

Il rilievo fotogrammetrico da SAPR a supporto della modellazione idraulica

Daniela Laudani Fichera ^(a), Giuseppe Pulvirenti ^(b),
Patrizia Spicuzza ^(c), Marco Leone ^(d), Federico Vecchio Nicosia

^(a) Ingegnere – Dottore di ricerca – Università degli Studi di Catania – DICAR; Via Pietro Mascagni n 4 – 95014 Giarre – laudanifichera@tiscali.it

^(b) Ingegnere - Cultore di materia - Viale Ionio n°125 – 95100 Catania – ing.gpulv@tin.it

^(c) Architetto, Via Vittorio Veneto n°27 – 95018 Riposto – arch.spicuzza@gmail.com

^(d) Ingegnere – Via Milano n°109 - 95100 Catania – ing.leone@gmail.com

Introduzione

L'aumento di fenomeni di dissesto idrogeologico, quali frane ed esondazioni, legati principalmente al verificarsi di eventi meteorici estremi ha determinato la necessità di aggiornare le metodologie di monitoraggio ambientale al fine di potere giungere ad un maggiore controllo del territorio. Ciò si traduce di fatto anche in campo progettuale ed in particolare nel caso di realizzazioni di opere e/o interventi da eseguirsi su sistemi fluviali che presentano problematiche e criticità di tipo idraulico e che pertanto necessitano di più approfondite ricerche cognitive nella definizione dei luoghi.

Nel caso in esame, nell'ambito degli studi relativi alla progettazione di una strada extraurbana da realizzarsi nei comuni di Giarre e Riposto, è stato necessario prevedere una opportuna regimentazione del tratto del torrente Babbo a monte e a valle dell'esistente sottopasso della RFI.



Figura 1 – Render delle soluzioni progettuali della sistemazione del torrente

La progettazione definitiva e successivamente esecutiva, è stata basata su un rilievo plani altimetrico di dettaglio lungo tutta la fascia interessata dall'arteria stradale con prevalente metodologia GNSS RTK, creando una semina di punti inquadrati e collegati nel sistema cartografico utilizzato per la cartografia del P.R.G. del Comune di Riposto alla scala 1:2000/1:10000.

Le contestuali esigenze legate all'attuazione dei Piani per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia hanno successivamente determinato la necessità di approfondire il livello di conoscenza delle condizioni idrauliche del torrente Babbo. La carta della pericolosità (scala 1:10.000), riportata in allegato al PAI, ha evidenziato nel torrente Babbo, in corrispondenza dell'esistente sottopasso della RFI, un'area con pericolo di esondazione contraddistinta come "sito d'attenzione". Ciò ha determinato la necessità di ricorrere ad un verifica idraulica per mezzo di una modellazione di dettaglio e quindi ad un aggiornamento cartografico del territorio.

Caso Studio

Le verifiche idrauliche si basano principalmente nella determinazione dell'idrogramma di piena e sulla successiva propagazione di tale idrogramma tramite un modello idraulico nel DTM.

La strada di progetto collega la S.S.114, in prossimità dello svincolo autostradale A18 di Giarre, con diversi centri abitati del Comune di Riposto, fino al lungomare di Torre Archirafi – Riposto.

Per l'area di interesse è disponibile attualmente dal SIT della Regione Sicilia, un modello digitale del terreno con maglia 2x2 di livello 4 CNIPA.

Tale modello deriva dalla ripresa aerea digitale denominata ATA07/08, ottenuta attraverso il volo combinato con tecnologia Laser scanner, effettuata negli anni 2007 e 2008 ed aggiornata nel 2013.



Figura 2 – Render della strada di progetto su ortofoto ATA con indicazione dell'area di studio

Tale DTM risulta poco idoneo ai fini della modellazione idraulica a causa della conformazione del bacino nell'area del sito di attenzione, particolarmente complessa, in quanto interessata da un elevato grado di antropizzazione con presenza di infrastrutture e di elementi naturali di vario tipo.

Pertanto è stata necessario elaborare un nuovo DTM con risoluzione e accuratezza tali da giungere ad una verifica affidabile in tempi brevi.

In tal senso è stata testata una metodologia per l'estrazione di DTM dall'elaborazione di immagini da rilievo tramite UAV integrato con rilievo GNSS. Di seguito quindi si riportano le varie fasi seguite nel corso di questa sperimentazione.

Metodologia

L'area di studio è stata inquadrata in un rettangolo di 50mt x 600 mt ed il volo è stato effettuato in un periodo di secca del torrente.

L'UAV utilizzato per il rilievo è il MAVic Air della DJI, di tipo non professionale, che monta una fotocamera da 12 MP con sensore 1/2.3" CMOS ed in grado di acquisire immagini alla risoluzione di 4056x3040 pixel.

Il Mavic Air ha un'autonomia di volo effettiva in sicurezza di 15 min. e per coprire l'area di rilievo di circa 3 ha, sono stati necessari 4 diversi voli di circa 50mt x 150 mt, effettuati nello stesso giorno per mantenere più possibile costanti le condizioni di presa.

Tutti i voli sono stati effettuati a 25 mt di altezza dal suolo, con un overlap longitudinale dell'80% e trasversale del 70%, seguendo una traiettoria automatica a doppia griglia.



Figura 3 – UAV DJI MAVic Air e piano di volo seguito per il rilievo

In totale il tempo di rilievo in volo è stato pari a 48 minuti. Sono state memorizzate circa 600 immagini acquisite con camera ad asse nadirale e ad asse obliquo, con un Average Ground Sampling Distance (GSD) di 0.96 cm/px. Il piano di volo è stato creato tramite l'applicativo Pix4Dcapture e importato nel DJI Mavic Air prima di effettuare il primo volo.

Il dataset è stato georeferenziato mediante 10 target rilevati topograficamente con modalità GNSS NRTK.

In totale sono stati realizzati e rilevanti 20 target. Di questi 12 utilizzati come punti di appoggio e 8 come check point.

Per il processing del rilievo fotogrammetrico e la generazione del DTM da utilizzare nella modellazione idraulica è stato utilizzato il software Pix4Dmapper.

Pix4D, è una società svizzera che dal 2011, sviluppa software che utilizzano un approccio fotogrammetrico/computer vision per l'elaborazione di immagini DSLR, fisheye, RGB, termiche e multispettrali in modelli digitali 3D.

LA classificazione dei punti è stata effettuata in modalità automatica dal software Pix4D in 5 gruppi: edifici, vegetazione, infrastrutture, oggetti ed il suolo.

Nella maggior parte dei casi i risultati della classificazione sono stati corretti utilizzando gli strumenti di modifica dei gruppi disponibile in Pix4D.



Figura 4 – Nuvola di punti generata dal software Pix4D mapper

Le sezioni fluviali trasversali e l'asse del corso del torrente in formato HEC-RAS sono state generate tramite l'applicativo LiDAR360.

LIDAR360 è un software di GreenValleyInternational (GVI) distribuito da recente dalla Gter insieme al software LiMapper per il processing di rilievi fotogrammetrici e LIDAR.

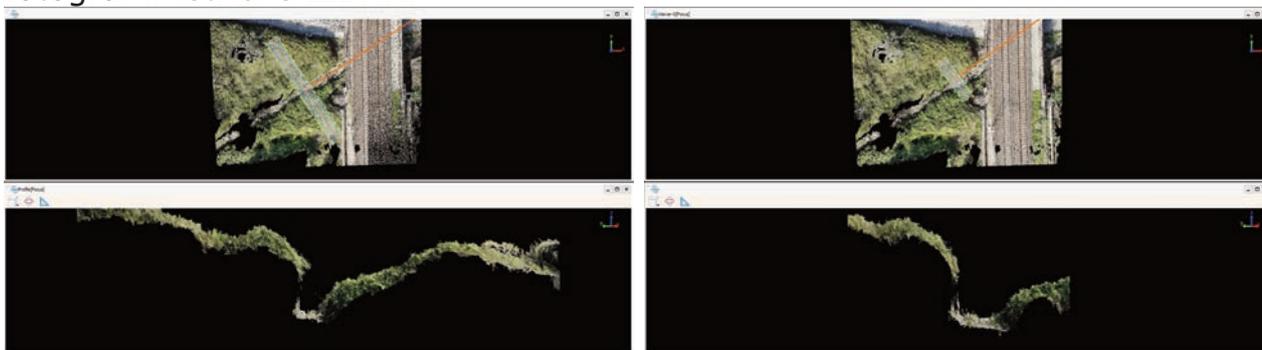


Figura 5 – Sezioni trasversali dell'alveo del torrente Babbo generate da LIDAR360

I risultati sono stati integrati in un sistema Gis in cui è stato possibile accedere ai vari dati necessari alla modellazione idraulica del progetto HEC-RAS, ed analizzare i DTM ottenuti dai diversi voli e confrontarli con i modelli ATA disponibili.

Solo in due occasioni a causa della presenza di vegetazione è stato necessario correggere il DTM con rilievo GNSS NRTK a terra.

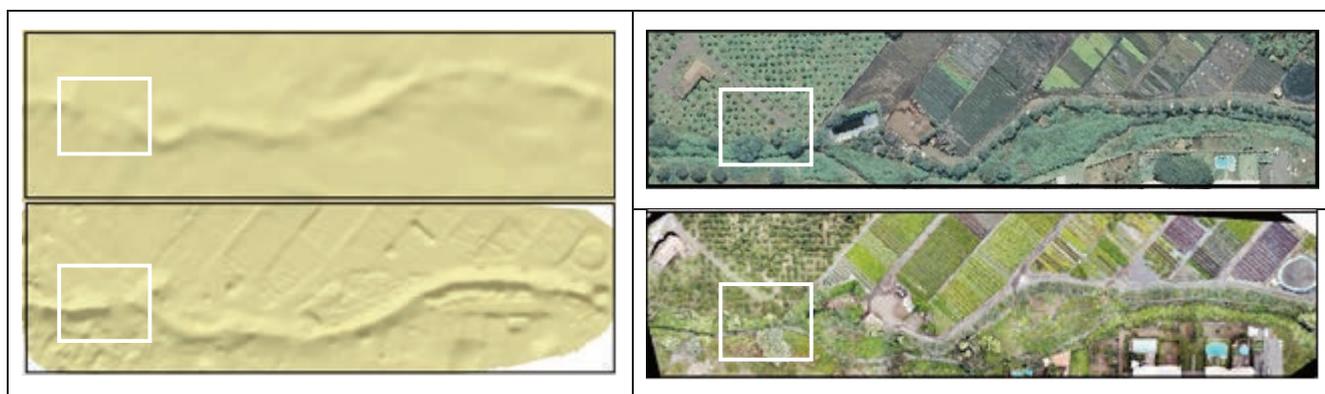


Figura 6 – Confronto tra il DTM/ortofoto ATA con il DTM ricavato da UAV, con indicazione dell'area di indagine diretta

Verifica idraulica

La verifica idraulica del torrente Babbo è stata eseguita in riferimento alla portata di piena del corso d'acqua stimata per un tempo di ritorno pari a 300 anni. A tal fine è stato innanzitutto definito il bacino idrografico che rappresenta la porzione di territorio che raccoglie tutte le acque che, scorrendo superficialmente, defluiscono attraverso la sezione di chiusura scelta.



Figura 7 - Area del Bacino del torrente Babbo

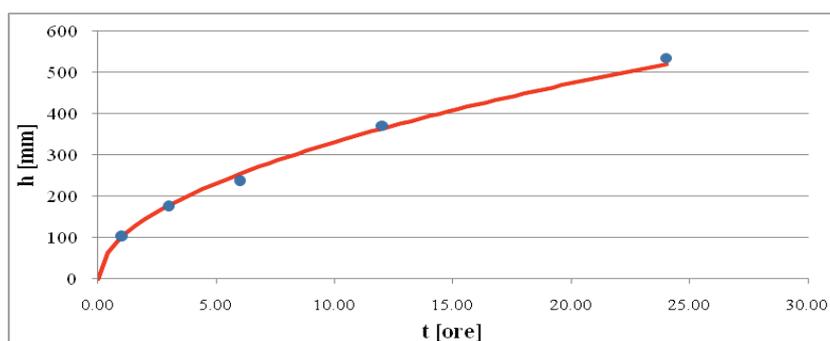
Il bacino è stato ricavato a partire dal modello digitale ATA 12/13 della Regione Sicilia, e dal modello digitale elaborato sopradescritto per l'area di studio definita "sito di attenzione". Esso presenta una forma geometrica stretta ed allungata come si evince sia dalla figura 7 che dal valore ottenuto tramite il calcolo del coefficiente di forma.

Bacino idrografico	Asta principale	Fattori di forma
$A = 3.50 \text{ km}^2$	$L = 5.67 \text{ km}$	$R_f = 0.11$
$P = 17.12 \text{ km}$	$H_{\max \text{ asta}} = 280 \text{ m.s.l.m.m.}$	$R_u = 2.60$
$H_{\max} = 314.27 \text{ m. s.l.m.m.}$	$H_{\min \text{ asta}} = 51.15 \text{ m.s.l.m.m.}$	$R_a = 0.37$
$H_{\min} = 51.15 \text{ m.s.l.m.m.}$	$i = 4.03\%$	
$H_{\text{media}} = 147 \text{ m.s.l.m.m.}$		

Tabella 1- Caratteristiche plano altimetriche- fattori di forma.

L'area del bacino, in gran parte, è interessata da coltivazione agrumicola, in particolare limonicola, e/o da viticoltura e non presenta superfici intensamente urbanizzate. Per tali ragioni, ai litotipi costituenti il bacino imbrifero del Torrente Babbo, si è attribuito un coefficiente di deflusso medio pari a 0.40.

Per il tracciamento delle curve di probabilità pluviometrica ci si è basati sui dati della stazione pluviometrica di Zafferana Etnea per l'intervallo di periodo compreso tra il 1951 e il 2012 per un totale di 50 letture.



Nota il valore dell'intensità di pioggia, segue la determinazione del tempo di corrivazione del bacino (t_c) ossia il tempo che impiega la particella d'acqua idraulicamente più lontana a raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Figura 8 - Curva pluviometrica per tempo di ritorno di 300 anni

Il calcolo è stato effettuato come media dei valori ottenuti dall'applicazione delle diverse formule presenti in letteratura, scartando, se necessario qualche valore molto dissimile dagli altri. Sintetizzando nella successiva tabella i risultati ottenuti dall'applicazione dei diversi metodi, si è deciso di utilizzare per la verifica idraulica del torrente Babbo, l'idrogramma di piena più gravoso ottenuto mediante l'applicazione del software HEC-HMS.

	<i>Formula di Turazza</i>	<i>Metodo della corrvazione</i>	<i>Metodo del SCS tramite il software HEC-HMS</i>
Q_c [m ³ /s]	30.80	38.50	40.60

Tabella 2- Sintesi dei valori di portata al colmo ottenuti mediante i diversi metodi utilizzati

A questo valore di portata al colmo, calcolato per un tempo di ritorno di **300 anni**, occorre aggiungere il valore di portata derivante dal collettore fognario delle acque bianche della strada in progetto. Sommando i due contributi si ottiene una portata complessiva pari a **41.40 m³/s**, valore che verrà utilizzato per la successiva verifica della sistemazione idraulica. Quest'ultima è stata eseguita in *regime di moto permanente*, ed in particolare si è fatto ricorso per il calcolo e la modellazione al software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's-River Analysis System) prodotto dall'US Army Corps of Engineers. Nel caso di simulazione in regime di moto permanente, il software è in grado di modellare profili sia di correnti lente che veloci, ma anche profili misti, in cui si ha il passaggio attraverso lo stato critico.

Il profilo idraulico è calcolato attraverso la soluzione iterativa dell'equazione dell'energia, tra due sezioni consecutive, che tiene conto delle perdite di carico intese come sommatoria tra quelle dovute all'attrito e quelle causate dalla contrazione/espansione delle sezioni. Nelle successive figure si riporta in breve l'esito della modellazione idraulica con il relativo profilo di corrente da cui si evince come la dimensione geometrica del canale progettato è sufficiente per il valore massimo di portata calcolato con tempo di ritorno di 300 anni.

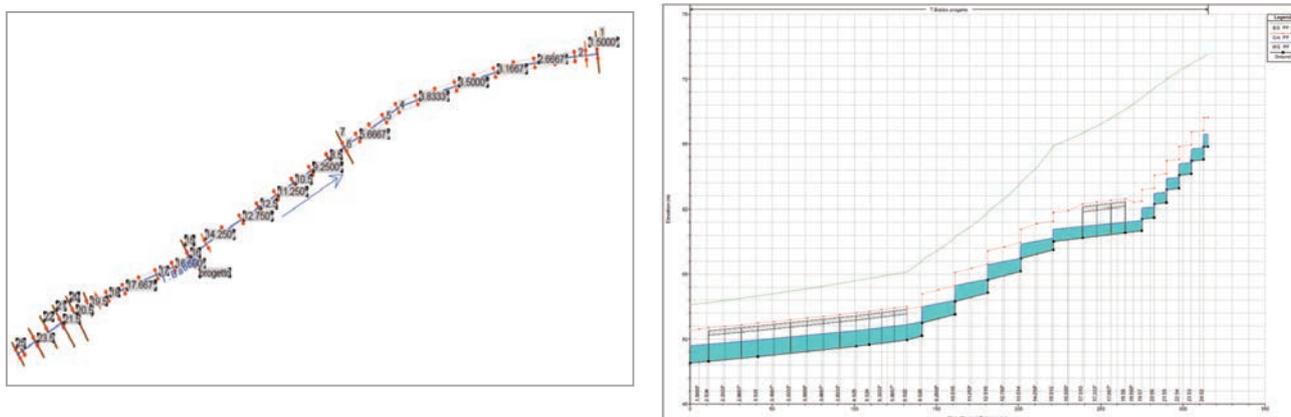


Figura 9 - Schematizzazione del torrente Babbo con relative sezioni - Profilo longitudinale della sistemazione idraulica in progetto ottenuto per $T_r = 300$ anni

La modellazione idrologica ai fini della relativa simulazione di calcolo è stata realizzata mediante il software FLO-2D sviluppato dalla FLO-2D Software Inc., basandosi sul DTM elaborato da rilevamento fotogrammetrico tramite UAV. Tramite FLO-2D è stato generato quindi un modello idraulico bidimensionale in grado di simulare la propagazione dell'onda di piena nel bacino in funzione dell'interazione con tutte le varie ostruzioni e strutture presenti (ponte RFI, tombini,...)



Figura 10 – Modellazione idrologica 3D anteoperam

La diffusione dei SAPR come strumento per l'acquisizione di dataset fotogrammetrici è favorita dal progresso della microtecnologia, dallo sviluppo delle nuove camere digitali unitamente al costante sviluppo di algoritmi derivati dalla Computer Vision per il processing fotogrammetrico. Questa tecnologia è pertanto in grado di costituire un valido supporto conoscitivo territoriale sufficiente per potere applicare i modelli matematici di previsione, oggi necessari per una pianificazione e gestione dinamica del territorio.

Questa sperimentazione, sfruttando i principali vantaggi del DTM ricavato da UAV, quali economicità e rapidità, ha permesso di potere giungere ad un inquadramento completo dell'area di studio ottimale per garantire l'applicazione dei software per la redazione delle mappe di allagabilità in fase ante e post operam,.

I problemi derivanti dall'impiego di UAV non professionale come il DJI MAVic Air per l'acquisizione di dataset fotogrammetrici sono stati compensati dai sempre più performanti algoritmi per il processing fotogrammetrico e dalla possibilità offerta dalla sensoristica anticollisione di bordo che ha permesso di programmare ed effettuare voli in aree complesse a bassa quota.

Ciò ha garantito un grado di precisione (GSD) minore di 1cm/px, sufficiente per l'elaborazioni richieste.

Anche il problema dell'autonomia di volo, in questo caso di soli 12 -15 min., è stato superato grazie all'applicativo Pix4Dcapture, utilizzato per la gestione del piano di volo, che consente di interrompere in qualsiasi momento il rilievo e suddividerlo in più voli all'interno dello stesso progetto.

La fotogrammetria da UAV ha così superato i problemi legati alla cartografie disponibili, non aggiornate e di risoluzione non idonea, garantendo l'applicazione dei modelli matematici previsionali, richiesti, in fase di verifica esecutiva del progetto.

Riferimenti bibliografici

1. Lo Brutto M., Borruso A., D'Argenio A., (2012), *UAV Systems for photogrammetric data acquisition of archaeological sites*, *Journal of Heritage in the Digital Era*, 1, Supplement 1: 7-13.
2. Aicardi, I.; Chiabrando, F.; Grasso, N.; Lingua, A.M.; Noardo, F.; Spanò, A. (2016). "UAV photogrammetry with oblique images: first analysis on data acquisition and processing". In: *International archives of the photogrammetry*,
3. Persad RA, C.Armenakis (2015) Alignment of point cloud DSMs from TLS and UAV platforms, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol XL-1/W4, pp. 369-373 International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 30 August-2 September 2015 Toronto, Canada
4. Cheng, L.; Tong, L.; Li, M.; Liu, Y.(2013) Semi-automatic registration of airborne and terrestrial laser scanning data using building corner matching with boundaries as reliability check. *Remote Sensing* 5, Issue 12 2013, pp. 6260 – 6283