

## Uso di strumentazioni UAV nel rilievo dei siti di smaltimento rifiuti: tecnologie geomatiche emergenti per la risoluzione delle problematiche amministrative

Ernesto BENAZZO<sup>(\*)</sup>, Marco CASELLA<sup>(\*\*)</sup>, Francesca CECCARONI<sup>(\*\*)</sup>, Gabriele GARNERO<sup>(\*\*\*)</sup>,  
Valeria MINUCCIANI<sup>(\*\*\*\*)</sup>, Massimo MORETTO<sup>(\*)</sup>, Angelo PENON<sup>(\*)</sup>

<sup>(\*)</sup>ARPA Piemonte, Torino - (e.benazzo, a.penon, m.moretto)@arpa.piemonte.it

<sup>(\*\*)</sup>Menci Software S.r.l., Arezzo - (marco.casella, francesca.ceccaroni)@menci.com

<sup>(\*\*\*)</sup>DIST, Università e Politecnico di Torino, Torino - gabriele.garnero@unito.it

<sup>(\*\*\*\*)</sup>DAD, Politecnico di Torino, Torino - valeria.minucciani@polito.it

### Riassunto

La disponibilità di dati morfologici affidabili e aggiornati è di fondamentale importanza nella risoluzione delle problematiche amministrative legate ai siti di smaltimento rifiuti, nei quali il Concessionario deve fornire agli Enti preposti al controllo periodiche rendicontazioni delle volumetrie raggiunte e quindi delle disponibilità residue.

Il caso studio che viene presentato nella presente memoria è relativo ad una discarica nella zona del torinese, per la quale si è deciso di operare mediante l'utilizzo di tecnologie emergenti quali l'*U-Fly* di Menci Software s.r.l., per l'acquisizione di immagini da UAV e per la generazione automatica di modelli digitali del terreno ad alta risoluzione nonché degli ortomosaici.

La presenza di un elevato numero di *Ground Control Points* e di *Check Points* ha consentito di effettuare interessanti elaborazioni sulle effettive precisioni raggiunte, simulando una serie di differenti insiemi di punti di appoggio a terra, in modo da definire la dotazione ottimale per rilievi di tale tipologia.

### Abstract

The availability of reliable, updated morphological data is crucial in solving administrative problems related to waste-disposal sites. Here the Concession Holder has to provide periodical statements on volumes that have been reached, and then on remaining availability, to the Office in charge of monitoring.

The case study presented in this paper is related to a landfill near Turin, where they have decided to operate through emerging technologies, such as the *U-Fly* by Menci Software srl, in order to acquire images from UAV and to automatically generate high-resolution digital terrain models as well as orthomosaics.

Thanks to a high number of *Ground Control Points* and *Check Points*, interesting elaborations have been carried out on the accuracies actually achieved. By simulating several sets of *Ground Control Points*, it is possible to define the best situation for such surveying.

### Uso di strumentazioni UAV nel rilievo di un sito di smaltimento rifiuti

Le tecnologie emergenti, per la loro economia di acquisizione e di esercizio, per la loro praticità e in generale per i vantaggi in termini di risorse umane e finanziarie che esse necessitano rispetto alle tecniche tradizionali, si pongono sempre più come strumenti per le attività di rilievo di superfici non estese.

Il caso studio che viene presentato nella presente memoria è relativo ad una discarica nella zona del torinese, per la quale si è deciso di operare mediante l'utilizzo di tecnologie emergenti qualil'*uFly* di Menci Software s.r.l., per l'acquisizione di immagini da UAV e per la generazione automatica di modelli digitali del terreno ad alta risoluzione nonché degli ortomosaici.

### **Attività istituzionali ARPA per il controllo della coltivazione delle discariche**

Il Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 (Attuazione della Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti) prevede la presentazione di protocolli di monitoraggio delle discariche già in fase di autorizzazione (Piano di sorveglianza e controllo), imponendo l'effettuazione di verifiche regolari per particolari aspetti gestionali e controlli periodici delle ricadute sull'ambiente determinate dalla presenza dell'impianto.

Nello specifico, per quanto attiene alle valutazioni della morfologia delle aree di smaltimento, al punto 5.7 dell'Allegato 2 al Decreto citato viene richiesto quanto segue: *“La morfologia della discarica, la volumetria occupata dai rifiuti e quella ancora disponibile per il deposito di rifiuti devono essere oggetto di rilevazioni topografiche almeno semestrali. Tali misure devono anche tenere conto della riduzione di volume dovuta all'assestamento dei rifiuti e alla loro trasformazione in biogas.*

*In fase di gestione post-operativa devono essere valutati gli assestamenti e la necessità di conseguenti ripristini della superficie, secondo la periodicità minima prevista in Tabella 2”.*

La discarica identificata per la comparazione delle tecniche di rilievo planoaltimetrico con tecnologie innovative è situata nel territorio del comune di Pianezza, in posizione prossima ai limiti amministrativi del comune di Collegno. L'impianto ha iniziato ad operare nell'anno 1993 e consta attualmente di 3 lotti esauriti (dalla superficie sommitale in parte destinata a parco fotovoltaico) e un settore (lotto 4) attualmente in esercizio.

L'impianto occupa complessivamente una superficie di 210.000 m<sup>2</sup>, con un rilevato dalla quota massima pari a 305 m s.l.m., approssimativamente 18,5 m più elevato rispetto al piano campagna.

Il provvedimento emanato dalla Provincia di Torino per l'Autorizzazione Integrata Ambientale della discarica per rifiuti non pericolosi di Pianezza (Determinazione del Dirigente del Servizio Gestione Rifiuti e Bonifiche n. 139-21368/2012) tiene necessariamente conto di queste indicazioni, richiedendo durante la fase operativa dell'impianto un rilievo plano-altimetrico semestrale dei settori di discarica interessati dalle attività di smaltimento, corredato da sezioni contenenti anche il profilo dei rifiuti autorizzato e la conseguente valutazione della volumetria utile residua per lo smaltimento dei rifiuti. La frequenza di tali rilievi viene mantenuta inalterata per i primi tre anni successivi al completamento delle opere di copertura della discarica, per continuare con cadenza annuale per l'intero periodo di gestione post operativa dell'impianto.

Le strutture tecniche di ARPA Piemonte preposte al controllo dei siti di stoccaggio e trattamento dei rifiuti hanno effettuato sull'impianto, in questi anni, diverse misure di controllo mediante rilievi GNSS: il confronto tra i dati planimetrici ed altimetrici ARPA e quelli resi disponibili dal gestore dell'impianto ha reso evidenti alcune temporanee difformità rispetto a quanto definito nelle prescrizioni.

### **Il sistema *U-Fly* di Menci Software**

Il sistema *U-Fly* è un prodotto progettato per l'acquisizione e la produzione di informazioni metriche tridimensionali nell'ambito del rilievo territoriale, ambientale e di siti di interesse storico e archeologico.

La piattaforma volante è costituita da un drone UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*, ovvero piccoli aerei senza pilota, controllati elettronicamente a distanza) ad ala planante *Swinglet CAM* di *Sensefly*, che funge da vettore per sostenere una camera digitale calibrata preposta all'acquisizione di immagini con criterio fotogrammetrico.

L'UAV è radiocomandato da PC (*Figura 1*) tramite il software in dotazione (*e.motion*) ed è dotato delle apparecchiature di bordo (GNSS, giroscopio, accelerometri, etc.) in grado di renderlo una piattaforma stabile e maneggevole.

Il software APS che accompagna il drone UAV è una stazione di elaborazione fotogrammetrica automatizzata di ultima generazione che rappresenta l'innovativa soluzione tecnologica di Menci specializzata per la generazione di ortofoto, DTM, curve di livello e DSM, nonché per la generazione automatica di nuvole di punti a partire da immagini di prossimità realizzate da drone. La praticità d'uso dello *Swinglet* ed il completo automatismo del software rendono lo strumento interessante per molteplici situazioni di rilievo aereo a bassa quota, al fine di ottenere elaborati a grande e grandissima scala.



*Figura 1: drone UAV planante Swinglet CAM di Sensefly con PC.*

### **La ripresa sperimentale**

Al fine di valutare le possibilità di utilizzo, in termini di operatività e di precisioni ottenibili, è stata realizzata una ripresa sperimentale su una discarica disponibile ad ospitare la sperimentazione, nella fattispecie individuata nel sito di smaltimento di Rifiuti Solidi Urbani di Pianezza, gestito dalla Società Cassagna S.r.l. per conto del consorzio C.I.D.I.U. S.p.A., titolare del provvedimento di Autorizzazione Integrata Ambientale.

La ripresa è stata eseguita in data 22/05/2013, con l'utilizzo della strumentazione messa a disposizione da Menci Software sia per quanto riguarda il velivolo che per quanto riguarda il software di controllo e processamento.

L'area della discarica, tuttora in attività, è costituita da una superficie di circa 1100 x 800 mq, con un cumulo con un'altezza dell'ordine dei 15 m.

Le fasi del progetto sono state organizzate secondo il seguente schema:

- **pianificazione della ripresa:** attraverso l'utilizzo dei dati territoriali è stata studiata con dettaglio la morfologia del sito, sono state analizzate le variazioni di quote sulla zona e valutati i possibili punti di decollo/atterraggio per l'UAV. Con il software *e.motion* si è proceduto quindi alla pianificazione vera e propria del volo, impostando l'area, la risoluzione, la sovrapposizione laterale e longitudinale delle immagini;
- **ripresa aerea:** il piano di volo precedentemente programmato viene trasferito all'UAV e si effettuano i controlli pre-volo. Lo *Swinglet* esegue il piano di volo impostato dall'operatore e consente alla camera ad alta risoluzione di acquisire automaticamente le immagini tenendo in considerazione la sovrapposizione, la velocità del vento e la velocità di volo pianificati; i

*footprint* delle immagini acquisite sono visualizzati in tempo reale sul PC dell'operatore, in modo da avere il controllo visivo della copertura dell'area;

- **appoggio fotogrammetrico:** in relazione allo scopo sperimentale della presente produzione, si è effettuata una misurazione di un numero sovrabbondante di punti, da utilizzarsi in fase di elaborazione sia come punti di appoggio a terra GCP (*Ground Control Point*) sia come punti di controllo CP (*Check Point*).

Le misure sono state eseguite mediante un rilievo GNSS di tipo *RTK* (cinematico in tempo reale) impiegando due ricevitori Leica GX 1230 GG associati ad antenne AX1202GG, in dotazione all'ARPA Piemonte, appoggiandosi al vertice già materializzato all'interno dell'area di discarica per i controlli di tipo tradizionale.

Uno dei ricevitori (“*Reference*”), installato su treppiede e collocato sul punto di appoggio, è rimasto in acquisizione per l'intera durata del rilievo; l'altro (“*Rover*”), con antenna montata su palina, è stato utilizzato sul corpo della discarica al fine di acquisire le coordinate di punti ritenuti significativi per la georeferenziazione delle immagini acquisite.

Il rilievo dei punti sul corpo di discarica è avvenuto definendo prioritariamente i punti utili ai fini della sperimentazione (distribuiti più o meno omogeneamente lungo tutta l'area di studio), “marcandoli” con appositi segnali ed infine stazionando per un determinato intervallo di tempo con la strumentazione su ciascuno di essi.

La correzione immediata delle osservazioni si è ottenuta tramite il collegamento radio tra i due ricevitori, eliminando la necessità di post-processamento dei dati e consentendo un controllo immediato della diluizione della precisione.

Successivamente è stato utilizzato il software “Leica Geo Office” per verificare la bontà del rilievo ed analizzare alcuni parametri di qualità, con particolare attenzione a quelli geometrici (deviazioni rispetto alla posizione planimetrica e alla quota). A seguito di questa operazione si è provveduto ad eliminare i punti che non garantivano sufficienti garanzie di affidabilità.

- **post-elaborazione:** primariamente, attraverso il software *PostFlight Suite* si procede al *geotag* delle immagini con i relativi dati GPS-IMU. Successivamente, mediante il software APS di Menci Software si procede all'elaborazione delle immagini acquisite al fine di eseguire l'aeretriangolazione delle stesse, la generazione del DTM, del DSM, delle curve di livello, dell'ortomosaico e del modello 3D a nuvola di punti.

Il drone è equipaggiato con una camera di tipo *frame* Canon IXUS 125 HS, con certificato di calibrazione redatto in data 22/02/2013, dal quale si riportano le seguenti caratteristiche salienti:

<i>Focal length (mm)</i>	4.420722
<i>Principal point X, Y(mm)</i>	0.000000, 0.000000
<i>Pixel size (mm)</i>	0.001337
<i>Image width, height (mm)</i>	6.160000, 4.620000
<i>Image dimension width, height (pix)</i>	4608, 3456

Tabella 1: caratteristiche della camera

La nostra sperimentazione è stata svolta con i seguenti parametri:

Quota relativa di volo (m)	150
Area ripresa (ha)	90
GSD	da 5 a 8
Numero totale di immagini	200
Tempo effettivo di ripresa (min)	16

Tabella 2: riepilogo delle informazioni di progetto

### Elaborazioni relative all'orientamento dei fotogrammi

In ambiente APS, eseguita la prima fase di *bundle adjustment* che lega insieme le foto con un processo automatico ed accurato di estrazione delle *features*, segue la fase di collimazione semi-automatica dei GCP e dei CP, collimazione che avviene in monoscopia con l'ausilio di performanti funzioni automatiche di *image matching*.

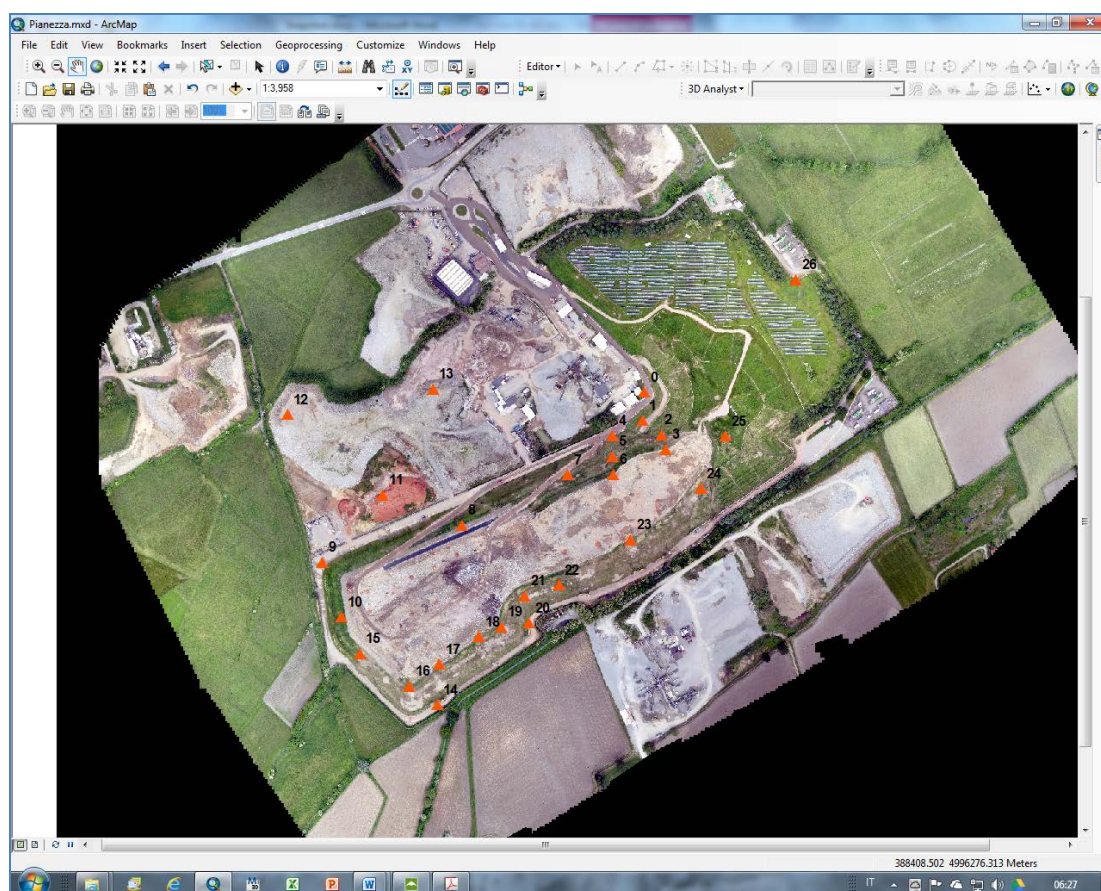


Figura 2: collocazione dei punti noti (CGP e CP)

Al termine del processo di aereo-triangolazione sono visualizzati i centri di presa delle immagini ed è possibile verificare gli orientamenti calcolati.



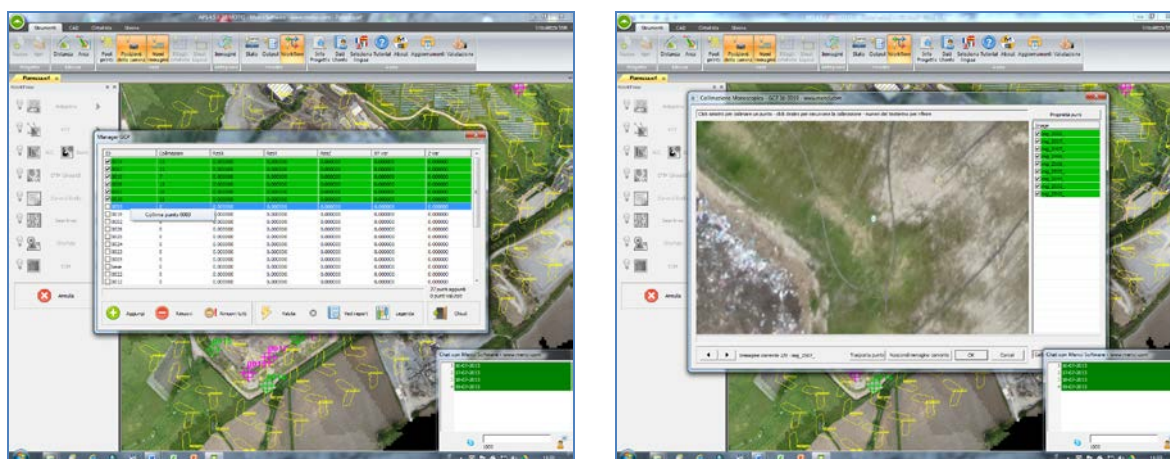


Figura 3: collimazione semiautomatica dei GCP e dei CP

In totale sono risultati disponibili 23 punti, che sono serviti per l'impostazione di 4 calcoli differenti, descritti nella Tabella che segue, dove si intende che, in ogni calcolo, sono stati utilizzati come CP tutti i punti non considerati come GCP:

Calcolo	Numero GCP	Punti	Numero CP
TA_3	3	12, 16 e 25	21
TA_4	4	i precedenti + 26	19
TA_8	8	i precedenti + 4, 8, 13 e 23	15
TA_12	12	i precedenti + 7, 9, 11 e 20	11

Tabella 3: riassunto delle varie configurazioni di calcolo

Interessanti considerazioni si possono trarre dall'analisi delle varianze e dei residui sui GCP, ma si ritiene utile proporre alcune considerazioni relative all'analisi dei residui sui CP, dall'analisi dei quali è possibile trarre indicazioni sull'affidabilità complessiva della metodologia.

In Tabella 4 sono sinteticamente riportati alcuni dati di analisi dei residui sui CP per le differenti configurazioni di calcolo:

Calcolo	Media residui in X	Media moduli residui in X	Modulo residuo massimo in X	Media residui in Y	Media moduli residui in Y	Modulo residuo massimo in Y	Media residui in Z	Media moduli residui in Z	Modulo residuo massimo in Z
TA_3	-0.050	0.071	0.167	-0.006	0.036	0.107	0.093	0.136	0.379
TA_4	-0.027	0.057	0.164	-0.011	0.034	0.112	0.137	0.148	0.231
TA_8	-0.005	0.062	0.141	-0.010	0.035	0.109	-0.006	0.044	0.131
TA_12	-0.036	0.066	0.141	-0.007	0.029	0.102	-0.013	0.043	0.103

Tabella 4: residui sui CP

Le considerazioni sui calcoli sono pertanto le seguenti:

- non sono presenti sistematismi evidenti, come si evince dalle medie dei residui generalmente abbastanza contenute;
- gli scarti planimetrici sono decisamente più contenuti di quelli altimetrici, come d'altronde è logico aspettarsi;

- il numero di soli 3 GCP è troppo piccolo, anche solo aggiungere un quarto punto produce un evidente risultato in termine di accuratezze soprattutto altimetriche;
- oltre gli 8 GCP non si ha più un evidente guadagno in termini di precisione.

### Prodotti disponibili

Il processo di creazione dell'ortofoto come anche il processo di estrazione del DSM e del modello 3D a nuvola di punti avvengono in completa automazione.

Nel caso specifico è stata realizzata un'ortofoto alla scala 1:1000 ed un DTM con risoluzione 40 cm (Figura 4), passo assunto pari a 5 volte il GSD delle immagini, valutato pari a 8 cm nella situazione più sfavorevole.

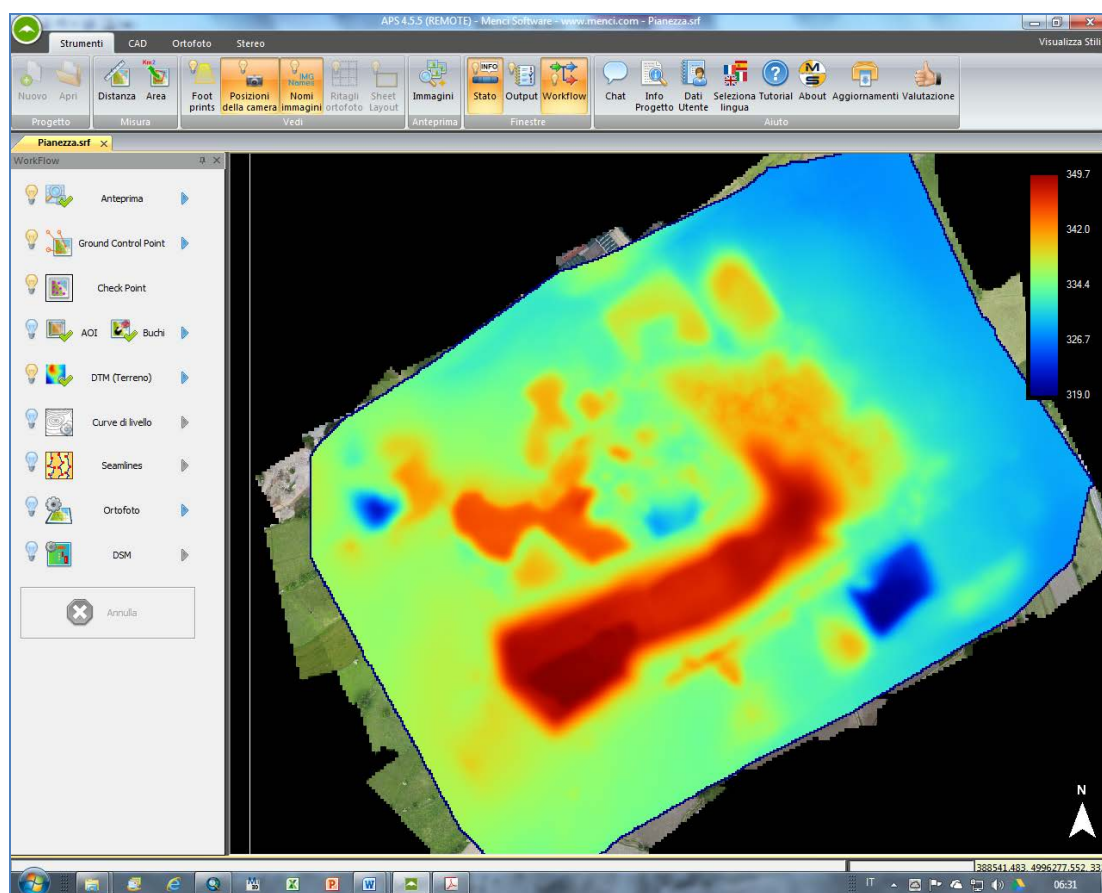


Figura 4: DTM generato

### Considerazioni conclusive

L'utilizzo della metodologia proposta risulta estremamente interessante per sostituire i rilievi tradizionali in questo genere di attività, in quanto è possibile ipotizzare nei siti la dotazione di un certo numero di punti di riferimento stabilmente materializzati da utilizzarsi come GCP. In questo modo anche l'operazione di pianificazione delle riprese risulta invariata da una sessione di misura alla successiva, e quindi è possibile ottenere una versione aggiornata degli elaborati, a partire dalla riprese alla restituzione di tutti gli *output* grafici, nell'ambito di una mezza giornata di lavoro.

Oltre ai tempi di rilievo estremamente ridotti, la metodologia proposta consente la determinazione sulla zona da rilevare non un insieme ristretto di punti, ordinariamente battuti con tecnica GNSS, ma produce, anche se con una precisione relativamente inferiore, la determinazione di un insieme denso di punti che definiscono il cumulo oggetto del rilievo, portando quindi ad una determinazione dei volumi sostanzialmente più corretta ed oggettiva della precedente.

Analoghe considerazioni posso essere svolte relativamente all'impiego in situazioni sostanzialmente analoghe, tipo le aree di cava per la stima dei cumuli di materiale estratto ovvero in aree di estrazione a cielo aperto, per il controllo del fronte di escavazione.

### **Bibliografia**

Bellavita, D.; Tolomei, L.; Mazzitelli, A. (2012): *Realizzazione di cartografia di dettaglio di area franosa attraverso l'uso di UAV planante Sensefly e software innovativo APS per generare ortofoto, DSM e DTM*, Atti XVI Conferenza Nazionale ASITA - Fiera di Vicenza, 6-9 novembre 2012

Menci, L. (2004): *Zmap: stazione digitale multisensore per una moderna produzione di dati cartografici*, Geomedia Reports 4, pp. 26-29