

# SOLUZIONI GEOMATICHE PER IL RAPID MAPPING DI CATASTROFI NATURALI

## GEOMATIC SOLUTIONS FOR THE RAPID MAPPING OF NATURAL HAZARDS

Isabella Toschi <sup>a</sup>, Fabio Remondino <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Fondazione Bruno Kessler (FBK), 3D Optical Metrology (3DOM) Unit, Trento, Italia  
(toschi, remondino)@fbk.eu, <http://3dom.fbk.eu>

**PAROLE CHIAVE:** Rapid Mapping, emergenza, efficienza, tempo, piattaforma, sensore, aereo, UAV

**KEY WORDS:** Rapid Mapping, emergency, efficiency, time, platform, sensor, airborne, UAV

### RIASSUNTO

In caso di disastri naturali (come terremoti, frane, alluvioni, inondazioni, incendi, ecc.) un intervento rapido ed efficace risulta fondamentale. A tale scopo, vengono normalmente adottate piattaforme, sensori e tecniche geomatiche, che possono fornire una preziosa fonte di informazioni su vasta scala in ogni fase del ciclo di gestione delle catastrofi naturali. I dati telerilevati da satellite, aereo e drone possono in particolare sostenere il lavoro di ricercatori, squadre di intervento e autorità coinvolte in ambito di *Rapid Mapping* tramite l'elaborazione di mappe di riferimento (pre-evento) e di crisi (post-evento). Questo lavoro di ricerca descrive le principali soluzioni geomatiche e le loro potenzialità ai fini di una rapida gestione di situazioni di emergenza. I vantaggi e svantaggi di ciascuna vengono criticamente discussi per supportare il processo di selezione dei mezzi più idonei a fornire prodotti di valore aggiunto. Inoltre, risulta prioritaria la gestione del tempo: per tale motivo, vengono proposte diverse soluzioni al fine di conseguire la massima efficienza sia in fase acquisizione che in quella di elaborazione dei dati. In particolare, tramite l'esame di due casi studio, vengono suggerite alcune linee guida e *best practices* generali per la gestione efficiente del tempo in caso di *Rapid Mapping* da piattaforma aerea e UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Infine, l'attenzione è rivolta a un progetto di ricerca scientifica (RAPIDMAP, [rapidmap.fbk.eu](http://rapidmap.fbk.eu)) che ha visto la collaborazione di istituti di ricerca d'eccellenza provenienti da diversi Paesi con l'obiettivo di sviluppare metodologie efficaci e innovative nell'ambito del *Rapid Mapping*.

### ABSTRACT

Natural hazards demand a rapid surveying of the crisis situation by means of Geomatics platforms, sensors and techniques. Remote sensing can provide a valuable source of broad scale information at each stage of the disaster management cycle, supporting scientists and authorities in the decision-making process. Geomatics-based procedures and techniques can be especially exploited in the emergency mapping domain for the extraction of reference (pre-event) and crisis (post-event) geographic data. This research work provides a review of the current state-of-the-art of remote sensing techniques (platforms, sensors and commercial solutions) for rapid mapping applications. Advantages and disadvantages are discussed in order to support the selection process of the most appropriate means to gather the required information (i.e. significant and value-added data). Since valuable information should be delivered in a very short time span, the management of time is defined as a priority and several solutions are discussed to pursue efficiency in both data acquisition and processing. With this in mind, the most significant issues affecting time in each step of the workflow are analysed and possible methods to shorten it are proposed. In particular, guidelines and best practices in time management are retrieved from two case studies within the airborne and UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)-based mapping field. Finally, attention is focused on the RapidMap project ([rapidmap.fbk.eu](http://rapidmap.fbk.eu)) that built up a network of international research centres to address near real-time monitoring, change detection, mapping and data co-registration in case of hazards events.

### 1. INTRODUZIONE

La gestione delle situazioni di emergenza richiede un'efficace pianificazione che può essere strutturata all'interno di un modello ciclico, ovvero il ciclo di gestione delle catastrofi naturali (Fig. 1). Questo approccio viene generalmente articolato in cinque fasi principali, sintetizzate in Tabella 1 (UN-SPIDER, UNEP 2012). A ciascuna di esse possono essere fornite preziose fonti di informazioni su vasta scala mediante l'impiego di piattaforme, sensori e tecniche geomatiche. I dati telerilevati da satellite, aereo e UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) offrono infatti un punto di vista privilegiato per facilitare la comprensione spaziale del fenomeno e ottenere delle informazioni quanto più possibile oggettive e standardizzate ai fini del processo decisionale (Joyce et al., 2009). In particolare, tali informazioni possono supportare il lavoro di ricercatori, squadre di intervento e autorità coinvolte

nell'immediata fase post-evento, ovvero nell'ambito del cosiddetto *Rapid Mapping* (*Response* o *Early impact*, Tabella 1): i prodotti normalmente forniti sono mappe e dati geospaziali, con accuratezze che variano a seconda dei tempi di consegna e delle necessità.

La sfida maggiore rimane ancora oggi l'imprevedibilità e varietà spazio-temporale degli eventi naturali che non consentono di adottare un'unica soluzione onnicomprensiva. Inoltre esiste una molteplicità di differenti piattaforme e sensori di telerilevamento che potrebbero essere utilizzati per l'acquisizione dei dati. Pertanto la scelta del sensore e della tecnica di rilievo rimane spesso la decisione più critica.

Partendo dalla consapevolezza che l'integrazione delle tecniche di rilievo all'interno dei processi di gestione delle situazioni di emergenza è una tematica urgente e in continuo sviluppo, questo lavoro riassume le principali soluzioni offerte dalla

geomatica e ne discute criticamente le potenzialità e limitazioni in caso di impiego nell'ambito di *Rapid Mapping*.

L'obiettivo è quello di supportare il processo di selezione e scelta in caso di disastri naturali, focalizzando l'attenzione, in particolare, sui metodi di rilievo da remoto (a scala variabile) in quanto, al contrario del rilievo effettuato da terra, essi permettono generalmente di coprire aree vaste in un breve intervallo temporale e anche in presenza di condizioni critiche di accesso al sito.

Verranno quindi discusse le principali tipologie di dati utili per ciascuna categoria di disastro naturale (Fig. 1), le piattaforme e sensori più adatti per la raccolta degli stessi e alcune linee guida per aumentare l'efficienza in fase di acquisizione ed elaborazione. In particolare, si analizzeranno due casi di studio nell'ambito del *Rapid Mapping* da piattaforma aerea e UAV al fine di ricavare alcune linee guida e *best practices* applicabili in scenari simili. Tutto questo sarà valutato (e, di conseguenza, indirizzato) alla luce del concetto più critico che sta alla base del *Rapid Mapping*, ovvero la gestione efficiente del tempo impiegato in ogni fase del flusso di lavoro, dalla pianificazione, al rilievo fino alla divulgazione dei prodotti finali. Infine, verrà presentato il progetto RAPIDMAP che, tramite una collaborazione tra istituti di ricerca europei e giapponesi, si è proposto di sviluppare soluzioni scientifiche innovative nell'ambito di *Rapid Mapping* utilizzando tecnologie di *Remote Sensing* (RS) e *Geographical Information System* (GIS).



Figura 1. Il ciclo di gestione delle catastrofi naturali e le principali categorie di disastro naturale.

Gestione delle situazioni di emergenza	
<i>Early warning</i>	La previsione e il riconoscimento tempestivo dei rischi imminenti, per allertare le persone e permettere loro di mettersi in salvo.
<i>Early impact (Response-Rapid Mapping)</i>	La dotazione di servizi di emergenza e assistenza pubblica durante o immediatamente dopo un disastro, al fine di salvare vite umane, ridurre l'impatto sulla salute, garantire la sicurezza pubblica e soddisfare le esigenze di sussistenza delle persone colpite.
<i>Recovery</i>	La ricostruzione e il miglioramento, se necessario, di strutture, mezzi di sostentamento e condizioni di vita delle comunità colpite dal disastro, compresi gli sforzi per ridurre i fattori di rischio del disastro stesso.
<i>Mitigation</i>	La riduzione degli impatti negativi e disastri correlati.
<i>Preparedness</i>	Le conoscenze e le capacità sviluppate dalle autorità, dalle organizzazioni di recupero, dalle comunità e dai singoli individui per anticipare efficacemente l'impatto, rispondere allo stesso e, successivamente, recuperare in caso di eventi di pericolo probabili, imminenti o in corso.

Tabella 1. Le cinque fasi del ciclo di gestione dei disastri naturali (UN-SPIDER, UNEP 2012).

## 2. DATI RILEVANTI E REQUISITI

Durante le operazioni di *Rapid Mapping*, risulta di fondamentale importanza effettuare tre tipologie di valutazione:

- valutazione dell'entità del disastro, in termini di dimensioni dell'area interessata e di impatto sulla popolazione, le infrastrutture e l'ambiente circostante;
- valutazione degli immediati bisogni e necessità, al fine di identificare le risorse e servizi utili per le misure di primo soccorso;
- valutazione dell'impatto ambientale, al fine di considerare i requisiti di tutela ambientale in fase di pianificazione delle misure di emergenza.

I sensori e le tecniche geomatiche di telerilevamento possono essere efficacemente adottati in particolare nelle fasi di valutazione del disastro e del suo impatto ambientale. A tal riguardo, e indipendentemente dalla tipologia del disastro, lo sforzo deve essere volto a raccogliere le informazioni e i dati più significativi in accordo con alcuni requisiti generali e criteri di standardizzazione (Boccardo, 2016). La Tabella 2 offre una sintesi applicabile a tutte le categorie di catastrofi.

Parallelamente, è possibile categorizzare le attività di valutazione in funzione del tipo di disastro per il quale esse sono predisposte e dell'intervallo temporale in cui vengono attuate. Si parlerà allora di valutazioni rivolte a:

- la fase che precede il disastro (prevenzione),
- la fase interessata dal disastro (rilievo),
- la fase che segue il disastro (impatto iniziale).

A tal riguardo, la Tabella 3 elenca le informazioni più rilevanti che, a seconda del tipo di emergenza, devono essere raccolte prima, durante e immediatamente dopo l'evento catastrofico.

Dati e informazioni rilevanti da raccogliere
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensione dell'area impattata</li> <li>• Intensità dei danni</li> <li>• Zonizzazione (intensità di danno diverse all'interno della medesima area impattata)</li> <li>• Localizzazione delle vittime</li> <li>• Presenza di altre aree potenzialmente a rischio</li> </ul>
Requisiti e criteri da rispettare
<ul style="list-style-type: none"> <li>• I dati raccolti sono neutri: particolare sforzo deve essere rivolto alla fase di elaborazione, al fine di assicurare i livelli di accuratezza e precisione richiesti.</li> <li>• Dai dati elaborati devono essere estratte informazioni a valore aggiunto: ciò permette agli utenti finali di analizzare criticamente, rielaborare e approfondire tali dati.</li> <li>• I dati e le informazioni a valore aggiunto da essi estratte devono essere trasmessi in un formato standardizzato</li> </ul>

Tabella 2. I dati rilevanti da raccogliere e i requisiti generali che tali dati devono rispettare per tutti i tipi di disastro naturale.

Tipologia di disastro	Dati e informazioni rilevanti
Terremoti	<sup>(1)</sup> numero di persone da evacuare <sup>(3)</sup> danni alle infrastrutture e impianti <sup>(3)</sup> danni a edifici private e ad uso commerciale
Frane e valanghe	<sup>(1)</sup> presenza di uno strato di terreno, neve, roccia instabile <sup>(1)</sup> numero di persone da evacuare <sup>(2), (3)</sup> direzione e velocità del movimento <sup>(3)</sup> informazioni sullo stato fisico e l'efficienza delle infrastrutture
Alluvioni	<sup>(1)</sup> numero di persone da evacuare <sup>(2)</sup> dati volumetrici <sup>(2)</sup> evoluzione temporale dell'evento <sup>(1), (2), (3)</sup> DEM e DTM
Precipitazioni violente	<sup>(1)</sup> numero di persone da evacuare <sup>(3)</sup> informazioni sullo stato fisico e l'efficienza delle infrastrutture
Incendi	<sup>(1)</sup> numero di persone da evacuare <sup>(2)</sup> rilievo degli <i>hot spots</i> <sup>(2)</sup> direzione di avanzamento dell'incendio e sua evoluzione temporale

Tabella 3. I dati rilevanti da raccogliere per ogni tipologia di disastro prima<sup>(1)</sup>, durante<sup>(2)</sup> e dopo<sup>(3)</sup> l'evento catastrofico.

### 3. SOLUZIONI GEOMATICHE

La geomatica offre numerose soluzioni (tecnologie e tecniche) utili ai fini del *Rapid Mapping*, ovvero per fornire mappe e dati georeferenziati in un brevissimo intervallo temporale con procedure standardizzate e documentate nel loro intero flusso di produzione. Di seguito vengono riassunte le caratteristiche, i vantaggi e le (attuali) limitazioni dei sistemi più aggiornati in termini di piattaforme, sensori e sistemi commerciali disponibili sul mercato. Tra di essi, non vengono presi in considerazione i sistemi di *Mobile Mapping* (MMS) da terra, come le soluzioni back-pack, MMS da autovettura e i sistemi di rilievo *hand-held* (*portable* MMS).

Essi, infatti, pur offrendo un punto di vista privilegiato a scala di singolo edificio, sono particolarmente dipendenti dalle condizioni di accessibilità al sito.

#### 3.1 Piattaforme

La crescente disponibilità di immagini satellitari ad elevata qualità consente, in linea di principio, il monitoraggio continuo dei cambiamenti della superficie terrestre su vaste aree geografiche e a costi relativamente contenuti. Tuttavia i dati satellitari sono generalmente caratterizzati da limitata risoluzione spaziale (da 50 cm a pochi metri) e disponibilità temporale (intervallo di rivisitazione di qualche giorno) a causa di vincoli di copertura. Inoltre, la reale fruibilità di immagini ottiche dipende anche dalle condizioni atmosferiche e si riduce notevolmente in caso, ad esempio, di una significativa copertura nuvolosa. Tutto ciò può talvolta ridurre l'effettivo utilizzo di dati satellitari ai fini di servizi di emergenza in tempo reale, soprattutto quando si tratta di mappare piccoli eventi isolati e non grandi disastri naturali.

Le piattaforme aeree sono in grado di fornire immagini ad alta risoluzione spaziale (fino a pochi cm) con notevole efficienza di acquisizione: l'elevata velocità e quota di volo consentono, infatti, una sempre maggiore copertura areale per unità di tempo. Inoltre, l'avvento e lo sviluppo dei sistemi multi-camera in grado di acquisire simultaneamente viste oblique e nadirali ha ulteriormente ampliato le capacità delle piattaforme aeree, dalle quali è possibile ora acquisire informazioni (come ad esempio danni e crolli) anche relative alle facciate e alle impronte degli edifici. D'altra parte, però, tali mezzi devono rispettare alcuni criteri in fase di volo (soglie minime di quota e velocità, traiettorie esenti da curve e corridoi) e richiedono una rigorosa pianificazione del volo stesso. Infine, si tratta di piattaforme generalmente costose, caratterizzate da una autonomia operativa limitata (4-10 ore a missione) e difficilmente utilizzabili in caso di condizioni atmosferiche pericolose.

Per fornire un punto di vista più ravvicinato sulla scena di interesse, risulta utile l'utilizzo di elicotteri: essi, in particolare, rappresentano la piattaforma ideale per la valutazione dettagliata degli *hot spots* e in caso di corridoi, difficilmente accessibili con velivoli ad ala fissa. Gli elicotteri sono quindi solitamente preferiti quando sono necessari voli a bassa quota, a bassa velocità o lungo traiettorie caratterizzate da curve e corridoi. Inoltre, essi godono di una buona manovrabilità (anche in caso di maltempo) e offrono la possibilità di operare in spazi aerei congestionati, caratteristiche, queste, particolarmente utili in caso di *Rapid Mapping*. Tuttavia, si tratta di una soluzione di rilievo generalmente costosa.

Una piattaforma molto flessibile è rappresentata dalle soluzioni UAV, che offrono elevata manovrabilità, significativa risoluzione spaziale delle immagini acquisite (inferiore al cm), capacità di volare a quote diverse e la possibilità di accedere ad ambienti remoti e pericolosi con limitato rischio per il pilota/operatore. Inoltre, tali piattaforme permettono di acquisire viste sia verticali che oblique, in particolare con i sistemi multi-rotore, e offrono agli utenti la possibilità di scegliere tra sempre nuove soluzioni in termini di sensori a bordo (e, di conseguenza, di adottare la combinazione più efficiente in funzione del tipo di disastro naturale). Nonostante lo sviluppo tecnologico in questo settore sia particolarmente rapido, rimangono però alcuni svantaggi e limitazioni, soprattutto in termini di autonomia (durata del volo), capacità di carico (*payload*) e copertura areale. Una descrizione approfondita e critica di tale tecnologia emergente nell'ambito

di applicazioni fotogrammetriche può essere trovata in (GIM-International UAS, 2016; Nedjati et al., 2016; Colomina e Molina, 2014; Nex e Remondino, 2014).

La Tabella 4 riassume i principali vantaggi e svantaggi di ciascuna tipologia di piattaforma per applicazioni di *Rapid Mapping*.

Piattaforma	Vantaggi	Limiti
Satellite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• estesa copertura areale</li> <li>• basso costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ridotta risoluzione spaziale (da 50 cm a pochi metri)</li> <li>• ridotta risoluzione temporale (la disponibilità dei dati dipende dal periodo di rivisitazione)</li> <li>• dipendenza dalle condizioni atmosferiche (copertura nuvolosa)</li> </ul>
Aereo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elevata risoluzione spaziale (alcuni cm);</li> <li>• elevata efficienza di acquisizione dei dati</li> <li>• punto di vista nadirale e obliquo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• necessità di un piano di volo</li> <li>• richiesta di una velocità e altezza di volo minima</li> <li>• difficoltà di volare lungo traiettorie curve e/o corridoi</li> <li>• costo elevato</li> <li>• durata di volo limitata (riposo dell'equipaggio)</li> <li>• impossibilità di volo in caso di condizioni meteo pericolose</li> </ul>
Elicottero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• punto di vista ravvicinato sulla scena di interesse</li> <li>• possibilità di volare a bassa quota e velocità</li> <li>• possibilità di volare lungo traiettorie curve e/o corridoi</li> <li>• buona manovrabilità e flessibilità</li> <li>• accesso in spazi aerei congestionati</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• minore copertura areale per unità di tempo</li> <li>• costo elevato</li> <li>• durata di volo limitata (riposo dell'equipaggio)</li> <li>• impossibilità di volo in caso di condizioni meteo pericolose</li> </ul>
UAV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elevata flessibilità e manovrabilità</li> <li>• elevata risoluzione spaziale (inferiore al cm)</li> <li>• possibilità di volare a quote diverse</li> <li>• accesso ad ambienti remoti e pericolosi</li> <li>• punto di vista nadirale e obliquo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• capacità di carico limitata</li> <li>• autonomia limitata</li> <li>• copertura areale limitata</li> </ul>

Tabella 4. Vantaggi e svantaggi delle principali piattaforme geomatiche per l'acquisizione di dati nell'ambito del *Rapid Mapping*.

### 3.2 Sensori e sistemi commerciali

Per quanto riguarda la componente sensoristica, l'evoluzione della tecnologia digitale ha prodotto una serie di diverse soluzioni che possono essere efficacemente utilizzate per applicazioni di *Rapid Mapping*. Generalmente, i sensori ottici di telerilevamento sono suddivisi in sistemi passivi e attivi.

Tra i sensori ottici passivi, numerose soluzioni sono disponibili nell'ambito del telerilevamento da piattaforma aerea e, solitamente, esse sono categorizzate in funzione della dimensione del formato immagine, ovvero classificate in: fotocamere digitali di piccolo, medio e grande formato. Tra queste, le fotocamere digitali di medio formato (da 30 MPx a circa 100 MPx) offrono al giorno d'oggi la massima flessibilità in termini di acquisizione di immagini per *Rapid Mapping* e rappresentano il segmento in più rapida espansione all'interno del mercato di rilievo aereo. Praticamente tutti i fornitori offrono prodotti in questa categoria, la cui performance quasi uguaglia oggi quella dei sistemi di grande formato di prima generazione. L'utilizzo delle fotocamere di medio formato è solitamente rivolto alle applicazioni che necessitano di una risoluzione spaziale medio-alta e ad integrazione di sistemi LiDAR (*Light Detection and Ranging*) a bordo di piattaforme aeree multi-sensore. Lo stato dell'arte di tali sensori è discusso in (Edwards et al, 2013; Remondino, 2011; Petrie, 2010; Grenzdörffer, 2008), mentre un esempio è riportato in Figura 2 (Leica-RCD100 - Leica Geosystems).

Ormai matura, almeno dal punto di vista tecnologico, è anche un'altra categoria di sensori ottici per piattaforma aerea, ovvero i sistemi multi-camera. Essi si configurano di solito come una combinazione di due fotocamere (configurazione fan) o quattro fotocamere (configurazione Maltese-cross), vale a dire una

fotocamera nadirale e quattro oblique inclinate di 45°. Le soluzioni più recenti integrano un numero sempre maggiore di sensori, come MIDAS Octoblique che unisce a una fotocamera verticale 8 fotocamere oblique (Fig. 2). In termini di risoluzione spettrale, solitamente i sistemi multi-camera operano nel campo del visibile (RGB), sebbene alcuni modelli recenti abbiano introdotto anche il canale NIR per la vista nadirale. Il vantaggio principale delle acquisizioni aeree oblique è rappresentato dalla loro capacità intrinseca di rivelare facciate e impronte degli edifici, permettendo dunque di individuare eventuali danni non visibili dal tradizionale punto di vista nadirale. Di conseguenza, ciò ha incoraggiato l'uso delle immagini oblique in applicazioni di *Rapid Mapping*, nonostante si tratti ancora di soluzioni ingombranti, costose e che necessitano di un'adeguata progettazione del volo per far fronte ad alcuni problemi non ancora del tutto gestibili dai software di post-elaborazione (quali, variazione di scala e di *aspect*, occlusioni multiple, ecc.). Questi sistemi sono approfonditamente descritti in (Remondino et al, 2016; Remondino e Gerke, 2015).

Pensate e progettate per le piattaforme UAV, negli ultimi anni sono state lanciate sul mercato diverse soluzioni di fotocamere digitali di piccolo-medio formato e variabile risoluzione spettrale (visibile, NIR, TIR e microonde). Oltre ai sensori RGB, la cui maturazione ha permesso lo sviluppo di fotocamere di alta qualità e risoluzione adatte al *payload* di UAV micro/mini/tattici, esistono oggi diversi modelli di piccoli sensori multi-spettrali e iper-spettrali, che consentono una sempre più accurata classificazione delle immagini acquisite. Infine, notevoli progressi si sono registrati anche nella miniaturizzazione dei sensori termici, che offrono oggi soluzioni di piccole dimensioni e pesi, adatte per la ricognizione e la mappatura a distanza delle aree di pericolo (ad esempio, per

Tipologia di disastro	Dati da rilevare	Tecnologia e/o prodotti	Note
Terremoti	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stato degli edifici (intatto, parzialmente danneggiato, distrutto, ecc.)</li> <li>Condizioni della rete stradale</li> <li>Ricerca dei superstiti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Immagini oblique</li> <li>Immagini nadirali</li> <li>Immagini termiche</li> <li>LiDAR</li> </ul>	In caso di fitta vegetazione, il LiDAR può risultare più efficiente per mappare le tracce superficiali delle faglie.
Frane e valanghe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Localizzazione delle persone sepolte</li> <li>Zonizzazione delle aree e infrastrutture impattate</li> <li>Presenza di strati instabili di neve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Immagini termiche (utili se le persone sono sepolte vicino alla superficie)</li> <li>Immagini nadirali e oblique</li> <li>LiDAR</li> </ul>	Il LiDAR può essere utile per mappare la frana e fornire dati di pendenza e di volume del materiale franato.
Alluvioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>Area impattata</li> <li>Dati volumetrici e DEM/DTM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Immagini nadirali (ortofoto)</li> <li>LiDAR (DEM/DTM)</li> </ul>	Il LiDAR può essere utile per fornire dati da inserire nei modelli di pericolo (es. rugosità delle superfici).
Precipitazioni violente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stato degli edifici (intatto, parzialmente danneggiato, distrutto, ecc.)</li> <li>Condizioni della rete stradale</li> <li>Ricerca delle persone da evacuare.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Immagini oblique</li> <li>Immagini nadirali</li> <li>Immagini termiche</li> <li>LiDAR</li> </ul>	Il LiDAR può essere utile per fornire dati (DTM) da inserire nei software di modellazione del flusso d'acqua e ricavare informazioni geomorfologiche di interesse.
Incendi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Localizzazione degli <i>hot spots</i></li> <li>Direzione di avanzamento dell'incendio e sua evoluzione temporale</li> <li>Valutazione dell'efficienza dell'azione dei vigili del fuoco</li> </ul>	Immagini RGB e termiche	<p>IR è utile per la ricognizione diurna e notturna di incendi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mid-IR rileva forti emissioni di radiazioni;</li> <li>Far-IR rileva la radiazione naturale;</li> <li>NIR può essere utilizzato per fornire dati più precisi eliminando i falsi positivi (oggetti luminosi rilevati durante il giorno).</li> </ul>

Tabella 5. Correlazione tra tipi di disastro naturale, informazioni rilevanti da mappare e tecnologie/prodotti utili per rilevarle.



Figura 2. Alcuni esempi di sensori e sistemi utili per l'acquisizione di dati nell'ambito del Rapid Mapping.

la ricognizione diurna e notturna di incendi). Un esempio dei più recenti sensori specificamente sviluppati per piattaforme UAV è riportato in Figura 2 (Sony Alpha NEX-7).

Passando ai sensori ottici attivi (es. LiDAR), numerose soluzioni sono state sviluppate per le piattaforme aeree (ALS – *Aerial Laser Scanner*): esse sono in grado di acquisire direttamente informazioni metriche della superficie rilevata da cui ricavare DEM e DTM (*Digital Elevation Model, Digital Terrain Model*) di alta qualità e risoluzione. Tali prodotti risultano molto utili per l'analisi del terreno, per monitorare frane e mappare flussi di detriti, per supportare la modellazione dei flussi superficiali, ecc.. D'altra parte, però, essi sono di difficile interpretazione visiva in quanto viene registrata solo la geometria, senza l'informazione RGB: ciò rappresenta un fattore critico per l'elaborazione dei dati, venga essa eseguita manualmente ovvero tramite processi automatici. Pertanto, l'uso di ALS è di solito associato a quello di fotocamere digitali di medio formato, dalla cui integrazione derivano numerosi vantaggi, quali: la penetrazione della vegetazione, la generazione diretta di DTM e la produzione rapida di ortofoto. Più problematico, invece, risulta tuttora l'utilizzo della tecnologia LiDAR su piattaforma UAV a causa di limiti di capacità di carico e stabilità durante il volo.

Infine, sono state recentemente sviluppate numerose soluzioni commerciali multi-sensore, progettate per fornire all'utente finale dei sistemi all-in-one (hardware e software) adatti per *Rapid Mapping*. Comunemente essi integrano sensori di rilievo (sia attivi che passivi), sensori di posizionamento e navigazione (GNSS/IMU) e un'unità di controllo che sincronizza e combina

l'acquisizione delle informazioni geometriche e di posizionamento. Tutti i sensori sono integrati su una piattaforma mobile, come ad esempio aerei, elicotteri o UAV. Inoltre, il sistema è spesso accoppiato a una soluzione software che elabora i dati grezzi per produrre prodotti a valore aggiunto (ad esempio, ortofoto geo-referenziate). Tra le più recenti soluzioni commerciali si annoverano: Trimble/Applanix DSS 500, Helimap System® (Fig. 2), Siteco Sky-Scanner, TopoDrone-4Scight e eBee RTK senseFly.

L'efficienza di acquisizione è generalmente definita come l'area media rilevata per unità di tempo (fissato il GSD – *Ground Sampling Distance*). Definiti l'area da rilevare (AOI - *Area of Interest*) e i requisiti di risoluzione spaziale (GSD), la Tabella 6 elenca i principali aspetti che influenzano la gestione del tempo in fase di acquisizione e propone possibili approcci per aumentarne l'efficienza.

Passando alla fase di elaborazione dei dati raccolti, l'efficienza viene solitamente intesa (e misurata) come il tempo richiesto per processare un certo numero di immagini, calcolando tale tempo come somma dei singoli intervalli di tempo necessari per eseguire ciascuna fase. Ovviamente essa dipende anche dalla capacità di calcolo (sia hardware che software) a disposizione. Fissata quest'ultima, la Tabella 7 elenca i principali fattori da considerare e alcuni suggerimenti per la gestione degli stessi. Tuttavia, è necessario considerare che l'adozione di processi speditivi e/o semplificati, come ad esempio la sostituzione della triangolazione aerea (AT) con la georeferenziazione diretta (DG), di solito influisce negativamente sulla qualità sia metrica che radiometrica dell'ortofoto finale. Nonostante ciò, però, tali scelte possono essere giustificate da richieste di accuratezze meno stringenti a fronte di una cospicua riduzione del tempo necessario. Questo scenario è tipico delle applicazioni di *Rapid Mapping* e verrà meglio discusso nel paragrafo seguente, dove si confronteranno tempi impiegati e le accuratezze raggiunte nell'ambito di due casi di rilievo da piattaforma aerea e UAV.

#### 4. GESTIONE EFFICIENTE DEL TEMPO

##### 4.1 Linee guida

La scelta dei mezzi più appropriati (piattaforme e sensori) per raccogliere le informazioni necessarie (vale a dire i dati rilevanti e i prodotti di valore aggiunto da essi derivati) non è sufficiente. Tali informazioni devono essere prodotte e consegnate nel più breve tempo possibile, vale a dire tipicamente nell'intervallo di 6-12 ore che seguono l'evento. La gestione efficiente del tempo, dunque, rimane la priorità nelle applicazioni di *Rapid Mapping*: l'intero flusso di lavoro, dalla pianificazione del rilievo alla distribuzione del prodotto finale, deve essere adeguatamente considerato al fine di raggiungere la massima efficienza sia in fase di acquisizione che in quella di elaborazione dei dati. Considerando in particolare la produzione rapida di ortofoto da un volo aereo nadirale, che rappresenta uno dei casi più comuni, vengono di seguito proposte alcune linee guida generali utili per aumentare l'efficienza dell'intero flusso di lavoro.

Efficienza di acquisizione dei dati		
Fase	Fattori	Metodi e commenti
Pianificazione del volo	Quota di volo (fissato il GSD)	Volare alla quota massima possibile (ciò reduce il numero di immagini e riduce il tempo sia in fase di acquisizione che in quella di elaborazione).
	Ricoprimento longitudinale	La AT tradizionale richiede il 60%. Se viene saltata la fase di AT, il ricoprimento longitudinale può essere ridotto (ciò reduce il numero di immagini e abbrevia sia la fase di acquisizione che di elaborazione).
	Ricoprimento trasversale	La AT tradizionale richiede il 20%. Se viene saltata la fase di AT, il ricoprimento trasversale può essere ridotto (ciò reduce il numero di immagini e abbrevia sia la fase di acquisizione che di elaborazione).
	Velocità di volo	Volare alla velocità massima possibile (considerando fattori quali: prestazioni delle piattaforme, limiti di <i>forward motion compensation</i> - FMI, fattori economici/ambientali, tempo di esposizione, tempo di salvataggio delle immagini, ecc.)
	Geometria dell'AOI	Se possibile, selezionare un Area di Interesse (AOI) rettangolare per ridurre il numero di virate tra le strisciate.
Volo	Modalità di virata	Preferire <i>short turn</i> rispetto a <i>smooth turn</i> (la scelta dipende dalle capacità del pilota e dalle caratteristiche della piattaforma).
	Tempo di IP (Punto di Inizializzazione) prima di iniziare ad acquisire le immagini	Scegliere il tempo di IP più breve possibile (la scelta dipende dalle capacità del pilota e dalle caratteristiche della piattaforma).

Tabella 6 – Linee guida per aumentare l'efficienza in fase di acquisizione dei dati (ovvero, l'area rilevata per unità di tempo e per un fissato GSD).

Efficienza di elaborazione dei dati		
Fase	Fattori	Metodi e commenti
Generazione delle immagini	Numero di bande (RGB, RGB+NIR, ecc.) Risoluzione radiometrica (8, 16, 24 bits per pixel)	Il tempo di elaborazione dei dati aumenta all'aumentare della dimensione delle immagini. Se possibile, limitare il numero di bande e la risoluzione radiometrica (in funzione delle esigenze specifiche).
Orientamento Interno/Esterno (IO/EO)	AT classica  DG (ricavando EO dai dati GNSS/IMU)	La fase di AT richiede molto tempo in quanto prevede diverse operazioni manuali e/o semi-automatiche (misura delle coordinate 3D e 2D dei GCP, <i>Bundle Block Adjustment</i> - BBA, ecc.). Se le richieste di accuratezza lo permettono, l'AT può essere sostituita da DG. In questo caso, è necessario includere nel flusso di lavoro un volo di calibrazione, ma il tempo complessivo è comunque ridotto.
Ortorettifica	Sovrapposizione tra le immagini  Metodo di calcolo	Ridurla quanto possibile (0% di sovrapposizione tra i <i>tiles</i> )  Scegliere un metodo veloce con interpolazione bilineare.
Mosaicatura	Calcolo delle linee di taglio  Miglioramento radiometrico	Scegliere una mosaicatura semplice ( <i>plain mosaic</i> ) e applicare il <i>tiling</i> per evitare la generazione di immagine nelle aree vuote.  Evitarlo.

Tabella 7 – Linee guida per aumentare l'efficienza in fase di elaborazione dei dati (ovvero, il tempo richiesto per elaborare un certo numero di immagini a parità di capacità di calcolo).

#### 4.2 Casi di studio

Un tipico scenario di produzione di ortofoto da un volo aereo nadirale è descritto in (Lucas, 2015). Il dataset comprende 1000 immagini (formato tiff RGB 8 bit, GSD medio di 15 cm) acquisite con fotocamera di medio formato (Leica RCD30, 60 MPx, dimensione del pixel 6 µm, focale 53 mm) a bordo di un Cessna 206 (velocità di volo 185 km/h). L'area ricoperta e' di

circa 447 km<sup>2</sup> e i dati vengono elaborati secondo (i) l'approccio classico, che include la triangolazione aerea e (ii) l'approccio speditivo, che esclude la fase di AT e ricava i parametri di orientamento esterno delle immagini con georeferenziazione diretta. I tempi richiesti da ciascuna fase dei due approcci di elaborazione sono riportati e confrontati in Tabella 8.

Fase	Approccio classico con AT	Approccio speditivo con DG
Pianificazione del volo	20min	20min
Mobilizzazione del pilota	20min	20min
Acquisizione dei dati	2h 30min	2h 30min
Download del progetto	1h 42min	1h 42min
Generazione dei file tiff	3h 4min	3h 4min
Calcolo della traiettoria	20min	20min
Calcolo di EO	5min	5min
Creazione del blocco	5min	5min
Misura delle coordinate 2D dei GCP	1h 40min	-
Misura delle coordinate 3D dei GCP	4h	-
AT	8h	-
Ortorettifica <sup>(*)</sup>	7h (150% di sovrapposizione, <i>cubic convolution</i> )	1h 44min (0% di sovrapposizione, <i>bilinear resampling</i> )
Mosaicatura	4h 38min ( <i>feature detection e feathering</i> )	1h 17min (mosaicatura semplice e <i>tiling</i> )
Volo di calibrazione (VC) per il calcolo dei parametri di EO	-	40min
Download del progetto (VC)	-	10min

Generazione dei file tiff (VC)	-	12min
Calcolo dei parametri di EO	-	30min
<b>Tempo totale</b>	<b>33h 4min</b>	<b>10h 9min</b>

Tabella 8. Confronto tra i tempi richiesti da ciascuna fase dell'approccio classico (seconda colonna) e quello speditivo (terza colonna). (\*) il tempo richiesto per la produzione del DTM (da dati LiDAR) non è considerato.

Al fine di valutare l'accuratezza del prodotto finale, l'autore riporta i valori di RMSE (*Root Mean Square Error*) calcolati su 15 punti di controllo misurati sull'ortofoto. Ciò si traduce in un livello di accuratezza (RMSE) pari a circa 1.5 volte il GSD nel caso di approccio speditivo (georeferenziazione diretta), che scende a 1 GSD in caso di approccio classico (triangolazione aerea). Partendo da tali risultati e dai valori di tempo riassunti in Tabella 8, si possono ricavare le seguenti linee guida:

- l'approccio speditivo permette un significativo risparmio di tempo (rapporto di 1:3) a fronte di una riduzione dell'accuratezza sul prodotto finale che conferma i dati riportati in letteratura (1.5 GSD contro 1 GSD);
- il risparmio maggiore di tempo si ottiene sostituendo l'AT con la DG (come evidenziato in Tabella 8). Il volo di calibrazione non "costa" troppo in termini di tempo, dal momento che può essere eseguito in parallelo ad altri processi;
- un'ulteriore riduzione del tempo si potrebbe ottenere terminando l'elaborazione subito dopo la fase di ortorettifica;
- nei test, ciascuna fase del processo di elaborazione deve gestire il 100% delle immagini, quindi l'ortofoto dell'intera area è disponibile solo alla fine del processo stesso. Una possibile alternativa potrebbe essere la divisione del dataset in più parti con conseguente segmentazione del flusso di

lavoro. Ciò costituirebbe un vantaggio soprattutto in caso di vaste aree da rilevare, che potrebbero essere suddivise secondo una logica prioritaria al fine di fornire nel più breve tempo possibile alle autorità competenti i dati più urgenti per la gestione dell'emergenza.

Passando a uno scenario tipico del rilievo Rapid Mapping da piattaforma UAV, si fa riferimento agli esperimenti e risultati descritti in (Boccardo et al., 2015). Gli autori utilizzano due diverse tipologie di UAV: un multi-rotore (Hexakopter di MikroKopter, equipaggiato con la fotocamera Nex 5) e un velivolo ad ala fissa (eBee di SenseFly con a bordo una fotocamera Canon Ixus). L'area di interesse (circa 1.5 km<sup>2</sup>) viene scelta tale da simulare una potenziale area soggetta a un evento di emergenza e acquisita a vari livelli di dettaglio (GSD). In particolare, gli autori confrontano diversi approcci di elaborazione dati per produrre l'ortofoto finale, ovvero (i) BBA con GCP (*Ground Control Points*) misurati con rilievo RTK GPS; (ii) BBA con GCP misurati con il ricevitore GPS di uno smartphone; (iii) DG utilizzando i dati di posizionamento/orientamento acquisiti dai sensori a bordo (solo per il volo effettuato con l'eBee). I tempi richiesti da ciascuna fase dei differenti approcci di elaborazione (e acquisizione) dei dati sono riportati e confrontati in Tabella 9.

Fase	Hexakopter volo H 70 m <sup>(1)</sup> smartphone GCP	Hexakopter volo H 70 m <sup>(1)</sup> RTK GCP	Hexakopter, volo H 150 m <sup>(2)</sup> smartphone GCP	Hexakopter, volo H 150 m <sup>(2)</sup> RTK GCP	eBee, volo H 150 m <sup>(3)</sup> DG	eBee, volo H 150 m <sup>(3)</sup> RTK GCP
Riunione iniziale	30-45min	30-45min	30-45min	30-45min	30-45min	30-45min
Posizionamento della squadra nell'AOI	alcune ore	alcune ore	alcune ore	alcune ore	alcune ore	alcune ore
Preparazione del UAV	20min	20min	20min	20min	20min	20min
Posizionamento e misura dei GCP	45min	55min	45min	55min	-	55min
Pianificazione del volo	10min	10min	5min	5min	10min	10min
Volo	13min	13min	9min	9min	17min	17min
Download dei dati	5min	5min	5min	5min	5min	5min
Elaborazione dei dati (produzione dell'ortofoto)	1h 30min	1h 30min	1h 25min	1h 25min	1h 40min	1h 50min
Divulgazione dei dati (web map server)	10min	10min	10min	10min	10min	10min
<b>Tempo totale</b>	<b>3h 53min</b>	<b>4h 3min</b>	<b>3h 39min</b>	<b>3h 49min</b>	<b>3h 22min</b>	<b>4h 27min</b>

Tabella 9. Confronto tra i tempi richiesti da ciascuna fase di diversi approcci di acquisizione ed elaborazione dei dati. <sup>(1)</sup>190 immagini, GSD medio 2.2 cm; <sup>(2)</sup>120 immagini, GSD medio 5 cm; <sup>(3)</sup> 160 immagini, GSD medio 5 cm.



Alcuni punti di controllo vengono infine utilizzati per valutare l'accuratezza dell'ortofoto e la conseguente scala di rappresentazione ammissibile. Tralasciando i singoli valori ottenuti, per i quali si rimanda a (Boccardo et al., 2015), l'analisi evidenzia che l'approccio di georeferenziazione diretta permette di conseguire un'accuratezza planimetrica di circa 1.5 m, che può essere accettabile per prodotti utili alla primissima fase che segue l'emergenza. Partendo dagli esperimenti e dai risultati derivanti da essi, le linee guida delineate dagli autori possono essere riassunte come segue:

- le piattaforme multi-rotore risultano essere più flessibili e consentono GSD ridotti. Rappresentano la scelta migliore in caso di rilievo di aree piccole/isolate o singoli edifici;
- le piattaforme ad ala fissa riducono il tempo di acquisizione, ma richiedono un'area estesa per le operazioni di decollo/atterraggio. Rappresentano la scelta migliore in caso di rilievo di aree molto estese;
- le fasi che richiedono il maggior tempo sono quelle iniziali (pianificazione e schieramento di squadra e strumentazione);
- la georeferenziazione diretta permette di ottenere un'accuratezza orizzontale di circa 1.5 m, che risulta essere sufficiente nella fase di risposta immediata.

## 5. IL PROGETTO RAPIDMAP

RAPIDMAP (RAPID MAPping, [rapidmap.fbk.eu](http://rapidmap.fbk.eu)) è un progetto CONCERT-Japan, ovvero finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del programma *Capacities Programme of the EU 7th Framework Programme for Research and Technology Development* (FP7). Il team di lavoro è costituito da istituti di ricerca d'eccellenza provenienti da diversi Paesi: Fondazione Bruno Kessler (Italia), Tokai e Nihon University (Giappone), ETH (Svizzera), Leibniz University Hannover (Germania). Integrando le competenze maturate nel tempo dai soggetti coinvolti nell'ambito di *Remote Sensing* (RS) e *Geographical Information System* (GIS), il progetto si è proposto di sviluppare metodologie efficaci per ottenere nel più breve tempo possibile informazioni utili riguardanti le aree colpite da catastrofi naturali (Cho et al., 2014; Baltsavias et al., 2013). La strategia applicata si basa sull'integrazione di dati derivanti da sensori diversi (ottici e SAR) a bordo di piattaforme diverse (satelliti, aerei e UAV). In particolare, sono state sviluppate soluzioni efficaci per:

- permettere una localizzazione in tempo (quasi) reale delle aree danneggiate dall'evento;
- registrare immagini e mappe multi-risoluzione (sia spaziale che temporale);
- integrare dati e prodotti derivanti da diversi sistemi e tecniche di RS;
- rendere facilmente disponibili e fruibili i prodotti ottenuti (ortofoto e mappe di danno) per supportare il lavoro delle amministrazioni locali e delle squadre di soccorso, che si occuperanno di gestire l'emergenza. A tale scopo, è stata sviluppata una piattaforma WebGIS che permette di visualizzare e interrogare in tempo reale i dati prodotti sulle aree danneggiate.

Al fine di testare la metodologia sviluppata con dati reali, sono stati scelti tre casi di studio, ovvero: l'area in Giappone colpita dallo tsunami Tohoku nel 2011 e le città di San Felice sul Panaro (Emilia Romagna) e L'Aquila (Abruzzo) in Italia, colpite dai distruttivi terremoti del 2012 e 2009. I danni causati dagli eventi sismici italiani, in particolare, sono stati mappati a partire da immagini aeree ad alta risoluzione acquisite dal

sistema Vexcel Ultracam XP (GSD 5 cm) e MIDAS Pictometry (GSD 11 cm) sopra la città emiliana e quella abruzzese, rispettivamente. L'approccio sviluppato (Fig. 3) si articola in tre fasi principali:

- pre-processing, che prevede inizialmente la generazione del DSM (*Digital Surface Model*) e true ortofoto a partire dalle immagini originali con procedura fotogrammetrica. I prodotti 2D (ortofoto) e 3D (modello delle superfici) ottenuti sono poi utilizzati per l'estrazione di *features* di interesse spettrali e geometriche;
- classificazione urbana, che consiste nella localizzazione degli edifici tramite approcci supervisionati o non supervisionati. Opzionalmente, è previsto anche l'utilizzo di dati vettoriali di supporto, come mappe catastali;
- classificazione degli edifici, che consiste nella localizzazione delle aree danneggiate tramite un approccio non supervisionato formulato all'interno di un modello grafico probabilistico (*Conditional Random Fields*).

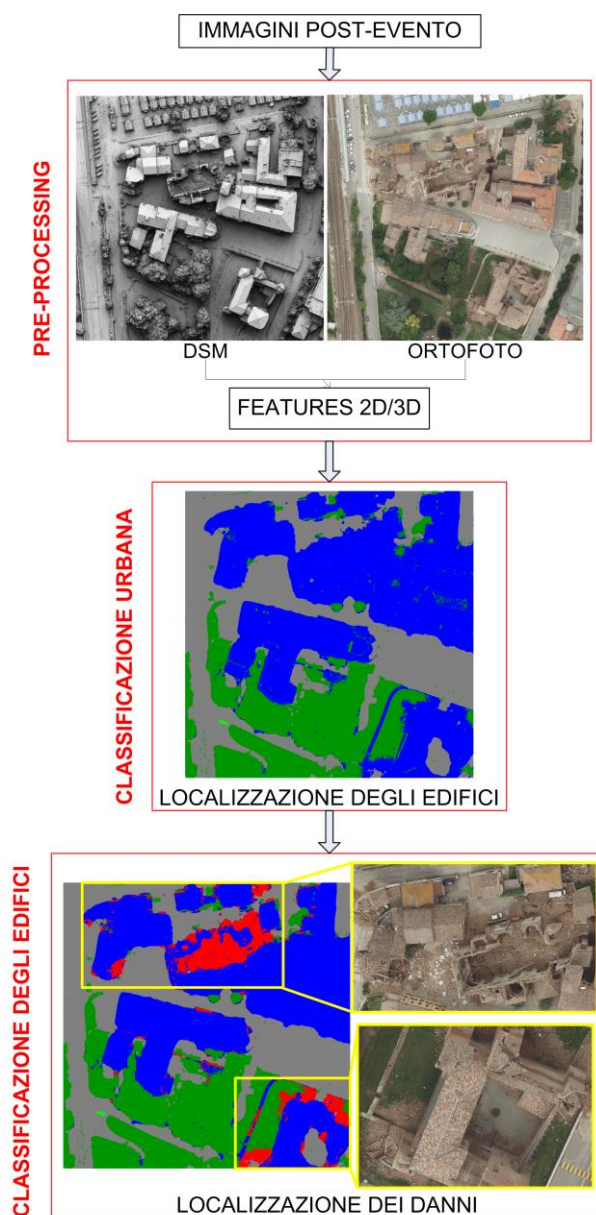


Figura 3. La metodologia sviluppata per l'estrazione di mappe di danno a partire da immagini post-evento (Esempio: San Felice sul Panaro).

Le potenzialità del metodo sono state dimostrate dai primi risultati ottenuti su due aree campione scelte tra quelle maggiormente danneggiate dal sisma di San Felice sul Panaro (Nex et al., 2014). I risultati completi riferiti ad entrambi i casi di studio, i confronti tra le strategie (supervisionate e non) sviluppate e la valutazione della performance della metodologia rispetto a *ground truth* indipendente sono oggetto di un contributo scientifico in corso di pubblicazione.

## 6. CONCLUSIONI

In caso di disastro naturale, numerose sono le soluzioni geomatiche adottabili per *Rapid Mapping*, sia in termini di strumentazione (piattaforme e sensori) per l'acquisizione dei dati, sia in relazione all'approccio di elaborazione degli stessi. In molti casi, la decisione finale dipenderà dalle attrezzature a disposizione, dalla posizione ed estensione dell'area impattata e, spesso, anche dalle risorse economiche stanziare per finanziare l'intervento. Al fine di supportare (e rendere più veloce) il processo di selezione e intervento, questo lavoro di ricerca ha fornito una revisione delle soluzioni geomatiche più recenti in termini di piattaforme, sensori e sistemi commerciali. Partendo dalle informazioni più rilevanti che devono essere acquisite, sono stati discussi i vantaggi e le limitazioni di diversi approcci utili per produrre prodotti finali di valore aggiunto. La gestione del tempo rimane la priorità: tali prodotti devono essere consegnati entro qualche ora (o, addirittura, in tempo reale) e in formato standard (ovvero, documentabile). Tra le soluzioni più flessibili per l'acquisizione dei dati trova spazio soprattutto l'impiego di elicotteri e di piattaforme UAV. Queste ultime, in particolare, dimostrano numerosi vantaggi utili per il *Rapid Mapping*, quali: accessibilità a siti pericolosi senza mettere a rischio la sicurezza dell'operatore, elevata flessibilità e manovrabilità e possibilità di acquisire viste sia nadirali che oblique ad elevata risoluzione spaziale. Inoltre, lo sviluppo tecnologico si sta muovendo nella direzione di soluzioni che favoriscano il trasferimento dei dati in tempo reale e l'adattamento dei nuovi sensori al *payload* dalle piattaforme UAV: se efficacemente supportato dalla comunità scientifica, tale processo potrà ulteriormente spingere in futuro l'impiego di tali sistemi in applicazioni di *Rapid Mapping*. In particolare, la ricerca dovrebbe essere indirizzata a risolvere una serie di problematiche che rimangono ancora aperte allo stato attuale, ovvero: la stabilità della piattaforma, le limitazioni in termini di copertura areale e tempo di volo e l'accuratezza perseguibile con approccio di georeferenziazione diretta.

## 7. BIBLIOGRAFIA

Baltsavias, E., Cho, K., Remondino, F., Soergel, U., Wakabayashi, H., 2013. RAPIDMAP – Rapid Mapping and information dissemination for disasters using remote sensing and geoinformation. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(7/W2), pp. 31-35.

Boccardo, P., 2016. Geomatics and Emergency Management. Workshop “*Multidisciplinary and transnational applications of Geomatics*”, Congresso SIFET 2016.

Boccardo, P., Chiabrando, F., Dutto, F., Tonolo, F. G., Lingua, A., 2015. UAV deployment exercise for mapping purposes: Evaluation of emergency response applications. *Sensors*, 15(7), pp. 15717-15737.

Cho, K., Wakabayashi, H., Yang, C.H., Soergel, U., Lanaras, Ch., Baltasavias, E., Rupnik, E., Nex, F., Remondino, F., 2014. RAPIDMAP project for disaster monitoring. *Proceedings 35th Asian Conference on Remote Sensing*, 27-31 October 2014, Nay Pyi Taw, Myanmar.

Colomina, I., Molina, P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, pp. 79-97.

Edwards, E., Frey, E., Jones, P. A., Jungquist, R. K., Lareau, A. G., Lebaron, J., King, C. S., Komazaki, K., Toth, C., Walker, S., Whittaker, E. F., Zavattoni, P., Zuegge, H., 2013. Cameras and sensing systems. In: *Manual of Photogrammetry*, J. Chris McGlone (Ed.), ASPRS, Sixth Edition, pp. 615-717.

GIM-International UAS edition, 2016. [www.geo-matching.com/category/id64-uas-for-mapping-and-3d-modelling.html](http://www.geo-matching.com/category/id64-uas-for-mapping-and-3d-modelling.html) (3 Feb. 2017).

Grenzdörffer, G., 2008. Medium format digital cameras - a EuroSDR project. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, pp. 1043-1050.

Joyce, KE, Wright KC, Samonsov SV, Ambrosia VG, 2009. Remote sensing and the disaster management cycle. In: *Advances in geoscience and remote sensing*, G. Jedlovec (Ed.) In-Tech Publishing, Vienna, pp. 317-346.

Lucas, G., 2015. Considering time in orthophotography production: from a general workflow to a shortened workflow for a faster disaster response. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(3), pp. 249-255.

Nedjati, A., Vizvari, B., Izbirak, G., 2016. Post-earthquake response by small UAV helicopters. *Natural Hazards*, 80(3), pp. 1669-1688.

Nex, F., Rupnik, E., Toschi, I., Remondino, F., 2014. Automated processing of high resolution airborne images for earthquake damage assessment. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(1), pp. 315-321.

Nex, F., Remondino, F., 2014. UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1), pp. 1-15.

Petrie, G., 2010. Current Developments in Airborne Digital Frame Cameras: As Displayed in the Intergeo 2010 Exhibition. *GeoInformatics*, 13(8), pp. 34-40.

Remondino, F., Gerke, M., 2015. Oblique Aerial Imagery – A Review. *Proc. Week 2015*, D. Fritsch (Ed.), pp. 75-83.

Remondino, F., 2011. Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3(6), pp. 1104-1138.

Remondino, F., Toschi, I., Gerke, M., Nex, F., Holland, D., McGill, A., Talaya Lopez, J. and Magarinos, A., 2016. Oblique aerial imagery for NMA—some best practices. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41(B4), pp. 639-645.

UNEP - United Nations Environment Programme, 2012. Early Warning Systems: A State of the Art Analysis and Future Directions. Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP).

UN-SPIDER - United Nations Platform “Space-based Information for Disaster management and Emergency Response”. <http://www.un-spider.org/space-application-matrix> (3 Feb. 2017).