

Rilievi integrati UAV e terrestri, basati su tecnologia SLAM, a Pescara del Tronto

*Original*

Rilievi integrati UAV e terrestri, basati su tecnologia SLAM, a Pescara del Tronto / Sammartano, Giulia. - In: ATTI E RASSEGNA TECNICA. - ISSN 0004-7287. - 3:(2019), pp. 186-192.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2844237 since: 2020-09-07T14:35:45Z

*Publisher:*

Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# Rilievi integrati UAV e terrestri, basati su tecnologia SLAM, a Pescara del Tronto

## *Integrated UAV and terrestrial 3D SLAM-based mapping in Pescara del Tronto village*

**GIULIA SAMMARTANO**

### Abstract

L'integrazione di dati fotogrammetrici e laser scanning, nel contesto dei sistemi rapidi, e l'ottimizzazione di modelli 3D da essi derivati è stata oggetto della tesi di dottorato dell'autrice<sup>1</sup>. Il presente contributo è una sintesi estremamente schematica di un caso applicativo scelto e affrontato nella tesi perché emblematico dell'integrazione e la validazione di modelli derivati dalla fotogrammetria UAV e dai sistemi mobili di scansione, in particolare gli scanner portatili basati sulla tecnologia SLAM. Il punto di vista aereo infatti è quello proposto e ampiamente validato in caso di criticità che interessano il contesto al suolo, o nel caso l'accesso agli spazi per via terrestre non sia consentito, nel qual caso l'approccio range-based (scansioni laser) viene proposto e validato congiuntamente.

*The integration of photogrammetric and laser scanning data, in the context of rapid mapping, and the optimization of derived 3D models was the subject of the author's doctoral thesis. This contribution is an extremely schematic summary of case study chosen and addressed in the thesis because it is emblematic of the integration and validation of models derived from UAV photogrammetry and mobile scanning systems, in particular portable scanners based on SLAM technology. The aerial point of view indeed is the one proposed and widely validated in case of critical issues affecting the ground-related context, or if the access to spaces by land is not allowed, in which case the range-based handheld mapping system is proposed and jointly validated.*

### Introduzione

Una delle sfide più importanti della Geomatica applicata al Disaster Management (DM) e al pronto intervento nel caso di calamità naturali, come nel caso degli eventi sismici che hanno colpito le aree del centro Italia tra la fine del 2016 e l'inizio 2017, è quello di fornire soluzioni operative versatili ed efficaci a supporto del rilievo speditivo del danno. Inoltre, un'attenzione particolare deve essere posta anche a grande scala nel caso in cui si parli di esempi di patrimonio culturale di sensibile valore storico così come di aree diffuse di tessuto appartenente al patrimonio urbano denso e stratificato. Quando ci si confronta in maniera tangibile con scenari post-disastro e ci trova a operare in un'eredità profondamente ferita e ripetutamente distrutta come quello del centro di Pescara del Tronto, frazione di Arquata del Tronto (AP), si percepiscono gli aspetti cruciali benché controversi del lavoro sul campo, che riguardano la presenza di operatori nei momenti di ispezione in differenti condizioni di esposizione al rischio (Figura 1).

Giulia Sammartano, dottore di ricerca in Beni architettonici e paesaggistici, assegnista in Geomatica presso il Politecnico di Torino, DAD giulia.sammartano@polito.it



Figura 1. Un momento dell'acquisizione dati del gruppo di Geomatica nella Missione della Task Force a ottobre 2016.

Esperti del corpo di Protezione Civile e Vigili del Fuoco, nonché specialisti tra cui ingegneri, sismologi, tecnologi geomatici, progettisti e restauratori si trovano spesso coinvolti, in tempi e approcci nonché con contenuti differenti, ad agire su ciò che resta dei luoghi e delle strutture da mettere in sicurezza, misurare, consolidare, demolire, smaltire, restaurare, riprogettare.

### 1. Sistemi di rapid mapping per modelli *reality-based* e *user-oriented*: fotogrammetria UAV e scanner portatili

L'opportunità di beneficiare del contenuto informativo metrico e della navigazione diretta 2D e 3D di modelli digitali da rilievo *reality-based* ad alta risoluzione e con alto grado di accuratezza, tramite, ad esempio, dispositivi portatili e interfacce 3D, sembra una promessa possibile per un futuro non così lontano. Il primo passo è senz'altro lavorare nella direzione dell'ottimizzazione dei workflow operativi di misura del costruito alla scala urbana e integrazione dei dati per la derivazione di informazioni. Infatti, nell'ambito delle sperimentazioni di Geomatica condotte nei mesi del sisma è stato importante testare la competitività di metodi e tecnologie alternative per l'acquisizione speditiva di dati 3D e la creazione e l'ottimizzazione di modelli multi-contenuto, multi-scala e multi-temporali che possano essere una base conoscitiva completa di informazioni.

Sicuramente la direzione dell'evoluzione tecnologica delle metodologie di digitalizzazione predilige, come già ampiamente affrontato in questo volume, in questi scenari metodologie cosiddette di *rapid mapping*<sup>2</sup>: fotogrammetria digitale da drone<sup>3</sup> equipaggiato con camere e sensori ad alta risoluzione (Figura 2), o da terra con camere COTs (*commercial off-the-shelf*) reflex o compatte (Figura 3), oppure ancora sistemi portatili di mobile mapping (MMSs)<sup>4</sup> basati su una fusione di sensori LiDAR e di posizionamento. Essi sono di agevole impiego e solitamente più economici rispetto ad approcci più consolidati di tipo statico, ad

alta risoluzione e densità di punti e quindi non competitivi nel bilancio dei costi complessivi: tempo, risorse, risultati. Qui infatti il concetto di efficacia del rilievo è ancora più rilevante nella scelta dell'approccio da praticare e la validità non è soltanto funzione alla qualità del contenuto metrico atteso ma piuttosto della ricchezza di dati multi-scala, e in ogni caso risultato di una sinergia di fattori: la densità e accuratezza del dato, le abilità idonee dell'operatore esperto, l'investimento tecnologico richiesto e il tempo impiegato.

In particolar modo quello che è possibile affermare grazie agli sforzi di ricerca direzionati verso il perfezionamento e la sempre maggiore automazione dei processi di trattamento dati, è che la finalizzazione dei modelli *reality-based* passi attraverso due fasi cruciali e correlate: approssimazione e interpretazione. Questo è auspicabile possa poi ottimizzare i protocolli reali operativi di l'acquisizione e gestione dati stessa nel momento del pronto intervento.

La grande quantità di dati acquisiti dalle tecnologie digitali di rapid mapping e il concetto di approssimazione, strettamente connesso alla scala e a un contenuto di informazioni atteso, porta altresì a concepire l'accuratezza richiesta del prodotto metrico, e con essa le procedure robuste di verifica e validazione. Per questo lo stadio di approssimazione dei contenuti geometrici e radiometrici deve sempre essere condotta alla luce dal processo interpretativo *user-oriented*, che dall'altro lato, prevede senz'altro come necessario il filtro degli approcci metodologici coinvolti che beneficiano del valore aggiunto del modello digitale, tanto più in contesti applicativi come quello emergenziale qui affrontato.

Le informazioni sono derivabili dai modelli metrici e dalle loro elaborazioni, che si presentano sotto varia forma, a partire da nuvole di punti, modelli continui di superficie 3D (mesh), oggetti vettoriali corrispondenti a profili di sezione, prodotti raster continui come modelli di superficie (DSM/DEM). Per ognuno di essi, algoritmi automatici o semi-assistiti di segmentazione, classificazione, filtraggio, interpolazione, vettorializzazione, analisi di deviazione, analisi spaziali e differenze multi-temporali permettono di estrarre un valore aggiunto intrinseco alle ricostruzioni continue 3D multi-scala e multi-contenuto<sup>5</sup> (Figura 3).

Esse possono essere quantitative e misurabili, e possono concernere: la ricostruzione geometrica 3D dell'oggetto o del complesso urbano; la modellazione e analisi del suo intorno, come l'andamento del terreno e micro-topografia; l'analisi della geometria in relazione alla sua struttura e dei suoi fenomeni deformativi associabili ad anomalie della morfologia originaria e delle geometrie generative (planarità orizzontali, verticalità, fuoripiombo di muri, torri, campanili, curvature di volte ecc.); ispezioni anche visive e qualitative relative agli attributi radiometrici intrinseci al contenuto metrico di ortofoto e texture ad alta risoluzione, da cui derivare informazioni sulle condizioni di superficie (quadro fessurativo, materiali e patologie, degradi, ispezione delle coperture ecc.). In seguito ne verranno richiamati alcuni esempi.

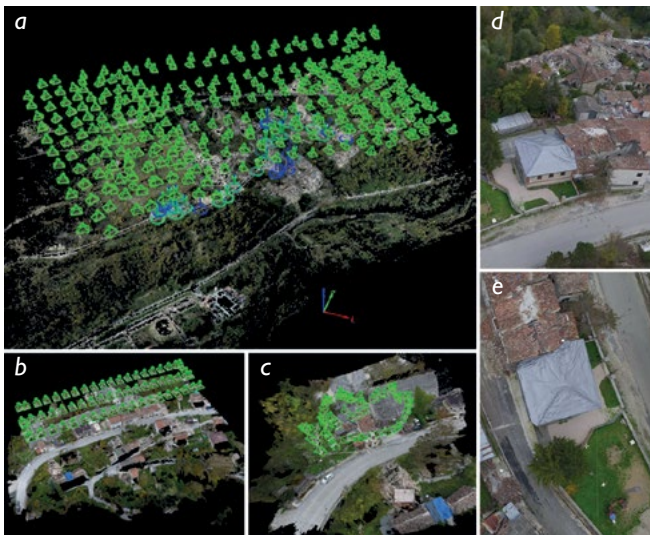


Figura 2. Acquisizioni fotogrammetriche da UAV. (a) il volo eBee nadirale su tutto il paese; (b, c) esempi di voli localizzati al blocco nord, e all'edificio n°5 in modalità obliqua manuale. (d) immagine obliqua; (e) immagine nadirale.

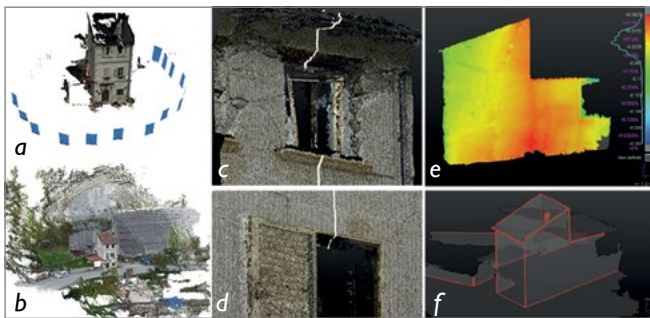


Figura 3. (a) immagini orientate da DSLR; (b) modello di punti integrato terrestre e da UAV alla scala dell'edificio. (c) nuvola di punti ad alta risoluzione e (d) lettura del profilo di sezione lungo le aperture; (e) confronto tra la superficie della muratura e un piano verticale, (f) estrazione di piani per modello di superficie derivato semplificato.



Figura 4. Confronto tra modelli: (a) nuvola DSM del volo fotogrammetrico UAV; (b) mappatura 3D da ZEBI mobile mapping system con visibilità della traiettoria percorsa, in rosso.

## 2. Il ruolo dei modelli 3D. Il caso di Pescara del Tronto

È ben noto come il processo interpretativo delle condizioni di emergenza e danno nelle prime fasi di intervento è normato da procedure standard piuttosto condivise<sup>6</sup>. Esso è oggi largamente basato su mappe preliminari di fotointerpretazione a medio-piccola scala da dati aerei e satellitari, e solo recentemente con la sperimentazione di immagini da drone equipaggiato con camera ad alta risoluzione (Emergency Mapping Service – EMS<sup>7</sup>) e poi sull'ispezione visuale in-situ delle tracce osservabili e quindi definito da scale di valori che relazionano empiricamente l'intensità sismica con il grado di danno visibile. Nel panorama europeo esiste una duplice scala: *European Macroseismic Scale - EMS98*<sup>8</sup> e la *Copernicus EMS*, impiegata durante le attivazioni di rapid mapping; di particolare interesse, in quello italiano, *Schede AeDES*<sup>9</sup> e *Schede ministeriali A-DC e B-DP*<sup>10</sup> per chiese ed edifici in muratura. Relativamente alle fasi di protocolli standard successive, del rilievo del danno a grande scala e della conseguente produzione di documentazione metrica a supporto delle analisi di vulnerabilità per la pianificazione delle direttive di intervento, il ruolo dei modelli 3D integrati della geomatica può essere cruciale e sempre più può contribuire alla valutazione del rischio e vulnerabilità sismica<sup>11</sup>. Le principali informazioni che devono essere derivate dalle ispezioni sul campo sono i vincoli di agibilità negli spazi e delle vie di collegamento al centro urbano e agli aggregati interni, e le condizioni statico strutturali degli edifici.

Nel centro abitato di Pescara del Tronto sono state compiute le già presentate missioni di rilevamento estensivo principalmente di tipo fotogrammetrico da UAV<sup>12</sup> del borgo e del suo intorno dato dalla sua particolare posizione e conformazione topografica (Figura 2). Non si è comunque esclusa la potenzialità di integrare ad essi e valutare dati 3D acquisiti da terra tramite sistemi speditivi avanzati di tipo *image-based* (Figura 3) e *range-based da tecnologie SLAM* (Figura 4), e su questo si è avviato l'indirizzo di una ricerca specifica<sup>13</sup>.

A causa delle ripetute scosse che hanno fortemente avanzato lo stato di danno e i livelli di collasso progressivi e diffusi, sono proseguite le operazioni di volo in chiave multi-temporale e sono stati quindi raccolti datasets coregistrati<sup>14</sup> riferiti alle condizioni di agosto, settembre, fine ottobre, e dicembre 2016, successivi gli eventi sismici principali occorsi. La caratteristica dei voli eseguiti è sicuramente quella di essere, come già introdotto<sup>15</sup>, multi-scala perché derivati da piattaforme diverse con varie camere e altrettante condizioni di volo. Per richiamare lo scenario progettuale dei rilievi:

- i voli complessivi sull'abitato e le vie di comunicazione sono stati eseguiti con il superleggero *eBee di SenseFly* con tre blocchi di fotogrammi (Figura 2a) e una risoluzione del pixel a terra (il GDS: *Ground Sample Distance*) di circa 5cm/px;
- i voli a scala maggiore dedicati alla documentazione dei 3 blocchi principali, nella forma di isolati, con un drone multirottore *Inspire 1 DJI* di proprietà del gruppo SAPR



Figura 5. Modello 3D mesh texturizzato derivato da fotogrammi orientati acquisiti con drone Inspire 1 del gruppo VVF relativo a fenomeni di danni e crolli nell'area sud.

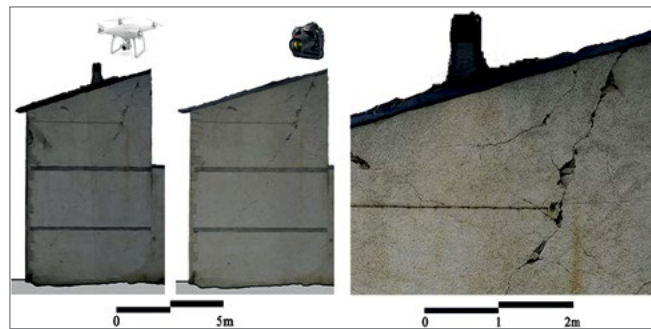


Figura 6. Lettura delle fessurazioni su ortofoto digitale del fronte laterale est da modello 3D calcolato, con fotogrammetria UAV (a), terrestre (b), e con loro integrazione (c).

dei Vigili del Fuoco<sup>16</sup>, garantendo una risoluzione a terra di circa 2 cm/px. Il blocco *nord* era disposto lungo la via di accesso alla città, in un'area pressoché piana ma addossata a una grande parete di roccia su cui si imposta il viadotto. Il blocco *centrale* (Figura 2b, d, e) era costituito da un isolato racchiuso tra le due strade a differente quota con un dislivello di quasi 2 m e che connettono l'area nord e sud del paese. Il blocco *sud* si trovava in un'area topograficamente complessa con edifici disposti a quote diverse e su terreni in discesa;

- i voli a grande scala su singoli edifici (Figura 2c) che sono stati eseguiti con volo manuale pianificato nadirale e obliquo con il quadricottero *Phantom 4 DJI*. Con una quota di volo di circa 20-25 m, il risultato finale del modello è stato un GSD=0,01m con una accurata radiometria.

Da questi modelli 3D ad alto contenuto metrico e radiometrico, e in particolare attraverso la lettura della *texture* ad alta risoluzione, possono essere potenzialmente derivabili informazioni utili ad arricchire la lettura interpretativa della condizione strutturale degli edifici post-sisma (Figura 3), oltre che dati metrici accurati come pendenze, dislivelli, profili di piante e sezioni complessive e continue di edifici, crolli (Figure 5, 8c), quantificazione volumetriche di macerie e verifica delle connessioni con il terreno, fessurazioni (Figura 6), comparabili con la scala di rappresentazione compresa tra 1:50 per i voli a grande scala, e 1:100-1:200 per i voli a quote maggiori<sup>17</sup>.

La ricerca è stata condotta<sup>18</sup>, nello specifico, nella direzione di integrare i dati a grande scala originati da un punto di vista tipicamente aereo, benché 3D e completo in quanto derivato da acquisizioni nadirali e oblique (Figura 4a) con i dati di tipo terrestre rapidi e continui a grande scala, derivanti da una mappatura da MMS (Figura 4b). In questa sperimentazione è stato impiegato lo ZEB1 un sistema portatile commercializzato da GeoSLAM<sup>TM</sup> a partire dal prototipo Zebedee che si basa su uno sviluppo dell'algoritmo SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*). La testa rotante del sistema, emette continuamente un raggio

2D laser durante l'acquisizione (Hokuyo UTM-30LX) e parallelamente la sensoristica inerziale IMU, con giroscopio, accelerometro e magnetometro, contribuisce alla stima del tracciamento della traiettoria percorsa dall'operatore che trasporta manualmente lo strumento. L'algoritmo interviene nella soluzione del problema di posizionamento in assenza di sensori GNSS. Durante l'acquisizione in ambienti geometricamente complessi e caratterizzati, la capacità dell'algoritmo SLAM di allineare i profili estratti a quelli precedenti continuamente, con una sorta di metodo di triangolazione inversa, aiuta il sistema a stimare la posizione del centro dello strumento e quindi della traiettoria. Essa sarà tanto ottimizzata quanto più si percorrono tratti comuni di percorso e si torna in chiusura nel punto di partenza. Grazie alla sua portabilità, a mano o montato su dispositivi mobili, e al suo raggio massimo di acquisizione di circa 30 m in ambienti interni o esterni racchiusi e circa 15 m in esterni ampi e aperti, il sistema ZEB1 ha calcolato a Pescara del Tronto, ad esempio nel blocco centrale (Figura 4b), una nuvola di punti densa di circa 20.000 pt/m<sup>3</sup> in una traiettoria eseguita lungo 200 m, nel corso di circa 10min con una velocità raccomandata non superiore a 0,5m/sec (14,5 mln di punti in totale).

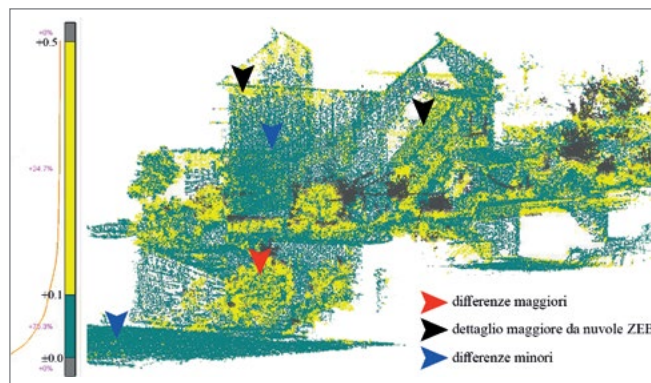


Figura 7. Analisi comparativa tra le due nuvole di punti DSM da UAV e SLAM-based. La mappa di deviazione evidenzia, in verde i punti con minore errore  $0,0 < 74,5\% < 0,10m$ , e in giallo le aree di maggior scostamento  $0,01 < 24,7\% < 0,5m$ .

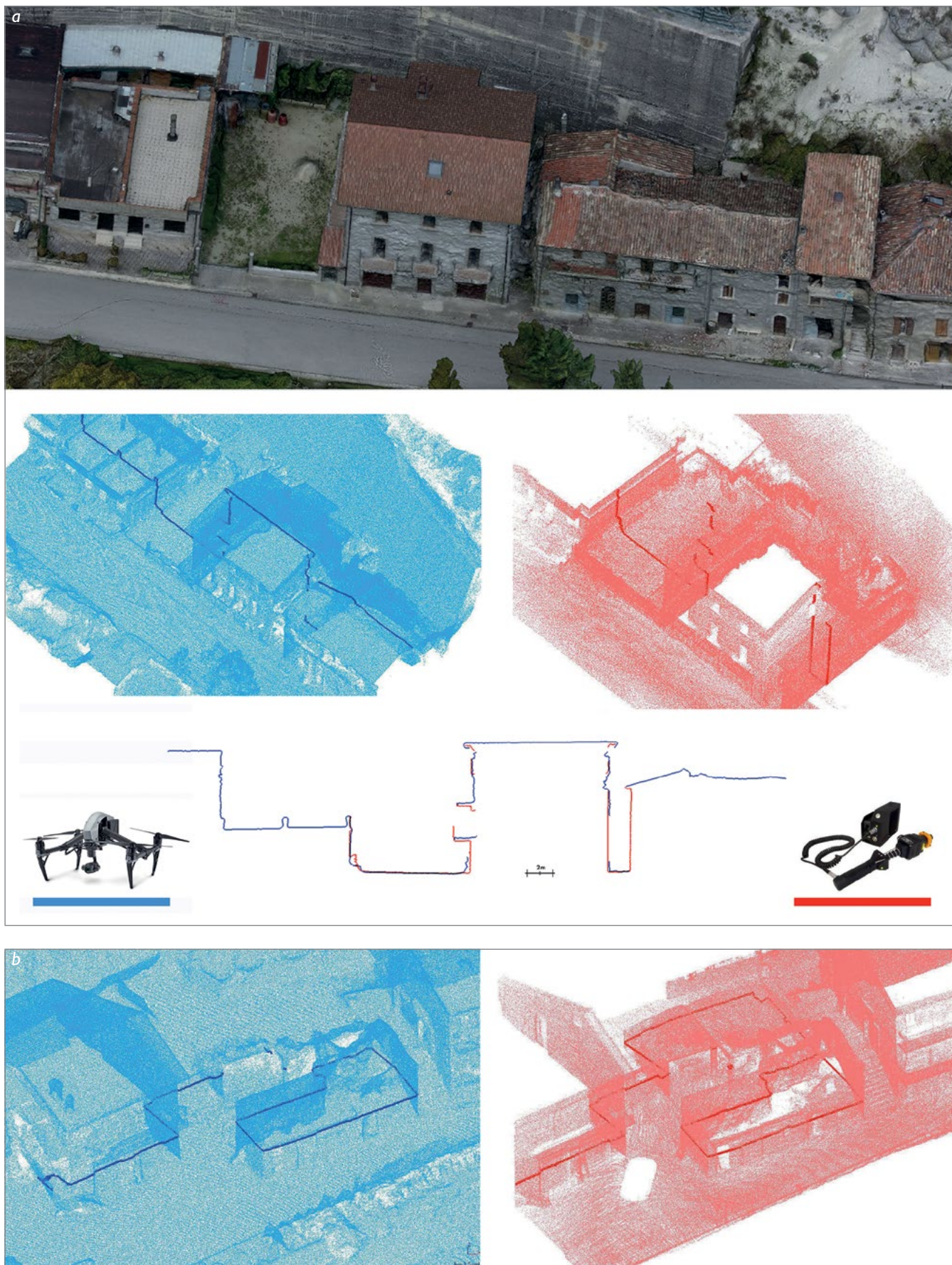
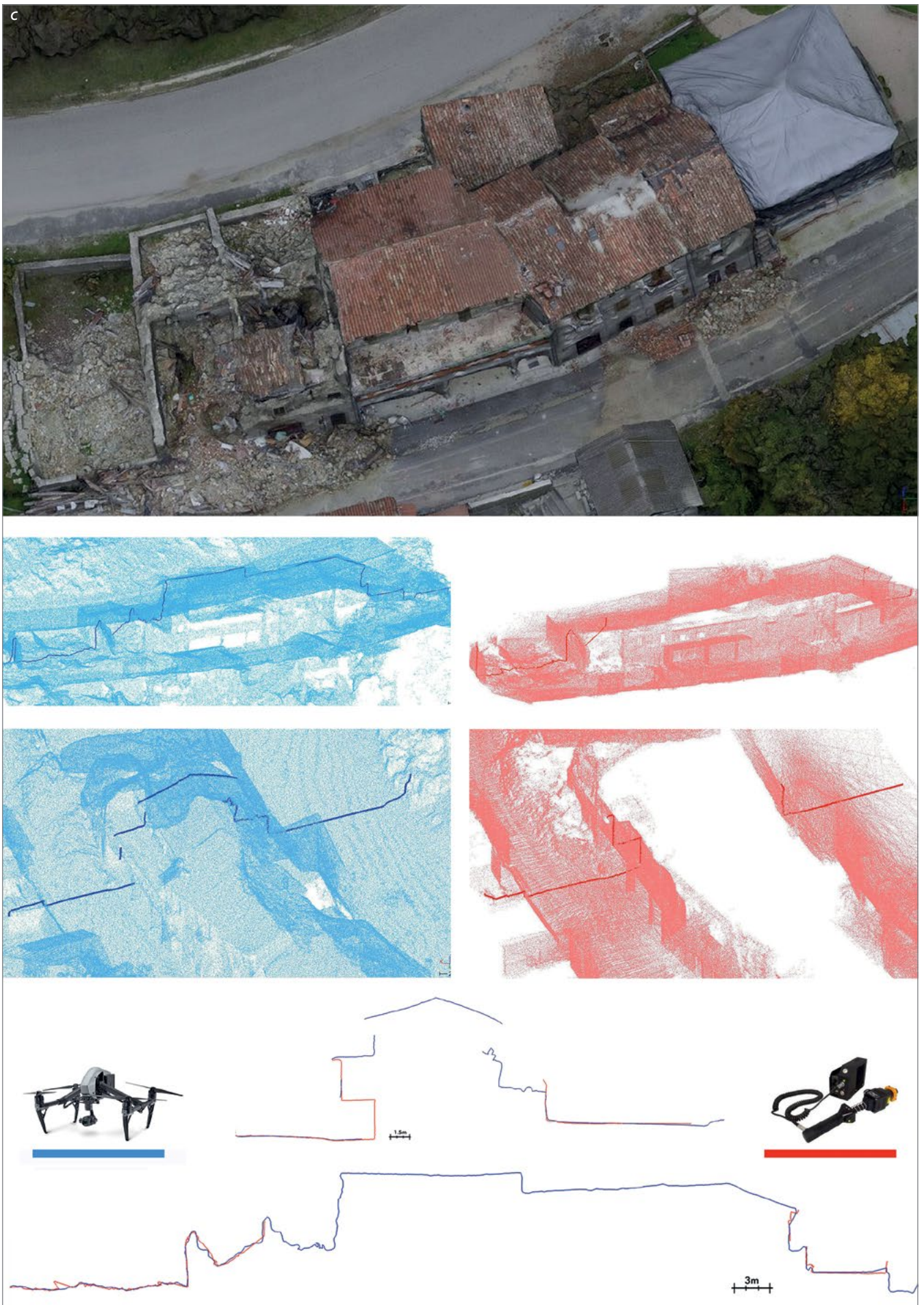


Figura 8. Confronto di DSM e di profili di sezione estratti dai due modelli 3D UAV e ZEBI, derivanti dalla differente accessibilità e visibilità degli spazi per: (a) l'area nord, sezione longitudinale; (b) area sud, sezione orizzontale, riferita al blocco di Figura 5; (c) blocco centrale, sezione longitudinale e trasversale.



### 3. Valutazione e validazione dei modelli 3D

Relativamente al contenuto metrico dei dati 3D dei due modelli, il livello di dettaglio raggiunto puntualmente dal laser portatile ZEB1 è competitivo e nettamente maggiore del modello di superficie ricostruito dalla mappatura da drone, benché non risulti continuo e inoltre è incompleto delle superfici di coperture.

Infatti da un confronto metrico di due nuvole sull'area di un edificio del blocco sud, caratterizzato da una complessità topografica notevole, emerge come, quasi il 75% della nuvola da scanner mobile risulti coincidente alla nuvola UAV entro il valore di 0,1 m<sup>19</sup>. Per il resto, a esclusione delle grandi differenze superiori a 0,1 m nelle aree arboree circostanti, causate dal rumore della nuvola (errore accidentale), la nuvola ZEB dimostra di essere caratterizzata da un maggior dettaglio della prima, attribuibile al punto di vista privilegiato terrestre, come l'area sotto le falde in connessione con il tetto, e l'ingresso porticato della casa.

L'integrazione delle due soluzioni tecnologiche quindi risulta vantaggiosa e sicuramente privilegiata rispetto a soluzioni tradizionalmente più statiche in riferimento al loro contenuto informativo metrico. La mappatura speditiva con uno scanner portatile come lo ZEB1, nell'ambito di una documentazione di questo tipo alla scala urbana, a confronto con una mappatura da drone, o a integrazione di questa (Figura 8a, b, c), può infatti contribuire in maniera significativa ad arricchire i contenuti 3D da terra nelle aree significative, ammettendo l'accessibilità, anche limitata, di tali aree. Infatti le risorse di tempo sfruttate possono essere ridotte alla durata del cammino per la prima sola imprescindibile ispezione sui luoghi, massimizzando l'acquisizione di dati spaziali geometrici, e limitando così eventuali altri accessi e permanenze prolungate nei luoghi e quindi l'esposizione al rischio.

#### Note

<sup>1</sup> Giulia Sammartano, *Suitability of 3D dense models from rapid mapping strategies for Cultural Heritage documentation and conservation. Validation of metric and non-metric information extraction from integrated solutions*, tesi di dottorato di ricerca in Beni architettonici e paesaggistici, Politecnico di Torino, XXX ciclo (2018), tutors Nannina Spanò, Filiberto Chiabrando.

<sup>2</sup> Cfr. in questo volume il contributo a p. 41.

<sup>3</sup> Piero Boccardo, Filiberto Chiabrando, Furio Dutto, Fabio Giulio Tonolo, Andrea Lingua, *UAV Deployment Exercise for*

*Mapping Purposes: Evaluation of Emergency Response Applications*, in «Sensors», 15 (7), 2015, pp. 15717-15737.

<sup>4</sup> Erica Nocerino, Fabio Menna, Fabio Remondino, Isabella Toschi, Pablo Rodríguez-González, *Investigation of indoor and outdoor performance of two portable mobile mapping systems*, in *Proceedings of SPIE 10332, Videometrics, Range Imaging, and Applications XIV*, 103320I, June 2017; DOI:10.1117/12.2270761.

<sup>5</sup> Giulia Sammartano, *Suitability...* cit.

<sup>6</sup> Cfr. in questo volume il contributo a p. 32.

<sup>7</sup> Silvana Cotrufo, Constantin Sandu, Fabio Giulio Tonolo, Piero Boccardo, *Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery*, in «European Journal of Remote Sensing», 51(1), 2018, pp. 991-1005.

<sup>8</sup> EMS89, Gottfried Grünthal, *European Macroseismic Scale 1998*, European Seismological Commission (ESC), 1998.

<sup>9</sup> Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sisma*, AeDES, Roma 2009.

<sup>10</sup> Schede ministeriali A-DC e B-DP (Ministero dei Beni e delle Attività culturali e del Turismo, Direttiva 12 dicembre 2013, relativa alle «Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali».)

<sup>11</sup> Questi temi sono stati anche approfonditi in Edoardo Fillia, *Modelli 3D per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese in muratura storica. Il caso studio di Sant'Andrea a Campi di Norcia*, tesi di laurea magistrale in Architettura per il Restauro e la valorizzazione del patrimonio, Politecnico di Torino, relatori Nannina Spanò, Cesare Tocci, Giulia Sammartano, febbraio 2020.

<sup>12</sup> Cfr. in questo volume il contributo a p. 54.

<sup>13</sup> Giulia Sammartano, *Suitability...* cit.

<sup>14</sup> Alessio Calantropio, Filiberto Chiabrando, Giulia Sammartano, Antonia Spanò, Lorenzo Teppati Losè, *UAV strategies validation and remote sensing data for damage assessment in post-disaster scenarios*, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-3/W4, 2018, pp.121-128. Cfr. anche in questo volume il contributo a p. 68.

<sup>15</sup> Cfr. ancora in questo volume il contributo a p. 41.

<sup>16</sup> Gruppo SAPR dei Vigili del Fuoco: Andrea Di Lolli, Mattia Fiorini, Franco Feliziani, Marcello Firrincielli, Onofrio Lorusso.

<sup>17</sup> Giulia Sammartano, *Optimization of 3D multi-sensor models for damage assessment in emergency context: first tests on rapid mapping in the 2016 Italian earthquake*, in F. Remondino, A. Georgopoulos, D. Gonzalez-Aguilera, P. Agrafiotis (Eds.), *Latest Developments in Reality-Based 3D Surveying and Modelling*, MDPI 2017, pp. 141-168.

<sup>18</sup> Giulia Sammartano, *Suitability...* cit.

<sup>19</sup> Giulia Sammartano, *Optimization...* cit.