

Indice

| | |
|--|-----|
| Problemi di bilancio <i>Susanna Alberti, Luigi Mussio</i> | 1 |
| La ricostruzione in 3D del sito archeologico di Santa Giulitta a Bagnasco (CN) <i>Walter Alberto, Chiara Devoti, Gabriele Garnero, Paola Guerreschi, Luigi Perotti</i> | 17 |
| L'utilizzo dei sistemi APR nel protocollo irriguo di precisione ALADIN <i>Jacopo Aleotti, Michele Amoretti, Elisa Dall'Asta, Gianfranco Forlani, Riccardo Roncella, Renzo Valloni</i> | 25 |
| Trump, l'America e geopolitica energetica <i>Teresa Amodio</i> | 33 |
| Progetto congiunto della Regione del Veneto e dell'Istituto Geografico Militare Italiano per la creazione di una banca dati toponomastica <i>Alessandra Amoroso, Mauro Bettella, Delio Brentan, Lorena Dalla Pietà, Silvano De Zorzi, Umberto Trivelloni, Giacomo Turini</i> | 43 |
| Il portale forestale del Parco Nazionale della Majella <i>Teodoro Andrisano, Cira Oliviero, Michele Guariniello, Elena Liberatoscioli</i> | 51 |
| I GIS per l'implementazione e la gestione dei dati nei Piani Urbanistici Comunali <i>Antonia Arena</i> | 59 |
| Monitoraggio dinamico della linea elastica di ponti con l'uso di Laser Scanner Terrestre e GNSS <i>Serena Artese, Vladimiro Achilli, Raffaele Zinno</i> | 63 |
| GIS per il paesaggio. Analisi spaziali per la carta del paesaggio comunale <i>Margherita Azzari, Tiziano Brunialti</i> | 65 |
| Sentinel-2 come supporto per il monitoraggio e la gestione di agroecosistemi vinicoli <i>Michele Baldo, Diego Francesco Malacarne, Giovanni Morao, Serena Caldart, Daniele Codato, Federico Gianoli, Salvatore Eugenio Pappalardo, Stefano Menegon, Gabriele Dallago, Massimo De Marchi</i> | 75 |
| Definizione geometrico-semantica in ambiente BIM di un caso reale <i>Davide Barbato, Salvatore Falcone</i> | 83 |
| Correzioni gravimetriche per la rete di livellazione geometrica italiana <i>Riccardo Barzaghi, Daniela Carrion, Renzo Maseroli, Marianna Carroccio, Giovanna Venuti</i> | 91 |
| Il Geoportale dei dati ambientali ARPACal <i>Giovanna Belmusto, Vincenzo Sorrenti, Salvatore Borruto, Antonio Suraci, Antonello Comi</i> | 93 |
| Accuratezza e ripetibilità di blocchi APR con orientamento assistito da GNSS <i>Francesco Benassi, Elisa Dall'Asta, Fabrizio Diotri, Gianfranco Forlani, Umberto Morra di Cella, Riccardo Roncella, Marina Santise</i> | 101 |

| | |
|--|-----|
| L'Informazione Geografica Volontaria (VGI) per la valorizzazione escursionistica dei territori <i>Massimiliano Bencardino, Alfonso Conte, Mita Marra</i> | 109 |
| Informazione geografica, verso la norma UNI di definizione dei profili professionali <i>Laura Berardi, Gabriele Ciasullo, Sergio Farruggia, Antonio Rotundo, Monica Sebillio</i> | 119 |
| Il Paesaggio Fragile - Progettazione smart e antifragilità del territorio <i>Silvia Bernardini, Gianluca Erroi</i> | 127 |
| Significati e trasformazioni di una fascia di confine tra Modena e Bologna <i>Milena Bertacchini, Patrizia Cremonini</i> | 131 |
| Nomi di luogo e aree umide della Toscana. GIS per l'analisi delle variazioni toponomastiche <i>Camillo Berti, Laura Cassi, Paola Zamperlin</i> | 137 |
| Georiferimento di musei e istituzioni similari attraverso l'archivio nazionale degli indirizzi <i>Marina Bertollini, Francesco Di Pede, Silvia Talice</i> | 147 |
| Golfo d'aMare: il sito web al servizio del Golfo di Policastro <i>Amalia Bevilacqua</i> | 155 |
| Un modello per la deformazione geodinamica e la sua relazione con il sistema di riferimento nazionale <i>Ludovico Biagi, Lisa Pertusini</i> | 157 |
| Il dato geospaziale nel contesto Public Safety & Security <i>Michele Boella</i> | 159 |
| Fotogrammetria e strumenti GIS per il monitoraggio dei volumi in discarica <i>Erika Angela Boscolo Bozza, Vincenzo Di Pietra, Andrea Maria Lingua, Maria Angela Musci, Francesca Noardo</i> | 161 |
| Monitoraggio della foce Po mediante multibeam: bathymetry, water column and backscatter data <i>Alessandro Bosman, Nicola Pizzeghello, Ottavio Patulli, Lamberto Lamberti, Giordano Macelloni</i> | 165 |
| Caratterizzazione di fluidi idrotermali presso l'Isola di Zannone mediante water column da multibeam <i>Alessandro Bosman, Eleonora Martorelli, Michela Ingrassia</i> | 167 |
| Sistemi APR per la valutazione e la mappatura di terrazzamenti agricoli abbandonati: il caso di Rio Freddo <i>Stefano Brugnaro, Luca Lodatti, Francesco Ferrarese, Salvatore Pappalardo, Daniele Codato, Massimo De Marchi, Federico Gianoli</i> | 175 |
| La smart governance del verde urbano <i>Brunella Brundu, Ivo Manca</i> | 183 |
| Il BIM per gli edifici storici, potenzialità e criticità. Il caso del Duomo di Parma <i>Nazarena Bruno, Riccardo Roncella</i> | 193 |

| | |
|--|-----|
| <p>Studio geologico-strutturale e modellazione 3D in ambiente GIS: il caso dei bacini marmiferi delle Alpi Apuane <i>Matteo Calorio, Andrea Garattoni, Luisa Vernacchia, Giovanni Massa, Altair Pirro, Paolo Conti, Luigi Carmignani</i></p> | 201 |
| <p>La territorializzazione del rischio idrogeologico. Metodologie per la riduzione dei beni esposti nella pianificazione urbanistica. <i>Federica Caprino, Isidoro Fasolino, Roberto Gerundo, Michele Grimaldi</i></p> | 203 |
| <p>Integrazione tra GIS e approcci multicriteria per l'individuazione del sito di una struttura ospedaliera <i>Caterina Caprioli, Marta C. Bottero, Paola Guerreschi, Franco Vico</i></p> | 207 |
| <p>Un modello di atlante per i <i>landmark</i> minori: aspetti teorici e di implementazione <i>Gianluca Casagrande, Flavia Ruggieri</i></p> | 215 |
| <p>La nuova infrastruttura di acquisizione e distribuzione dati della Rete Integrata Nazionale GPS (RING) <i>Gianpaolo Cecere, Ciriaco D'Ambrosio, Luigi Falco, Michele Di Capua</i></p> | 217 |
| <p>Primi test cinematici con ricevitori GNSS multi-costellazione e dati GALILEO – analisi delle prestazioni <i>Raffaella Cefalo, Eufemia Tarantino, Antonio Novelli, Tatiana Sluga, Agostino Tommasi, Alessandro Capra</i></p> | 231 |
| <p>Immagini oblique acquisite da UAV per il rilevamento architettonico post-emergenza <i>Filiberto Chiabrando, Andrea M. Lingua, Antonia T. Spanò, Stefano Persico, Raffaella Stano</i></p> | 239 |
| <p>Dai DB Geotopografici ai sistemi SINFI e PELL – specifiche condivise a sostegno dell'interoperabilità <i>Gabriele Ciasullo, Leonardo Donnaloia, Antonio Rotundo</i></p> | 247 |
| <p>Pensare il paesaggio. Per una valorizzazione del paesaggio e del suo patrimonio culturale <i>Enzo Cocco</i></p> | 253 |
| <p>Mapping from below: mappatura partecipata della rete ciclabile e delle sue criticità nella città di Padova <i>Daniele Codato, Diego Malacarne, Elena Ghezzi, Salvatore E. Pappalardo, Alberto Diantini, Chiara Artico, Federico Gianoli, Massimo De Marchi</i></p> | 263 |
| <p>Una proposta metodologica basata su dati multi-sorgente per la costruzione della rete ecologica. Il caso dell'Area Metropolitana di Napoli <i>Pietro Compitiello, Mariangela Di Menza, Rita Rumma, Daniel Signorelli, Michele Grimaldi</i></p> | 271 |
| <p>Un database geologico continuo a grande scala per le regioni Emilia-Romagna, Marche, Toscana e Umbria <i>Paolo Conti, Gianluca Cornamusini, Luigi Carmignani, Altair Pirro, Giulia Verdiani, Luisa Vernacchia, Natalie Marsico, Bernadette Meola, Guido Lavorini, Andrea Motti, Marco Pizziolo, Claudia Bettucci, Giovanna Daniele, Norman Natali</i></p> | 273 |
| <p>Pianificare e gestire il processo per l'eliminazione delle barriere architettoniche con gli open geodata <i>Tonino Conti, Luca Marzi, Francesco Stolzuoli, Francesca Sorbatti, Alberto Federici, Matteo Cinti, Margherita Mancini, Federica Befera</i></p> | 281 |

| | |
|--|-----|
| Allineamento del dato toponomastico associato alle unità immobiliari catastali tramite il SIT comunale <i>Tonino Conti, Simone Messersì, Franco Dottori</i> | 291 |
| La sensibilizzazione al ruolo attivo dei cittadini nelle decisioni che riguardano il loro paesaggio: l'esperienza dell'Osservatorio sul Consumo di Suolo della Campania <i>Emanuela Coppola</i> | 297 |
| NarvaloBox: GNSS a basso costo per navigazione di precisione <i>Tiziano Cosso, Marco Fermi, Alessandro Fermi, Alberto Tuozzi</i> | 305 |
| Implementazione di una piattaforma WebGis come supporto alla valorizzazione del patrimonio rurale <i>Domenica Costantino, Maria Giuseppa Angelini, Vincenzo Saverio Alfio, Michele Claveri, Francesco Settembrini</i> | 307 |
| Rilievo 3D e monitoraggio strutturale per l'analisi post-sisma del complesso di S. Nicola a Tolentino (MC) <i>Daniele Costanzo, Filiberto Chiabrando, Renato Lancellotta, Andrea Lingua, Antonino Quattrone, Donato Sabia, Antonia Spanò</i> | 315 |
| Mobile Mapping System per l'analisi del paesaggio visibile dalla rete stradale in provincia di Treviso <i>Davide Crepaldi, Serena Caldart, Federico Gianoli, Salvatore Pappalardo, Daniele Codato, Massimo De Marchi</i> | 325 |
| Un catasto digitale per la conoscenza e la gestione di una complessa realtà istituzionale e immobiliare: il campus universitario di Roma "Tor Vergata" <i>Saverio D'Auria, Rodolfo Maria Strollo</i> | 333 |
| Wave Tour 1.0. "L'Abruzzo in un click" <i>Miguel Davide</i> | 341 |
| Caratterizzazione della superficie stradale mediante tecniche integrate di rilievo <i>Maria Rosaria De Blasiis, Alessandro Di Benedetto, Margherita Fiani</i> | 349 |
| Rilevamento metrico 3D e modellazione H-BIM per la manutenzione programmata del patrimonio architettonico. <i>Matteo Del Giudice, Andrea Lingua, Francesca Matrone, Francesca Noardo, Salvatore Sanna, Marco Zerbinatti</i> | 357 |
| Geomatica e beni culturali: il patrimonio architettonico del comune di Calvera in Basilicata <i>Maurizio Delli Santi</i> | 365 |
| Confini interetnici: il contributo della Geomatica alla ricostruzione degli assetti territoriali di Enotria e Lucania tirrenica fra VI e IV secolo a.C. <i>Elio De Magistris, Alessandro Di Benedetto, Margherita Fiani</i> | 373 |
| Struttura logica della produzione cartografica degli agrimensori romani <i>Elio De Magistris</i> | 381 |

| | |
|--|-----|
| Costruire geo-competenze, apprendimento permanente, lavoro decente, quale ruolo per la GIScience e i Sistemi a Pilotaggio Remoto nella promozione degli obiettivi di sostenibilità al 2030? <i>Massimo De Marchi, Salvatore Pappalardo, Daniele Codato Alberto Diantini, Federico Gianoli</i> | 385 |
| Droni in viticoltura e frutticoltura: geoinformazione per agroecosistemi 4.0 in Veneto e Trentino <i>Massimo De Marchi, Salvatore Pappalardo, Daniele Codato, Luca Lodatti, Serena Caldart, Diego Malacarne, Simone Gatto, Giovanni Morao, Filippo Giannone, Federico Gianoli, Mauro Varotto, Francesco Marinello, Antonio Masi</i> | 393 |
| Interoperabilità per la pianificazione territoriale: l'esperienza della Provincia di Salerno <i>Ivonne de Notaris, Mariarosaria Iannucci, Sara Sammartino</i> | 403 |
| Applicazione GIS/VGI per la gestione ed il controllo del territorio. <i>Luigi De Rosa</i> | 407 |
| SPACE-O – tra ricerca e innovazione tecnologica applicata al telerilevamento e DSS <i>Maria Antonietta Dessena, Paola Buscarinu, Claudia Giardino, Mariano Bresciani, Karin Schenk, Francesca Piras, Andrea Viridis, Loretta Cabras, Daniela Stroppiana</i> | 415 |
| Stima della proporzione di specie forestali decidue sfruttando NDVI <i>Marina D'Este, Francesco Pirotti</i> | 417 |
| Monitoraggio di frane con sensore SAR interferometrico basato a terra <i>Andrea Di Pasquale, Giovanni Nico</i> | 425 |
| Mappe di deformazione e vibrazioni strutturali con sensore SAR interferometrico basato a terra: una nuova tipologia di misure per la modellazione di manufatti tecnologici e culturali <i>Andrea Di Pasquale, Giovanni Nico</i> | 433 |
| Interferometria SAR con sensori satellitari e basati a terra: strategie per la fusione di dati e la stima dei vettori di spostamento <i>Andrea Di Pasquale, Giovanni Nico</i> | 441 |
| Indoor positioning con tecniche Ultra Wide Band: funzionamento, test e risultati <i>Vincenzo Di Pietra, Marco Piras, Paolo Dabove, Ansar Abdul Jabbar, Alì Syed Kazim</i> | 443 |
| La crisi idrica di Roma: la chiusura dei nasoni <i>Andrea Di Somma, Saverio Werther Pechar, Fabio Zonetti, Emanuela Marini, Annalisa Mirabello, Raffaele Mastrolorenzo</i> | 447 |
| Proposta metodologica per la progettazione di traiettorie di avvicinamento ed atterraggio aereo CDA supportata da analisi spaziale in ambiente GIS <i>Vittorio Di Vito, Angela Errico, Claudio Parente, Giovanni Petruzzi</i> | 449 |
| Dinamica recente della caldera dei Campi Flegrei da dati GPS in continuo <i>Mario Dolce, Giuseppe Brandi, Giovanni Scarpato, Prospero De Martino</i> | 457 |

| | |
|---|-----|
| Reti bayesiane per il controllo topografico di spostamenti <i>Maria Grazia D’Urso, Antonella Gargiulo, Salvatore Sessa</i> | 463 |
| La Piazza e la Chiesa di S. Nicola dell’antico borgo medievale di Albe (Massa d’Albe, L’Aquila): ricostruzione tridimensionale <i>Stella Erriu, Antonio Di Rienzo, Riccardo Salvini</i> | 471 |
| Le aree residuali: strategia di mitigazione ambientale ai cambiamenti climatici nella città metropolitana <i>Delia Evangelista</i> | 473 |
| Una metodologia per il calcolo della camminabilità in città: il walk index a Torino. <i>Enrico Eynard, Giulia Melis, Matteo Tabasso</i> | 477 |
| Controllo delle aree irrigate nei Consorzi di Bonifica mediante analisi multi-temporale di dati Sentinel-2. <i>Salvatore Falanga Bolognesi, Oscar Rosario Belfiore, Carlo De Michele, Camillo Mastracchio, Antonio Ferraiuolo, Massimo Natalizio, Guido D’Urso</i> | 483 |
| Stima dei fabbisogni irrigui in Regione Campania da dati di OT mediante metodologia IRRISAT. <i>Salvatore Falanga Bolognesi, Oscar Rosario Belfiore, Carlo De Michele, Ileana Mula</i> | 493 |
| Analisi delle interazioni tra il sistema insediativo e il sistema ambientale: l’approccio HQ-HRA <i>Isidoro Fasolino, Michele Grimaldi, Luca Porfido</i> | 495 |
| La misura della sostenibilità ambientale della struttura urbana <i>Isidoro Fasolino, Roberto Gerundo, Michele Grimaldi, Antonella Santolia, Mariacarmela Milleri</i> | 497 |
| IT e metodologie di analisi del territorio <i>Andrea Favretto</i> | 499 |
| Il crowdsourcing di OpenStreetMap e i progetti wiki in ausilio alle emergenze e ricostruzioni <i>Pierluigi Feliciati, Alessandro Palmas, Lorenzo Perone</i> | 509 |
| L’esperienza operativa dei SAPR nelle attività del CNVVF durante il sisma in Italia Centrale 2016/2017 <i>Franco Feliziani, Onofrio Lorusso, Giulio Bernabei, Andrea Ricci, Matteo Monterosso, Andrea Di Lolli, Mattia Fiorini</i> | 515 |
| La cartografia (e la topografia) dei viaggi di Gulliver <i>Serafina Ferrarelli, Luigi Mussio</i> | 519 |
| Cenni di Geomatica nelle favole di Fedro (ed Esopo) <i>Serafina Ferrarelli, Luigi Mussio</i> | 535 |
| La nuova Infrastruttura Dati Territoriali della Regione del Veneto (IDT-RV 2.0). <i>Massimo Foccardi, Delio Brentan, Monica Cestaro, Giancarlo Zampieri, Umberto Trivelloni, Alessandro Borlo, Massimo Visman</i> | 563 |
| Uso del suolo e rischio idrogeologico: <i>historical GIS</i> e analisi geostorica della Val Bisagno (GE) dal XIX secolo ad oggi <i>Nicola Gabellieri, Antonella Primi</i> | 571 |

| | |
|---|-----|
| Data fusion di dati iperspettrali per lo studio di un'area contaminata nel sud Italia <i>Ciro Galeone, Carmine Massarelli, Valeria Ancona, Raffaella Matarrese, Vito Felice Uricchio</i> | 581 |
| Cartografia e trasformazioni territoriali nel rapporto tra città e mare: l'esempio di Reggio Calabria <i>Sonia Gambino</i> | 589 |
| La Rete Geodetica Costiera della Regione Emilia-Romagna <i>Stefano Gandolfi, Nunzio De Nigris, Maurizio Morelli, Luca Tavasci, Luca Poluzzi, Nicola Cenni</i> | 599 |
| Reading, Accessing, Connecting Cultural Resources of Pozzuoli <i>Carlo Gerundo, Guilherme Nicolau Adad</i> | 605 |
| La costruzione della conoscenza dell'inquinamento da radon nella pianificazione urbanistica <i>Roberto Gerundo, Michele Grimaldi, Alessandra Marra</i> | 609 |
| Toponimi e fruitori per la misura delle attrezzature pubbliche <i>Roberto Gerundo, Michele Grimaldi, Gabriella Graziuso</i> | 617 |
| Il Repertorio Toponomastico Regionale della Toscana strumento per lo studio e il governo del territorio <i>Mariano Gesualdi, Massimiliano Grava, Fabio Lucchesi, Andrea Peri, Umberto Sassoli, Maurizio Trevisani</i> | 623 |
| HERASE: monitorare l'erosione del suolo nelle Alpi con tecniche Geomatiche <i>Marco Gianinetto, Francesco Rota Nodari, Martina Aiello, Federico Frassy, Renata Vezzoli, Francesco Polinelli, Daniele Bocchiola, Giovanni Ravazzani, Maria Cristina Rulli, Chiara Corbari, Andrea Soncini, Davide Danilo Chiarelli, Corrado Passera</i> | 633 |
| Sviluppo di un sistema Web-GIS per l'Early Warning di criticità pluviometrica <i>Susanna Grasso, Luciana Giuzio, Donato Viggiano, Salvatore Manfreda</i> | 641 |
| Il monitoraggio dei servizi ecosistemici a supporto dei processi di governo del territorio. Un approccio basato sull'analisi delle immagini sentinella 2. <i>Michele Grimaldi, Daniel Signorelli</i> | 651 |
| Mappe del passato per il governo del presente. La cartografia storica su CA.STO.RE-Regione Toscana <i>Anna Guarducci, Cinzia Bartoli, Giuseppe Lauricella, Andrea Peri, Umberto Sassoli, Maurizio Trevisani</i> | 653 |
| La sicurezza delle infrastrutture critiche e la condivisione dei dati spaziali in applicazione del principio <i>Once-Only</i> <i>Corrado Iannucci, Monica Sebillo</i> | 661 |
| Fonti informative e tools cartografici per l'analisi del paesaggio costiero. <i>Giorgia Iovino</i> | 673 |
| Un G.I.S. a supporto della redazione dei piani di localizzazione dei nuovi impianti di telefonia mobile <i>Daniela Laudani Fichera, Giuseppe Pulvirenti, Patrizia Spicuzza, Marco Leone</i> | 687 |

| | |
|--|-----|
| Il controllo di qualità nella produzione di cartografia collaborativa: la nuova carta del consumo di suolo della Regione Toscana <i>Cinzia Licciardello, Antonio Di Marco, Diego Palazzuoli, Khalil Tayeh</i> | 689 |
| L'uso di SAPR per la documentazione archeologica: il caso studio del Ponte Rotto ad Apice (Bn) <i>Marco Limongiello, Alessandro Di Benedetto</i> | 697 |
| La pianificazione delle infrastrutture verdi. Un approccio SPATIAL-ANP <i>Isidoro Fasolino, Michele Grimaldi, Emanuele Loffredo</i> | 705 |
| Modello per la simulazione della concentrazione di inquinanti atmosferici <i>Andrea Lugli, Alessandro Seravalli</i> | 707 |
| Geo-datasets ed eterogeneità delle fonti cartografiche originarie: il caso del S.I.T. delle cavità naturali nell'area della Riserva Naturale Integrale "Grotta di Santa Ninfa" (TP) <i>Paolo Madonia, Marco Bracci, Marianna Cangemi, Giulia Casamento, Francesco Paolo Di Trapani</i> | 715 |
| Stima dell'evapotraspirazione reale come supporto operativo per la gestione della <i>water scarcity</i> <i>Ramona Magno, Luca Angeli, Marta Chiesi, Luca Fibbi, Riccardo Mari, Fabio Maselli, Bernardo Gozzini</i> | 721 |
| INSPIRE: verso la vera interoperabilità di una IDT <i>Giacomo Martirano, Fabio Vinci, Stefania Morrone, Olga Caruso</i> | 727 |
| Il SINFI: buone pratiche per la produzione dei dati <i>Giacomo Martirano, Olga Caruso, Fabio Vinci, Stefania Morrone, Calogero Ravenna, Sergio Farruggia</i> | 729 |
| Monitoraggio operativo di un oliveto in Toscana mediante dati satellitari e ausiliari <i>Fabio Maselli, Piero Battista, Marco Bindi, Lorenzo Brillì, Marta Chiesi, Claudia Coccozza, Bernardo Rapi, Maurizio Romani, Roberto Tognetti, Antonio Raschi</i> | 737 |
| Primi risultati delle misure di livellazione nell'area dell'Appennino centrale colpita dal sisma 2016-17 <i>Renzo Maseroli, Nicola Nozzoli, Giacomo Stefanelli</i> | 745 |
| Uso di immagini Sentinel-2 per valutare lo stato trofico delle acque portuali toscane <i>Luca Massi, Fabio Maselli, Caterina Nuccio, Maurizio Pieri Chiara Melillo, Claudia Rossano, Simone Gambineri, Felicità Scapini, Luigi Lazzara</i> | 751 |
| Rilievo fotogrammetrico a scala urbana dei fossi di Livorno <i>Antonio Mati, Laura Montioni</i> | 753 |
| Metodologie di gestione dei Big Data applicate alla conoscenza e alla tutela tessuti storici urbani: la Città di Iglesias. <i>Sergio Mocchi, Marco Piras, Nicola Utzeri</i> | 761 |
| Procedure di condivisione dei dati catastali nella pubblica amministrazione della Regione Sardegna <i>Massimiliano Molinari, Stefano Lobina, Samir Villani, Valentina Flore</i> | 769 |

| | |
|---|-----|
| Il contributo operativo della geomatica nel monitoraggio dei ghiacciai alpini <i>Umberto Morra di Cella, Elisa Dall'Asta, Fabrizio Diotri, Gianfranco Forlani, Michel Isabellon, Riccardo Roncella</i> | 779 |
| Mappatura 3D del torrente Aposa <i>Fabio Negroni, Gualtiero Parmeggiani</i> | 781 |
| Estrazione automatica di DTM da DSM fotogrammetrici mediante Convolutional Neural Networks (CNN) <i>Francesco Nex, Claudio Persello, Caroline Gevaert, George Vosselman</i> | 789 |
| Identificazione automatica degli edifici danneggiati da immagini UAV mediante Convolutional Neural Networks (CNN) <i>Francesco Nex, Diogo Duarte, Norman Kerle, George Vosselman</i> | 791 |
| La sanità in tempi di crisi: i GIS a supporto della riorganizzazione e razionalizzazione dei servizi sanitari <i>Daniela Nuvolone, Simone Bartolacci, Marco Santini, Fabio Voller</i> | 793 |
| Valutazione della mobilità di persone usando GPS e openata per convalidare caratteristiche di quartieri <i>Matilde Oliveti, Stefan van der Spek, Wilko Quak</i> | 795 |
| Il sistema delle aree Parco della Regione Campania <i>Maria Paladino</i> | 803 |
| Informatizzazione del Piano Comunale delle Coste della Città di Tricase secondo gli standard regionali previsti ai fini della verifica di conformità con la pianificazione sovraordinata <i>Marco Palazzo, Donato Rausa, Vito Ferramosca, Nives Foggetti</i> | 811 |
| Modelli digitali a supporto della valorizzazione del patrimonio ipogeo. Un caso studio <i>Lia Maria Papa</i> | 821 |
| Applicazione di algoritmi per l'analisi geomorfica quantitativa in ambiente QGIS. Primi risultati ottenuti su un insieme di bacini italiani <i>Francesco Pasanisi, Sergio Grauso, Carlo Tebano, Marcello Grillini</i> | 829 |
| Gavardo 3D: un esempio di modellazione integrata di dati secondo CityGML (e la sua estensione Energy ADE) <i>Alice Pasquinelli, Giorgio Agugiaro</i> | 837 |
| Monitoraggio della linea di riva attraverso dati satellitari e modelli <i>Massimo Perna, Giovanni Vitale, Carlo Brandini, Enzo Pranzini</i> | 845 |
| BAF Index e mappatura del consumo di suolo a Padova: quantificazione e simulazione di scenari alternativi <i>Francesca Peroni, Stefano Brugnaro, Marco Sozzi, Edoardo Crescini, Salvatore Pappalardo, Daniele Codato, Federico Gianoli, Alberto Lanzavecchia, Massimo De Marchi</i> | 853 |
| OPS Osservatorio Paesaggio Suolo <i>Valeria Petrosino, Michele Grimaldi, Emanuela Coppola</i> | 861 |

| | |
|--|-----|
| Indici multitemporali per la descrizione delle trasformazioni dell'area metropolitana di Roma <i>Silvia Pili</i> | 863 |
| Sperimentazione di una metodologia per la stima del potenziale solare in un centro storico <i>Stefano Pili</i> | 865 |
| L'impiego della cartografia fiscale ottocentesca per lo studio delle aree umide costiere del pisano <i>Sergio Pinna, Massimiliano Grava</i> | 875 |
| Analisi preliminare dei raw data da ricevitori smartphone GPS/GALILEO <i>Gabriele Pirazzi, Augusto Mazzoni, Ludovico Biagi</i> | 883 |
| Cartografia e gamification: la web-application GeoBes <i>Antonina Plutino, Stefano Di Tore</i> | 889 |
| Uso di camere aeree nadirali per l'acquisizione di immagini semi-oblique <i>Daniela Poli, Kjersti Moe, Klaus Legat, Isabella Toschi, Fabio Remondino</i> | 897 |
| Effetti ambientali indotti dai terremoti : il caso di studio di alcune località colpite dal sisma del 1980 <i>Sabina Porfido, Giuliana Alessio, Germana Gaudiosi, Rosa Nappi, Efisio Spiga</i> | 899 |
| Centri storici ed hazard sismico : il caso della città di Napoli <i>Sabina Porfido, Giuliana Alessio, Germana Gaudiosi, Rosa Nappi, Efisio Spiga</i> | 907 |
| Paesaggi fluviali padani: storia, culture e rappresentazione. Il progetto RIFRA <i>Matteo Proto, Marco Dubbini</i> | 915 |
| Rischio Ambientale e funzioni produttive. Una metodologia hazard-based per la definizione di scenari di rischio <i>Sabrina Raimondi, Michele Grimaldi, Vincenzo Pellecchia</i> | 923 |
| Identificazione del miglior algoritmo per determinare il LAI da Landsat-8 in assenza di dati di verità a terra <i>Paola Regina, Francesco Bevilacqua, Raffaella Matarrese, Ivan Portoghese, Andrea Guerriero</i> | 925 |
| Confronto tra GML e geoJson nelle applicazioni web-gis client-side <i>Umberto Robustelli, Giovanni Pugliano</i> | 933 |
| Ischia Map – La mappa con i sentieri per Ischia <i>Ciro Romano, Liliana Annunziata, Raffaele Costantino, Raffaele Maiese, Ernesto Pizza</i> | 935 |
| Il sistema di monitoraggio dei movimenti dello stadio G. Meazza di Milano - San Siro <i>Fabio Roncoroni, Alfredo Cigada, Luigi Barazzetti, Mattia Previtali</i> | 937 |
| Un modello di AMC spaziale per la definizione di strategie di intervento per gli oliveti abbandonati <i>Massimo Rovai, Simona Bonelli, Maria Andreoli, Laura Fastelli</i> | 939 |
| Geomatica, paesaggi storici e fruizione sostenibile: il caso di <i>Beneventum</i> | 947 |
| <i>Alfonso Santoriello, Alessandro Terribile</i> | |

| | |
|---|------|
| Il rilievo del Monastero della SS. Trinità <i>Alfredo Maria Santoro, Davide Sica</i> | 955 |
| PULSE: Piattaforma collaborativa per lo sviluppo di un ambiente urbano sostenibile <i>Francesca Sapia, Andrea Pogliaghi, Nicomino Fiscante</i> | 961 |
| Rappresentazione delle elaborazioni geospaziali per i piani di View Management. Il caso di Livorno <i>Matteo Scamporrino, Antonio Mati, Laura Montioni, Alessio Di Donato</i> | 963 |
| Potenzialità e usi sperimentali dei rilievi LiDAR in ambiente GIS per l'analisi dell'impatto visivo degli elementi naturali e antropici in ambito urbano: il caso del Porto di Livorno <i>Matteo Scamporrino</i> | 971 |
| L'ultima rivoluzione della cartografia: le rappresentazioni digitali <i>Giuseppe Scanu</i> | 975 |
| Osservazioni preliminari su alcune mappe della Sardegna spagnola <i>Giuseppe Scanu, Cinzia Podda, Gianluca Scanu</i> | 987 |
| Unione sistemi d'assi catastali d'origine Provincia di Salerno e utilizzo mappe d'impianto <i>Antonio Sica</i> | 1007 |
| Integrazione di dati da laser scanner e fotografia digitale per la modellazione tridimensionale di un manufatto architettonico <i>Eufemia Tarantino, Grazia Caradonna, Giovanni Abate, Michele Curuni, Antonio Novelli, Alessandro Capra</i> | 1015 |
| Utilizzo delle immagini UAV a supporto della pianificazione territoriale <i>Giuseppina Vacca, Andrea Dessi, Alessandro Sacco</i> | 1025 |
| La cartografia storica dei Consorzi di bonifica: recupero, analisi e valorizzazione <i>Alice Vacilotto, Daniele Codato, Elisabetta Novello</i> | 1033 |
| Stima automatica della vulnerabilità intrinseca di un acquifero. Applicazione del metodo SINTACS con strumenti software GIS <i>Luisa Vernacchia, Enrico Guastaldi, Altair Pirro, Simone Febo, Francesco Petrolo</i> | 1041 |
| INSPIRE e la pianificazione spaziale: perché parlarne <i>Franco Vico</i> | 1049 |
| Utilizzo del GIS partecipativo come approccio per la gestione del rischio da eventi estremi <i>Domenico Vito</i> | 1057 |
| Data fusion e associazione in dati provenienti da crowdmapping <i>Domenico Vito</i> | 1067 |
| Il Contratto di Costa quale strumento innovativo per il governo del territorio. Il litorale Campania Sud <i>Marcellino Vitolo</i> | 1073 |

| | |
|---|------|
| Sulle orme di Baldacci: una nuova scheda per il censimento di unità storico-cartografiche <i>Chiara Weiss</i> | 1081 |
| Mappe d'impianto catastale, una risorsa storico-cartografica georeferenziata: applicazioni pratiche per l'analisi delle trasformazioni territoriali <i>Fabio Zonetti, Roberta Tozzo</i> | 1089 |
| Un approccio critico alla pianificazione urbanistica comunale. Il caso della regione Umbria. <i>Francesco Zullo</i> | 1097 |
| La dimensione "europea" del Mezzogiorno pre-unitario. Le analisi territoriali degli ingegneri del Regno di Napoli, tra esigenze di sviluppo e sostenibilità <i>Silvia Siniscalchi</i> | 1106 |

Reti bayesiane per il controllo topografico di spostamenti

Maria Grazia D'Urso^(a), Antonella Gargiulo^(b), Salvatore Sessa^(c)

^(a) 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;
duroso@unicas.it;

^(b) Ingegnere -Formia (LT); antonellagargiulo85@gmail.com;

^(c) Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples Federico II, Via Claudio 21, 80125 Napoli, sal.sessa@gmail.com

Abstract: Le reti bayesiane sono il risultato della convergenza tra la Metodologia Statistica Bayesiana e la legge di probabilità. In questo lavoro si generalizza la metodologia bayesiana, introducendo la possibilità di considerare contemporaneamente spostamenti di più punti di una struttura e correlazioni tra tutte le osservabili coinvolte. Dopo aver richiamato alcune nozioni di teoria, su cui si basano gli sviluppi metodologici della teoria bayesiana, si definiscono le assunzioni fondamentali che permettono di rappresentare in modo efficiente la distribuzione di probabilità congiunta di un insieme di variabili e il processo di inferenza probabilistica, ovvero, il calcolo delle probabilità di un evento che coinvolge variabili del dominio condizionatamente a qualsiasi altro evento. Successivamente si applica la logica delle reti bayesiane ad un caso di studio rappresentato dallo schema strutturale di una capriata metallica "a forma di vela", su cui è stato impostato uno schema di rete bayesiana per un'analisi di previsione degli abbassamenti dei nodi della capriata. Tali abbassamenti nodali, determinati nell'analisi degli effettivi abbassamenti misurati nel corso di due distinte campagne di misure, vengono confrontati con gli spostamenti previsti da progetto. Al termine del processo inferenziale è nota, in ciascun nodo della rete bayesiana, la maggior probabilità che si verifichi uno spostamento stimato da progetto.

1. Introduzione

Il controllo di spostamenti di un'infrastruttura, delle deformazioni o movimenti lenti di porzioni di terreno può essere eseguito ripetendo, periodicamente, campagne di misure topografiche e determinando le differenze fra le posizioni di target fissati in punti predefiniti alle diverse epoche. Come è noto dalla teoria del trattamento delle osservazioni, è necessario adottare opportuni metodi statistici per verificare la significatività delle differenze ottenute, ossia occorre verificare che esse siano effettivamente dovute a spostamenti e non ad errori di misura.

Per tener conto delle informazioni "a priori" riguardanti gli spostamenti di insieme dovuti al processo di deformazione, si può adottare un approccio di tipo bayesiano, che permette di introdurre ipotesi a priori che rendono questo metodo statistico capace di rilevare eventuali movimenti significativi in anticipo rispetto all'analisi statistica classica. Con un approccio bayesiano si potrebbe, in un problema di controllo, ridurre il numero delle ripetizioni di osservazioni necessarie ad individuare uno spostamento.

Le reti bayesiane, in congiunzione con le tecniche statistiche Markov Chain e Monte Carlo utilizzate per risolvere una rete bayesiana, facilitano l'associazione fra la rappresentazione del dominio, la conoscenza "a priori" e i dati. Tale conoscenza "a priori" del dominio è importante, specialmente quando i dati sono scarsi o la loro acquisizione è particolarmente onerosa sotto un profilo economico. L'uso di reti bayesiane permette di risolvere problemi simili anche quando non è disponibile nessun esperimento al riguardo.

Per ottenere le relazioni tra i dati bisogna conoscere la struttura della rete (structure learning) e apprenderne i parametri (parameter learning).

In particolare l'obiettivo di questo lavoro è lo sviluppo del metodo cosiddetto di "apprendimento automatico" delle reti bayesiane da un set di dati derivanti da rilievi topografici di alta precisione.

L' "apprendimento automatico", noto in letteratura come "machine learning", si occupa della realizzazione di sistemi e algoritmi che si basano su osservazioni che vengono utilizzate come input in una rete probabilistica per conoscere la probabilità di accadimento di altre variabili interessate. Questo processo viene chiamato in letteratura "processo inferenziale" e permette, quindi, di determinare l'aggiornamento (a posteriori) della distribuzione di probabilità per una o più variabili del dominio basandosi sui valori noti a partire dalle osservazioni.

2. Rete bayesiana per un caso studio

Lo studio tecnico di reti bayesiane è stato applicato su un caso reale rappresentato da una rete geometrica di spostamenti di una struttura di copertura metallica. Il punto di partenza dello studio è stato fornito da due campagne di misure topografiche, la prima eseguita il 28 febbraio 2015 e la seconda il 22 marzo 2015, relative alla determinazione di spostamenti dei nodi di una struttura in fase di realizzazione, rappresentata da una copertura metallica "a forma di vela" di uno spazio adibito ad uso sportivo.

Realizzata in acciaio, ampia circa 40 m x 50 m, è costituita da un'orditura primaria di travi in acciaio costituita da 9 correnti in profili tubolari a sezione quadrata e puntoni verticali in piatti sagomati. La carpenteria metallica è completata da un'orditura secondaria in profili a sezione quadrata realizzata con 13 correnti e da nodi di collegamento. Di seguito si riporta lo schema geometrico assonometrico sui cui nodi numerati sono state effettuate le sessioni di misure topografiche. I rilievi sono stati effettuati in corso di realizzazione dell'opera, al termine dell'installazione delle orditure in acciaio, al fine di valutare gli spostamenti che si verificavano per il solo effetto del peso proprio della struttura e di controllarli con i risultati del modello di calcolo.

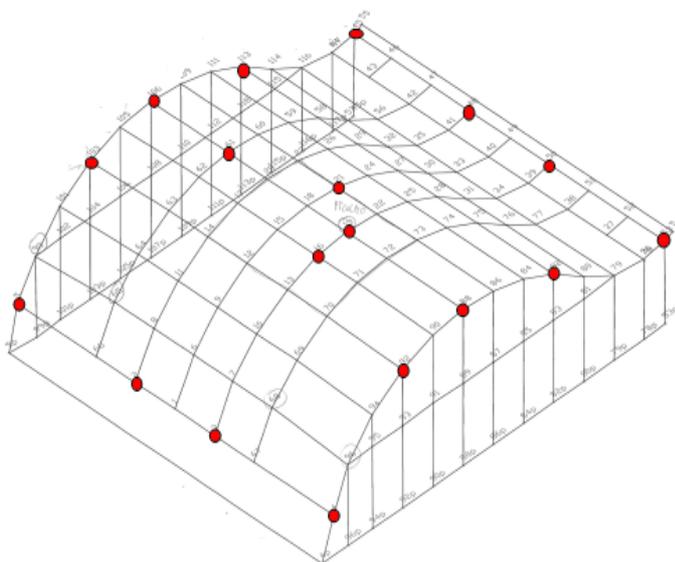
In corrispondenza dei nodi sono stati posizionati 94 target, riportati in Figura 2 (b), e di ciascun punto sono stati misurati distanza ridotta e angoli azimutale e zenitale.

Tuttavia la rete, oggetto di analisi bayesiana, è costituita soltanto da 18 punti considerati i più critici ed evidenziati in rosso nella Figura 3 (a): di questi 14 sono disposti lungo il perimetro della capriata e 4, invece, sulle due travi di colmo.



Figura 2 – Struttura (a) e Target posizionati in corrispondenza dei nodi della struttura metallica oggetto di studio (b)

Lo schema geometrico analizzato è stato oggetto di attività di rilevamento topografico ad alta precisione con impiego di una stazione totale robotizzata Leica TPR 305, una stazione totale con innovative tecnologie ottiche ed elettroniche. Il problema è stato semplificato assumendolo monodimensionale, e cioè valutando i soli spostamenti verticali; quindi sono state trascurate, le correlazioni tra le posizioni planimetriche dei vertici materializzati della rete. Dalle misure di angoli azimutali, zenitali e distanze sono state calcolate le coordinate nodali.



| Target | Z _{Febbraio} [m] | Z _{Marzo} [m] |
|--------|------------------------------|---------------------------|
| 5 | 2.104862 | 2.044688 |
| 103 | 6.699921 | 6.641457 |
| 106 | 7.547846 | 7.486530 |
| 113 | 6.186326 | 6.127835 |
| 45 | 3.984066 | 3.938086 |
| 48 | 3.961980 | 3.904306 |
| 50 | 3.964270 | 3.910218 |
| 53 | 4.016172 | 3.951600 |
| 82 | 6.191537 | 6.132470 |
| 88 | 7.537745 | 7.483738 |
| 92 | 6.678969 | 6.619585 |
| 4 | 2.101707 | 2.045437 |
| 3 | 2.139384 | 2.079672 |
| 2 | 2.139901 | 2.079416 |
| 61 | 7.550593 | 7.496081 |
| 21 | 7.428238 | 7.357290 |
| 19 | 7.541229 | 7.458407 |
| 16 | 7.396085 | 7.314307 |

| Δ | Δz _{Febbraio} [m] | Δz _{Marzo} [m] | Δu [m] |
|-----------|-------------------------------|----------------------------|-----------|
| Δ 103-5 | 4.595059 | 4.596769 | 0.001710 |
| Δ 106-103 | 0.847925 | 0.845073 | 0.002852 |
| Δ 113-106 | 1.361521 | 1.358695 | 0.002826 |
| Δ 45-113 | 2.202260 | 2.189749 | 0.012511 |
| Δ 48-45 | 0.022086 | 0.033780 | 0.010694 |
| Δ 50-48 | 0.002291 | 0.005912 | 0.004621 |
| Δ 53-50 | 0.051902 | 0.041383 | 0.010519 |
| Δ 82-53 | 2.175364 | 2.180870 | 0.005505 |
| Δ 88-82 | 1.346209 | 1.351268 | 0.005060 |
| Δ 92-88 | 0.858779 | 0.864153 | 0.005377 |
| Δ 4-92 | 4.577262 | 4.574148 | 0.003114 |
| Δ 3-4 | 0.037677 | 0.034234 | 0.003443 |
| Δ 2-3 | 0.000517 | 0.000256 | 0.000773 |
| Δ 5-2 | 0.035039 | 0.034748 | 0.000311 |
| Δ 61-106 | 0.002747 | 0.009551 | 0.006804 |
| Δ 21-61 | 0.122355 | 0.138791 | 0.016436 |
| Δ 19-21 | 0.112991 | 0.101117 | 0.011874 |
| Δ 16-19 | 0.145144 | 0.144100 | 0.000944 |
| Δ 88-16 | 0.141660 | 0.169431 | 0.010199 |

Figura 3 – (a) Rappresentazione assonometrica dello schema geometrico della rete; (b) Variazioni quote dei target.

Poiché si è posta l'attenzione solo sugli spostamenti verticali della struttura, si riportano nella tabella di figura 3 (b) i valori delle coordinate z dei target ricavate dalle misure relative alle sessioni di misura di febbraio e di marzo; le variazioni in quota tra punti della rete, Δ, e, infine, gli spostamenti differenziali ottenuti come la differenza tra le variazioni in quota ottenute dalle due sessioni di misura:

$$\Delta u = \Delta z_{\text{febbraio}} - \Delta z_{\text{marzo}}$$

2.1 Costruzione della rete bayesiana

I passi fondamentali nella costruzione di una rete di tipo bayesiano sono la definizione della struttura dei legami fra le variabili e, in seguito, la definizione delle probabilità condizionate fra i nodi.

Tutte le variabili del modello sono caratterizzate da una distribuzione di probabilità relativa ai possibili stati. Tale distribuzione può essere definita a priori qualora la variabile in oggetto non abbia "variabili parents" (genitori); diversamente viene definita come probabilità condizionata. Le variabili indipendenti sono quelle che appaiono nella facciata del software GeNIe di elaborazione delle probabilità congiunte di più variabili; le altre sono interne e non visibili all'utente.

Pertanto i nodi che hanno maggior probabilità di verificare uno spostamento atteso da progetto saranno quelli per i quali viene imposta l'evidenza costituita dagli spostamenti misurati durante le due campagne di osservazioni. La Figura 4 (a) rappresenta schematicamente la "Bayesian Network" costruita sull'anello di rilevazione; lì dove compaiono i tratteggi, mancano altri nodi che vengono numerati di conseguenza.

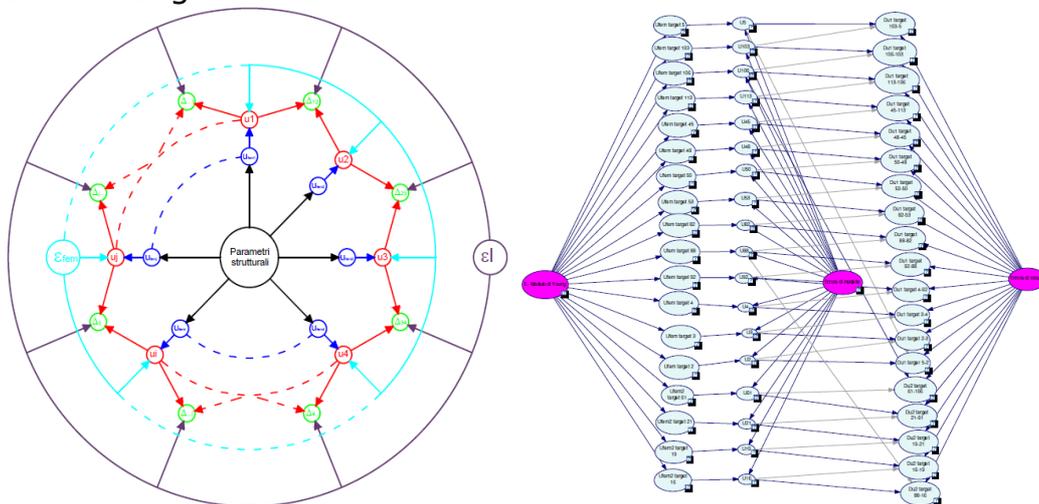


Figura 4 – (a) Schema della rete bayesiana; (b) Struttura del modello creato su GeNIe 2.0

Nel network sono rappresentate le variabili generali denominate "parents" corrispondenti a: *parametri strutturali* (colore nero) che comprende il modulo di Young, peso specifico dei profili, parametro di efficacia dei collegamenti (varia tra 0 ed 1), carichi esterni che modellano parti secondarie montate e non (ad esempio i rivestimenti); *errore di modello dell'analisi agli elementi finiti* ε_{fem} (colore azzurro) che serve per tener conto del fatto che il modello matematico è un'approssimazione della realtà. Questa variabile ha una distribuzione gaussiana con media 1 e coefficiente di variazione (dev. standard/media) pari al 30% ed è un moltiplicatore che trasforma lo spostamento matematico u_{femi} nello spostamento vero u_i ; *errore della misura topografica* ε_l (colore viola), legato ad imprecisioni dello strumento di misura e alle condizioni ambientali in cui si effettuano i rilievi. È un moltiplicatore che come il precedente presenta una distribuzione gaussiana con valore di media 1 e coefficiente di variazione del 5%. Vi sono, inoltre, le variabili aleatorie derivate (chiamate in letteratura "child - children", variabile figlio) che

corrispondono a: *spostamenti teorici calcolati con gli elementi finiti* (colore blu); *spostamenti reali della struttura* (rosso) che derivano da quelli agli elementi finiti e dall'errore di modello; *spostamenti differenziali rilevati* (colore verde) ovvero le letture topografiche grezze che derivano dagli spostamenti veri e dall'errore di lettura. Quest'ultime sono le "evidenze" della Bayesian Network. Il modello così costruito risulta composto da 53 nodi, collegati da 59 archi, per un totale di 215 stati e 33000 parametri.

In Figura 4 (b) si riporta lo schema delle relazioni fra le variabili generatrici nel software GeNIe: i nodi in rosa sono i nodi parents da cui partono gli archi, invece quelli color celeste chiaro sono i nodi children in cui l'arco termina.

Ogni variabile è caratterizzata da un insieme di stati che la variabile stessa può assumere. Nel caso di variabili *parents* a ciascuno stato corrispondono delle probabilità assegnate, PDF - *probability density function*, e sono definite per mezzo della funzione gaussiana.

Nella Figure 5 si riportano gli andamenti delle funzioni di densità di probabilità dei parametri modulo di Young e degli errori di modello di calcolo e di misura.

Nella rete bayesiana ciascuna dipendenza fra variabili, indicata da una freccia, rappresenta la distribuzione della probabilità condizionata che descrive la "verosimiglianza" relativa di ciascun valore del nodo "figlio" e calcolata su tutte le possibili combinazioni dei valori delle variabili "genitore".

Le probabilità condizionate mettono in relazione lo stato della variabile parent e quello della variabile child e sono stimate sia sulla base della conoscenza dei metodi di calcolo semplificativi, come, ad esempio, il metodo degli elementi finiti FEM, sia sulla base di opportuni algoritmi che permettono di elaborare una grande mole di dati, come ad esempio il generatore Monte Carlo.

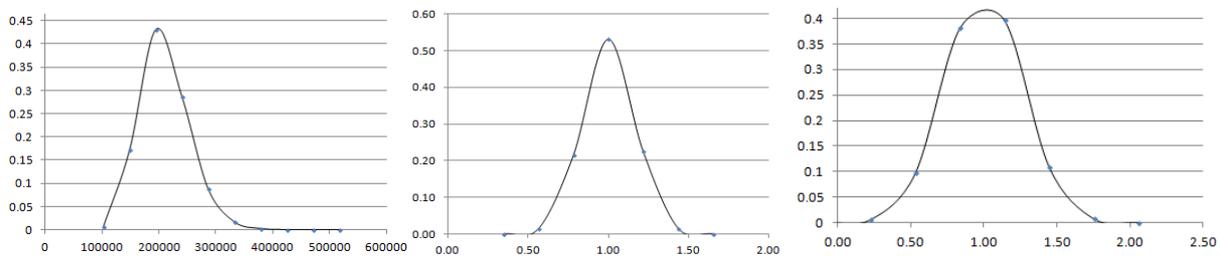


Figura 5 (a) PDF Modulo di Young; (b) PDF Errore di modello; (c) PDF Errore di misura.

Le variabili "child" hanno, quindi, densità di probabilità condizionata, JPDP - *junior probability density function*, ignote sicchè esse sono state ricavate numericamente con il metodo Monte Carlo. Schematicamente il processo si articola nei seguenti step: si generano n stati delle variabili *parents* con la generazione casuale di Matlab, secondo le PDF assegnate; per ogni stato si esegue l'analisi strutturale e si calcolano gli spostamenti teorici; si calcolano gli spostamenti reali applicando l'errore di modello; si stimano gli spostamenti differenziali applicando l'errore di misura; alla fine si ottengono n stati per ciascuna variabile (nodo del network); si determinano le JPDP analizzando statisticamente i risultati e Matlab automaticamente ne esegue il conteggio.

Le probabilità condizionate degli spostamenti teorici calcolati con il metodo degli elementi finiti (FEM) dipendono dallo spostamento e dal modulo di Young. Le probabilità condizionate degli spostamenti reali, invece, dipendono dallo spostamento, dall'errore di modello e dal corrispondente spostamento u_{fem} .

Infine la probabilità condizionata degli spostamenti reali dipende dallo spostamento differenziale, dall'errore di misura, dagli spostamenti u dei due punti che si stanno considerando per lo spostamento differenziale.

Le PDF e le JPDF in forma di tabelle servono per caricare la "Bayesian Network. A questo punto, fissando come evidenza il valore degli spostamenti differenziali misurati, il network aggiorna le PDF e le JPDF di tutte le variabili del sistema. È, quindi, possibile conoscere la maggior probabilità che si verifichi un determinato valore di spostamento reale e spostamento teorico stimato con il metodo degli elementi finiti in ciascun punto della rete geometrica analizzata.

3. Analisi dei risultati e conclusioni

Al termine del processo inferenziale in corrispondenza di ciascun nodo della rete bayesiana è disponibile una tabella che rappresenta l'andamento delle distribuzioni di densità di probabilità. Nella Figura 6 (a) si riassumono i valori degli spostamenti attesi e le loro probabilità a posteriori calcolate dal software GeNIe.

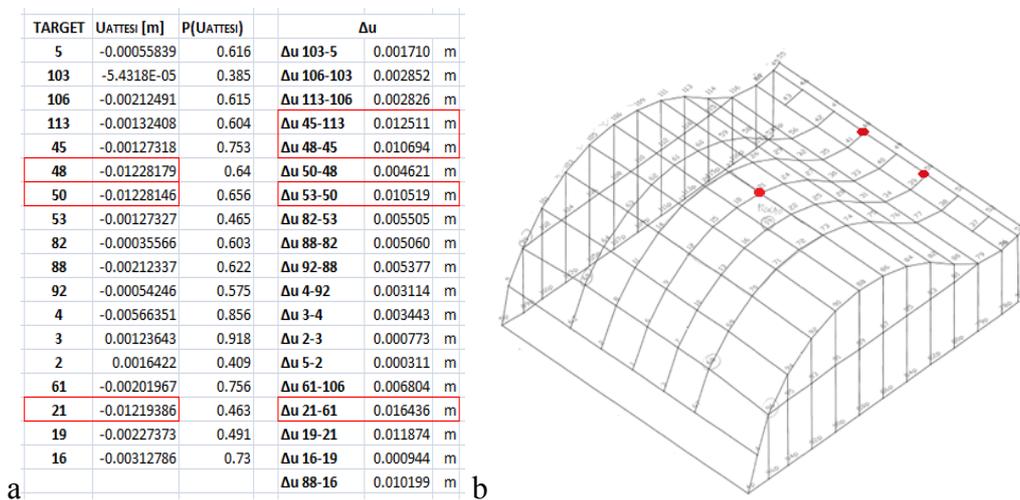


Figura 6 (a) Confronto tra gli spostamenti misurati e quelli attesi; (b) Nodi con spostamenti anomali.

In corrispondenza degli spostamenti differenziali misurati di valore maggiore, evidenziati in rosso, si registrano, con probabilità più alta, valori di spostamenti u maggiori di un centimetro relativi a nodi appartenenti alla trave di colmo.

Tali spostamenti superiori al centimetro sono stati rilevati anche in corrispondenza di due nodi disposti lungo il perimetro della capriata, in particolare lungo il corrente in cui il reticolato primario di travi incontra una serie di pilastri. In Figura 6 (b) si ripropone lo schema strutturale della copertura metallica in cui si evidenziano in rosso i vertici che hanno verificato un maggior cedimento. Al termine del processo inferenziale il software GeNIe ha restituito le maggiori probabilità a cui sono stati associati i corrispondenti valori di spostamento. In particolare i nodi 48, 50 e 21 hanno verificato uno spostamento di circa 1.2 cm corrispondente rispettivamente a probabilità pari al 64%, 65,6% e 46,3%. La maggior probabilità indica il grado di affidabilità che si verifichi un determinato cedimento in corrispondenza del nodo considerato. Infatti per alcuni target si hanno valori di probabilità molto alti,

viceversa altri presentano probabilità inferiori al 50% che si verifichino abbassamenti attesi. Si dovrebbe generare un maggior numero di simulazioni Monte Carlo in modo tale da aumentare il numero di stati per ciascuna variabile e, quindi, associare ad essa una probabilità "a posteriori" maggiore, affinché si ottenga per tutti i vertici della copertura metallica una maggior affidabilità che si verifichi un cedimento strutturale atteso da progetto.

4.1 Conclusioni

Nel caso studio affrontato una rete bayesiana, implementata su una copertura metallica, ha permesso di valutare con precisione millimetrica spostamenti nodali in alcuni vertici della struttura considerati tra i più critici.

Già dai dati ottenuti dalle osservazioni con impiego di strumentazione ad alta precisione si è riscontrato che i maggiori spostamenti differenziali si sono verificati in corrispondenza delle travi di colmo della copertura, dovuti al peso proprio della struttura stessa, e in corrispondenza di alcuni vertici posti lungo il perimetro della struttura nelle sezioni ove le travi incontrano i pilastri. Su quest'ultimi la causa dello spostamento era dovuto a un difetto di montaggio dei bulloni in fase di assemblaggio. Il vantaggio della rete così strutturata è che si possono confrontare tali valori con quelli attesi da progetto; infatti al termine del processo inferenziale in ciascun nodo della rete bayesiana risulta nota la probabilità che si verifichi uno spostamento stimato da progetto. I nodi che hanno verificato maggior criticità sono stati il nodo a cui corrisponde il target 21 con uno spostamento pari a 1.22 cm e i nodi contraddistinti con target 48 e 50 aventi entrambi subito uno spostamento pari 1.23 cm.

La rete bayesiana, inoltre, permette di offrire una previsione accurata dei cedimenti che potranno verificarsi anche in tempi successivi; in questo caso occorre cambiare la struttura del network. Avendo a disposizione osservazioni di spostamenti differenziali in due tempi differenti t_1 e t_2 , si potrà scegliere se creare due strutture differenti di rete e al termine dei loro processi inferenziali confrontare i dati, oppure se mantenere un'unica struttura e imporre, come evidenza del processo, la differenza tra i due spostamenti differenziali nel tempo.

Tuttavia vi è una limitazione caratteristica delle reti bayesiane: la loro capacità di modellare variabili casuali e strutturarle implica che la rete stessa diventi densamente collegata.

Infatti quando si combinano tra loro variabili casuali con modelli che coinvolgono variabili aleatorie aggiuntive, il calcolo computazionale e le richieste di memoria della rete bayesiana risultante aumentano esponenzialmente con il numero dei nodi inseriti nella rete. Se gli algoritmi di inferenza esatta diventano computazionalmente impegnativi, una possibile alternativa sono gli algoritmi approssimati, ovvero quegli algoritmi che si basano sul principio di verosimiglianza come la catena di Markov-Monte Carlo. Infatti si stanno sviluppando metodi approssimati per superare questa difficoltà cercando di minimizzare il numero di collegamenti della rete bayesiana.

La metodologia della rete bayesiana è, comunque, un potente strumento soprattutto per attività di controllo e monitoraggio in ambito strutturale ed ambientale, in quanto assicura un sistema affidabile che deve essere aggiornato in continuo con l'ausilio di osservazioni di spostamenti consentendo

di lavorare su uno stesso livello. Infine le reti bayesiane per la loro struttura gerarchica e per la logica che sta alla base della procedura di calcolo si prestano bene anche per essere implementate in sistemi GIS spazio-temporale.

Riferimenti bibliografici

Bensi M., Der Kiureghian A., Straub D. - *Bayesian network modeling of correlated random variables drawn from a Gaussian random field* - Structural Safety, 2011.

Cárdenas I.C., Al-jibouri S.S., Halman J.I. - *A Bayesian Belief Networks Approach to Risk Control in Construction Projects* - University of Twente, The Netherlands, 2012.

Chizhova M., Korovin D., Gurianov A., Brodovskii M., Brunn A., Stilla U., Luhmann T. - *Probabilistic reconstruction of the orthodox churches from precision point clouds using Bayesian network and cellular automata* - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Nafplio, Greece, 1 - 3 March 2017.

D'Urso M.G., Russo P., Sessa S. - *Sull'impiego del monitoraggio geomatico per la stima dei parametri nei modelli di calcolo degli spostamenti strutturali* - Atti della 16^a Conferenza Nazionale ASITA, Vicenza, vol. I, 523-530, 2012.

Horney M. - *Bayesian Networks* - Technical Report n. 5 Boston University - 2014

Jensen F.V., Nielsen T.D. - *Bayesian Networks and Decision Graphs* second edition - Springer Science + Business Media LLC, 2007 - ISBN-10: 0-387-68281-3

Murphy K.P. - *Dynamic Bayesian networks: representation, inference and learning* - PhD thesis, University of California, Berkeley, 2002.

Niculita O., Skaf Z., Jennions I.K. *The Application of Bayesian Change Point Detection in UAV Fuel Systems* ScienceDirect, Procedia CIRP 22, 115-121, 2014.

Sansò F., De Lacy M.C. - *The Bayesian Approach Applied to Significant Deformation Identification - Geodetic Deformation Monitoring From Geophysical to Engineering Roles*, Springer - International Association of Geodesy Symposia Vol. 131, 19-29 - March 17-19, 2005.

Sessa S., D'Urso M.G. - *Employment of Bayesian networks for risk assessment of excavation processes in dense urban areas* - Safety, Reliability, Risk and Life-Cycle Performance of Structures & Infrastructures - Eds: Deodatis, Ellingwood & Frangopol, 2013 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00086-5; 3163-3169.

Straub D. - Part J *Modeling with Bayesian Networks* - Lecture Notes on Engineering Risk Analysis - Technische Universität München, 2010.

Tanir E., Felsenstein K., Yalcinkaya M. - *Using Bayesian methods for the parameter estimation of deformation monitoring networks* - Natural Hazards and Earth System Sciences, 8, 335-347, 2008.

Yu Xin, Wen Zongyong, Zhu Zhaorong, Xia Qiang, Shun Lan - *Remote sensing image classification applied to the first national geographical information census of China* - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B7, 2016 - XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic 12 - 19 July 2016.