

IL NUOVO DTM DELL'AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Federica FILIPPI(*), Andrea COLOMBO(*)
Giovanni BANCHINI(**), Armando CAVAZZINI(**), Gianfranco LOMBARDO(**),
Ambrogio MANZINO(***), Fulvio RINAUDO(***)

(*) Autorità di bacino del fiume Po, Via Garibaldi, 75 – Parma – segreteria@adbpo.it

(**) Compagnia Generale Ripresaere, Via Cremonese 35/a – Parma – info@cgrit.it

(***) Politecnico di Torino – DIGET – Corso Duca degli Abruzzi, 24 – Torino – ambrogio.manzino@polito.it;
fulvio.rinaudo@polito.it

RIASSUNTO

L'Autorità di bacino del fiume Po, nell'ambito delle proprie attività istituzionali, ha completato la realizzazione di una banca dati geometrica delle aree golenali del fiume del Fiume Po, **nel tratto compreso tra la confluenza del torrente Pellice e la confluenza del fiume Ticino**. Il lavoro, realizzato dal consorzio internazionale di imprese composto da Compagnia Generale Ripresaere (capogruppo) e TopoSys è stato svolto sulla base di una Specifica tecnica predisposta dall'Autorità di bacino del fiume Po con la consulenza scientifica del Dipartimento di Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino (Settore di Ricerca Geomatica) utilizzando tecniche LIDAR e fotogrammetriche.

Il DTM realizzato si integra con i rilievi eseguiti **dall'Agenzia Interregionale per il Po (AIPO)** fornendo un modello geometrico completo del Fiume Po e delle sue pertinenze (fascia C di esondazione per Piena catastofica) che viene oggi messo a disposizione per le **attività di monitoraggio morfologico e idraulico dell'ambito fluviale**.

L'articolo descrive le soluzioni tecniche adottate, le modalità di controllo delle operazioni di rilievo e le forme di pubblicazione del prodotto finale.

La collaborazione attiva durante tutto il processo di progettazione, realizzazione, validazione e pubblicazione dei risultati tra l'Autorità di bacino del fiume Po, le imprese e l'università ha consentito di mettere a punto una metodologia tecnicamente ed economicamente soddisfacente nonché di delineare nuove linee di sviluppo per l'integrazione tra le tecniche LIDAR e la fotogrammetria digitale.

ABSTRACT

The Autorità di bacino del fiume Po has coordinated the building up of a geometric database of the west part of the Po river. The work has been contracted by an international agreement between Compagnia Generale Ripresaere and Toposys and it has been realised by following the guidelines published by the Po River Basin Authority with the scientific support of the Politecnico di Torino (Dept. of Georesources and Land). These guidelines are mainly concentrated on the use of the LIDAR techniques.

The paper describes the adopted technical solutions in order to produce, control and publish the final products. The achieved experience has allowed to define in detail effective economical and technical solutions and to show new ideas about the integration between LIDAR and digital photogrammetry techniques.

Introduzione

L'assetto del fiume Po nel tratto a monte della confluenza con il Fiume Ticino risulta di particolare importanza sia in relazione alle numerose situazioni di criticità connesse al grado di antropizzazione

presente sia in relazione al ruolo svolto sulla formazione delle piene che interessano l'intera asta del Po.

Su tale tratto si formano infatti tutte le piene più gravose per l'asta di media e bassa pianura, come ampiamente documentato dalle informazioni storiche sugli eventi manifestatisi dal 1700 ad oggi e come evidenziatisi in tutta la sua gravità nei due più recenti eventi alluvionali del 1994 e 2000.

Oltre alla locale protezione dei centri abitati, da realizzare mediante interventi di difesa passivi, componente essenziale dell'assetto di progetto definito dal PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico approvato con DPCM il 24 maggio 2001), è importante raggiungere l'ottimizzazione della capacità di laminazione delle piene all'interno e all'esterno dell'attuale tracciato delle fasce fluviali.

A tal riguardo l'Autorità di bacino del fiume Po ha in corso di svolgimento specifici approfondimenti morfologici e idraulici finalizzati al conseguimento degli obiettivi sopra citati.

Propedeutica a tale attività di studio e progettazione è stata la realizzazione di rilievi topografici in grado di rappresentare con notevole dettaglio sia l'alveo che l'intera regione di pertinenza fluviale.

Lo sviluppo che ha caratterizzato in questi anni le tecniche della geomatica ha offerto la possibilità di individuare nuove metodologie per la realizzazione di modelli tridimensionali sempre più dettagliati riducendo in modo sensibile i tempi di acquisizione delle informazioni e gli investimenti necessari per poter monitorare l'evoluzione della regione di pertinenza fluviale a intervalli di tempo regolari o in seguito al verificarsi di eventi di piena significativi.

Per i motivi sopra esposti l'Autorità di bacino del fiume Po ha ritenuto necessario dotarsi di moderni strumenti di modellazione tridimensionale del territorio utilizzando, per la prima volta in Italia su una così ampia estensione di territorio, la tecnologia LIDAR quale tecnica primaria di acquisizione del dato tridimensionale.

Tale esigenza di aggiornamento e approfondimento della conoscenza geometrica del corso d'acqua è stata condivisa anche dall'AIPO che ha programmato contestualmente la realizzazione di una Rete plano-altimetrica GPS di raffittimento della Rete IGM95, utilizzata come rete di inquadramento anche per il rilievo LIDAR e l'esecuzione di rilievi di sezioni topografiche trasversali, utilizzate per integrare le informazioni relative alle batimetrie per le porzioni di fiume sommerso.

Il DTM del Fiume Po

I lavori sono stati finalizzati alla determinazione dell'assetto plano-altimetrico del territorio di pertinenza fluviale del fiume Po definito da grigliati a maglia pari a 2 m e 10 m, rappresentazione geometrica del terreno, e dall'insieme delle *breaklines*, il tutto acquisito con precisioni in quota pari a 20 cm. Le operazioni di rilievo sono inquadrate nella rete geodetica nazionale IGM95. Il datum geodetico scelto è WGS84 e il sistema cartografico è UTM fuso 32 per tutta l'estensione del rilievo. Tutti i dati sono inoltre stati anche trasformati nel sistema cartografico UTM ED50 per un agevole confronto con altri rilievi eseguiti in epoche precedenti.

Particolare attenzione è stata posta nella individuazione delle *breaklines* che delimitano le discontinuità del terreno, ed in particolare le strutture sovra/sottomontanti, e nelle operazioni di interpolazione spaziale per la creazione del DTM con maglia pari a 10 m, alla luce del fatto che tali strutture condizionano in modo rilevante le modalità di deflusso e di laminazione delle piene. Contemporaneamente alla determinazione dell'assetto plano-altimetrico della regione fluviale, è stato realizzato un volo fotogrammetrico su tutta l'area di interesse il quale consente la realizzazione del modello stereoscopico nonché la produzione di ortofoto digitali ad alta risoluzione (dimensione del pixel terreno = 20 cm) ad integrazione della descrizione morfologica fornita dal DTM.

Il DTM e tutti gli elaborati connessi sono stati suddivisi in tavole quadrate definite lungo il reticolato chilometrico della rappresentazione cartografica con lato pari a 2 km.

Le *breaklines* sono state digitalizzate a partire dal dato originale LIDAR, mediante la linea di programmi TerraScan e TerraModeler operanti su piattaforma grafica Microstation.

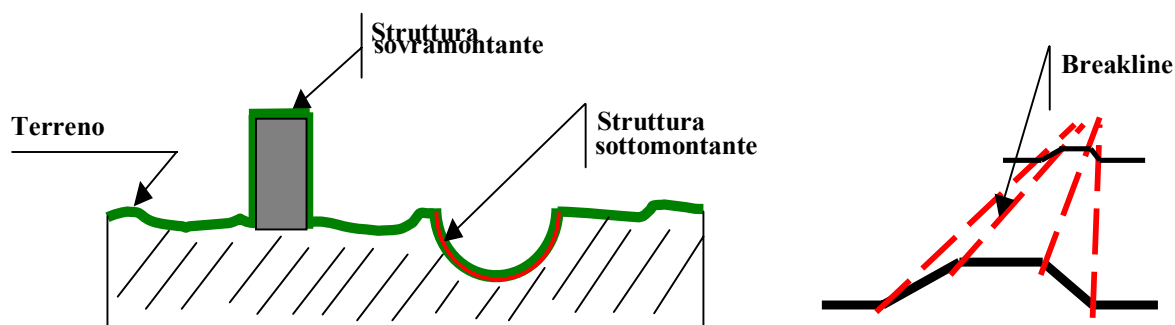


Figura 1 - Esempio di sezione del terreno con presenza di diverse strutture sovra/sottomontanti il terreno "naturale" e di break-line

Operazioni di rilievo



Figura 2 – Il laser Optech ALTM 3033

Le operazioni di rilievo sono state eseguite congiuntamente dalle Ditte C.G.R. (Italia) e Toposys (Germania) utilizzando due sensori LIDAR aviotrasportati aventi diverse caratteristiche: lo scanner ALTM 3033 della Optech e lo scanner Falcon II della Toposys. In entrambi i casi sono state registrate le risposte al primo e ultimo impulso in modo tale da poter selezionare automaticamente sia il DSM (modello superficiale) sia il DTM (modello del terreno). La georeferenziazione è stata eseguita mediante i software proprietari di ogni strumento utilizzando le informazioni derivanti dai sistemi GPS/IMU integrati a bordo dell'aereo.

Il rilievo LIDAR è stato integrato da un volo fotogrammetrico stereoscopico con ricoprimenti standard in modo da poter realizzare per tutta l'area di interesse sia i modelli stereoscopici sia le ortofotocarte a grande scala per completare e integrare le informazioni provenienti dai sistemi LIDAR sia in fase di elaborazione sia in fase di consultazione finale.

I voli sono stati eseguiti in epoche prossime alle date di effettuazione delle riprese LIDAR mediante camere fotogrammetriche dotate di dispositivo GPS/IMU per l'orientamento diretto delle immagini acquisite. I blocchi fotogrammetrici sono stati sottoposti ad una triangolazione automatica a stelle proiettive a partire dai dati di orientamento esterno ricavati dai sensori GPS/IMU.

Operazioni di verifica

Accanto alle verifiche specifiche riguardanti la corretta descrizione della morfologia dell'ambito territoriale di interesse sono state studiate e realizzate alcune verifiche specifiche volte a certificare la congruenza interna ed esterna dei rilievi eseguiti.

Le tecnologie utilizzate prevedono il massiccio utilizzo di procedure automatiche predisposte dal costruttore dei sistemi LIDAR e GPS/IMU che tendono a fornire dati già elaborati impedendo in gran parte la possibilità di eseguire controlli secondo le tradizionali tecniche di collaudo che prevedono la ripetizione di una serie consistente di misure, il confronto con le misure originarie realizzate e quindi l'esecuzione di elaborazioni indipendenti al fine di testare statisticamente la bontà dei risultati intermedi e finali.

Oltre all'analisi dei test di qualità e affidabilità delle strumentazioni di acquisizione dei dati primari realizzati all'inizio delle operazioni (taratura e calibrazione dei sistemi GPS/IMU all'interno degli aerei utilizzati per le acquisizioni LIDAR e fotogrammetriche) e durante lo svolgimento delle stesse (risultati delle acquisizioni LIDAR eseguite su aree di test disposte in prossimità delle zone di rilievo), si sono realizzate le seguenti verifiche specifiche:

1. compensazione e ricalcolo delle traiettorie degli aerei a partire dai dati GPS grezzi;
2. analisi di correlazione delle strisciate LIDAR nelle zone di ricoprimento trasversale;
3. confronto di porzioni significative di DTM acquisito con tecnica fotogrammetrica tradizionale con il DTM elaborato a partire dai dati LIDAR.

Per le verifiche dei dati GPS il controllo è avvenuto a tappeto su tutte le rotte con i dati provenienti dagli elaborati ottenuti dal sistema Applanix. La posizione è stata calcolata dal software, approssimativamente ogni 5 centesimi di secondo, in quanto le misure inerziali sono molto frequenti. Le misure GPS invece sono molto meno dense: ogni 0.5 secondi. Le stazioni permanenti utilizzate per il processamento inoltre campionano normalmente ad un secondo. Questo *rate* di campionamento è tuttavia più che sufficiente a modellare la traiettoria alle velocità usuali per scopi fotogrammetrici, specie durante la ripresa, in cui l'aereo mantiene un'alta stabilità di rotta.

Poiché i trattamenti GPS sono avvenuti ad un *rate* di un secondo, si è provveduto ad interpolare i dati "Applanix" per ottenere le posizioni nelle ascisse di tempo di valore intero ad intervalli esatti di un secondo. Non vi sono zone del volo in cui lo s.q.m. formale aumenti sopra il decimetro. Non è possibile cioè, con solo questo dato, individuare eventuali zone o intervalli di tempo in cui il sistema può essere andato in crisi. I confronti si sono eseguiti con i soli valori grezzi dei centri di fase dell'antenna. Ciò significa che le differenze riscontrate dipendono fondamentalmente dalla posizione del vettore "centro di fase dell'antenna GPS-centro di presa" così come è orientato nella terna (non cartesiana) Nord, Est e h ellissoidica, nella quale sono noti i risultati.

Tali componenti sono dunque funzione principalmente dell'orientamento κ delle strisciate anche se pure le componenti dovute al rollio e al beccheggio non possono essere trascurate.

Il posizionamento è avvenuto in modalità cinematica continua con fissaggio OTF delle ambiguità.

Il confronto con i dati utilizzati nelle elaborazioni hanno evidenziato un perfetto accordo e l'accertato raggiungimento delle precisioni richieste.

L'analisi di correlazione delle strisciate LIDAR nelle zone di sovrapposizione è stato eseguito al fine di verificare il buon funzionamento della georeferenziazione delle singole strisciate al fine della formazione del DSM a partire dal quale sono iniziate le operazioni di filtratura e di estrazione delle *breaklines*. All'interno delle zone di ricoprimento tra strisciate LIDAR adiacenti si sono selezionate alcune aree campione. I punti appartenenti alle due strisciate considerate sono stati ricampionati con passo regolare di 2 m dopo avere eseguito una rimozione di *outliers* e *gross errors* utilizzando algoritmi robusti basati sulla stima della mediana. I due grigliati così ottenuti sulla medesima zona di territorio sono stati correlati a *pixel* intero e *sub-pixel* in modo da verificare il corretto orientamento delle due strisciate adiacenti. Si sono stimati disallineamenti planimetrici dell'ordine di 15 cm in entrambe le direzioni certificando, in questo modo il corretto funzionamento di tutte le procedure che hanno portato alla formazione del DSM di partenza per le successive elaborazioni.

Infine la verifica effettuata comparando alcuni campioni significativi di punti rilevati direttamente con metodo fotogrammetrico con i rispettivi punti risultanti dalle varie operazioni di filtratura e regolarizzazione hanno evidenziato scarti con medie inferiori a 10 cm in quota e deviazioni standard dell'ordine di 10 cm. Le popolazioni degli scarti ben si adattano ad una distribuzione di tipo normale.

Disponibilità dei dati

I prodotti principali di consegna sono, oltre al dato grezzo di rilievo, un DSM (passo 2m), due DTM (passo 2m e passo 10m), le *breaklines*, i modelli stereoscopici digitali e le ortofoto digitali a colori alla scala di riferimento 1:2.000 dell'intera zona interessata dalle operazioni di rilievo.

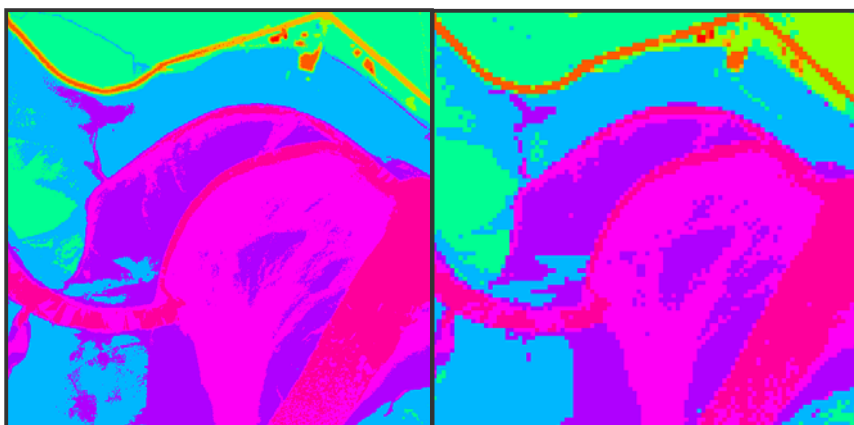


Figura 3 – Visualizzazione del DTM con passo 2 m e del DTM con passo 10 m

Tutti i prodotti consegnati sono corredati dalla scheda di metadata, in uso presso il SIT dell'Autorità di bacino del fiume Po, che consente ad un qualsiasi utente esterno di comprendere il contenuto, la natura e l'affidabilità del dato analizzato. In ogni scheda vengono riportate in dettaglio sia le informazioni generali relative all'estensione geografica e temporale del prodotto sia le caratteristiche tecniche e le modalità operative

degli strumenti e delle procedure utilizzate per la realizzazione del prodotto consentendo in modo ottimale l'utilizzo dei dati da parte di tutti gli utenti interessati.

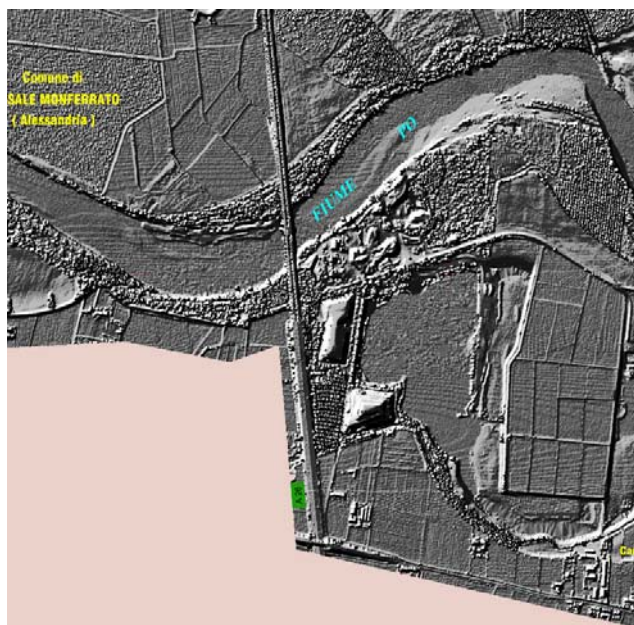


Figura 4 – Visualizzazione shaded-relief del DTM con passo 2 m con vestizione cartografica



Figura 5 – Ortofoto digitale alla scala 1:2000 con sovrapposizione delle breaklines

Conclusioni e sviluppi futuri

Allo stato attuale il DTM del fiume Po è stato completato, nel tratto che va dalla confluenza del Torrente Pellice alla confluenza del Fiume Ticino, mentre è attualmente in corso la realizzazione della restante parte, che va dalla confluenza con il fiume Ticino e arriva fino al delta.

L'esperienza acquisita durante la realizzazione del primo tratto ha consentito di affinare le Specifiche tecniche di realizzazione grazie alla continua e attiva collaborazione instaurata tra l'Autorità di bacino del fiume Po, il Politecnico di Torino e le Ditte esecutrici delle operazioni di rilievo.

Tutto il rilievo è stato verificato confrontando i modelli prodotti con le sezioni trasversali e i profili arginali prodotti in contemporanea dall'A.I.PO, trovando ovunque ottima corrispondenza considerando le diverse precisioni dei prodotti.

Da un punto di vista scientifico e di ricerca l'esperienza ha consentito di comprendere a fondo le potenzialità di integrazione tra le tecniche LIDAR e la fotogrammetria digitale che offre, oltre ad un completamento di informazione tematica direttamente georeferenziata la possibilità di risolvere in modo spedito e accurato le varie difficoltà di interpretazione e comprensione del dato LIDAR. In particolare, la disponibilità dei modelli stereoscopici dell'intera area da rilevare ha consentito sia una verifica puntuale delle interpretazioni planialtimetriche sia la soluzione dei maggiori dubbi interpretativi che il solo dato LIDAR lascia ancora irrisolti.

Si è evidenziato, nel corso dello svolgimento dei lavori, la necessità di avere in molti casi la possibilità di poter analizzare contemporaneamente sia il dato LIDAR sia il modello fotogrammetrico auspicando la prossima realizzazione di strumenti software in grado di gestire contemporaneamente queste due diverse tipologie di informazioni. Considerando l'attuale sviluppo delle tecniche di fotogrammetria digitale e le recenti novità nei prodotti di integrazione tra fotogrammetria digitale e dati LIDAR, due possono essere le soluzioni: integrare gli attuali software di gestione dei dati LIDAR con strumenti quali la stereofotocarta, concetto già utilizzato da TerraItaly, un prodotto della Compagnia Generale Riprese Aeree, per la realizzazione dei 3DCity-Models oppure il più recente prodotto dell'immagine solida presentato in sede internazionale. Entrambi i prodotti possono essere automaticamente generati a partire dai dati utilizzati nello svolgimento del lavoro descritto e che consentirebbero di fornire strumenti di analisi e di comprensione facilmente utilizzabili.

L'utilizzo ad alto livello professionale delle più recenti tecnologie di acquisizione e trattamento di dati primari (LIDAR, GPS/IMU, Fotogrammetria diretta) ha messo in evidenza come oggi sia possibile garantire tempi di produzione e costi relativamente contenuti per la realizzazione di modelli tridimensionali di dettaglio e precisione ragguardevoli e ancora, come, al di là delle necessarie imposizioni metodologiche e di risultato previste dalle specifiche tecniche, solo una attiva collaborazione tra committenti, produttori e consulenti tecnici scientifici sia oggi in grado di fornire strumenti di descrizione geometrica pienamente soddisfacenti e di qualità.

Bibliografia

Autorità di bacino del fiume Po (2001). *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*.

Bornaz L., Dequal S. (2003). "L'immagine solida: un concetto innovativo e le sue applicazioni".

VII Conferenza Nazionale Asita, Verona, pp.449-454

Dequal S., Rinaudo F. (2000). "A new tool of digital photogrammetry: the 3D Navigator". International Archives Of Photogrammetry And Remote Sensing. vol. XXXIII/B2, pp. 139-146
ISSN: 0256-1840

FEMA (2003). *Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners*. Appendix A, Guidance for Aerial Mapping and Surveying

M.Vergnani et all. (2004). "Il modello geometrico del Fiume Po dell'A.I.PO". VIII Conferenza Nazionale ASITA