

La democratizzazione dei processi e l'uso di mezzi di acquisizione a guida remota per il Rilievo 2.0

Carlo Bianchini, Luca J. Senatore, Lorenzo Catena

Abstract

La tecnologia che amplifica la realtà come pure i mezzi tecnologici di acquisizione dei dati, stanno continuando ad avere uno sviluppo difficilmente controllabile o prevedibile. Progetti di un certo interesse, nascono, si sviluppano e muoiono talvolta senza produrre risultati significativi, ma costituendosi come fasi di un processo fluido e dinamico, sul quale vengono costruite nuove applicazioni software e sistemi hardware. Allo stesso tempo, il ruolo dell'accademia sembra venire spesso scavalcato da ciò che viene sviluppato dalla citizen science: ai ricercatori non sembra più spettare esclusivamente il compito della "scoperta", quanto piuttosto la creazione di protocolli scientificamente affidabili sulla base di tecnologie spesso utilizzate dalle diverse comunità di citizen scientists in maniera non conforme alle specifiche per le quali erano state progettate.

Il contributo propone una riflessione su questi temi prendendo come spunto due sperimentazioni dall'alto contenuto innovativo che abbracciano varie fasi del processo definito con il termine rilievo. Esse riguardano infatti da un lato un sistema hw/sw di acquisizione dati, elaborazione e comunicazione sviluppato per dispositivi mobili (Progetto Tango) e una piattaforma mista ROV/UAV multi-sensore dotata di sistema LIDAR e fotocamera digitale per l'acquisizione di dati in luoghi non accessibili (Progetto Heritagebot).

Parole chiave: Google Tango, Heritagebot, Realtà Aumentata, UAV, Rilievo.

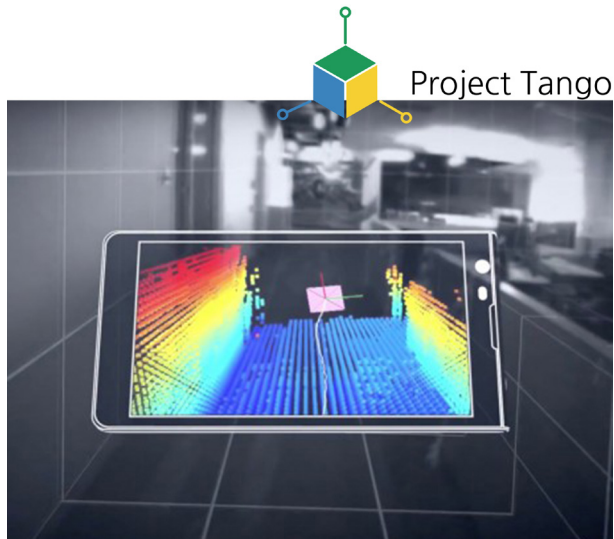
Introduzione

Il Rilievo vive ormai da tempo una stagione di rapido e per certi versi straordinario mutamento assimilabile ad un salto evolucionistico o, più precisamente, a numerosi salti evolucionistici che sembrano tendere a una fase di consolidamento alla quale, con tutta probabilità, potremmo dare il nome di *Rilievo 2.0*. Cosa si intenda per *Rilievo 2.0* è ancora impossibile saperlo, come pure sembra già obsoleto ogni tentativo di definirlo. Allo stesso tempo, il ruolo dell'accademia sembra venire spesso scavalcato da ciò che viene sviluppato dalla cosiddetta *citizen science* [1]: ai ricercatori non sembra più spettare esclusivamente il compito della "scoperta", quanto piuttosto la creazione di protocolli scientificamente affidabili sulla base di tecnologie spesso utilizzate dalle diverse comunità di *citizen scientists*

in maniera non conforme alle specifiche per le quali erano state progettate. Progetti di un certo interesse, nascono, si sviluppano e muoiono talvolta senza produrre risultati significativi, ma costituendosi come fasi di un processo fluido e dinamico, sul quale vengono costruite nuove applicazioni software e sistemi hardware.

Questo fenomeno tipico della cosiddetta "rivoluzione digitale" influenza la nostra interazione con il mondo reale sia in termini di acquisizione che di modellazione 2D/3D. Nuovi sistemi e applicazioni digitali che solo 20 anni fa erano quasi inimmaginabili, diventano di uso comune e si sviluppano attraverso la semplificazione dei processi, la miniaturizzazione dei sensori, il cambiamento nei paradigmi. Come nel caso dell'acquisizione massiva 3D che, dalla

Fig. 1. Project Tango e prototipo Heritagebot.



comparsa degli scanner LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) e poi, più recentemente, dei sistemi *Structure from Motion* (SfM) che generano nuvole di punti direttamente dalle comuni immagini digitali, ha mutato in maniera sostanziale l'approccio al mondo della conoscenza dei manufatti architettonici e archeologici.

In effetti i sistemi di acquisizione 3D LIDAR o SfM sono rapidamente diventati una sorta di standard grazie all'affidabilità degli strumenti, la straordinaria velocità di acquisizione, una relativa semplicità operativa che li ha sottratti all'uso esclusivo di esperti e una complessiva economia di utilizzo (anche se non sempre di costo).

In questo contesto, i sistemi mobili e *low cost* stanno giocando un ruolo sempre più importante, aprendo la strada alla democratizzazione di quello che in passato era il regno di pochi tecnici specializzati e di attrezzature costose.

Nel contempo, il ricorso a sistemi robotici controllati da remoto è in continua e rapida evoluzione, pre urando interessanti sviluppi anche e in particolare nel campo della ricerca e sperimentazione in ambito architettonico e archeologico. Il connubio tra robotica e patrimonio costruito permette, oggi, di migliorare le modalità di accesso alle informazioni e alla conoscenza degli oggetti studiati, proprio in virtù della possibilità di rendere accessibile ed esplorare ambienti e situazioni che per ragioni di carattere logistico o di sicurezza risulterebbero altrimenti inaccessibili. La miniaturizzazione degli elementi costituenti una piattaforma robotica unita al ridotto peso e consumo dei componenti garantiscono, in alcuni contesti specifici, la possibilità di preservare i manufatti oggetto di studio da azioni esterne aggressive e consentire campagne che limitano al minimo essenziale le interazioni strumento/oggetto.

Questi processi sono stati e sono tuttora così tumultuosi che in alcuni casi la tecnologia sembra essere andata addirittura troppo oltre, proponendo un'offerta di soluzioni innovative per le quali non esiste ancora una domanda reale. Il *Google Tango Project* e il *Progetto Heritagebot* discussi in questo articolo costituiscono a nostro avviso due di questi esempi. Assumendo come casi pilota l'antica chiesa di Santa Maria delle Vigne in Pratica di Mare, Roma e l'area Archeologica della città di Cassino, la nostra ricerca si è pertanto indirizzata su due binari principali: nell'ambito del *Progetto Tango* abbiamo testato le caratteristiche, le prestazioni e l'affidabilità dei sistemi hw/sw per la cattura 3D in tempo reale implementata su un dispositivo mobile e le possibilità di restituire, sempre con il medesimo dispositivo, applicazioni di Realtà Aumentata, Mista e Virtuale (AR/MR/

VR); dall'altra, nel quadro del *Progetto Heritagebot* abbiamo invece valutato le possibilità offerte dall'utilizzo di un robot a controllo remoto dotato di sensoristica di acquisizione dati (LIDAR e SfM) in ambienti non facilmente accessibili.

Il progetto Google Tango/Google ArCore

Tango è un progetto sperimentale sviluppato da Google per smartphone e tablet Android che è iniziato nel 2013 e si è concluso nel 2018 essendo stato sostituito da *ArCore*. L'obiettivo principale del progetto è stato quello di testare l'affidabilità, l'impatto e l'interesse degli utenti in un pacchetto hw/sw che permettesse la creazione di contenuti AR/MR/VR solo utilizzando i loro dispositivi di tipo "smart". Sia Lenovo che Asus hanno così rilasciato innovativi dispositivi *Tango* dotati di un pacchetto di componenti hw integrati (RGB camera; time of flight camera; proiettore a infrarossi; fish-eye motion camera; accelerometro e giroscopio) e innovative funzionalità sw. In sintesi, questi dispositivi possono "scansionare" in tempo reale la scena target grazie ad un mix di speciali sensori inerziali che, senza utilizzare alcun tipo di segnale esterno, determinano la posizione nello spazio dello smartphone/tablet e generano nuvole di punti e mesh texturizzate.

I principi fondamentali della piattaforma *Tango* sono i seguenti:

- *Motion Tracking* - Sistema SLAM (localizzazione e mappatura simultanea);
- *Area Learning* ;
- Percezione di profondità.

A. *Motion Tracking* - Sistema SLAM

Questa funzione consente di riferire il movimento del dispositivo allo spazio 3D che lo circonda.

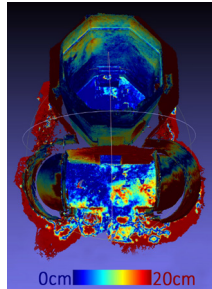
In questa fase, infatti, *Tango* raccoglie una grande quantità di dati grazie alla telecamera fish-eye (circa 60 fotogrammi in bianco e nero al secondo) e dal sistema inerziale IMU (*Inertial Measuring Unit* che comprende accelerometri e giroscopio che aggiornano la posizione del dispositivo fino a 100 volte al secondo). L'elaborazione delle immagini porta a identificare le "caratteristiche salienti" (*feature tracking*) della scena esplorata riferite principalmente alle discontinuità geometriche dell'ambiente reale. Queste fungono di fatto da elementi fiduciali che consentono fotogramma per fotogramma un accurato *feature tracking* a cui sono continuamente accoppiate le letture IMU: dalla combina-

Fig. 2. Sensoristica integrata ai dispositivi mobiliTango: RGB camera; time of flight camera; proiettore a infrarossi; fish-eye motion camera; accelerometro e giroscopio.



- RGB Camera
- Time of Flight Camera (ToF)
- IR Projector
- Fish - Eye Motion Camera

Fig. 3. Chiesa Santa Maria delle Vigne a Pratica di Mare, Roma. Foto dello stato attuale e nuvola di punti ottenuta dal rilevamento con la tecnologia Tango.



zione di questi due set di dati, il software identifica una traiettoria 3D che rappresenta il movimento dello smartphone nello spazio.

B. Area Learning

Questa fase porta il software a determinare la propria posizione rispetto all'ambiente circostante. Questo processo si sviluppa in stretta combinazione con il precedente (*Motion Tracking*) e mira a determinare con precisione la posizione del dispositivo nello spazio, funzione fondamentale sia nella cattura 3D che nelle applicazioni AR/MR/VR. In sintesi, visitando un ambiente precedentemente già acquisito, il dispositivo confronta le nuove informazioni con quelle vecchie aggiornando/affinando la traiettoria calcolata introducendo automaticamente correzioni agli errori accumulati durante i movimenti.

C. Percezione della profondità

Le informazioni dinamiche acquisite durante le prime due fasi vengono infine inserite in una griglia metrica tridimensionale generata dalle misurazioni del sensore TOF (*Time of Flight*, tempo di volo) a infrarossi.

E' in questa fase infatti in cui *Tango* crea il modello 3D della scena circostante, passaggio essenziale per garantire la dovuta precisione metrica al dataset finale che diverrà a questo punto utilizzabile dal dispositivo per applicazioni di acquisizione 3D o AR/MR/VR.

Applicazioni Tango

Sfruttando la combinazione dei sensori integrati descritti nel paragrafo precedente, la tecnologia *Tango* è in grado di correlare informazioni sulla posizione, letture RGB e dati ottenuti dal sensore TOF a infrarossi in modo da generare un modello di *mesh* 3D texturizzato delle aree "scansionate". Il processo di acquisizione è particolarmente semplificato e completamente automatizzato, richiedendo all'utente solo di scegliere e completare la propria traiettoria all'interno della zona da acquisire.

La nostra sperimentazione si è concentrata sulla qualità e sulle possibilità offerte da questa tecnologia, testando i sistemi su una piccolo caso pilota (la Chiesa Santa Maria delle Vigne a Pratica di Mare, Roma). La nostra attività ha comportato il rilievo (cattura 3D), la validazione metrica dei dati e la creazione di 3 modelli/contenuti sviluppati rispettivamente in ambienti AR/MR/VR. I risultati sono stati

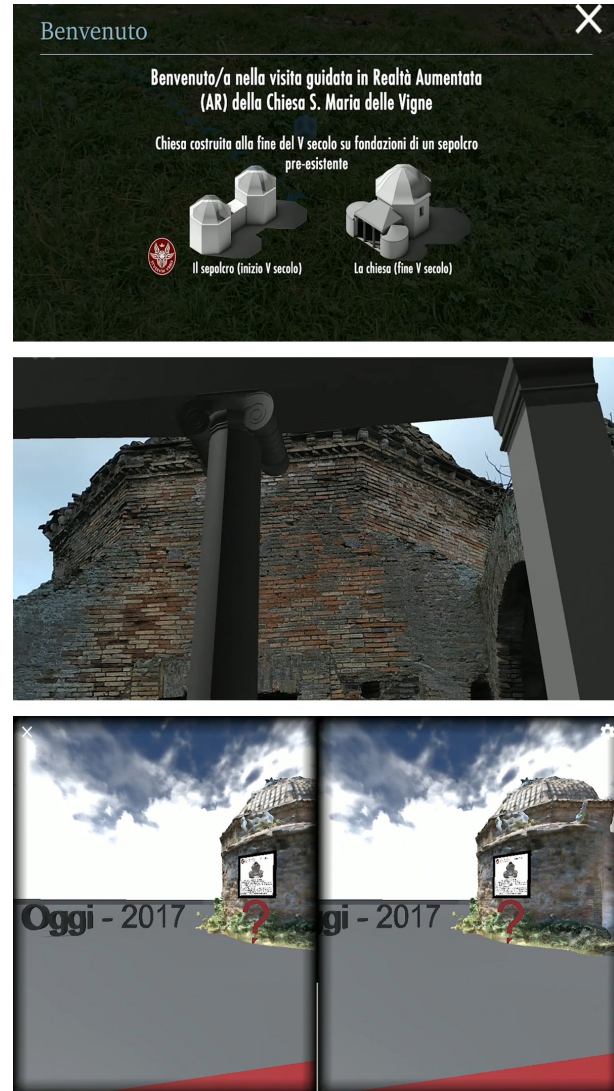
piuttosto incoraggianti soprattutto per quanto riguarda l'acquisizione e la costruzione di modelli di comunicazione che sono stati completati quasi esclusivamente con il primo dispositivo *Tango consumer*. Tuttavia, sono stati registrati alcuni importanti aspetti che influenzano direttamente la fase di acquisizione e che sono essenzialmente legati alle prestazioni del sistema *hw* e alle sue capacità di memorizzazione.

Per superare questi problemi, la fase di *capturing* è stata suddivisa in segmenti, ognuno dei quali è stato accuratamente pianificato e ottimizzato in base alle capacità dello smartphone utilizzato. Il modello numerico 3D acquisito (nuvole di punti) è stato quindi elaborato ottenendo la corrispondente superficie *mesh*. Una volta costruite tutte le superfici *mesh* che ricoprono l'oggetto, queste sono state allineate per mezzo di punti omologhi e validate con i tradizionali software di gestione *mesh* (nel nostro caso *Meshlab* e *Rhinoceros*) rispetto ad un modello di riferimento derivato da una campagna integrata di rilevamento topografico e SfM.

Come abbiamo detto, però, il *progetto Tango* è stato concepito principalmente come strumento di "arricchimento della realtà" sotto forma di contenuti di AR/MR/VR. Nella nostra sperimentazione, i primi due modelli (AR e MR) sono stati sviluppati in precedenza e in qualche modo in preparazione di quello VR più orientato verso la fruizione del contenuto informativo del manufatto. I modelli AR e MR forniscono infatti informazioni interattive sulle diverse fasi storiche dell'edificio fondendo il suo aspetto reale con ricostruzioni tridimensionali di parti mancanti o elementi rilevanti per la sua lettura stratigrafica. Il dispositivo mobile, precedentemente utilizzato per lo sviluppo dei contenuti, ha qui avuto la funzione di visualizzatore VR garantendo l'esplorazione di un modello immersivo con cui l'utente può interagire.

Il rilievo speditivo condotto con il sistema *Tango* dimostra come la tecnologia *high-end* integrata nel dispositivo consenta un rilievo 3D dei manufatti costruiti sufficientemente accurato ma allo stesso tempo di facile utilizzo. I risultati sono incoraggianti e a volte addirittura competitivi rispetto alla tecnologia SfM. Molte delle limitazioni riscontrate sono difetti tipici di uno sviluppo ancora in corso. La struttura hardware non è completamente ottimizzata per queste attività di "rilievo/modellazione": prima di tutto la RAM del dispositivo obbliga ad eseguire scansioni multiple anche per piccole costruzioni. Altri problemi riguardano un flusso di lavoro non ancora standardizzato o scelte progettuali

Fig. 4. Interfaccia per l'accesso ai contenuti di AR/MR/VR.



migliorabili (ad esempio, il sensore a infrarossi integrato ha un raggio d'azione limitato e ovviamente non può funzionare in modo adeguato in un ambiente troppo illuminato). Tuttavia, i vantaggi che la *suite Tango* offre all'intero settore del rilievo e della rappresentazione dei manufatti costruiti sono importanti: il basso costo del sistema (circa 500€), la facilità d'uso, la portabilità e, soprattutto, la capacità di operare *stand-alone*. Quest'ultima caratteristica è particolarmente significativa perché il dispositivo non ha bisogno in ogni fase di lavoro di nient'altro che dell'alimentazione fornita dalla propria batteria, indipendentemente da qualsiasi connessione internet o GPS.

In conclusione, possiamo affermare che *Tango*, per quanto rudimentale, rappresenta comunque un ulteriore strumento innovativo per migliorare le possibilità offerte agli sviluppatori (e anche agli utenti generici). In particolare, permette di creare nuove tipologie di esperienze utente e contenuti AR/MR/VR grazie a nuove funzioni (come la navigazione interna e il riconoscimento ambientale) che portano ad un maggiore coinvolgimento dell'utente. D'altra parte, le limitazioni che attualmente interessano il *Tango* a nostro avviso saranno rapidamente superate dalla naturale evoluzione dei nuovi prodotti a partire da quella che potremmo considerare la sua erede, la *suite ArCore*.

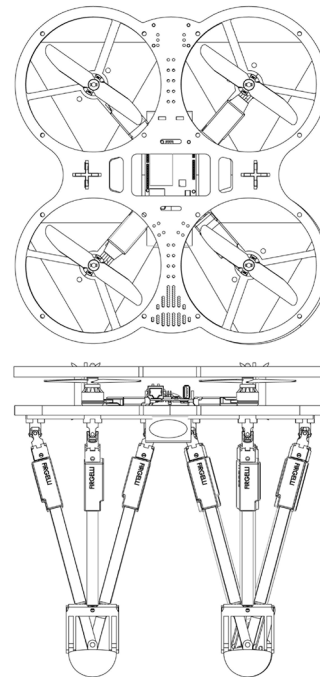
Con la conclusione del *progetto Tango*, Google ha infatti dato vita a un nuovo progetto di più ampio respiro denominato *ArCore*, inizialmente presentato come rivoluzionario perché sarebbe stato compatibile con tutti i nuovi dispositivi Android e non solo con alcuni modelli specifici come il suo predecessore *Tango*.

L'idea era quella di estendere il grande potenziale della tecnologia *Tango* (rivelatosi non così grande purtroppo) a qualsiasi smartphone con una versione Android pari o superiore a 7.1 Nougat (in alcuni casi recentemente corretto a 8.0 Oreo).

La differenza sostanziale tra *Tango* e *ArCore* sta nella rimozione dal processo del rilevamento di profondità (dati del sensore TOF) e del *motion tracking* (dati della camera *fish-eye*), scelta che ha permesso una riduzione dei costi e una sempre maggiore compatibilità con tutti i dispositivi Android che rispettano i requisiti minimi *ArCore*.

Purtroppo, anche se la rimozione di importanti componenti hardware sta migliorando lo sviluppo e l'adozione di *ArCore*, permangono significative criticità nel software soprattutto a causa delle operazioni aggiuntive di "calibrazione" affidate al sistema IMU (molto più di quanto non fosse per *Tango*) e che presuppone uno scambio di

Fig. 5. Progetto del prototipo *Heritagebot* e specifiche tecniche.



SPECIFICHE TECNICHE

Dimensioni (overall size): cm 50x50x50
 Peso (stimato): Kg 5
 Power supply: 12 V
 Battery capacity: 5,2 A/h
 Payload (max): 2 kg
 Walking speed: 65 mm/sec = 234 m/h
 Battery life (stimato): 1 h/32 min in small flight 5 hours in static mode
 2 hours video/sensor mode

Fig. 6. Sensoristica applicabile al prototipo *Heritagebot*: Camera RGB, Death Camera, Lidar 3d, Lidar 2d.

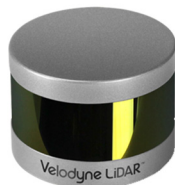
Camera RGB



Death Camera



Lidar 3d - Velodyne



Lidar 2d - Rp Lidar



informazioni tra i produttori di smartphone e quelli dei vari sensori (accelerometri e giroscopio) al momento non sempre adeguato.

ArCore, complessivamente, appare dunque non aver ancora sopravanzato *Tango* anche perché, nonostante gli sforzi di semplificazione siano apprezzabili (non è richiesto un hardware specifico), la piattaforma non è sufficientemente supportata e al momento meno potente. Ad esempio, non è possibile eseguire (almeno ufficialmente) né la cattura 3D né utilizzare la funzione *Area Learning*: questo significa che il dispositivo non è in grado di riconoscere un ambiente precedentemente esplorato limitando di fatto la creazione di esperienze AR/MR/VR.

Nonostante tutti questi problemi che affliggono il neonato ArCore, le aspettative sono ancora molto elevate e alcuni segnali suggeriscono l'implementazione nel prossimo futuro di nuove funzioni volte a ridurre il divario con il "vecchio" *Tango*.

Il progetto *Heritagebot*

Fino a oggi la robotica ha avuto importanti sviluppi in molteplici ambiti non solo professionali, ma anche nel campo di applicazioni ludiche. Ciò ha dato un notevole impulso allo sviluppo di tecnologie per la produzione di piattaforme mobili e teleguidate che, grazie anche al basso costo dei prodotti e alla semplificazione delle interfacce, permettono di realizzare prototipi in grado di aumentare esponenzialmente i campi di applicazione anche e specificamente nell'ambito del rilievo dei manufatti.

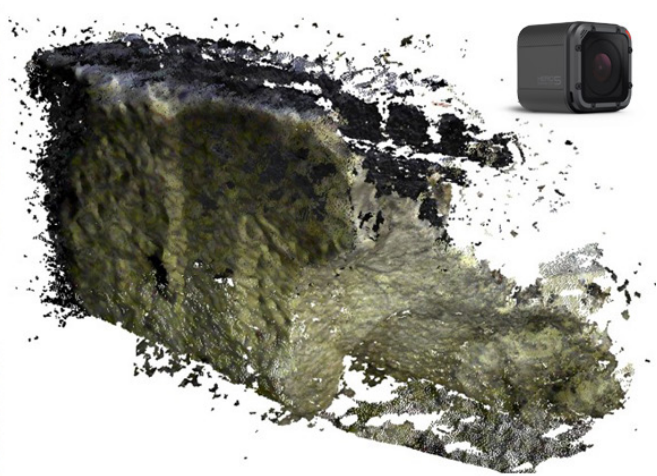
Gli esempi di strutture robotiche fino ad oggi realizzate si caratterizzano generalmente per le notevoli dimensioni, necessarie sia per rispondere alle richieste di energia indispensabile all'operatività della macchina, sia per consentire una gestione semplificata della mobilità. Questi modelli operativi in realtà poco si legano alle necessità di conoscenza del vasto mondo dei Beni Culturali, dove spesso per poter preservare i reperti viene richiesto un approccio a basso impatto. Inoltre, spesso in ragione dell'estrema variabilità degli ambienti che caratterizzano gli spazi architettonici e ancor più quelli archeologici, per la loro esplorazione e rilevamento è necessario disporre di sistemi mobili che siano dotati di una manovrabilità aumentata, che ancora non è implementata nei sistemi in commercio ma che in linea teorica è possibile realizzare con i mezzi già a disposizione.

Di fatto, la sensoristica attualmente disponibile offre varie possibilità di applicazione, grazie alla particolare duttilità quanto alle caratteristiche del sensore, alle sue sempre più ridotte dimensioni e alla progressiva semplificazione delle procedure di acquisizione. Inoltre, la sensoristica di tipo digitale, proprio per la tipologia di dati che è in grado di acquisire, permette di integrare le informazioni, anch'esse digitali, di gestione, movimentazione e localizzazione della piattaforma in un unico protocollo di lavoro. Attualmente la vera sfida alla completezza delle informazioni che riguardano i Beni Culturali è da ricercare nella possibilità di rendere accessibile ciò che fino ad ora, per vari motivi, accessibile non è. In effetti, la natura stratigrafica della crescita degli edifici nel tempo, la loro risposta fisica al trascorrere degli anni, o ancora le trasformazioni prodotte da eventi catastrofici, costituiscono alcune delle caratteristiche sulla base delle quali è necessario intervenire. La possibilità di operare consapevolmente scelte di carattere critico su ciò che resta dei manufatti architettonici e archeologici, si scontra spesso con limiti oggettivi imposti all'analisi e al rilievo dalla difficoltà di esplorare particolari ambiti "ostili". Solo per fare un esempio si possono citare i manufatti pericolanti che per poter essere studiati hanno bisogno di un sistema complesso di strutture di consolidamento, come pure gli spazi di piccole dimensioni, quali sottopavimentazioni o cunicoli il

cui accesso è precluso per questioni di praticabilità. Ciò che è accessibile e visibile viene infatti oggi analizzato con strumentazioni digitali capaci di un alto livello di dettaglio offrendo certamente allo studioso o al progettista straordinarie opportunità. Spesso, tuttavia, gli oggetti di studio presentano parti precluse alle convenzionali procedure di acquisizione sia per ragioni di incolumità dell'operatore sia perché troppo angusti perché gli strumenti possano fisicamente accedervi. La miniaturizzazione dei sensori e dei vari componenti di supporto rappresenta, nelle aspettative, la modalità attraverso la quale si potrà superare questo gap estendendo a più vasti contesti l'operatività di oggetti teleguidati ottimizzati per l'acquisizione di dati metrici e di altra natura. Allo stesso tempo, la possibilità di poter contare su una piattaforma dotata di più gradi di libertà per la sua movimentazione costituisce un elemento chiave in grado di aprire nuovi e importanti ambiti di ricerca facendo a meno di costosi interventi di messa in sicurezza o addirittura di attività a carattere distruttivo.

Per rispondere a queste esigenze ha preso vita il progetto *Heritagebot* [2] finalizzato alla costruzione e prototipazione di una piattaforma mobile controllata in remoto, in grado di costituirsi come elemento di innovazione per la sua capacità di acquisire dati digitali in autonomia e in luoghi altrimenti non accessibili.

Fig. 7. Procedura SFM in luogo inaccessibile: fotogramma della fase di elaborazione e nuvola di punti.



Applicazioni realizzate con l'utilizzo del prototipo a controllo remoto *Heritagebot*

Una parte rilevante del *progetto Heritagebot* è stata l'analisi dello stato dell'arte dei sistemi di acquisizione come pure dei risultati raggiungibili facendo uso di queste tecnologie in termini di supporto alla creazione di modelli per la comunicazione.

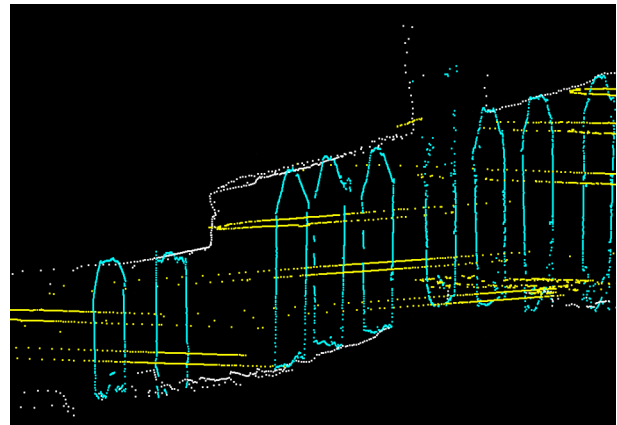
La prima fase delle attività ha riguardato l'analisi della sensoristica di ridotte dimensioni con la quale attrezzare il prototipo da sviluppare. Il mercato propone diverse soluzioni che è possibile classificare in relazione alla tecnologia di acquisizione utilizzata. Generalizzando, è possibile dividere i sensori essenzialmente in due classi: sensori di tipo LIDAR (2D o 3D) basati sulla tecnologia laser a tempo di volo e sensori in grado di reagire a diverse lunghezze d'onda elettromagnetiche sia nella sezione visibile dello spettro (i comuni sensori di tipo fotografico) sia in quella non visibile ultravioletta e infrarossa (quest'ultima utilizzata dalle cosiddette *depth cameras* tra cui quella montata sul *device Tango* menzionato nella prima parte). Le due tecnologie acquisiscono informazioni parziali dagli oggetti nella forma di dati digitali che attraverso un processo di elaborazione sono in grado di restituire informazioni di tipo metrico e/o percettivo.

Al fine di valutare la qualità del dato acquisito attraverso i singoli sensori, è stato utilizzato il metodo del confronto comparando acquisizioni in laboratorio di oggetti di riferimento con riprese in contesti reali secondo un criterio di complessità crescente. In particolare, le tecnologie di maggiori dimensioni ed ingombro (laser scanner 3d e stazioni totali) non facilmente utilizzabili in ambienti non accessibili ma dalla qualità metrica certificata, hanno costituito comunque il *benchmark* per la validazione dei risultati acquisiti con i diversi sensori.

In effetti, operando per sezioni specifiche ovvero per piani, è stato possibile valutare non solo la qualità metrica del dato ma anche le prestazioni del sensore in termini di affidabilità sulla distanza, lo scarto medio per unità di misura considerata, la capacità di acquisizione di dati RGB o infrarosso in relazione alla luminosità o alla sensibilità del sensore che si traducono in possibilità di successivo utilizzo nelle operazioni di modellazione SfM.

Dal confronto tra i risultati delle acquisizioni con i diversi dispositivi è emerso un quadro confortante anche se non definitivo. In particolare, l'attuale sensoristica presa singolarmente mostra limiti evidenti che però appaiono facilmente superabili integrando sensori differenti. In buona sostanza,

Fig. 8. Procedura di acquisizione mediante sensore Lidar 2d di cunicolo inaccessibile, nuvola di punti realizzata per il confronto e sezioni ricavate dall'utilizzo di sensore Lidar 2d.



al fine di ottenere dati digitali utili per elaborazioni di tipo critico o descrittivo, la soluzione più promettente appare quella di un unico device dotato di diverse sensoristiche tutte interlacciate ed in grado di restituire dati digitali coerenti del medesimo oggetto in quanto suddivisi in livelli che fanno riferimento ad un'unica matrice geometrica.

Procedura basata su *Structure from Motion*

Per definire la procedura di rilievo utilizzando la SfM, abbiamo utilizzato una action camera su un *Parrot Mini Drone* controllato da un'interfaccia grafica remota. Nel complesso, abbiamo effettuato 2 test, il primo all'esterno e il secondo nel sottosuolo, entrambi all'interno dell'area archeologica di Cassino.

Il primo test, effettuato con la action camera, è stato un tentativo di rilevare una parte del teatro della cavea di Cassino. Il drone è stato equipaggiato con la telecamera per acquisire immagini più dettagliate e queste sono state utilizzate per la modellazione SfM. Per queste foto, il numero di punti riconosciuti dal software è stato molto alto, così è stato possibile costruire una nuvola di punti di buona qualità con un alto livello di dettaglio.

Dopo questo primo test, abbiamo effettuato un altro rilievo con lo stesso metodo (mini drone con *action camera* e SfM) ma abbiamo cambiato la posizione spostandoci sotto la scena teatrale dove è possibile trovare alcuni reperti archeologici. In questo secondo tentativo, è chiaramente visibile che il software fotogrammetrico riconosce molto meno punti rispetto al test precedente, quindi la qualità della nuvola di punti non è buona come l'altro test condotto in piena luce. Questi test ci danno la possibilità di individuare la debolezza dell'intero processo: il problema principale è la luce, che nel sottosuolo non è sufficiente a consentire l'utilizzo di questo tipo di sensore. Inoltre, il secondo test ci dà una chiara indicazione per risolvere questo problema: al momento stiamo infatti lavorando ad una nuova soluzione per il prototipo che integrerà una *flash* macro per la fotocamera e un sistema di luci integrato in grado di migliorare la luce ambiente.

Secondo Test LIDAR

Un ulteriore controllo sulle potenzialità del prototipo è stato effettuato con l'utilizzo di un sensore LIDAR abbinando i dati acquisiti con quelli ottenuti con la tecnica SfM. Questo

test è stato effettuato all'interno di una zona inaccessibile presente nell'area archeologica romana di Casinum. Nello specifico è stato scelto per rilevare, con le due diverse tecniche, il tunnel che dal centro dell'anfiteatro passa sotto il muro esterno a sud-est dell'edificio, probabilmente deputato al drenaggio dell'acqua.

La scelta di quest'area è stata motivata dalla necessità di testare gli strumenti all'interno di un sito reale con tutte le sfide che caratterizzano un'area a bassa accessibilità: la vegetazione spontanea, lo stretto spazio disponibile, la non uniformità del terreno e, più in generale, di tutta l'area circostante. L'ambiente di prova è stato accuratamente mappato con 184 foto, scattate non solo all'interno della galleria ma anche all'esterno per consentire l'abbinamento con altri dati di rilievo del manufatto. Successivamente sono state impostate le elaborazioni fotogrammetriche dell'area e sono state allineate correttamente 183 foto ottenendo una nuvola composta da oltre 27 milioni di punti.

Per simulare l'effettiva operatività di *Heritagebot* (in grado di muoversi lungo le tre dimensioni ed effettuare acquisizioni sia in volo che in posizione statica) le prove sono state effettuate realizzando diverse scansioni su piani paralleli per mappare l'intera galleria utilizzando il sensore LIDAR. Grazie alla sovrapposizione di diverse scansioni consecutive, a causa della limitata portata dello strumento e per evitare zone d'ombra non analizzate. L'elaborazione dei dati necessari per convertire le coordinate polari (il modo in cui lo strumento acquisisce i dati) in coordinate cartesiane xyz fondamentali per leggere il file come una nuvola di punti ci si è serviti di un accelerometro installato sulla piattaforma di acquisizione in grado di fornire i movimenti relativi. Considerando che il LIDAR registra le coordinate esclusivamente su un piano, la coordinata z è stata impostata sul valore zero per tutte le scansioni e successivamente sono state ruotate e allineate allo *zenith* le sezioni verticali mentre sono state lasciate orizzontali il piano acquisito ad altezze diverse. I processi di allineamento sono stati condotti in ambiente CAD grazie alla compatibilità tra *Recap 360* (per la gestione delle nuvole di punti) e *AutoCad*.

Il processo di allineamento ha prodotto un risultato soddisfacente, sia per la densità dei punti acquisiti che per l'incertezza metrica della misura. Inoltre, a differenza del processo fotogrammetrico, il LIDAR non soffre della mancanza di luce all'interno della galleria e ciò permette di condurre agevolmente il rilevamento di queste zone che invece, senza una luce supplementare, risulterebbero non

rilevabili con le telecamere tradizionali. Da questi dati sono state realizzate numerose sezioni caratteristiche: una longitudinale che sottolinea le variazioni altimetriche e diverse sezioni trasversali nei punti chiave dove si può notare la diversa soluzione utilizzata per il soffitto della galleria.

Conclusioni

L'attività di rilievo finalizzata alla creazione di modelli di manufatti costruiti è certamente influenzata direttamente dai sistemi utilizzati per la cattura con una chiara preferenza per quelli di facile trasporto, altamente automatizzati, multisensore, il più possibile miniaturizzati ma comunque in grado di fornire dati e risultati scientificamente affidabili. Allo stesso tempo, la diffusione dei dispositivi intelligenti ci permette di offrire agli utenti nuove modalità di arricchimento della conoscenza creando modelli in grado di delineare un'interazione utente/realtà più coinvolgente ed efficiente e, eventualmente, di rivelare nuove forme di comunicazione e diffusione della cultura.

Le applicazioni di *Augmented/Mixed* e *Virtual Reality* hanno infatti riaccessato massicciamente l'interesse degli utenti (e la leva esperienziale ha sicuramente rappresentato uno degli elementi chiave per il loro successo) solo dopo che queste

tecnologie sono state incorporate in dispositivi mobili a basso costo. Infatti, anche se per anni sono esistiti sistemi in grado di simulare effetti immersivi o interattivi, questi approcci erano piuttosto costosi e richiedevano installazioni dedicate. Lo stesso vale per le numerose esperienze nel campo della stampa 3d e della robotica "ludica" che trovano, grazie alla rete, numerosi esempi di pubblico dominio e semplice accessibilità. Entrambi ostacoli rilevanti per la loro ampia diffusione.

Con la miniaturizzazione delle tecnologie di acquisizione e visualizzazione, questo scenario è cambiato radicalmente, aprendo la strada al coinvolgimento di un pubblico più ampio, dato il facile accesso a strumenti pronti all'uso, semplicemente scaricando una specifica applicazione e sfruttando le potenzialità di uno smartphone.

Sia l'esperienza di *Tango* che quella proposta da *Heritagebot* dimostrano come la tecnologia sia ormai matura per cambiare l'approccio globale all'acquisizione dei dati e alla produzione di contenuti AR/MR/VR. Si tratta ormai di un'opzione concreta e diffusa per acquisire dati geometrici, interagire con gli ambienti, anche di tipo inaccessibile, e progettare un nuovo modo di percepire la realtà con l'aiuto di dispositivi intelligenti.

Un nuovo passo, dunque, verso la democratizzazione della conoscenza.

Note

[1] La *Citizen Science* viene definita in diversi modi poiché ha origini multiple e deriva da diversi concetti. L'Oxford English Dictionary nel 2014 l'ha definita come «attività scientifica condotta da membri del pubblico indistinto in collaborazione con scienziati o sotto la direzione di scienziati professionisti e istituzioni scientifiche». Tuttavia la *Citizen Science*, come fanno notare Bonney, Cooper e Ballard [Bonney et al. 2016, p. 1] è riferibile anche a altro nel momento in cui permette a semplici cittadini di porre domande e fornire risposte su importanti questioni scientifiche o a indirizzare l'attenzione pubblica su questioni ambientali, sulla salute

pubblica o sulla gestione delle risorse naturali favorendo collaborazioni tra comunità di cittadini e istituzioni scientifiche <https://it.wikipedia.org/wiki/Citizen_science> (consultato il 26 maggio 2019).

[2] Il contributo si inserisce all'interno dei prodotti di una ricerca FILAS Regione Lazio portata avanti dal Dipartimento di Economia dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio meridionale e che coinvolge i ricercatori dei laboratori DART, LARM, IMPRENDILAB e FINLAB.

Autori

Carlo Bianchini, Dipartimento Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, carlo.bianchini@uniroma1.it.

Luca J. Senatore, Dipartimento Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, luca.senatore@uniroma1.it.

Lorenzo Catena, Dipartimento Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, catena.l472501@studenti.uniroma1.it.

Riferimenti bibliografici

Bartolomei, C., Bianchini, C., Ippolito, A. (2016). Low cost documentation for the knowledge of the city. In *Proceedings of the 4th Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2016)*. Singapore, 25-26 April 2016, pp. 177-183.

Bianchini, C. (2014). Survey 2.0: new technologies, new equipment, new surveyors. In P. Giandebiaggi, C. Vernizzi (a cura di). *Italian Survey & International Experiences*. Atti del 36° Convegno Internazionale dei Docenti della Rappresentazione/XI Congresso UID. Parma, 18-20 settembre 2014, pp. 763-768. Roma: Gangemi editore.

Bianchini, C., Ippolito, A., Bartolomei, C. (2016). The Surveying and Representation Process Applied to Architecture: Non-Contact Methods for the Documentation of Cultural Heritage. In A. Ippolito (ed.) *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, pp. 44-93. Hershey, Pennsylvania: IGI Global.

Bianchini, C. (2012). Rilievo e Metodo Scientifico. In L. Carlevaris, M. Filippa (a cura di). *Elogio della Teoria. Identità delle discipline del Disegno e del Rilievo/ In praise of theory. The fundamentals of the disciplines of representation and survey*. Atti del 34° Convegno Internazionale dei Docenti della Rappresentazione/IX Congresso UID. Roma, 13-15 dicembre 2012, pp. 391-400. Roma: Gangemi editore.

Bonney, R., Cooper, C., Ballard, H. (2016). The Theory and Practice of Citizen Science: Launching a New Journal. In *Citizen Science: Theory and Practice*. 1, n. 1, p. 1. <<http://doi.org/10.5334/cstp.65>> (consultato il 26 maggio 2019).

Cigola, M., Gallozzi, A., Bianchini, C., Senatore, L.J., Di Maccio, R. (2017). The HeritageBot Project. Putting Robotics into Survey. In M. Ceccarelli, M. Cigola, G. Recinto (eds.). *New Activities For Cultural Heritage*. Proceedings of the International Conference HeritageBot 2017. Cassino, 21-22 September 2017, pp. 113-121. Cham: Springer.

Eldredge, N., Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In T.J.M. Schopf (ed.). *Models in Paleobiology*, pp. 82-115. San Francisco: Freeman Cooper & Co. Ripubblicato in Eldredge, N. (1985). *Time frames. The Evolution of Punctuated Equilibria*. Princeton: Princeton University Press, 1985, pp. 193-223.

Tokareva, J. (2018). *The Difference Between Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality* <<https://www.forbes.com/sites/quora/2018/02/02/the-difference-between-virtual-reality-augmented-reality-and-mixed-reality/#59fdeae22d07>> (consultato il 26 maggio 2019).

Viscogliosi, A. (2015). Lo studio della Storia dell'Architettura fra tradizione e high-tech. In *Disegnare. Idee Immagini*, n. 51, pp. 80-90.