

Da alcuni anni ECA sta sviluppando un programma di R&D noto come “System of Robot”. Il concetto di fondo è quello di integrare sistemi nativi di ambienti differenti tra di loro, al fine di poter svolgere missioni più complesse e con maggior efficacia ed efficienza mettendo a fattor comune i rispettivi punti di forza.



Fig. 2. Esempi di “Sistemi di Robot”.

Un drone aereo (UAV) che trasporta e rilascia un robot terrestre (UGV) permette di intervenire rapidamente ed a notevole distanza su un campo potenzialmente minato o contaminato da fattori CBRN.

Un robot automatico di superficie (USV) che lancia e recupera un veicolo sottomarino filoguidato (ROV), permette di operare su un campo minato senza mettere in pericolo la vita umana in mare.

Questi sono solo alcuni esempi di quello che è possibile fare con i “sistemi di Robot”. Il Gruppo ECA da anni si sta posizionando nel mercato mondiale con questo principio ispiratore, ed ha già da tempo integrato al suo interno entità specializzate nella produzione di UAV, UGV, AUV e USV.

2. I DRONI AEREI (UAV) DI ECA

2.1. L'IT180

ECA è l'azienda "OEM" (Original Equipment Manufacturer) del drone aereo "IT180", un sistema nel suo genere.

L'IT180 è infatti uno dei pochissimi "mini-droni", della categoria quindi con peso massimo al decollo di non più di 25 Kg, configurato con doppio rotore contro-rotante, ed una struttura centrale ellissoidale.



Fig. 3. Il drone aereo IT180

Tale configurazione presenta i seguenti vantaggi:

- Incremento di efficienza se comparata con una configurazione tipo elicottero con rotore di coda, valutabile nell'intorno del 10%.
- Maggior resistenza e stabilità nei confronti di agenti atmosferici severi, quali vento a raffiche o precipitazioni. La struttura centrale infatti presenta all'incirca la stessa "cross section" presa da qualunque rilevamento. Il sistema è stato in grado di operare in differenti situazioni con venti di 60 km/h (oltre 30 nodi), quando qualsiasi altro UAV di tale taglia era impossibilitato al decollo.
- Possibilità di installare payload (telecamere, magnetometri, antenne per radio relay, sistemi anti-drone, paracadute etc.) sia sopra che sotto i due rotori.

Il sistema è disponibile in quattro versioni principali, due elettriche, una con motore termico ed una a volo vincolato.



80 ECA GROUP
make sure

UAV IT180

IT180-30

IT180-60

IT180-120

IT180-999

Endurance	Up to 30 min	Up to 60 min	Up to 120 min	Unlimited
Perching mode	Up to 10 hours with 10 min flying time	Up to 20 hours with 10 min flying time	/	/
Range	Up to 10 km with a tracking antenna			/
Max payload	3 kg (6,6 lbs)		5 kg (11 lbs)	3 kg (6,6 lbs)
Deployment	< 8 min		< 10 min	< 10 min
Total weight (unloaded)	15 kg	21 kg	16 kg	18 kg
Operational temperature	-10°C up to +40°C	-20°C up to +40°C	-10°C up to +40°C	-20°C up to +40°C
Maximum speed	Up to 70 km/h (19 m/s)			/
Wind Resistance	60 km/h (17 m/s)			/
Noise emission	42 dBA	44 dBA	65 dBA	/
Maximum ceiling	3 000 m (9 000 pieds)			

Fig. 4. Versioni disponibili del drone aereo IT180

L'IT180 è un sistema in uso presso un vasto numero di clienti, sia civili che militari, per innumerevoli applicazioni.

Tra questi si segnala l'Esercito Francese (13 reggimento genio), impiegato anche in teatri di guerra come in Mali, il gruppo INTRA e ROSATOM per misure relative alle operazioni CBRN, ed i pompieri francesi dell'unità "SDIS 13", del dipartimento "bocca del Rodano".

2.2. Il gruppo INTRA

INTRA è il "Gruppo di Intervento robotizzato in caso di disastri" (Groupe d'INTERvention Robotique sur Accidents (INTRA). La sua missione è quella di mettere in servizio, utilizzare e mantenere una flotta di sistemi di robot (terrestri, aerei, marini) in grado di intervenire 24 ore su 24 in sostituzione dell'uomo, in caso di incidente nucleare.

Il gruppo INTRA opera, tra i numerosi sistemi ECA, anche un IT180, per le seguenti missioni:

- Misure radiologiche
- Ricognizione visiva
- Accompagnamento e sorveglianza di missioni svolte da altri sistemi di robot al suolo
- Recupero e posa di sensori di misura.



Fig. 5. L'IT180 in uso presso il gruppo INTRA, e relativi payload intercambiabili

Particolarmente interessante è l'utilizzo dell'IT180 in combinazione con un software di trattamento dei dati di misura radiologica. A termine missione, grazie a tale software è possibile effettuare un post-processing dei dati per elaborare una carta di isovalori di irraggiamento gamma, eventualmente corretta in elevazione sulla base del dato di altitudine fornito dall'UAV. Il software consente l'esportazione di tali dati in formati compatibili con i sistemi di comando e controllo georeferenziati.

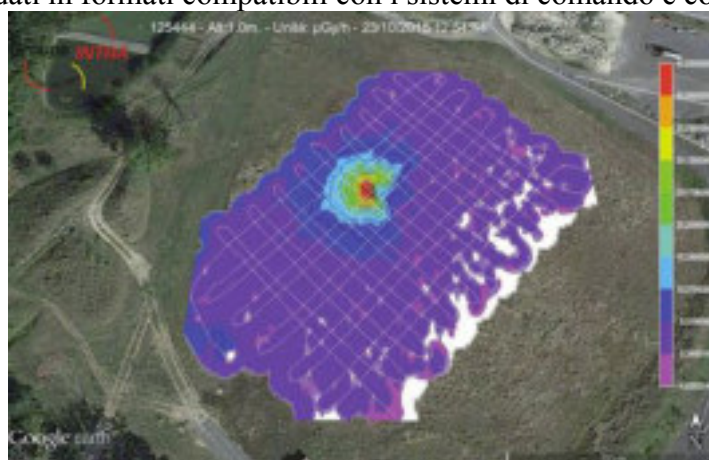


Fig. 6. L'IT180 in uso presso il gruppo INTRA, e relativi payload intercambiabili

La suite di controllo è integrata su di un mezzo utilitario leggero, equipaggiato di gruppo elettrogeno e di albero telescopico, al fine di dislocare rapidamente il mezzo sul sito incidentato.



Fig. 7. Sistema di controllo ed analisi dei dati installato a bordo di un furgone, per un più rapido intervento nella zona da analizzare.

Un sistema analogo è in uso presso l'ente russo ROSATOM.

2.3. Il servizio dipartimentale di soccorso e antincendio “SDIS 13”

Dall'agosto del 2014 è in servizio presso il servizio antincendio del dipartimento francese delle “Bocche del Rodano” un sistema IT180-120.



Fig. 8. L'IT180-120 in servizio presso l'SDIS 13

I vigili del fuoco francesi utilizzano tale sistema come valido supporto al comando e controllo sia delle operazioni antincendio, che di quelle relative al soccorso in caso di inondazione.

Il sistema in uso è equipaggiato di una telecamera ottica e infrarosso girostabilizzata sui 3 assi, che consente di avere una visione nell'intorno del veicolo e di rilevare grandi dettagli grazie allo zoom ottico e IR.

La funzione telecamera termica è particolarmente adatta alla scoperta di eventuali sacche di calore residuo post-incendio, essendo molto sensibili alle differenze di calore.

Il sistema di controllo del veicolo è installato a bordo di un veicolo 4x4, in modo da permettere interventi veloci ed in luoghi impervi.



Fig. 9. Mezzo 4x4 di controllo dell'IT180

Oltre all'IT180, il mezzo integra anche altri sistemi robotizzati (UGV) dei ECA, per la misura della concentrazione di gas e la raccolta di campioni liquidi in aree potenzialmente contaminate.



Fig. 10. UGV di ECA installato a bordo del 4x4

2.4. Integrazione con sistemi ad ala fissa

Il drone aereo IT180 può essere a sua volta immaginato come un componente di un sistema di comando e controllo più vasto, che ECA può offrire ai suoi clienti.

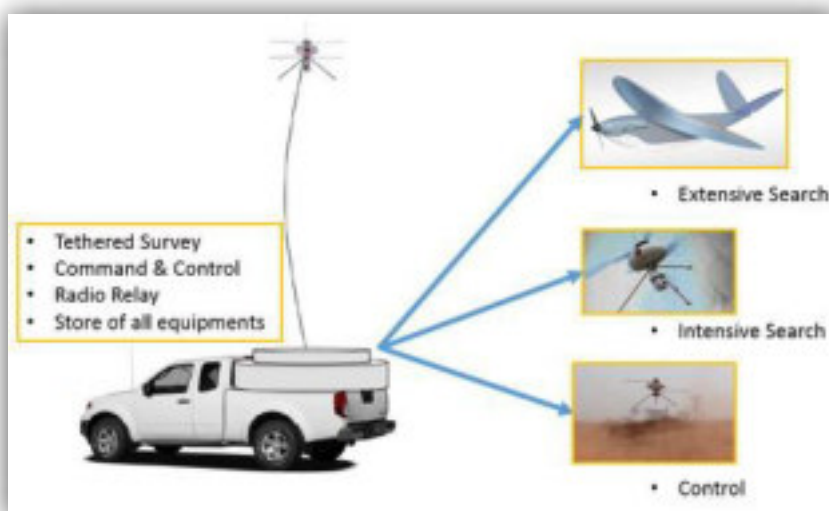


Fig. 11. Sistema di Robot che integra UAV ad ala fissa ed ala rotante

Tale soluzione integrata permette di lanciare un drone ad ala fissa, per la raccolta dati su zone più vaste ma senza la possibilità di intervenire o di analizzare più precisamente certi bersagli, ed al contempo avere un sistema a volo vincolato per la sorveglianza costante nell'intorno del veicolo madre ed un altro IT180 per la sorveglianza ravvicinata di eventuali bersagli di maggior interesse. Il sistema è pensato per una vasta gamma di clienti quali Protezione Civile, Organizzazioni non Governative, Vigili del Fuoco e forze di Polizia.

2.5. Le applicazioni Counter-drone

Il drone aereo IT180 esiste in una versione capace di scoprire, intercettare, seguire senza essere controscoperto eventuali droni commerciali sospetti di attività illegali, e di risalire al suo pilota per la raccolta di prove nonché eventualmente neutralizzare il drone stesso in caso questi risultasse minaccioso.



Fig. 12. Schema delle fasi dell'IT180 in modalità "counter-drone"

3. VEICOLI AUTONOMI DI SUPERFICIE TERRESTRE (UGV)

3.1. Cobra, Cameleon e Iguana

ECA è anche attiva nella progettazione e produzione di UGV (Unmanned Ground Vehicle).



Fig. 13. Gamma di UGV di ECA

Tali veicoli svolgono principalmente missioni di ricognizione, EOD e CBRN. La stessa piattaforma, cambiando il carico pagante, può svolgere tutte e tre le missioni. La tecnologia sviluppata da ECA consente inoltre il controllo di più veicoli con la stessa Control Unit.

4. VEICOLI AUTONOMI DI SUPERFICIE MARINA (USV)

4.1. L' Inspector MK2

ECA ha prodotto a metà anni 2000 i primi USV (Unmanned Surface Vehicle) per applicazioni di traino bersagli per le esercitazioni della marina militare.

Dal 2012 è stata sviluppata la versione MK2 di tale USV, l'Inspector, molto più flessibile ed adattabile a differenti missioni ed esigenze, quali appunto missioni antincendio e SAR.

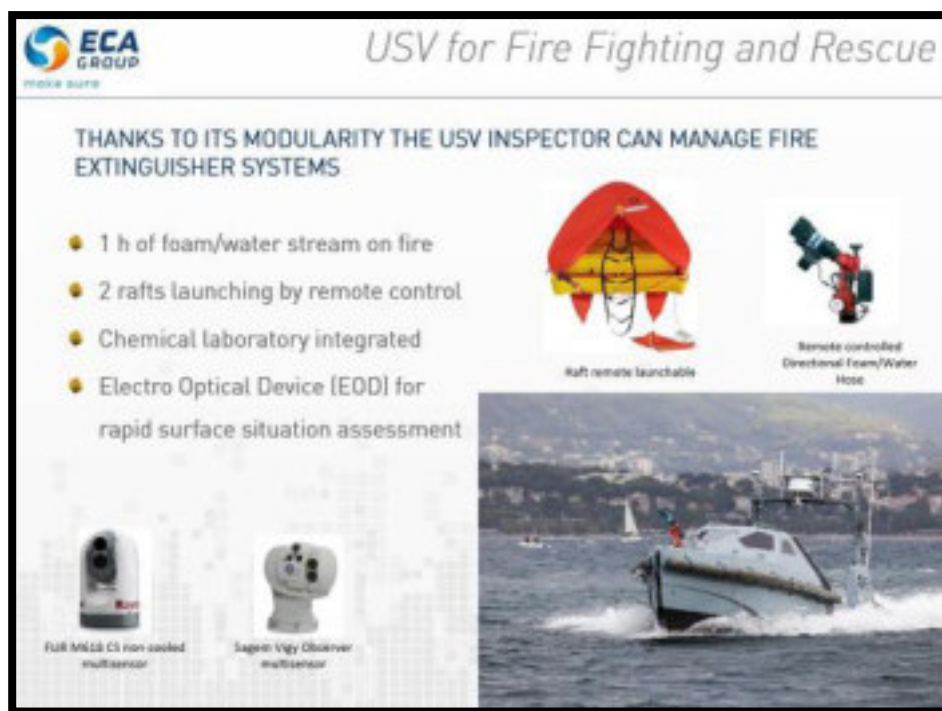


Fig. 14. Inspector Mk2

Equipaggiato di getti e idranti direzionali, telecamere elettrottiche, sensori CBRN e sistemi di salvaguardia e soccorso della vita umana in mare l'Inspector Mk2 è il sistema ideale per intervenire in situazioni critiche come incendi incontrollati scoppiati su una nave, nonché per ricercare eventuali naufraghi in operazioni SAR.

Il sistema può operare consecutivamente per moltissime ore, nonché eseguire *pattern* preselezionati e allertare gli operatori in caso venga rilevato qualcosa sui suoi sensori. È l'ideale anche per svolgere operazioni in branco (swarm) e minimizzare conseguentemente i tempi di pattugliamento nella zona di ricerca. Infine è lo strumento ideale per operare anche in caso di mare grosso (SS 4 e oltre).

4.2. Remotely Operated Vehicles (ROV)

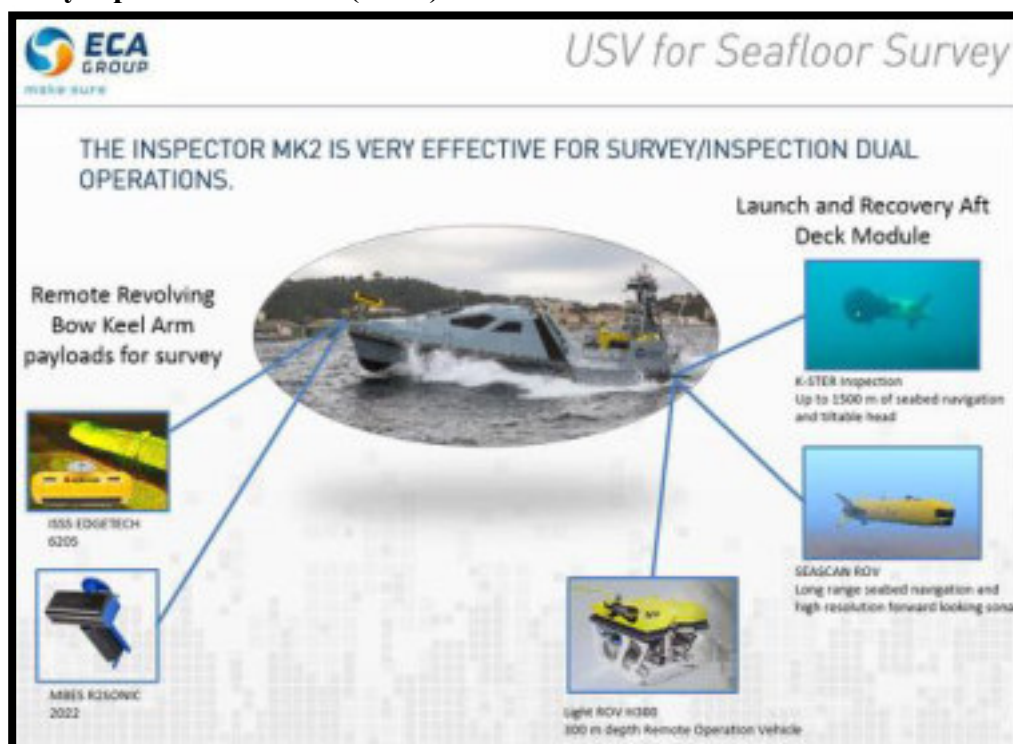


Fig. 15. Inspector Mk2

L'Inspector Mk2 ha inoltre la capacità di svolgere missioni d'ispezione e survey sottomarina, nonché di rilasciare e recuperare veicoli filoguidati (ROV) per operazioni di sostegno attività forense, come recupero scatole nere, ritrovamento cadaveri o ispezione di relitti.

6. CONCLUSIONI

Numerosi segnali fanno ipotizzare che le future attività umane saranno sempre maggiormente volte ad automatizzare molti processi, sia per ragioni economiche, che per questioni di potenziali rischi cui gli esseri umani e le loro proprietà potrebbero essere soggetti nello svolgimento di tali attività.

Lo sviluppo dell'elettronica di consumo, la disponibilità di accumulatori dalla sempre crescente densità energetica, e tutte quelle evoluzioni dei processi produttivi note come "industria 4.0" (Stampanti 3D, programmazione di consumo) permettono la creazione di soluzioni robotiche dalle prestazioni prima inimmaginabili, a prezzi accessibili.

ECA è da decenni attiva nel settore, nella costante ricerca di soluzioni robotiche affidabili, efficaci e performanti per un futuro sempre più sicuro e prospero.

REFERENCES

- [1] <http://www.ecagroup.com/en/solutions/mini-uav-civil-protection>
- [2] <http://www.groupe-intra.com/fra>
- [3] <http://www.groupe-intra.com/fra/pages/drones-aeriens>
- [4] http://www.sdis13.fr/haut/menu_principal/toute_1_actualite/articles/operationnelles/communication_operationnelle/sdis_13_de_nouveaux_outils_d_aide_a_la_decision
- [5] <https://destimed.fr/Bouches-du-Rhone-le-SDIS-13-s>
- [6] http://www.sdis13.fr/haut/menu_principal/toute_1_actualite/articles/technique/le_vrr_est_operationnel
- [7] <http://www.ecagroup.com/en/solutions/unmanned-surface-vehicle-inspector-mk2>

MENCI SENSEFLY eBee FOR TERRITORIAL MAPPING

Francesca Ceccaroni, Menci Software, francesca.ceccaroni@menci.com

Francesco Bravi, Menci Software, f.bravi@menci.com

ABSTRACT

The world of drones in recent years has made great strides.

Today in the market we can choose from a wide range of different aircraft, each with its strengths and weaknesses and suitable for different uses and purposes.

The fixed-wing drone **SenseFly eBee** was able to emerge and become a standard for territorial mapping with photogrammetric purposes, thanks to its features: *solid, reliable, safe, autonomuous and quick to take action.*

1. EBEE

The SenseFly **eBee** is a **fixed wings drone able to cover large areas with a single flight.**

It can cover up to 12 km² (4.6 mi²) in a single automated flight (about 45 minutes), while flights over smaller areas, flown at lower altitudes, can acquire images with a ground sampling distance (GSD) of down to 1.5 cm (0.6 in) per pixel.



Fig. 1. eBee by SenseFly

The possibility to **install different types of sensors** gives eBee a good flexibility: it can fit the classic camera RGB, a multispectral camera and a thermal camera.

For the **classic RGB camera** there are a wide choice, from the default Sony WX 18 MPX, to the **customized SODA** camera 20 MPX designed for SenseFly's drones.

2. THE FLIGHT

2.1. eBee is harmless

According to the **Regulations Remotely Piloted Aircraft Systems** of 16th July 2015, art. 12 , paragraph 1:

*"RPAS specialised operations with RPA with operating take-off mass of less than or equal to 2 kg are to be considered non critical in any operative scenario, providing that the RPA design criteria and manufacturing techniques result in harmless features, that shall be **verified in advance by ENAC** or by an organization recognized by ENAC - the Italian Civil Aviation Authority".*

The extremely light weight (700 grams - 1.5 lb) and its design characteristics allow ENAC to **recognize the eBee as the only fixed wing authorized to fly in non-critical and critical scenarios**.

2.2. Plan the flight

Plannig the flight is very easy and the set up time is extremely short: in only 10 minutes the eBee is ready to flight.

Just choose or create your preferred background map. Then use this to define the region you want to map. Next, simply specify your desired ground resolution (down to 1.5 cm / 0.6 inches per pixel) and set your required image overlap.

The rest is automatic: eMotion (the pianification software) automatically generates a full flight plan, based on GPS waypoints, calculates the eBee's required altitude and displays its projected trajectory.

To ensure your mission's success, eMotion even offers a confidence-building simulation mode. This virtual flight simulates wind strength and direction, allowing you to make any flight plan enhancements needed before launch.

3. WORKING SCENARIOS & PROCESSING SOFTWARE

3.1 Working Scenarios

This drone is perfect to **map large areas**. It's a fixed wings drone with a cruise speed of 40-45 km/h, so it's born to map large areas.

With APS suit softwares (product by Menci Software) the processing of the images is automatic. It meets all skill-level users by several interaction steps up to the full automatic process. It's possible to process thousand of images all at once.

They runs on your desktop computer or laptop and allow you to create **3D terrain models, orthophoto and different types of cartographic maps** with excellent accuracy (average 5 cm per pixel on the ground).

The drone can **be widely used for emergencies and land surveying**:

geological field (landslides, rivers, coastlines), urban areas (collapses, fires), environmental context (glaciers, forests).

Extremely interesting are the "multi temporal flight": redoing the same mission in different times to compare the results. The mission can be saved in order repeat it, and be sure to work in the same area.

3.2 Processing Software

APS is the powerful and widely tested photogrammetry software suite for massive and accurate UAV data processing.



APS handles ground-facing images coming from several kind of drones.

Images must be acquired in strips, with a standard overlap of 70-80% (lateral and longitudinal).

3.3 Case History

Landslide

With eBee we mapped this big landslide in an area of about 3.5 km² . After the flight data has been processed with APS.



A DSM, DTM and orthofoto have been produced.

With this data is possible for example to compute volumes, profiles and monitoring the ground if the flights are repeated in different times allowing the user to compare the results and study any changes/ground movements.

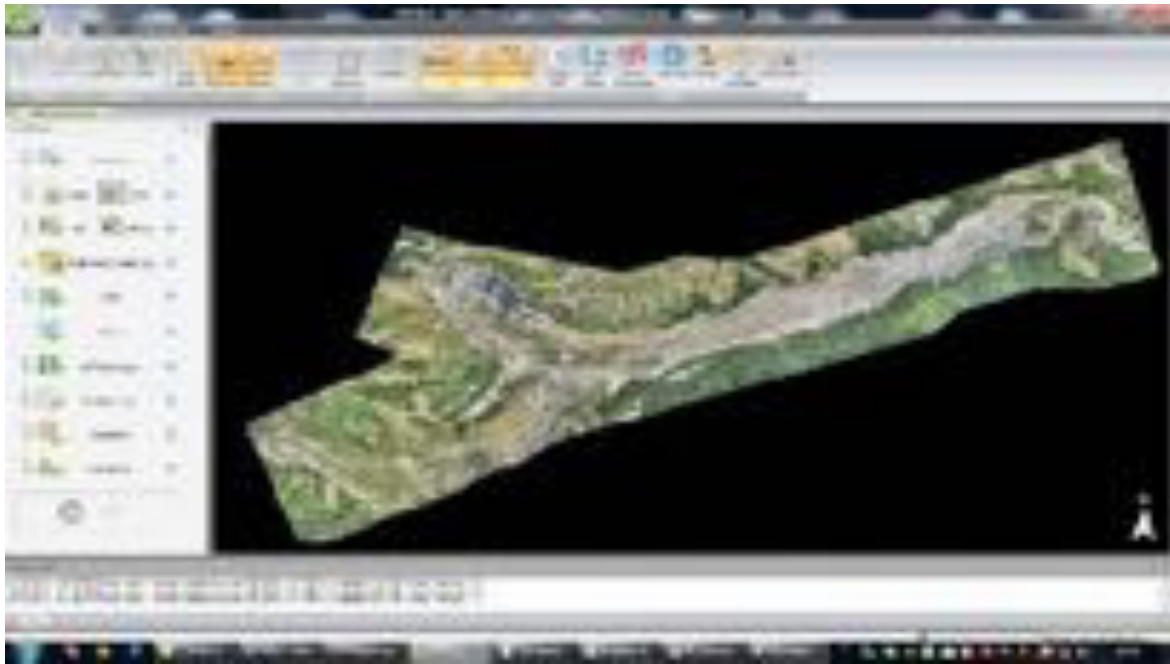


Fig. 4. Orthophoto

From the orthophoto it is possible to closely look at the surrounding or at the landslide with a resolution of 6 cm/pix.

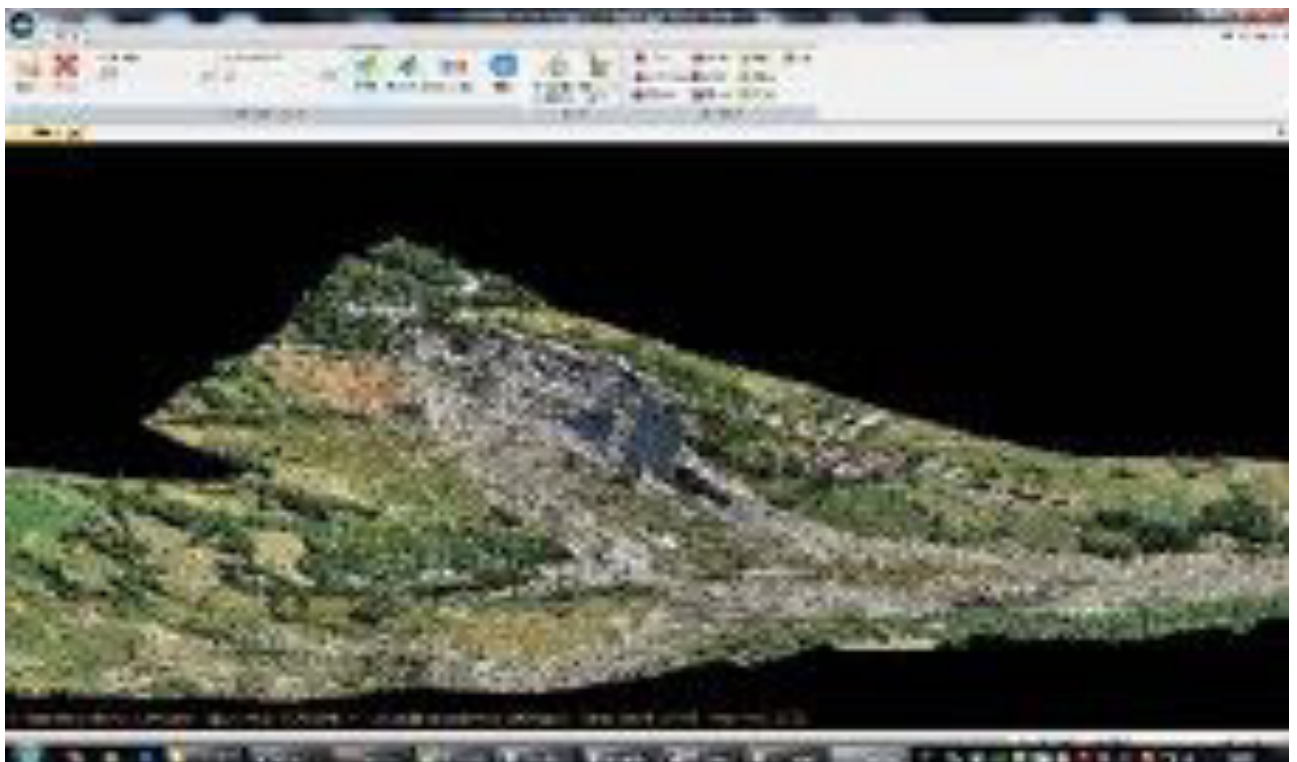


Fig. 4. Point Cloud

Point Cloud is a 3D representation of the territory, from this image it is possible to compute DSM and DTM to make volume and profile measurement.

Thermal Survey

With the ThemoMap camera is it possible to acquire thermal images and build OrthoPhotos where the temperature of the object can be read.

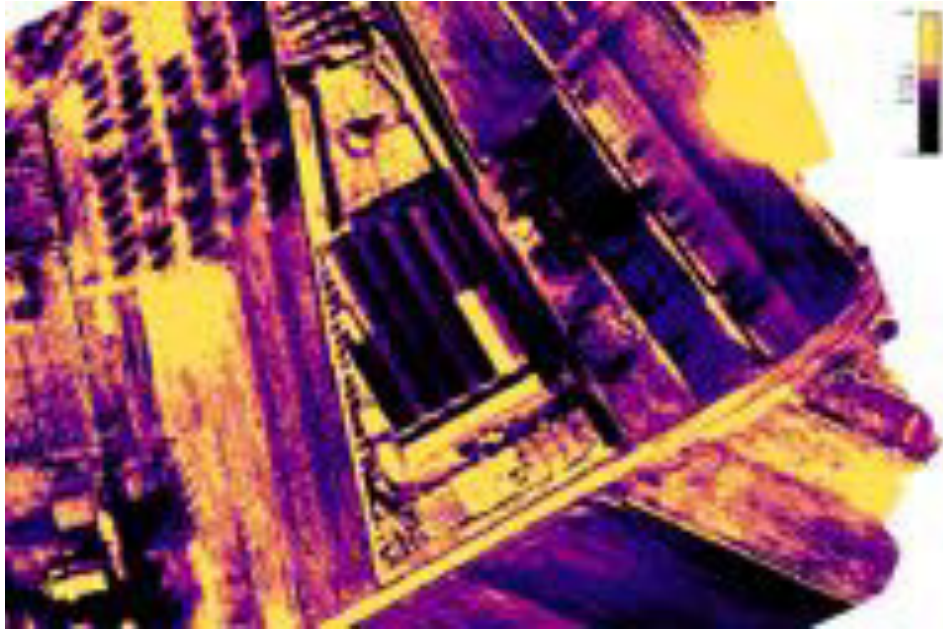


Fig. 5. Thermal Orthophoto

These type of map is particularly useful to monitor for example, chimneys or to detect water loss in different situations.

4. CONCLUSIONS

The senseFly **eBee is a fixed wings drone perfect to map large areas** and it is the easiest to use professional drone on the market.

The eBee is built with safety firmly in mind, from its ultra-light, shock-absorbent construction to its numerous embedded safety features.

After the flight you have just to **process and analyse the eBee's images using professional image processing software such as APS.**

APS by Menci Software, the all-in-one intuitive software, transforms UAV images into professional-grade mapping products. With APS you can process thousand of images all at once. APS generates: 3D point clouds, digital terrain models, mesh surfaces, digital surface models, contour lines, true orthophotos and much more.

The technical characteristics of eBee combined with the significant experience in the field of photogrammetry and cartography of Menci Software produce an important partnership that allows to produce reliable results.

STORM PROJECT AND THE USE OF UAV TO IMPROVE EMERGENCY MANAGEMENT OF DISASTERS THREATENING CULTURAL HERITAGE

Tonino Guerrieri, CNVVF (Italian National Fire Corps), *tonino.guerrieri@vigilfuoco.it*

Stefano Marsella, CNVVF (Italian National Fire Corps), *stefano.marsella@vigilfuoco.it*

ABSTRACT

STORM is an H2020 EU financed project. It provides critical decision making tools to cultural heritage stakeholders charged to face climate change and natural hazards. The project improves existing processes related to three identified areas: Prevention, Intervention and Policies, planning and processes.

In the specific area of the use of drones, the STORM architecture is aimed at enhancing the capacity of situation awareness through the use of sensors capable of transmitting to control rooms the most appropriate data about the ongoing emergency situation. The poster will describe the integration of use of UAVs within the overall emergency management process.

1. INTRODUCTION

STORM (Safeguarding Cultural Heritage through Technical and Organisational Resources Management) is an Horizon 2020 research project, financed by the EC that proposes predictive models and improved non-invasive and non-destructive methods of survey and diagnosis of cultural heritage buildings and sites. The aim of the project is providing effective prediction of environmental changes for revealing threats or conditions that could damage cultural heritage sites. Moreover, it will determine how different vulnerable materials, structures and buildings are affected by different extreme weather events together with risks associated to climatic conditions or natural hazards, offering improved, effective adaptation and mitigation strategies, systems and technologies. An integrated system featuring sensors (intra fluorescent and wireless acoustic sensors), legacy systems, state of the art platforms (including LiDAR and UAVs), as well as crowdsourcing techniques will be implemented, offering applications and services over an open cloud infrastructure. Results will be tested in relevant case studies in five different pilot sites: Diocletian Baths (Rome – Italy), Historical Centre of Rethymno (Rethymno – Greece), Mellor Heritage Project (Manchester – England), Roman Ruins of Tróia (Tróia – Portugal) and Ephesus (Izmir – Turkey).



a)



b)



c)



d)



e)

Fig. 1. a) Diocletian Baths (Rome, Italy), b) Mellor Heritage Project (Manchester, England, UK), c) Roman Ruins of Tróia (Tróia, Portugal), d) Historical Centre of Rethymno (Rethymno, Greece), e) Ephesus (Izmir, Turkey).

2. STORM PROJECT

In the STORM logical architecture, the main architectural components are shown which are integrated for enabling a complete set of services and tools.

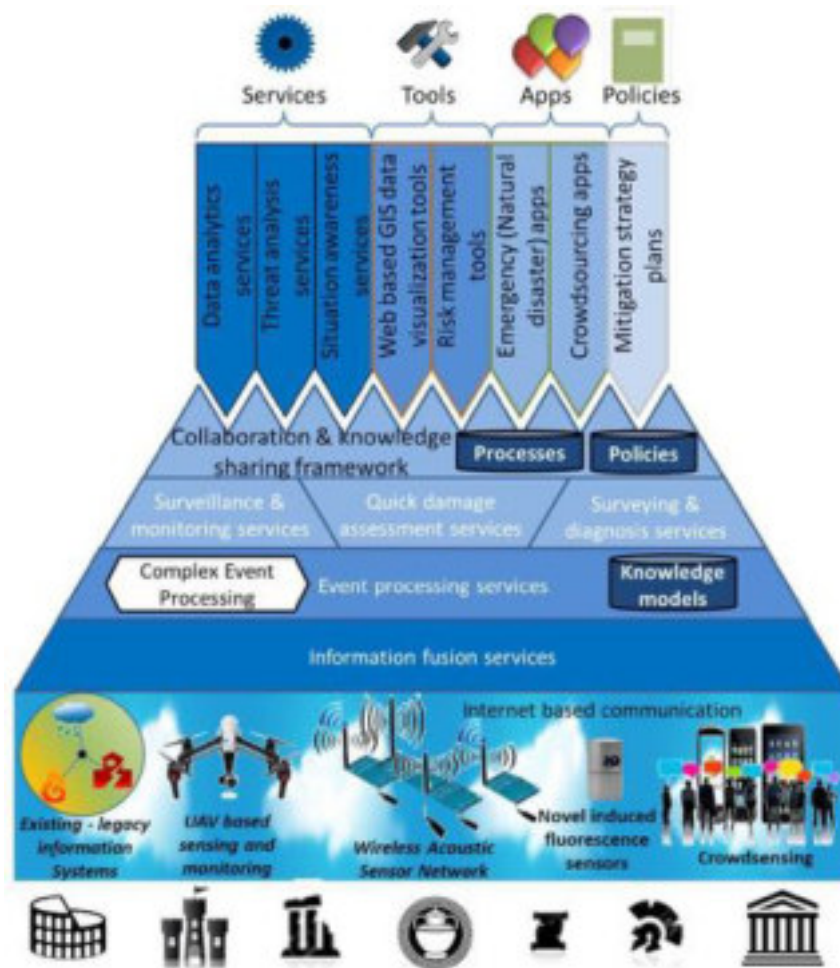


Fig. 2. STORM architecture.

At the bottom, several heterogeneous and distributed data sources communicate, among the main system, contextual data and information through the traditional Internet channel. Specifically:

- UAV-based sensor infrastructure for surveying, diagnosis and monitoring open-space Cultural Heritage.
- Different type of sensors:
 - induced fluorescence sensor to provide early detection of biofilms developing on the artefact surface and insight into the physicochemical structure of heritage materials and objects.
 - wireless acoustic sensor network, featuring high-fidelity microphones to capture the full spectrum at high SNR, processor/DSP to pre-process/process/analyse the signal, smart energy management, and OTA upgrade capabilities.
- installed applications on personal mobile devices for crowdsensing and crowdsourcing applications, appropriately designed to support, correspondingly, the human sensors in the field and STORM stakeholders.
- existing information systems that provide data and information, to identify and integrate according to the specific applications of the system, using appropriate adapters.

A multimodal data flow is collected from these data sources. Leveraging on innovative techniques for extracting and filtering features and information, only the “relevant” data for the specific STORM domain (Information Fusion Services) are identified, selected, and processed. To this end,

the project uses and combines techniques, technologies and innovative approaches to image recognition (collected by UAVs) along with models and techniques of information fusion.

The integration and correlation of the extracted information, along with the representation through the available knowledge models, produces one or more domain events to monitor, control, prevent, etc.

Exploiting complex event processing techniques and technologies, the extracted information and/or the deduced/determined domain events, are aggregated and correlated each other in order to bring out potential dangerous or critical situations, ranging from the recognition, validation and localization of signals and events that may suggest the need for monitoring, surveying or warning for disaster prevention, assessing the level of risk, etc. (Surveillance & Monitoring Services, Surveying & Diagnosis Services, Quick Damage Assessment Services).

Based on the detected critical situations, a team of experts (structural engineers, archaeologists, geologists) collaborate and cooperate in order to understand the causes and find the most adequate response. For this reason, the project also provides the system ability to handle decision-making processes that can respond appropriately to situations of recognized danger. This includes both automated reasoning mechanisms (allowing the system to react and/or act independently) and a collaboration and knowledge-sharing framework (for careful and accurate cooperative design and planning the actions as effective and as unobtrusive as possible).

In principle, the STORM integrated platform deals with corrective actions of the following types: continuous real-time control, control of discrete on/off action based on event processing, cooperative planning and design preservation or restoration structural interventions, and quick response in emergency management.

Finally, the STORM integrated platform delivers a set of applications and services for the protection by climate changes and extreme weather events:

- Data Analytics Service: applications for offline analysis of large amounts of data and sometimes to identify relevant and useful information to improve to the system
- Crowdsourcing Services: applications used “in the field” for the generations of information (STORM crowdsourcing applications). These applications are able both to collect information provided explicitly by users, and to send notifications to users (for example, to report how to behave in situations of danger).
- Natural Disaster Applications: for desktop/mobile for the operational management of natural disaster, used by specialists in the field.
- Web-based GIS Visualization: GIS web-based services for targeted risk assessment and wide dissemination of their results along with the dynamic climatic and natural hazard data of each protected archaeological area.
- Threat Analysis Services: multidisciplinary evaluation (processes and technologies), of vulnerabilities that could affect the cultural site also as part of the overall Cultural Heritage ecosystem.
- Risk Assessment Tools: procedures and related application tools aimed at assessing risks associated to hazardous occurrences.
- Mitigation Strategy Plan: after event processes, planning and policies which define the actions to eliminate or to reduce the risk associated to the identified hazards.

3. MAIN SCENARIOS AND NEW TECHNOLOGIES IN USE

Different case scenarios described below will be set to test and validate the use of new technologies as LIDAR, UAVs, environmental sensors (to check noise, humidity, temperature, ecc.), web tools that will constitute the system components to detect critical parameters in the cultural heritage sites identified in STORM project. In general, the scenario selected deal with severe emergency situations that affect cultural heritage buildings. One scenario, that will be examined in the Rome

pilot test deals with a small earthquakes strikes in Rome. In particular, the situation is described as follows: *“on a saturday night, in the aftermath of a low/medium-intensity earthquake, the guardians of an ancient-roman building could have the feeling that part of an high vault is differently shaped than before. Having in mind that such changes could be precursors of imminent collapse, they call the fire service, the only available expertise at the moment. Firemen are used at being forced at taking decisions and provisional measures while having access to only a fraction of the needed information, however this case is worse than the average: the actual shape of an ancient building is the result of long-standing overlapping deformations which could anyhow maintain its balance, but could be easily unbalanced by a provisional measure (e.g., shoring) hastily applied.”*

Such scenario highlights the need for firefighters of tools that support their function of quickly assessing the safety of the building, like LIDARs and UAVs as mobile platform for aerial recording. Such scenario has been drafted on real case experiences that the CNVVF has faced also in the August 2016 Central Italy Earthquake.

4. UAVS DURING EMERGENCY SITUATIONS

In the 2016 earthquake in central Italy as well as in the latest emergencies caused by adverse natural phenomena (floods, flooding, landslides, avalanches etc.) an increasing use of drones operated by Italian firefighters (CNVVF) has been recorded, from the early stages of the emergency, in order to have a quick and detailed overview of the magnitude of the damage suffered by major historical and artistic buildings. The same tools were used to define the urbanized areas with the highest number of bulding collapses. The drones, equipped with instrumentation for the photographic survey, allowed the acquisition of a quantity of gigabytes of high-resolution images of the state of post seismic event locations. In particular, the flight of drones helped to identify the state of damage of all the historic buildings and churches of great artistic importance, located in the red area or not allowed area. These data analysis was significant in order to assess the real risk of further collapses and to design effective shoring systems to support unsafe parts still standing. Below are reported some pictures of the status of some churches after the earthquake of August 24, 2016.



Fig. 3. Norcia – Structural check inside of the Cathedral.

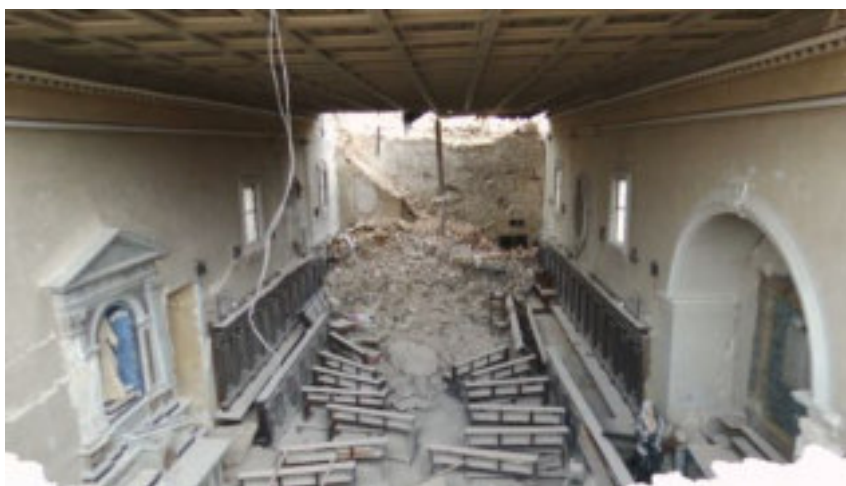


Fig. 4. Norcia – Structural check inside of the Santa Maria degli Angeli Church.



Fig. 5. Norcia – Structural check inside of the dome of the S. Benedetto Church.



Fig. 6. Amatrice – Check status of the frescoes in S. Francesco Church..

The aerial photogrammetric data obtained with several daily sorties of drones, are served by specific input software for rapid return and creation of 3D models, or integrated with cadastral data and geomorphological were a valuable support for the knowledge of the actual operating environment where the teams of firefighters intervened for the search and rescue people. In addition, this post processing has enabled, at the end of the rescue of the population, even a more accurate assessment of the damage and consequently a cost estimate as early as the early stages of the emergency.

Obviously, the accuracy of the data obtained (eg. Point clouds, surface models and orthophotos) is not comparable with other system such as LIDAR, however, it represents a valid activity rescue tool support allowing to achieve a good evaluation of the severity of the scenario, and then an estimate of the timing necessary for the refurbishment of the primary infrastructure such as roads, electrical networks ecc.. Indeed, the Italian Fire Corps special units experts in topography during rescue operations, able to initiate the procedures for mapping, scoured the areas affected by the quake. The use of radio VHF network of the CNVVF, equipped with GPS module and interfaced to specific software on tablet for tracking and georeferencing, let them prepare emergency maps, where the information gathered from multiple sources, were processed by experts in GIS systems and transformed it in shapefiles or other formats widely used on platforms such as Google Maps.



Fig. 7. Flight plan of a drone operated on the town of Amatrice in the aftermath of the August 24, 2016 earthquake.



Fig. 8. Mapping overlay on emergency satellite image - Amatrice.

6. CONCLUSIONS

The activities needed to assess and restore safety of to historic or cultural buildings can be strongly supported by the research carried out in the STORM project. The task of assessing quickly and in safety condition the damages suffered by historical or cultural buildings has brought to a wide use of UAVs by the CNVVF in the 2016 earthquake. The images recorded by the sensors that equipped the drones have been useful to emergency tasks, but their utility would be boosted by the comparison between data detected by LIDAR before and after the disaster event. The STORM pilots are aiming at integrating UAVs, LIDAR images and procedures shared between cultural heritage managers and CNVVF, in order to let them assess on the scenario and with the best possible resolution the damages a natural event has caused to buildings.

REFERENCES

- [1] Maxwell, I. (2006). *Technical Committee UCE COST Action C17 Built Heritage : Fire Loss to Historic Buildings*. Rome. Retrieved from http://w3.cost.eu/fileadmin/domain_files/TUD/Action_C17/final_report/final_report-C17.pdf
- [2] ISO 16730-1:2015 - Fire safety engineering -- Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods -- Part 1: General. (2015). Retrieved January 11, 2017, from http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=62111
- [3] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2010) . *Managing Disaster Risks for World Heritage*. UNESCO / ICCROM / ICOMOS / IUCN, 2010
- [4] Rivista GEOmedia n°5-2016 – “Cartografia per le emergenze” e “Riprese aeree innovative per le emergenze”

DRONI SALVAVITA

Fabbrica Italiana Droni,

Dott. Tullio Iaria direzione@fabbricaitalianadroni.it

Dott.sa Angela Capuano angelacapuano2016@gmail.com

ABSTRACT

I droni possono dare un aiuto concreto alla salvaguardia della vita delle persone ed essere utilizzati nell'emergenza sia in caso di incidenti CBRN sia per il trasporto di campioni ematochimici ed emoderivati. In caso di catastrofi naturali, di intrasportabilità del paziente, di distanze enormi, di traffico; il drone può essere utilizzato per il trasporto di presidi sanitari, di farmaci salvavita come sangue ed emoderivati o come mezzo di trasporto veloce di campioni ematochimici.

1. INTRODUZIONE

Lo studio del dr T. Amukele dimostra che i campioni ematochimici se trasportati su ruote o attraverso droni non subiscono alcuna variazione. È stato valutato, quindi, per il trasporto di campioni ematochimici e sacche di emoderivati il rischio biologico intrinseco al trasporto dei campioni e delle sacche di sangue ed emoderivati attraverso droni nel caso di incidente; tale rischio è superato brevettando contenitori ad hoc per il trasporto.

Oltre al rischio spandimento liquido biologico è stato valutato il rischio atmosferico legato alle condizioni climatiche del luogo destinato all'utilizzo dei droni per tale attività.



Fig. 1. Contenitori trasporto provette e contenitori trasporto sacche di emoderivati.

OBIETTIVI

1. Migliorare la compliance tra le aziende A ed X.
2. Abbattere i tempi morti per attesa, preparazione e trasporto sacche di sangue ed emoderivati.
3. Tempestivo invio/ricezione campioni ematici, campioni istologici, sangue ed emoderivati.
4. Abbattimento dei costi dei trasporti con mezzo su ruote
5. Abbattimento dello straordinario/costo del personale.
6. Sviluppo competenze del personale interno alle aziende A ed X.
7. Ottimizzazione utilizzo risorse umane e materiali
8. Creazione archivio immagini ai fini dello studio delle tecniche operative in caso di intervento CBRN
9. Nuovi DPI
10. Miglioramento delle tecnologie esistenti

MATERIALI E METODI

Lo studio di fattibilità è stato condotto prendendo in esame il numero di uscite tra due diverse aziende A e X al fine di calcolarne la distanza su terra ed aerea, i tempi di trasporto su ruote e con drone, i costi relativi alle due modalità di trasporto, inserendo la media degli ultimi cinque anni delle condizioni climatiche al fine di prevederne la reale fattibilità.

Risultati tecnici su impiego di diversi sistemi in caso di incidente TIC - CBRN

3. CONCLUSIONI

La comparazione tra le due modalità organizzative drone vs macchina ha evidenziato che l'utilizzo del drone per il trasporto di sangue ed emoderivati, campioni ematochimici è valido ed efficace in quanto si è rilevata una riduzione dei tempi di trasporto pari al 80% fissa e non variabile a seconda del traffico urbano, una riduzione in termini costi pari al 75% alla quale si associa la riallocazione del personale precedentemente addetto al trasporto con ricadute organizzative positive in termini di assistenza diretta. A tutto quanto appena descritto è da considerare che le condizioni climatiche non consentono il volo 365 giorni anno ma si è stimato dalla media delle condizioni meteo degli anni 2012-2016 che in media su 365 giorni anno nell'area urbana di Napoli centro è possibile far volare un drone 324 giorni a fronte dei 365. Possibilità di poter incrementare l'operatività dei soccorritori scegliendo strumentazione adeguata.

BIBLIORAFIA

- 1) Timothy K. Amukele at all. Can Unmanned Aerial Systems (Drones) BeUsed for the Routine Transport of Chemistry, Hematology, and Coagulation Laboratory Specimens?. Plos ONE, 2015; 10(7): 1-15
- 2) Cillis L. at all. Un mondo di droni, ecco le nuove regole. L'Espresso di Repubblica. 29 giugno 2015; 1-8
- 3) Croce Rossa Italiana. Droni: parte il progetto della Croce Rossa Italiana. Il 24 febbraio la presentazione alla Roma Drone Conference. Roma. Croce Rossa Italiana. 2016
- 4) Orsi S. Croce Rossa Bologna e UniBo insieme per un progetto sui droni. Unibo magazine
- 5) Amaglio R. Drone Fattorino a che punto siamo?. Dronezine, 2015; 10: 34-39
- 6) Zuffi A. Prime Air funziona: Amazon completa la prima consegna con un drone. day.it, 15/12/2016
- 7) SuperEva. Droni: in che modo potranno salvare vite umane?. 2016
- 8) Fondazione Zoè. Droni Salvavita. 2016
- 9) Dinsa S. The age of drones: what might it mean for health?. The Lancet, 2016; 387: 1803 -1804
- 10) Sorani E. Droni refrigerati per il trasporto di sangue e vaccini. Dronezine. 2017; 21
- 11) Timothy K. Amukele at all. Can Unmanned Aerial Systems (Drones) BeUsed for the Routine Transport of Chemistry, Hematology, and Coagulation Laboratory Specimens?. Plos ONE, 2015; 10(7): 1-15
- 12) Sky. Consegnare il sangue con un drone? In Ruanda si può.. 2016
- 13) Vendrame F. Droni iniziano a consegnare sangue in Ruanda. Webnews. 2016
- 14) Esperienza fly zipline
- 15) Enac. Regolamento mezzi aerei a pilotaggio remoto. 2015; 2: art.1-art.37
- 16) Report Aziendale registro uscite autisti. 2016
- 17) Redazione Dronezine. Guidare dalla Russia un drone che vola in Italia. Dronezine, 2015; 13: 70-71
- 18) Enac. Metodologia di valutazione del rischio in operazione SAPR per autorizzazioni e permessi di volo non geografici. Guida applicativa. 2017; 1: 1-20
- 19) meteo.it

ApolloShield: How to detect and mitigate unwanted drones in rescue operations

Nimo Shkedy - Alessandro Finicelli, info@autobynet.it

ABSTRACT

Drones are increasingly being used by media or simply by curious people to film Fire Department, the Police or Civil Protection while they are in action. The need to "stay inside the news" can be a serious danger for those who are working in the most critical situations, despite the Civil Aviation Authority regulation is clear about this issue: flight is absolute prohibited.

In future, Fire Departments will have to increase their efforts to detect and mitigate unauthorized drones flying in risk areas, as well as to ensure the safety of the perimeter from possible threats while they are working. The ApolloShield solution can provide modularity and portability to neutralize any danger from unauthorized use of commercial drones before, during and after intervention.

1. INTRODUCTION

Only a few years back, In late 2010, French company Parrot launched a flying toy camera named AR Drone at CES. Enabled by the price drop and performance boost of electronics, sensors and communication hardware, this \$300 iPhone-controlled flying camera gadget was a huge hit and marked the beginning of the consumer drone era.

1. Background

In 2014, just four years later, DJI launched the Phantom 2 Vision+, marking the beginning of the professional-grade consumer drones. These drones are no longer just a toy: They boast an amazing camera, ridiculously easy and stable piloting, much improved range and flight time and the newest models even have obstacle avoidance capabilities. It is no wonder that the Phantom series broke new records and became the best-selling christmas present of 2015.

1.2 Scenario

Unfortunately, the proliferation of cheap and easy to fly drones has some undesired consequences as well. In recent months, drones are starting to pose a huge security risk to public safety across the world. In 2015, 1,200 dangerous incidents of drones flying around airports were reported in the US alone - an average of four near-misses every day. Luckily no one was injured yet but no doubt that any one of these scary incidents may well have ended with casualties.

Not only airports are at risk: Drones have infiltrated the white house, the Japanese PM's house, and even the Star Wars film set. Drones are also being used by organized crime groups to smuggle ammunition, drugs and other contraband into prisons and across borders. And with ISIS already

using drones to gather intelligence on American and British forces, experts estimate that it is only a matter of time before ISIS launches a massive drone attack on stadiums or other public gatherings.

The purpose of this document is to provide a thorough technology review about the multiple technologies ApolloShield uses to detect, identify and mitigate unwanted drones in a multitude of possible scenarios.

2. REVIEW OF ANTI-DRONE TECHNOLOGIES AND PRODUCT

With 6 million drones sold to date (of which 4 million in 2015 alone), a completely new threat to homeland security, public safety and privacy-aware customers rapidly came to exist. The counter-drone market is estimated to reach \$1.14 Billion by 2022, with both startup companies and established defense contractors approaching the task of drone mitigation from two angles: detection and interception.

The TechWars team has taken great interest in this new and exciting batch of technologies. We set out to learn and report our conclusions about anti-drone technologies and trends. Our team invested a lot of time interviewing vendors and customers, and we are proud to present this simplified “anti-drone 101” review of techniques and products.

3. DETECTION TECHNIQUES

The first part of mitigating the drone threat is, naturally, detection of drones flying in the vicinity of the protected asset. In some cases, detection can be paired with swift operative response - for example in prisons, where an alert can trigger a lockdown, or at events such as the Boston marathon, where drone alerts dispatch police units to the area in the hope that police will arrive on time to catch the drone’s operator.

Most drone detection products reviewed utilize one or more of the following methods:

1. Acoustic - placing microphones on the protected asset’s perimeter. A smart classification system receives audio signals from the microphones and matches the audio signature to detect whether drones are flying nearby to issue an alert.
Pros: cheap technology which can detect a wide variety of drones
Cons: acoustic detection may be confused by nearby noises and prone to false positives and misdetections.
2. Radar - much like the good ol’ radar detects planes in the sky, a new generation of radars can detect drones. The key differences in drone radar technology are the need to detect objects that are not made of metal, the need to detect objects that are much smaller, the need to distinguish drones from birds, and the need to detect drones flying at low altitude and speed.
Pros: radars can detect a wide variety of drones and also provide a precise location.
Cons: expensive technology, still prone to false positives and misdetection.

3. Optic - some drone detection solutions are using (day/night) cameras to either detect drones or track objects detected by other methods to validate if they are indeed unauthorized drones.
Pros: the prices of cameras and movement detection systems are dropping. Such systems have the unique benefit of allowing a person to track drones during flight and assess the actual risk in real time.
4. Radio Communication - this method scans the radio spectrum and relies on a library of communication fingerprints to detect communication channels between drones and their operators.
Pros: detection via radio communication fingerprinting has the ability to identify the drone type and has no risk of false positives or misdetections for drone models known to the library.
Cons: drone models not in the library may not be detected. Kamikaze drones (ie. completely autonomous) will not be detected. However such drones are only available for military use and not sold to consumers.

4. INTERCEPTION TECHNIQUES

Many customers can't settle for detection only, and require swift interception once a drone is detected. For example, in many countries it is the border police's job to not let any drone through. Airports must postpone landings and takeoffs and therefore suffer a huge loss of income whenever a drone is detected and for any reason isn't intercepted immediately.

The drone interception products reviewed utilize one or more of the following methods:

- Take Cover & Wait - As mentioned above, this is not a technique per se, but we have interviewed customers whose drill is to take cover (for example, command a lockdown in a prison) and wait for the unauthorized drone to land or return to the operator. Since most consumer drones have a flight time of just under 30 minutes, this limits the disruption and allows authorities to seize the unauthorized drone and investigate it.
- Physical interception - such solutions include nets launched at drones using a bazooka, other drones carrying nets, ropes or other apparatuses designed to tangle with the drones' rotors. This category also includes shotgun ammo, high power lasers that burn drones and even trained eagles.
Pros: physical interception solutions are relatively low cost, easy to operate and in some cases may be legal.
- Radio/GPS Jamming - some products, mainly directed for the defense market, can transmit a very loud radio noise that causes communications to break. If you are unfamiliar with radio signals, think of it as playing a very loud noise while you are talking to another person, rendering the conversation unintelligible. Jamming causes communication breakage between the drone and the operator and/or GPS signal loss, usually resulting in the drone initiating its fail-safe landing process.
Pros: this method can intercept nearly all drones that rely on GPS and/or communication with the operator.
Cons: radio jamming causes **ALL** communications to break, including the customers' own communications. Since most customers are using wireless communications in their day-to-day operations, it is not a common practice for them to use radio jamming. Moreover, for this exact

reason radio jamming is strictly illegal in many countries and thus used almost exclusively in defense/military scenarios.

- Control Channel Injection / “Spoofing” - this method taps into specific (unauthorized) drones’ communication channels and sends tailored interception commands.
Pros: control channel injection can usually send a safe landing command, and is a clean interception method having no adverse side effects - electronic or physical.
Cons: this method relies on radio communication detection and requires the specific drone model being intercepted to be in the system’s library.
- Lasers - a device that can blind/dazzle the offending drone’s camera (in which case it needs to be placed at a specific angle from the drone to allow the dazzling, and won’t actually take the drone down). Some manufacturers claim their lasers can also fry a drone in the sky, but this method will almost certainly result in debris on the ground, and possibly in damage to property or injuries to persons on the ground.

5. CONCLUSIONS

Our team has sensed several trends in the demand for anti-drone systems:

1. Almost all directors of security want a simple, unified system and not a multitude of systems from several vendors.
2. Most directors of security prefer to not only detect drones but also drive them away, but want an environmentally safe system that will not use radio jamming.
3. Most directors of security prefer an automatic system that can autonomously mitigate most of the risk over a manned system, where the presence of an operator may cause slow response time.
4. Some directors prefer a menu of systems and contingencies to choose from, which allow the director to choose their proper balance between multiple security layers and simplicity of operation.

ApolloShield offers a menu of sub-units under one roof, and allows directors of security to choose the best system for their scenario.

For more details, contact Italian Distributor ABN – INFOMOBILITY MEPA Supplier Phone +390289343801, FAX +390270036248, Email: info@autobynet.it or directly ApolloShield anti-drone systems at info@ApolloShield.com, or phone +1-888-474-5646

Profili di rischio interferenziale generati da droni in prossimità di sedimi aeroportuali: Misure di prevenzione e protezione da impatti con aeromobili

UAV & SAR Conference, ISA – Rome, 29th March 2017

Autore: ing. Edoardo Cavalieri d'Oro

Sommario

I.	Premessa	2
II.	Introduzione	2
III.	Approccio.....	2
IV.	Aeroportuali Milanesi.....	3
V.	Profilazione del rischio di impatto.....	3
	<i>V.1. Ipotesi</i>	3
	<i>V.2. Tipologie di impatto</i>	4
	<i>V.3. Danni potenziali in caso di impatto</i>	4
	<i>V.4. Probabilità di impatto</i>	5
	<i>V.5. Regolamentazione delle Quote e traiettorie dei velivoli e dei droni</i>	5
VI.	Mappe del rischio di collisione	8
VII.	Violazioni, procedure di risposta e contromisure	10
	<i>VII.1. Violazioni e relative procedure di risposta.....</i>	10
	<i>VII.2. Tecnologie e sistemi di risposta potenzialmente impiegabili</i>	11
VIII.	Conclusioni	13
IX.	Riferimenti bibliografici	14

I. Premessa

Il presente studio, prodotto su richiesta della Prefettura di Milano, fornisce supporto tecnico al fine di garantire il rafforzamento del dispositivo di sicurezza degli scali aeroportuali Milanesi, in particolare dell'aeroporto civile di Milano Linate, con particolare riferimento alla minaccia rappresentata da droni in avvicinamento allo stesso scalo.

II. Introduzione

Vista la diffusione di mezzi aerei di piccole dimensioni a pilotaggio remoto (detti APR o più comunemente droni), e in considerazione di recenti incidenti avvenuti in prossimità di sedimi aeroportuali (vedi figura 1), infine tenuto conto delle esigenze di definire procedure di intervento a fronte di potenziali avvicinamenti di tale velivoli presso gli aeroporti milanesi, il presente documento fornisce una metodologia utile alla determinazione dei rischi associati alla potenziale collisione tra velivoli e droni.



Figura 1. Collisione tra drone Phantom II e aeromobile in fase di atterraggio a New York City – giugno 2015.

III. Approccio

La collisione tra un aeromobile e drone, come dimostrato da recenti studi, è assimilabile a un bird strike. La massa e le dimensioni di un drone tipo sono infatti paragonabili a quelle di un volatile e la velocità cui il medesimo può arrivare è pure simile seppur trascurabile alla luce delle variabili fisiche utilizzate per determinare l'impatto tra due velivoli. Evidentemente la differenza tra drone e volatile risiede nella diversa costituzione e materiali (i.e., massa molle di natura biologica versus massa dura in plastica, componenti elettroniche e batterie). Non sono al momento reperibili approfondimenti o esperimenti di collisioni tra droni ed aeromobili, tuttavia le analogie evidenziate sono sufficienti ad impostare il problema come riportato in questo documento.

Questo lavoro è organizzato come segue. Determinazione dei profili di rischio di collisione: viene identificato un metodo per la stima dei danni derivanti da impatto tra drone e i diversi tipi di velivoli presenti in un dato aeroporto. Per determinare la probabilità di collisione vengono dapprima evidenziate le potenziali capacità di un drone tipo e cioè di medie prestazioni e diffuso in commercio, tra cui, peso, quota massima raggiungibile e velocità massima. Vengono quindi presentate le traiettorie e quote tipiche di un aeromobile di linea in prossimità dello scalo. Per lo scalo di Linate, quindi per aeroporto commerciale, le quote degli aeromobili sono funzione della distanza dallo scalo. Quindi, seguendo il principio che quanto più siamo lontani dalle fasi di atterraggio e decollo tanto più improbabile sarà la probabilità di collisione tra i due velivoli, viene stilata una mappa di rischio che tiene conto di tipologia di aeromobile, dimensioni in funzione della quota dei due velivoli. La mappa di rischio può essere utilizzata da uno scalo per determinare le azioni da intraprendere in caso di identificazione di un drone all'interno dello spazio aereo. La sezione finale presenta alcuni sistemi per identificare i droni e alcune tecnologie usabili per annientarli.

La analisi e il metodo elaborati faranno riferimenti ai due **aeroporti milanesi di Bresso e Linate**, ponendo maggior enfasi sui voli commerciali e quindi sul secondo scalo.

IV. Aeroportuali Milanesi

Aeroporto di Linate - aeromobili commerciali e aeromobili privati

- Categoria ICAO: 8 Lunghezza fusoliera: $49 < L < 61$ m
- Aeroporto commerciale: Boeing 737 - Airbus 319, 320, 321 - EMJ E190, E175
- Aeroporto privato: ATR 42 , ATR 72 (elica) - Citation C12, C13 - Citation Mustang - Piaggio P180 (elica)

Aeroporto di Bresso - aeromobili privati di piccole dimensioni, elicotteri soccorso sanitario, elicotteri privati

- Categoria ICAO 2 Lunghezza fusoliera: $9 < L < 12$ m
- Aeromobili: CESNA 172, Tecnam P2002 (monomotore), Piper Seneca 2 e 3 (bi-motore) < 8 m
- Elicotteri: Robin 1, Robin 2 e Augusta AW139 (12 m)

V. Profilazione del rischio di impatto

V.1. Ipotesi

I parametri fondamentali da considerare in impatto tra due veicoli sono: la quantità di moto scambiata, l'energia cinetica dei due veicoli, l'impulso dato dalla forza scambiata nella collisione moltiplicata per la durata (se nota) dell'impatto. I droni di riferimento per l'analisi sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Droni di riferimento utilizzati per la analisi di impatto.

Velivolo a pilotaggio remoto	Massa (m)	Velocità media (v)
Phantom II	1,300 kg	15 m/s (54 km/h)
Inspire1	2,935 kg	22 m/s (79,2 km/h)
Aeromobili	Velocità media (v)	
Bell 407 ed EC 130	1.1210 kg, 1.377 kg	67 m/s (54 km/h)
Boeing 737	32.000 – 56.000 kg	Atterraggio: 67 m/s (241,2 km/h) Decollo: : 77 m/s (277,2 km/h)
Dati tecnici velivolo a pilotaggio remoto		Immagine velivolo
PHANTOM II Resistenza al vento: 20 m/s Volume: 290 x 177 x 390 mm Massima distanza controllo remoto: 1000 m Max altezza dichiarata: 200 m Max altezza testata: 1500 m (youtube)		
INSPIRE 1 Resistenza al vento: 10 m/s Volume: 438 x 451 x 301 mm Max altezza dichiarata: 120 m Massima distanza controllo remoto: 500 m		

V.2. Tipologie di impatto

Le tipologie di impatto prese in considerazione sono le medesime utilizzate per le collisioni di *tipo bird strike*. Nell'impatto con drone si dovrebbe tenere conto di una variazione del modulo di elasticità dovuto alla differente natura dei materiali che lo compongono attraverso un fattore correttivo in questa analisi non considerato.

Le seguenti tipologie di impatto, scelte in base alla loro probabilità di poter portare a uno scenario con conseguenze catastrofiche in termine di vite umane e non solo di danno economico generato, sono funzione **del punto in cui drone impatta l'aeromobile**:

- a) Impatto frontale con **il vetro a protezione della cabina di pilotaggio**
- b) Impatto frontale con **uno dei motori (di tipo a turbina) dell'aeromobile**
- c) Impatto con **la struttura di coda (elevatori e stabilizzatori di coda)**
- d) Impatto con un'**elica rotante o rotore** (per esempio di un elicottero, o di un aereo ad elica)

V.3. Danni potenziali in caso di impatto

Le linee guida della FAA (*Federal Aviation Administration*) statunitense forniscono le **soglie di riferimento** rispetto al momento ed energia cinetica misurate e in grado di portare a conseguenze di natura catastrofica o a mero danneggiamento dell'aeromobile. Tali valori sono riferiti all'impatto con tessuto molle di volatile di massa compresa tra 2 e 8 libbre (0,9 kg e 3,6 kg circa) e quindi comparabili con le dimensioni e peso dei modelli tipo di droni considerati.

Risultati dell'analisi dello studio di impatto di seguito riportato è tratto dallo studio fornito da [1], e considera impatto a **quota livello del mare**, ovvero considerando che il drone arriva sulla pista e si posizioni di fronte all'aeromobile durante la fase di decollo o quella finale di atterraggio.

Tabella 2. Tipi di collisione, energia scambiata nella collisione, momento e danno.

Tipo di collisione	Energia cinetica (J)	Momento (N x sec)	Danno
Caso a) Linea guida FAA 25.775	47.896	416	minore
Caso b) Linea guida FAA 33.76	1.144 -19.212	28- 373	Potenz. fatale
Caso c) Linea guida FAA 25.631	95.820	833	minore
Caso d) Linea guida FAA 29.631	2.129 (A)	65.19 (A)	fatale
Phantom II vs Boeing 737 (A)*	4.370 – 4477*	106	
Phantom II vs Boeing 737 (D)	5.501	118	
Inspire vs Boeing 737 (A)*	11.624 -11.886*	261	
Inspire II vs Boeing 737 (D)	14.382	290	

* Nel caso d) di collisione con elicottero i valori della tabella si riferiscono a EC 130 all'atterraggio a sinistra, e per un Bell 407 a destra).

Da quanto sopra riportato si evincono le seguenti tipologie di impatto e relativi danni:

- a) **Impatto vetro cabina di pilotaggio:** visti i valori di impatto rispetto alle soglie delle linee guida di FAA per questo tipo di impatto, si può dire che seppur potendo risultare in un danneggiamento, per grossi aerei questo non porta alla rottura del vetro della cabina di pilotaggio e di conseguenza tale scenario non risulta degenerare in un incidente catastrofico.
- b) **Impatto contro una turbina a ventola:** in questo caso viene fornita una gamma di valori cinetici e di momento per includere la variabilità delle dimensioni di area di una turbina tra aereo e aereo (ma sempre nella ipotesi di *liner*, cioè aereo di linea). I valori calcolati cadono circa a metà strada della gamma di soglia documentando quindi la possibilità almeno nel 50% dei casi di risultare in seri

danneggiamenti dei sottosistemi della turbina (e cioè dalla ventola) sino agli stadi della turbina stessa, la quale oltre a smettere di funzionare potrebbe anche incendiarsi. Tuttavia gli aerei di linea sono in grado di prendere potenza anche solo con un motore funzionante, quindi la possibilità di non degenerare in uno scenario catastrofico dipende essenzialmente dagli ostacoli presenti. In questo caso, cioè a livello del mare non ve ne sono.

- c) **Impatto con struttura di coda:** i valori della tabella, ricordando che quelli *calcolati si riferiscono alle velocità di atterraggio e decollo con carrello a terra o quasi*, non forniscono valori di danneggiamento, anche visti i sistemi ridondanti presenti per controllare l'aereo, tali da portare lo scenario ad esiti catastrofici invece che solo di tipo economico.
- d) **Impatto con rotore:** i valori di soglia forniti dalla FAA rispetto ai calcolati dimostrano che i rotori di elicotteri come EC 130 e Bell 407 non sono progettati per resistere a tale tipo di impatto. I valori calcolati infatti sono in quasi tutti i casi analizzati pari a quasi il doppio a cui un rotore potrebbe resistere.
- e) **Impatto con turbina a elica:** per analogia con il caso precedente, sebbene dimensioni e, in alcuni casi come quello di un aereo a turboelica, vi possano essere protezioni ulteriori come scocca che può proteggere lateralmente una turboelica, anche l'impatto con aereo con turbine o rotori a elica può risultare in un severo danneggiamento. Nel caso di un aereo tuttavia le conseguenze non necessariamente risulterebbero fatali vista la capacità di poter planare o di dare potenza all'altro motore e quindi di meglio redigere un atterraggio di emergenza anche con un motore in avaria.

V.4. Probabilità di impatto

La **probabilità di impatto** con uno degli elementi strutturali dei casi sopra riportati dipende da vari fattori che per semplicità verranno sintetizzati in unica variabile ossia: quota dell'aeromobile (si ipotizza che la probabilità di impatto sia inversamente proporzionale alla quota dei due velivoli poiché il controllo della traiettoria da parte del pilota del drone risulti difficoltosa per l'alta velocità del velivolo commerciale, per la maggior distanza da terra, e per la maggior velocità del vento in quota).

V.5. Regolamentazione delle Quote e traiettorie dei velivoli e dei droni

La quota di un velivolo dipende dalla traiettoria dell'aeromobile o fase di volo che è funzione della zona di spazio aereo che l'aeromobile si trova ad attraversare. Le zone di spazio aereo si possono classificare come segue e come riportato in Figura 2.

ZONA 1: Pista e sedime aeroportuale: la pista nel caso dell'aeroporto di Linate misura 2442 metri e la lunghezza del sedime, incluso di aerostazione è di circa 3800 metri.

ZONA 2: ATZ (*Aerodrome Traffic Zone*) o zona di traffico aeroporto. Un ATZ ha forma cilindrica e si estende verticalmente dalla superficie del suolo sino a 600 metri e orizzontalmente per circa 10 km con raggio centrato sull'aeroporto. Nel caso di Bresso, non dotato di ATZ si identifica raggio di 5 km.

ZONA 3: CTR o zona di controllo del traffico aereo da parte dei sistemi di controllo della torre. Nel caso di Linate tale area include la ATZ di Linate ed è prossima alla ATZ dell'aeroporto di Bresso. L'aeroporto di Bresso, date le modeste dimensioni e il tipo di traffico aereo, non è dotato di CTR poiché la torre non dispone di sistemi di controllo del traffico aereo a lungo raggio.

ZONA 4: all'interno del CTR è stata individuata una ulteriore zona con raggio pari a 15 km dall'aeroporto.

ZONA 5: zona di volo non controllata e quindi fuori dalla CTR.

ZONA 6: zone con specifiche restrizioni di volo.

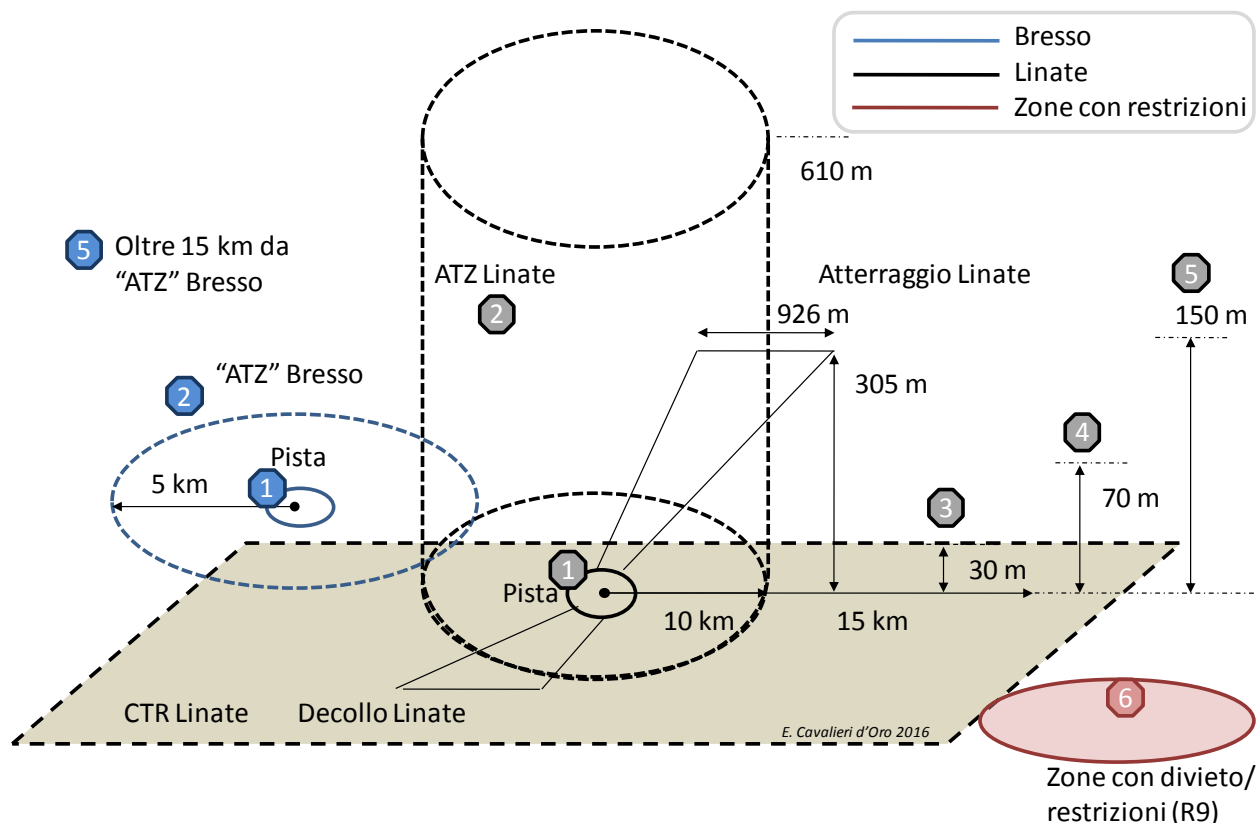


Figura 2. Rappresentazione schematica delle zone di divieto e di volo per gli aeroporti di Bresso e Linate.

Di seguito vengono identificate le traiettorie, quote e velocità tipiche di un aeromobile per ognuna delle zone e quindi delle fasi di volo:

- 1) **Quota livello del mare** – Carrello a terra o appena staccato da pista. Traiettoria quasi rettilinea poiché limitata da possibilità di stallo in caso di cambio rotta in fase di decollo (D), e impossibilitata in fase di atterraggio (A), a meno di una manovra di *touch and go*;
- 2) **Quota media in riferimento all'atterraggio** – cono di atterraggio che per aereo tipo *liner* (aereo di linea) è dato da ingresso a quota 3000 piedi (1000 metri) a partire da 10 km dalla testa di pista e con discesa tra i 1.200 e 18.000 piedi al minuto. Aereo scende con velocità compresa tra i 280 e 360 km/h. In prossimità della ATZ, cioè a 5,5 Km dalla pista, la sua quota è di circa 300 m;
- 3) **Quota media in riferimento al decollo** – cono di decollo è speculare a quello di atterraggio con simili quote e distanze;
- 4) **Quota media per aereo in avvicinamento o allontanamento all'interno della zona ATZ** – circa 1.000 metri a seconda della tratta, carburante e condizioni del vento;
- 5) **Quota di crociera per aereo in ingresso nella zona CTR** tra i 5.000 e gli 11.000 metri fuori traiettoria per droni.

Le operazioni di pilotaggio di droni, o, usando la definizione di ENAC, di Sistemi A Pilotaggio Remoto (SAPR), sono consentite come da regolamento ENAC solo **di giorno** e con i seguenti vincoli di quote:

- Altezza massima 150 metri;
- Distanza massima orizzontale 500 metri.

- All'interno dell'ATZ di un aeroporto e nelle aree sottostanti le traiettorie di decollo e di atterraggio, oppure a una distanza inferiore a 5 km dall'aeroporto laddove non sia stata istituita una ATZ;
- All'interno del CTR, tranne nei casi in cui il mezzo aereo abbia una massa complessiva al decollo inferiore ai 25 kg, ad una altezza massima di 70 metri AGL (*Above Ground Level*) e distanza massima orizzontale di 200 metri;
- Nelle aree sottostanti le traiettorie di decollo e atterraggio oltre i limiti dell'ATZ e fino a 15 km dall'aeroporto, il limite massimo di altezza è di 30 metri;
- All'interno di aree regolamentate attive e aree proibite.

La Figura 3 sintetizza quanto enunciato in questa sezione riportando le traiettorie tipiche di un aeromobile in partenza o arrivo da aeroporto di Linate in funzione della quota, rapportato alla quote ammissibili per droni negli stessi spazi aerei così come da regolamento ENAC. Dalla figura si evince che le zone al di sotto della linea rossa tratteggiata sono le sole ammissibili per voli di droni. Di contro la zona al di sopra di tale linea non è ammissibile per il volo di droni. Tale zona sino al limite superiore di quota a cui i droni commerciali possono arrivare (circa 1000 metri) costituisce la zona entro cui è plausibile che possano avvenire collisioni tra droni e aeromobili.

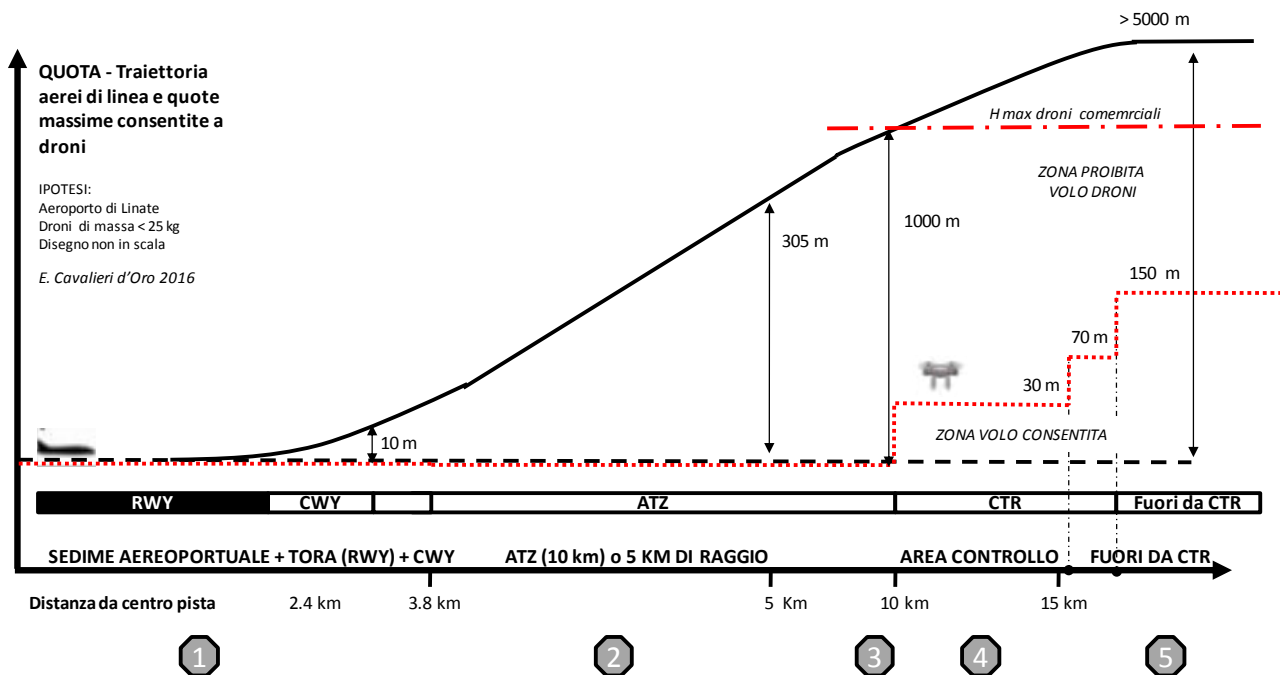


Figura 3. Rappresentazione delle traiettorie dei voli in relazione alle quote di volo consentite ai droni.

VI. Mappe del rischio di collisione

Estendendo la precedente metodologia è possibile creare una mappa di rischio che tenga conto di tutte le varie possibilità di impatto a varie quote e cioè tenendo conto e incrociando i seguenti parametri:

- Diverse dimensioni degli aeromobili
- Diverse quote di movimentazione
- Diverse velocità nelle varie fasi (atterraggio e decollo) a seconda della quota
- Diversi sistemi di propulsione (fan ed elica)
- Diverse tipologie costruttive del vetro della cabina di pilotaggio

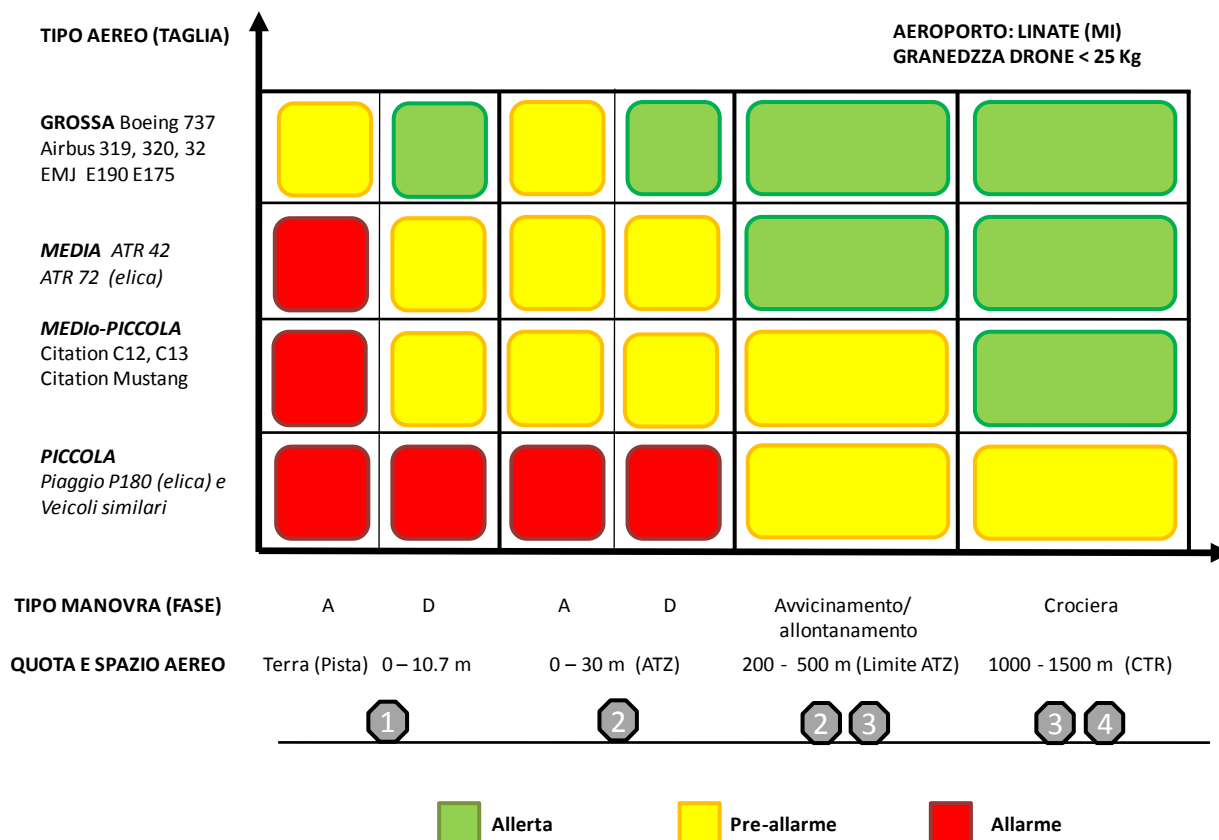


Figura 4. Profilo di rischio dell’impatto tra un drone e un aeromobile proveniente o diretto a Linate.

Il diagramma di rischio collisione drone-velivolo tiene conto sei seguenti aspetti:

- Atterraggio e decollo con diverse probabilità di impatto (in fase di atterraggio se aereo di grossa taglia ha inserito il pilota automatico dovrà eseguire manovra di emergenza assai complicata e quindi rischiosa, mentre al decollo difficilmente potrà interrompere la manovra a partire da una data velocità di rullaggio pure in presenza di ostacoli);
- Atterraggio e decollo con stacco dalla pista (anche in questo caso i margini di manovra sono limitati) e quindi la probabilità di impatto rimane medio alta;
- Avvicinamento e allontanamento: difficile capacità di interpersi sulla tratta, maggiori margini di manovra da parte dell’aeromobile ma ancora quota tale da consentire al drone di entrare in traiettoria dell’aeromobile;
- A partire da una certa quota il drone non è visibile da terra e poco controllabile e quindi la probabilità di collidere aereo risulta essere modesta.

Dunque il diagramma suddivide lo spazio di rischio impatto drone-aeromobile in settori funzione della diversa tipologia di aeromobile, della taglia e della traiettoria (e quindi quota che è poi funzione della distanza dalla pista come già evidenziato dalla Figura 3). Ogni settore connota attraverso utilizzo di diversi colori le diverse stime qualitative di rischio d’impatto. A ogni colore corrisponderà una diversa procedura di intervento o contromisure da attuare da parte dell’aeroporto: rosso = allarme, giallo = pre-allarme, e verde = allerta.

La Figura 5 riporta l’applicazione dello stesso metodo e quindi lo stesso grafico nel caso dell’aeroporto di Bresso. È evidente che viste le modeste dimensioni dei velivoli e le tipologie (spesso mono-elica ed elicotteri), come evidenziato dall’analisi di impatto, l’evento di collisione risulta molto più rischioso che nel caso precedente. Si evidenzia tuttavia la maggior manovrabilità di tali velivoli da parte del pilota allertato o in grado di vedere un drone sulla loro traiettoria.

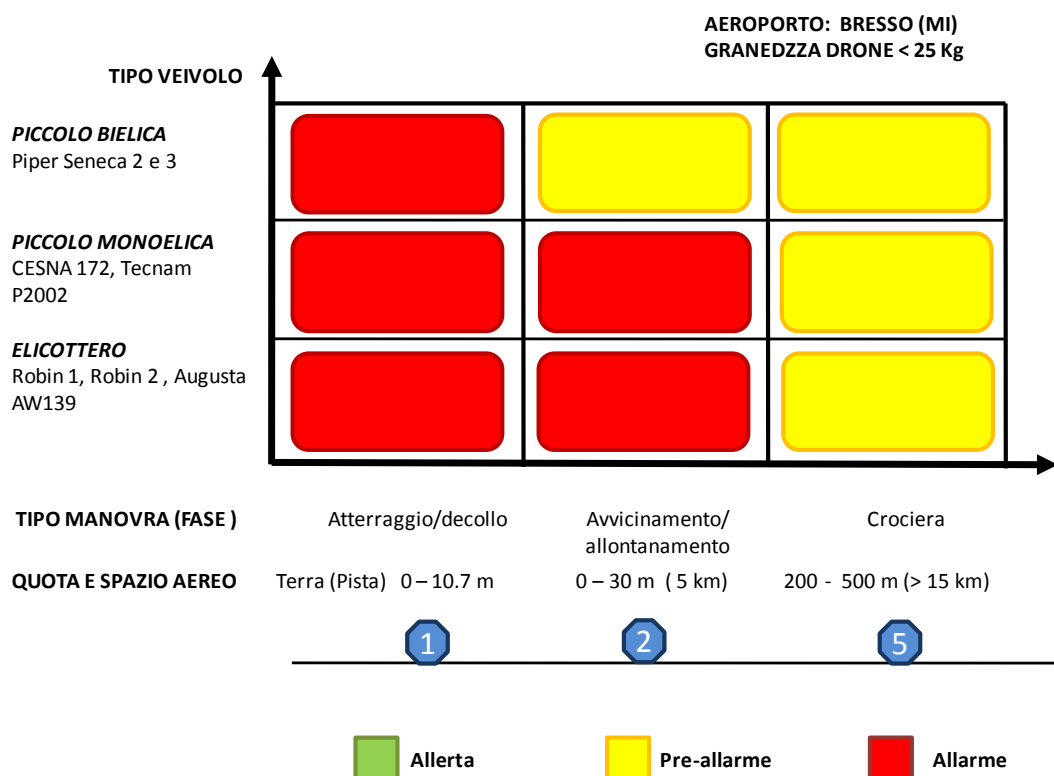


Figura 5. Profilo di rischio dell’impatto tra un drone e un aeromobile proveniente o diretto a Bresso.

Si noti come le diverse aree di rischio tutte implicano, anche se a diverso livello, la presenza di una minaccia. Sarà cura degli enti deputati alla sicurezza di un determinato aeroporto o alla protezione delle infrastrutture critiche in un dato territorio, determinare le misure di risposta eventuali e commisurate al tipo di minaccia commessa da violatore delle regole aeree o da potenziale malintenzionato.

Le sezioni che seguono riportano a titolo esemplificativo alcune delle possibili violazioni e alcuni dei potenziali sistemi di risposta cui affidarsi nel caso in cui si profilino scenari di rischio collisione drone-velivolo.

VII. Violazioni, procedure di risposta e contromisure

VII.1. Violazioni e relative procedure di risposta

Qualora si riscontri una violazione di una delle restrizioni spaziali previste da regolamento ENAC e cioè nei casi sotto riportati, si procederà a dare i tipi di allarmi/stati di allerta così come descritto da mappe di rischio della sezione precedente:

Violazione 1: utilizzo di droni durante le ore notturne in qualunque luogo anche non nei dintorni di un aeroporto (evento di collisione molto improbabile poiché pochissimi sono i voli durante orario notturno);

Violazione 2: intrusione dentro sedime aeroportuale e/o in pista;

Violazione 3: traiettoria di volo drone dentro CTR e a quota superiore a 30 m 5 km da ATZ;

Violazione 4: traiettoria di volo drone dentro CTR e a quota superiore a 70 oltre 5 km da ATZ;

Violazione 5: traiettoria di volo drone dentro fuori da CTR e a quota superiore a 150 m;

Violazione 6: intrusione di drone all'interno di zone con restrizioni di sorvolo;

Violazione 7: intrusione di drone con massa superiore a 25 kg all'interno di qualsiasi area di sorvolo o non.

Qualora si ricada in situazioni di rischio, rosso giallo o anche verde, le contromisure che possono essere prese da parte degli enti preposti sono:

1. avvertire piloti, o al contrario avvertire la torre, qualora la minaccia sia stata dagli stessi individuata;
2. deviare traffico aereo sovrastante sino a rientro dell'allarme e quindi rientro della minaccia;
3. neutralizzare/catturare il drone qualora disponibili sistemi idonei e procedure per poterlo fare.

Il punto uno di cui sopra postula la individuazione della minaccia da un punto di vista visivo, o quando tecnicamente consentito, tramite apparecchiature radar installate su velivolo o su torre di controllo. Queste situazioni non sono ovviamente sempre possibili per cui l'ideale sarebbe dotare lo scalo aeroportuale di un appropriato sistema radar atto a identificare questo tipo di minacce. Similmente per il punto tre, è bene notare che attualmente gli aeroporti e relativi meccanismi di security e polizia non sono dotati di tecnologie specifiche per neutralizzare un drone.

Il seguente paragrafo riporta alcuni dei sistemi disponibili sul mercato internazionale, vagliati e identificati anche tramite l'ausilio del *Cluster on Security, Safety, Defence and Disaster Management (S2D2)* del Politecnico di Milano, atti a identificare eventuali intrusioni e a rispondere a tale eventuale minaccia.

VII.2. Tecnologie e sistemi di risposta potenzialmente impiegabili

Per rispondere alla minaccia di droni in approccio al sedime di un aeroporto i sistemi o tecnologie possono essere classificati come segue:

- A. Sistemi preventivi: sistemi radar, di telecamere o combinazione delle due tecnologie, atti a identificare intrusione di un oggetto volante di piccole/medie dimensioni.
- B. Sistemi protettivi o di risposta, che possiamo classificare in altre due categorie:
 - B.1 Sistemi di intercettazione o annullamento della frequenza di comando del drone, volti a farne perdere il controllo o ad acquisirne il controllo remoto;
 - B.2 Sistemi di intercettazione e disturbo del segnale video spedito dal drone al pilota, volti a farne perdere il controllo;
 - B.3 Sistemi di abbattimento o cattura del drone durante il volo tramite altro drone o sistemi di puntamento dotati di rete e paracadute comandati da operatore a terra .

La lista di seguito riporta una decina tra le tecnologie vagliate e considerate anche da uno studio recentemente condotto dal Politecnico di Milano. L'undicesima è descritta a parte poiché testata in prima persona dall'autore del presente studio. La figura 6 riporta sinteticamente alcune delle tecnologie descritte.

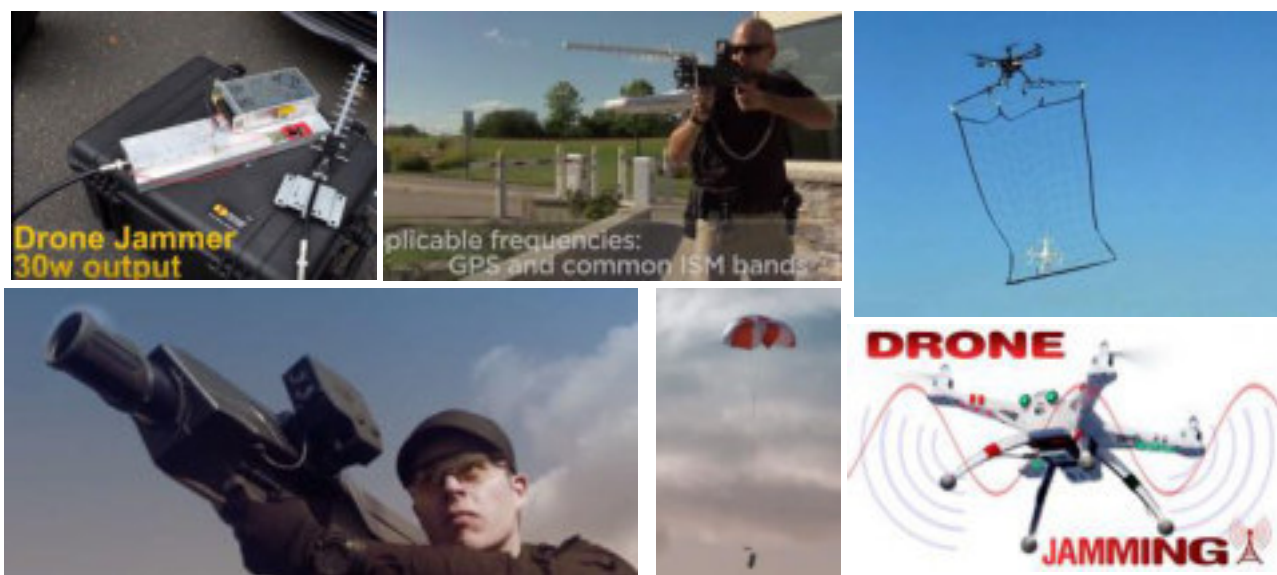


Figura 6. Alcuni esempi di tecnologie e sistemi anti-drone forniti da aziende specializzate.

1. Drone Manpads "Skywall 100"

Sistema di puntamento a terra con rete dotata di paracadute in modo da non far impattare drone a terra [10].

2. Battelle Drone Defender

Sistema di puntamento che permette di prendere il controllo del drone e farlo atterrare a terra [11].

3. UAV/drone detection systems

Sistemi di nuova ideazione costruiti e testati che consentono di individuare il drone [12].

4. Basic Personal Drone Detection System

Sistema composito che a sua volta si compone di tre componenti : un comando principale del modulo di controllo e due nodi sensore di rilevamento che consentono di creare una rete mesh che può triangolare trasmettitori in movimento [13].

5. Segnale di blocco o intercettazione segnale

Sistema militare che consente di intercettare il segnale e di ottenere il controllo e di dirottare il drone in tal modo. Una volta intercettati , non solo è la minaccia eliminata, ma il drone , e tutta la sua tecnologia avanzata è ora diventa proprietà del intercettore.

6. Rilevamento radar e distruzione convenzionale tramite lanciarazzi a terra o missile

Gli Stati Uniti ora utilizzano una tecnologia stealth per individuare prima, mirare poi e infine abbattere tramite comando remoto un drone che faccia invasione di campo. Utilizzato e utilizzabile in campo militare.

7. Camera Drone Detection

Una matrice di telecamere ad alta definizione situata attorno al perimetro di un avamposto . Tutte le telecamere puntati verso il cielo, monitorando costantemente eventuali modifiche dei pixel che compongono immagine fissa.

8. Jammer segnale video Drone

Interferisce con le visualizzazioni spedite dalla telecamera del drone al pilota, rendendo quindi inefficace la sua capacità di pilotarlo [14].

9. Jammer frequenza pilotaggio drone

Prodotto che permette di disattivare comando di ogni drone in commercio annullando le frequenze di comunicazione tra drone e telecomando del pilota [15].

10.Droni da cattura DJI SpreadingWings 900

Drone dotato di rete per la catturare droni di medie dimensioni, sperimentato ed in uso dalla polizia giapponese di Tokyo[16].

11.Sistema di puntamento telecamere tramite radar sviluppato da JCPX development

Tale sistema è stato personalmente vagliato dallo scrivente tramite una presentazione della ditta costruttrice fatto a Monte Carlo il 10 giugno 2016.

Il sistema UWAS (UAV Watch and Catch system)è progettato da JCPX[17], azienda francese con sede anche in Italia, per il rilevamento, l'identificazione e il blocco di droni e per la protezione di luoghi civili sensibili, nonché di aree militari. Il controllo e relativa interfaccia di comando sono stati sviluppati anche per essere usati da operatori non specializzati ma con un minimo di addestramento alla lettura dei segnali e utilizzo della tecnologia. Il sistema UWAS è stato implementato ed installato in condizioni reali nel Principato di Monaco da maggio 2016. Le caratteristiche principali del sistema, illustrato da Figura 7, sono:

- sistemi di doppia telecamera (visiva e termica) azionato da sistema radar a puntamento automatico e manuale;
- capacità di individuare tutti oggetti in movimento per raggio di 5 km e di discriminare tra volatile e drone tramite algoritmo capace di verificare le traiettorie;
- capacità di individuare oggetti in movimento di dimensioni a partire da 0,01 m²;
- possibilità di abbinare a tale sistema un sistema di puntamento Jammer per annientare il drone.

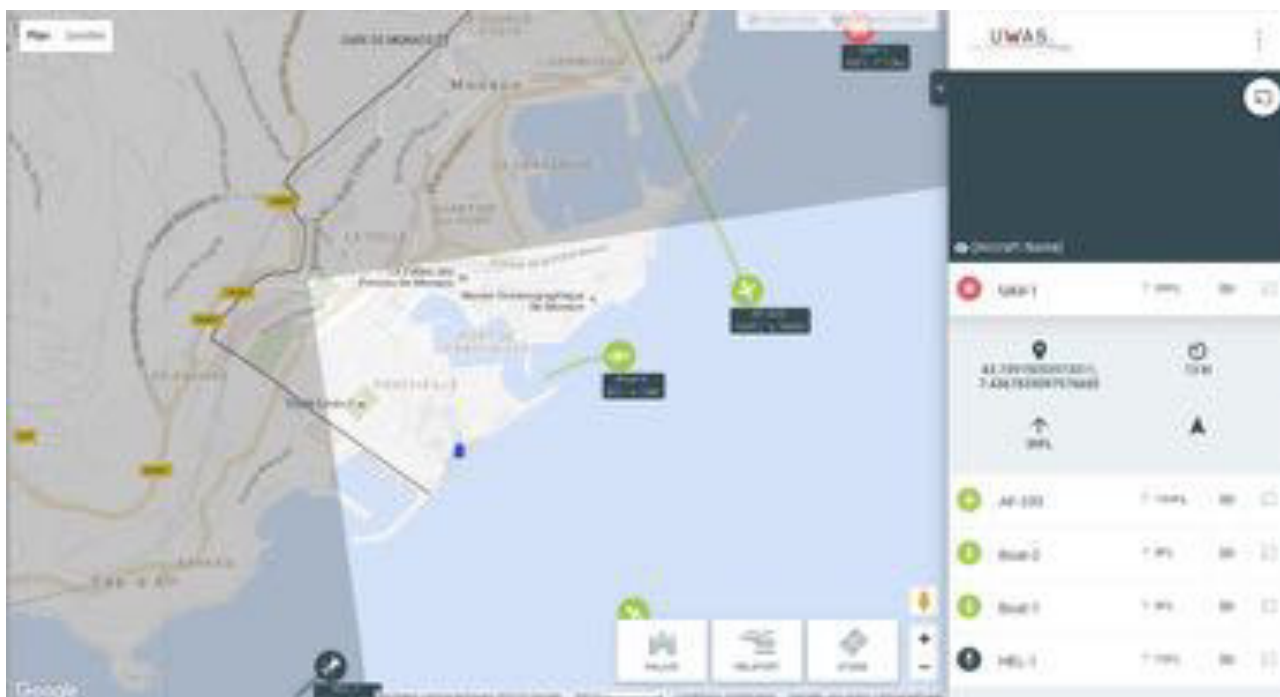


Figura 7. Immagine riportante la vista del radar UWAS installato presso l’eliporto di Montecarlo.

VIII. Conclusioni

Una metodologia che permette di verificare i rischi associati a droni dentro sedimi aeroportuali e in loro prossimità è stata elaborata partendo dalla quantificazione di danni specifici tra un velivolo e un drone di dimensione e peso tipici delle versioni commerciali di tali unità (inferiore ai 25 kg, dando per assodato che un drone di peso maggiore, generalmente di non facile reperimento, in prossimità di aeroporto civile sarebbe comunque identificato da subito come una minaccia molto seria). La determinazione del rischio associato è fornita visualmente tramite mappe che sono funzione del tipo di velivolo e della quota/area di volo in cui si trova il velivolo lungo una traiettoria di volo standard. Tale mappatura è ottenuta determinando le conseguenze di un eventuale impatto da studi eseguiti su impatto tra drone e velivolo a loro volta derivati da dati elaborati nel caso di *bird strike*. La probabilità di impatto è invece desunta considerando estremamente probabili i casi di allineamento tra drone e velivolo in corrispondenza e della pista, con funzione di probabilità decrescente quanto più lontano (e quindi in quota) si trovano i due oggetti.

Tale studio, con i limiti della bontà delle approssimazioni fatte nei conti e nella elaborazione del metodo, può essere utile a enti di security preposti alla sicurezza degli scali aeroportuali milanesi, e più in generale a qualunque scalo aeroportuale con simili caratteristiche.

IX. Riferimenti bibliografici

- [1] W. Hulse Smith, "The real consequences of flying toy drones in the national airspace system" Aero Kinetics - 2015
- [2] JAA/EUROCONTROL, " A Concept for European Regulation for Civil Unmanned Aerial Vehicle" Appendix 3.5 - 2004
- [3] K. Dalamagkidis, K. P. Valavanis, L. A. Pieg, "On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace" Capitolo 5, Springer - 2008
- [4] FAA-AC431.35, "Expected Casualty Calculations for Commercial Space Launch and Reentry Missions" sostituito da "Flight Safety Analysis Handbook" - 2011
- [5] Incidente aereo drone e aereo a NYC: https://www.youtube.com/watch?v=7zrXb_YQQag
- [6] Altitude test a 1500 m con Phantom II in Turchia <https://www.youtube.com/watch?v=TfA79gb7zMU>
- [7] https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/99690
- [8] http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%2033.76-1A.pdf
- [9] ENAC, Regolamento Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto, edizione 2 del 16 luglio 2015
- [10] Link video YouTube: <https://youtu.be/PYweIQ01iEQ> , Link sito: <http://openworksenineering.com/skywall>
- [11] Link video YouTube: https://youtu.be/zX4XXLb_Vuw Link Sito: <http://www.battelle.org/our-work/national-security/tactical-systems/battelle-dronedefender>
- [12] Link sito: <http://www.ddcountermeasures.com/products.html>
- [13] Link sito: <http://uav-drone.net/anti-drone-uav.htm>
- [14] Link sito: <https://www.jammer.sm/it/>
- [15] Link youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=LT41h9bwrwg>
- [16] Link video: <http://video.corriere.it/polizia-tokyo-lancia-squadra-droni-catturare-droni/dc2e2910-a0b1-11e5-8534-5a7dc9969e9f>
- [17] www.Jcpx-development.com

Sviluppo di sistemi APR per il monitoraggio di siti nucleari

Luca Ferrari e Matteo Lisi

PROMENTE TLC Srl - ROMA

luca.ferrari@promente.it; matteo.lisi@promente.it

ABSTRACT

A remotely piloted Aircraft system for remote detection of radioactive activity was developed for ENEA¹ by PROMENTE TLC Srl. The system is equipped with on-board computer capable of performing data processing and managing the communication between Radiometer and Ground Station; by means of this system it is possible to achieve autonomous flight missions or remote controlled flight with georeferenced measures.

Un sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto per la rilevazione a distanza di attività radioattive è stato sviluppato per ENEA¹ da PROMENTE TLC Srl. Il sistema, dotato di computer di bordo integrato in grado di effettuare elaborazione dati e gestire la comunicazione, tra Radiometro e Ground Station, consente di effettuare missioni autonome o volo controllato a distanza con rilievi georeferenziati

1. INTRODUZIONE

I Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR) si stanno rivelando sempre più un valido strumento a supporto di un ampio spettro di operazioni di osservazione, monitoraggio e controllo sia per prevenire malfunzionamenti o minacce e sia per supportare la gestione dell'emergenza [1]. I SAPR si prestano in particolare al monitoraggio delle cosiddette infrastrutture critiche, in quanto offrono la possibilità di una sorveglianza continuativa che consente l'individuazione precoce di malfunzionamenti e quindi una maggiore tempestività di intervento, riducendo i rischi per gli operatori di tali infrastrutture. Nel caso di impianti nucleari, gli APR consentono un servizio di monitoraggio più efficiente rispetto ai tradizionali rilevatori statici e sono potenzialmente in grado di evitare "falsi allarmi", in quanto riescono ad individuare la fonte di radiazione e quindi discriminare tra le cause interne ed esterne all'impianto [2]. Lo sviluppo di SAPR da impiegare nelle misure di radioattività richiede però di affrontare e risolvere diverse sfide tecnologiche legate all'integrazione dei componenti, delle tecnologie e dei protocolli di comunicazione.

PROMENTE TLC Srl, nasce nel settore ICT come System Integrator con un focus sull'integrazione e la realizzazione di sistemi ad alta affidabilità per la gestione delle emergenze ed è oggi dotata di un ramo aziendale dedicato alla ricerca, sviluppo e prototipizzazione di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto.

Le attività di sviluppo del SAPR per rilevazione a distanza di attività radioattive, sono state portate avanti nel 2016 da PROMENTE TLC Srl per rispondere ad una specifica esigenza di ENEA,

¹ ENEA: Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile - www.enea.it

Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, legata alla gestione del sito nucleare del C.R. Casaccia.

2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA

Il SAPR è costituito da un sistema esa-rotore con stabilizzazione elettronica dell'assetto, dell'altezza e della posizione tramite sensori barometrici, accelerometri e GPS. Al fine di ridurre al minimo lo spazio di ingombro durante il trasporto, il frame è dotato di un carrello retrattile elettronico e di eliche e braccia pieghevoli. Il frame è in carbonio, così da aumentare la resistenza e diminuire il peso, a vantaggio dell'autonomia di volo. La configurazione di volo a " V " è stata scelta per ottenere un'ottima propulsione migliorando l'efficienza energetica.

Il velivolo è dotato di paracadute balistico e terminatore di volo per rispondere alle prescrizioni stabilite per le aree critiche.



Fig. 1. Componenti del sistema

Il sistema è dotato di un computer di bordo integrato che acquisisce i dati dal radiometro e si interfaccia con il velivolo per ricevere la posizione GPS così da fornire misure georeferenziate.

I dati vengono registrati sul database del computer di bordo e – tramite antenne a 868MHz –

trasmessi a terra, sia alla Ground Station che ai server dedicati. Grazie a questo sistema di acquisizione e elaborazione dei dati in tempo reale è possibile, in caso di contaminazione del drone, utilizzare un sito di atterraggio alternativo sicuro per gli operatori.

La stazione base a terra *Ground Control Station* è dotata di software di controllo avanzato in grado di configurare i parametri di volo, e pianificare missioni autonome tramite *way point* dove effettuare le misure di radioattività. Inoltre è possibile effettuare misure di radioattività puntuali mediante comando manuale da terra.

Il sistema è equipaggiato con un sistema video di supporto all'operatore montato su apposito stabilizzatore a 3 assi che è in grado di trasmettere a terra immagini in HD, con sovrapposti i dati telemetrici.

CARATTERISTICHE DEL RADIOMETRO (tubo Geiger)

- Sensitivity γ (60 Co): 65cps/(μ R/s)
- Sensitivity γ (equivalent Sievert): 108cpm / (μ Sv/h)
- Max cpm: 30000
- cps/mR/h: 18



Fig. 2. Sistema in volo durante il collaudo nel C.R. Casaccia ENEA

3. CONCLUSIONI

Durante il collaudo, effettuato durante l'esercitazione annuale d'emergenza del C.R. Casaccia, il sistema si è dimostrato altamente affidabile ed in grado di effettuare misure di radioattività comparabili a quelle dei radiometri statici certificati.

Le potenzialità di utilizzo di questo sistema risultano estremamente interessanti. Può trovare infatti impiego nel monitoraggio periodico del sito nucleare, consentendo di attuare piani di controllo ad alta efficacia ed acquisendo dati di facile elaborazione e integrazione, idonei alla realizzazione di archivi storici. Nel caso di emergenze il sistema si configura come elemento di supporto strategico per le squadre di primo intervento, per la possibilità di effettuare misurazioni a distanza,

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

- Computer di bordo per l'interconnessione tra radiometro, flight controller e GPS
- Rilievi georeferenziati
- Missioni autonome
- Autonomia di volo: 20'
- Trasmissione a terra e elaborazione dati in tempo reale
- Riprese video 4k con trasmissione

individuando le fonti e dando indicazioni immediate sui livelli di radiazioni.

Il sistema può anche essere integrato con altri sensori videocamere, termo-camere e camere multi spettrali per essere adattato ad ulteriori azioni di monitoraggio e sorveglianza delle aree in cui sono presenti le infrastrutture critiche e delle vie di comunicazione circostanti.

References

- [1] Alessandro R. Ungaro e Paola Sartori (2016) “*I velivoli a pilotaggio remoto e la sicurezza europea - Sfide tecnologiche e operative*”, Quaderni IAI - Edizioni Nuova Cultura. Retrieved from: http://www.iai.it/sites/default/files/iaiq_16.pdf
- [2] Caroline Baylon (2015) “*Leveraging Drones to Improve Nuclear Facility Security and Safety*”, Chatham House Expert Comments, 22 January 2015, Retrieved from: <https://www.chathamhouse.org/expert/comment/16722>.

MODELLI 3D METRICI DA UAV PER L'EMERGENZA: SUPPORTO ALLE VALUTAZIONI PRELIMINARI QUALI-QUANTITATIVE DEL DANNO. IL CASO DEL TERREMOTO IN CENTRO ITALIA 2016

F. Chiabrando, P. Maschio, A. Lingua, G. Sammartano, A. Spanò, L. Teppati Losè
Politecnico di Torino Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino

A. Di Lolli, F. Feliziani, M. Firrincelli, M. Fiorini, O. Lorusso
Dipartimento dei Vigili del Fuoco del soccorso pubblico e della difesa civile - Corpo Nazionale Vigili del Fuoco

ABSTRACT

In situazioni di emergenza improvvise, i centri urbani e, in generale, il patrimonio costruito, necessitano di strumenti efficienti e immediati per la valutazione preliminare dei danni e dell'agibilità degli spazi, che allontanino sempre di più l'operatore tecnico che si interfaccia in prima persona con il rischio del sito. Le tecniche più avanzate della Geomatica, attraverso i sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR), cosiddetti "droni", combinati con i principi della fotogrammetria aerea e gli algoritmi dell'*image-matching*, si stanno sempre più affinando per offrire un attivo e sostanziale supporto alle richieste di documentazione speditiva del danno, di valutazione del rischio e dell'agibilità nei siti colpiti da calamità, di elaborazione e condivisione rapida dei dati operativi. L'impiego di droni equipaggiati con fotocamere e/o videocamere ad alta definizione, insieme a sistemi GPS on board, stanno svolgendo in questi ultimi anni un ruolo ormai riconosciuto nelle tecniche di documentazione metrica aerea low-cost. Essi si dimostrano sempre più cruciali e nel futuro essenziali anche nei contesti di emergenza, non solo per l'osservazione in remoto del sito e la pianificazione delle operazioni di soccorso per la raccolta di informazioni qualitative, ma anche per la produzione di dati metrici a grandissima scala, da cui derivare modelli 3D texturizzati ad alta precisione interrogabili in post processing e condivisibili su piattaforme web open source per la pianificazione di manovre d'equipe.

L'apporto fondamentale degli UAV e delle tecniche *image-based* per la modellazione 3D di contesti urbani è l'attributo metrico non trascurabile dei dati densi che si possono estrarre da un set di video HD e/o di immagini aeree con una configurazione della camera nadirale combinata con una inclinata, per la definizione ottimale di tutte le geometrie dell'edificio sia nelle parti sommitali delle coperture che dell'attacco a terra e dell'intorno, nonché, e soprattutto, nelle superfici relative agli alzati. La pianificazione del progetto di presa relativa al drone impiegato, con una quota di volo confacente al livello di dettaglio richiesto sull'oggetto, permette di ottenere nuvole di punti con l'informazione radiometrica, ed elaborazioni di superfici triangolate texturizzate (*mesh*) in *post-processing* su cui è possibile estrarre informazioni geometriche anche complesse sullo stato di conservazione dell'immobile e dei danni apparenti, e su cui è possibile impostare analisi specifiche riferite alle murature, alle coperture e alle inclinazioni delle superfici.

Le potenzialità di questi modelli digitali 3D e la loro condivisione e consultazione via web, sono presentate attraverso l'esperienza del sito di Pescara del Tronto, colpito dal terremoto dell'estate/autunno 2016, e su cui sono state svolte campagne di rilievo metrico speditivo tramite UAV e sensori terrestri, come collaborazione tra il settore SAPR del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco e il Team DIRECT (Disaster Recovery Team) del Politecnico di Torino.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni il contributo che i sistemi RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) equipaggiati con camere hanno fornito, in termini di competitività ed efficienza, alle operazioni di rilievo sul campo si può considerare ormai determinante. Questo fenomeno si può riscontrare in molte applicazioni (Geomatica, geotecnica, archeologia, analisi forestali, analisi strutturali, etc.). Le motivazioni di questa crescita esponenziale vanno ricercate principalmente in due fattori: l'aumento del numero di operatori RPAS (anche tra i non professionisti) e la continua implementazione degli algoritmi di fotogrammetria digitale SfM (*Structure from Motion*) basati sulle tecniche di *image-matching*, che ad oggi permettono di estrarre informazioni metriche da immagini o *frames* estratti da video acquisiti anche con le camere commerciali montate su droni mass market. Questa tecnica sta fornendo ottimi risultati nelle esperienze legati alla documentazione e al monitoraggio del patrimonio culturale. [1], [2], [3], [4] Inoltre, l'uso dei droni si sta diffondendo in quelle fasi di documentazione d'emergenza nelle aree urbane colpite da eventi calamitosi, sia per la prima gestione dell'emergenza (per la ricerca e il salvataggio delle persone), sia per l'analisi dei danni subiti dal patrimonio costruito: *Building Damage Assessment*, BDA. [5], [6] In questi contesti i dati acquisiti da piattaforme RPAS stanno sostituendo le più tradizionali immagini satellitari, soprattutto grazie alla loro scala intrinseca differente e alla quantità e qualità di informazioni che sono in grado di restituire. [7], [8], [9], [10] La prima fase di acquisizione dei dati, da condurre il più rapidamente possibile in un contesto di rischio per la sicurezza, viene solitamente realizzata con grande impegno in prima persona da tecnici specializzati. La parte sicuramente più difficile di tutto il processo consiste nel tentativo di bilanciare la rapidità di acquisizione con i tempi di *processing* del dato. In questi casi bisogna cercare di ottenere il miglior rapporto possibile tra costi e benefici, cercando di raggiungere i massimi risultati da sensori *low-cost* senza sacrificare la precisione metrica necessaria per le successive analisi [7]. Non bisogna poi dimenticare che i modelli 3D sono ormai, e lo saranno ancora di più in futuro, delle piattaforme contenenti un'alta densità di informazioni che si configurano come la base per molti studi interdisciplinari da condurre in remoto durante fasi di ricerca successive. Possono ad esempio ricoprire le seguenti funzioni: strumenti di emergenza per le fasi di soccorso, strumenti di supporto per protezione civile e vigili del fuoco, strumenti per l'analisi dei danni e il monitoraggio strutturale degli edifici, base per la progettazione di misure per il rinforzo strutturale, archivio di informazioni per la documentazione storica, base per progetti di restauro, etc. Inoltre, come si riporterà più avanti, la possibilità di creare archivi web e di implementare servizi di visualizzatori on line apre nuove strade per l'utilizzo di questi modelli sul campo.

Questo contributo intende riflettere sulla possibilità di estrarre e classificare informazioni, metriche e non metriche, a partire da modelli fotogrammetrici *high scale*. L'intero workflow operativo è stato pianificato per essere applicato in contesti precari e di emergenza ed è rivolto ad operazioni di rilievo speditivo e mirate ad analizzare lo stato di conservazione e il livello di danneggiamento di un edificio. I metodi di rilievo che sono stati selezionati sono perciò legati a tali condizioni di operatività sul campo ed in secondo luogo dal tipo e dalla quantità di informazioni che si voleva estrarre da questi modelli. I dati metrici e la loro estrazione costituiscono come sempre la base fondamentale ed inevitabile sulla quale basare le informazioni non metriche (visuali e qualitative). Il nostro contributo si focalizzerà principalmente sull'analisi di tecniche *image-based* per una modellazione 3D speditiva, utilizzando immagini acquisite da diversi punti di vista tramite sistemi UAV in collaborazione con il nucleo SAPR del corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco. Le informazioni ottenute tramite questi sistemi saranno poi integrate con i dati terrestri acquisiti tramite diversi sensori. Il caso studio analizzato è inerente ad un edificio di Pescara del Tronto, danneggiato dai sismi che hanno colpito il centro Italia a partire da Agosto 2016.

2. LA COMPLESSITÀ DEI MODELLI MULTI-SENSORE

Prima di realizzare un rilievo 3D in un sito colpito da eventi calamitosi è necessario fare alcune considerazioni sulle tecniche da impiegare, soprattutto per ridurre al minimo il tempo di lavoro sul campo degli operatori e per valutare i tempi di *post processing*. Il rilievo basato su tecniche terrestri è spesso complesso e in questi contesti può rivelarsi pericoloso per gli operatori. Inoltre, questo tipo di rilievo è principalmente limitato alla raccolta di informazioni da un punto di vista terrestre e si concentra quindi sull'estrazione dei dati inerenti alle facciate. [10] La maggior parte delle tecniche di rilievo in ambienti post disastro, come ad esempio l'elaborazione di dati satellitari acquisiti tramite la Carta Internazionale "Space and Major Disasters" (<https://www.disasterscharter.org>), rimangono basate su un'interpretazione visiva. Tuttavia, le immagini satellitari (anche quelle ad alta risoluzione) a causa della loro scala e delle loro caratteristiche intrinseche non riescono a rispondere alla richiesta di informazioni dettagliate sulla scala urbana per l'identificazione dei danni post evento [7], [9], [10]. Negli ultimi anni la letteratura specialistica ha indicato l'utilizzo delle immagini oblique come uno dei fattori più produttivi per massimizzare l'estrazione di informazioni 3D degli edifici [5]. Durante la fase di elaborazione dei dati è possibile seguire diverse strade: in questo caso per ottimizzare al meglio la valutazione dei danni si è deciso di seguire la soluzione che prevede l'integrazione e/o fusione di immagini nadirali e oblique dove possibile, integrando le informazioni ottenibili dai sensori terrestri solo se necessario. Questi modelli ottenibili da tecniche multi-sensore, densi di informazioni metriche e radiometriche, possono essere intesi come una sorta di complesso database informativo sullo stato di conservazione e sicurezza/accessibilità dei luoghi, aggiornabile con ripetute acquisizioni multi-temporali. Il potenziale di informazioni metriche e non metriche incluso in nuvole di punti e modelli 3D ad alta definizione risulta essere decisamente alto ed è inoltre molto interessante utilizzarlo per un'analisi e classificazione dei danni a seguito di eventi calamitosi.

3. IL CASO STUDIO

In seguito allo sciame sismico che ha colpito il centro Italia a partire dall'agosto 2016, il Team DIRECT (Disaster Recovery Team) del Politecnico di Torino, in collaborazione con il nucleo SAPR dei Vigili del Fuoco e il GEER Team (Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Association) è stato coinvolto in quattro missioni di ricognizione e rilievo metrico (a settembre, ottobre, novembre e dicembre). Tali missioni hanno operato per la documentazione speditiva e multi-sensore di aree urbane danneggiate dal sisma in maniera profonda e ripetuta. Diverse sono state le località colpite: Pescara, Pescara del Tronto (Figure1), Cittareale, Accumoli, Norcia, Castelluccio, Amatrice, etc. Il lavoro presentato in questo contributo si è concentrato sul borgo di Pescara del Tronto, nel comune di Arquata del Tronto, dove è stato selezionato e documentato in gruppo di edifici danneggiati dal sisma (Figura2). In quest'area è stato realizzato un rilievo metrico 3D basato su tecniche *image-based* e *range-based*, combinando sensori terrestri e aerei.



Fig. 1. Alcune immagini di Pescara del Tronto e dell'edificio isolato oggetto di studio



Fig. 2. Gli edifici soggetti a una documentazione mirata. In rosso l'edificio approfondito

3.1. LE ACQUISIZIONI

Per questo specifico caso studio, dove era presente un singolo edificio isolato con diversi danni, abbiamo deciso di condurre un rilievo metrico integrato per testare e valutare i tempi e le modalità di acquisizione, le informazioni prodotte e i tempi di elaborazione. È importante sottolineare che, a causa della sequenza sismica tutt'ora attiva, l'accesso ai siti danneggiati rimane difficile e pericoloso a causa del grande numero di strutture danneggiate. Dati questi fattori si è scelto di utilizzare come approccio primario per analizzare i danni quello che prevede l'utilizzo di sistemi RPAS e solo quando le condizioni di sicurezza lo permettessero di integrare i dati con acquisizioni terrestri *close-range*.

3.1.1. Georeferenziazione dei dati

Per definire un sistema di riferimento comune per le acquisizioni RPAS e per quelle terrestri sono state realizzate delle misure tramite sistemi GNSS (Global Navigation Satellite System) e Stazione Totale. Diversi marker sono stati collocati sul terreno con la funzione di GCPs (Ground Control Points) aerei e successivamente sono stati misurati (figuraX) con il sistema GNSS in modalità RTK (Real Time Kinematic). In parallelo alle acquisizioni GNSS sono state effettuate anche delle misurazioni topografiche di punti naturali sulle facciate degli edifici tramite stazione totale, in modo da poter utilizzare tali misurazioni durante il processo fotogrammetrico. Tutti i punti misurati sono stati georeferenziati in un sistema di riferimento comune (UTM-WGS 84 Fuso 33 N ETRF 2000) utilizzando i dati derivabili dalla rete nazionale di stazioni permanenti, gestita dall'Istituto Geografico Militare (IGM <http://www.igmi.org/>).

Nell'area di Pescara del Tronto interessata dal rilievo sono stati materializzati e misurati 40 GCPs utilizzando dei target in plastica (Figura 3a); tre di questi target erano presenti nei pressi dell'edificio oggetto di questa ricerca. Inoltre, per tutti gli edifici oggetto di un rilievo multi-sensore sono stati acquisiti dei set di punti naturali. Per il nostro edificio di riferimento sono stati misurati (Figura 3b) 35 punti naturali, corrispondenti a delle caratteristiche salienti dell'oggetto.



Fig. 3a-3b. La misura dei punti di appoggio a terra con antenna GNSS in modalità RTK. La misura dei punti di dettaglio con una Total Station.

3.1.2. Acquisizioni *close-range*

Nonostante i problemi legati alle questioni di sicurezza e accessibilità ci è stato possibile accedere alla parte alta di Pescara del Tronto. Il laser scanner terrestre è stato escluso a priori, data la natura della missione effettuata in queste zone e lo scopo di testare tecniche in contesti di emergenza. Si è deciso quindi di effettuare delle acquisizioni rapide di immagini tramite fotogrammetria *close-range* di diversi edifici in quest'area del borgo, seriamente danneggiati dal primo sisma. Successivamente la tecnica fotogrammetrica tradizionale è stata affiancata da alcuni test di sistemi SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) basati su tecnica LiDAR (Light Detection and Ranging).

3.1.2.1. Fotogrammetria *close-range*

Le immagini sono state acquisite con una Nikon D800E reflex digitale equipaggiata con sensore 24x36mm. La camera ha un sensore CMOS da 36 Mpx, e pixel di 4.89 μ m. Attorno all'edificio sono state scattate 20 immagini (7360 x 4912 pixel) a circa 8 metri di distanza dall'oggetto. (Figura 4). Successivamente è stata applicata alle immagini una correzione radiometrica e sono state mascherate per la fase del *Bundle Block Adjustment*.



Fig. 4. Il progetto di presa fotogrammetrico e alcuni scatti

3.1.2.2. Il sistema SLAM: ZEB1 di GeoSLAM

In uno scenario di post disastro, e con la necessità di valutare il contributo di diversi metodi per la documentazione dei danni, ci è sembrato di grande importanza testare un sistema di *mobile mapping* 3D (Figura5). Tra le varie possibilità disponibili sul mercato abbiamo deciso di testare il sistema Zeb1 della GeoSLAM (<http://geoslam.com/>). Questo strumento (Figura5a) è composto da uno scanner 2D a tempo di volo con un raggio massimo di 30 m (Hokuyo scanner) e da un sensore inerziale IMU (Inertial Measurement Unit) utilizzato per un primo calcolo del posizionamento dello strumento.

Entrambi questi sensori sono montati su di una molla di metallo che si muove liberamente e casualmente nell'ambiente insieme all'operatore, determinando i piani di scansione 2D che investono gli oggetti e generano la nuvola di punti 3D [11]. Tale sistema è basato sulla tecnologia SLAM, impiegata principalmente per il rilievo di ambienti indoor in quanto utilizza le caratteristiche dell'ambiente per determinare la posizione dello strumento. [12], [13].

Si è deciso tuttavia di testare le potenzialità di questo strumento anche in un ambiente esterno, e il fatto che una nuvola di punti-tipo sia stata acquisita in soli 5 minuti dimostra le interessanti potenzialità di tale strumento.



Fig. 5. Lo ZEB1 di Geoslam; l'acquisizione e la nuvola 3D registrata grazie all'algoritmo SLAM

3.1.3. Le piattaforme RPAS

I due team al lavoro sul campo integrano l'utilizzo di diverse piattaforme RPAS che montano diversi sensori, incluse piattaforme COTS (*commercial off the shelf*) e piattaforme professionali ad ala fissa. Le strategie di acquisizione variano per ogni sistema a seconda delle caratteristiche intrinseche di ogni piattaforma. Questo fattore garantisce tuttavia la possibilità di avere un ampio spettro di dataset diversificati da utilizzare nelle successive elaborazioni e analisi.

3.1.3.1. Piattaforma ad ala fissa: eBee

Il primo volo sull'insediamento di Pescara del Tronto è stato realizzato tramite una piccola piattaforma ad ala fissa eBee™ (Figura6), prodotta dalla Sensefly e commercializzata in Italia dalla Menci Software (<http://www.menci.com>). In questo caso la piattaforma era equipaggiata con una camera digitale Canon Power Shot S110™, che monta un sensore Canon CMOS da 1/1.7", garantisce immagini da 12 MP e ha una lunghezza focale di 5.2 mm. La piattaforma assicura una grande flessibilità di utilizzo e risulta essere molto utile per la creazione rapida di cartografia in caso di emergenza [14]. Il sistema eBee è certificato dall'ENAC come EBM-1539 ed è considerato inoffensivo. Per ottenere un rilievo completo di tutta l'area danneggiata di Pescara del Tronto (circa 83 ha) sono stati realizzati 3 voli con le seguenti caratteristiche:

- Quota media di volo 150 m
- Dimensione Pixel size 5.0 cm
- Overlapping laterale 60 %
- Overlapping longitudinale 85 %
- n° di immagini: 354



Fig. 6. L'eBee di SensFly e il momento del decollo

3.1.3.2. Phantom 4

Gli altri voli presso Pescara del Tronto sono stati realizzati utilizzando un piccolo quadrirotore: il Phantom 4™, prodotto dalla DJI (Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co., Ltd Technologies). Il Phantom 4 è equipaggiato con una camera 4K, sensore CMOS da 1/2.3", profondità di campo, FoV (*Field of View*) da 94°, immagini da 12.4 MP. Il drone prodotto dalla DJI pesa 1.38 kg, garantisce un tempo massimo di volo di 28 minuti e permette sia il completo pilotaggio manuale, sia quello remoto. In questo caso i voli sono stati realizzati con pilotaggio manuale da un operatore esperto. Le immagini acquisite dalla piattaforma vengono trasmesse in tempo reale all'operatore RPAS che è quindi in grado di monitorare le diverse fasi del volo e assicurare un *overlap* sufficiente. I voli con il Phantom 4 sono stati realizzati ad un'altezza compresa tra i 10 m e i 20 m. Usando tale piattaforma (Figura7) i dati sono stati acquisiti impiegando le due modalità disponibili: registrando un video in 4K (ed estraendo successivamente i frame) e scattando direttamente le singole immagini. In totale 64 singole immagini nadirali sono state acquisite, mentre circa 140 frame sono stati estratti da un video di 8:19 minuti (estraendo 1 frame ogni 3,5 sec), come in Figura 8.



Fig. 7. Un momento del volo del DJI Phantom (nel cerchio)

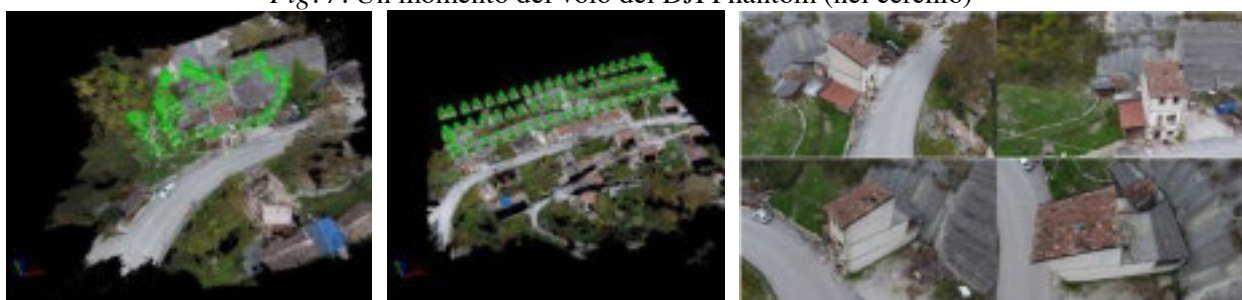
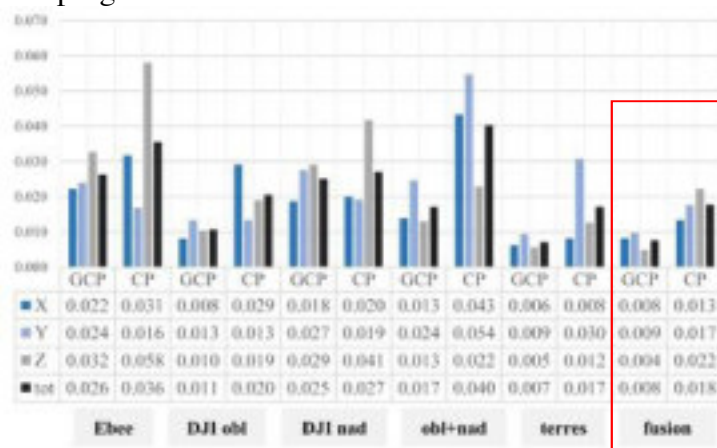


Fig. 8. Il volo inclinato e quello nadirale con i fotogrammi orientati. Alcuni scatti estratti dal video.

4. DATA PROCESSING E VALUTAZIONI SUL MODELLO

A causa della difficoltà delle operazioni in questo contesto, le misure topografiche e quelle tramite GNSS dovevano essere rapide e adattabili. Si è scelto quindi di collocare i singoli vertici per le misure di dettaglio sui target aerei, misurati successivamente tramite tecnica GNSS in modalità RTK. L'intero processo di elaborazione dei dati è stato quindi influenzato dalla precisione delle misure topografiche. Sono stati valutati gli errori sui singoli processi di elaborazione tramite l'utilizzo di CPs (*check points*) tramite analisi sul RMSE (*Root Mean Square Error*), Tab 1. Date queste considerazioni si è deciso di utilizzare il progetto derivato dalla fusione dei diversi set come *ground-truth*.



Tab. 1. Gli edifici soggetti a una documentazione mirata. In rosso l'edificio approfondito

Per l'elaborazione dei blocchi fotogrammetrici di immagini nadirali e oblique abbiamo testato tre differenti software commerciali, che impiegano diversi algoritmi di *image-matching*: Pix4D (<https://pix4d.com>) sviluppato dall'EPFL si basa su di un approccio *Structure From Motion* [15]; Context Capture di Bentley System (<https://www.bentley.com>), Photoscan Pro di Agisoft (<http://www.agisoft.com>) [16]. Per la gestione, l'ottimizzazione, il *3D modelling* e le analisi abbiamo utilizzato 3DReshaper (<http://www.3dreshaper.com/>) di Tecnodigit-Hexagon e la soluzione open source Cloud Compare (<http://www.danielgm.net/cc>). Per il processamento dei dati abbiamo sfruttato una workstation ad alte prestazioni: CPU: Intel(R) Core i7-6800k 3.4 GHz. RAM 128 GB. NVIDIA quadro M2000. In una prima fase di elaborazione i dati raccolti dai diversi sensori sono stati elaborati in blocchi separati:

- Fotogrammetria terrestre *close-range*
- ZEB1 basato su SLAM
- eBee, camere nadirali
- DJI camere nadirali
- DJI camere oblique

4.1. I dati LiDAR di ZEB1

A Pescara del Tronto il sistema Zeb1 è stato testato in varie aree comprendenti numerosi edifici. Nell'area oggetto di questo contributo è stata processata una nuvola di punti di 9 mln pt, tramite il software commerciale di GeoSLAM che effettua una registrazione *cloud to cloud* automatica. Il punto cruciale di questa tecnologia consiste nel controllo della traiettoria durante il movimento tramite sensore inerziale, che è calcolata e corretta utilizzando una variante del tradizionale algoritmo ICP (*iterative closest point*). Questo sistema commerciale garantisce un'accuratezza della posizione compresa tra 3 cm e 40 cm, a seconda del tipo di ambiente nel quale viene impiegato lo strumento. A Pescara del Tronto, a causa della conformazione critica dell'area da rilevare e dalla difficoltà nel realizzare percorsi chiusi con lo strumento (elemento che è di grande aiuto nella fase di post-processing della nuvola), la registrazione finale della nuvola ha restituito un errore residuo di 0.3 m. Un punto di forza del sistema è il fatto che esso restituisce un dataset strutturato, comprendente informazioni

relative alla nuvola di punti e alla traiettoria, garantendo la possibilità di segmentare la nuvola sulla base della funzione del tempo (Figura9). Dopo le varie fasi di elaborazione della nuvola di punti (segmentazione, post registrazione, georeferenziazione e ottimizzazione) è stato possibile analizzare la nuvola insieme con quelle ottenute dagli altri sensori, con la sola mancanza dell'informazione radiometrica (lo Zeb1 infatti non acquisisce dati RGB).

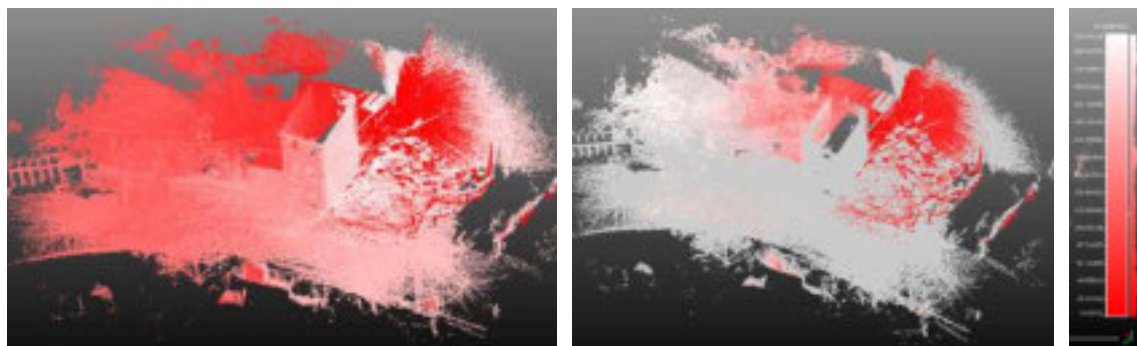


Fig. 9. La nuvola acquisita e registrata, rappresentata a scala di colore secondo il tempo di acquisizione

4.2. Fotogrammetria aerea e *close-range*

Per quanto concerne la fotogrammetria *close-range*, tre livelli qualitativi sono stati analizzati (come riportato in Tabella 2). La scelta di utilizzare setting elevati in termini di qualità risulta sicuramente vincente in termini di accuratezza dei GCPs e dei CPs, anche se non è la più competitiva in termini di tempi di elaborazione se comparata alle altre.

	Close-range photogrammetry		
	LOW	MEDIUM	HIGH
cameras		20	
Average GSD (cm/px)		0,198	
tie points	4900	30500	20900
point cloud	1130000	4500000	70500000
mesh triangles	25000	300000	14000000

Tab.2. Dati relativi alle acquisizioni fotogrammetriche *close-range*

Le acquisizioni aeree sono state progettate e realizzate per coprire due diversi livelli di dettaglio e, di conseguenza, due diverse scale. Il blocco delle camere acquisite tramite l'eBee è stato elaborato con l'obiettivo di produrre un modello 3D dell'intero insediamento di Pescara del Tronto. Tre ore di calcolo hanno prodotto la nuvola di punti densa, il modello 3D e il DSM (15 Gb di dati). Le acquisizioni del Phantom 4 s (nadirali e oblique) sono state elaborate insieme utilizzando i GCPs e successivamente fuse con gli altri dati aerei.

	Aerial photogrammetry			
	eBee nadiral	DJI nadiral	DJI oblique	DJI fusion
cameras	354	64	141	205
av. GSD (cm/px)	5	2,18	1,05	1,51
tie points	1505299	393194	499712	892906
point cloud	104733709	23683497	24061728	45839730
mesh triangles	25302858	1480265	1349212	4186201

Tab. 3. Dati relativi alle acquisizioni fotogrammetriche aeree

4.3. Data fusion

Le analisi condotte sui dati elaborati hanno dimostrato chiaramente come i diversi sensori contribuiscano in maniera variabile alla definizione della geometria dell'oggetto rilevato. Infine, è stata realizzata una fusione dei dati aerei con quelli terrestri, implementando in sequenza tre livelli progressivi relativi ai parametri di elaborazione, i risultati sono rappresentati nella Tabella 4.

	Fusion		
	LOW	MEDIUM	HIGH
cameras		225	
Average GSD (cm/px)		0,925	
tie points	59363	285556	1106438
point cloud	3400000	4800000	13539991
mesh triangles	980000	310000	20000000

Tab. 4. Tabella riassuntiva dei dati del modello di fusione

5. VALUTAZIONE DEI DATI ESTRATTI: SCOPI E PROCEDURE PER L'INTERPRETAZIONE E LA CLASSIFICAZIONE DI INFORMAZIONI METRICHE

I rispettivi prodotti dei singoli dataset sono stati selezionati, organizzati e combinati per valutare e classificare il livello di dettaglio e l'utilizzo delle informazioni deducibili dai modelli, nei diversi contesti applicativi. Un'area ristretta è stata selezionata attorno all'edificio e su di essa sono state effettuate diverse valutazioni (Figura10).



Fig. 10 L'area test individuata dall'ortofoto

		Test area (1000m ²) n°pt
ZEB		8.270.025
NIKON D800E	low	897.245
	med.	4.033.312
	high	67.832.788
EBEE		152.800
DJI	obl.	13.869.204
	nad.	1.677.843
	fus.	15.022.015
FUSION	low	270.000
	med.	2.148.351
	high	11.740.000

Tab. 4. I dati numerici relativi all'area test

5.1. Estrazione dati in base a una valutazione qualitativa

Le informazioni contenute in un modello 3D non devono essere necessariamente solo geometriche; operando sulla configurazione delle camere e sull'integrazione dei sensori è possibile rendere i modelli 3D fruibili e utili ad utilizzatori provenienti da diversi settori disciplinari. Le analisi sui danni subiti dagli edifici a seguito di un sisma si basano ancora in gran parte su osservazioni visive e valutazione metriche di condizioni strutturali.

Un modello da fotogrammetria aerea ottenuto da un drone commerciale DJI si rivela come altamente competitivo nei termini della qualità dell'informazione RGB. Il termine di paragone per questo tipo di modello è stato quello ottenuto dalla più classica fotogrammetria terrestre *close-range*, che non è però sempre applicabile in questo tipo di contesti a causa dei tempi ridotti e dalla difficoltà di accesso in queste aree. La maggior parte dei danni e delle crepe presenti su tutte le facciate sono ben visibili anche nel solo modello aereo, e in alcuni casi anche in maniera più leggibile rispetto al modello ottenuto dalla fusione dei dati (come mostrato in Figura11).

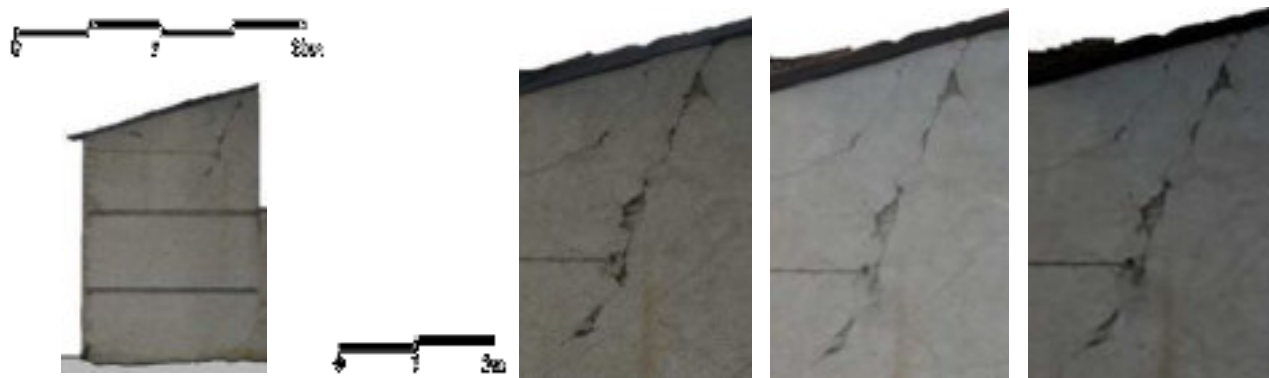


Fig. 11a -11b. L'ortofoto del lato est, e uno zoom sulla fessurazione a seguito del sisma Si può valutare che il modello aereo (camere oblique e nadirali) (dx), può essere confrontato con quello terrestre ad elevato dettaglio (sx), non altrettanto il modello da data fusion (centro).

5.2. Estrazione di dati metrici dalle ortofoto e dal DSM

Successivamente abbiamo condotto altre analisi sulle tradizionali rappresentazioni aeree della superficie dell'area selezionata. Solitamente, per quanto concerne un DSM, l'estrazione di informazioni è relativa alle curve di livello e ai punti quotati. In questo caso la nuvola di punti dello Zeb1 ha fornito dei risultati apprezzabili a scala ambientale, per quanto concerne la documentazione 3D dell'edificio e delle aree limitrofe (figura 12). Per quanto riguarda invece l'estrazione di informazioni planimetriche a scala architettonica il modello che ha fornito il maggior livello di dettaglio è quello derivato dalla fusione dei diversi dati (figura 13).

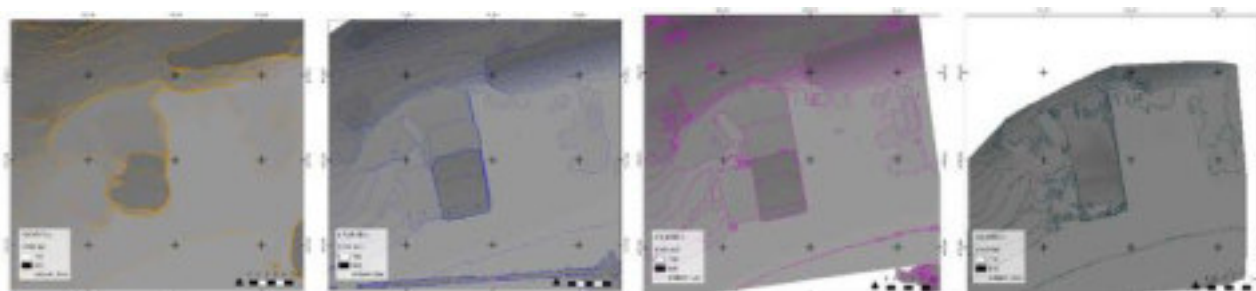


Fig. 12. Confronto dei DSM calcolati. Top: eBee DSM; DJI DSM; modello fuso DSM; ZEB1 DSM



Fig. 13. Confronto su uno zoom: eBee, GSDmedio=5 cm/px (sx); DJI Phantom, GSDmedio=2,18 cm/px (centro); modello fuso, GSDmedio=0.92 cm/px (dx)

5.3. Ottimizzazione dei dati 3D. Nuvole di punti e mesh

Prima di estrarre informazioni dai modelli 3D è necessario effettuare alcune operazioni: riduzione del rumore, ottimizzazione del modello, etc...

I dati grezzi che abbiamo ottenuto a seguito delle elaborazioni sono i seguenti:

- *Nuvola di punti da fotogrammetria terrestre*
- *Nuvola di punti da sistema basato su SLAM, ZEBI*
- *Nuvola di punti dalle immagini aeree nadirali dell'eBee*
- *Nuvola di punti dalle immagini aeree nadirali DJII*
- *Nuvola di punti dalle immagini aeree oblique DJII*
- *Fusione delle immagini aeree*
- *Fusione dei dati aerei e terrestri*

In un primo momento ci siamo approcciati alla fase di modellazione con un approccio maggiormente volumetrico, per dettagliare poi il modello in maniera analitica in una seconda fase. Questo approccio ha permesso di analizzare in maniera più approfondita i livelli di dettaglio ottenibili tramite i diversi sensori. In questo caso il modello ottenuto dalla fusione dei dati dei diversi sensori si è dimostrato il più completo (Fig.14).

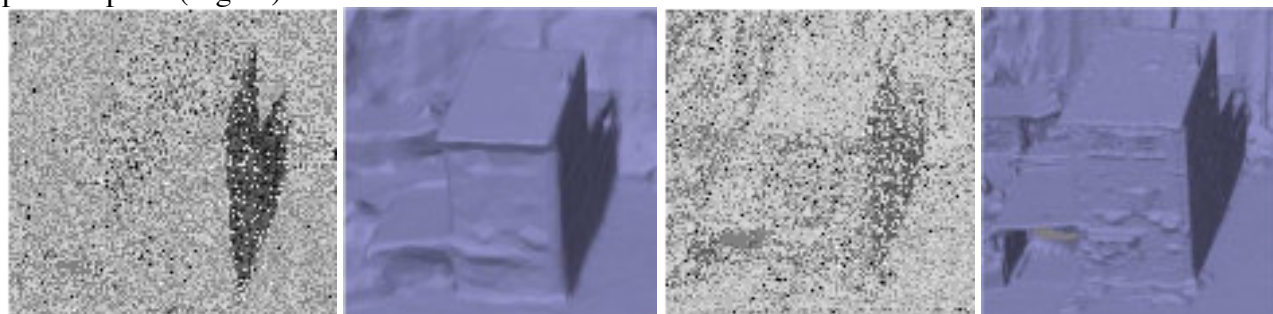


Fig. 14. Modello fuso ottimizzato. Parametri di processing bassi (1, 2) e bassi (3, 4), per nuvola di punti (grigio) e 3D mesh (viola)

5.3.1. Sezioni architettonico-strutturali mirate

Sono stati poi identificati alcuni punti fondamentali della struttura, nei quali una ricognizione dei danni strutturali a seguito degli eventi sismici potesse restituire il maggior numero di informazioni possibili. Le principali condizioni geometriche e strutturali dell'edificio possono essere in primo luogo valutate attraverso l'utilizzo di una serie di sezioni orizzontali, realizzate al livello dei diversi piani dell'edificio. Successivamente, una serie di sezioni verticali può essere utile per valutare il comportamento delle facciate, del tetto e dei muri principali.



Fig. 14. Le sezioni significative, e la sezione longitudinale scelta a campione (4, ultima).

In questo esempio la sezione (3) interseca un punto di fragilità della struttura in corrispondenza dell'asse del camino e possibili fuori piombo e spanciamenti della muratura laterale. Nella sezione (4) I punti di rottura in corrispondenza delle aperture in facciata.

5.3.1.1. La sezione longitudinale (4)

Un'analisi più approfondita è stata poi realizzata su di una sezione campione, che si è rivelata essere la più significativa per questo edificio.

Section (4) (20cm thick point cloud)						
		n° pt	av. density (pt/m ²)	st.dev.	m	M
ZEB		50.444	3.286	1572	9	5100
NIKON	<i>high</i>	370.716	27.300	7200	84	37.220
EBEE		806	12	3	1,9	18
	<i>obl</i>	95.119	1.578	658	1	2.970
DJI	<i>nad</i>	8.667	128	35	16	197
	<i>fusion</i>	102.493	1.666	704	47	3.100
	<i>low</i>	1.400	18	4	0,6	32
FUSION	<i>med</i>	12.111	147	31	0,9	228
	<i>high</i>	67.400	827	141	1	1256

Tab. 5. Dati riferiti alla sezione (4) e al contributo dei singoli sensori

Gli indici di densità, (tab.5) permettono di differenziare in maniera significativa il contributo dei singoli sensori nella definizione della geometria dell'edificio. La fotogrammetria *close-range* si configura come la più ricca in termini di densità di punti sulle facciate, anche se insieme ai dati dello Zeb1, risulta essere la meno uniforme (deviazione standard). Come ci aspettavamo il modello ottenuto dalla fusione dei diversi sensori presenta una distribuzione uniforme delle misure su tutto l'edificio, soprattutto se comparato con il solo modello da dati aerei. Abbiamo verificato che il modello così ottenuto contribuisce alla definizione delle geometrie non in termini di densità media, ma in termini di standardizzazione della distribuzione. Possiamo poi affermare che i dati ottenuti da questa fusione di immagini aeree e terrestri possono essere integrati in maniera efficace con i dati dello Zeb1 (fig.15), precedentemente georeferenziati per produrre un profilo completo della geometria dell'edificio in relazione con l'ambiente che lo circonda.

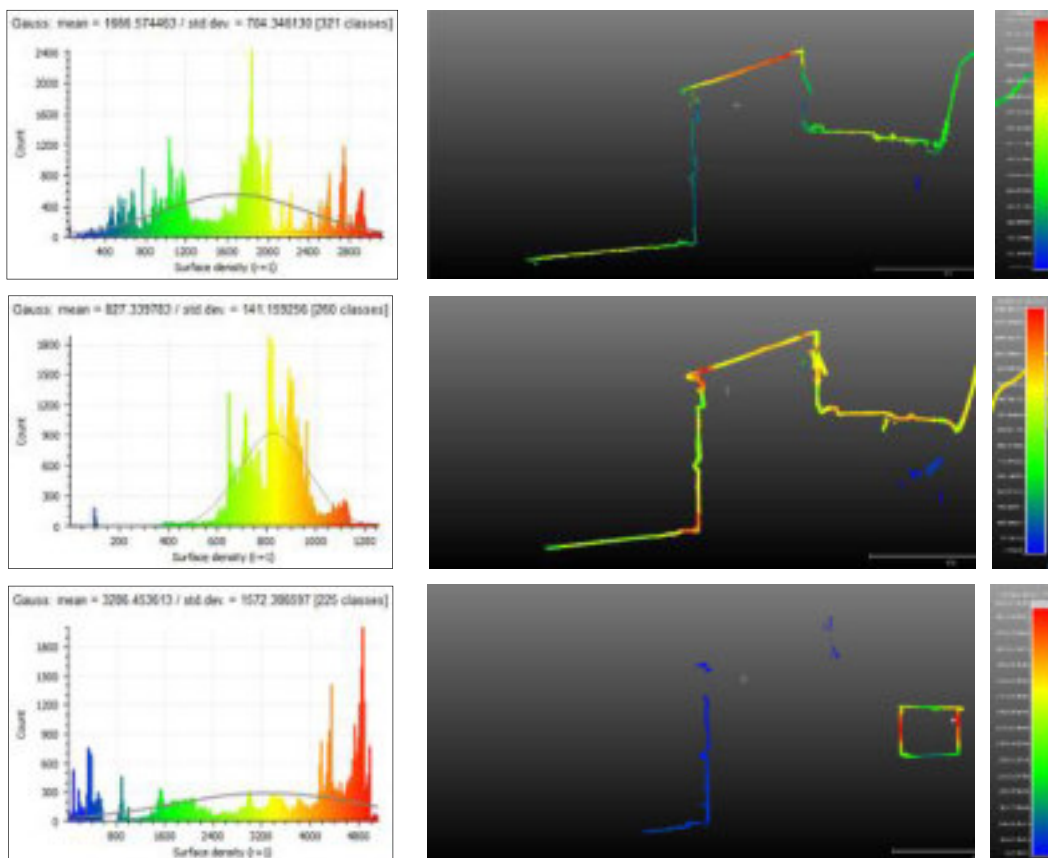


Fig. 15. Analisi di densità per la nuvola aerea (alto) e fusa (centro). Il contributo della nuvola ZEB1 (basso)

5.3.1.2. L'asse di sezione sulle aperture in facciata

Sicuramente l'acquisizione *close-range* terrestre è quella che offre la completezza e il dettaglio migliore sull'edificio (Fig. 16) ma si vuole confrontare in questa sede il livello di definizione geometrica raggiungibile di modelli aerei e di quello di fusione dei dati (Fig.17).

Il modello di data fusion offre, per natura, la soluzione migliore per entrambi i livelli di dettaglio su elementi di facciata e omogeneità di punto 3D (Fig.17). Attraverso un campione di scostamento delle misure sulla polilinea di sezione, possiamo affermare che il modello aereo è comunque un buon compromesso di fattibilità terrestre rispetto al terrestre.

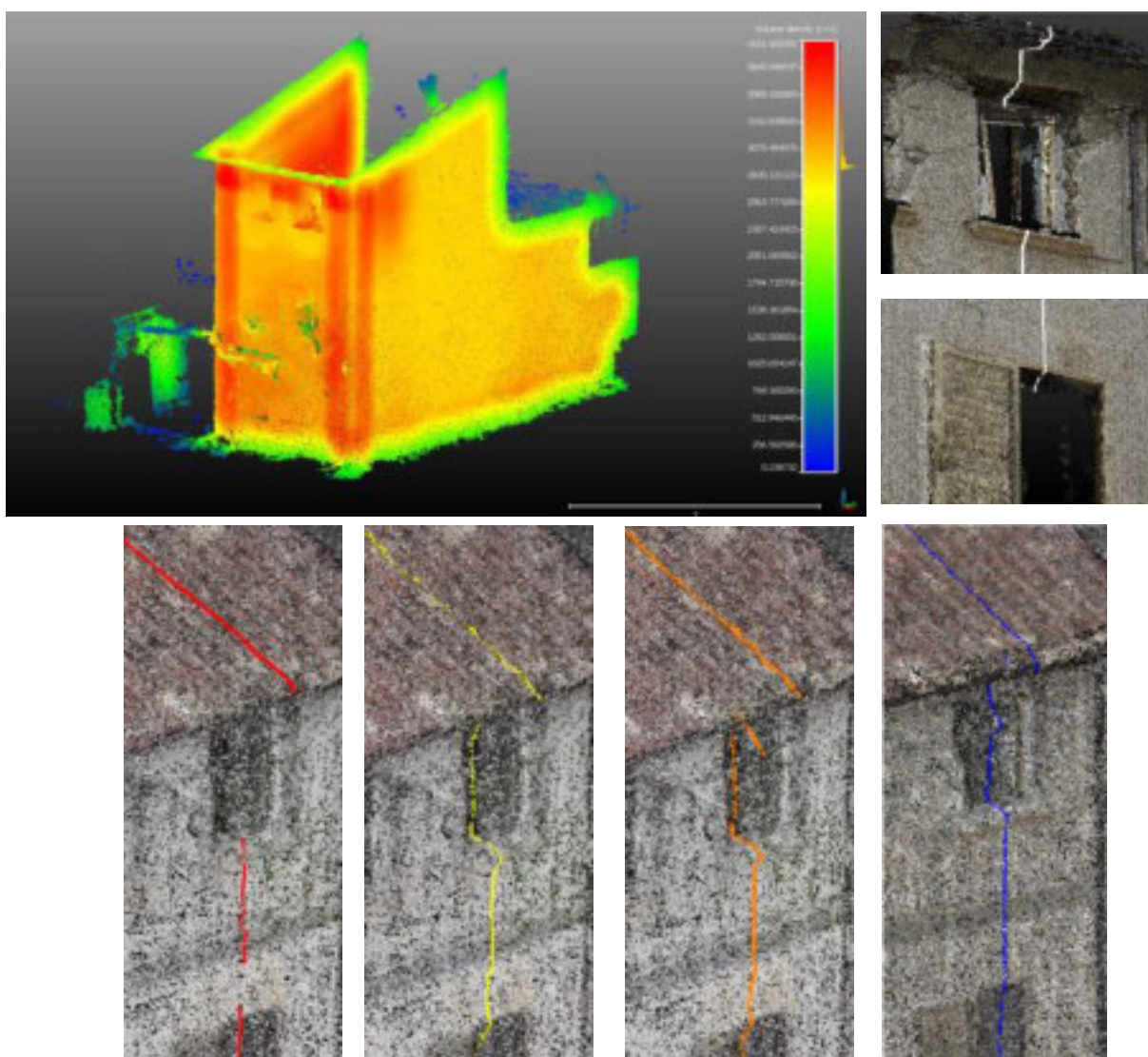


Fig. 17. Densità del modello fotogrammetrico terrestre (alto, sx) e zoom sulla nuvola (sx). In basso, camere nadirali (rosso), camere oblique (giallo), modello aereo (arancio), modello fuso ottimizzato (blu).

5.4. La condivisione dei modelli 3D via Web

La crescente diffusione dei modelli 3D derivati dalle tecniche di rilievo metrico ha spinto la comunità scientifica ad interrogarsi sul loro effettivo utilizzo e ad indirizzare nuovi settori della ricerca verso lo sviluppo di piattaforme web based per la loro diffusione. Ad oggi sono disponibili sul mercato diverse soluzioni, sia commerciali che open source, che permettono la condivisione in tempo quasi reale dei modelli realizzati a partire dai rilievi effettuati tramite diversi sensori. Una panoramica

completa di queste soluzioni ed una sperimentazione approfondita avrebbe richiesto una ricerca dedicata; per questo caso studio sono state prese in esame e sono state testate in via sperimentale due soluzioni diverse: la prima basata sul visualizzatore web della Bentley System (<https://www.bentley.com/en/products/product-line/reality-modeling-software/acute3d-viewer>) e la seconda sulla piattaforma italiana 3DHOP (<http://vcg.isti.cnr.it/3dhop/>), sviluppata dal Visual Computing Lab del ISTI-CNR.

La piattaforma della Bentley è *Acute 3D Viewer* (Fig. 18), è un software commerciale ed è direttamente legato ad un altro software di Bentley, *Context Capture*. Il primo input ad approfondire questo tipo di piattaforma ci è stato suggerito dall'utilizzo di Context Capture, in quanto esso permette di elaborare uno specifico formato di file da importare nel visualizzatore web della Bentley. I vantaggi connessi a questo sistema sono legati a questo formato di file, che essendo in partenza pensato per la visualizzazione web è altamente ottimizzato, permette la visualizzazione anche di modelli 3D di grandi dimensioni e ad alta risoluzione; gli svantaggi sono legati al prezzo di un software commerciale. *Acute 3D Viewer* permette di misurare distanze in maniera diretta sul modello e di scegliere tra diversi stili di visualizzazione.



Fig. 18. Visualizzazioni del modello 3D di Pescara del Tronto in *Acute 3D Viewer*, GEER Team.
L'attivazione della misura diretta di distanze. <http://prismweb.groups.et.byu.net/>

La seconda soluzione analizzata e testata in questo caso studio è invece 3DHOP [17], una piattaforma completamente open source sviluppata in HTML e JavaScript. Questa piattaforma per la sua natura open source si configura come una soluzione altamente personalizzabile, come controparte richiede maggiori competenze da parte dell'utente e conoscenze base di programmazione informatica. Attualmente 3DHOP presenta un'ampia lista di tool (Fig. 19), in continuo sviluppo, ed è possibile allestire un visualizzatore online che contenga funzioni multiple (misurazione di distanza, estrazione di coordinate, creazioni di piani per sezionare in maniera interattiva il modello, etc...).

Un limite del programma a questo stadio di sviluppo sembra essere legato alla conversione e compressione dei modelli 3D derivati dal rilievo e alle già citate competenze necessarie per la configurazione del visualizzatore. Il panorama legato a queste piattaforme web-based è in continuo sviluppo e le possibilità che si aprono per gli anni a venire ci sembrano essere di grande interesse.

L'implementazione di questi sistemi per dispositivi mobile, attualmente già in fase di sviluppo, apre la strada a tutta una serie di innovazioni nel modo di utilizzare e condividere i modelli 3D che possono portare a risvolti di utilizzo anche nei contesti di gestione dell'emergenza. Infatti, la possibilità di avere a disposizione sul campo e in tempo reale dei modelli 3D metricamente affidabili permetterebbe a nostro avviso di sviluppare tutta una serie di agevolazioni per il lavoro dei soccorritori e di tutte le persone che operano nelle fasi di gestione post evento.

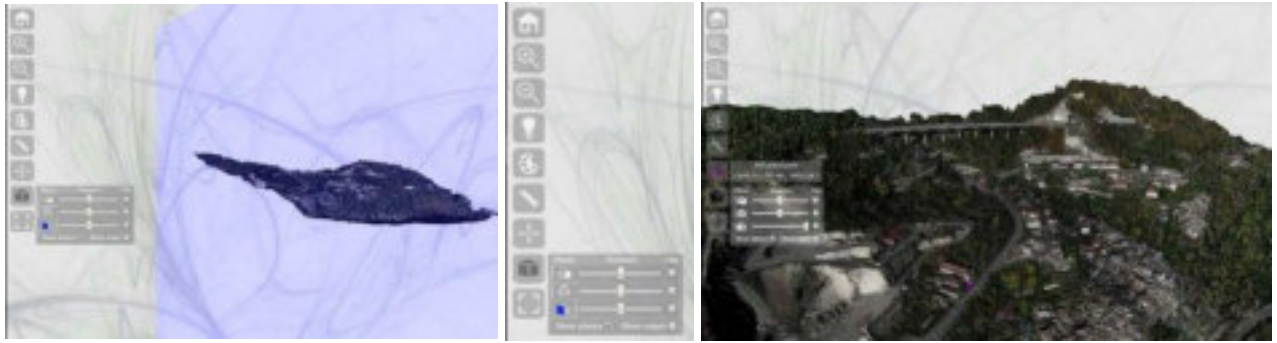


Fig. 19. Visualizzazioni del modello 3D di Pescara del Tronto in 3DHOP, DIRECT Team. I cursori che permettono azioni interattive con il modello come lo zoom, le sezioni, la visualizzazione di *texture*, la misura di distanze, la variazione di luminosità simulando la luce solare, etc.

6. CONCLUSIONI

In questo contributo abbiamo cercato di presentare l'intero workflow operativo legato alle procedure per l'acquisizione di dati 3D e alle pratiche per il processing di dataset derivati da rilievi multi-sensore con l'obiettivo di ottimizzare al meglio il rapporto tra risorse impiegate (umane e tecniche) e l'apporto quantitativo e qualitativo in termini di informazioni fornito da tali modelli.

In questo specifico caso possiamo affermare che l'integrazione di modelli ad alta qualità è preferibile rispetto all'elaborazione congiunta di diversi set di dati. La ricerca di un'alta densità di informazioni radiometriche e metriche attraverso la fotogrammetria *close-range* si può raggiungere grazie all'integrazione delle camere oblique. Inoltre, nei casi in cui fosse praticabile, un'acquisizione con strumenti di indoor mapping potrebbe rendere completo il modello ottenuto combinando i dati ottenuti dagli altri sensori. Tuttavia, abbiamo constatato che il modello realizzato tramite la fusione dei diversi dati presenta il minor scostamento rispetto ai CP e si avvicina maggiormente alle misure topografiche. Il modello permette di condurre interessanti indagini geometriche finalizzate anche alla valutazione strutturale (Fig.20-21),

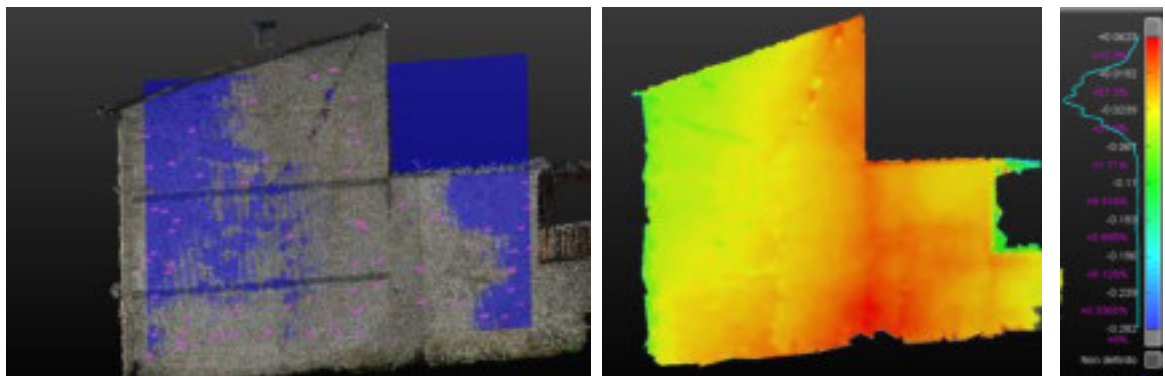


Fig. 20. Analisi 3D della superficie di facciata est: il modello di data fusion con il modello terrestre come ground-truth e rappresentazione dello spancimento della muratura



Fig. 21. Riconoscimento automatico di piani con livello di approssimazione controllabile

Dobbiamo altresì richiamare l'importanza dell'integrazione, dove possibile, di sensori terrestri speditivi, come in questo caso è stato il sensore LiDAR manuale ZEB1. Questo permette di ottenere soddisfacenti lenti livelli di dettaglio per la completezza di aree difficilmente raggiungibili dal ricoprimento del blocco fotogrammetrico (Fig.22). La nuvola deve essere però georiferita, ma fornisce una mappatura completa dell'edificato con la sua geometria ma anche in relazione con l'intorno, come la parete di roccia in questo caso alle sale della costruzione.

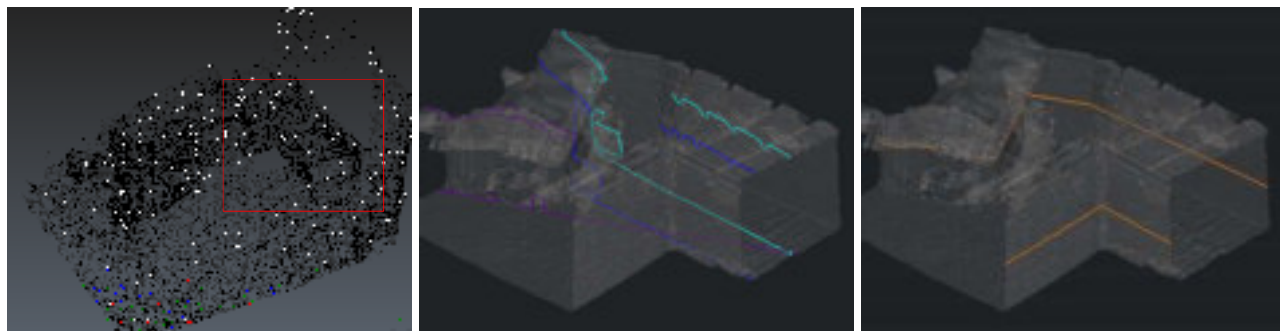


Fig. 22. Estrazione di profili architettonici da una mesh calcolata su una nuvola di punti ottimizzata da ZEB1, negli ambienti coperti posteriori coperti (*pergolato*)

In conclusione, a meno che non sussistano particolari esigenze di accuratezza legate ad analisi specifiche, il modello ottenuto dalle acquisizioni aeree può essere considerato assolutamente adatto ad una prima fase di documentazione e valutazione dei danni. L'integrazione delle acquisizioni terrestri non porta a significativi miglioramenti in termini di informazioni geometriche utili per questo tipo di analisi preliminari. È necessario inoltre sottolineare il contributo fondamentale delle immagini oblique, che integrano in maniera strategica le informazioni estraibili dalle sole acquisizioni nadirali. L'impiego di camere ad alta risoluzione in questo tipo di acquisizioni aeree *close-range* potrebbe portare a risultati ancora più soddisfacenti.

Durante l'analisi dei modelli ottenuti abbiamo constatato come non sia tanto l'aumento di densità della nuvola di punti a rendere possibile l'estrazione di sezioni il meno possibile frammentarie, quanto l'omogeneità (deviazione standard) della densità della nuvola.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Team Direct (<https://www.facebook.com/Team-Direct-461829537253316>) e tutte le persone coinvolte nelle fasi di acquisizione dei dati, in particolare Paolo Dabove, Nives Grasso e Vincenzo Di Pietra del Politecnico di Torino. Durante il lavoro sul campo il gruppo SAPR dei Vigili Del Fuoco ci ha accompagnato costantemente in tutte le fasi del lavoro, assistendoci con persone e mezzi; siamo grati per questo tutto il lavoro che il corpo dei Vigili del Fuoco svolge ogni giorno. Vogliamo inoltre ringraziare il GEER team (<http://www.geerassociation.org>), con il quale abbiamo stretto una proficua collaborazione. Grazie anche a MESA s.r.l. per lo ZEB1 e in particolare a Cristina Bonfanti e Nadia Guardini. Grazie soprattutto al Politecnico di Torino per aver promosso e finanziato le missioni di emergenza nel centro Italia dopo i tragici eventi che si sono susseguiti a partire da Agosto 2016.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ruiz Sabina, J., Gallego Valle, D., Peña Ruiz, C., Molero García, J., & Gómez Laguna, A., 2015. *Aerial Photogrammetry by drone in archaeological sites with large structures. Methodological approach and practical application in the medieval castles of Campo de Montiel*. Virtual Archaeology Review, 6(13), 5-19. doi:<http://dx.doi.org/10.4995/var.2015.4366>