

TECNICHE DI RILIEVO 3D IN TERRITORI COMPLESSI CON ZONE AD ELEVATO RISCHIO IDROGEOLOGICO. CONDIVISIONE IN RETE DI DATASET AD ALTA RISOLUZIONE (DERIVATI DA DATI LIDAR)[†]

3D SURVEYING TECHNIQUES IN COMPLEX TERRITORIES WITH ZONES AT HIGH HYDROGEOLOGICAL RISK. WEB SHARING OF HIGH-RESOLUTION DATASETS (DERIVED FROM LIDAR DATA)

**Giorgio Paolo Maria Vassena^{*}, Tiziana Chiamone^{*}, Raffaella Gabriella Rizzo^{*},
Luca Simone Rizzo^{**}, Paolo Tizzani^{***}**

Riassunto

Uno dei principali effetti indotti dai cambiamenti climatici osservabili nel territorio nazionale è la localizzazione di fenomeni meteorologici di eccezionale intensità in aree ristrette. Accade che disastri naturali (quali alluvioni e inondazioni) stiano assumendo in molte zone d'Italia – ma non solo – una periodicità assai più elevata rispetto al passato. Il contributo descrive una prima applicazione di condivisione in rete di *dataset* ad alta risoluzione (derivati da dati LiDAR) impiegata in aree di studio della Regione Veneto caratterizzate da un significativo rischio idrogeologico, nonché dai conseguenti dissesti territoriali. Nello specifico la ricerca propone una nuova modalità di gestione di dati 3D (nuvole di punti, *mesh* ...), di trasmissione e di visualizzazione degli stessi via internet. Si ritiene che tale tecnologia possa essere considerata uno strumento di rapido supporto alle decisioni e al tempo stesso di archiviazione e consultazione *ex post* dei dati raccolti in fase critica. Il valore aggiunto desumibile dal primo caso *test* delle provincie di Verona e Vicenza (cfr. esondazioni dei Torrenti Tramigna, Alpone, Aldegà e Chiampo del 2010) risiede nella rapidità di integrazione tra il rilievo 3D dell'area oggetto dell'evento calamitoso e i diversi livelli informativi disponibili.

Parole chiave: LiDAR, *laser scanner*, *point cloud*, *streaming*, rischio idrogeologico, *governance* territoriale, Regione Veneto

Abstract

One of the main consequences of climate changes in Italy is the occurrence of meteorological phenomena of outstanding intensity in small areas. In many of them natural disasters (floods and flash

† Il contributo è stato realizzato come ampliamento del lavoro presentato alla 16^a Conferenza Nazionale ASITA del 2012 (www.asita.it). Lo scritto è il risultato della stretta collaborazione tra gli autori sotto la supervisione del Prof. Giorgio Paolo Maria Vassena. Si desidera, comunque, precisare che Raffaella Gabriella Rizzo ha steso i paragrafi 1 e 6, Luca Simone Rizzo i paragrafi 2 e 3.1.

* Università degli Studi di Brescia, Dip. di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e Matematica;

** Università degli Studi di Padova, Centro interdipartimentale di Ricerca e Servizi "Giorgio Lago";

*** Università degli Studi di Torino, Dip. di Produzioni Animali, Epidemiologia ed Ecologia.

floods, for instance) are becoming more frequent. The paper aims at describing a first attempt to apply a high resolution dataset web sharing tool (using LiDAR data) to case study areas located in the Veneto region. Such areas are characterized by a high hydrogeological risk and by territorial instability. Our research suggests a new way of managing 3D data (point clouds, mesh..) as well as of transmitting and visualizing them via internet. Such a technology represents a flexible tool allowing to rapidly support decisions and store/consult ex-post data obtained in crucial phases of the phenomena studied.

Our research provides a general and enabling methodology for a rapid integration of 3D surveys of areas involved in disasters (in our case the one hit by the autumn 2010 floods caused by the Torrenti Tramigna, Alpone, Aldegà and Chiampo) and different available layers. The added value of our proposal, gathered from the first tests carried out on the Provinces of Verona and Vicenza, lies in this and in the quick interrogation of data and interactions.

Keywords: *LiDAR, laser scanner, point cloud, streaming, hydrogeological risk, environmental governance, Veneto Region*

Introduzione

Negli ultimi decenni si sta assistendo ad un intensificarsi dei fenomeni legati a disastri ambientali quali alluvioni, inondazioni (Bogardi, 2010; Llasat, 2010; de Vries, 2011; te Linde, Bubeck et al. 2011) indotti dai cambiamenti climatici che comportano la localizzazione di fenomeni meteorologici di eccezionale intensità in aree ristrette. Birkmann evidenzia come nell'ultimo trentennio i costi sia in termini di danni economici che di vite umane abbiano subito un incremento pari a circa sei volte (Birkmann, 2006). Anche te Linde, quasi a sostegno delle stime di Birkmann, sostiene: "storms and floods¹ are the most frequent and costly extreme weather events occurring in Europe, representing 69% of the overall natural catastrophic losses" (te Linde, Bubeck et al., 2011, p. 459). Tale tendenza è il portato di varie concause tra le quali il cambiamento climatico globale e il cambiamento nell'uso del suolo con la sua notevole "artificializzazione", argomenti sui quali il dibattito in campo tecnico e scientifico è diventato negli ultimi vent'anni assai più intenso². Ecco allora che *concept* chiave quali *vulnerability*, *risk*³, *hazard*, *susceptibility*, *resilience* (Shaw e Sharma, 2011), *hazardscape* (De Vries, 2011), *riskscape* (Kahan, Crozier, 2009), *disaster risk reduction* (DRR), *climate change adaption* (CCA), *soil sealing*, *preservation of resources and of soil functions*, *environmental sensitive area* (ESA) (Ndubisi, DeMeo, Ditto, 1995), ... rientrano ormai appieno nel corrente linguaggio scientifico internazionale utilizzato da esperti delle discipline più varie quali l'ingegneria, l'idraulica, la geotecnica, la pianificazione urbanistica e, non da ultima, la geografia.

Uno degli effetti in campo tecnologico di tale situazione è l'incremento di interesse nei riguardi delle tecnologie innovative che permettano il rilievo rapido e ad alta risoluzione del territorio. Tale strumento risulta indispensabile nella gestione delle emergenze e dei piani di intervento. In tale

¹ Queste ultime sono il punto di partenza di questo contributo.

² Si pensi alla creazione di gruppi di lavoro, banche dati ed eventi quali ad esempio: l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon, Qui, et al., 2007), il *Climate Change Expert Group* (CCXG) dell'OECD (<http://www.oecd.org/env/cc/climatechangeexpertgroupccxg.htm>), la *Commission dell'International Geographical Union* "Hazards and risk" (<http://www.bio.mie-u.ac.jp/~haruyama/igu/>), la *World Conference on Disaster Reduction* (Kobe – Japan, 2005; <http://www.unisdr.org/2005/wcdr/wcdr-index.htm>), l'*International Disaster Database* (<http://www.emdat.be>), etc.

³ Sui concetti di vulnerabilità e rischio (*hazard* e *risk*) si rimanda all'interessante panoramica di Birkmann nel capitolo "Measuring vulnerability to promote disaster-resilience societies: conceptual frameworks and definitions", *op. cit.* e agli articoli che compaiono sulle riviste "Disaster prevention and management" e "Global environment change".

scenario le tecnologie LiDAR ricoprono un ruolo importante avendo introdotto un nuovo dato rilevato: la nuvola di punti nello spazio. La caratteristica di tale informazione è l'elevata risoluzione e, di conseguenza, la pesantezza del dato e l'impossibilità (fino ad oggi) di visualizzarlo, interrogarlo e condividerlo in rete. Viene qui introdotto il risultato della sinergia esistente tra l'Università degli Studi di Brescia e la società spin-off Gexcel s.r.l. (Brescia). Essa viene applicata al caso test di seguito esposto che illustra come sia possibile condividere via rete nuvole di punti georeferenziate, *mesh* e modelli digitali del terreno (senza limiti di dimensioni). Inoltre, dimostra come su tali nuvole o superfici si possano visualizzare la cartografia *raster* CTR e/o gli strati informativi provenienti da sistemi informativi geografici, nonché effettuare il calcolo di volumi, distanze e aree. Da ultimo, è di interesse la possibilità di estrarre via rete immagini ortografiche, immagini solide (gestibili in ambiente CAD), piante e sezioni. Viene, infine, presentato un test allo stadio iniziale per la determinazione di aree soggette ad esondazione sulla base delle quote dei livelli ortometrici.

Si tratta, dunque, di un'innovativa modalità di gestione e condivisione delle informazioni nonché di un approccio nuovo di supporto alle decisioni. Utenti vari, connessi via rete, possono interrogare il dato spaziale multirisoluzione e multiplatforma (Goswami *et. al.*, 2013), effettuare analisi condivise e procedere in remoto allo scarico del dato.

Dopo aver fornito un inquadramento dell'area oggetto di studio (§2) e una spiegazione del perché essa sia oggi un "laboratorio" da studiare, si provvede a descrivere i *dataset* utilizzati (§3). Ci si addentra poi nell'illustrazione del modello di lavoro (§4), cui seguono alcune note conclusive.

2. Il bacino idrografico del torrente Alpone tra le provincie di Verona e Vicenza. Un inquadramento geografico

Un territorio esempio di quanto descritto in introduzione è quello della Regione Veneto, come testimoniato dagli eventi alluvionali del 2010 nel Veronese, Vicentino e Padovano (Regione Veneto, 2011). Gli studi degli autori sono inerenti in particolar modo al Veronese orientale/Vicentino occidentale e hanno implicato – e tuttora comportano – una continua raccolta e produzione di dati della più varia natura, nonché l'analisi che ne consegue (Manzoni, Rizzo R.G., 2006; Rizzo L.S., Rizzo R.G., Tizzani, 2012). Data la consistente mole di dati usati e prodotti (cfr. §2.1), ci si sofferma – ai fini di questo scritto – sull'elaborazione di un modello di lavoro che coinvolge il bacino idrografico del Torrente Alpone riferito appunto all'omonimo torrente ed anche ai Torrenti Tramigna, Aldegà e Chiampo (Figura 1).

Accingendosi a descrivere in modo sintetico la trama territoriale che connota tale zona, se ne evince immediatamente la complessità. È un'area caratterizzata – soprattutto nella sua parte meridionale – da un importante nodo idrografico frutto di continui interventi realizzati da oltre 600 anni (Milani, 1939, p.16; Rizzo L.S. *et al.* 2011⁴; Sambugaro, 2012⁵). L'intrico di confluenze rappresentato in Figura 1 è stato, infatti, documentato a più riprese nelle carte storiche (Priori, 1995). In passato, addirittura, il Chiampo aveva un altro andamento e non scorreva verso sud dal Vicentino piegando ad ovest in territorio veronese: fluiva, piuttosto, solo nel primo (territorio vicentino) e presto confluiva nell'Agno

⁴ Si fa riferimento alla relazione *Environmental emergencies and territorial governance: hydro-geological risk and the socio-economic consequences of the floods in the eastern part of the Province of Verona, Italy* di Rizzo L.S., Rizzo R.G., Sambugaro G. e Tizzani P. tenuta in occasione del Terzo Congresso EUGEO 2011 "Geography's Stake in Europe: People, Environment, Politics" a Londra (29-31 agosto 2011).

⁵ Ci si riferisce alla relazione "L'alluvione tra Soave e Monteforte d'Alpone: un disastro annunciato?" di Gianni Sambugaro tenuta durante l'incontro *1970-2010: rischio idrogeologico e meccanismi di gestione del territorio nell'Est Veronese* svoltosi presso l'Accademia di Agricoltura Scienze e Lettere di Verona il 30 marzo 2012.

(allora indicato come Le Gue)⁶. Non si tratta solo di carte in atlanti o fogli con rappresentazioni relative anche ai corsi d'acqua, o a scale più grandi relative a lavori di intervento idraulico di riparazione resi necessari a causa di fatti metereologici e/o di rischio idrogeologico. Non si tratta nemmeno solo di carte di "normale diversione" idrica per usi agricoli, molto frequenti nella documentazione archivistica riguardante la territorializzazione della società caratterizzante la villa veneta riconosciuta come unità di base agro-capitalista della società terriera durante il periodo veneziano. Ci si riferisce anche a carte militari ad oggi funzionali per una lettura diacronica del territorio che permette di esaminare uno spessore temporale al fine di comprendere meglio i ricorrenti, ed ancora irrisolti⁷, problemi legati alla idrologia della zona. Tali cartografie erano dovute a rilevamenti cruciali per la predisposizione di battaglie per continui avanzamenti e retrocessioni di fronti di guerra napoleonici e austriaci che in quest'area hanno definito parti delle sorti delle loro potenze (Priori, *op. cit.* p. 90 e seguenti).

Oggi questo "nodo" viene ad incastrarsi in un punto di "permeabilità europea" continentale est/ovest creatasi alla fine degli anni '90 dopo l'apertura dei flussi di comunicazioni ad est in una altrettanto significativa rete infrastrutturale. La zona d'indagine, infatti, è localizzata lungo il Corridoio Europeo n.5 (Lisbona-Kiev) ed è attraversata dall'autostrada A4 Milano/Venezia, dalla linea ferroviaria Torino/Venezia, dalla SRI I nel tratto Verona-Vicenza, nonché da un dedalo di vie di comunicazione minori regionali, provinciali e locali (Figura 1).

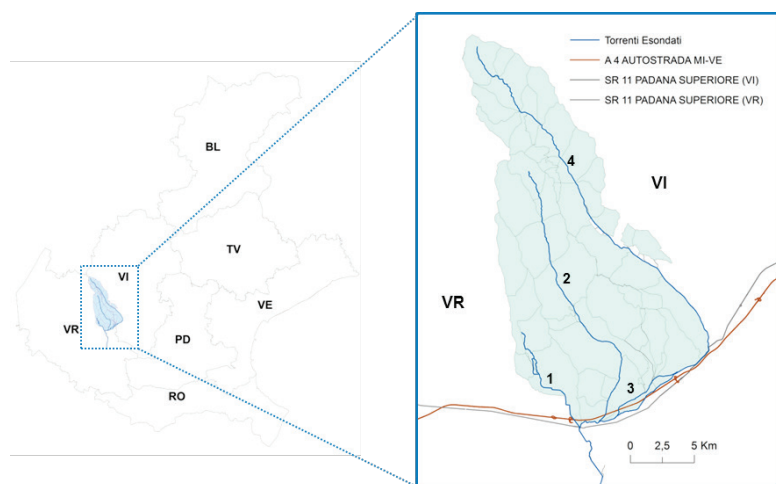


Fig. 1 – Il bacino del Torrente Alpone (in azzurro nell'immagine di sinistra) a cavallo tra la provincia di Verona e quella di Vicenza. Da ovest ad est si vede come il Torrente Tramigna (1) sia un tributario del Torrente Alpone (2) nel quale confluisce da est il Torrente Chiampo (4) nel quale, a sua volta, si immette il Torrente Aldegà (3). A nord il bacino del Torrente Alpone inizia sui Monti Lessini e fa parte del loro settore terminale dove questo si risolve in una zona collinare frastagliata in più valli a ventaglio (o quasi parallele) che si attestano nell'alta pianura facendo convergere i torrenti uno nell'altro. A sud il bacino è coinvolto dalla viabilità principale (A4 Milano-Venezia e SRI I Verona-Vicenza)

Fonte: elaborazione di R.G. Rizzo, 2013.

⁶ Si veda in: Priori *Carte Nouvelle du Territoire de Vicenza*, p. 89.

⁷ Cfr. l'articolo dal titolo "Case e strade allagate torna l'incubo alluvione. "È una vergogna"" del 8 maggio 2013 nel quotidiano L'Arena e gli altri articoli dei giorni successivi. Mentre si sta ultimando la revisione di questo scritto i corsi d'acqua sono ingrossati e si sono verificate nuove esondazioni (16-17 maggio 2013).

Mezzi pesanti provenienti da tutti i Paesi dell'Europa orientale transitano nelle arterie maggiori e minori dislocate nell'area oggetto di studio. Sono diretti ai Balcani e impegnati in percorsi di sola andata o di andata e ritorno. Spesso proseguono oltre gli Urali, diretti in Asia Minore o nel Middle East, attraversando il Bosforo. Oggetto del trasporto: merci e unità di carico. Un nodo, dunque, cruciale a scala prettamente locale e regionale per il Veneto, ma significativo anche nella geografia economica nazionale, continentale e extra-continentale. Questo fa sì che il territorio in oggetto diventi per il nostro paese certamente un punto di forza. Un evento difficilmente controllabile da parte dell'uomo lo può, però, trasformare repentinamente in un collo di bottiglia e di conseguenza in una debolezza (Figura 2).

Quest'intreccio di vie di comunicazione si innesta in uno scenario paesaggistico di pregio, in particolare nei territori a nord della fascia della SRI I Verona-Vicenza (Figura 3).



Fig. 2 – Lavori di ripristino e rinforzo lungo il Torrente Tramigna all'interno dell'abitato di Soave. Nell'alluvione del 2010 aveva invaso con le sue acque l'edificio sulla sinistra nell'immagine: parte bassa dell'Hotel Roxy.
Foto: L.S. Rizzo, 2011.



Fig. 3 – L'immagine mostra un classico scenario paesaggistico delle vallate dell'Est veronese caratterizzato dalla monocoltura specializzata a vigneto. In questo caso si tratta di una veduta della piana di Soave nell'omonimo comune. Sullo sfondo la città murata di Soave dominata dal castello con le dorsali degradanti – sempre principalmente a vigneto – dei Lessini.
Foto: Rizzo L.S., 2005.

Lungo tale asse si è sviluppata una sequenza di aree produttive industriali e terziarie con imprese di diversa tipologia. A titolo esemplificativo, si citano qui il distretto termo-meccanico con il Gruppo Ferroli (multinazionale di origine veronese), il settore dolciario da ricorrenza, imprese della grafica, dei forni per panificazione e pasticceria e quelle appartenenti alla filiera del distretto viti-vinicolo, con due realtà di trasformazione con migliaia di soci: il Gruppo Collis e la Cantina di Soave (Rizzo L.S., 2009). Quest'ultimo *cluster* ha dato vita negli anni ad un paesaggio a monocoltura viticola famoso a livello internazionale che si stende nella parte pedecollinare delle dorsali parallele e degradanti dai Monti Lessini, le quali poi si aprono a ventaglio verso la pianura. Tale area è, inoltre, ricca di beni culturali e di *heritage* (anche minore) quali la città murata di Soave, ville venete di pregio, il palazzo vescovile di Monteforte d'Alpone, l'abbazia di Villanova.

3. Dataset del caso di studio

I dati utilizzati nelle ricerche citate (cfr. §2) e nell'implementazione della metodologia proposta sono multi-sorgente: sono quindi stati prodotti da attività realizzate con strumenti e modalità tecniche da parte di Enti e Istituzioni diverse e/o dagli stessi autori, e assumono contenuti differenti. I dati si presentano dunque in diverse forme, risoluzioni e accuratezze (i.e. con multi-risoluzione). Si ritiene di conseguenza opportuno fornire dettagli tecnici sulle differenti tipologie di *dataset* ed una loro breve descrizione.

3.1 Dataset territoriali e le Carte Tecniche Regionali della Regione Veneto⁸

Come indicato nel paragrafo 2 gli autori hanno studiato i fenomeni di esondazione che hanno interessato i Torrenti Aldegà, Alpone, Chiampo e Tramigna nell'autunno del 2010 e nella primavera del 2011. L'analisi ha focalizzato in particolare sulle dinamiche relative all'uso/copertura del suolo nelle aree studiate tra il 1984 e il 2011 e sul come esse abbiano contribuito ad aggravare la vulnerabilità di contesti territoriali per l'appunto ad alto rischio idrogeologico. Nel tentativo di far emergere *pattern* e tendenze si sono analizzati vari *dataset*, prestando attenzione a limitare il confronto diretto essendo banche dati caratterizzate da diversa risoluzione e scala: a) il *database* regionale sull'uso del suolo (riclassificato dagli autori a livello 1 e 3 con ricalcolo delle aree); b) la banca dati Corine Land Cover (1990, 2000, 2006)⁹. Implementando una procedura di *overlay* topologico si è stimata la portata del passaggio di classe dei poligoni evidenziando l'accentuarsi sia del modellamento artificiale del suolo (anche e soprattutto in aree a scarsa permeabilità) sia dell'antropizzazione. Si è, inoltre, prodotto uno strato informativo puntuale sugli elementi di *heritage* presenti in tali zone, editandolo sulla CTR *raster* in scala 1:10.000 della Regione Veneto. Questo al fine di classificare i differenti siti in base a criteri distanziometrici/orografici ed effettuare un'analisi del rischio di (potenziali) danni da evento alluvionale (questo è stato fatto sia per i siti *heritage* e sia per le ville venete). Il risultato ha rappresentato un complemento rispetto a quanto sopra descritto, essendo i siti esaminati localizzati per lo più in aree ad alta densità di "costruito".

⁸ <http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Sistema+Informativo+Territoriale+e+Cartografia/Accedi+al+GeoPortale.htm>. Per i singoli metadati si confronti l'*Infrastruttura dei Dati Territoriali del Veneto – Catalogo dei Dati (IDT)*.

⁹ Si veda il sito <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/coperturasuolo> per i dettagli tecnici del progetto CLC e dei dati prodotti.

3.2 Dati LiDAR e modelli digitali del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Il dataset fornito per lo studio dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare¹⁰ è costituito da:

- *Digital Terrain Model (DTM)*,
- *Digital Surface Model (DSM, first e last)*
- nuvole di punti

I dati sono in formato .asc (DTM, DSM) e .xyz (nuvole di punti) secondo il sistema di riferimento GCS-WGS 84. I DTM e DSM presentano una maglia di restituzione di 1 m x 1 m in quote ortometriche. I dati sono caratterizzati da un'accuratezza altimetrica di ± 15 cm e planimetrica di ± 30 cm (1s); il livello di confidenza è al 95% ($\approx 2s$) ± 40 cm.

Nel modello di studio qui descritto si è scelto di utilizzare i dati DTM e LiDAR relativi al bacino veronese e vicentino dei quattro torrenti sopracitati (Figura 1), ad implementazione dei lavori svolti in precedenza dagli autori (Figura 4).

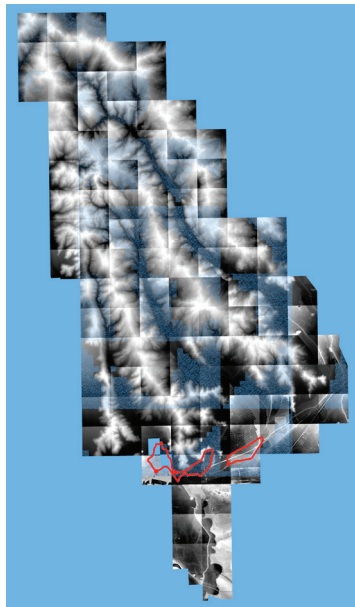


Fig. 4 – I DTM delle aree comprendenti il bacino idrografico preso a caso di studio. L'immagine mostra la loro sovrapposizione con le aste dei torrenti Tramigna, Alpone, Aldegà e Chiampo (in blu) e con perimetro delle aree esondate durante gli eventi dell'autunno del 2010 nei comuni di Soave, Monteforte d'Alpone e San Bonifacio.

Fonte: elaborazione di Chiamone, 2013.

¹⁰ Nello specifico la Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche, Geoportale Nazionale, Piano Straordinario Telerilevamento. Per quanto concerne l'uso del dato per questo specifico studio, i DTM (per motivi di tempo) ci sono stati forniti riprocessati in WGS84 – UTM 32N da Geomatica e Ambiente s.r.l., spin-off dell'Università degli Studi di Padova.

4. Metodo ed elaborazione dei dati

Come anticipato in precedenza, scopo principale di questa analisi è testare una metodologia innovativa che permette di utilizzare e interrogare grandi moli di dati tridimensionali via rete (Vassena, 2012), avvalendosi di un trattamento dati dedicato.

I *dataset* a disposizione sono dati LiDAR, DTM, DSM, immagini della CTR e dei livelli grafici estratti dallo *shape* file delle zone sotto studio. Essi sono di tipo vettoriale e *raster* con estensioni .shp, .dxf, .tiff, .png, .asc, .aux, .xyz e *datum* diversi. Un primo aspetto critico ha riguardato la necessità di rendere i dati omogenei e interoperabili per poterli gestire con i diversi applicativi, in particolare per ciò che riguarda il sistema cartografico di riferimento. Tale operazione ha richiesto una trasformazione degli *shape* poligonali in polilinee con estensione .dxf (lo strato informativo del bacino idrografico ad esempio) con un passaggio di sistema di riferimento da ROMA/40 OVEST a WGS84-UTM32N. Per tali attività si sono sfruttati, a fasi alterne, gli applicativi ArcGIS Desktop (ESRI), AutoCAD e AutoCAD Map 3D.

Il trattamento delle nuvole di punti LiDAR ha richiesto l'importazione nel *software* JRC 3D Reconstructor, unitamente ai DTM. Le dimensioni dei *file* a nuvola di punti costituiscono un notevole ostacolo alla gestione e rappresentazione delle informazioni geometriche. Da notare che i soli dati LiDAR, DTM e DSM hanno complessivamente un volume di circa 80 GB.

L'integrazione dei modelli tridimensionali con i prodotti derivati dai vari livelli informativi ha comportato l'importazione nello stesso ambiente dei *dataset* regionali e di quelli creati *ad hoc* dagli autori sugli eventi alluvionali e sul *heritage* sopra citati, relativi alle aree soggette a dissesto idrogeologico.

Le nuvole di punti possono essere "colorate" mediante immagini digitali, in modo che ogni punto appartenente alla nuvola assuma la colorazione della porzione di immagine corrispondente (ad esempio, le fotografie di un'area). Procedimento analogo può essere applicato alle *mesh* derivate dal modello digitale del terreno, ottenendo in tale modo una rappresentazione continua e sfruttando le immagini a disposizione nella loro piena risoluzione. Nel progetto, alle nuvole sono state sovrapposte le polilinee in formato CAD (.dxf). Le polilinee sono state importate direttamente in JRC 3D Reconstructor e, grazie alla conservazione delle informazioni geografiche, sono state istantaneamente unite al modello digitale del terreno e ai dati LiDAR. Una metodologia differente è stata, invece, adottata per i livelli informativi disponibili in formato immagine (.png, .bmp, .jpg): in questo caso è risultata necessaria un'operazione di proiezione delle stesse su *mesh* create dalle nuvole di punti. Completate queste fasi è stato possibile esportare gli *output* delle elaborazioni precedenti all'interno del *software* "gexcel R³".

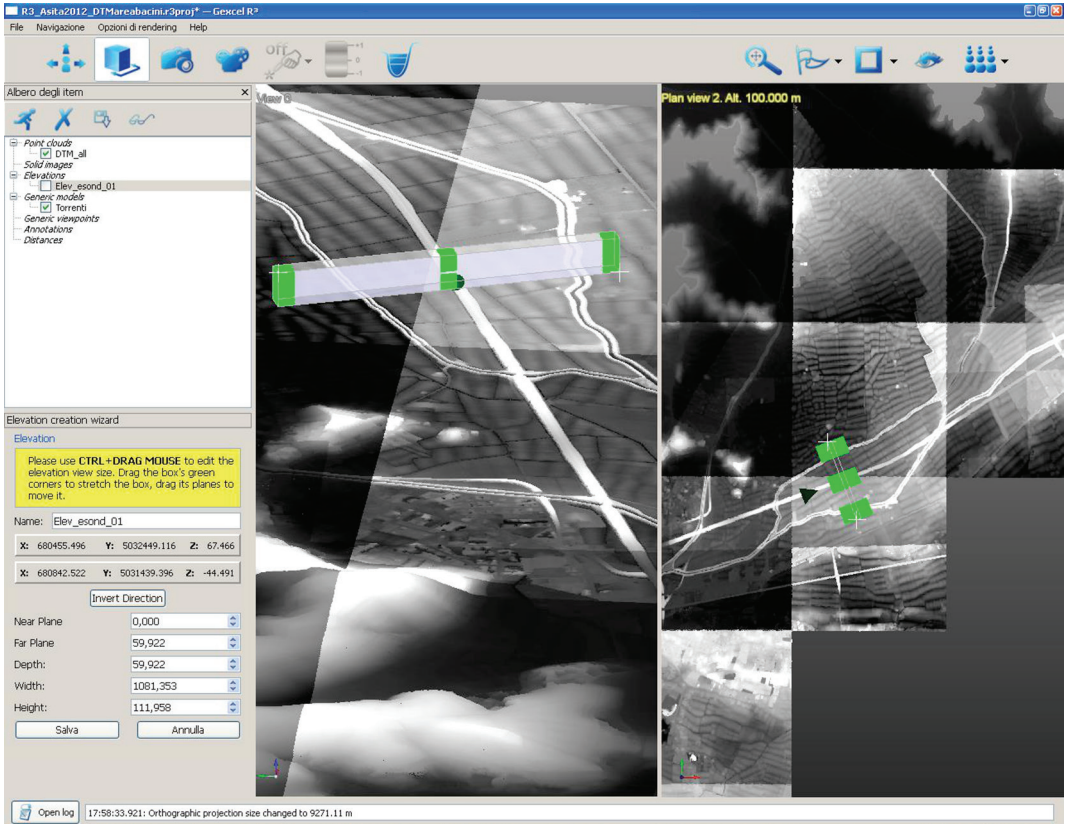
5. Visualizzazione e gestione dati ad alta risoluzione in remoto

L'importanza dell'impiego di uno strumento in grado di gestire agevolmente tali entità assume ancora maggior rilievo considerando la necessità di gestire dati di diversa origine e struttura, quali *mesh*, modelli digitali del terreno, nuvole di punti (in diversi formati tra cui .e57, .asc, .txt ed estensioni di case produttrici di strumenti *laser*), immagini provenienti da *shape* file, file in formato .dxf, ecc... .

Il *software* "gexcel R³" è basato sulla tecnologia Gexcel Xtream in grado di visualizzare, navigare e interrogare nuvole di punti senza limite teorico di dimensioni. La più recente versione di questo applicativo permette, inoltre, di condividere via rete il dato, costituito da nuvole di punti, *mesh*, ma anche da immagini e file vettoriali in formato .dxf.

Durante la navigazione nel modello tridimensionale si ha la possibilità di creare, sulla base di adeguate viste dello stesso, opportune *solid image* o *depht image* (immagini interrogabili nelle tre dimensioni) o ortofoto, entrambi esportabili sotto forma di immagini bidimensionali, ad esempio in

ambienti CAD. Attraverso tale strumento è possibile effettuare misure di distanze all'interno delle nuvole ed estrarre sezioni di porzioni delle stesse. Questa applicazione è utile, ad esempio, nello studio della geometria di un bacino idrografico, permettendo infatti una rapida individuazione delle tratte a rischio, con riferimento alle quote stesse. In Figura 5a è illustrata la modalità di estrazione della sezione all'interno del modello. In Figura 5b è riprodotta, tramite ortofoto, una sezione verticale di una porzione di area interessata dall'alluvione del 2010, comprendente gli alvei dei torrenti Aldegà e Chiampo, nonché il rilevato dell'autostrada A4 che intercorre tra i due.



(a)



(b)

Fig. 5 – Esempio di sezione verticale dell'area interessata dall'esondazione:
(a) realizzazione della sezione in gexcel R3 e (b) ortofoto della sezione risultante.
Fonte: elaborazione di Chiamone, 2013.

Lo studio di un ambito come quello del dissesto idrogeologico non può prescindere da altre considerazioni di tipo dimensionale. Risulta, quindi, estremamente interessante la possibilità di determinare qualitativamente e quantitativamente la capacità di invaso delle aree potenzialmente soggette ad esondazione. Uno strumento inserito in gexcel R³ permette di confrontare la nuvola di punti con un piano orizzontale variabile dall'utente in termini di quota ortometrica. Quest'ultimo rappresenta il pelo libero dell'acqua. Da tale raffronto si definisce l'area soggetta a copertura delle acque in corrispondenza di una determinata quota del pelo libero, nonché un valore di massima del volume di acqua invasato in quell'area. In Figura 6 viene mostrato un esempio predittivo dell'applicazione nella porzione di bacino in parte interessata dall'esondazione del 2010. In blu viene mostrata la parte di territorio potenzialmente in pericolo di inondazione. Si nota, però, come la mancanza del rilievo di alcuni settori renda impossibile l'indicazione di un valore corretto del volume.

All'interno dello stesso progetto possono essere inserite diverse nuvole di punti provenienti da diverse attività di rilievo effettuate con tecniche e strumenti vari e con risoluzioni differenti. A titolo meramente esemplificativo viene presentata in figura 7 la visualizzazione su singolo file di una porzione del modello digitale altimetrico regionale, di un settore della Carta Tecnica Regionale, del rilievo multi-risoluzione (sensori Optech Illris e Faro Focus3D) di una frana e di una chiesa sovrastante. Si tratta, quindi, di un esempio di visualizzazione in multi sensore, multi piattaforma e multi risoluzione (Ravelli, Clerici *et al.*, 2005; Sgrenzaroli, 2005).

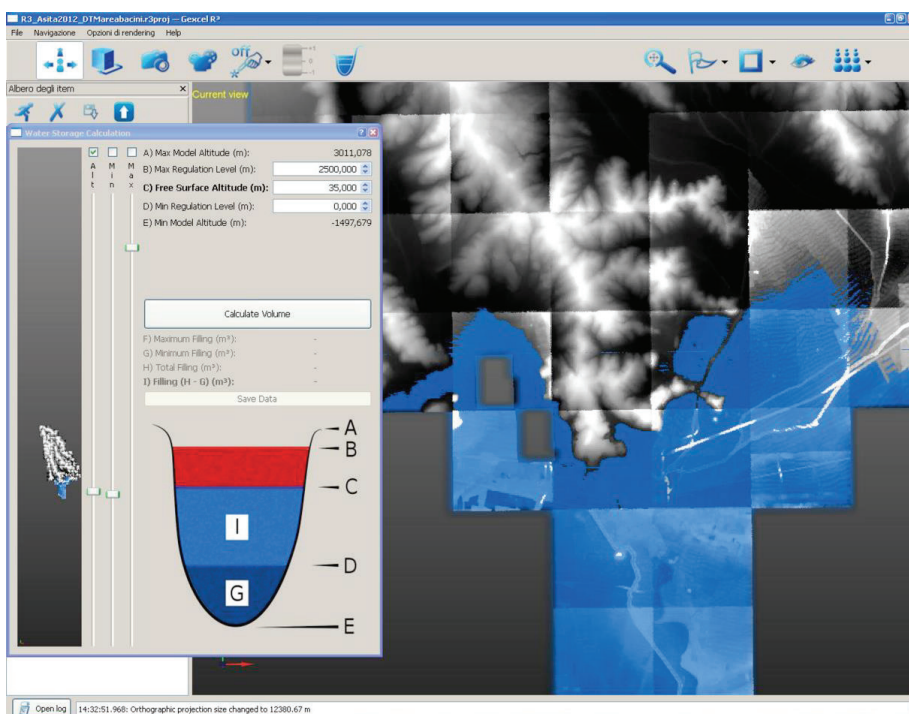


Fig. 6 – Esempio di calcolo del volume di invaso dell'area a rischio di inondazione. L'immagine mostra in azzurro la zona potenzialmente soggetta a rischio di inondazione nel caso di fuori uscita delle acque dai torrenti.
Fonte: elaborazione di Chiamone, 2013.

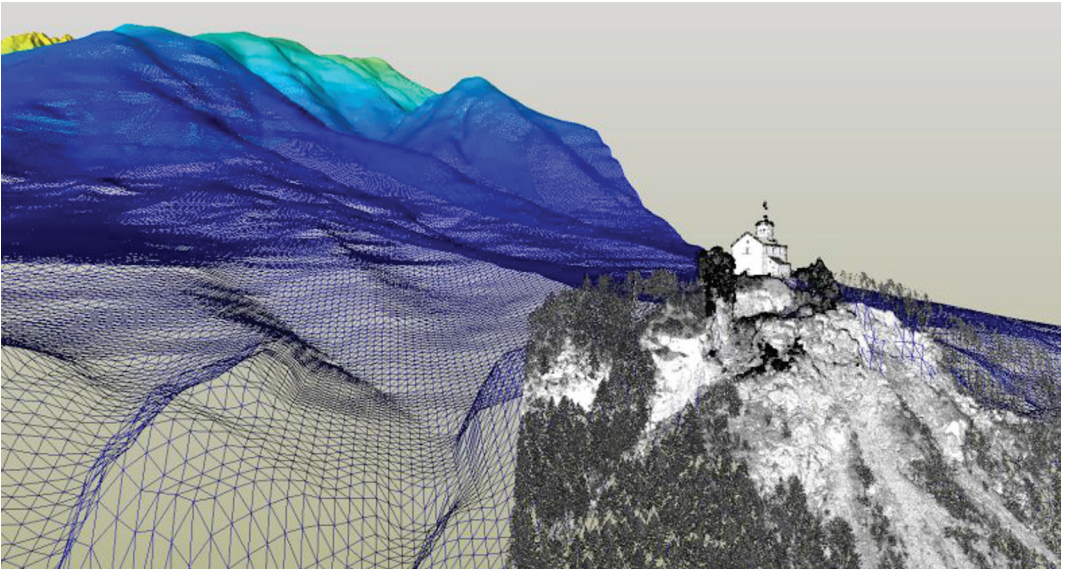


Fig. 7 – Esempio di visualizzazione in streaming (in ambiente gexcel R3) in multirisoluzione/multisorgente (DTM regionale, frana con sensore TLS a lunga portata (Optech Illris) e chiesa con sensore alla fase Faro Focus3D).

Fonte: elaborazione di Gexcel s.r.l..

6. Conclusioni

La ricerca ha permesso di mostrare le importanti potenzialità di questo approccio innovativo in cui, su una medesima piattaforma server, su un medesimo *file*, vengono visualizzati e interrogati via rete dati e informazioni tridimensionali anche appartenenti a nuvole di punti di densità e “pesantezza” assai elevata. Le reali potenzialità di questa piattaforma *software* andranno ulteriormente sottoposte ad indagine, soprattutto in un’ottica di strumento di supporto alle decisioni.

Il primo approccio qui mostrato dimostra la possibile integrazione tra dato tridimensionale rilevato a nuvola di punti, dato cartografico (DTM e/o DSM) e informazioni provenienti da analisi tramite piattaforme di sistemi informativi geografici e non. Il valore aggiunto già desumibile da questo primo caso *test* risiede nella rapidità di integrazione tra il rilievo 3D dell’area oggetto dell’evento calamitoso e diversi livelli informativi in precedenza implementati, ottenendo così un’agile piattaforma di supporto alle decisioni condivisibile in rete. Quest’ultimo connotato aumenta la possibilità di interazione tra diversi soggetti decisionali (e/o attuatori) ai quali viene in tal modo fornito uno strumento da un lato di interrogazione e processamento dei dati in “tempo reale” dall’altro di archiviazione, interrogazione e gestione *ex post* dei dati raccolti in fase critica.

L’approccio seguito e al momento permesso dalla tecnologia è quello di consentire la visualizzazione, interrogazione ed estrazione speditiva in rete dell’informazione tridimensionale, non permettendo ancora la condivisione e interrogazione sulla medesima piattaforma dei *metadata* e senza permettere un trattamento dei diversi livelli informativi importati nella piattaforma se non a livelli di visualizzazione delle informazioni tridimensionali.

Attualmente la tecnologia sviluppata offre, dunque, unicamente l’estrazione di informazioni geometriche da grandi moli di informazioni tridimensionali condivise in rete. Il passo successivo, dovuto

al fatto che il motore di gestione delle geometrie 3D è basato su un DB Oracle, sarà quello di poter visualizzare e interrogare i livelli informativi residenti nel sistema informativo.

I primi studi in tal senso stanno andando nella direzione di implementare delle opportune funzioni che permettano con facilità il popolamento di DB informativi e dunque di utilizzare la piattaforma *software* come strumento in rete per estrarre informazioni non solo di natura geometrica.

Ringraziamenti

Si ringrazia per la disponibilità nella fase di reperimento dei dati LiDAR

- il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche, Geoportale Nazionale, Piano Straordinario Telerilevamento (dott. Salvatore Costabile);
- la Regione Veneto – Unità di Progetto Sistema Informativo e Cartografia (dott. ing. Maurizio De Gennaro nonché i collaboratori Delio Brentan e Mauro Bettella);
- l'Università di Padova – Geomatica e Ambiente s.r.l.

Si ringraziano, inoltre, Massimo Gelmini, Lorenzo Cavallari, Davide Cantoni, Giorgio Dotti e Massimo Dierna di Gexcel srl per l'esempio di gestione dati in gexcel R³ fornito.

Bibliografia

BIRKMANN J. (2006) (eds.), Introduction, in ID., Measuring vulnerability to natural hazards. Towards disaster resilient societies, United University Press, Japan, pp. 1-6.

ID., Measuring vulnerability to promote disaster-resilience societies: conceptual frameworks and definitions, in *op. cit.*, pp. 9-54.

BOGARDI J., (2010), "Preface – Water resources management: towards a new philosophy", in E. Eulisse (ed.), Changes in water resources management. Vulnerability, risk and water resources preservation, Proceedings of the 4th training course "European sustainable water goals", 7-11 September 2010, Università Ca' Foscari di Venezia, Civiltà dell'Acqua International Center, Venezia, pp. 7-10.

DE VRIES D.H. (2011), Temporal vulnerability in hazardscapes: Flood memory-networks and referentiality along the North Carolina Neuse River (USA), "Global Environmental Change", 21, pp. 154-164.

GOSWAMI P., EROL F., MUKHI R., PAJAROLA R., GOBBETTI E. (2013), An Efficient Multi-resolution Framework for High Quality, "The Visual Computer", 29, 1, pp. 69-83.

KHAN S., CROZIER M.J. (2009), "'Hazardscape': a holistic approach to assess tipping points in humanitarian crises", in Annual Summer Academy on Social Vulnerability: "Tipping Point in Humanitarian Crises", Hohenkammer, Munich, Germany – 26 July – 01 August 2009.

L'ARENA (2013), Case e strade allagate torna l'incubo dell'alluvione. "È una vergogna", 8 maggio 2013.

LLASAT M.C., LLASAT-BOTIJA M., *et al.* (2010), High Impact Floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database, "Advances in Geosciences", 23, pp. 47-55.

MILANI L. (1939), Le piene dei fiumi veneti e i provvedimenti di difesa. L'Agno-Guà-Frassine-Fratt-a-Gorzone. Il Bacchiglione e il Brenta, Pubblicazioni della Commissione Italiana per lo studio delle grandi calamità, Casa Editrice Felice Le Monnier, Firenze, vol. 8.

- MANZONI G., RIZZO R.G. (2006), La rappresentazione cartografica e le sue innovazioni. Il caso della fascia attorno alla ex SSI I ad est di Verona, in C. Robiglio (a cura di), VeronaEST. Le attività economiche e il territorio. ABC Editore, Verona, pp. 87-114.
- NDUBISI F., DEMEO T., DITTO N.D. (1995), Environmentally sensitive areas: a template for developing greenway corridors, "Landscape and Urban Planning", 33, pp. 159-177.
- PRIORI M. (a cura di), Il territorio veronese attraverso le stampe dal XV al XIX secolo, Associazione Ricercatori e Collezionisti Documenti Storici (San Bonifacio), Alte di Montecchio Maggiore (Vincenza).
- REGIONE VENETO (2011), Veneto. La grande alluvione, in <http://www.venetoalluvionato.it/index.php/archivio-documenti/100-veneto-la-grande-alluvione>
- RIZZO L.S. (2009), "Wine cooperatives in the East of the Verona Province. Company consolidation and networking: an update", in R. Fanfani and E. Ricci-Maccarini (a cura di), Proceedings of the VII International Conference "The Role of cooperatives in the European Agro-Food System", AIEA2 – Associazione Internazionale d'Economie Alimentaire et Agro-industrielles, Dept. of Statistics – University of Bologna, 28-30 May 2008, 2009, University Press, Bologna, pp. 281-302.
- RIZZO L.S., RIZZO R.G. e TIZZANI P. (2012), Consumo di suolo e cementificazione nel Veneto Occidentale. Emergenze, svantaggi e riflessi sull'assetto del territorio. Un'analisi GIS, Atti della 13a Conferenza Italiana Utenti ESRI, Roma, 18-19 aprile 2012, cfr. <http://www.esriitalia.it/eventi/atti-13a-confreenza-italiana.html>
- RAVELLI M., CLERICI A., GELMINI M., LANZI C., RIVA P., SGRENZAROLI M. e VASSENA G. (2005), A laser scanner approach to model and survey damaged road tunnels, Proceedings of 2nd Italy-Canada Workshop "3D Digital and Modeling – Applications of Heritage, Medicine and Land, Padua, 17th-18th May 2005.
- SHWA R., SHARMA A. (2011) (eds.), Climate and Disaster Resilience in Cities, in Community, Environment and Disaster Risk Management, Emerald, Bingley (UK), vol. 6.
- SGRENZAROLI M. (2005), Cultural Heritage 3D Reconstruction Using High Resolution Laser Scanner: New Frontiers Data Processing, CIPA 2005 XX International Symposium, Torino, Italy, 26 September – 01 October, 2005, CIPA-The ICOMOS/ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage, Torino, 1, pp. 544-549.
- SOLOMON S., QUI D., et al. (2007), Climate change 2007. The physical science basis, Cambridge University Press, Ney Work.
- TE LINDE A.H., BUBECK P., et al. (2011), Future flood risk estimates along the river Rhine, "Natural Hazards and Earth Sciences", 11, pp. 459-473.
- VASSENA G. (2012), Heritage e governance territoriale: esperienze di rilievo 3D nei processi di tutela e valorizzazione dei beni culturali, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia", 144-145-146 (supplemento su CD degli Atti del Convegno "La Cartografia nella valorizzazione dei beni naturali e culturali", Padova, 10-11 maggio 2012), pp. 11-32.

Sitografia

<http://www.oecd.org/env/cc/climatechangeexpertgroupcccxg.htm>

<http://www.bio.mie-u.ac.jp/~haruyama/igu/>

<http://www.unisdr.org/2005/wcdr/wcrd-index.htm>

<http://www.emdat.be>

<http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Sistema+Informativo+Territoriale+e+Cartografia/Accedi+al+GeoPortale.htm>

<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/>