



IL FUTURO DELLA FOTOGRAMMETRIA NELLA GEOMATICA

Marco Scaioni

Politecnico di Milano
Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e dell'Ambiente costruito (DABC)
via Ponzio 31, 20133 Milano – marco.scaioni@polimi.it

PAROLE CHIAVE: Fotogrammetria, Geomatica, Laser a scansione, Technology Foresight

KEY WORDS: Laser Scanning, Geomatics, Photogrammetry, Technology Foresight

RIASSUNTO

L'editoriale riporta il contenuto di una relazione presentata durante la giornata di studio organizzata dalla SIFET il 12 novembre 2021 presso l'Università IUAV di Venezia per celebrare il 70° anniversario dalla fondazione. In una prima parte vengono trattati alcuni elementi utili ad inquadrare e definire il tema che sarà poi sviluppato: spunti dalla letteratura, definizione di Fotogrammetria, contesto nazionale e internazionale con particolare riferimento alle grandi missioni e progetti, ricerca e pubblicazioni scientifiche. Nella parte centrale sono individuate alcune linee di sviluppo principali per la disciplina, organizzate in tre categorie: i *sensori*, le *metodologie* e le *applicazioni*. Tra i *sensori* sono illustrati i possibili sviluppi nel campo dell'acquisizione di immagini e delle scansioni laser da piattaforme diverse. Si trattano poi alcuni aspetti legati all'integrazione dei sensori. Tra le *metodologie* si trattano alcuni aspetti legati all'automazione dell'acquisizione dati mediante robot, ai *big data* e all'*ubiquitous 'geo-'sensing*, all'intelligenza artificiale e al *cloud computing*. Tra le *applicazioni* si illustrano quelle legate alla creazione dei *digital twins*, con particolare attenzione al mondo delle costruzioni e alle città, all'uso delle tecniche di realtà virtuale, aumentata e mista, al monitoraggio (misura delle deformazioni a *change detection*), e ai beni culturali. In quest'ultimo importante settore, la Fotogrammetria potrà trovare sempre più spazio non solo per la documentazione e la conservazione, ma per la promozione della fruizione del bene stesso. Infine, si traggono alcune conclusioni e alcuni spunti di riflessione per il futuro, invitando la comunità fotogrammetrica e geomatica ad un serio affronto del tema della *technology foresight*.

ABSTRACT

This editorial reports the content of a keynote given during a workshop organized by the SIFET (on 12th November 2021) in the University IUAV (Venice, Italy) to celebrate the 70th anniversary of its establishment. In a first part, some useful elements to better understand and define the main topic are discussed: pieces of literature, definition of Photogrammetry, national/international societal missions and projects, scientific research and publications. In the central part of the editorial, the main developing directions for the discipline are reported. These are organized in three categories: *sensors*, *methodologies* and *applications*. Among *sensors*, potential developments for imaging and ranging from multiple platforms and for sensor integration are illustrated. Among *methodologies*, the analysis concerns data acquisition and planning using robots, *big data* and *ubiquitous 'geo-'sensing*, artificial intelligence, and *cloud computing*. Among *applications* the focus is on the setup of *digital twins*, with special emphasis on constructions and the built environment, on techniques for virtual/augmented/mixed reality, on monitoring (deformations and *change detection*), and on Cultural Heritage (CH). In this domain, Photogrammetry will continue to support conservation and preservation, but will be also likely to foster promotion and fruition of CH. In the end, some conclusions and considerations about the future of Photogrammetry are drawn. *Technology foresight* is recognized as an important tool to help facing the challenges of the future.

1. PREMESSA

Il 12 novembre 2021 la Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria (SIFET) ha celebrato il suo 70° anniversario presso la storica sede dei Tolentini dell'Università IUAV a Venezia. L'occasione è stata sfruttata per organizzare una giornata di studio "in presenza" nella quale sono stati messi a fuoco il passato, il presente e il futuro delle due principali discipline coinvolte nell'associazione (la Topografia e la Fotogrammetria) nel contesto più generale della Geomatica. Il sottoscritto ha avuto l'incarico di presentare una relazione dal titolo "Il futuro della Fotogrammetria nella Geomatica", che ha seguito cronologicamente quella del Prof. Fulvio Rinaudo del Politecnico di Torino sul tema "Il passato della Fotogrammetria". In modo simile, due relazioni dei Proff. Luca Vittuari dell'Università degli studi di Bologna e Giovanni Pugliano dell'Università degli studi "Federico II" di Napoli hanno trattato

rispettivamente il tema del "passato" e del "futuro" della Topografia. Nel pomeriggio della stessa giornata di studio si è svolta una tavola rotonda durante la quale sono stati discussi temi strategici relativi allo sviluppo delle discipline coinvolte nella SIFET e il ruolo che questa società potrà e dovrà giocare nell'immediato futuro.

Il presente editoriale vuole riassumere i contenuti principali riportati nella mia relazione, che sono stati opportunamente rivisti e integrati pur mantenendo lo stesso schema logico. In una prima parte (Sez. 2), tratterò quegli elementi che ho ritenuto significativi perché la disciplina fotogrammetrica possa avere un futuro importante nella Geomatica, unitamente ad alcune definizioni preliminari atte a sgombrare il campo da equivoci e malintesi sull'argomento analizzato. Nella seconda parte (Sez. 3) individuerò alcune linee di sviluppo principali per la disciplina, organizzate in tre sottosezioni riguardanti i *sensori*, le *metodologie* e le *applicazioni*. Infine, nella Sezione 4 cercherò di



trarre alcune conclusioni e alcuni spunti di riflessione per il futuro.

2. IL FUTURO DELLA FOTOGRAMMETRIA

2.1 Alcuni spunti per partire

Nel tentativo iniziale di cercare un approccio per affrontare il tema posto ho cercato nella letteratura alcuni suggerimenti da chi si era già posto in passato lo stesso problema. Vorrei riportare solo due riferimenti che reputo particolarmente significativi, sebbene affrontino il tema da due punti di vista opposti.

George D. Hardy pubblicò nel 1955 un articolo su *Photogrammetric Engineering*, rivista ufficiale dell'*American Society of Photogrammetry* (ASP, poi diventata ASPRS a seguito dello sviluppo del *Remote Sensing*), intitolato "The future of Photogrammetry". In questo testo, l'autore immaginava una grande crescita della disciplina negli anni a venire, che avrebbe riguardato non solo l'aumento del volume dei progetti e delle applicazioni, ma il suo sviluppo tecnologico e innovativo. Questo contenuto si può riassumere nella seguente citazione: "It is quite evident that even with past progress we have only scratched the surface of the possibilities in the use of photogrammetry".

In modo diverso, il Prof. Armin Grün ha recentemente affrontato lo stesso tema richiamando una frase di Albert Einstein: "I stay away from a projection of Photogrammetry and Remote Sensing into the future. Here I take it with A. Einstein: 'I never think about the future. It comes soon enough'". Sebbene questa visione possa sembrare meno entusiastica, lascia anche aperta la possibilità a sorprendenti sviluppi che difficilmente si possono immaginare.

2.2 Cosa intendiamo per "Fotogrammetria"

Prima di entrare nel vivo del tema è anche opportuno delimitare il significato del termine "Fotogrammetria". Questo termine, infatti, potrebbe essere limitato alla ricostruzione a partire dalle immagini, oppure in senso più generale come la disciplina alla quale afferiscono molteplici tecniche di rilievo tridimensionale. In questo editoriale si farà riferimento alla definizione di fotogrammetria proposta nell'ultima versione (postuma) del testo del Prof. Karl Kraus "Photogrammetry - Geometry from Images and Laser Scans" (2008), che qui viene riportata con alcune modifiche per tenere conto della ormai completa transizione dai fotogrammi analogici alle immagini digitali: "Photogrammetry allows one to reconstruct the position, orientation, shape and size of objects from pictures: these pictures may originate as photoelectrical images (digital photography). Laser scanner images, have arrived in recent years...". Quindi la Fotogrammetria viene intesa come quell'insieme di tecniche che utilizzano immagini 2D e scansioni laser 3D per ricostruire la geometria del territorio e degli oggetti, che si colloca nell'ambito della *Geomatca*. Infatti, altre discipline utilizzano queste fonti di dati digitali per la ricostruzione tridimensionale. Si pensi ad esempio alla *Computer Vision* e alla *Robotica*, con le quali, peraltro, la Fotogrammetria ha scambiato preziosa linfa vitale. Tuttavia, queste discipline nascono in un contesto scientifico e culturale diverso rispetto a quello in cui si è sviluppata la Fotogrammetria (Forlani et al., 2015).

2.3 Le sfide del Terzo Millennio e la Fotogrammetria

Il periodo che stiamo vivendo sta ponendo all'umanità intera alcune sfide epocali che porteranno grandi cambiamenti sociali, culturali e tecnologici. Pensiamo alle grandi sfide legati ai *cambiamenti climatici*, alla *transizione ecologica e digitale*, alla *decarbonificazione* e allo *sviluppo sostenibile*. A queste si

aggiunge la necessità di reagire alla pandemia COVID-19 che ha colpito globalmente l'umanità.

Il futuro della Fotogrammetria (e quindi la modalità con la quale questa disciplina si svilupperà) non dipenderanno solo dal suo sviluppo tecnico e scientifico, ma anche dalla capacità di affrontare le grandi sfide della nostra epoca. In particolare, vorrei elencare brevemente alcuni punti di riferimento importanti a livello universale, europeo e italiano:

1. I 17 *Sustainable Development Goals* (SDGs) individuati dall'ONU;
2. Il *Green Deal europeo*, finalizzato a portare l'Europa a diventare il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050, ma con ambizioni traguardi intermedi fissati per il 2030;
3. Il piano *NextGenerationEU* per dare all'Europa un futuro più verde, più digitale, più sano, più forte e più uguale, finanziando con oltre 800 miliardi di euro i piani di ripresa e resilienza delle nazioni membri dell'Unione Europea (per esempio il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza in Italia - PNRR);
4. Le linee di ricerca del programma *Horizon-Europe*.

In questo contesto, la Fotogrammetria potrà e dovrà trovare nuove risorse per il proprio sviluppo tecnologico, assieme alla crescita quantitativa e qualitativa delle applicazioni.

2.4 La ricerca in campo fotogrammetrico

Sebbene lo sviluppo della ricerca debba essere misurato a partire dall'osservazione di molteplici indicatori, per semplicità si vogliono riportare nel seguito alcuni risultati provenienti dall'analisi dei temi di ricerca discussi negli articoli scientifici pubblicati sulle tre riviste internazionali "storiche" della Fotogrammetria:

1. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, rivista scientifica ufficiale dell'ISPRS (tra le altre) pubblicata da Elsevier;
2. *The Photogrammetric Record*, rivista scientifica ufficiale della *Remote Sensing and Photogrammetry Society* del Regno Unito, pubblicata da Wiley;
3. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PERS)*, rivista scientifica ufficiale della *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS).

Partendo dall'analisi degli articoli pubblicati su queste tre riviste negli ultimi cinque anni, ho voluto individuare i temi maggiormente attuali nella ricerca fotogrammetrica, in modo da capire in quale direzione questa si stia orientando. Ci si limita in questa sede a riportare un quadro sintetico delle parole chiave (*keywords*) "ragionate" più ricorrenti, rimandando e suggerendo ad altri lo sviluppo di una analisi bibliometrica approfondita con strumenti adeguati (Aria e Currurullo, 2017). Con l'aggettivo "ragionate" si intende specificare che più parole chiave con il significato simile sono state raggruppate assieme.

In Figura 1 si riporta un grafico delle parole chiave "ragionate" maggiormente presenti nelle riviste e negli anni considerati. Come si può osservare, le *nuvole di punti* ("point cloud") emergono oggi come una tipologia di dato di primaria importanza, come è lecito aspettarsi a fronte dello sviluppo delle tecniche di acquisizione basate sul *laser a scansione* e sulle tecniche di *matching denso* che sfruttano le immagini. Inoltre, altre parole chiave legate direttamente a queste tecniche risultano occupare i primi posti nel grafico.

L'altra parola chiave che assume un ruolo importante è quella legata all'impiego dell'*intelligenza artificiale* nelle sue diverse forme ("AI"), dimostrando un crescente interesse in questa direzione. Per quanto riguarda i campi applicativi, è interessante notare come le parole chiave legate alle applicazioni *forestali* della fotogrammetria ("tree/forestry") compaiono al quinto posto, evidenziando come a livello internazionale il suo impiego (assieme alle tecniche più propriamente appartenenti al Telerilevamento satellitare) rivestono un ruolo fondamentale. Mi permetto di aggiungere che anche a livello nazionale questo tipo di applicazioni potrebbe avere maggiore spazio in futuro. Tratteremo poi a parte il tema della fotogrammetria per i *beni culturali*, che non è esaurientemente rappresentata nelle tre riviste scientifiche analizzate.

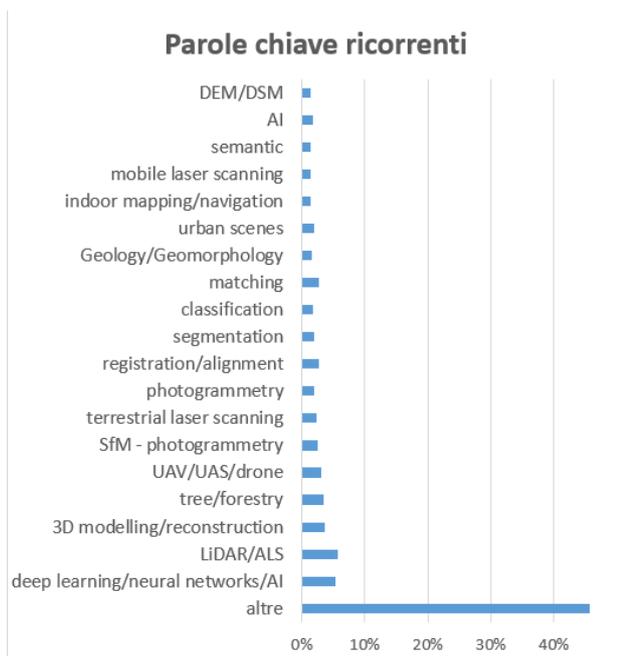


Figura 1. Impatto delle parole chiave "ragionate" riscontrate nelle tre principali riviste fotogrammetriche internazionali (si veda il Par. 2.4). L'impatto è espresso come percentuale dell'occorrenza di una parola chiave sul numero totale delle stesse.

3. LA FOTOGRAMMETRIA DEL FUTURO

Dopo avere visto le premesse che consentono di inquadrare quale potrà essere il contesto nel quale la Fotogrammetria potrà giocare il suo ruolo, si vogliono individuare le sue possibili linee di sviluppo principali. Queste saranno organizzate e presentate in tre sezioni:

1. I *sensori* per l'acquisizione dei dati;
2. Le *metodologie* di elaborazione dei dati;
3. I *nuovi campi di applicazione*.

3.1 I sensori

Sebbene l'integrazione dei sensori costituisca un aspetto molto importante dello sviluppo attuale in campo fotogrammetrico e quindi di quello futuribile, si vuole qui mantenere una distinzione per tipologia di dato.

3.1.1 Sensori per l'acquisizione di immagini: Le immagini hanno costituito la tipologia di dato primaria nella storia della Fotogrammetria, e continueranno ad esserlo anche in futuro per la ricchezza di informazioni che possono registrare. Esse inoltre forniscono una visione della realtà identica a quella della visione umana, facilitando l'interpretazione.

Nei prossimi anni assisteremo a un ulteriore incremento del numero di *sensori spaziali* ad altissima risoluzione, in grado di fornire immagini per la ricostruzione 3D e contestualmente informazioni multispettrali. I *microsatelliti* (CubeSats/ SmallSats, ...) sempre più numerosi, consentiranno di ottenere ricoprimenti al suolo utili anche per la ricostruzione fotogrammetrica. Queste informazioni ad alta risoluzione dallo spazio consentiranno di densificare e validare le informazioni geometriche e multispettrali ottenibili dai satelliti per l'osservazione della Terra (*Earth Observation*) lanciati nel contesto dei programmi delle agenzie spaziali (per esempio, il programma europeo Copernicus).

I sensori spaziali andranno dunque a integrare in modo sempre più importante quelli *aerei*, che già hanno avuto un notevole sviluppo negli ultimi decenni a seguito della diffusione dell'acquisizione digitale diretta e dei droni (Nex et al., 2022). Lo scenario che probabilmente vedremo nei prossimi due decenni sarà costituito dalla disponibilità di diversi tipi di piattaforme e camere per l'acquisizione di immagini, tra le quali scegliere quelle più adeguate ad affrontare progetti di rilevamento del territorio con scala, estensione e modalità temporale di acquisizione diverse.

Si prevede anche un notevole sviluppo di sensori basati sull'impiego di *modelli geometrici* di acquisizione *alternativi* rispetto a quello tradizionale (immagini panoramiche e sferiche, sistemi *multi-wide-lens* camera) che possono facilitare il rilievo fotogrammetrico in ambito urbano e in contesti caratterizzati da spazi angusti.

Ma occorre anche ricordare che la fonte più impressionante di immagini è costituita dalla miriade di camere digitali in rete che potranno essere sfruttate anche per estrarre informazioni geometriche. In questo caso, le tecniche di analisi dei *big data* avranno un ruolo fondamentale, come sarà illustrato nel seguito al paragrafo 3.2.2.

3.1.2 Sensori laser a scansione: Come già evidenziato al paragrafo 2.4, le nuvole di punti stanno diventando un dato fondamentale nella fotogrammetria moderna, integrandosi con le immagini dalle quali possono anche essere derivate attraverso le tecniche di "matching denso". La possibilità di acquisire nuvole di punti in modo diretto tramite gli strumenti laser a scansione è ovviamente una carta fondamentale da poter giocare in molti progetti. Da un lato, questo tipo di sensori di acquisizione ha ormai conquistato tutte le piattaforme. Dall'altro, la tecnologia LiDAR è destinata a diventare sempre più compatta (sensori più piccoli e maneggevoli), economica e facile da utilizzare. Queste caratteristiche ne consentiranno uno sviluppo impressionante in molteplici settori industriali, con particolare riferimento a quello delle *costruzioni*.

E' facile prevedere che la tecnologia *mobile laser scanning* (MLS), nelle sue diverse forme, avrà lo sviluppo maggiore a motivo della sua elevata produttività. Oltre alle piattaforme che sono già diffuse oggi, l'acquisizione automatica tramite *robot* costituirà la necessaria integrazione al rilievo tramite drone per garantire la completezza delle acquisizioni in molti settori.

Dal punto di vista della ricerca e dello sviluppo di nuove applicazioni, occorre prestare particolare attenzione agli sviluppi dei sensori laser multispettrali e *single-photon* LiDAR.

Ricordiamo infine che anche i sensori laser a scansione si diffonderanno in modo esteso grazie all'implementazione sui



veicoli utilizzati normalmente per il trasporto di persone e sugli *smartphone* (Zhou et al., 2021).

3.1.3 L'integrazione dei sensori: Questo aspetto ha avuto un grande sviluppo negli ultimi decenni, in particolare per quanto riguarda l'integrazione di sensori e tecniche di posizionamento (IMU/GNSS/SLAM) con le camere fotogrammetriche e i sensori LiDAR nel rilievo aereo e in quello operato mediante i veicoli rilevatori (MMS – *mobile mapping systems*) terrestri (Glira et al., 2022). Ovviamente lo sviluppo tecnologico e algoritmico in questa direzione – si pensi alle tecniche di filtraggio dei dati – è destinato a evolversi ulteriormente, arrivando a sfruttare contemporaneamente i vantaggi della *georeferenziazione diretta* e dell'acquisizione di immagini e scansioni laser. Una delle ricadute principali dell'integrazione di questi sensori è la produzione di dati in *tempo reale*, per esempio tramite il rilievo aereo con droni o robot terrestri (Balamuralidhar et al., 2021). Questa possibilità diventa fondamentale nel campo della risposta alle emergenze e nelle operazioni di tracciamento e monitoraggio delle fasi costruttive.

Nell'ambito dell'integrazione delle singole tipologie di sensori, l'integrazione di *camere nadirali, oblique e multispettrali* diventerà uno standard nel rilievo aerofotogrammetrico, al pari dei sensori LiDAR che integreranno lunghezze d'onda multiple per rilievi topo-batimetrici e acquisizioni multispettrali.

3.2 Le metodologie di elaborazione dei dati

Questo secondo aspetto degli sviluppi futuri della Fotogrammetria è forse quello che interessa maggiormente la comunità scientifica e il mondo della ricerca in Italia. Infatti, se da un lato lo sviluppo di sensori è ormai prevalentemente – ma non esclusivamente! – interpretato dal mondo industriale, le metodologie di elaborazione dei dati e l'estrazione delle informazioni restano nelle possibilità di tutti quanto operano nel settore. In particolare, come è emerso nel corso della tavola rotonda che ha chiuso la giornata di studio in occasione del 70° anniversario della SIFET, la comunità scientifica ha lo scopo di individuare metodologie per estrarre informazioni dai dati al fine di rispondere alle vecchie e nuove sfide dell'ambiente e della società. Approccio, tra l'altro, che è sempre stato tipico della disciplina "sorella" della Fotogrammetria: il Telerilevamento. Si individuano nel seguito alcuni potenziali sviluppi di tipo metodologico, che sono ovviamente legati alle nuove tecnologie e alle applicazioni, come vedremo al paragrafo 3.3.

3.2.1 Dall'automazione al rilievo mediante i robot: Gli ultimi 35 anni hanno visto lo sviluppo delle fotogrammetria digitale, nell'ambito della quale si è praticamente arrivati alla completa automazione delle procedure di orientamento e calibrazione delle camere, nonché della ricostruzione tridimensionale delle superfici mediante le tecniche di *matching denso* (Han et al., 2020). In modo analogo, lo stesso percorso ha riguardato il laser a scansione. E' altresì oggi possibile estrarre in modo automatico (o semi-automatico) una serie di informazioni a partire dalle immagini e dalle nuvole di punti.

Se da un alto il futuro porterà al completamento dell'automazione di queste procedure, dall'altro diventerà anche possibile acquisire in modo autonomo i dati stessi, anche nel caso di rilievo di oggetti complessi. Questo diventerà possibile grazie a due contributi, tra i quali il primo sarà legato all'implementazione di altre tecnologie, il secondo sarà di tipo metodologico:

1. I *sensori robotizzati* (droni outdoor/indoor, robot 'terrestri') capaci di esplorare l'ambiente da rilevare e di

decidere come acquisire i dati (immagini e/o scansioni laser);

2. Lo sviluppo di metodi per la *pianificazione ottimizzata delle acquisizioni*, che tengano conto degli aspetti legati alla progettazione di una "struttura a rete" adeguata e contemporaneamente garantiscano il rispetto dei vincoli logistici, tecnici e operativi (Mahmood et al., 2020).

3.2.2 Big data e ubiquitous 'geo'-sensing: Nel prossimo futuro crescerà notevolmente la quantità di dati fotogrammetrici a disposizione degli utilizzatori finali, che potranno avvalersi anche di una miriade di sensori che registrano immagini per altre finalità. L'utilizzo efficace di questa mole di osservazioni richiederà l'impiego di tecniche specifiche per l'analisi di *big data*. Queste serviranno sia per recuperare e filtrare i dati utili in un certo ambito spazio-temporale, sia per estrarre le informazioni necessarie per una specifica applicazione. La disponibilità dei dati in rete diventa ovviamente un prerequisito fondamentale per l'impiego di tutte le banche dati disponibili.

Un aspetto importante legato alla disponibilità di big data è costituito dal cosiddetto *ubiquitous 'geo'-sensing*, che in Sagl et al. (2012) è definito come "*the wide variety of omnipresent technical and human sensors and geo-sensor networks and their ability to probe geographic phenomena even in real time*". Grazie all'ampia disponibilità di sensori diventa più sostenibile mantenere aggiornate le banche dati cartografiche senza più dover ricorrere a costosi macro-progetti (Belotti et al., 2021; Crosilla et al., 2021), estrarre informazioni sulle attività in ambiente urbano (Zhang et al., 2019), analizzare i danni legati a disastri naturali e antropici (Aravena Pelizari et al., 2021), tra le altre possibili applicazioni.

3.2.3 L'intelligenza artificiale: Una parte importante del processo fotogrammetrico richiede decisioni complesse, difficili da automatizzare dal momento che richiedono una vera e propria "intelligenza" per interpretare i dati ed estrarre informazioni semantiche dagli stessi (Grilli et al., 2017). Questa operazione è necessaria, per esempio, nella restituzione cartografica o nella modellazione tridimensionale dell'edificato ai vari livelli di dettaglio.

Gli sviluppi dell'*intelligenza artificiale* (AI) hanno offerto anche alla Geomatica strumenti capaci di imitare il pensiero e le azioni umane. Due sono le branche principali dell'AI: il *machine learning* (ML), costituito da sistemi che sono in grado di imparare basandosi su dati strutturati; il *deep learning* (DL), costituito da sistemi che imparano attraverso *reti neurali* senza istruzioni umane (Pierdicca et al., 2020). Quindi l'*apprendimento* ("learning") costituisce un elemento essenziale nell'AI, che implica la necessità di disporre di banche dati già classificate nelle categorie di oggetti tridimensionali da estrarre (edifici o componenti architettonici). Attualmente il numero di *data set* disponibili per questa finalità è ancora piuttosto ridotto, in particolare per quanto concerne l'impiego delle nuvole di punti per le applicazioni all'edificato. Al contrario, gli strumenti per la classificazione delle immagini sono molto più sviluppati rispetto a quelli finalizzati alle nuvole di punti. E' quindi ipotizzabile che l'integrazione dell'uso di immagini (2D) e nuvole di punti (3D) possa semplificare la classificazione di questa seconda tipologia di dati.

3.2.4 Il cloud computing: L'archiviazione, la condivisione, la distribuzione e l'elaborazione dei dati fotogrammetrici nel *cloud* sono già una realtà che va consolidandosi. La possibilità di sfruttare le risorse di calcolo in rete aumentano considerevolmente le potenzialità applicative della Fotogrammetria, consentendo di affrontare grandi progetti anche da parte di utenti di piccolo/medio calibro, grazie alla possibilità



di svincolarsi dalla disponibilità diretta di hardware e software. In questo modo, il *cloud computing* contribuisce ulteriormente al processo di “democratizzazione” della Fotogrammetria. Esistono tuttavia alcune limitazioni tecnologiche che devono essere superate per poter sfruttare appieno questa tecnologia: (1) la velocità di trasferimento dei dati; (2) i costi di archiviazione; (3) i problemi legati alla riservatezza dei dati e delle informazioni. Sempre nell’ambito delle risorse disponibili in rete, è interessante guardare anche ad alcune tecnologie specifiche per capire come possano contribuire al settore della Geomatica. Granshaw (2021) per esempio evidenzia alcune interessanti applicazioni “geomatiche” della tecnologia *blockchain*.

3.2.5 Open data e citizen science: La sempre maggiore disponibilità di *open data* consentirà di moltiplicare le applicazioni e le informazioni ottenibili dalla Fotogrammetria. In particolare, si ritiene che gli *open data* potranno essere fondamentali per la Pubblica Amministrazione, come è bene illustrato dai due seguenti casi.

Il primo riguarda la condivisione di riprese aerofotogrammetriche e/o rilievi LiDAR eseguiti da un ente pubblico (per esempio i voli aerofotogrammetrici periodici eseguiti da AGEA – Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura). Il secondo riguarda la creazione di DTM/DSM nazionali che integrano in modo coordinato i rilievi che via via vengono realizzati.

In parallelo, lo sviluppo della *citizen science* e la *crowdsourcing geo-information* consentiranno una sempre maggiore acquisizione di immagini su base volontaria per il monitoraggio di fenomeni naturali, l’aggiornamento di mappe e altre applicazioni. Ovviamente per poter ottenere dati di qualità adeguata sarà necessario sviluppare strumenti che guidano la fase di acquisizione, ove non si utilizzino dati di archivio, e per la validazione automatica delle informazioni.

3.3 I nuovi campi di applicazione

In questa terza parte si analizzano le potenziali applicazioni future della Fotogrammetria. Tra queste, alcune si sono sviluppate negli ultimi anni, altre costituiscono l’evoluzione di attività con una lunga storia (si pensi alle applicazioni della Fotogrammetria nel campo dei beni culturali).

3.3.1 Il digital twin: Un *digital twin* è la rappresentazione virtuale di un’entità fisica o di un sistema anche complesso. La componente digitale è connessa con la parte fisica, con la quale può scambiare dati e informazioni sia in modalità sincrona che asincrona. Il *digital twin* sarà fondamentale per la gestione delle nostre città e dei singoli edifici in ottica “smart and green”, secondo le prospettive indicate nei piani di sviluppo europei già illustrate al paragrafo 2.3.

La Fotogrammetria avrà un ruolo di primo piano nell’acquisizione di dati 3D indoor/outdoor nell’ambito dei progetti di digitalizzazione dell’esistente verso l’implementazione in ambiente BIM (*Building Information Modelling*). Questo costituisce lo strumento in cui si implementa il *digital twin* a livello dell’edificio. I singoli edifici si connettono poi con il territorio e il tessuto urbano e infrastrutturale, dove la Fotogrammetria ha acquisito un ruolo primario nell’acquisizione dei dati che vengono poi gestiti in ambiente GIS. L’integrazione tra BIM/GIS sta diventando dunque sempre più importante (Garramone et al., 2020), come testimonia lo sviluppo di ambienti integrati quali, per esempio, ESRI GeoBIM®.

3.3.2 Realtà virtuale, aumentata e mista: La Fotogrammetria consente di creare modelli tridimensionali fotorealistici che possono essere gestiti in ambienti di *realtà virtuale* (VR), anche con l’ausilio di interfacce per rendere altamente realistica e immersiva la visione. Diventa quindi possibile simulare un ambiente reale in laboratorio, sovrapponendo dati rilevati con modelli digitali che mostrano le modifiche che si vogliono apportare all’ambiente reale. Grazie alle tecniche di *realtà aumentata* (AR), siamo in grado di operare nell’ambiente reale sovrapponendo ad esso livelli di contenuto digitali. Dalla fusione di VR e AR abbiamo la *realtà mista*, nella quale gli oggetti virtuali non vengono semplicemente sovrapposti alla realtà circostante, ma sono ancorati ad essa, in modo che l’utilizzatore possa interagirvi, creando un’esperienza particolarmente dinamica. Si pensi quanto questa modalità sta cambiando e cambierà la gestione dei cantieri di costruzione e restauro, la formazione e la progettazione. E’ importante avere chiaro come la comunità fotogrammetrica è responsabile della qualità del dato implementato in questo tipo di ambienti, che altrimenti potrebbero diventare dominio dei soli utilizzatori inconsapevoli delle tecnologie automatizzate di acquisizione di dati tridimensionali.

3.3.3 Monitoraggio: La Fotogrammetria è sempre più utilizzata per il *monitoraggio* dei cambiamenti della geometria degli oggetti che con essa è possibile rilevare (Guarnieri et al., 2013). Possiamo classificare le applicazioni in due grandi categorie:

1. La misura delle *deformazioni di interesse superficiale* (“areal-based deformation measurement”, Capra et al., 2015): si tratta di un’applicazione della fotogrammetria ampiamente consolidata per le misure in laboratorio, dove viene spesso chiamata con il termine *2D/3D DIC* (“digital image correlation”, Fedele et al., 2014). Negli ultimi anni, la determinazione dei cambiamenti di forma mediante il confronto di scansioni laser ripetute (Zahs et al., 2022) o acquisizioni di immagini è andata diffondendosi anche in ambienti esterni. Per esempio, i tipici campi di applicazione sono quelli nell’ambito delle Geoscienze: monitoraggio di frane e versanti con sistemi multicamera permanenti (Parente et al., 2019; La Rocca et al., 2021), monitoraggio temporale del ritiro di ghiacciai basati su immagini da drone (Fugazza et al., 2018), studio dell’evoluzione dei litorali (Kuschnerus et al., 2021). Tuttavia, diventano sempre più importanti anche le applicazioni per il monitoraggio delle deformazioni delle grandi strutture, per esempio le dighe, soprattutto mediante gli strumenti laser a scansione (Alba et al., 2006).
2. La *change detection* automatica per il monitoraggio di cantieri di costruzione (Erdélyi et al., 2018; Huang et al., 2022), per il controllo dei cambiamenti del territorio per la rilevazione di nuovi edifici e l’identificazione di abusi edilizi, per il monitoraggio ambientale (foreste, corsi d’acqua, fenomeni erosivi, ecc.). E’ proprio questo secondo settore nel quale l’impatto futuro delle tecniche fotogrammetriche potrà svilupparsi in modo rilevante, anche grazie all’interazione con l’intelligenza artificiale (Zheng et al, 2022).



3.3.4 I beni culturali: Il questo campo la Fotogrammetria riveste un ruolo di primaria importanza, come confermato anche dall'esistenza di una associazione scientifica (CIPA) e di numerosi convegni dedicati (conferenze CIPA 3D-ARCH, GEORES, ecc.). Nel nostro paese, che è indubbiamente uno tra i più fortunati al mondo per la presenza di siti di rilevanza culturale, storica e artistica, le tecnologie legate alla loro documentazione e conservazione rivestono ancora maggiore importanza. Xiao et al. (2018) evidenziano come la fotogrammetria rivesta un ruolo fondamentale in questo ambito e si colloca direttamente nel contesto dei Sustainable Development Goal (SDG) 11.4 ("Protect and Safeguard") e 8.9 ("Sustainable tourism").

Dunque, da un lato la Fotogrammetria e più in generale la Geomatica consentono di identificare e mappare i siti da tutelare e conservare, di rilevarli tridimensionalmente nella loro geometria, di monitorarne l'evoluzione nel tempo, e di supportare la gestione e la *conservazione programmata* dei beni. In questo ultimo aspetto sono comprese anche l'interazione con la pianificazione urbana e territoriale, e la gestione dei rischi, con ampie possibilità d'impiego delle tecniche GIS e HBIM (Brumana et al., 2018; Matrone, 2018).

L'altro aspetto importante suggerito dal SDG 8.9 è costituito dalla promozione del *turismo sostenibile*, settore che apre enormi potenzialità alla disciplina di cui stiamo trattando. In particolare, il rilievo tridimensionale ottenibile dalle tecniche fotogrammetriche e laser a scansione consente di realizzare modelli virtuali (par. 3.3.2) e copie fisiche in scala reale o ridotta di un determinato bene culturale. In modalità diverse ma secondo analoghi principi, i modelli virtuali e fisici possono costituire occasione di promuovere o attrarre il turismo, e possono rendere in qualche modo fruibili i beni culturali localizzati in aree non direttamente accessibili (Spallone e Palma, 2020). Un chiaro esempio di questo è costituito dalla copia del David di Michelangelo esposta all'EXPO2020 di Dubai, frutto di un progetto che ha coinvolto un team di tecnici e ricercatori del mondo universitario e industriale, coordinato dalla Prof.ssa Grazia Tucci dell'Università degli Studi di Firenze.

La disponibilità di dati disponibili tramite il WEB consente anche di sviluppare un turismo che associa la visita diretta di un sito alla disponibilità di "visite virtuali" di approfondimento da remoto. Ovviamente il WEB è lo strumento che consente anche agli utenti finali di contribuire con propri dati e modelli (si pensi ai modelli 3D realizzabili con smartphone di ultima generazione – see Zhou et al., 2021) e anche contribuire a processi decisionali di tipo partecipato.

4. CONCLUSIONI

Nella conclusione della presentazione l'autore ha sviluppato un tema importante per la SIFET e per i suoi membri, che consiste nell'identificare quelli che potranno essere gli "attori" della Fotogrammetria del futuro. Da un lato, infatti, lo sviluppo tecnologico e l'impiego sempre crescente di servizi "centralizzati" (il *cloud processing*, per esempio) sposteranno sempre più il ruolo principale verso i grandi sviluppatori, il mondo dell'industria e i gestori dei dati geografici. Dall'altra parte, la disponibilità di servizi e di software *open-source* – o comunque *low-cost* – unitamente agli *open data*, contribuiranno a incrementare il numero degli utilizzatori finali. Si tratta di un vero e proprio processo di "democratizzazione" della Fotogrammetria e più in generale della Geomatica. Il ruolo degli "esperti", accademici e non, sembra dunque destinato a perdere importanza. Questo processo non è tuttavia già destinato a svilupparsi in questo modo, sebbene il rischio sia piuttosto alto.

Quali sono i fattori che consentirebbero agli "esperti" della Fotogrammetria di guadagnarsi un nuovo ruolo nel futuro della disciplina? Provo a rispondere a questa domanda illustrando i seguenti punti:

- Saper "difendere" il proprio patrimonio scientifico/culturale, senza tuttavia chiudersi all'esplorazione e all'accettazione di approcci e tecniche nuove;
- Sviluppare competenza ed esperienza nel sapere scegliere tra i nuovi metodi e tecnologie;
- Progettare nuove applicazioni e instaurare un dialogo reale con il mondo politico e amministrativo;
- Introdurre novità che sappiano cambiare l'approccio tradizionale;
- Sviluppare nuove tecniche per estrarre informazioni dai dati;
- Non perdere il treno legato alle opportunità di finanziamento che si presentano in questi anni post COVID-19 (per esempio: PNRR, NextGenEU, ecc.).

La Fotogrammetria, con tutte le sue declinazioni, implicazioni e applicazioni, ha le potenzialità per restare una disciplina fondamentale in molteplici settori e, innanzitutto, nella Geomatica. Grazie alla sua capacità di registrare e conservare nel tempo una enorme massa di informazioni 2D/3D e radiometriche nelle immagini e nelle scansioni laser, la Fotogrammetria consente di estrarre contenuti metrici e semantici anche a distanza di tempo. L'immagine 2D e la nuvola di punti 3D sono direttamente interpretabili e non mediate da strati interpretativi intermedi. Infine, nell'era della transizione *digitale*, la Fotogrammetria ha anticipato di parecchi anni quei processi che oggi vedono coinvolto l'interno mondo tecnologico, amministrativo e sociale.

Si può quindi affermare che la "Fotogrammetria non invecchia mai e sa sempre rinnovarsi rimanendo giovane". Al suo fianco, sarà necessario che tutti ci facciano trovare alla sua altezza.

Vorrei chiudere questa relazione riportando all'attenzione dei lettori un invito a porre attenzione al *technology foresight* in campo fotogrammetrico. "*Technology Foresight is a process which seek to look into the longer term future of science, technology and economy and society with the aim of identifying the areas of strategic research and the emerging generic technologies likely to yield the greatest economic and social benefit*" (Irvine e Martin, 1984).

5. RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia innanzitutto la Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia per l'invito alla giornata di studio celebrativa del suo 70° anniversario. In secondo luogo, vuole sentitamente ringraziare coloro che hanno contribuito con idee, figure, dati, discussioni e altro. In particolare i seguenti colleghi e amici del Politecnico di Milano: Luigi Barazzetti, Yuwei Cao, Francesco Fassi, Franco Guzzetti, Luca Perfetti, Mattia Previtali e Simone Teruggi. A questi si aggiungono i ringraziamenti a Daniela Poli (AVT Group, Austria).

BIBLIOGRAFIA

Riferimenti da giornali o atti di convegno:

Alba M., Fregonese L., Prandi F., Scaioni M., Valgoi P., 2006. Structural Monitoring of a Large Dam by Terrestrial Laser Scanning. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. XXXVI, Part 5, 6 pages.



- Aravena Pelizari, P., Geiß, C., Aguirre, P., Santa María, H., Merino Peña, Y., Taubenböck, H., 2021. Automated building characterization for seismic risk assessment using street-level imagery and deep learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 180, pp. 370-386, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.07.004.
- Aria, M., Cuccurullo, C., 2017. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *J. Informetr.*, Vol. 11, pp. 959-975, DOI: 10.1016/J.JOI.2017.08.007.
- Balamuralidhar, N., Tilon, S., Nex, F., 2021. MultEYE: Monitoring System for Real-Time Vehicle Detection, Tracking and Speed Estimation from UAV Imagery on Edge-Computing Platforms. *Remote Sens.*, Vol. 13, paper no. 573, DOI: 10.3390/rs13040573.
- Belotti, P., Conzi, F., Dell'Orto, C., Federici, M., Fregonese, L., Garnero, G., Guastamacchia, E., Guzzetti, F., Pinto, L., and Scaioni, M., 2021. The Project to Complete the Regional Topographic Geodatabase in Lombardy, Italy. *Proceedings of the International Cartographic Association*, Vol. 4(12), Firenze, 14-18 Dicembre 2021, DOI: 10.5194/ica-proc-4-12-2021.
- Brumana, R., Della Torre, S., Previtali, M., Barazzetti, L., Cantini, L., Oreni, D., Banfi, F., 2018. Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention – the Basilica di Collemaggio (L'Aquila). *Applied Geomatics*, Vol. 10, pp. 545-567, DOI: 10.1007/s12518-018-0233-3.
- Capra, A., Scaioni, M., Wieser, A., 2015. Editorial: Terrestrial Remote Sensing for Areal Deformation Monitoring. *Applied Geomatics*, Vol. 7(2), pp. 61-63, DOI:10.1007/s12518-015-0159-y.
- Crosilla, F., Picech, G., Beinat, A. 2021. Fifty years of the Friuli Venezia Giulia regional technical map: a best practice in the Italian cartographic context. *Applied Geomatics*, Vol. 13, pp. 437-452, DOI: 10.1007/s12518-021-00362-7.
- Erdélyi, J., Kopáček, A., Kyrinovič, P., 2018. Construction control and documentation of facade elements using terrestrial laser scanning. *Applied Geomatics*, Vol. 10, pp. 113-121, DOI: 10.1007/s12518-018-0208-4.
- Fedele, R., Scaioni, M., Barazzetti, L., Rosati, G., Biolzi, L., Condoleo, P., 2014. Delamination tests on CFRP-reinforced masonry pillars: optical monitoring and mechanical modelling. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 45, pp. 243-254, DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2013.10.006.
- Forlani, G., Roncella, R., Nardinocchi, C., 2015. Where is photogrammetry heading to? State of the art and trends. *Rendiconti Lincei*, Vol. 26, pp. 85-96, DOI: 10.1007/s12210-015-0381-x.
- Fugazza, D., Scaioni, M., Corti, M., D'Agata, C., Azzoni, R.S., Cernuschi, M., Smiraglia, C., Diolaiuti, G.A., 2018. Combination of UAV and terrestrial photogrammetry to assess rapid glacier evolution and map glacier hazards. *Natural Hazards Earth Systems Science*, Vol. 18, pp. 1055-1071, DOI: 10.5194/nhess-18-1055-2018.
- Garramone, M., Moretti, N., Scaioni, M., Ellul, C., Re Cecconi, F., Dejaco, M.C., 2020. BIM and GIS Integration for Infrastructure Asset Management: A Bibliometric Analysis. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. VI-4, Part W1-2020, pp. 77-84, DOI: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-77-2020.
- Glira, P., Ölsböck, K., Kadiofsky, T., Schörghuber, M., Weichselbaum, J., Zinner, C., Fel, L., 2022. Photogrammetric 3D mobile mapping of rail tracks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 183, pp. 352-362, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.09.006.
- Granshaw, S.I., 2021. Blockchain: Implications for Photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, Vol. 36(173), pp. 6-11, DOI: 10.1111/phor.12351.
- Grilli, E., Menna, F., Remondino, F., 2017. A Review of Point Clouds Segmentation and Classification Algorithms. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. XLII, Part 2/W3, pp. 339-344, DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-339-2017.
- Grün, A., 2021. Everything moves: The rapid changes in photogrammetry and remote sensing. *Geo-spatial Information Science*, Vol. 24(1), pp. 33-49, DOI: 10.1080/10095020.2020.1868275.
- Guarnieri, A., Milan, N., Vettore, A., 2013. Monitoring of complex structure for structural control using terrestrial laser scanning (TLS) and photogrammetry. *Int. J. Architect. Heritage*, Vol. 7 (1), pp. 54-67.
- Han, Y.L., Qin, R.J., Huang, X., 2020. Assessment of Dense Image Matchers for Digital Surface Model Generation using Airborne and Spaceborne Images – An Update. *The Photogrammetric Record*, Vol. 35(169), pp. 58-80, DOI: 10.1111/phor.12310.
- Hardy, G.D., 1955. The Future of Photogrammetry. *Photogrammetric Engineering*, 42(1), pp. 755-757.
- Huang, R., Xu, Y.S., Hoegner, L., Stilla, U., 2022. Semantics-aided 3D change detection on construction sites using UAV-based photogrammetric point clouds. *Automation in Construction*, Vol. 134, paper no. 104057, DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104057.
- Kuschnerus, M., Lindenbergh, R., Vos, S., 2021. Coastal change patterns from time series clustering of permanent laser scan data. *Earth Surf. Dynam.*, Vol. 9, pp. 89-103, DOI: 10.5194/esurf-9-89-2021, 2021.
- La Rocca, A., Lingua, A.M., Grigillio, D. 2021. Un'applicazione della fotogrammetria al monitoraggio di una frana in roccia; il caso studio di Belca, Slovenia. *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, Vol. 2021(1), pp. 1-14.
- Mahmood, S., Majid, Z., Idris, K.M., 2020. Terrestrial LiDAR sensor modeling towards optimal scan location and spatial density planning for 3D surveying. *Applied Geomatics*, Vol. 12, pp. 467-480, DOI: 10.1007/s12518-020-00320-9.
- Matrone, F. 2018. Modello HBIM da nuvola di punti: la verifica metrica dei dati e la validazione dei risultati. *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, Vol. 2018(2), pp. 48-56.
- Nex, F., Armenakis, C., Cramer, M., Cucci, D.A., Gerke, M., Honkavaara, E., Kukko, A., Persello, C., Skaloud, J., 2022. UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next.



ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 184, pp. 215-242, DOI: 10.1016/j.isprs.2021.12.006.

Parente, L., Chandler, J.H., Nixon, N., 2019. Optimising the Quality of an SFM-MVS Slope Monitoring System Using Fixed Cameras. *The Photogrammetric Record*, Vol. 34(168), pp. 408-427, DOI: 10.1111/phor.12288.

Pierdicca, R., Paolanti, M., Matrone, F., Martini, M., Morbidoni, C., Malinverni, E., Frontoni, E., Lingua, A. 2020. Segmentazione semantica delle nuvole di punti utilizzando tecniche di apprendimento profondo per il patrimonio culturale. *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, Vol. 2020(1), pp. 1-9.

Sagl, G., Blaschke, T., Beinat, E., Resch, B., 2012. Ubiquitous Geo-Sensing for Context-Aware Analysis: Exploring Relationships between Environmental and Human Dynamics. *Sensors*, Vol. 12, pp. 9800-9822, DOI: 10.3390/s120709800.

Spallone, R., Palma, V. 2020. Intelligenza artificiale e realtà aumentata per la condivisione del patrimonio culturale. *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, Vol. 2020(1), pp. 19-26.

Xiao, W., Mills, J., Guidi, G., Rodríguez-González, P., Gonizzi Barsanti, S., González-Aguilera, D., 2018. Geoinformatics for the conservation and promotion of cultural heritage in support of the UN Sustainable Development Goals. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 142, pp. 389-406, DOI: 10.1016/j.isprs.2018.01.001.

Zahs, V., Winiwarter, L., Anders, K., Williams, J.G., Rutzinger, M., Höfle, B., 2022. Correspondence-driven plane-based M3C2 for lower uncertainty in 3D topographic change quantification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 183, pp. 541-559, DOI: 10.1016/j.isprs.2021.11.018.

Zhang, F., Wu, L., Zhu, D., Liu, Y., 2019. Social sensing from street-level imagery: A case study in learning spatio-temporal urban mobility patterns. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 153, pp. 48-58, DOI: 10.1016/j.isprs.2019.04.017.

Zheng, Z., Zhong, Y.F., Tian, S.Q., Ma, A.L., Zhang, L.P., 2022. ChangeMask: Deep multi-task encoder-transformer-decoder architecture for semantic change detection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 183, pp. 228-239, DOI: 10.1016/j.isprs.2021.10.015.

Zhou, B.D., Ma, W., Li, Q.Q., El-Sheimy, N., Mao, Q.Z., Li, Y., Gu, F.Q., Huang, L., Zhu, J.S., 2021. Crowdsourcing-based indoor mapping using smartphones: A survey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 177, pp. 131-146, DOI: 10.1016/j.isprs.2021.05.006.

Riferimenti da libri

Kraus, K., 2008. *Photogrammetry - Geometry from Images and Laser Scans*. Walter de Gruyter, Berlino (Germania).

Irvine, J., Martin, B.R., 1984. *Foresight in Science: Picking the Winners*, Frances Pinter Publishers, Londra (Regno Unito).

Riferimenti da siti web

Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura (AGEA). <https://www.agea.gov.it> (ultimo accesso il 26/02/2022).

Comité International de la Photogrammétrie Architecturale (CIPA). <https://www.cipaheritagedocumentation.org/> (ultimo accesso il 26/02/2022).

European Green Deal. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it (ultimo accesso il 26/02/2022).

EXPO 2020. <https://www.italyexpo2020.it/memoria-e-futuro-il-david-di-michelangelo-a-expo-2020-dubai/> (ultimo accesso il 26/02/2022).

Next Generation Europe. https://europa.eu/next-generation-eu/index_it (ultimo accesso il 26/02/2022).

United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). <https://sdgs.un.org/goals> (ultimo accesso il 26/02/2022).

© 2022 by the authors. Open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution License Share Alike 4.0 \(CC-BY-SA\)](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

© 2022 degli autori. Pubblicazione open access come da termini e condizioni della licenza [Creative Commons Attribution License Share Alike 4.0 \(CC-BY-SA\)](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)