

Monitoraggio innovativo per la gestione dell'inquinamento ambientale provocato da rilasci abusivi di rifiuti: l'esperienza del progetto DroMEP

Carmine Massarelli (*), Maria Rita Muolo (**),
Vito Felice Uricchio (*), Nicola Dongiovanni (**)

(*) Water Research Institute, National Research Council. Via De Blasio n. 5 - 70132, Bari
carmine.massarelli@ba.irsa.cnr.it, vito.uricchio@ba.irsa.cnr.it

(**) Servizi di Informazione Territoriale S.r.l., P.zza Papa Giovanni Paolo II, 8/1, 70015 Noci (BA)
mr.muolo@sit-puglia.it, n.dongiovanni@sit-puglia.it

Riassunto

La ricerca condotta nell'ambito del progetto *Drones for Monitoring and Environmental Protection (DroMEP)* ha previsto la definizione di una metodologia *smart* e la sperimentazione prototipale di tecnologie e protocolli operativi necessari ad individuare e monitorare, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, le discariche abusive e gli abbandoni incontrollati di rifiuti, evidenziando l'eventuale presenza di rifiuti speciali pericolosi, focalizzando l'attenzione sull'amianto in matrice friabile.

Tale obiettivo è stato perseguito mediante la messa a punto, l'integrazione e l'impiego di tecnologie innovative di rilevamento per l'acquisizione dei dati: sono stati eseguiti, di fatto, rilievi a mezzo di velivoli a pilotaggio remoto (Droni) muniti di sensori multispettrale, infrarosso e termico, rilievi in campo mediante Videocar attrezzate, rilievi aerei mediante sensori fotogrammetrico, iperspettrale e termico e acquisizioni spettroradiometriche in situ per la calibrazione degli algoritmi di caratterizzazione dei materiali ed infine acquisizioni in campo da parte dei cittadini mediante *app* per *smartphone*, appositamente sviluppata.

Il progetto ha previsto anche la realizzazione di una piattaforma informatizzata e interoperabile per la gestione e la condivisione integrata di diversi dati territoriali, finalizzata alle attività di consultazione e monitoraggio dei siti interessati dalla presenza di qualsiasi tipo di rifiuto, individuati mediante le campagne di acquisizione e segnalazione in campo, ai fini di una loro più approfondita caratterizzazione.

L'esperienza ha consentito, dunque, la messa a punto di una metodologia di monitoraggio sistematico e ripetibile utile per la valutazione della qualità ambientale dei territori e della possibile presenza di rischi concreti per i cittadini. Le informazioni acquisite, restituite in forma rielaborata, rappresentano un ottimo strumento per Amministratori e Decisori ai fini della valutazione di azioni a carattere ambientale da mettere in campo per una programmazione sostenibile.

Abstract

DroMEP project (Drones for Monitoring and Environmental Protection) provides the definition of a smart methodology testing prototype technologies and operational protocols necessary for identifying and monitoring, both in terms of quality and quantity, the illegal dumping and uncontrolled abandonment of waste, highlighting the presence of hazardous waste, especially friable asbestos.

This objective was pursued through the development, integration and deployment of innovative technologies for data acquisition: surveys with UAV equipped with multispectral sensors, infrared and thermal camera, surveys with equipped Videocar, aerial photogrammetric, hyperspectral and

thermal sensors, and spectroradiometric acquisitions, acquisitions in the field by the citizens via smartphone app, were carried out.

The project also included the creation of a computerized and interoperable platform for managing and sharing integrated different spatial data.

The experience has allowed, therefore, the development of a methodology of systematic monitoring and repeatable useful for assessing the environmental quality of territories and the possible presence of risks for citizens. The information acquired, after processing, they are an excellent tool for administrators and decision makers for the evaluation of environmental actions to be implemented for a sustainable programming.

Introduzione

L'abbandono illegale di rifiuti pericolosi costituisce una seria minaccia per la salute umana e gli ecosistemi in generale al punto che anche la legislazione europea ha introdotto politiche e misure per promuovere la legalità in questo campo. In particolare, la direttiva quadro sui rifiuti, o la direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti fornisce un quadro generale dei criteri di gestione dei rifiuti e stabilisce le definizioni di gestione dei rifiuti di base per l'UE.

L'applicazione di tali normative si basa anche su un costante controllo del territorio, infatti, al fine di sostenere gli sforzi per un monitoraggio più efficace, anche dal punto di vista economico è necessario lo sviluppo finalizzato all'applicazione sistematica di nuove tecnologie. Un monitoraggio "sostenibile" è particolarmente importante per le aree critiche, come gli ecosistemi agricoli, le aree protette, le zone costiere e le zone rurali, dove il degrado degli habitat e della biodiversità perso può essere molto veloce (Tang, Shao, 2015) e dove le distanze e le difficoltà di accesso sono notevoli.

Gli Aeromobili a Pilotaggio Remoto (APR) detti anche *Unmanned aerial vehicle* UAV hanno subito un forte sviluppo negli ultimi dieci anni principalmente grazie agli usi militari, mentre solo da pochi anni iniziano a trovare applicazione per fini scientifici quali raccolta dati e telerilevamento di prossimità. Il vantaggio principale consiste nell'effettuare indagini a bassa quota che restituiscono un'informazione più precisa e dettagliata rispetto a sensori aviotrasportati o satellitari.

DroMEP è l'acronimo del progetto *Drones for Monitoring and Environmental Protection* che si propone di contribuire in modo significativo alla realizzazione di un sistema di monitoraggio intelligente, sostenibile, integrato ed inclusivo per quanto riguarda la gestione delle problematiche ambientali legate alla presenza di rifiuti illecitamente abbandonati soprattutto se contenenti amianto in matrice friabile. Il progetto si pone anche in continuità con diverse iniziative regionali già messe in atto in ambito regionale (Campobasso et al. 2014; V.F. Uricchio, 2013).

L'aspetto fortemente innovativo di questo progetto è legato all'uso di droni e altre tecnologie *smart* in zone impervie e difficilmente accessibili dal personale preposto al controllo del territorio. Inoltre, è stata realizzata un'*app* che ha reso possibile segnalare la presenza di nuovi abbandoni da parte dei cittadini e di poter meglio individuare le zone maggiormente soggette a tali illeciti. Tutti i dati acquisiti, sono validati e processati prima di implementare un geodatabase realizzato con strumenti *open source*; le informazioni sono accessibili tramite un portale web GIS-oriented in funzione di una profilazione utente.

Le diverse tecnologie sono state testate in alcune aree, di difficile accesso e molto estese, individuate della Regione Puglia dove sono molto frequenti i fenomeni di abbandono di rifiuti (Figura 1).

Per queste aree i droni sembrano essere i più indicati perchè in grado di effettuare un monitoraggio con sensori iperspettrali e termici per verificare la presenza di amianto e in grado di coprire grandi aree in breve tempo (Bassani et al., 2007; Fiumi et al., 2014). Il test della verità a terra è stato eseguito con un Fieldspec.



Figura 1 - Il rischio ambientale.

Materiali e metodi

Area di studio

L'area di studio è costituita dalla Gravina di Leucaspide (Comune di Statte), l'Oasi naturale della Salina Grande di Taranto e diversi siti nell'agro-ecosistema del Comune di Capurso (Figura 2).

Gravina of Leucaspide

La Gravina di Leucaspide, monumentale esempio di fenomeno carsico, nasce dalla fusione di altre gravine più piccole, Amastuola e Triglie; ricca di grotte, di pareti di roccia tenera facile da scavare, di vegetazione e di sorgenti (Valenza e Triglio), è particolarmente ricca di testimonianze archeologiche con la presenza di dolmen, un villaggio di età greca e numerosi villaggi rupestri di origine medievale (Greco, 1998). La lunghezza complessiva dell'area individuata è di circa 8 km (Figura 3 e Figura 4).

Oasi Salina Grande of Taranto

L'Oasi Salina Grande di Taranto (Figura 5), dichiarata riserva naturale regionale ai sensi della legge regionale n. 11/2006 è caratterizzata da un ambiente salino ricco di *Salicornia* ssp. (pianta erbacea nota per le sue proprietà medicinali), che da luogo ai noti salicornieti, habitat litoranei influenzati dagli spruzzi di acqua marina tra i più grandi e più importanti del Mediterraneo e sud Italia al punto da essere destinatari di varie forme di protezione perché rappresentano ambienti ricchi di biodiversità e fungono da riparo e sito di nidificazione, nonostante la presenza di una forte antropizzazione delle aree limitrofe, di diverse specie protette di uccelli. L'area totale della salina è di circa 8,6 km² per una lunghezza massima di circa 6 km.

I sensori e i droni

Per il raggiungimento degli obiettivi di progetto, è stata inizialmente effettuata una ricognizione dei diversi tipi di droni esistenti e le loro caratteristiche essenziali, come l'autonomia di volo e *payload* di carico, sicurezza della missione, e dei sensori esistenti installabili.

Le indagini sono state eseguite da due diversi tipi di droni: un quadricoptero totalmente automatizzato e leggero e un esacoptero con la struttura in cemento fibra di nylon, carbonio e vetro. Per le operazioni di rilevamento nei siti interessati dalla presenza di qualsiasi tipo di rifiuti e per il riconoscimento di manufatti in cemento amianto sono stati utilizzati una camera ottica RGB, un sensore termico ed un sensore iperspettrale aviotrasportato (Figura 6).



Figura 2 - Le tre aree di studio.



Figura 3 - Mappa della perimetrazione dell'area test Gravina di Leucaspide.



Figura 4 - Particolare della Gravina di Leucaspide.



Figura 5 - Mappa della perimetrazione dell'area test Oasi Salina Grande di Taranto.



Figura 6 - Elicoptero utilizzato nelle aree test.

L'uso preliminare di una camera ottica RGB, ha permesso di avere una visione sinottica dello stato dell'ambiente per riconoscere ed individuare cumuli di rifiuti non visibili e per verificare la presenza di essi in caso di segnalazione precedentemente effettuata con *app*. L'attività in questione è stata effettuata con l'ausilio di velivolo pilotato a distanza con NIR, con filtro nel campo spettrale del blu (Canon SX260 HS) e Therm-APP con risoluzione 384x288; i voli sono stati eseguiti in giorni diversi, tutti effettuati ad una altezza tra i 30m e i 50m con una risoluzione di circa 1,5-2,0 cm.

Il successivo impiego del sensore iperspettrale CASI-1500, ha indagato la composizione di oggetti analizzando la riflessione della radiazione solare in un gran numero di bande molto strette e discrete dello spettro elettromagnetico (in totale 48) consentendo la caratterizzazione delle tipologie di rifiuti attraverso il riconoscimento delle differenti firme spettrali.

Per l'individuazione della firma dell'amianto (per la cosiddetta verità a terra) è stato utilizzato uno spettroradiometro Fieldspec 4 Hi-Res NG (Figura 7).



Figura 7 - Acquisizione della firma spettrale dell'amianto per la verità a terra.

La videocar

Si tratta di un sistema progettato per effettuare in movimento il rilievo con un elevato livello di accuratezza. La posizione accurata del veicolo è ottenuta, momento per momento durante la marcia, utilizzando tre tecnologie ridondanti: un ricevitore GNSS a doppia frequenza stabilisce una posizione geospaziale, un sistema inerziale a 6 assi, Inertial Measurement Unit (IMU) fornisce l'assetto del veicolo, e un collegamento a 2 odometri posizionati sulle ruote del veicolo consente di ottenere informazioni odometriche. La sinergia di queste tre tecnologie fornisce una posizione 3D del veicolo estremamente precisa anche in luoghi in cui i segnali dei satelliti possono essere bloccati da ostacoli quali edifici, ponti o file di alberi.

Il sistema IP-S2 utilizzato comprende n.3 laser scanner LiDAR ad alta risoluzione che coprono il percorso del veicolo a livello del suolo e "spazzolano" le aree adiacenti fino ad una distanza di 30 metri.

E' inoltre stata montata una multifotocamera/telecamera Ladybug-3 ad alta risoluzione, a 6 ottiche ciascuna delle quali ha risoluzione 1600x1200, che fornisce 6 immagini singole oppure 1 immagine sferica a 360 gradi ad una velocità di 15 fotogrammi al secondo (Figura 8).

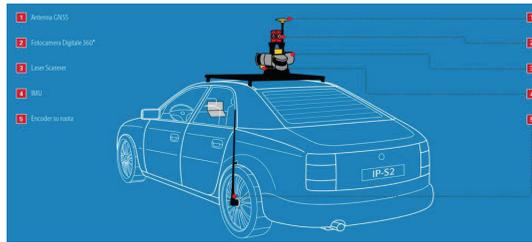


Figura 8 - Sistema di acquisizione con videocar.

Implementazione della geo-bancadati e condivisione dei dati territoriali

Le informazioni acquisite in seguito a validazione ed elaborazione diventano uno strato informativo all'interno dell'infrastruttura di dati territoriali, pubblicata su web, creata e messa a disposizione dell'Autorità e dei cittadini e associazioni ambientali.

Facendo riferimento alla "gestione dei dati" (Figura 9), la piattaforma che ospita i dati è stata implementata con Geonode e con l'utilizzo di software esclusivamente *open source*, in grado di memorizzare i dati geospaziali (PostGIS), pubblicarli (GeoServer), in standard OGC, come WMS, WFS, WCS, costruire metadati (GeoNetwork), cercare, esplorare e costruire mappe (GeoExplorer) il tutto integrato (Django) in una geoCM (Bootstrap).

Attraverso Geonode è possibile gestire gli utenti che possono caricare, ricercare e utilizzare i propri dati, con vari livelli di privacy; ad oggi rappresenta uno strumento molto efficace ed estremamente versatile e personalizzabile (con un minimo di conoscenza di *python*) per la creazione di comunità geospaziali consapevoli.

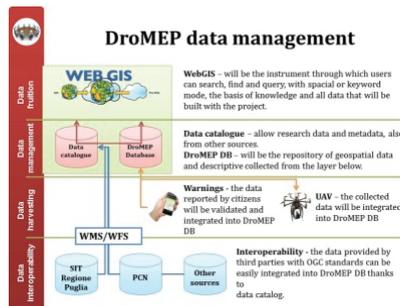


Figura 9 - DroMEP data management.

Risultati e discussione

I risultati sperimentali indicano che si è sulla buona strada per la realizzazione di un sistema di monitoraggio efficace di variabili ambientali basato sull'integrazione di varie tecnologie *smart*, efficienti ed a basso costo. Lo stesso monitoraggio in termini di dati acquisiti e di aree esplorate avrebbe richiesto notevoli risorse se realizzato con approcci tradizionali.

L'identificazione della firma spettrale dei materiali contenenti amianto ed in particolar modo quelli contenenti amianto in matrice friabile non è stata del tutto semplice. Di seguito si riportano le prime elaborazioni dei valori acquisiti con il FieldSpec (Figura 10).

La creazione di un file con le firme spettrali consente l'esecuzione di procedure di classificazione di immagini acquisite anche da drone. Sono state analizzate e confrontate diverse bande spettrali dei materiali contenenti rifiuti fino ad individuarne quelle caratteristiche (lunghezze d'onda e riflettanza). Applicando la classificazione con le firme spettrali ricavate è stato possibile trovare all'interno del territorio analizzato alcune aree critiche in cui la presenza di materiale pericoloso è altamente probabile (le frecce verdi in Figura 11 indicano aree dove l'amianto è stato effettivamente rinvenuto).

Tuttavia a causa delle condizioni meteo delle giornate di volo (molta umidità e copertura nuvolosa variabile) e la presenza di sole 48 bande per il CASI-1500, sono ancora in corso elaborazioni delle lunghezze d'onda fino a 1050 nm sono ancora in corso per verificare l'esatto grado di attendibilità dei risultati.

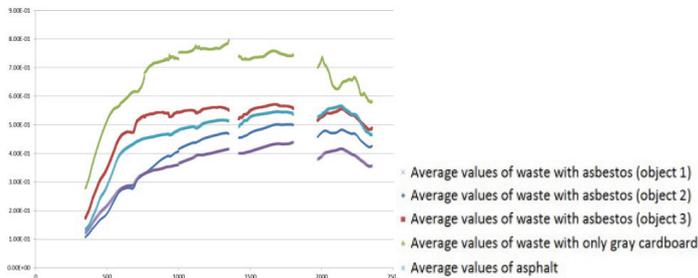


Figura 10 - Firma spettrale di vari materiali contenenti amianto e dell'asfalto.



Figura 11 - Individuazione di manufatti contenenti amianto.

Conclusioni e prospettive future

L'utilizzo di *smart technology* e la condivisione delle informazioni tra i vari soggetti coinvolti rappresenta un valore aggiunto verso il raggiungimento di una comunità consapevole e crescita sostenibile.

La partecipazione dei cittadini e delle associazioni di volontariato risulta essere uno strumento efficace ed una forza motrice alle attività di controllo e monitoraggio del territorio.

La possibilità di personalizzare in base alle proprie esigenze ed integrare più *smart technology* produce ovviamente risultati eccezionali. Di contro il fatto che i risultati non sono ancora attendibili al 100% e che al giorno d'oggi le elaborazioni risultano alquanto complicate.

Per quel che concerne questo aspetto, anche se ci sono metodi standard per la pre-elaborazione di immagini, non ci sono classificatori di immagine eccellenti che possono essere applicati in modo sistematico. Così, rimane compito impegnativo e oggetto di ricerche future, l'individuazione ed applicazione di classificatori più potenti ed efficaci con ampio spettro d'applicazione. Inoltre le attività future riguarderanno lo sviluppo e l'implementazione anche di algoritmi di localizzazione e *mapping* cooperativi in cui dati multi-sensoriali acquisiti dalle piattaforme robotiche mobili, anche integrati con dati satellitari e aerei ove disponibili, saranno elaborati al fine di produrre rappresentazioni multi-modali e multi-scala degli ambienti esplorati; in particolare, partendo dallo stato dell'arte delle tecniche di *Simultaneous Localization And Mapping* (SLAM) e *Structure from Motion* (SfM), la ricerca deve essere orientata allo sviluppo di nuove metodologie finalizzate al miglioramento dell'accuratezza sia della localizzazione dei veicoli che delle mappe da essi prodotte. In particolare, si intendono investigare le problematiche legate all'integrazione ed alla co-registrazione di dati eterogenei prodotti da diversi sensori, in tempi diversi o da diversi punti di

vista mediante l'impiego di algoritmi basati su features naturali come SIFT, SURF, FPFH, etc. in combinazione con tecniche di registrazione quali ICP, RANSAC, etc.

Le attuali applicazioni con i droni sono ancora in fase sperimentale, ma ci si aspetta una rapida evoluzione tecnologica: per ottenere risultati sempre più certi è importante condurre uno studio sistematico e continuo sull'evolversi delle tecnologie e sensori di telerilevamento in condizioni molto eterogenee.

Ringraziamenti

Questo progetto è stato co-finanziato dal Living Lab-ICT Apulia Innovation, un progetto della Regione Puglia per sperimentare un nuovo approccio alla ricerca in cui i ricercatori, aziende e gruppi organizzati di cittadini, scambiano idee e conoscenze, pianificano insieme un'esperienza innovativa soluzioni tecnologiche.

Bibliografia

Greco A.V. (1998). “Il territorio di Statte. Dagli insediamenti rupestri alle masserie”, in *Umanesimo della Pietra – Riflessioni*, pp. 3-39.

Bassani C., Cavalli R.M., Cavalcante F., Cuomo V., Palombo A., Pascucci S., Pignatti S. (2007) “Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data”. *Remote Sensing of Environment*, 109 (3), pp. 361-378

Fiumi L., Congedo L., Meoni C. (2014) “Developing expeditious methodology for mapping asbestos-cement roof coverings over the territory of Lazio Region” *Applied Geomatics*, 6 (1), pp. 37-48.

Tang L., Shao G. (2015). “Drone remote sensing for forestry research and practices”. *Journal of Forestry Research*, 7 p. Article in Press.

Campobasso G., Massarelli C., Lopez N., Palmisano V.N., Uricchio V.F. (2014). “Il contrasto ai traffici illeciti quale forma di prevenzione della contaminazione dei territori”. *Siti Contaminati. Esperienze negli interventi di risanamento*. ISBN: 88-7850-014-3; Edizione CSISA

Uricchio V.F., Massarelli C., Lopez N., Campobasso G. (2013). “Banche dati di nuova generazione per la gestione del ciclo dell'amianto in Puglia” *Atti 17a Conferenza Nazionale ASITA* pagg. 1255-1264, ISBN 978-88-903132-8-8, 5-7.