

L'UTILIZZO DI SMARTPHONE PER IL POSIZIONAMENTO ATTRAVERSO LIDAR 3D E FOTOGRAMMETRIA DIGITALE

THE SMARTPHONE USE FOR POSITIONING THROUGH 3D LIDAR AND DIGITAL PHOTOGRAMMETRY

Irene Aicardi^a

^a DIATI, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino, Italy - irene.aicardi@polito.it

PAROLE CHIAVE: posizionamento, smartphone, SIFT, *low cost*, *augmented reality*

KEY WORDS: positioning, smartphone, SIFT, *low cost*, *augmented reality*

RIASSUNTO

La maggior parte delle persone è ad oggi fornita di uno *smartphone*, dispositivo che, tra le tante cose, permette di ottenere informazioni sulla posizione (attraverso sistemi GNSS), l'assetto e l'orientamento (attraverso i sensori quali accelerometri, magnetometri e giroscopi), funzionalità sempre più importanti per il coinvolgimento attivo degli utenti nello scambio di informazioni.

Tuttavia, in ambienti urbani densamente edificati e in applicazioni speciali, la tecnologia *real time* con GNSS spesso non è in grado di fornire una soluzione di posizionamento a causa della cattiva o inesistente ricezione dei satelliti.

In questo scenario si propone la metodologia di *image based positioning* (IBP) (collaborazione tra Politecnico di Torino e Telecom) che si pone come obiettivo l'utilizzo delle immagini acquisite attraverso camere digitali integrate negli *smartphone* per ottenere una stima della posizione. La procedura è stata testata sia in ambiente *indoor* che *outdoor* ottenendo accuratezza decimetrica nella maggior parte dei casi.

ABSTRACT

In recent years, the knowledge and the sharing of our location are becoming increasingly important for the active involvement of the users in the exchange of information and data.

Today most of the users are equipped with a smartphone, a device that allows to get location informations (mainly through GNSS systems), the attitude and the orientation (through the sensors such as accelerometers, magnetometers and gyroscopes).

However, the positioning in densely built urban environments and indoor applications sometimes cannot provide a solution because the signals from satellites are very poor.

In this scenario, the methodology of image based positioning (IBP) is proposed, whose aim is to use the smartphone images to get a position estimation. The proposed procedure has been tested both in indoor and outdoor scenario getting some decimeters of positioning accuracy in most of the cases.

1. INTRODUZIONE

“Dove sono?”, “Cosa sto guardando?” sono domande tipiche che ci si pone visitando una nuova città o un nuovo sito. Infatti in applicazioni di *augmented reality* e *location based service* (Boris et al., 2008) è sempre più richiesta la conoscenza della propria posizione, sia in ambito *indoor* che *outdoor*, e questo aspetto sta diventando sempre più importante da quando l'utilizzo della tecnologia *smartphone* si è diffusa tra la maggior parte della popolazione.

Questi dispositivi, classificabili come sistemi *mass market*, offrono soluzioni di posizionamento valide per la maggior parte delle applicazioni e utilizzano i sensori installati per fornire e raffinare le soluzioni.

E' già stato dimostrato in precedenti ricerche come la tecnologia GNSS sia in grado di fornire un buon livello di precisione in ambito *outdoor*, ma nel posizionamento la ricerca volge al poter garantire una soluzione di continuità in tutte le condizioni, comprese quelle in cui la soluzione GNSS è, ad

oggi, poco disponibile (Muthukrishnan et al., 2005). Per questo motivo, si è testata una soluzione alternativa che sfrutta la fotocamera digitale integrata negli *smartphone* per ottenere informazioni sulla propria posizione.

L'approccio prevede la costruzione di un *database* (DB) di immagini che sarà il riferimento per le operazioni di *matching* con le foto acquisite dallo *smartphone* (Cho, 1996). Nella procedura sviluppata sono previsti due step: la selezione dell'immagine di riferimento dal *database*, scelta come la più simile a quella acquisita dal dispositivo, e la stima della posizione e dell'orientamento della camera, attraverso le informazioni 3D dell'immagine di riferimento. In seguito anche alle altre tecniche che la comunità scientifica sta sviluppando, l'obiettivo di tale studio è raggiungere una soluzione di posizionamento con precisioni dell'ordine dei 10-15 cm per il caso *indoor* e inferiori al metro per l'*outdoor*, mentre si ritiene un buon risultato un errore negli angoli di 1-2 rad.

Al fine di caratterizzare i dati ottenuti e gli strumenti utilizzati è importante definire le caratteristiche del sensore utilizzato. In particolare, trattandosi di una procedura basata sull'utilizzo

delle immagini, è fondamentale approfondire le caratteristiche del sensore fotografico attraverso una rigorosa calibrazione della fotocamera. Ciò consentirà di valutare le distorsioni delle lenti e definirne i limiti di accettabilità o le eventuali correzioni da tenere in considerazione nello sviluppo della procedura.

2. LA CALIBRAZIONE DELLA FOTOCAMERA

Utilizzando un dispositivo con fotocamera integrata, non metrica, è fondamentale realizzare una calibrazione del sistema ottico delle lenti al fine di eliminare le distorsioni del sensore (ad esempio quelle radiali). Infatti, nell'IBP l'analisi delle immagini è il punto chiave per realizzare correttamente il *matching* e per poter utilizzare la fotogrammetria per definire il posizionamento.

Come noto, il sistema ottico delle fotocamere è costituito da una serie di lenti di diversa forma curva. Le lenti utilizzate nelle fotocamere sono pezzi di vetro aventi superficie prevalentemente sferica, quindi il centro di curvatura di ciascuna porzione di sfera è situato su una linea retta detta asse ottico della lente. Grazie alla sua forma sferica, è possibile deviare il raggio di luce che passa attraverso le lenti.

Nella realtà le lenti delle camere utilizzate per applicazioni di fotogrammetria presentano alcune differenze significative rispetto al caso ideale/teorico:

- il disallineamento nel montaggio delle lenti;
- l'asse fotogrammetrico di riferimento non coincide con l'asse ottico;
- gli angoli di rifrazione e di incidenza non corrispondono;
- la distanza principale è leggermente diversa dalla distanza principale ottica;
- il piano immagine non è perfettamente perpendicolare all'asse ottico.

Inoltre, il sensore è composto da un *wafer* di silicio che è sostanzialmente statico in termini di geometria. Tuttavia esiste anche in questo caso un effetto di distorsione: in teoria il pixel dovrebbe essere un quadrato perfetto e le righe e le colonne della matrice dovrebbero essere perpendicolari; in realtà questo non accade.

Per caratterizzare le conseguenze di tutti questi effetti occorre quindi analizzare la fotocamera (ASPRS, 2004). In particolare, al fine di ricostruire le deformazioni di una camera, e poter utilizzare questi dati per correggere le immagini acquisite, è necessario procedere ad una operazione di calibrazione.

Per il caso studio specifico presentato in questo articolo, si è svolta un'autocalibrazione attraverso l'utilizzo di un poligono situato all'esterno del Laboratorio di Geomatica del Politecnico di Torino, nel quale sono presenti una serie di *marker* quadrati di lato 8 cm (Figura 1). Il reticolo è formato da 26 target disposti in modo da coprire uniformemente le facciate.

Questi target sono stati tutti rilevati topograficamente, mediante uno schema ridondante per un miglior controllo dei risultati (le coordinate dei target) e una stima affidabile della precisione ottenuta (~ 2-3 cm) mediante soluzione ai minimi quadrati.

Sono state quindi eseguite le riprese fotogrammetriche con lo smartphone (Samsung Galaxy S Advance), acquisendo alcune immagini con ampio ricoprimento trasversale (~ 60-80%) e con centri di presa e inclinazioni differenziate.

Per l'autocalibrazione (Kraus, 1997) del sistema è stato utilizzato il software LPS di ERDAS.



Figura 1 - Poligono di calibrazione del laboratorio di Geomatica

La Figura 2 mostra la curva di distorsione radiale dell'obiettivo ottenuta (in azzurro) e i relativi parametri.

Per affinare e ristimare la distanza principale, la curva è stata depurata dell'andamento lineare, assimilabile ad un fattore di scala, ottenendo così una nuova curva di distorsione (in arancione) con valori dell'ordine di 2-3 μm .

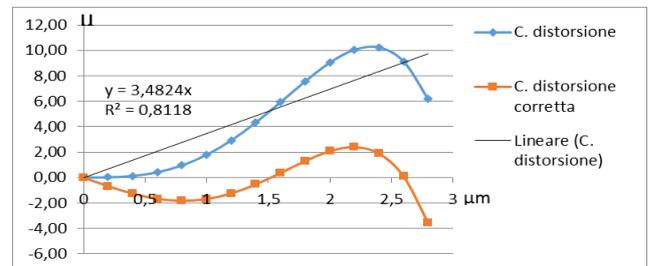


Figura 2 - Curva di distorsione della fotocamera del cellulare (in azzurro), corretta dell'andamento lineare (in arancione)

Più nel dettaglio, la procedura di autocalibrazione ha consentito di ottenere i seguenti parametri:

Orientamento interno:

- $c = 4,3099 \text{ mm}$
- $\xi_0 = 0,0868 \text{ mm}$
- $\eta_0 = 0,0704 \text{ mm}$
- $c = 4,325 \text{ mm}$

Dimensione del sensore:

- 2560 pixel
- 1920 pixel

Dimensione del pixel (uguale nelle due direzioni):

- 1,75 μm .

Nella pratica, al fine di individuare la posizione di acquisizione delle immagini dello smartphone, si è costruito ad hoc un sistema (nel seguito denominato *butterfly*) composto da un supporto rigido per cellulare montato su una piastra dotata di quattro sfere di 2 cm di diametro e colore differente (Figura 3). La posizione relativa delle sfere rispetto al sistema di coordinate immagine della camera digitale dello smartphone è stata determinata contestualmente alla procedura di calibrazione sopra descritta avendo l'accortezza di rilevare la posizione delle 4 sferette per ogni posizione da cui sono state scattate le immagini utilizzate.



Figura 3 - Il sistema Butterfly

In modo analogo, tutto il sistema è stato predisposto su di un cavalletto che consente rotazioni libere in modo tale da permettere di acquisire fotogrammi con assetto angolare molto variabile. Le sferette, contraddistinte da quattro colori diversi, sono state rilevate topograficamente attraverso una stazione totale (TS06 Leica) ottenendo le coordinate del centro delle sferette con deviazione standard dell'ordine di 2-3 cm. In questo modo è stato possibile individuare anche la posizione dello smartphone e il suo assetto angolare in modo tale da avere dei dati per la validazione dei risultati ottenuti con la procedura di IBP proposta.

3. LA METODOLOGIA DI IMAGE BASED POSITIONING

La metodologia di localizzazione proposta in questa ricerca si basa sui seguenti passaggi:

- la realizzazione di un modello 3D dell'ambiente: utilizzato per la generazione delle immagini sintetiche che andranno a costituire il *database* con associate le relative informazioni 3D. Al fine di ottenere una buona soluzione tale *database* dovrà fornire un ricoprimento esaustivo dell'area di interesse, in termini di posizione e orientamento della camera, oltre che per ciò che riguarda la determinazione della lunghezza focale;
- l'acquisizione della foto: l'immagine acquisita dal dispositivo verrà confrontata con quelle presenti nel DB al fine di trovare quella più simile;
- la stima della posizione: utilizzando le informazioni 3D associate all'immagine di riferimento estratta da DB si otterranno i parametri di orientamento esterno della foto scattata.

Analizziamo nello specifico gli step principali che compongono la procedura di IBP.

3.1 La generazione del modello 3D e il database di immagini

Per ottenere un DB di immagini con le relative informazioni 3D sulla posizione, occorre avere a disposizione un modello 3D colorato dell'ambiente da indagare. Questo modello può essere generato attraverso un rilievo LiDAR (Spanò, Chiabrando, 2013) che consente, tra l'altro, l'acquisizione simultanea di immagini attraverso una fotocamera integrata.

In entrambi i casi proposti sono state effettuate alcune scansioni che hanno consentito di generare un modello 3D colorato e georeferenziato che costituisce la base per l'estrazione delle immagini del DB e le relative informazioni spaziali (Li et al., 2012).

Infatti, ottenuto il modello, si procede alla generazione delle immagini solide (Bornaz et. al., 2003) (Figura 4), ovvero immagini sintetiche nelle quali ad ogni pixel è associata, oltre all'informazione radiometrica, anche quella relativa alla posizione, espressa in coordinate tridimensionali in un determinato sistema di riferimento.



Figura 4 - Esempio di immagine solida generata attraverso la procedura automatica

Le immagini solide possono essere automaticamente generate attraverso i seguenti passaggi:

- si genera un'immagine solida vuota (RGB e distanza) utilizzando il numero di pixel in riga e colonna (n_{rig} , n_{col});
- si estrae un sottoinsieme di punti colorati (X_i , Y_i , Z_i , con $i=1:n$, n = numero di punti selezionati) dalla nuvola di punti RGB originale, secondo un volume definibile utilizzando un settore di sfera con:
 - centro nella posizione dell'immagine solida generata;
 - direzione dell'asse coincidente con l'asse ottico dell'immagine solida sintetica;
 - raggio R .
- per ogni punto si calcola una distanza (d_i) rispetto alla posizione dell'immagine solida generata;
- ogni punto RGB selezionato è proiettato sull'immagine solida definendo le coordinate immagine (ξ_i , η_i) attraverso i parametri di orientamento interno ed esterno all'interno delle equazioni di collinearità;
- le coordinate immagine (ξ_i , η_i) vengono convertite in coordinate pixel (c_i , r_i);
- i valori RGB di ogni punto vengono inseriti nelle celle delle matrici immagine nella posizione (c_i , r_i);
- viene inserito il valore della distanza d_i nelle celle delle matrici immagine nella posizione (c_i , r_i);
- alle fine della procedura i pixel ancora vuoti vengono riempiti attraverso un algoritmo di correlazione basato sui pixel vicini.

3.2 La procedura di *matching* con l'immagine di riferimento

Costruito il database di riferimento, occorre definire la procedura che consente di selezionare dal DB l'immagine di riferimento più simile all'immagine acquisita con il cellulare (Gupta, 2010). Per questa operazione si utilizza la soluzione fornita da MPEG7 CDVS (*Compact Descriptors for Visual Search*) (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/W13564, 2013): viene svolta una prima classificazione delle immagini attraverso i descrittori globali, che consente di estrarre dal DB un certo

numero di immagini definite potenzialmente simili rispetto a quella reale, e successivamente, si effettua un nuovo *matching* considerando coppie di *key point* più simili tra le immagini (Lowe, 2004). Per ogni descrittore dell'immagine reale si cerca esclusivamente un descrittore nell'immagine di riferimento che verrà poi validato attraverso una verifica di tipo geometrico. Sulla base di un modello statistico, possono essere selezionati una serie di buone associazioni che vengono poi classificate attraverso un punteggio di somiglianza.

Gli step della procedura possono essere riassunti nel seguente modo:

1. estrazione delle *feature* comuni tra l'immagine di riferimento e quella reale attraverso l'algoritmo SIFT (Li et al., 2011);
2. *matching* dei *key point* che hanno esclusivamente un descrittore simile tra tutti i *key point* dell'immagine di riferimento;
3. controllo geometrico attraverso DISTRAT al fine di effettuare una prima reiezione degli *outliers* (Rousseeuw et al., 1987);
4. attraverso procedura RANSAC, *RANdom SAMple Consensus* (Fischer, 1981), si stima la matrice fondamentale tra le due immagini, in modo tale da evidenziare eventuali *outliers* rimasti in seguito al controllo di DISTRAT.

3.3 Stima dei parametri di orientamento esterno dell'immagine

Ottenuta l'immagine di riferimento che più si avvicina a quella scattata, occorre ora estrarne le informazioni relative alla posizione. Ciò avviene grazie al fatto che le immagini del DB sono immagini solide, ovvero immagini che contengono in sé anche informazioni relative alla loro posizione.

La procedura per stimare i parametri di orientamento esterno (e interno) a partire dall'immagine solida segue i seguenti passaggi:

5. le *feature* comuni vengono trasformate in informazioni 3D grazie all'immagine solida associata;
6. si stima la trasformazione DLT (*Direct Linear Transformation*) associata all'immagine del cellulare in base ai punti d'appoggio ottenuti mediante le *feature* 3D ricavate al punto precedente;
7. si decodificano gli 11 parametri della DLT ottenendo i parametri di orientamento esterno (e interno) in 1 approssimazione;
8. si eliminano eventuali *outliers* residui;
9. mediante le equazioni di collinearità si raffinano i parametri di orientamento esterno;
10. si calcolano i residui per giudicare la soluzione (diagnostica della soluzione attraverso la matrice di varianza covarianza).

Al termine di questa ultima procedura otteniamo quindi le informazioni sulla posizione e l'orientamento dell'immagine scattata.

4. I TEST EFFETTUATI

Per la verifica della procedura proposta, l'IBP è stata testata in due ambienti diversi: il *test site indoor* ha riguardato i locali del WinLab Telecom di Torino, mentre l'applicazione *outdoor* è stata svolta in un tratto di via Garibaldi, compreso tra via della Consolata e via Stampatori.

In entrambi i casi il rilievo LiDAR è stato effettuato utilizzando un laser scanner Faro della serie Cam2 Focus 3D, che consente anche l'acquisizione di immagini attraverso una fotocamera

interna, e dei marker, rilevati per via topografica, per la georeferenziazione del modello.

Per l'acquisizione delle immagini si è utilizzato lo smartphone Samsung Galaxy S Advance, precedentemente calibrato, montato sul sistema *butterfly* di cui, per ogni posizione di acquisizione della foto, sono state rilevate topograficamente le sfere.

4.1 Il caso indoor

Sono state eseguite 12 scansioni laser scanner (segnalate in Figura 5) riguardanti 3 ambienti, utilizzando come impostazioni 1/5 di risoluzione e una velocità di acquisizione di 244000 punti/secondo, e predisponendo 28 *marker* in modo tale da includerne almeno 3 in ogni scansione (anche se nella realtà se ne utilizzano per sicurezza un numero superiore).

Ottenuto il modello degli ambienti rilevati si è potuto generare il DB di immagini solide, secondo la procedura descritta al paragrafo 3.1. Per far ciò da ogni scansione sono state generate delle immagini orientate che rappresentano la base del *database*. Queste immagini sono poi state trasformate in immagini solide relativamente al sistema di coordinate locali impostato.

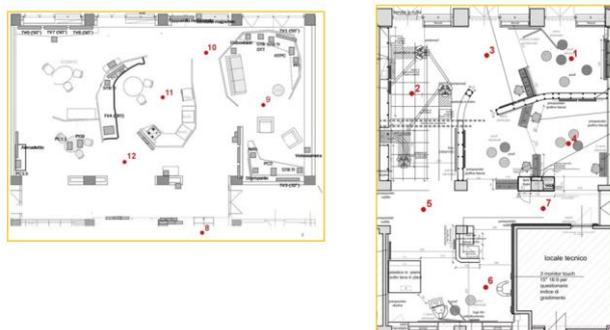


Figura 5 Posizioni di acquisizione delle scansioni laser scanner

In Figura 6 vengono riportate, a titolo esemplificativo, alcune immagini utilizzate per il DB.

Dal momento che il test *indoor* era una verifica preliminare della procedura si sono utilizzate delle posizioni di proiezione dei punti coincidenti con quelle di acquisizione delle scansioni LiDAR; nello specifico sono state ricavate 8 immagini per ogni scansione.



Figura 6 - Immagini generate dal modello 3D realizzato

4.2 Il caso outdoor

Nel caso *outdoor* sono state eseguite 6 scansioni LiDAR (24 marker) per coprire un tratto di circa 100m e sono state acquisite 14 immagini attraverso lo smartphone. In questo caso si è utilizzato un sistema di riferimento globale, UTM-WGS84 32N, ottenuto rilevando 13 punti lungo la strada, le cui coordinate erano note in cartografia.

Va specificato che soprattutto nei casi *outdoor*, in cui le aree da acquisire sono molto vaste, è possibile svolgere le acquisizioni attraverso *Mobile Mapping Systems* (MMS) (Cina et al., 2008, Bendea et al., 2009, Ajmar et al., 2011) che consentono di acquisire nuvole di punti 3D e foto in tempi molto più brevi. In questo caso specifico, vista la limitata estensione dell'area di interesse, si è nuovamente svolto un tradizionale rilievo con strumentazione laser scanner Faro Focus 3D.

Ottenuto il modello 3D si sono generate le immagini solide. In questo caso non si sono solo più utilizzate le posizioni di acquisizione del laser, ma è stata costruita una griglia: 3 stazioni fittizie sono state create tra 2 posizioni reali di scansioni successive e questi punti sono stati duplicati per creare altre 4 linee di acquisizione. Lo schema è riportato in Figura 7.

Seguendo questa griglia, per ogni posizione sono stati considerati 3 valori di inclinazione, $0^\circ - 10^\circ - 20^\circ - 30^\circ$ rispetto alla direzione di acquisizione orizzontale, e 16 posizioni per coprire l'intero giro di 360° ; pertanto da ogni punto vengono generate 64 immagini e per ogni posizione si ottengono 1826 immagini.

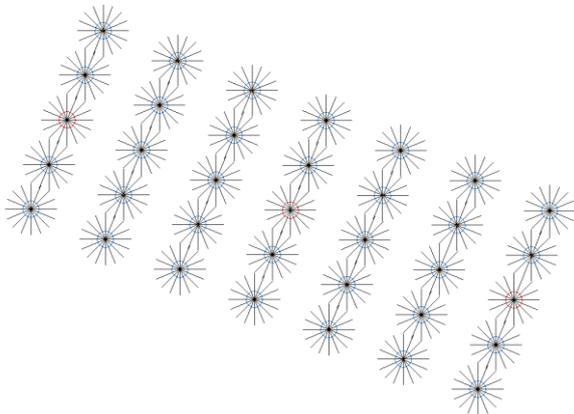


Figura 7 - Lo schema utilizzato per la generazione delle immagini: in rosso le posizioni reali di acquisizione del LiDAR

5. I RISULTATI OTTENUTI

Per poter avere a disposizione un dato di confronto per la verifica dei risultati ottenuti, le foto acquisite con lo *smartphone* sono state georeferenziate attraverso la stima delle coordinate delle quattro sfere del sistema *butterfly*, rilevate topograficamente, e la conoscenza della posizione reciproca tra *butterfly* e smartphone, nota in seguito alla procedura di calibrazione.

In questo modo è stato possibile conoscere con precisione i parametri di orientamento esterno delle immagini acquisite che sono quindi stati confrontati con quelli stimati dalla procedura.

5.1 L'accuratezza del caso indoor

La procedura di IBP è stata applicata su 13 delle 29 immagini acquisite e i risultati delle coordinate dei centri di presa sono stati confrontati con quelli forniti dal sistema *butterfly* al fine di valutarne le discrepanze.

I test effettuati evidenziano che:

- la maggior parte delle soluzioni (~ 65%) è buona, con una discrepanza di circa 10 cm: accuratezza buona;
- poche soluzioni (~ 28%) presentano una discrepanza di 20-30 cm: accuratezza media;
- solo una soluzione (7%) ha un errore superiore a 1 m: accuratezza bassa, probabilmente dovuto ad un errore grossolano.

Per quanto riguarda gli angoli, si riscontra un errore massimo pari a circa 0.5 rad (verificatosi in un solo caso e probabilmente dovuto ad un errore grossolano), con una deviazione standard nelle 3 componenti (ω, ϕ, κ) di circa 0.1-0.2 rad.

La Figura 8 mostra un esempio di buona soluzione con un buon numero di CP (*Control Points*) ben distribuiti su tutta l'immagine. In verde vengono rappresentati i *key point* corrispondenti e in rosso gli *outliers*. In questo caso, infatti, l'accuratezza di posizionamento nelle 3 dimensioni è di circa 2 cm, mentre sugli angoli si riscontrano 0.07 rad (4°), senza necessità di inserire informazioni sulla lunghezza focale e la posizione del punto principale, che vengono stimati dalla DLT.

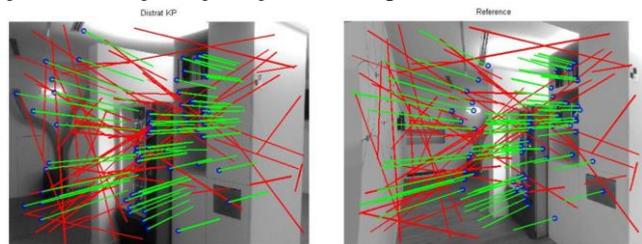


Figura 8 - Accuratezza alta: buona distribuzione dei CP

La Figura 9 mostra un esempio di immagine frontale in cui i CP sono tutti concentrati in un piano. In questo caso l'accuratezza è di 27 cm per la posizione e 0.30 rad per gli angoli. A differenza del caso precedente, per stimare correttamente i parametri della camera questa soluzione richiede l'inserimento delle informazioni relative alla lunghezza focale e al punto principale che la DLT non è in grado di stimare. Senza queste informazioni l'accuratezza sarebbe di circa 2.5m.

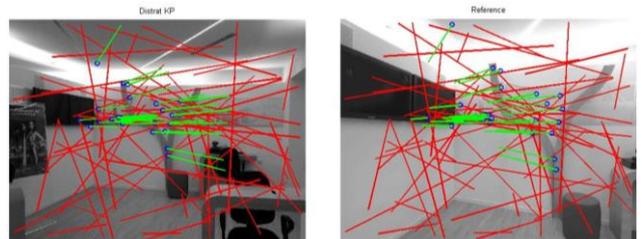


Figura 9 - Accuratezza media: distribuzione dei CP concentrata su un piano e necessità di inserimento di informazioni relative a lunghezza focale e punto principale

La Figura 10 mostra invece il risultato ottenibile in seguito all'inserimento di un ostacolo occupante gran parte dell'immagine. Nella prima elaborazione eseguita si sono ottenute precisioni di 1,5 metri e 1 rad che derivavano evidentemente dalla presenza di *outliers*; affinando la selezione dell'immagine dal DB e scegliendone una più simile a quella dell'utente, la soluzione viene nettamente migliorata ottenendo 30 cm di accuratezza nella posizione e 0.08 rad negli angoli.

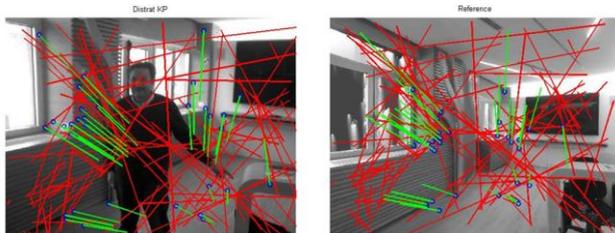


Figura 10 - Accuratezza media: inserimento di un ostacolo e necessità di buona selezione dell'immagine dal DB

Riassumendo è possibile affermare che alcune soluzioni richiedono l'inserimento della lunghezza focale come dato noto al fine di avere una buona accuratezza finale, mentre, per migliorare la stima degli angoli si potrebbe utilizzare un approccio integrato che sfrutti anche le informazioni derivanti dai sensori inerziali degli smartphone.

5.2 L'accuratezza del caso outdoor

Nel caso *outdoor* sono state verificate 11 delle 14 immagini acquisite.

I test effettuati evidenziano che:

- la maggior parte delle soluzioni (~ 91%) è buona, con una discrepanza di circa 50 cm: accuratezza buona;
- una soluzione (~ 9%) presenta una discrepanza di circa 90 cm: accuratezza accettabile;
- nessuna soluzione (0%) ha un errore superiore a 1.50m.

Per quanto riguarda gli angoli, si riscontra un errore massimo pari a circa 0.2 rad, con una deviazione standard nelle 3 componenti (ω, ϕ, κ) di circa 0.05-0.1 rad.

Va specificato che nel caso outdoor le acquisizioni, sia del modello 3D che delle immagini, sono state effettuate in presenza di elementi di disturbo, quali auto e persone. Per questo motivo si è aumentato il numero di *key point*, circa 2000, tra l'immagine originale e quella di riferimento per ottenere una buona stima dei parametri.

Le figure seguenti mostrano due esempi di soluzioni ad alta accuratezza dovuta a buona distribuzione e numerosità dei CP. In particolare, la Figura 11 presenta un'accuratezza di 20 cm per la posizione 3D e 0.14 rad sugli angoli, mentre la Figura 12 mostra 30 cm e 0.04 rad.

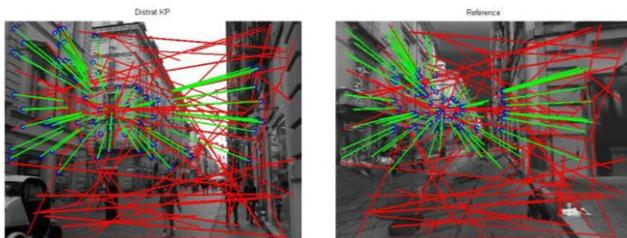


Figura 11 - Accuratezza alta: buona distribuzione dei CP

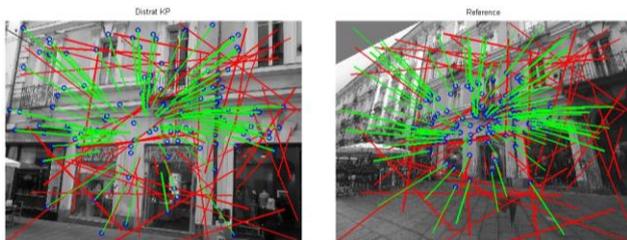


Figura 12 - Accuratezza alta: buona distribuzione anche nel caso di immagine frontale

Anche nel caso *outdoor* gran parte delle soluzioni hanno richiesto come informazioni note i dati relativi alla lunghezza focale, che quindi va stimata a priori dalla procedura.

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stata analizzata una procedura di posizionamento attraverso le immagini basata su tecniche LiDAR e fotogrammetriche (Boris et al., 2008) (Forstner, Gulch, 1987) (Ackermann, 1984) e sugli standard MPEG7 CDVS (Hartley, Zisserman, 2004) in cui l'approccio più innovativo è legato all'utilizzo delle *feature* 3D per la costruzione del DB di immagini solide sintetiche.

La procedura consente di ottenere mediamente livelli di accuratezza accettabili in relazione al sensore utilizzato, sia nel caso *indoor* che specialmente in quello *outdoor*. In generale si può affermare che la possibilità di ottenere dei buoni risultati dipende dalla numerosità e dalla distribuzione dei CP, dal grado di similarità tra l'immagine originale e quella di riferimento (occorre quindi agire sulla procedura di selezione dell'immagine di riferimento dal DB) e dalla possibilità di conoscere la lunghezza focale e le coordinate immagine del punto principale.

Proprio per quest'ultima necessità si sta valutando la possibilità di predisporre nei siti di interesse delle postazioni in cui ogni utente abbia la possibilità di autocalibrare il proprio smartphone. Si è infatti notato che in presenza di acquisizione di immagini prospettiche su più piani, la DLT è in grado di stimare correttamente la lunghezza focale utilizzando il RANSAC senza semplificazioni. Ciò implica un aumento dei tempi di elaborazione di circa 100 volte (ovvero, occorrono mediamente 30-60 s per la stima dei parametri), ma consente di svolgere l'operazione direttamente in sito e di ottenere dei parametri specifici per il singolo dispositivo.

In un'ottica di miglioramento e aggiornamento del DB di immagini 3D si sta inoltre valutando la possibilità di sviluppare una nuova procedura che offra la possibilità di generare in *real time* nuove immagini dal modello 3D in base alle interrogazioni degli utenti, oltre che la possibilità di integrare il DB stesso con informazioni derivanti dagli utenti stessi in modalità *crowdmapping*.

Inoltre, pensando sempre più al concetto di *smart city*, questa procedura potrà essere estesa e implementata per la navigazione (Piras et al., 2014), principalmente in ambienti *indoor*, in cui alla soluzione fornita dalle immagini potranno essere associate informazioni relative ai sensori inerziali, consentendo quindi la navigazione *real time*.

In ultimo, la procedura è ad oggi sviluppata in ambiente Matlab con tempi di elaborazione di circa 1.5 s (1 s per l'elaborazione dell'immagine e 0.5 s per il posizionamento). Implementando la procedura in ambiente C++ o Java il tempo potrebbe essere ulteriormente ridotto. Inoltre, il tempo di elaborazione è anche funzione della dimensione del DB di partenza; aumentando le dimensioni del set di immagini o il numero delle aree da includere occorrerà sviluppare procedure di pre-selezione degli ambienti.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Giorgio Ghinamo e Cecilia Corbi per la possibilità offertaci di collaborare con TELECOM e per il lavoro svolto.

Fondamentali sono stati anche i contributi forniti dal laboratorio di Geomatica, Fotogrammetria e GIS e il laboratorio di Topografia del Politecnico di Torino che hanno fornito le strumentazioni e assemblato ad hoc il sistema *butterfly*.

BIBLIOGRAFIA

Riferimenti da giornali o atti di convegno

Ackermann F., 1984. Digital image correlation: Performance and potential application in photogrammetry. *Photogrammetric record*, 11(64):429-439.

Ajmar A., Balbo S., Boccardo P., Giulio Tonolo F., Piras M., Princic J., 2011. A low cost mobile mapping system (LCMMS) for field data acquisition: a potential use to validate/satellite building damage assessment. *International Journal of Digital Earth*. vol.1 n.21, pp.1-21

Bendea H.I, Cina A., De Agostino M., Piras M., 2009. A low cost solution as an alternative to traditional mobile mapping system. *International Scientific Symposium GeoCAD 2009 "Attualitatea in cadastru"*.

Boris R., Effrosyni K., Marcin D., 2008. Mobile museum guide based on fast SIFT recognition. 6th International Workshop on Adaptive Multimedia Retrieval, pp. 26-27.

Bornaz L., Dequal S., 2003. A new concept: the solid image. *CIPA 2003 Proceedings of XIXth International Symposium*: 169-174.

Cho W., 1996. Relational Matching for automatic orientation. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 30(3/2), pp. 893-896.

Cina A., Lingua A., Piras M., 2008. Low cost mobile mapping system: an Italian experience. *IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium*, Monterey, California, pp. 1033-1045.

Fischer M. A., Bolles R. C., 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography. *Graphics and Image processing*, Vol. 24, No. 6, pp. 381-395.

Forstner W., Gulch E., 1987. A fast operator for detection and precise location of distinct points, corners and circular features. *Proc. Inter. Conference on fast Processing of photogrammetric data*.

Gupta A., Garg R., Kaminsky R., 2010. An Image-based positioning system.

Johnson A., Hebert M., 1997. Object recognition by matching oriented points. In *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Puerto Rico, USA, pp. 684-689.

Li X., Wang J., 2012. Evaluating photogrammetric approach of image-based positioning. *XXII ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Melbourne, Australia.

Li X., Wang J., Li R., Ding W., 2011. Image-based positioning with the use of geo-referenced SIFT features. *Proceedings of the Incorporating the International Symposium on GPS/GNSS (IGNSS 2011)*, Sydney, Australia.

Lowe D., 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision* 60(2): 91-110.

Muthukrishnan K., Lijding M., Havinga P., 2005. Towards smart surroundings: enabling techniques and technologies for localization. *First International Workshop on Location- and Context-Awareness*, LNCS3479, pp. 350-362.

Piras M., Dabove P., Lingua A.M., Aicardi I., 2014. "Indoor Navigation Using Smartphone Technology: A Future Challenge Or An Actual Possibility? 2014 Plans Conference.

Rousseeuw J.P. and Leroy A.M., 1987. *Robust regression and outlier detection*. Wiley & Sons.

Spanò A.T., Chiabrando F., 2013. Points clouds generation using TLS and dense-matching techniques. A test on approachable accuracies of different tools. *Atti del Convegno ISPRS*.

Riferimenti da libri

ASPRS, 2004. *Manual of photogrammetry*. 5th edition". ISBN 1-57083-071-1.

Hartley R. and Zisserman A., 2004. *Multiple View Geometry in Coputer Vision*. Second Edition. Cambridge University Press.

Kraus K., 1997. *Photogrammetry II, Advanced methods and applications*. Ummmler/ Bonn, ISBN 3-427-78694-3.

Altri riferimenti stampati

2013. *Test Model 6: Compact Descriptor for Visual Search*. ISO/IEC JTC1/ SC29/WG11/W13564, Incheon, Korea