

Applicazioni laser scanning a supporto delle attività di coltivazione di cave di inerte

Linda Barnobi (*), Alessia Giuffrida (*), Martinluca Iacono (**), Franco Cutuli (***),
Pietro A. Furnari (***), Giuseppe Mussumeci(**)

(*) Università degli studi di Catania, Facoltà di Ingegneria, DAU, Via A. Doria, 6
95125 Catania, lbarnobi@dau.unict.it

(**) Università degli studi di Catania, Facoltà di Ingegneria, DICA, Via A. Doria, 6
95125 Catania, gmussume@dica.unict.it

(***) Servizi Tecnologie e Management STM srl, Via Stazzone, 45-47, Aci S. Antonio (Ct), info@stmsrl.org

Abstract

Nella conduzione dei piani di coltivazione di cave di inerte è necessario verificare periodicamente lo stato di avanzamento dei lavori in relazione al rispetto delle prescrizioni sul perimetro dell'area di scavo e sulle profondità raggiungibili. In questo ambito si è sperimentato positivamente l'impiego del laser scanning terrestre ed aereo per realizzare modelli solidi finalizzati al calcolo dei volumi di scavo ed alla verifica periodica dei livelli di sbancamento. Si evidenzia, in particolare, come, grazie all'elevata densità e accuratezza dei punti acquisiti, i modelli matematici delle superfici e i calcoli volumetrici per prismoidi retti risultino estremamente aderenti al dato reale e, certamente, molto più attendibili rispetto al tradizionale approccio per piani quotati e sezioni ragguagliate, specie per morfologie irregolari. Nel presente lavoro si riferisce di alcune esperienze condotte nel territorio siciliano che, avendo interessato terreni caratterizzati da diversa natura, morfologia ed estensione, hanno consentito di affinare l'approccio metodologico sia in fase di rilevamento che di modellazione.

In the farming of the inert quarries' cultivation plans, it's necessary to verify periodically the works state of progress, with regard to the prescriptions' respect about the digging area perimeter and the allowed depths. We experimented positively with the employment of the terrestrial and aerial laser scanning in this field, by the realization of 3d solid models, finalized to the digging volumes calculation and to the excavation levels periodic verification. We should put in evidence, in particular, how, thanks to the high density and accuracy of the acquired points, the surface mathematical models and the volumetric calculations, made by right "prismoids", turned out extremely adherent to the real data and surely more reliable than the traditional approach by quoted plans and scaled sections, above all as regarding irregular morphologies applications. Some experiences carried out in the Sicilian territory on various nature, morphology and extension grounds have concurred to improve the methodological approach, both in survey and in modelling phases.

Introduzione

Oggi non è possibile concepire uno sviluppo economico che non valuti la conciliabilità con il razionale sfruttamento delle risorse naturali: per tali ragioni le coltivazioni a cielo aperto di cave e miniere attualmente sono subordinate alla necessità di unire esigenze di carattere tecnico-economico con quelle di tipo ambientale, legislativo e sociale.

L'utilizzo della tecnologia **LIDAR** (Laser Imaging Detection and Ranging) in ambito terrestre, grazie alla possibilità di acquisire una notevole mole di dati per la descrizione tridimensionale di oggetti estesi, in tempi ridotti si è dimostrato di notevole aiuto anche nel rilievo di cave a cielo aperto, dove le tecniche di rilievo di tipo tradizionale rendono spesso difficoltosa la quantificazione. Il rilievo laser, infatti, permette di estrarre informazioni geometriche di così alta densità spaziale ed elevata accuratezza, da consentire di monitorare l'avanzamento della coltivazione, valutare il grado di stabilità delle pareti, effettuare monitoraggi multi temporali; confrontare lo stato di fatto con i progetti di coltivazione; supportare la progettazione degli interventi di ripristino ambientale previsti dalla legge al termine dell'attività estrattiva.

Il rilievo integrato delle cave di San Biagio a Scicli e di Cava Cella a Pozzallo (RG).

I rilievi compiuti per le cave di S. Biagio a Scicli, e Cava Cella a Pozzallo sono stati eseguiti integrando la tecnologia laser con i più tradizionali approcci topografici e le tecniche di posizionamento satellitare. Il lavoro è stato effettuato mediante:

- determinazione delle coordinate plano-altimetriche nel sistema cartografico Gauss-Boaga dei vertici di confine dell'area di disponibilità con l'impiego di ricevitori GPS geodetici e posizionamento differenziale rispetto a caposaldo IGM95;
- tracciamento sul campo dei picchetti di delimitazione dell'area di coltivazione;
- rilevamento con laser scanner dell'area interessata dagli scavi e restituzione di un modello matematico tridimensionale TIN (Triangular Irregular Network) e di una rappresentazione a curve di livello;
- determinazione di un piano quotato del terreno interno all'area di disponibilità ma non ancora interessato da lavori di scavo; integrazione dei prodotti del rilevamento e produzione di una carta a curve di livello in scala 1:1.000 dell'intera area di cava.

Per valutare le trasformazioni subite dal sito, per ogni cava è stato prodotto un modello



Figura 1 – Cava Cella.



Figura 2 – Cava San Biagio.

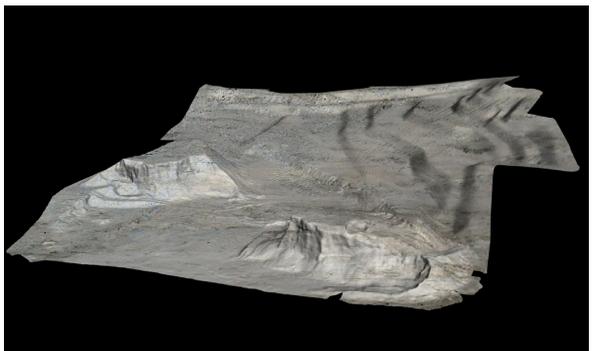


Figura 3 – Cava San Biagio: modellazione TIN e rendering.

TIN sulla scorta di cartografie realizzate prima che si avviasse la coltivazione, in modo da ottenere un modello matematico "ante operam" sovrapponibile a quello rilevato in corso di coltivazione.

A tal fine, accertata l'accuratezza dei rilievi eseguiti, la georeferenziazione dei dati ante operam è stata effettuata imponendo la corrispondenza plano-altimetrica di un congruo numero di punti ben distribuiti nell'area non ancora sottoposta a coltivazione e che, pertanto, è da ritenere sostanzialmente inalterata rispetto all'epoca dei precedenti rilievi. Il rilevamento laser dell'area di cava è stato invece finalizzato alla restituzione tridimensionale della superficie del terreno "post operam".

Le operazioni di campo hanno richiesto la scansione dell'area da più punti stazione, al fine di ottenere la copertura totale e senza zone d'ombra dell'area di interesse. Dall'iniziale rappresentazione a "nuvola di punti", ottenuta per registrazione delle varie scansioni parzialmente sovrapposte, è stato generato un modello matematico ad elementi poligionali.

Lo strumento utilizzato è il laser scanner Leica HDS 3000, basato sul principio della misura di distanza mediante osservazione del "tempo di volo". Lo strumento ha un campo di vista selezionabile all'interno di un range di ben $360^\circ \times 270^\circ$. La peculiarità dello strumento è l'alta densità dei dati, che può essere raggiunta attraverso uno spot di 6 mm a 50 m di distanza. Per le finalità dei presenti rilievi, il passo della maglia di scansione è stato fissato in circa 50 cm, raggiungendo risultati ottimali in relazione alle



Figura 4 – Cava Cella : rendering fotorealistico.

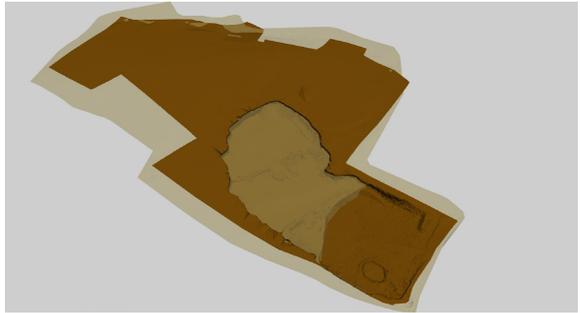


Figura 5 – Cava Cella : modellazione e rendering dello stato di avanzamento della coltivazione.

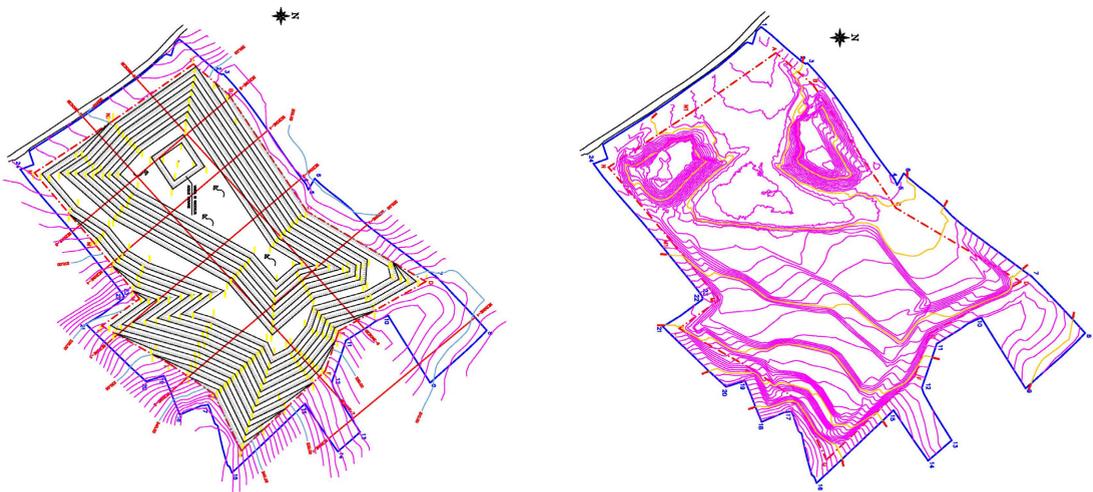


Figura 6 – Cava San Biagio: a sinistra, rappresentazione cartografica a coltivazione ultimata, a destra rappresentazione a curve di livello dello stato attuale.

finalità ed alle precisioni metriche richieste, sicuramente non comparabili con gli approcci tradizionali a punti discreti.

D'altra parte, gli effetti dell'alta densità sono bene visibili ed apprezzabili nelle elaborazioni effettuate al computer, valorizzate da effetti di colori e visualizzazioni tridimensionali. I software utilizzati per l'elaborazione delle nuvole di punti e per l'estrazione delle informazioni tecniche richieste sono il "Cyclone", il TOPKO della Sierra Soft Geomatics, e il Rapidform 2006 che consentono di effettuare la cattura, la visualizzazione, l'estrazione, l'analisi e la rappresentazione dei dati contenuti in nuvole di punti in forma di elaborati finali tradizionali o valorizzati da operazioni di rendering a colori e 3D.

Il risultato può essere ritenuto molto accurato (scarto medio tra misure laser e misure topografiche su serie di punti campione inferiore a +3 mm) e quindi utilizzabile a scopi metrici, direttamente sulla nuvola di punti o sugli oggetti geometrici modellabili.

I dati acquisiti con il laser scanner sono stati integrati con i punti del piano quotato e trattati in ambiente informatico per realizzare un modello matematico della superficie del terreno a maglie triangolari (TIN) rappresentativo dello stato attuale dell'intera area di cava.

Sulla scorta della cartografia vettoriale 2D di epoca antecedente ai primi lavori di scavo, reperita in scala nominale 1:1.000, è stato realizzato un modello matematico analogo a quello costruito sulla scorta dei rilievi, ma che, evidentemente, rappresenta lo stato dei luoghi ante operam. Il modello è stato georeferenziato con le modalità di cui si è detto sopra. Il confronto con lo stato dei luoghi all'inizio della coltivazione è stato effettuato in ambiente informatico, confrontando, per sovrapposizione diretta, il modello matematico costruito integrando la scansione e il rilievo topografico con l' analogo modello costruito a partire dalla carta a curve di livello rappresentativa dello stato "ante operam". Il calcolo del volume è stato effettuato con il metodo dei prismoidi, ovvero schematizzando il piano quotato attraverso prismi a basi triangolari con spigoli laterali verticali. Il volume di ogni prisma è stato ricavato moltiplicando l'area della sezione orizzontale per la distanza fra i baricentri delle basi, ottenute dalla media aritmetica delle lunghezze degli spigoli laterali. In fine è stato creato un modello matematico dello stato dei luoghi a coltivazione ultimata, assumendo che a fine lavori le scarpate abbiano un'inclinazione di 45°. Dalla sovrapposizione diretta tra il modello matematico a "coltivazione ultimata" e "ante operam" è emerso il volume cavabile totale, e il volume ancora estraibile di grande utilità ai fini della pianificazione delle future attività di scavo.

Il rilievo di una cava a Lipari

La vastità dell'area, circa 50 ettari, e le difficoltà di accesso dovute alla tormentata orografia ed alle profonde incisioni del suolo, hanno determinato la scelta di eseguire il rilevamento dell'intera area di cava con sensore LIDAR (Light Detection and Ranging) installato su velivolo e di utilizzare un laser terrestre per il rilevamento di eventuali zone che fossero risultate in ombra o non sufficientemente coperte. Il volo, commissionato alla Società CGR di Parma (Gruppo Blom ASA), è stato effettuato in data 6/8/2009. Il sensore, è in grado di registrare simultaneamente quattro ritorni per ogni impulso laser emesso e l'intensità del segnale di ritorno. Ciò consente, tra l'altro, di riconoscere ed escludere dalla modellazione del terreno la vegetazione e gli edifici. Infatti, quando l'impulso laser incontra un ostacolo, come foglie, fili sospesi, cornicioni, viene diviso in più componenti che vengono riflesse verso l'alto in tempi diversi, dando modo di riconoscere le riflessioni "primo impulso" e "ultimo impulso".

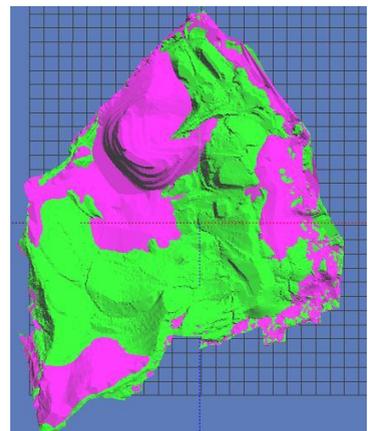


Figura 7 – Rappresentazione scavi e riporti all' interno della cava.

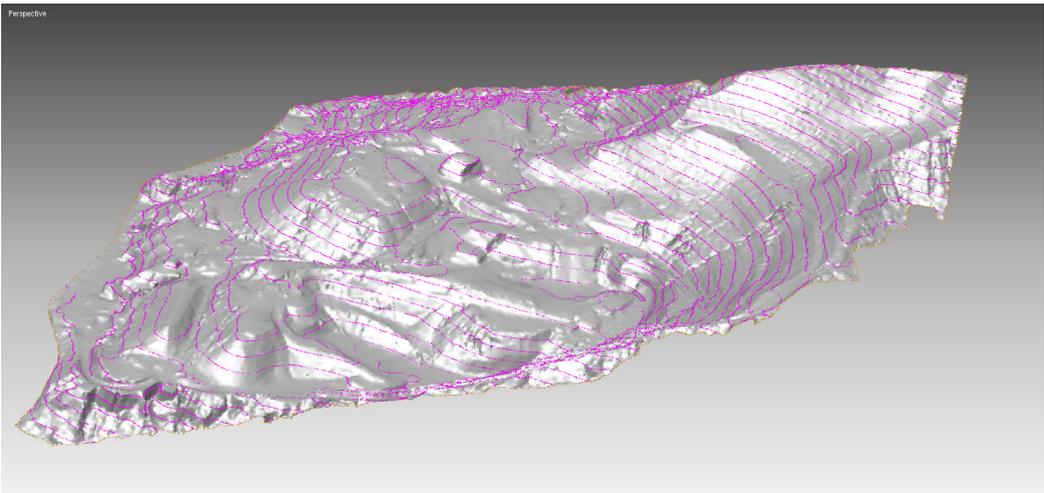


Figura 8 – Cava di Lipari: rendering con sovrapposizione di curve di livello.

I parametri operativi impostati per la missione sono stati i seguenti :

- Quota di volo relativa : 1000 metri
- Frequenza di scansione : 100 khz
- Angolo di scansione : 14°

Lo strumento integra al suo interno un ricevitore GPS ed un sensore inerziale Applanix per la rilevazione della posizione assoluta e dei parametri angolari dell'aeromobile istante per istante.

La copertura del volo, effettuato con ben otto strisciate incrociate ad una quota media di 1000 m, è stata totale ed ottimale sia riguardo alla densità dei punti rilevati (mai inferiore ai 2-3 punti al metro quadrato) che riguardo all'accuratezza verticale (circa ± 15 cm) e orizzontale (migliore di ± 20 cm).

Per garantire il rispetto delle precisioni plano-altimetriche, è stato necessario effettuare la correzione differenziale dei dati GPS registrati dal sensore in volo con una stazione a terra prossima all'area da rilevare. Nel caso in esame, è stata utilizzato il set di parametri di correzione differenziale fornito dalla stazione permanente presene proprio a Lipari (rete ItalPos), ottenendo le migliori accuratze possibili. Infatti, se è vero che la distanza delle stazione a terra può essere accettata fino a valori prossimi anche ai 30 km, è importante precisare che i risultati sono tanto più accurati quanto più la stazione a terra è prossima all'area di rilevamento. Utilizzando un software di post-elaborazione, che elabora in modo coordinato le informazioni relative alla posizione e all'assetto del velivolo, alla direzione di scansione e alla distanza dei punti, è possibile calcolare le coordinate planoaltimetriche di una grande quantità di punti della superficie investigata. Le coordinate dei punti rilevati vengono restituite nel Sistema Internazionale WGS84. Una trasformazione di datum, da WGS 84 a Roma 40 ha consentito di rendere il rilievo sovrapponibile alla CTR (Carta Tecnica Regionale) della Sicilia ed alla planimetria del progetto di coltivazione. A tal fine, è stata svolta una campagna di rilevamento con ricevitori GPS per determinare le coordinate di un congruo numero di punti di controllo nei due sistemi di riferimento. Le condizioni morfologiche dell'area e la difficoltà a riconoscere punti significativi all'interno della cava, hanno suggerito di eseguire il rilevamento continuo, in modalità cinematica con correzione differenziale RTK, di ampie porzioni del perimetro dell'area in concessione e, in particolare, dell'intero confine est lungo la strada provinciale e di porzioni del confine ovest e nord-ovest facilmente riconoscibili attraverso materializzazioni al suolo. Il rilevamento con laser scanner ha prodotto un listato di oltre 1.000.000 di punti in coordinate spaziali tridimensionali nel sistema internazionale WGS84, che, elaborato in ambiente software dedicato, ha prodotto un modello digitale della superficie del terreno.

Per potere effettuare utili confronti con le previsioni riportate negli elaborati di progetto, e in particolare con gli stati di avanzamento dei lavori previsti nelle tre successive fasi di coltivazione e sistemazione dell'area, il modello del terreno rilevato è stato preventivamente georeferenziato nel sistema cartografico Italiano Gauss-Boaga (datum Roma40). Sono state estratte quattro sezioni, esattamente in corrispondenza delle tracce indicate nelle planimetrie di progetto, in modo da potere sovrapporre e confrontare il profilo rappresentativo dello stato attuale con quello relativo alla configurazione originaria del terreno e con i profili del terreno previsti nelle tre fasi del piano di coltivazione autorizzato. Per fornire una più chiara visione delle discordanze tra lo stato attuale e le previsioni del piano di coltivazione, è stato costruito un analogo modello tridimensionale della rappresentazione cartografica relativa alla fase 3 di coltivazione (ultima fase). Questo modello è quindi stato confrontato, per sovrapposizione diretta, con il modello costruito in base ai dati LIDAR (stato attuale): ne è risultata una rappresentazione cartografica a colori che evidenzia le aree in cui l'attuale superficie di cava si trova a quota inferiore (depressioni) o superiore (rilievi) rispetto alle quote previste nel piano di coltivazione.

Conclusioni

L'applicazione integrata delle tecnologie di rilevamento avanzate si è dimostrata essenziale per il confronto dei dati geometrici tridimensionali ottenuti in intervalli temporali differenti, e la valutazione delle variazioni in termini lineari, superficiali o volumetriche.

I dati sono stati elaborati per costruire un modello solido matematico dell'area di cava, da cui sono state ricavate la rappresentazione piana a curve di livello e le sezioni verticali corrispondenti alle sezioni riportate nel progetto di coltivazione a suo tempo autorizzato.

La rappresentazione a curve di livello, in particolare, fornisce, alla scala nominale 1:1.000, un quadro chiaro ed esaustivo dell'attuale orografia. E' possibile, infatti, riconoscere le aree depresse e quelle in rilievo, gli accumuli di materiale, le pendenze del terreno, i canali prodotti dal ruscellamento superficiale e le erosioni conseguenti.

Nel monitoraggio dell'attività estrattiva, la valutazione del volume estratto viene notevolmente facilitata e velocizzata dalla sovrapposizione dei modelli superficiali del fronte di cava e dal calcolo del volume tra essi compreso, che risulta molto accurato dal momento che le caratteristiche geometriche della superficie del fronte di cava vengono rilevate con una maglia di punti ad elevata densità e con precisione centimetrica. Inoltre il modello tridimensionale rilevato consente di produrre un documento incontestabile in caso di controversie o contenziosi tra gestori della cava e concessionari, a riguardo della stima dei reali volumi estratti.

Bibliografia

Condorelli A.V.; Mussumeci G. (2008). Modelli digitali del terreno per la progettazione stradale: tecniche di acquisizione e di elaborazione. Convegno Nazionale SIFET (Società Italiana Fotogrammetria e Topografia) sul tema "La topografia per le opere di ingegneria: metodi strumenti ed applicazioni". Sorrento (NA). 18-20 Giugno 2008. SIFET. pp. 170-176. ISBN: 88-901939-8-0.

Warriner T., Mandinburger G. (2006). Generating a new high resolution DTM. Product from various data sources. GIS Geo- Informationssysteme n°4/2006.

Mussumeci G.; Condorelli A.; Siligato G. (2005). "Creazione di SIT specializzati con l'ausilio di tecniche avanzate di rilevamento e restituzione a grande scala". BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FOTOGRAMMETRIA E TOPOGRAFIA. Vol. 2. pp. 129-147. ISSN: 1721-971X.

Condorelli A.V.; Mussumeci G.; Siligato G. (2004). Tecnologie geomatiche per il rilevamento e la rappresentazione di cave e discariche. Atti del Simposio Internazionale Di Ingegneria Sanitaria Ambientale SIDISA 2004. Taormina. 23-26 giugno 2004. SIDISA. 1. pp. 12-23. ISBN: 78-7850-001-1.

L. Barnobi, A. Giuffrida, " Il laser scanner per il rilevamento dei siti archeologici fortificati medioevali: il castello di Serravalle.", sta in Atti del Convegno della 13 a Conferenza Nazionale Asita., Bari, 1-4 dicembre 2009, ISBN 978-88-903132-2-6, (pag.281-288).