

Piattaforma HW/SW per la gestione dei Cantieri Tecnologici per Infrastrutture Civili

Francesco Argese ^(a), Giovanni Erriquez ^(a), Angelo Galeandro ^(a), Santiago Giraldo Manrique ^(a), Maurizio G. Imperiale ^(a), Mirko Saponaro ^(b), Alessandro R. Specchiarello ^(a), Eufemia Tarantino ^(b), Adriano Turso ^(a)

^(a) Sipal S.p.A., S.P. 83 c/o Aeroporto "Marcello Arlotta", 74023 Grottaglie (TA), Italia – specchiarello.alessandro@sipal.it

^(b) Politecnico di Bari, Via Orabona 4 - 70125 Bari, Italia – mirko.saponaro@poliba.it

Riassunto

Il nuovo trend tecnologico diffusosi negli ultimi anni ha positivamente orientato il settore industriale nella visione di una Industria 4.0, evidenziando la necessità di uno sviluppo tecnico e professionale in linea con gli obiettivi e le strategie di medio lungo periodo a livello mondiale. La Sipal S.p.A. ha ormai da tempo avviato un processo di trasformazione dei servizi e dei prodotti tramite l'impiego di soluzioni ICT, l'adozione di apparecchiature innovative ed intelligenti, e lo sviluppo in ambiente software. Nel progetto innovativo '*Cantiere Tecnologico per Infrastrutture Militari e Civili*', il gruppo di Ricerca & Sviluppo ha testato e costruito una serie di prodotti industriali di cui si divulgano i risultati principali.

Introduzione

La manifesta ascesa di una moltitudine di tecnologie hardware e software, impiegabili in maniera trasversale fra i vari settori industriali, ha di fatto positivamente stimolato l'orientamento delle principali linee strategiche di sviluppo dell'Industria 4.0. L'intero settore, ormai coinvolto in una vera e propria rivoluzione digitale verso l'automazione ed ottimizzazione dei processi, sente così la necessità di porsi in linea con gli obiettivi e le strategie di medio lungo periodo a livello mondiale. L'impiego di soluzioni *Information and Communications Technology* (ICT), l'adozione di apparecchiature innovative ed intelligenti, e lo sviluppo in ambiente software troveranno quindi importante applicazione in qualsiasi ambito industriale. L'effetto ha interessato le istituzioni competenti dei maggiori Paesi sviluppati, mettendo in essere una moltitudine di misure per incentivare gli investimenti funzionali alla trasformazione tecnologica.

A tal proposito la Sipal S.p.A. ha ormai da tempo avviato un processo di trasformazione dei servizi e dei prodotti offerti, nell'ottica di allinearsi a questa nuova visione strategica. Dal 2016 partecipa attivamente, nella sua sede presso l'aeroporto 'M. Arlotta' di Grottaglie (Taranto), al programma di investimenti "*Progetto Cofinanziato dall'Unione Europea - Fondo Europeo di Sviluppo Regionale POR Puglia 2014/2020*" della Regione Puglia nel progetto

innovativo 'Cantiere Tecnologico per Infrastrutture Militari e Civili' (*Unmanned Vehicles and Virtual Facilities*).

Il Progetto Tecnologico, nel seguito esposto nelle sue caratteristiche essenziali, riguarda lo Sviluppo di un Progetto di Ricerca & Sviluppo relativo a "*Unmanned Vehicles and Virtual Facilities*", ovvero mezzi senza equipaggio a bordo e sistemi virtuali per la costituzione di cantieri digitali dedicati a infrastrutture civili e militari. Il progetto consiste nello sviluppo di un applicativo *software*, in grado di gestire ed elaborare, in modo rapido e preciso, dati di fondamentale applicazione nelle diverse fasi in cui si sviluppa un cantiere infrastrutturale. Le sperimentazioni condotte finora dimostrano risultati incoraggianti e passi notevoli verso gli obiettivi statuiti (Argese et al., 2019).

Il Progetto Tecnologico: *Unmanned Vehicles*

Il progetto operativo consta di due sviluppi tecnici paralleli, di cui del primo si terrà conto in questo lavoro divulgativo. "*Unmanned Vehicles*" riguarda lo sviluppo di applicazioni *hardware* e *software* (HW/SW) da installare a bordo di veicoli, aerei e terrestri, senza equipaggio a bordo, per rilevare dati fondamentali nelle diverse fasi in cui si sviluppa un cantiere tecnologico.

L'attività in oggetto è svolta da ingegneri e tecnici SIPAL, a skill elevato nelle discipline a cui si riferiscono i progetti in oggetto, che, congiuntamente con tecnici selezionati, di provenienza dal Politecnico di Bari e dagli Istituti Tecnici della Regione Puglia, costituiscono un team con la necessaria *expertise* per progettare, sviluppare e collaudare i sistemi tecnologici.

Le applicazioni della ricerca sono focalizzate sulla validazione delle innovative tecniche di rilievo tramite questi RPV, dall'anglosassone *Remotely Piloted Vehicle*, in modo che sostituiscano i metodi di rilievo tradizionale per l'acquisizione dei dati legati alle varie fasi di realizzazione delle opere infrastrutturali e al fine di modernizzare le fasi di cantiere. Le informazioni rilevate da questi mezzi saranno gestite su una piattaforma di archiviazione e di elaborazione dati, raccolti al fine di ottenere, rispetto alle attuali operazioni, delle informazioni puntuali dirette in tempi molto contenuti.

Tale piattaforma è basata su differenti moduli, attualmente in corso di implementazione:

- ∞ un modulo *web*, avente funzione di interfaccia utente per l'inserimento, la gestione dei dati acquisiti e la visualizzazione dei risultati;
- ∞ diversi moduli *software*, il cui scopo è l'elaborazione dei dati topografici costituiti da acquisizioni laser scanner, immagini, rilievi GNSS e misure topografiche tradizionali;
- ∞ un server *RabbitMQ*, modulo *middleware* di tipo *message-oriented*, come protocollo di comunicazione tra il modulo *WEB* e i moduli *software*.

In particolare, i moduli *software* riguardano quattro categorie principali:

- ∞ *Photogrammetry*, costituito da script in linguaggio *Python* che richiamano librerie *open-source* per l'elaborazione dei dati GNSS e dei dati fotogrammetrici;
- ∞ *Earthworks*, che effettua la post elaborazione dei dati risultanti dal modulo *Photogrammetry* per il calcolo delle superfici e dei volumi di scavo e rinterro nelle varie fasi di lavorazione del cantiere;

- ∞ *Video Generation*, per la generazione di filmati virtuali costruiti a partire dalle fotografie acquisite da drone aereo;
- ∞ *Tunnel*, per la navigazione autonoma in ambienti chiusi di un drone terrestre, basata sugli algoritmi SLAM (*Symultaneous Localization And Mapping*), riguardante il posizionamento di alta precisione in ambienti chiusi, basata su tecniche topografiche di tipo classico, quale l'intersezione inversa, col fine di restituire la ricostruzione 3D ed il monitoraggio delle volte delle gallerie.

I dati rilevati ed opportunamente elaborati trovano impiego nella fase di preparazione di una gara di appalto, nella fase di esecuzione dei lavori di costruzione, nella fase operativa dell'infrastruttura ed infine nella fase manutentiva post-operam. La conoscenza della morfologia del terreno, ad esempio, consente di organizzare dall'inizio del cantiere un processo tecnologico di lavoro mirato specificatamente alla bisogna, e non solo come processo esecutivo ma già di poter disporre di dati precisi in fase di definizione della gara d'appalto.

Infine, un importante campo di applicazione vede lo studio di immagini satellitari tramite le innovative tecniche di analisi di *change detection*, per il monitoraggio delle fasce di rispetto nei Cantieri Infrastrutturali. La gestione dell'abusivismo, lungo le infrastrutture stradali in fase d'esercizio, per mezzo di applicativi automatizzati di analisi di immagini satellitari multitemporali, solleverebbe le autorità competenti dall'onere di un controllo manuale a terra.

Risultati al corrente stato di avanzamento

Le sperimentazioni condotte finora hanno gettato le basi per l'avanzamento verso gli obiettivi attesi nel Progetto Tecnologico. Per tutta la parte di sperimentazione sul campo, la Capogruppo FININC ha reso fruibile la struttura cantieristica che attualmente è operativa per la costruzione della Pedemontana Veneta, superstrada a due corsie per ogni senso di marcia con quasi 100 km di percorso e annessi svincoli.

Gestione dei rilievi da RPV

Obiettivo di questa attività è stato definire le possibili fasi applicative degli RPV nell'ambito dei cantieri infrastrutturali, cercando di coniugare le esigenze operative con le nuove potenzialità tecnologiche dei droni e della molteplice sensoristica di cui si possono equipaggiare, facendo particolare attenzione ai vantaggi economici ma soprattutto all'ottimizzazione delle attività di campo.

Le sperimentazioni svolte hanno coinvolto due mezzi a pilotaggio remoto, rivolti relativamente ad attività aeree e a quelle terrestri. Con il supporto della IDS S.p.A., sono stati assemblati quindi: un sistema aeromobile a pilotaggio remoto (SAPR) Colibrì IA-3 dotato di un ricevitore GNSS a doppia frequenza L1/L2 Topcon B110, una fotocamera Nikon Coolpix A (16.2 MP, sensore 1/2.3" CMOS, lunghezza focale pari a 18.5 mm, 299 g); ed un rover terrestre Bulldog dotato di una piattaforma autolivellante *Geo-Laser AD-12*, un LiDAR *Velodyne Puck VLP-16* (portata pari a 100 m, accuratezza di circa 3 cm, campo di vista orizzontale di 360° e verticale di 30°) per la localizzazione in tempo reale, ed un *Trimble SX10*, ovvero una stazione totale robotizzata ad alta precisione (precisione angolare 1", precisione nella misurazione della distanza 1 mm +

1.5 ppm), che coniuga anche funzionalità di laser scanner 3D ad alta velocità. I sistemi sono stati testati per verificare sperimentalmente le caratteristiche con prove di autonomia, mobilità e manovrabilità.

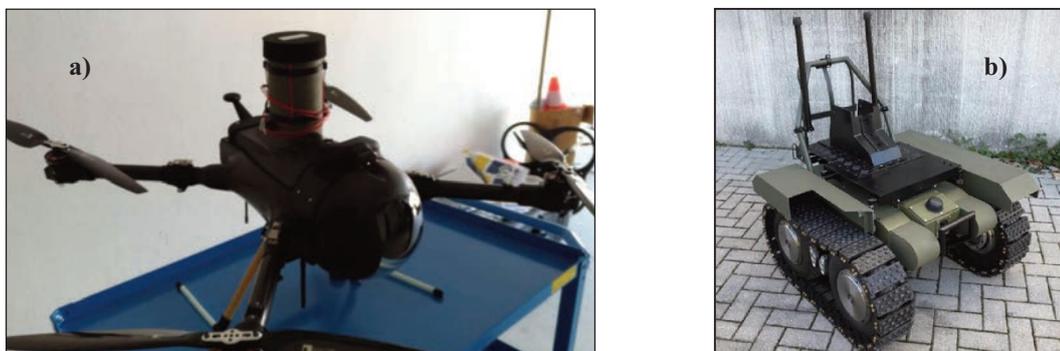


Figura 1. I mezzi in dotazione: a) il SAPR Colibrì IA-3, b) il rover terrestre Bulldog

L'attenzione del gruppo di lavoro si è poi concentrata nello studio delle metodologie di rilievo e restituzione fotogrammetrica da immagini SAPR usufruendo del *software open-source* MicMac (Rupnik, Daakir, & Pierrot Deseilligny, 2017), integrabile all'interno della piattaforma tramite una sequenza di comandi Python attentamente compilata ed in parte customizzata (Figura 2). Parallelamente sono stati effettuati ulteriori test al fine di consolidare una workflow di processamenti ottimale dei dati SAPR in grado di restituire prodotti altamente accurati, riproducibili e al contempo tali da non necessitare di dispendiose attività di campo (Saponaro, Tarantino, & Fratino, 2018). In particolare è stato volutamente scelto di equipaggiare il SAPR con un ricevitore GNSS capace di acquisire informazioni posizionali centimetriche in modalità di misura *Real Time Kinematic* (RTK) in modo da ridurre, o in alcuni casi non prevederne, i *Ground Control Point* (GCP) da rilevare in campo (Saponaro, Tarantino, Reina, Furfaro, & Fratino, 2019).

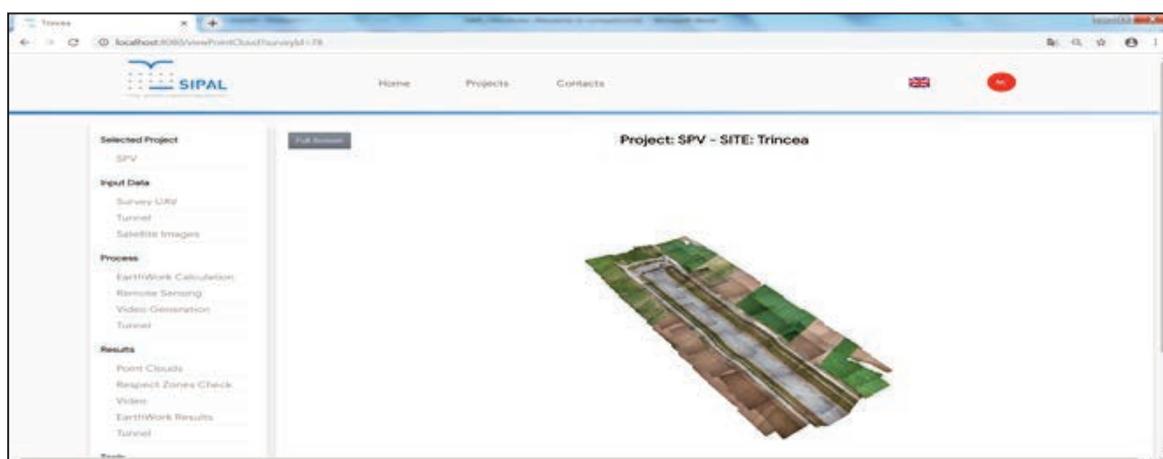


Figura 2. Visualizzazione della nuvola di punti nella piattaforma SIPAL, risultato della elaborazione del rilievo da SAPR

Nell'ottica di un'attività di monitoraggio parallela alla cantierizzazione stessa, è stata ideata un'applicazione software utile per una navigazione virtuale dell'area di cantiere ricostruita con le tecniche di *Structure from Motion* (SfM) dalle immagini SAPR (Figura 3). Una volta implementata nella piattaforma, l'applicazione darà la possibilità ad ogni utente di poter visionare lo stato di avanzamento in ogni fase di messa in opera.

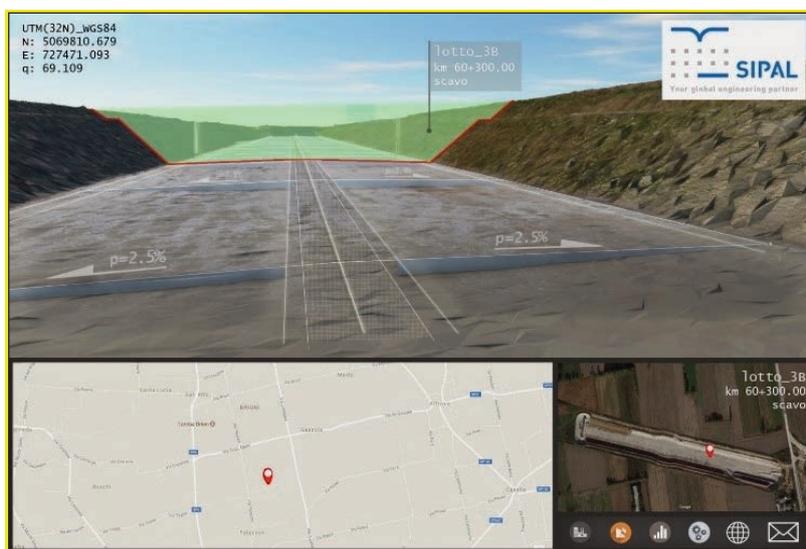


Figura 3. Mockup dell'applicazione software per visionare una porzione di cantiere tecnologico. In alto è rappresentata la nuvola di punti, in basso la posizione con vista planimetrica e satellitare.

Movimenti Materia

Attualmente i calcoli relativi al movimento materia sono eseguiti con procedure manuali che prevedono l'esecuzione di rilievi topografici, con strumentazione tradizionale (stazioni totali, livelli) o satellitare (GNSS), per misure di punti notevoli, a partire dai quali è possibile ricostruire le superfici rilevate e, successivamente, determinare i volumi di interesse nella gestione di un cantiere.

Sfruttando però le potenzialità delle tecniche di SfM, è possibile generare una nuova metodologia. Considerati dei rilievi fotogrammetrici da SAPR di elevata accuratezza ripetuti nel tempo nelle fasi cruciali delle operazioni di cantiere, è possibile ottenere informazioni circa i volumi di scavo e rinterro dal confronto dei vari modelli ricostruiti.

Grazie all'elevata velocità di esecuzione del rilievo, al grande dettaglio delle immagini ottenute ed al minore impegno logistico di esecuzione dei rilievi, il calcolo dei movimenti materia tramite l'utilizzo dei SAPR risulta prettamente vantaggioso rispetto alle tradizionali procedure (Argese et al., 2019). Nella piattaforma è stato così implementato l'applicativo che sulla base della progressiva chilometrica del tracciato dell'infrastruttura analizzata, indica quali tipologie di rilievo sono state effettuate. Nelle zone in cui sono presenti più di un rilievo è possibile avviare il modulo di calcolo relativo al movimento materia (Figura 4).

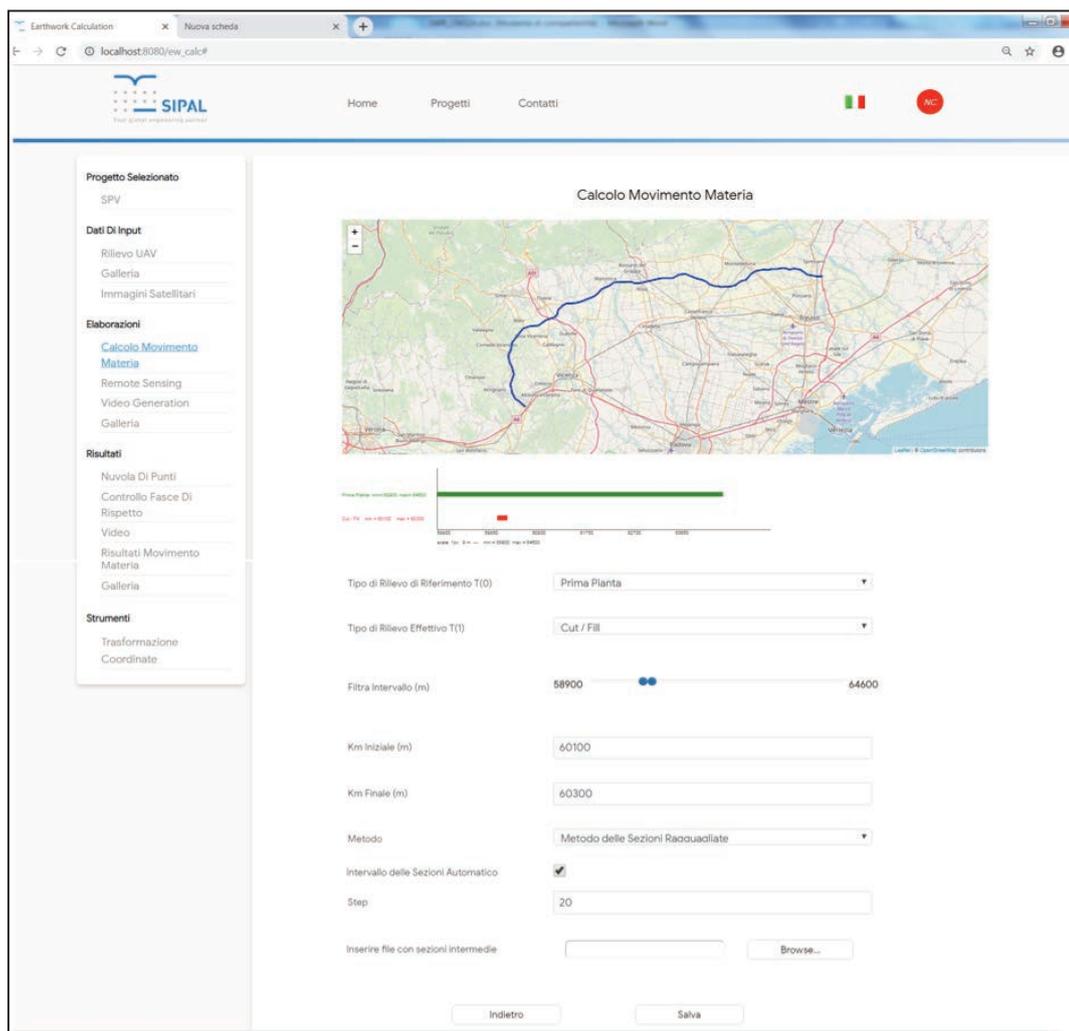


Figura 4. Pagina web della piattaforma per il calcolo del Movimento Materia

Monitoraggio delle gallerie

Per quel che riguarda il monitoraggio delle gallerie si sono individuati tre aspetti di fondamentale importanza su cui il gruppo di lavoro ha concentrato la ricerca e le sperimentazioni:

- ∞ la determinazione dei sovrappessori e dei sottospessori rilevati rispetto alla sezione di progetto dopo le operazioni di scavo (Cheng, Qiu, & Lei, 2016);
- ∞ il monitoraggio delle sezioni di scavo in avanzamento per monitorare la stabilità della cavità nel corso dei lavori e, quindi, aiutare ad individuare i sistemi di preconsolidamento più idonei all'avanzamento (Xie & Lu, 2017).
- ∞ l'individuazione e il puntamento automatico delle zone scavate in sottospessore che necessitano di rettifiche per raggiungere la sezione teorica minima di progetto.

Tali operazioni, come nel caso precedente, sono effettuate con tecniche topografiche tradizionali. Tutti i rilievi vengono riferiti ad un sistema di riferimento materializzato all'interno della galleria con una rete di capisaldi

posti sulle pareti, le cui coordinate sono calcolate con precisione sub-centimetrica.

Utilizzando tale rete di coordinate note, è possibile calcolare la posizione della stazione di monitoraggio di volta in volta, elaborando le misure sempre nello stesso sistema di riferimento.

Per effettuare tali attività si è utilizzato il rover terrestre Bulldog equipaggiato dell'apposita sensoristica, in grado di eseguire le seguenti operazioni in maniera consecutiva:

- ∞ muoversi autonomamente, utilizzando i principi dello SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) fino alla zona in cui eseguire le operazioni di rilievo;
- ∞ al raggiungimento della zona obiettivo, effettuare le operazioni di localizzazione di alta precisione, applicando i principi della intersezione inversa ed utilizzando i capisaldi di coordinate note materializzati in galleria;
- ∞ effettuare le misure richieste immagazzinando i dati raccolti in un supporto di memoria;
- ∞ muoversi autonomamente sino all'area di sosta.

I dati acquisiti vengono poi esportati per la loro elaborazione nella piattaforma, dove tramite un modulo compilato in linguaggio Python è possibile estrapolare le sezioni e i relativi indici costruttivi (Figura 5).

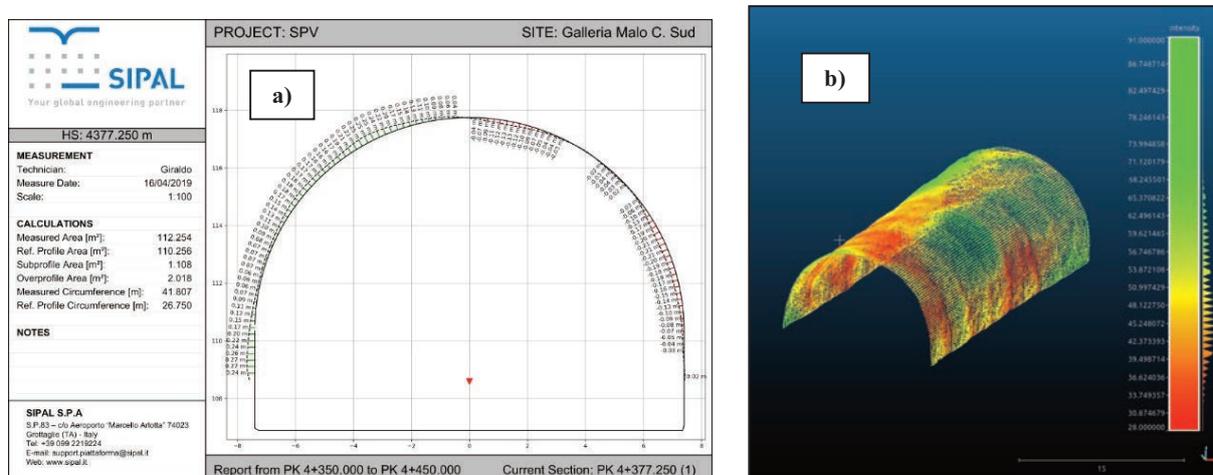


Figura 5. a) Grafico della sezione con l'indicazione dei sovrappessori/sottospessori; b) Nuvola di punti con evidenziazione dei sovrappessori/sottospessori.

Monitoraggio delle fasce di rispetto

L'obiettivo di questa ricerca è il monitoraggio continuo delle Fasce di Rispetto stradali e autostradali, tramite tecniche innovative che sostituiscano le operazioni manuali che si svolgono attualmente. La fascia di rispetto è da intendersi quale porzione di territorio esterna al confine stradale sulla quale esistono dei vincoli di inedificabilità.

Allo stato attuale, il monitoraggio delle Fasce di Rispetto viene tipicamente eseguito a vista: tramite personale addetto si ispezionano le aree su mezzo e si verifica che non siano presenti abusi edilizi o irregolarità. Queste operazioni,

oltre a richiedere una notevole quantità di tempo, non forniscono adeguate garanzie nel risultato finale. Pertanto, approfondendo le potenzialità del *Remote Sensing* applicate in ambito di monitoraggio urbano e infrastrutturale, sono state eseguite diverse sperimentazioni delle tecniche di *change detection* al fine di utilizzare le immagini satellitari in un'analisi multi-temporale, per verificare gli eventuali cambiamenti occorsi all'interno delle fasce di rispetto.

Conclusioni

I risultati sono da considerarsi solo un prodotto preliminare in via di sviluppo, che necessitano ancora di ulteriori validazioni, sia sul campo che teoriche.

Il progetto sarà solo un punto di partenza per lo sviluppo di future applicazioni che verranno utilizzate in svariati contesti, anche differenti da quelli descritti nel presente contributo.

Sulla base del lavoro svolto ad oggi, si stima che il pieno sviluppo di queste innovative tecniche e metodologie ridisegnerà le potenzialità dei servizi e dei prodotti offerti, in linea con le previsioni deducibili dalla nuova concezione di Industria 4.0.

Riferimenti bibliografici

Argese, F., Erriquez, G., Galeandro, A., Giraldo, M. S., Imperiale, M. G., Scarano, M., . . . Turso, A. (2019). A procedure for automating earthwork computations using UAV photogrammetry and open-source software. *AIP Conference Proceedings*, 2116(1), 280008. doi:10.1063/1.5114291

Cheng, Y.-J., Qiu, W., & Lei, J. (2016). Automatic Extraction of Tunnel Lining Cross-Sections from Terrestrial Laser Scanning Point Clouds. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(10), 1648. doi:10.3390/s16101648

Rupnik, E., Daakir, M., & Pierrot Deseilligny, M. (2017). MicMac – a free, open-source solution for photogrammetry. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2(1), 14. doi:10.1186/s40965-017-0027-2

Saponaro, M., Tarantino, E., & Fratino, U. (2018). *Generation of 3D Surface Models from UAV Imagery Varying Flight Patterns and Processing Parameters*. Paper presented at the International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2018), Rhodes, Greece.

Saponaro, M., Tarantino, E., Reina, A., Furfaro, G., & Fratino, U. (2019). Assessing the Impact of the Number of GCPs on the Accuracy of Photogrammetric Mapping from UAV Imagery. *Baltic Surveying*, 10, 43-51. doi:10.22616/j.balticsurveying.2019.006

Xie, X., & Lu, X. (2017). Development of a 3D modeling algorithm for tunnel deformation monitoring based on terrestrial laser scanning. *Underground Space*, 2(1), 16-29. doi:<https://doi.org/10.1016/j.undsp.2017.02.001>