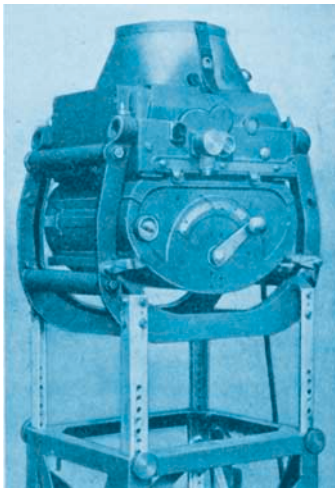


Numero monografico sul Seminario Internazionale
LA FOTOGRAMMETRIA NELL'ERA INERZIALE



In questo numero:**Nella foto sopra:**

Periscopio solare Mod. II, Galileo - Santoni.

Nella pagina a fianco:

Principio geometrico della ricerca dell'orientamento esterno angolare con il periscopio solare (particolare).
Da: Carlo Trombetti, "Triangolazione Solare Santoni..." in *Bollettino di Geodesia e scienze affini*, I.G.M., 1952.

7 La Fotogrammetria nell'era inerziale

Riccardo GALETTO

11 Il test DIET-CGR sulla precisione e sull'affidabilità della fotogrammetria diretta

Vittorio CASELLA

25 Il test OEEPE Integrated Sensor Orientation

Gianfranco FORLANI

41 Procedure di calibrazione di sensori IMU/GPS in fotogrammetria aerea

Livio PINTO

53 Verifiche di precisione e accuratezza nella Fotogrammetria diretta

Luciano SURACE

63 Introduzione all'uso del filtro di Kalman in Geodesia

Ambrogio Maria MANZINO

101 La cartografia 3D della TIM prodotta con fotogrammetria diretta

Anna SPALLA

111 Introduzione ai Mobile Mapping Vehicles (MMV)

Domenico VISINTINI, Fabio CROSILLA

131 Metodi topografici per il rilevamento di strade

Giorgio MANZONI, Giulia GRANDI, Tatiana SLUGA

La Fotogrammetria nell'era inerziale

Seminario Internazionale

Riccardo GALETTO

Dipartimento di Ingegneria Edile
e del Territorio dell'Università di Pavia

Abbiamo più volte avuto occasione di sottolineare come l'evoluzione tecnologica nei campi dell'elettronica e dell'informatica abbia avuto un impatto così forte sulle materie del nostro settore scientifico da generare delle innovazioni anche superiori a quelle che tali progressi hanno prodotto in quelle specifiche discipline.

Questa evoluzione ha ovviamente investito in via prioritaria il settore della produzione nel quale le questioni economiche danno motivazioni di adeguamento allo sviluppo tecnologico ben più forti di quelle che possono spingere all'aggiornamento gli ambienti unicamente dedicati all'azione di acculturamento scientifico.

Si è quindi spesso verificato negli ultimi due decenni, almeno nel nostro Paese, una situazione nella quale l'industria, e in genere tutto l'apparato produttivo, si sono trovati a poter disporre di tecnologie che non avevano avuto alcuna validazione da parte dell'apparato scientifico istituzionale.

Questo fatto naturalmente non rivestirebbe un aspetto particolarmente negativo se le nuove strumentazioni e le nuove tecnologie fossero sempre impiegate entro i limiti con cui vengono certificate; in realtà sappiamo bene che c'è sempre una certa tendenza a superare questi limiti sia per motivi di ordine economico, ma molto spesso anche per quella spinta che è in tutti noi di cercare di sfruttare al meglio gli strumenti che abbiamo. Del resto proprio da questo atteggiamento nasce e si giustifica in buon parte lo studio della teoria degli errori: dal fatto cioè che, anche in ambiti dove si hanno ben presenti i concetti di sensibilità e precisione di un metodo di misura, si superino poi questi limiti nella convinzione di sopperire con l'abilità nel misurare le conseguenze che ne derivano.

Sarebbe bene invece che le innovazioni scientifiche e tecnologiche che investono un settore avessero sempre un momento di verifica da parte del mondo scientifico istituzionale, poiché il destinatario finale del prodotto dell'innovazione non è sempre in grado di accorgersi se ci sono stati sconfinamenti illeciti dal corretto campo di applicabilità delle nuove tecnologie.

C'è però un problema che ostacola questa opera di verifica da parte del

mondo scientifico delle innovazioni tecnologiche, che è costituito dal costo che questa operazione comporta che si contrappone alla cronica carenza di fondi del mondo scientifico per lo svolgimento dell'attività di ricerca.

Fortunatamente a partire dal 1997 il Ministero dell'Università e della ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST) ha istituito i bandi di concorso per la presentazione dei Progetti di rilevante interesse nazionale (PRIN) che, in caso di approvazione vengono cofinanziati in larga misura dal Ministero stesso; questa istituzione continua anche sotto l'egida dell'attuale Ministero dell'Istruzione e Ricerca Universitaria (MIUR).

L'istituzione dei Prin (detti anche Cofin nel senso di progetti cofinanziati) offrono alla ricerca scientifica due grandi vantaggi: stimolano il raggruppamento dei professori e ricercatori in genere a unirsi in team di ricerca in cui confluiscono molte competenze che possono operare in maniera sinergica e inoltre consentono di impostare ricerche che richiedono dei budget consistenti.

Nel nostro settore scientifico disciplinare questi Cofin hanno giocato a partire dall'anno della loro istituzione (1997) un ruolo importante, e hanno consentito di mantenere il mondo scientifico allineato con l'evoluzione tecnologica e quindi poterne valutare l'impatto sulla realtà produttiva italiana. Ricordiamo i Cofin sulla produzione di cartografia per la telefonia mobile, quelli sul laser a scansione da aereo e da terra, quello sulle stazioni permanenti, quello sull'uso delle immagini da satellite, quelli sull'uso dei sistemi inerziali nel campo della navigazione terrestre.

Ultima grande innovazione che ha investito il nostro settore è stato l'uso dei sistemi inerziali per la determinazione dell'assetto angolare e della posizione di un mezzo in movimento, sia terrestre che aereo. Questa tecnologia è già applicata in campo fotogrammetrico e in quello navigazionale ed è stata oggetto anche di attività di ricerca in campo internazionale, anche per quanto riguarda le applicazioni fotogrammetriche; si sta infatti concludendo una ricerca dell'Oeepe su questo argomento.

Riteniamo tuttavia che sia importante che anche in ambito italiano si dia corso a una ricerca approfondita su questo argomento; ricerca che partendo dal punto fermo fatto dalle ricerche in corso si prefigga di dirimere i dubbi ancora esistenti sull'applicazione di questa tecnologia e soprattutto che fornisca delle indicazioni chiare e giustificate sul modo di applicarla in modo appropriato.

Per condurre una ricerca di questo tipo bisogna far ricorso a competenze diversificate del nostro settore e a fondi appropriati, in altre parole occorre far ricorso a un progetto nazionale che si inquadri nello schema dei Prin.

Questo è stato fatto. Da parte del sottoscritto è stato infatti presentata la proposta di un progetto di rilevante interesse nazionale riguardante l'uso degli apparati inerziali (GPS/INS o IMU) nella fotogrammetria aerea; il campo è stato limitato alla fotogrammetria aerea poiché altri gruppi di ricerca si occupano della ricerca nel campo della navigazione terrestre.

Nella speranza che questo progetto venga approvato si è ritenuto che fosse cosa utile organizzare questo seminario internazionale per fare un punto fermo sullo stato dell'arte della ricerca italiana in questo settore, per ascoltare dai colleghi stranieri che ci onorano della loro presenza le loro esperienze e i loro suggerimenti e per mettere a fuoco gli aspetti ancora non chiariti nell'uso di questa tecnologia e i possibili ulteriori sviluppi.

Sicuramente l'argomento è affascinante perché, oltre al suo intrinseco contenuto di alta tecnologia che ci lascia piacevolmente stupefatti, libera la fotogrammetria da vincoli operativi che, solo ieri, sembravano invalicabili e ne proietta le applicazioni in campi nuovi.

L'argomento del Seminario riguarda il direct georeferencing, una modalità di rilevamento del territorio in cui l'orientamento esterno del sensore, invece di essere stimato a posteriori è misurato direttamente. Tale metodologia si applica a varie tecniche di rilevamento, come fotogrammetria, laser scanning, mobile mapping vehicles.

Il direct georeferencing è quasi sempre basato sull'uso di un GPS cinematico accoppiato ad un dispositivo inerziale INS (inertial navigation system). Il dispositivo GPS/INS, posto su un veicolo mobile, ad esempio un aereo, consente di determinarne, in continuo, e con ottima precisione, posizione e assetto angolare.

La fotogrammetria, come è avvenuto nel passato e tuttora avviene, può prescindere dal direct georeferencing, ma ne trarrà enormi vantaggi nel futuro.

La tecnica fotogrammetrica richiede infatti che, dopo le riprese aeree dei fotogrammi, si debba determinare, per ciascuno di essi, i parametri di orientamento esterno, e cioè le coordinate del punto di presa e l'assetto angolare. Nella fotogrammetria tradizionale tali parametri vengono determinati in funzione delle coordinate, misurate a terra con metodi topografici, di punti del terreno (punti di appoggio). Le tecniche di triangolazione aerea, eventualmente integrate dall'uso del GPS cinematico, consentono di ridurre questo lavoro topografico a terra, ma non di eliminarlo.

L'uso di sensori GPS/INS in fotogrammetria consente di evitare la misura delle coordinate dei punti di appoggio e la successiva triangolazione aerea. Infatti, dopo aver effettuato le riprese dei fotogrammi ed aver eseguito l'elaborazione dei dati prodotti dal dispositivo GPS/INS si dispone immediatamente dei parametri di orientamento esterno dei fotogrammi e si può quindi passare immediatamente alla fase della restituzione fotogrammetrica.

L'uso delle tecniche di direct georeferencing consente quindi di eliminare il lavoro topografico a terra dal processo fotogrammetrico, con un conseguente risparmio di tempo e di denaro. Ma la convenienza dell'uso del direct georeferencing in alcuni casi va oltre il fatto economico. Ciò avviene ad esempio quando la fotogrammetria deve essere di supporto alla gestione razionale ed efficace di un'emergenza ambientale; oppure

quando essa viene impiegata per realizzare rilievi di zone inospitali e di difficile accesso (foreste fitte, zone paludose, zone allagate, ghiacciai,...) nelle quali il lavoro del topografo sarebbe molto difficile, se non impossibile. In alcuni casi inoltre (zone desertiche, vasti specchi d'acqua, foreste, ecc.) può essere difficile l'individuazione sui fotogrammi dei punti di legame necessari per l'esecuzione della Triangolazione aerea.

D'altra parte nella fotogrammetria tradizionale c'è la possibilità di inserire nei calcoli che portano alla determinazione dei parametri di orientamento assoluto dei fotogrammi un numero di osservazioni maggiore di quello delle incognite; questo consente di stimare la precisione delle misure fatte e di prevedere quella del prodotto del processo fotogrammetrico.

Questo è un vantaggio che la fotogrammetria basata sul direct georeferencing non offre. Infatti, per ogni fotogramma, il sistema GPS/INS misura i sei parametri di orientamento esterno senza fornire gli errori medi; inoltre non vi è modo di rilevare la presenza di eventuali errori sistematici o grossolani dai quali i valori forniti per tali parametri potrebbero essere affetti.

Inoltre non sono ancora completamente note, in senso quantitativo, le prestazioni dei sistemi GPS/INS. Vi è dunque la necessità di quantificare la precisione dei prodotti che si ottengono con la fotogrammetria diretta, (cioè quella supportata da sistemi GPS/INS), in funzione dei tipici parametri fotogrammetrici: altezza di volo, rapporto base/altezza, lunghezza focale.

Tali interrogativi hanno trovato da tempo una risposta per la fotogrammetria tradizionale, ma devono essere riconsiderati per la fotogrammetria diretta, sia dal punto di vista teorico, sia da quello sperimentale.

Nella fotogrammetria tradizionale infatti i parametri dell'orientamento esterno sono grandezze calcolate e la loro precisione dipende dalla precisione delle coordinate lastra, dei punti d'appoggio e dalla configurazione del blocco; i punti d'appoggio, rilevati in modo indipendente sul terreno, hanno un duplice effetto sulla precisione ed accuratezza del blocco: essi migliorano la precisione di stima e limitano le deformazioni, cioè gli errori di stima dei parametri.

Nella fotogrammetria diretta invece, tali parametri sono determinati direttamente, senza alcuna interazione con i fotogrammi adiacenti: la loro precisione ed accuratezza dipende quindi unicamente dalla qualità dell'apparato impiegato e dal processamento dei dati: la teoria degli errori è dunque significativamente diversa nei due casi.

Un altro aspetto importante da investigare è l'effetto delle deformazioni del supporto non compensate e di errori nei parametri di orientamento interno: nella operazione di TA errori residui venivano in gran parte assorbiti dai parametri di orientamento esterno e controllati dai punti di appoggio: questo non è più possibile nella fotogrammetria diretta, che richiede pertanto grande attenzione nella loro modellazione.

E' necessario verificare anche l'affidabilità della fotogrammetria diretta,

intesa come ripetibilità, sensibilità alle inevitabili perdite di segnale (cycle-slips), dipendenza dalla distanza fra i ricevitori GPS master e rover.

Deve essere investigato anche l'aspetto ergonomico, nella fase di restituzione fotogrammetrica, che deriva dall'uso dei dati GPS/INS. Infatti, mentre dal punto di vista algoritmico la presenza di errori nei parametri di orientamento esterno si traduce semplicemente in proporzionali errori nelle coordinate dei punti misurati, le eventuali parallassi residue dovute ad errori nei parametri di orientamento assoluto, creando una cattiva visione stereoscopica possono creare notevoli disturbi al restituitista e incidere in modo critico sulla produttività.

Come si vede molti sono gli aspetti che meritano approfondimenti e ulteriori analisi.

Il motivo di questo Seminario internazionale è quello di porre le basi affinché la ricerca che può essere svolta dalla nostra comunità scientifica venga orientata nel modo migliore per portare un contributo fattivo alla piena applicazione, nel modo corretto, di questa nuova tecnologia.

Il test DIET-CGR sulla precisione e sull'affidabilità della fotogrammetria diretta

Vittorio CASELLA

DIET, Università di Pavia
e casella@unipv.it

Riassunto > La nota descrive una sperimentazione che è stata svolta nell'anno 2001 in collaborazione dalla Compagnia Generale Ripreseeree di Parma e dal Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia. Scopo della collaborazione era la verifica di precisione e affidabilità dei sistemi integrati GPS/IMU Applanix, per la misura diretta dell'orientamento esterno dei fotogrammi. Vengono descritti il poligono di controllo realizzato sulla città di Pavia, i numerosi voli test eseguiti e i primi risultati ottenuti per alcuni di essi.

Abstract > The paper describes a test performed in 2001 by the Italian company named Compagnia Generale Ripreseeree, located in Parma, and the Laboratorio di Geomatica, of the University of Pavia. The main aim of the test is to assess precision and reliability of the Applanix GPS/IMU integrated sensors. The paper deals with the test field, that have been established over the town of Pavia, with the several test flights which have been performed, and with the first results we have obtained.

Il test OEEPE Integrated Sensor Orientation

Gianfranco FORLANI

Università di Parma - Dip. Ing. Civile,
Viale delle Scienze, 43100 Parma
e gianfranco.forlani@unipr.it

Livio PINTO

Politecnico di Milano, DIAR,
Piazza L. da Vinci, 32, 20133 Milano
e livio.pinto@polimi.it

Sommario > L'OEEPE ha completato nel 2001 una ricerca sperimentale per verificare le prestazioni dei sistemi integrati IMU/GPS sia nell'orientamento diretto di fotogrammi (*direct sensor orientation*) sia in combinazione con la Triangolazione Aerea (TA) tradizionale (*integrated sensor orientation*). Il test è stato svolto in due fasi: la prima comprende la calibrazione geometrica del sistema e la verifica delle prestazioni della georeferenziazione diretta; la seconda l'integrazione dei dati GPS/IMU nella compensazione a stelle proiettive della TA. Hanno partecipato al test complessivamente 12 gruppi tra compagnie private, enti di ricerca e istituti universitari. Per quanto riguarda la prima fase, la georeferenziazione diretta (effettuata coi parametri di orientamento esterno ottenuti dai dati GPS/IMU calibrati) ha fornito precisioni di 5-10 cm in planimetria e di 10-15 cm in quota per una scala fotogramma 1:5000, corrispondenti ad una precisione di circa 15-20 mm sul fotogramma: questo indica che l'orientamento diretto con GPS/IMU può essere validamente impiegato nella produzione di ortofoto ed in tutte le applicazioni cartografiche, salvo quelle di altissima precisione. Essendo state tuttavia riscontrate parallassi residue anche elevate (>20 mm) in una larga percentuale di modelli, la restituzione stereoscopica potrebbe presentare difficoltà. L'integrazione tra TA e GPS/IMU, grazie ai punti di legame, rende trascurabili le parallassi e migliora la precisione nello spazio immagine e, in misura più modesta, quella nello spazio oggetto.

L'affidabilità dei dati GPS/IMU resta tuttora un problema aperto, per la mancanza di controllabilità dei dati: errori sistematici infatti non possono essere facilmente evidenziati e rimossi senza il ricorso a punti a terra, anche con l'introduzione dei punti di legame. Inoltre, venendo meno la possibilità che i parametri di orientamento esterno assorbano errori nei parametri di orientamento interno e altri errori nelle coordinate immagine, è molto importante lo stato di calibrazione dei sensori ed è consigliabile, quando possibile, procedere ad una autocalibrazione d'insieme che includa i parametri della camera.

Abstract > The European Organisation for Experimental Photogrammetric Research (OEEPE) has completed a multi-site test investigating sensor orientation using GPS and IMU in comparison and in combination with aerial triangulation. The test was expected to demonstrate to which extent direct and integrated sensor orientation are accurate and efficient methods for the determination of the exterior orientation parameters for large scale topographic mapping. Another test goal was the transfer of the recently developed technology within the research arena to potential users.

Within the test, RMS values for point determination of 5 – 10 cm in planimetry and 10 – 15 cm in height at independent check points have been obtained for multi-ray points in image scale 1:5.000. For two-ray points the RMS values are higher by only a factor of about 1,5. While these values are larger by a factor of 2 - 3 when compared to standard photogrammetric results, it seems to be safe to conclude that direct sensor orientation currently allows for the generation of orthoimages and point determination with less stringent accuracy requirements. Reports from practical applications demonstrate a significant decrease in time and thus cost for direct sensor orientation compared to conventional and GPS-photogrammetry. Stereo plotting, on the other hand, is not always possible using direct sensor orientation due to the sometimes large y-parallaxes in individual models.

Compared to direct sensor orientation, the additional introduction of tie points in integrated sensor orientation without GCP improves in particular the accuracy in image space. Thus, as was to be expected, integrated sensor orientation overcomes the problem of remaining y-parallaxes in photogrammetric models and allows for the determination of 3D object space information in much the same way as conventional photogrammetry.

The reliability of the results remains a weak point of direct and integrated sensor orientation due to a lack of redundancy in absolute orientation. Systematic errors in the GPS/IMU measurements or changes in the system calibration parameters between calibration and actual flight may go unnoticed, because they cannot be detected without the introduction of GCP coordinates. Thus, it is recommended to include at least a minimum number of GCP in the actual project area wherever possible. In summary, it is expected that direct sensor orientation will be the dominating technology for sensor orientation. Of particular relevance is a properly carried out system calibration. Integrated sensor orientation will be applied whenever very high accuracy is indispensable, and thus tie points are needed in order to model effects in image space using additional parameters. Future developments in GPS and IMU sensor technology and data processing will probably further improve the potential of direct and integrated sensor orientation.

Procedure di calibrazione di sensori IMU/GPS in fotogrammetria aerea

Livio PINTO

DIAR, Politecnico di Milano,
20133 MILANO
e livio.pinto@polimi.it

Gianfranco FORLANI

Dip. di Ing. Civile, Università di Parma,
Viale delle Scienze, 43100 PARMA
e gianfranco.forlani@unipr.it

Sommario > Sistemi integrati composti da una IMU (Inertial Measurement Unit) e da un ricevitore GPS, interfacciati ad una camera aerea, consentono di determinare i parametri di Orientamento Esterno (OE) dei fotogrammi. Poiché i dati di posizione ed assetto dei sensori IMU/GPS non sono riferiti al centro di proiezione e non sono misurati agli istanti di presa, occorre riportarli a tale punto, interpolarli nel tempo all'istante di presa ed esprimerli in un sistema di riferimento comodo, attraverso una sequenza di trasformazioni che tengano conto delle relazioni tra i diversi sensori. Questa operazione, detta calibrazione, si effettua sia con misure topografiche a terra (per determinare i bracci di leva tra i sensori) sia attraverso un volo fotogrammetrico (per determinare le rotazioni). In questa seconda fase, la più delicata, si possono impiegare procedimenti detti "ad un passo" o "a due passi", a seconda del modello matematico adottato. Nel seguito si presentano due di queste procedure, sviluppate dagli autori nel corso del test OEEPE "Integrated Sensor Orientation". Nella prima, a due passi, i parametri di calibrazione sono determinati come media, convenientemente pesata, dalle precisioni della compensazione in blocco, delle discrepanze tra OE derivato dalla Triangolazione Aerea (TA) e calcolato dai dati IMU/GPS. Nella seconda, ad un passo, i parametri di calibrazione sono esplicitati all'interno delle equazioni di collinearità opportunamente modificate e i dati IMU/GPS sono considerati quantità pseudo-osservate. Vengono presentati i risultati dell'applicazione di entrambi i metodi ai dati OEEPE e discussi pro e contro da un punto di vista operativo.

Abstract > System calibration is required in integrated IMU/GPS systems to account for the spatial offset and misalignment between IMU, GPS and camera frames; synchronization is to be maintained, to predict IMU/GPS position and orientation data at the mid-exposure time of the images. To this aim, measurement on the ground, complemented by a calibration flight over a test field, are performed. Depending on the mathematical model, a two steps or a single step procedure may be used to recover the calibration parameters. Within the OEEPE

test "Integrated Sensor Orientation" the authors proposed a simple but effective two steps procedure, where calibration parameters are computed as a weighted average of the discrepancies between the EO parameters of the images derived from block adjustment and those computed from the IMU/GPS data. A new single step calibration procedure, where the calibration parameters are explicitly inserted in the collinearity equations and the IMU/GPS data are considered as pseudo-observed quantities, replacing EO parameters as unknowns in the block adjustment, was recently developed. A discussion of both and of their differences is presented; results obtained with the OEEPE data set and with simulations are compared, particularly with respect to the number of ground control points still necessary.

Verifiche di precisione e accuratezza nella Fotogrammetria diretta

Luciano SURACE

Istituto Idrografico della Marina,
Passo Osservatorio 4, Genova

Sommario > La *fotogrammetria diretta* si accinge a giocare un ruolo determinante nei processi di rilevamento e di georeferenziazione, soprattutto in sinergia con le tecniche di fotogrammetria digitale. Essa, infatti, semplificando (e, per taluni aspetti operativi, migliorando) il posizionamento indiretto, è destinata ad allargare l'utenza delle informazioni territoriali georeferenziate e ad incrementare il numero dei *produttori* di quelle informazioni.

A fronte dei rilevanti, prevedibili, vantaggi, occorre però aggiornare e completare standard e specifiche, tenendo conto dei nuovi utenti e delle nuove applicazioni, ma soprattutto delle particolari caratteristiche di isodeterminazione del processo di misura. In questo quadro, è in primo luogo indispensabile affrontare i problemi di verifica della precisione, della accuratezza e della affidabilità con un approccio differente rispetto al passato, imposto dalla mancanza del tradizionale strumento di controllo costituito dalla ridondanza delle misure.

Abstract > In the next future *direct photogrammetry* will play a fundamental role in surveying and geocoding, mainly in combination with digital techniques. By simplifying and, to some extent, by improving position determination, it increases the use and the applications of geocoded information. On the other hand, it's necessary and urgent to update and redefine standards and requirements, facing the lacking of process control, traditionally carried out by redundancy of observations. Within such framework, the paper approaches the QC problems relevant to geometric precision, accuracy and reliability.

Riassunto > Il filtro di Kalman è da molti anni uno strumento comune in campo geodetico ed assume un'importanza ancor più significativa nelle innovative tecniche del direct georeferencing, utilizzate in Fotogrammetria e nel trattamento laser aereo.

Pur affrontando la tecnica in modo divulgativo, non vengono persi di vista gli aspetti scientifici emergenti in questi ultimi anni. Si è preferito perciò rimandare la dimostrazione, svolta per grandi linee, solo in appendice. La complessità dell'argomento è stata mitigata e le formule chiarite con l'introduzione di alcuni semplici esercizi.

Abstract > The Kalman Filter is, from many years, a common tool in geodesy, and grows up more significance due to the innovative technique of the direct georeferencing, used in Photogrammetry and in the LIDAR positioning.

Even if the scientific emergent problems in the last years are focused, the technique is explained in simple plain way.

We have preferred therefore to explain the demonstration, only by big blocks in the appendix.

The complexity of this topic has been mitigated and the formulas clarified with the introduction of some easy exercises.

**La cartografia 3D della TIM
prodotta con fotogrammetria diretta***

Anna SPALLA

DIET - Dipartimento di Ingegneria Edile
e del Territorio, via Ferrata 1
27100 Pavia

t 0382 505400

f 0382 505419

e spalla@unipv.it

Sommario > Vengono descritte le caratteristiche tecniche e le potenzialità di una cartografia numerica 3D in fase di realizzazione su 110 città italiane.

Abstract > The technical characteristics and the potentialities of a numerical 3D cartography in phase of realization on 110 Italian cities are described.

Introduzione ai Mobile Mapping Vehicles (MMV)

Domenico VISINTINI

Fabio CROSILLA

Università degli Studi di Udine,
Dipartimento di Georisorse e Territorio,
via Cottonificio 114, 33100 Udine,
e crosilla@dgt.uniud.it;
e visintini@dgt.uniud.it

Riassunto> L'articolo descrive alcuni aspetti del rilevamento fotogrammetrico terrestre condotto con la moderna tecnologia dei "Mobile Mapping Vehicles" (MMV).

Dopo aver inquadrato la metodologia di rilevamento MMV rispetto ad altre analoghe, sono definite le diverse componenti strumentali e sono elencati alcuni sistemi MMV presenti sul mercato internazionale.

Viene quindi illustrato dettagliatamente il modello geometrico "diretto" che consente il rilevamento fotogrammetrico 3D di punti acquisiti con i sensori di immagine del MMV sulla base di una serie di trasformazioni spaziali.

Vengono successivamente descritte le diverse fasi di elaborazione delle misure satellitari e inerziali necessarie per calcolare il posizionamento e l'assetto istantaneo del MMV. Si presentano inoltre le linee-guida per l'integrazione ottimale di tali misure.

Si pone quindi attenzione agli aspetti algoritmici, con la descrizione dei modelli dinamici tipo "filtro di Kalman", largamente utilizzati per la soluzione di varie problematiche del rilevamento MMV.

Infine vengono presentati alcuni lavori frutto dell'attività di ricerca nel settore dei MMV sviluppati in questi ultimi anni all'Università di Udine.

Abstract > The advanced survey technology of Mobile Mapping Vehicles (MMV) is presented throughout this paper, starting from its definition within the field of Mobile Mapping Systems (MMS), listing the employed measurement sensors (satellite, inertial, wheel counter, digital imaging, ...) and rolling some MMV existing on the international market.

Afterward, the geometrical "direct model" allowing the photogrammetric 3D-survey is shown in-depth: it considers three spatial transformations of point image-coordinates observed on the CCD images of MMV.

Kinematic GPS and INS measures are then explained in order to accurately compute the instantaneous MMV positioning and attitude, also by integrating such measures according to optimality criteria here

reported. From the computational point of view, MMV technology involves the application of dynamic models as well as Kalman filter: this algorithm, well predicting unknown quantity varying with respect to time, is briefly explained.

Finally, some recent papers summarizing the research activities developed in this field at the University of Udine are quickly reported.

Metodi topografici per il rilevamento di strade

Giorgio MANZONI

Giulia GRANDI

Tatiana SLUGA

Dip. Ing. Civile

Università degli Studi di Trieste

Nel campo del rilevamento di strade, per la loro catalogazione e classificazione, si sono affacciate, negli ultimi tempi, delle nuove tecnologie, che permettono di rendere più agili le operazioni di rilievo, pur essendo in grado di fornire un elevato numero di dettagli, nonché elevate precisioni.

Per MMS (Mobile Mapping System), si intende un veicolo dotato, sia di strumentazione idonea alla determinazione della propria posizione, sia di strumentazione dedicata al rilievo dell'esistente.

Il veicolo allestito presso il Laboratorio di Topografia dell'Università di Trieste monta, come sensori di navigazione, un sistema integrato (Applanix POS/LV), composto da due ricevitori GPS (il primo, a doppia frequenza fornisce i dati di posizione, mentre il secondo, a singola frequenza viene utilizzato dal sistema, per la determinazione di precisione dell'azimut), un sistema inerziale di elevata precisione, comprendente tre giroscopi laser e tre accelerometri, per la determinazione dell'assetto del veicolo, ed infine un odometro per la misura delle distanze incrementali.

A seconda della metodologia utilizzata per la correzione differenziale in tempo reale delle coordinate GPS (RTCM: Radio Technical Commission for Maritime services, che opera sui dati di pseudorange, oppure RTK: Real Time Kinematic, che differenzia i dati di fase delle portanti), si ottengono precisioni nel posizionamento del veicolo, che sono di alcuni metri nel primo caso, dell'ordine della decina di centimetri nel secondo. La metodologia differenziale richiede l'esistenza di una stazione di riferimento e di un sistema di trasmissione dei dati di correzione, che potrà avvenire via satellite, via radio, o via telefonia mobile, tenendo conto degli inconvenienti di copertura dei vari sistemi. Il sistema inerziale ed il misuratore di distanze sono d'ausilio nella navigazione, e sopperiscono al sistema GPS in caso di mancata ricezione del segnale, dovuta in genere all'occultamento da parte di ponti, alberi, edifici circostanti, garantendo (per latenze del segnale GPS non eccessivamente prolungate) precisioni nel posizionamento confrontabili con quelle della metodologia differenziale in uso al momento.

Finito di stampare nel mese di ottobre 2003 presso le Arti Grafiche Pisano, Cagliari