometrici triassiali tramite il sistema di misura SMAMID svolta presso l'Università di Cassino. Nella prova alcuni sensori di classe MEMS sono stati installati solidalmente ad un teodolite mediante il quale potevano essere imposti spostamenti angolari con alta precisione. La misura degli angoli tramite un accelerometro triassiale è stata condotta valutando le variazioni della componente di gravità sui tre assi, poiché il sistema SMAMID è in grado di misurare anche accelerazioni statiche. A partire da una condizione iniziale sono state imposte variazioni dell'angolo zenitale con il passo di 1 gon, registrando di volta in volta le accelerazioni in contemporanea con tre sensori MEMS. Lo scopo dell'esperienza è stato, pertanto, quello di valutare quale fosse il livello di accuratezza delle inclinazioni che si potevano ricavare dai sensori accelerometrici assumendo come riferimento quelli imposti con il teodolite. I risultati ottenuti vengono presentati e discussi.

Abstract

It is well known that MEMS- (Micro-Electro-Mechanical Systems) based accelerometer sensors can communicate in a wireless mode both with a processing unit and with a data transmission system; moreover they can operate as inclinometers. Preliminary experiments in this direction have been conducted and presented in recent years. In particular, if the sensors are fixed to a rigid element, they allow one to measure and monitor the inclination of the same element since the variation in time of the inclination is representative of the kinematics of the point at which the element and the sensor are bound. This application is significant in the geomatic low-cost monitoring techniques, particularly in determining slope movements during landslides, at least in the superficial part of the slope. The purpose of this paper is to present the results of a sensitivity test of triaxial accelerometer sensors through the SMAMID measurement system. During such tests some MEMS-based sensors were firmly fixed to a theodolite in which angular displacements with high precision could be imposed. The measure of the angles through triaxial accelerometers has been carried out by

evaluating the variations of the gravity component on three axes, since the SMAMID system can also measure static accelerations. Starting from an initial condition, variations of the zenith angle have been imposed with step of 1 gon, recording simultaneously the three accelerations by means of three MEMS sensors. Therefore, purpose of the test was to ascertain which level of accuracy of inclinations could be derived from accelerometer sensors by taking as reference values those imposed with the theodolite. The results are presented and discussed.

I sensori SMAMID

La recente introduzione dei dispositivi MEMS (*Micro Electro-Mechanical Systems*) ha aperto un vasto campo di studi ed applicazioni in diversi settori dell'ingegneria. La tecnologia MEMS consente di incorporare dispositivi meccanici di dimensioni micrometriche – ad esempio sensori – in un substrato di semiconduttore, integrandoli quindi in normali chip e fornendo così uno strumento utile e al tempo stesso snello ed efficace per la misura di grandezze fisiche.

Tra i sistemi di misura con sensori MEMS attualmente presenti sul mercato, si è avuta la possibilità di impiegare il sistema di misura SMAMID sviluppato dalla STRAGO S.p.A.. Una rete di misura di tipo SMAMID è composta da una o più Unità Funzionali (UF) con capacità di acquisizione e trasmissione di dati accelerometrici.



Figura 1 – Unità funzionale SMAMID.

Le caratteristiche del sistema consentono l'acquisizione contemporanea per i tre assi con parametri selezionabili ad una risoluzione di 12 bit. Le UF SMAMID sono in grado di acquisire a trigger, con soglia sulle accelerazioni, a comando manuale, a orari prefissati oppure anche in continuo. SMAMID funziona in completa autonomia: può essere alimentato sia da un pacco batterie che da un alimentatore esterno. È possibile costruire una rete di unità funzionali autonome gestite da un PC centrale, in modalità wired (RS485) o wireless (adottando un protocollo proprietario). In definitiva ciascuna UF va considerata come uno strumento di misura delle accelerazioni completamente autonomo, semplice e funzionale. Occorre precisare che la UF misura accelerazioni anche di tipo statico, come l'accelerazione di gravità; è quindi possibile in linea teorica stimare l'inclinazione rispetto alla verticale e impiegare le UF SMAMID come inclinometri.

La prova sperimentale

In particolare nel presente lavoro si è condotto un esperimento per valutare le prestazioni di tali strumenti come inclinometri.

Lo schema di prova ha previsto l'uso di tre UF SMAMID (identificate dai codici 16, 30 e 36), installate tramite un'apposita piastra costruita per essere resa solidale ad un teodolite. Ciascuna unità UF è dotata di un accelerometro triassiale con assi di misura perpendicolari tra loro (x, y, z) che materializzano il sistema di riferimento della UF (Figura 2). La colorazione adottata in figura per le direzioni dei tre assi delle UF verrà utilizzata nel seguito per identificare grafici o valori

relativi a ciascuna di queste direzioni; inoltre, per asse o direzione di misura, si intenderà sempre quella relativa al sistema di riferimento relativo delle UF, salvo diverse specificazioni.

Lo scopo dell'esperienza è stato quello di comparare i valori di inclinazione che si possono ricavare dai sensori accelerometrici con quelli letti sul teodolite, assunti come riferimento in quanto ritenuti di accuratezza certamente superiore a quelli ottenibili dai sensori MEMS sulla base di precedenti prove sperimentali di carattere preliminare.



Figura 2 – Strumentazione di prova.

In partenza la direzione x delle UF corrisponde alla posizione zenitale del teodolite di 300 gon; l'asse z è quello verticale.

Con il teodolite si sono imposte variazioni angolari zenitali con il passo di 1 gon ad intervalli di alcune decine di secondi: si è iniziato dal valore di 300 gon e si sono raggiunti i 284 gon. Le registrazioni delle accelerazioni tramite le tre UF SMAMID sono state svolte in contemporanea pilotate da un'altra UF (master) in modalità wireless, evitando quindi qualsiasi cavo di collegamento. Le variazioni zenitali dell'asse di collimazione del teodolite consistono, in effetti, in una rotazione degli assi di misura delle UF, x, e z, rispetto all'asse y. La rotazione avviene in senso antiorario rispetto al sistema di riferimento delle UF di figura 2.

Il grafico successivo mostra l'andamento dei valori di accelerazione dell'asse x in funzione del tempo così come acquisiti dalla UF n°30 con frequenza di campionamento di 40 punti al secondo per una durata della prova di 800 secondi.

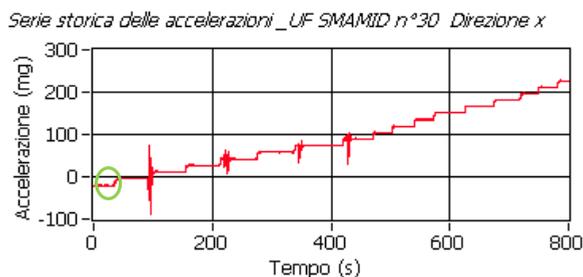


Figura 3 – Serie storica delle accelerazioni durante la prova di inclinazione; UF 30 asse x.

È immediato interpretare tale grafico: i punti dove si verificano degli incrementi improvvisi delle accelerazioni, come quello cerchiato in verde, corrispondono agli istanti in cui si varia l'inclinazione dell'asse di collimazione del teodolite e quindi l'inclinazione dell'asse x delle UF. Gli "scalini" nel segnale rappresentano quindi il passaggio da una fase alla successiva; si notano, inoltre, intervalli di alcuni secondi durante i quali l'inclinazione dell'asse di collimazione è stata mantenuta costante (e di conseguenza anche l'accelerazione non è variata).

Il valore di inclinazione può essere calcolato impiegando metodi che scelgono di combinare i valori di accelerazione rilevati su uno o più assi di misura dell'accelerometro. Nel seguito si presenta inizialmente il processo di elaborazione per il metodo monoassiale, illustrando dapprima l'approccio e, successivamente, commentando i risultati. Gli stessi ragionamenti vengono successivamente ripetuti per il metodo biassiale, effettuando infine i confronti tra i due diversi metodi di calcolo delle inclinazioni¹.

Il metodo monoassiale

Preliminare ad ogni analisi è la pre-elaborazione del dato; essa consiste nel riportare le accelerazioni nell'unità di misura desiderata, nel depurarle di effetti non voluti (quali, ad esempio, eventi impulsivi che spostano l'asse di collimazione e disturbano la misura dell'accelerazione statica) ed estrarre (con riferimento, ad esempio, ai grafici riportati in figura 3), le registrazioni relative agli intervalli temporali in cui l'asse di collimazione non si sposta o subisce disturbi di alcun genere. Il passo successivo consiste nel valutare l'accelerazione statica di un asse coinvolto nella rotazione².

Si tenga presente che i sensori della SMAMID UF riescono a valutare sia fenomeni di natura statica, ovvero accelerazioni costanti nel tempo, sia fenomeni oscillatori di tipo dinamico, nell'ambito della banda di frequenza resa disponibile dalla frequenza di campionamento, nel nostro caso 20 Hz.

Il contenuto di accelerazione che rimane costante in un determinato tempo può quindi essere estratto semplicemente effettuando la media di tutti i campioni in quel tempo; in tal modo le variazioni dinamiche vengono eliminate dal segnale. Selezionando un intervallo avente durata T in cui il teodolite è fermo, si può calcolare un valore medio di accelerazione statica per la direzione x nel tempo T, nel seguito semplicemente indicato come \bar{A}_x . Questa grandezza tiene conto non solo della componente relativa di gravità in direzione x, A_{xg} , ma anche del valore di offset strumentale A_{xoff} , che è sempre presente e variabile per ciascun accelerometro e che deve essere valutato ed eliminato dalle osservazioni:

$$\bar{A}_x = A_{xoff} + A_{xg} \quad [1]$$

Nell'ipotesi che il valore di offset non vari in maniera significativa tra le misure effettuate a diversi valori di inclinazione angolare (cioè in tempi diversi), si può ottenere la variazione di inclinazione per differenza, assumendo una misura di riferimento iniziale. L'ipotesi di valore di offset costante è confermata da precedenti esperienze di misura eseguite con tale sistema di sensori SMAMID resi solidali ad un teodolite; nel corso di tali esperienze si è constatato che, effettivamente, il valore di offset non è variato per l'intera sessione di misura (D'Urso et Al., 2010).

Applicando tale ipotesi direttamente alle misure ottenute nel test di inclinazione essa viene ulteriormente chiarita. Si consideri ad esempio di voler ricavare il valore di inclinazione con il segnale di accelerazione nella direzione x corrispondente alla lettura dell'angolo zenitale pari a 299 gon. Si considerino i grafici degli intervalli temporali della figura 3 in cui l'asse di collimazione del teodolite è posto a 300 e 299 gon.

¹ Si noti che con inclinazione limitata al piano xz, non ha senso proporre un metodo con i tre assi, in quanto l'asse y non risente di nessuna variazione;

² Sebbene la rotazione dovrebbe essere rilevata sia sulla componente z che sulla componente x dell'accelerazione, in genere si impiega l'asse meno soggetto all'accelerazione di gravità, ovvero nel nostro caso l'asse x, per le ragioni che saranno evidenziate nel seguito.

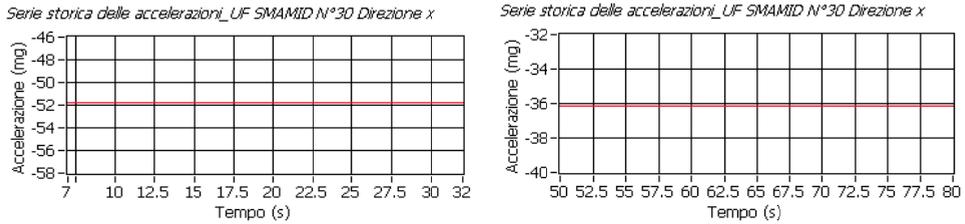


Figura 4 – Serie storica accelerazioni - prova di inclinazione UF 30 asse X gon 300 (sinistra) e gon 299 (destra).

Su queste due serie storiche di valori di accelerazioni si possono calcolare i valori mediati tra tutti i campioni, ottenendo due grandezze $\bar{A}_{x(300)}$, $\bar{A}_{x(299)}$.

Considerando il sistema di riferimento della prova e considerando che le accelerazioni sono espresse in unità di g (accelerazione di gravità), in maniera che il modulo totale delle accelerazioni rimanga sempre costante ed uguale ad 1 g, si può scrivere semplicemente:

$$\alpha(299) = \sin^{-1} A_{xg(299)} \quad [2]$$

Poiché si è supposto che il valore di offset sia costante e poiché a 300 gon si può ritenere A_{xg} praticamente nullo (potendosi assumere il sensore orizzontale in corrispondenza della prova con angolo zenitale di 300 gon), è sufficiente depurare il valore di accelerazione ottenuto a inclinazione 299 del valore di $\bar{A}_{x(300)}$ che si ottiene nella prova a 300 gon (assunto quindi uguale all'offset), ossia:

$$A_{xg(299)} = \bar{A}_{x(299)} - \bar{A}_{x(300)} = A_{xg(299)} + A_{xoff} - A_{xg(300)} - A_{xoff} \quad [3]$$

nell'ipotesi che

$$A_{xg(300)} = 0 \quad [4]$$

In questo modo, sfruttando i valori medi delle accelerazioni ricavabili dai grafici, si ottiene un valore di 0.895°, corrispondente a circa 0.994 gon, ovvero molto prossimo alla variazione di 1 gon, e cioè al valore atteso. Si può quindi procedere analogamente per le altre inclinazioni imposte.

I risultati per l'asse x

Il metodo illustrato in precedenza permette di calcolare tutte le inclinazioni. I risultati sono riassunti in un grafico di confronto tra i valori angolari misurati, cioè quelli ricavati dalle accelerazioni, e i valori angolari attesi, ossia quelli imposti al teodolite espressi in gon.

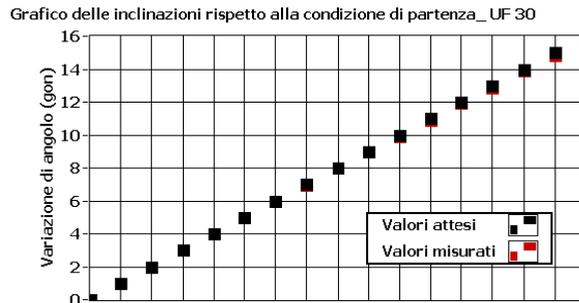


Figura 5 – Valori inclinazione misurati ed attesi UF 30 metodo singolo asse (asse x).

Si evince dalla figura 5 che le differenze sono davvero minime, con una leggera sottostima nei valori ricavati dalle accelerazioni. Per valutare queste differenze nel dettaglio si riporta poi un grafico con i valori di scarto sia in termini assoluti (valore atteso meno valore misurato), che in

termini relativi, normalizzando lo scarto assoluto per il valore atteso, cioè quello del teodolite. Sull'asse delle ascisse, per rendere immediato il confronto con la relativa sessione di prova, le inclinazioni sono espresse in gon.

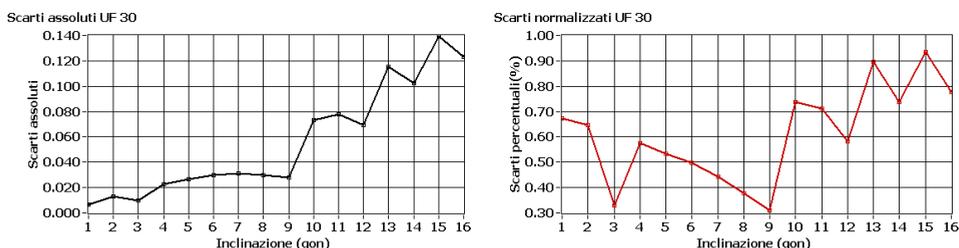


Figura 6 – Valori scarti UF 30 metodo singolo asse (asse x); scarti assoluti (sinistra), scarti normalizzati (destra).

Dal grafico degli scarti assoluti, si nota con chiarezza che le differenze, in valore assoluto, tra il valore reale e il valore misurato aumentano con l'inclinazione. Inoltre, questa variazione prevede sempre una sottostima del valore misurato. Si deve infine sottolineare che lo scarto normalizzato non ha un andamento ben definito, sebbene una tendenza ad aumentare con l'inclinazione si evidenzia dal valore di 10 gon in poi; in ogni caso esso è al di sotto dell'1%.

Si riassume in una tabella il valore dello scarto medio (in gon) ottenuto come media tra gli scarti che si ottengono alle diverse inclinazioni per tutte e tre le UF impiegate.

Inclinazione raggiunta (gon)	Scarto medio UF 16 (gon)	Scarto medio UF 30 (gon)	Scarto medio UF 36 (gon)
11 (11 step -1-11 gon)	0.04	0.03	0.05
16 (16 step -1-16 gon)	0.07	0.05	0.08

Figura 7 – Scarti medi per UF metodo singolo asse (asse x).

In definitiva, per tutte le UF si evince, per inclinazioni superiori ai 10 gon, una tendenza all'incremento dell'errore. Considerando un valore di risoluzione di accelerazione minimo di 1 mg, risulta che il minimo valore apprezzabile di angolo, in linea teorica, è 0.07 gon. Assumendo il valore dell'errore di risoluzione delle UF SMAMID di 1 mg, pari alla loro precisione strumentale³, in linea con altre esperienze e con dati di letteratura, risulta che i valori di inclinazione sono affetti almeno da un errore di 0.07 gradi centesimali. Pertanto, gli scarti medi ottenuti sono in linea con questo errore.

I risultati per l'asse z

Poiché l'inclinazione si svolge nel piano xz, le variazioni della componente di gravità dovrebbero rispecchiarsi in maniera analoga anche sull'asse z delle accelerazioni. Si mostra un grafico delle accelerazioni rilevate in z, distinguendo due fasi di variazione degli angoli in due grafici diversi.

³ Il valore di 1 mg come risoluzione è da intendersi valido nel caso di acquisizioni a 40 Hz e per i soli assi orizzontali. Supponendo di considerare la precisione uguale alla risoluzione si trascurano altre fonti di errore quali la non linearità o la correlazione con altri assi, il cui contributo in questa prima fase di esperienza di misura si considera trascurabile.

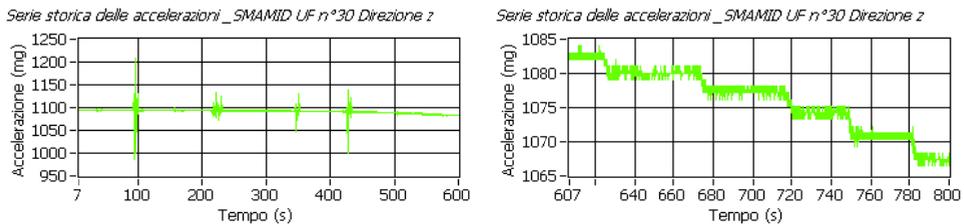


Figura 8 – Serie storica accelerazioni asse z UF 36; variazione da 300 a 289 gon (sinistra); variazione da 289 a 284 gon (destra).

Dall’esame della figura 8 è immediato notare che è riscontrabile il tipico andamento a scalini, ben visibile in sulla componente x, soltanto dopo cinque variazioni angolari: il valore delle accelerazioni è praticamente costante a parte gli istanti in cui si varia l’asse di collimazione e le UF risentono di effetti dinamici.

In linea con i ragionamenti precedenti, la formula da impiegare per il calcolo è:

$$\alpha = \cos^{-1} A_{gz}(\text{gon}) \quad [5]$$

dove

$$A_{gz}(\text{gon}) = \bar{A}_z(\text{gon}) - A_{z\text{off}} \quad [6]$$

L’angolo per l’inclinazione di un gon deve essere calcolato come la variazione del coseno tra i 300 e i 299 gon; in tal modo si ottiene una componente di accelerazione statica A_{gz} di 999.8 mg, ovvero uno scarto di soli 0.12 mg rispetto al valore di gravità 1000 mg normalmente presente all’inizio. Questo corrisponde ad una variazione minima di accelerazione che si confonde nell’errore di risoluzione, stimato per l’asse z in 3 mg^4 . Applicando questo ragionamento, il primo valore di inclinazione ricavabile sull’asse z (0.997 g) si ritrova ad una variazione di almeno 5 gon. Pertanto, è ragionevole affermare che dai grafici precedenti non si evinca nessuna variazione della componente z prima di superare una soglia critica di 5-6 gon di inclinazione. Pur escludendo questi primi punti e procedendo nel calcolo delle inclinazioni in maniera analoga al caso dell’asse x, si nota che le differenze rispetto ai valori attesi sono notevoli.

Si riportano gli andamenti degli scarti rispetto ai valori attesi. I grafici mostrano una chiara tendenza alla diminuzione degli scarti con l’aumento dell’inclinazione; ad esempio gli scarti normalizzati diminuiscono dal 70% al 10%.

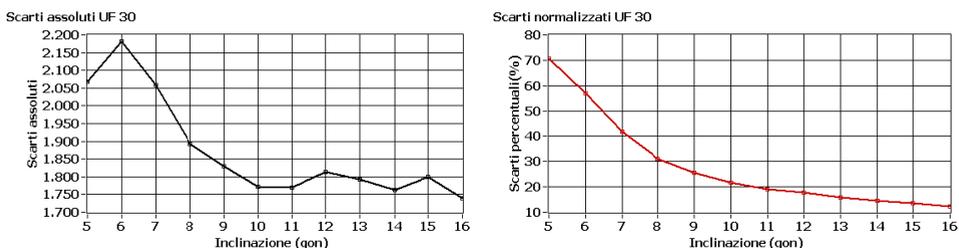


Figura 9 – Valori scarti UF 30 metodo misura singolo asse (asse z).

⁴ Per l’asse z l’errore di risoluzione è stimato pari a 3 mg, contrariamente agli assi x-y dove è valutato pari ad 1 mg. È una caratteristica costruttiva di SMAMID. Procedendo all’inverso ed inserendo i valori di risoluzione si possono ricavare i valori minimi di angolo rilevabili, considerando una condizione di partenza con l’asse z parallelo alla gravità, tali angoli risultano: 0.07 gon per l’asse x e 5 gon per l’asse z. Tale calcolo è stato eseguito supponendo un offset nullo.

Il metodo biassiale

Incrociando i risultati sugli scarti che si ottengono con i due metodi, si nota che l'errore che si commette con l'accelerazione dell'asse x tende ad aumentare man mano che aumenta l'inclinazione; al contrario per l'asse z, sembra che all'aumentare della variazione lo scarto tenda leggermente a ridursi. Per provare a bilanciare tali effetti si può impiegare la funzione tangente che valuta entrambi gli assi di misura nello stesso tempo. In questo caso la funzione da impiegare per calcolare le inclinazioni è:

$$\alpha = \text{tag}^{-1} \left(\frac{AG_x(\text{gon})}{AG_z(\text{gon})} \right) \quad [7]$$

ove, come definito in precedenza, valgono

$$AG_x(\text{gon}) = \bar{A}_x(\text{gon}) - A_{xoff}; \quad AG_z(\text{gon}) = \bar{A}_z(\text{gon}) - A_{zoff} \quad [8]$$

Dal grafico che segue in figura 10 si evince che la tendenza dello scarto aumenta con l'aumentare della inclinazione.

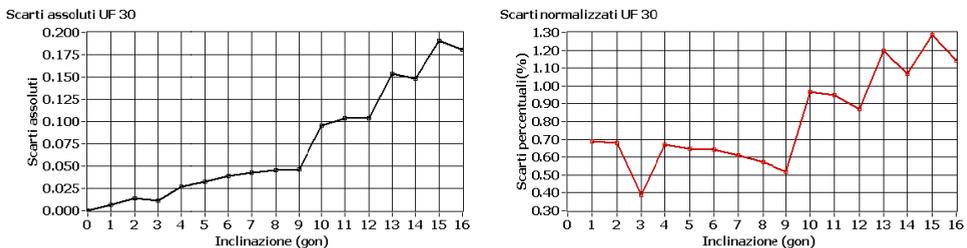


Figura 10 – Valori scarti UF 30 metodo misura 2 assi.

Gli scarti, sia nei valori che negli andamenti, appaiono quindi abbastanza simili al metodo con un asse in direzione x, pertanto appare utile riportare una tabella con i valori medi degli scarti per le tre UF così da poter confrontare il valore di questi scarti con quelli del metodo monoassiale. Si può notare che gli scarti del metodo biassiale sono leggermente superiori a quelli ottenuti con il metodo ad un asse in direzione x; tuttavia il contributo di errore determinato dall'impiego dell'asse z, nel metodo biassiale viene di molto attenuato e i valori di scarto per le inclinazioni sono vicini a quelli che si ottengono dalla sola analisi con asse x. Il metodo monoassiale nella direzione x è sicuramente quello più efficace per piccole inclinazioni; tuttavia si presume che avvicinandosi ai 45°, la preferenza rispetto al metodo a due assi, si inverte, rendendo quindi impossibile la misura con il singolo asse per intervalli di inclinazione più ampi. In virtù di questi risultati è ragionevole supporre che il metodo a 2 assi possa presentare il notevole vantaggio di essere applicabile su un intervallo di inclinazioni molto più ampio.

Inclinazione raggiunta (gon)	Scarto medio UF 16 (gon)	Scarto medio UF 30 (gon)	Scarto medio UF 36 (gon)
11 (11 step -1-11 gon)	0.04	0.04	0.08
16 (16 step -1-16 gon)	0.08	0.07	0.11

Figura 11 – Confronto scarti metodo 1 asse x, metodo 2 assi.

Una stima preliminare delle incertezze

Si è indagata preliminarmente, ma certamente ulteriori analisi sono necessarie, la stima delle incertezze con cui possono essere calcolate le inclinazioni. È interessante valutare se gli scarti in valore assoluto (valore reale - valore misurato) ottenuti con i diversi metodi siano compatibili con le

incertezze che si possono prevedere supponendo come unica fonte di errore quelli noti del sistema di misura SMAMID⁵. A tal riguardo si è ipotizzato, in base ad altre esperienze di misure effettuate con SMAMID, che nelle condizioni di prova⁶ la precisione sia uguale al valore minimo di risoluzione (1 mg) e che lo strumento risulti lineare nel range di misura.

Si è verificato che per il metodo monoassiale le incertezze previste in tal modo sarebbero più basse, quasi di un ordine di grandezza, rispetto agli scarti ottenuti dal confronto con i valori del teodolite. La natura delle differenze tra gli scarti medi delle diverse UF andrebbe ricercata nell'ambito di una più approfondita valutazione delle fonti di incertezza della risoluzione nella misura delle accelerazioni delle UF SMAMID quali variazioni di offset, fattori di conversione differente, in questa fase trascurati; tali componenti di errori potrebbero essere significative anche per la determinazione dell'offset.

Conclusioni

Le prove preliminari svolte presso l'Università di Cassino hanno consentito di conseguire i seguenti risultati. Innanzitutto si è assicurato il corretto funzionamento del sistema di misura di sensori accelerometrici MEMS con sistema di misura SMAMID; tale sistema è composto da unità funzionali (UF) ciascuna dotata di accelerometro triassiale, gestibili in modalità di rete wireless da un PC centrale. Inoltre è stato verificato che, tramite opportuni processi di trattamento dei dati, le accelerazioni registrate con le UF sono utilizzabili per l'estrazione di informazioni sull'inclinazione. È stata svolta una prova di rotazione nel piano xz, registrando le accelerazioni di tre UF installate solidalmente ad un teodolite fatto opportunamente ruotare con il passo di 1 gon in un intervallo definito, facendo variare l'angolo zenitale da 300 a 284 gon.

Per l'elaborazione dei risultati si sono implementati due metodi diversi, uno che impiega i valori di accelerazione di ciascuna UF di un singolo asse, l'altro che cerca di combinare le accelerazioni relative a 2 assi. Per le variazioni di angolo impostate nella prova sperimentale si sono ottenuti dei risultati preliminari di inclinazione ricavata a partire dai valori di accelerazione misurati lungo l'asse x. Viceversa, il valore di inclinazione ottenuta da misure di accelerazione lungo l'asse z ha riscontrato degli errori non accettabili; questa difficoltà relativa all'uso dell'asse z è in parte giustificata dal fatto che per le prime variazioni di inclinazione, il valore di accelerazione lungo z rimane inferiore al limite strumentale di risoluzione dell'accelerazione. Si è, inoltre, notato che all'aumento di inclinazione lo scarto ottenuto con il metodo relativo all'asse x tende ad aumentare; viceversa lo scarto ottenuto con il metodo relativo all'asse z tende a diminuire. Con il metodo a due assi si sono ottenuti scarti leggermente maggiori rispetto al metodo con asse x, ma si è riscontrato il vantaggio di poter impiegare le accelerazioni anche quando uno dei due assi raggiunge il limite di risoluzione.

Considerando tutte le variazioni angolari impostate durante la prova sperimentale, lo scarto tra i valori angolari reali e quelli misurati, ossia determinati attraverso le misure di accelerazione misurate mediante la componente lungo l'asse x, è pari a circa 0.05 gon, intendendo questo valore come quello medio tra le tre diverse UF. Viceversa, impiegando il metodo biassiale per gli stessi dati sperimentali si raggiunge un valore di scarto assoluto di 0.08 gon. In ogni caso stimando, almeno in prima approssimazione, un valore di precisione strumentale dei sensori UF SMAMID intorno a 0.07 gon, è possibile affermare in via preliminare che, in termini medi, sia il metodo monoassiale lungo l'asse x che il metodo biassiale forniscono valori di inclinazione comparabili con quelli imposti al teodolite.

Ciò consente di affermare che il metodo biassiale è utile per variazioni angolari che possono coprire l'intero range di misura dell'inclinazione. Al contrario per piccole variazioni di angolo dovrebbe essere sufficiente applicare il metodo monoassiale, considerando l'asse meno soggetto alla componente di gravità, perché affetto da errore inferiore.

⁵ Si è considerato l'errore di lettura del teodolite molto più piccolo dell'errore di accelerazione della UF.

⁶ Scala a 2 g, 3 assi, frequenza di campionamento di 40 Hz.

L'applicazione di questi metodi ad una rete di accelerometri (inclinometri) di tipo SMAMID consentirebbe un approccio multisensore e distribuito con i vantaggi della connessione wireless e dell'alimentazione a batteria; pertanto esso potrebbe costituire un interessante sistema di misura in ambito geomatico anche per il monitoraggio di fenomeni a lenta variabilità, quali le frane.

Restano però da approfondire alcuni aspetti relativi all'errore ed alla precisione di tali metodi di elaborazione, al fine di comprenderne i limiti e ottimizzarne le applicazioni. In quest'ottica saranno svolte a breve ulteriori campagne di prova orientate a misurare su un intervallo di inclinazione più esteso e ad impiegare anche altri sensori di inclinazione di tipo tradizionale per una ulteriore comparazione.

Bibliografia

- [1] A. Baldi "M.E.M.S. Micro Electro Mechanical Systems" - DIADI 2000 - Ricerca % Impresa per l'innovazione in Piemonte
- [2] K. Tuck, "Tilt Sensing Using Linear Accelerometers" from Freescale Semiconductor Application Note, AN3461 Rev 1, 05/2007
- [3] S. Nasiri, D. Sachs, M. Maia (InvenSense) "Selection and integration of MEMS-based motion processing in consumer apps" – DSP Design Line
- [4] ST Microelectronics "LIS3LV02DQ: 3-Axis - $\pm 2g/\pm 6g$ digital output low voltage linear accelerometer" - AN2041 Application Note
- [5] Avnet, Silica, Analog Devices "High Performance MEMS Inertial Sensors for Industrial Applications" - from "Best of Sensors Expo 2010"
- [6] STRAGO SPA, S.Infante, Guida all'uso del sistema SMAMID, 2010
- [7] M.G. D'Urso, F.Cavaliere, M. Crespi "Sensori accelerometrici per il monitoraggio in continuo di versanti in frana" - Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA- Brescia, 2010

Ringraziamenti

Si ringrazia la STRAGO Spa per aver messo a disposizione la strumentazione SMAMID per svolgere le prove e la necessaria assistenza nell'impiegare il sistema nelle modalità più indicate ai nostri scopi.

Un ringraziamento particolare va all'ing. Giovanni Mannara per l'attenzione mostrata verso le tematiche di ricerca e la lungimiranza dimostrata nella realizzazione di tali sistemi di misura.