



**RILIEVO LASER SCAN, TOPOGRAFICO
E FOTOGRAFICO**
**Progetto 147/2008 Regione Marche –
Rilievo del bacino dell'Aspio**

RELAZIONE

Cliente

REGIONE MARCHE

**Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e per la Protezione Civile
CENTRO FUNZIONALE METEOROLOGIA, IDROLOGIA E SISMOLOGIA**

RESPONSABILE DEL PROGETTO: Sara Di Menna

Autore: Sara Di Menna

Amaro 11/04/2009



1 INTRODUZIONE

Lo scopo di questa relazione è quello di fornire un panorama completo delle condizioni di ripresa, degli strumentazioni utilizzati, dei flussi di elaborazione e produzione utilizzati.

Helica ha eseguito il volo di rilievo sull'area di progetto il 24 Gennaio 2008. Il rilievo è stato pianificato accuratamente sia per quanto concerne le caratteristiche della costellazione GPS che per i parametri di acquisizione che hanno permesso di ottenere una densità media di punti al suolo pari a 2 punti al m².

Le condizioni meteo della giornata erano eccellenti, con visibilità > 20 km su tutta l'area e assenza di copertura nuvolosa.

2 ABBREVIAZIONI

- LIDAR – Light Detection And Ranging
- GPS – Global Positioning System
- IMU – Inertial Measurmenet Unit
- LASER – Light Amplification By The Stimulated Emission Of Radiation
- SBET Smoothed Best Estimated of Trajectory.

3 STRUMENTAZIONE

3.1 Il sistema laser -scan ALTM Gemini

Il sistema Gemini di proprietà della Helica s.r.l. è costituito da un laser operante nell'infrarosso vicino ($\lambda=1064$ nm) che invia impulsi di luce ad una frequenza che varia dai 33 ai 167 kHz a seconda dell'altezza di volo.

Gli impulsi laser vengono diretti verso uno specchio oscillante che riflette gli stessi in senso ortogonale alla direzione di avanzamento dell'aeromobile dove l'intero sistema è alloggiato.

La scansione del terreno deriva dalla combinazione dei due movimenti, quello di oscillazione dello specchio e quello di avanzamento dell'aeromobile.

Il raggio *laser* una volta colpito il suolo viene riflesso e parte dell'energia incidente sul terreno ritorna verso lo specchio che convoglia il segnale luminoso ad un sistema di rilevamento che determina il tempo di ritorno dell'impulso.

Dal tempo impiegato dalla luce a percorrere il tragitto relativo al punto di emissione – riflessione – ricezione si determina la distanza fra lo specchio ed punto di riflessione al suolo.

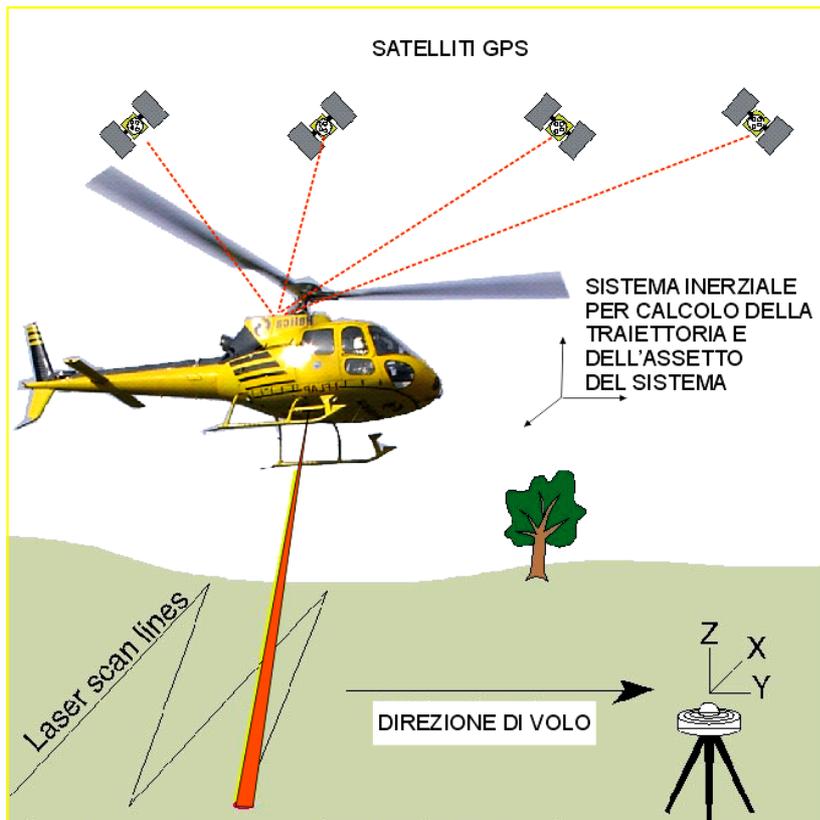
L'intero sistema è montato rigidamente sull'aeromobile la cui posizione (vettore di stato) viene determinata mediante soluzione GPS (*Global Position System*).

Il calcolo della traiettoria del sistema avviene mediante misure GPS differenziali cinematiche utilizzando almeno una stazione fissa posizionata su di un punto noto entro 25 km dall'area del rilievo.

I ricevitori GPS utilizzati sono di tipo geodetico ed permettono la misura su ambedue le bande L1 ed L2. L'elaborazione non avviene in tempo reale e viene effettuata mediante elaborazione cinematica con una frequenza di campionamento di 1 Hz.

Una volta ricostruita la traiettoria (vettore di stato) mediante il GPS si dispone di un punto noto all'incirca ogni 35 metri (considerando una velocità media dell'aeromobile di 75 kts).

A questo punto i dati di posizione vengono integrati con quelli inerziali che sono acquisiti ad una frequenza di 200 Hz. Alla traiettoria GPS vengono pertanto associati i dati di orientamento del sistema ed accelerometrici ottenuti dall'unità di misura inerziale (IMU). L'IMU è costituita da un terna di giroscopi al laser che consentono una precisione di 0.02 gradi in rollio e beccheggio e 0.04 gradi in imbardata/direzione. Alla fine la traiettoria viene risolta ogni 50 millisecondi (pressappoco ogni 0.17 m). Integrando tutti questi dati con quelli di posizione istantanea dello specchio si determina la posizione nello spazio dei punti che hanno riflesso il raggio laser e che saranno riferiti al sistema geodetico in cui opera il GPS ovvero il WGS84. L'errore associato alla misura effettuata dall'IMU determina in larga parte il livello di precisione del rilievo.



Schema della integrazione dei vari sistemi (GPS-IMU e Laser Scanning)

L'acquisizione è stata condotta mediante un laser a scansione modello Gemini prodotto da Optech Toronto – Canada che ha le seguenti caratteristiche:

Parametro	Specifiche
Altezza operativa	80 – 3500 m
Accuratezza in elevazione z dei dati altimetrici *	10 cm < 1000 m (1 sigma) 15 cm < 2000 m (1 sigma) 20 cm < 3000 m (1 sigma)
Accuratezza orizzontale *	1/5500 x altitudine volo (1 sigma)
Risoluzione in range	1 cm
Angolo di scansione	Variabile da 0 a $\pm 25^\circ$
Larghezza di swath	Variabile da 0 a 0.68 x altitudine
Risoluzione angolare	0.01 °
Frequenza di scansione	Variabile con l'angolo di scansione (30 Hz $\pm 20^\circ$) (50 Hz $\pm 10^\circ$)
Lunghezza d'onda del laser	1064 nm
Frequenza degli impulsi del laser	Variabile fra 33 167 kHz
Divergenza del fascio	Variabile: 0.8 mrad o 0.26 mrad (1/e nominale)
Limiti di altezza per sicurezza visiva "eye safe"	80m @ 0.8 mrad 400 m @ 0.2 mrad
Misura di intensità	Misura di intensità di ogni impulso ricevuto
Dati acquisiti	Misura simultanea in range di quattro impulsi per ogni impulso emesso (DUAL TIM)
Classe del Laser	Classe IV prodotti laser (FDA CFR 21)

Parametro	Specifiche
Ricevitore GPS	Interno Novotel Millenium DL 12 canali 2 Hz Doppia frequenza
Potenza richiesta	28 VDC @35 A di picco
Temperatura operativa	15-35 °C
Umidità	0-95 % senza condensazione
* Per ottenere le accuratèzze specificate l'ALTM deve ricevere dati GPS di qualità sufficiente, rispettando le seguenti condizioni: Almeno 4 satelliti tracciati con continuità dal ricevitore per tutto il rilievo Elevazione dei satelliti sull'orizzonte > 15° Buona geometria dei satelliti (PDOP < 4) Posizione della stazione GPS base in un raggio < 30 km dal aeromobile Se una di queste condizioni non è raggiunta o ci sono cause esterne di disturbo elettromagnetico sui segnali GPS queste specifiche di accuratèzza non possono essere ottenute.	

Specifiche ALTM Gemini

Il lidar è integrato con un sistema GPS IMU integrato prodotto da Applanix (Toronto) Canada, modello POS AV 510, queste sono le sue caratteristiche di targa.

Model 510	C/A GPS	DGPS	RTK Real time Kinematic	Post Processed
Posizione (m)	4.0 - 6.0	0.5 - 2	0.1 - 0.3	0.05 - 0.3
Velocità (m/s)	0.05	0.05	0.01	0.005
Roll & Pitch (°)	0.008	0.008	0.008	0.0025
True Heading (°)	0.07	0.05	0.04	0.0050

POS AV Specifiche di Accuratezza Assolute (RMS) Modello 510

3.2 Camera Digitale

L'acquisizione delle foto aeree è stata condotta contemporaneamente all'acquisizione LIDAR utilizzando una camera-digitale semimetrica Rollei modello 6008 db45 con dorso digitale PhaseOne modello H25.

Il CCD ha una dimensione fisica dei pixel di 9 micrometri ed è composta da 5440 x 4080 pixel. Il sistema di ripresa è stato installato a bordo dell'elicottero AS350B2, lo stesso impiegato per l'acquisizione del dato laser scan. La camera è stata montata solidale ad una piattaforma inerziale che dispone di compensazione per le variazioni di assetto dell'aeromobile in rollio e beccheggio.

Parametro	H25
CCD Dimensions (mm)	48x36
Number of Pixels	5440x4080 20M
Shutter Speed	1/1000-30 s
Lenses	50mm/2.8 AND 80mm/2.8
Recording media	Via IEEE1394 to 80 GByte SATA

Specifiche Rollei H25

3.3 Principali fonti di errore nei dati laser scan

Come detto, il calcolo della traiettoria del sistema avviene mediante la combinazione fra un sistema inerziale ed un GPS operante in doppia frequenza (bande L1 ed L2). L'impiego del sistema inerziale, costituito da tre giroscopi laser consente di risolvere la posizione e l'assetto dell'aeromobile con una frequenza di 200 Hz mentre l'uso del GPS consente di annullare la deriva dell'inerziale che è funzione del tempo. Il dato GPS permette inoltre di fissare in maniera assoluta la posizione del sistema con un precisione centimetrica e rispetto ad un sistema di riferimento globale (WGS84).

Il grado di accuratezza dipende da una serie di fattori fra i quali si ricorda:

- la modalità di elaborazione del dato GPS (differenziale con L1, differenziale con L1 ed L2, assoluto, ecc.)
- dalla distanza fra il master ed il GPS montato a bordo del velivolo
- la corretta pianificazione del rilievo in termini di copertura GPS (numero di satelliti, PDOP prevista, comunicazioni NANU)
- dallo stato della ionosfera
- dallo stato della troposfera
- dalla presenza di *jamming* (disturbi)
- dalle modalità di esecuzione del rilievo stesso (esecuzione delle linee, traiettorie di ingresso nell'area del rilievo)

Valori tipici di precisione di posizione GPS sono dell'ordine di 0.10 metri rms (Cramer, 1999). A questi errori si devono aggiungere quelli derivanti dal sistema laser stesso ovvero come ad esempio quelli relativi all'indeterminazione della posizione angolare istantanea dello specchio oppure errori sistematici nella determinazione del tempo intercorrente fra l'emissione e la ricezione dell'impulso.

4 RILIEVO LASER SCAN

4.1 Pianificazione

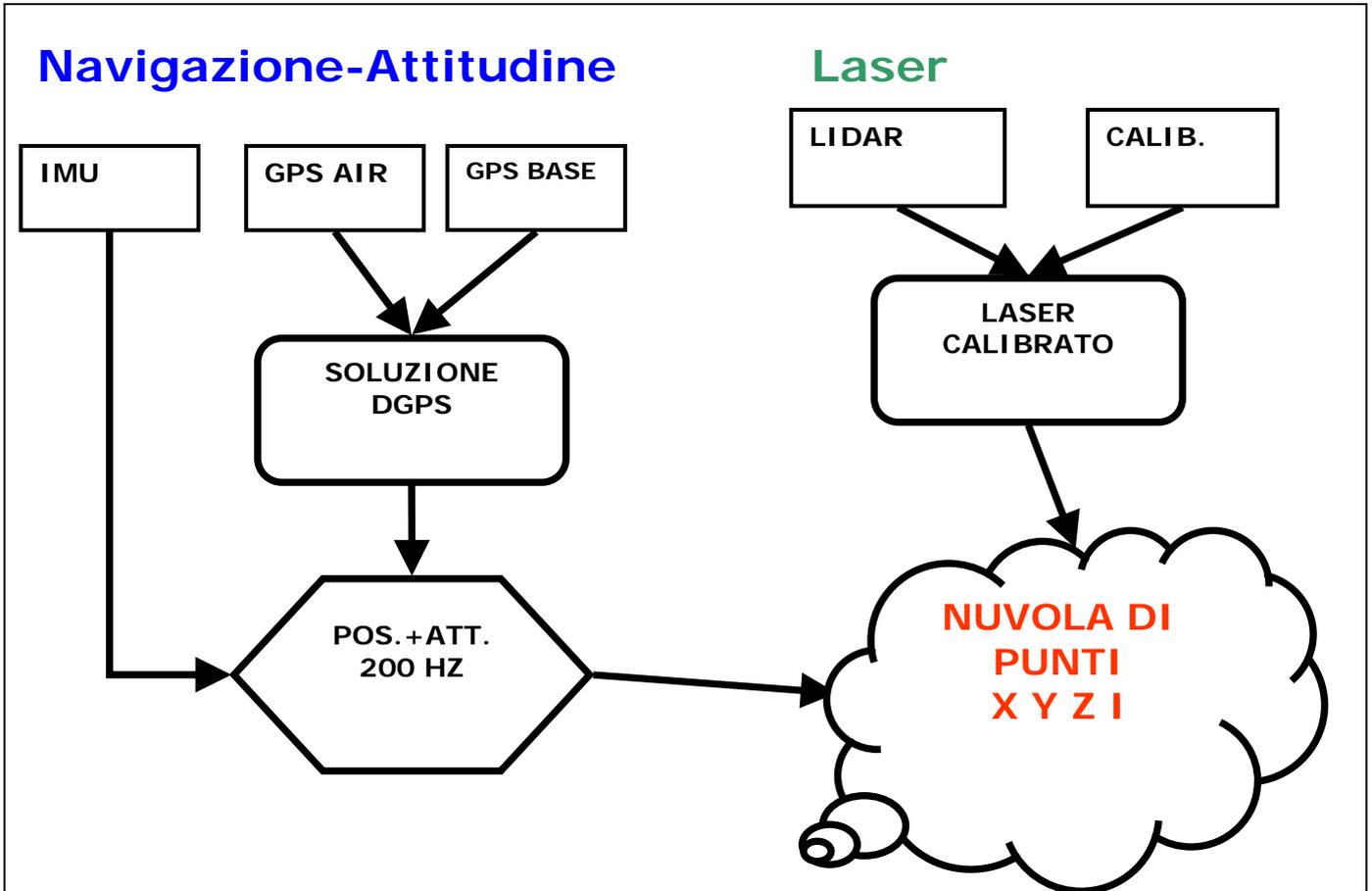
Il rilievo è stato eseguito seguendo il poligono fornito dal committente. In seguito poi il dato acquisito è stato ritagliato secondo i buffer richiesti.

4.2 Calibrazione

I parametri di calibrazione adottati per l'elaborazione dei dati acquisiti sono stati determinati presso il sito di calibrazione di Helica. La calibrazione viene effettuata mediante ripetuti passaggi su bersagli noti dimensionalmente e misurati da terra con sistemi più accurati del lidar aerotrasportato, ad esempio DGPS o KGPS. In particolare viene impiegato come bersaglio un edificio posto nelle vicinanze dell'eliporto per la determinazione delle costanti di *pitch* e *roll* mentre una superficie piana, lunga oltre 650 metri (strada) viene utilizzata per le calibrazioni di scala e di elevazione e di ritardo. Ulteriori calibrazioni vengono effettuate in corrispondenza dell'area del rilievo, dopo l'acquisizione di un'area specifica (*box*) mediante analisi incrociata fra i dati provenienti da scansioni ortogonali.

5 ELABORAZIONE

I dati acquisiti sono stati elaborati da Helica, secondo lo schema riportato nella figura seguente. I dati di calibrazione sono stati acquisiti come anticipato mediante misure ripetute su di un'area campione predeterminata, della quale alcuni elementi morfologici, sono noti dimensionalmente con una accuratezza centimetrica (Baltsavias, 1999). I dati di calibrazione vengono utilizzati per compensare le derive strumentali dell'intero sistema laser. Il calcolo della traiettoria è stato effettuato mediante elaborazione GPS cinematica utilizzando un ricevitore geodetico GPS (bande L1 ed L2) che acquisiva alla frequenza di campionamento di 1 Hz. La stazione di terra attiva di Castelfinardo è stata utilizzata come GPS base.



Catena di elaborazione impiegata per la generazione dei prodotti

5.1 Traiettoria

La traiettoria assoluta è stata ricostruita determinando un punto ogni 35 centimetri circa. I dati di posizione sono stati integrati con quelli inerziali acquisiti con una frequenza di campionamento di 200 Hz, ottenendo in pratica un posizionamento con una precisione del sistema di 0.15 m. Utilizzando i parametri di posizione ed orientamento, i dati di *range* sono stati ricollocati spazialmente generando il prodotto base che è un *file* vettoriale contenente i dati di tempo GPS, vettore di posizione e valore di intensità di retrodiffusione del *laser* (ampiezza) per ogni impulso misurato.

5.2 Classificazione

Dal volume dei dati acquisiti, è necessario depurare i dati grezzi da quelli microscopicamente errati (*outliers*) generalmente associati a falsi ritorni misurati dal sensore laser.

Successivamente poiché il laser acquisisce la posizione (ed il valore di ampiezza di riflessione) di molteplici impulsi, si deve procedere ad una classificazione del volume di dati al fine di attribuire ad ogni singolo punto un significato fisico specifico. In generale l'insieme dei dati relativi al primo impulso descrive un modello di terreno relativo a tutti gli elementi riflettenti presenti.

Risultano pertanto presenti tutte le superfici arboree ed arbustive, gli elementi antropici quali cavi elettrici, ponti, abitazioni, automobili, talora persone.

Al fine di epurare dall'insieme totale dei punti acquisiti tutti questi elementi e definire solamente un sottoinsieme descrivente il terreno (dato *ground*) si deve operare una classificazione utilizzando specifici algoritmi basati su relazioni dimensionali e geometriche.

In generale la classificazione è una operazione indispensabile (Axelson, 1999) per poter ottenere dati omogeneamente riferiti a specifiche classi che abbiano un significato reale ovvero corrispondente ad elementi fisici presenti al suolo. Il principale obiettivo è, come detto quello di determinare il cosiddetto *ground* ovvero il terreno reale, rimuovendo, per quanto possibile, la vegetazione (Kraus, Pfeifer, 1998) (sia di alto fusto che quella erbosa) che gli edifici ed i manufatti in genere (Maas, Vosselman, 1999).

Una volta calcolata la superficie relativa al solo terreno, il modello digitale (DEM) è in pratica già realizzato, solamente per scopi di maggiore flessibilità e di riduzione delle dimensioni dei dati si procede ad un ricampionamento su matrice regolare (Axelson, 2000a, Axelson 2000b).

Sia i dati originali che i prodotti della classificazione, vengono generalmente forniti in formato LAS o ASCII.

5.3 Breaklines

I punti lidar ground sono stati utilizzati, insieme alle ortofoto, per visualizzare, identificare e vettorializzare le breaklines, ovvero interruzioni di continuità della superficie, rappresentate da cigli stradali, canali, terrazzamenti, massicciate ferroviarie ecc.

Questi dati sono forniti in formato dxf e sono integrati con i punti lidar prima di generare i TIN.

5.4 Ortofoto

L'ortorettifica è stata eseguita in maniera semiautomatica utilizzando i seguenti dati di input:

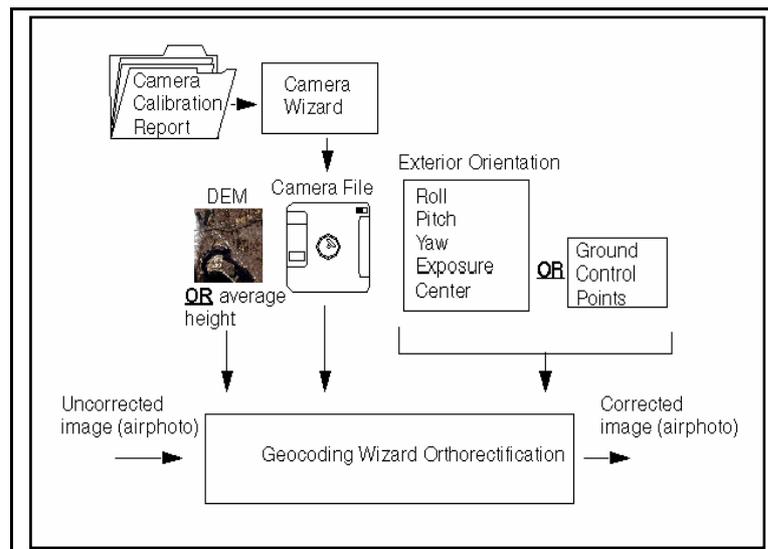
- foto aeree rgb in formato tiff
- dati di calibrazione della fotocamera
- DTM derivato dai dati LIDAR (formato x, y, z)
- Lever arms (camera <> antenna GPS)

E' stato pertanto adottato un approccio di georeferenziazione ed ortorettifica mediante la determinazione dell'angolo di ripresa, l'identificazione di punti di omologhi (tie points) fra immagini adiacenti con overlap del 30%, la stima dei valori di roll, pitch e heading del sistema. Inoltre è stata utilizzata la traiettoria GPS cinematica elaborata in differenziale ed integrata con i valori dell'IMU (SBET), per ottenere l'orientazione esteriore del punto di presa di ogni foto.

Una volta identificati i tie points, le immagini aeree sono state ortorettificate utilizzando un modello digitale del terreno ricampionato, a maglia regolare.

Il prodotto finale ha una risoluzione al suolo di 0.20 m ed una precisione che nell'area coperta dal modello digitale del terreno derivato da laser scan è di circa 1.0 metri (RMSE).

Il prodotto viene fornito sottoforma di singole immagini in formato GEOTIFF comprensive della *header tfw (tiff world file)* e in formato ECW.



Sequenza di elaborazione applicata alle immagini aeree per la generazione dei prodotti ortorettificati.

6 INQUADRAMENTO GEODETICO DEL RILIEVO LASER SCAN

Tutti i dati GPS e quelli generati dal processing dei dati lidar, sono originariamente riferiti all'ellissoide WGS84, in coordinate geografiche, proiettate eventualmente nel sistema UTM Fuso 33 Nord.

E' stata eseguita una trasformazione dei dati da WGS84 al sistema di coordinate Gauss Boaga, fuso Est nel Datum Roma 40 (Ellissoide Hayford orientato a M.te Mario, 1940) usando i 7 parametri di rototraslazione derivati dal grigliato fornito da IGM:

- Tx=-88.6186 m
- Ty=1.9433 m
- Tz=1.7201 m
- Rx=0.465039 arc sec
- Ry=-7.319415 arc sec
- Rz=-0.837330 arc sec
- K=13.5671 ppm

L'applicazione di tali parametri trasforma automaticamente anche le quote da ellissoidi che a quote ortometriche.

Il ricevitore impiegato, per la stazione GPS base, è di tipo geodetico Leica con acquisizione delle frequenze L1 ed L2 , con frequenza di campionamento 1 Hz, caposaldo Castelfinardo.

7 CONTROLLO QUALITA' DEI DATI ACQUISITI

Al fine di validare il rilievo laser scan è stata eseguito una ulteriore scansione laser sulla master GPS a terra. Tale punto, di coordinate note, è stato usato per assicurare la prima valutazione altimetrica della nuvola di punti rilevata.

Altre superfici di controllo sono state rilevate lungo l'area oggetto del rilievo, con lo scopo di verificare il RMSE in altimetria lungo lo sviluppo del tracciato.

8 NOTE SUI PRODOTTI GENERATI

Dall'elaborazione del dato *laser scan* è stata generata la nuvola di punti completa, il *ground*, ovvero il piano quotato depurato dai punti ricadenti sulle superfici arboree e sugli edifici. Sono stati classificati gli edifici e le strutture idrauliche (ponti e viadotti).

I prodotti forniti in base a queste elaborazioni, e le elaborazioni delle immagini digitali, sono:

PRODOTTO	SISTEMA DI RIFERIMENTO	LOCALIZZAZIONE
DTM (solo ground) su maglia regolare pari a 0.5m, in formato ASCII	WGS84	Modelli digitali\WGS84\01-DTM_05_ascii
DTM (solo ground) su maglia regolare pari a 0.5m, in formato ASCII	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\01-DTM_05_ascii
DTM (solo ground) su maglia regolare pari a 1m, in formato ASCII	WGS84	Modelli digitali\WGS84\02-DTM_1_ascii
DTM (solo ground) su maglia regolare pari a 1m, in formato ASCII	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\02-DTM_1_ascii
DSM su maglia regolare pari a 0.5m, in formato ASCII	WGS84	Modelli digitali\WGS84\03-DSM_05_ascii
DSM su maglia regolare pari a 0.5m, in formato ASCII	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\03-DSM_05_ascii
DSM su maglia regolare pari a 1m, in formato ASCII	WGS84	Modelli digitali\WGS84\04-DSM_1_ascii
DSM su maglia regolare pari a 1m, in formato ASCII	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\04-DSM_1_ascii
DBM (modello digitale dei buildings) su maglia regolare pari a 0.5m, in formato ASCII	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\05-DBM_05_ascii
DTM (ground + strutture idrauliche) su maglia regolare pari a 0.5m, in formato ASCII	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\06-DTM_gr_str_idr_05_ascii
DTM (ground + strutture idrauliche) su maglia regolare pari a 1m, in formato ASCII	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\07-DTM_gr_str_idr_1_ascii
DTM (ground + strutture idrauliche + buildings) su maglia regolare pari a 0.5m, in formato ASCII	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\08-DTM_gr_str_idr_case_05_ascii
DTM (ground + strutture idrauliche + buildings) su	Gauss Boaga	Modelli digitali\GB\09-DTM_gr_str_idr_case_1_ascii

maglia regolare pari a 1m, in formato ASCII		
Punti laser originali non elaborati, in formato LAS	WGS84	Punti_laser_originali\WGS84
Punti laser originali non elaborati, in formato LAS	Gauss Boaga	Punti_laser_originali\GB
Ortofoto in formato GEOTIFF	WGS84	Foto\output_wgs\tif_tfw
Ortofoto in formato GEOTIFF	Gauss Boaga	Foto\output_GB\tif_tfw
Ortofoto in formato compresso ECW	WGS84	Foto\output_wgs\ecw
Ortofoto in formato compresso ECW	Gauss Boaga	Foto\output_GB\ecw
Quadro d'unione dei prodotti forniti (laser e immagini) in formato DXF	WGS84	Quadro_unione_prodotti
Quadro d'unione dei prodotti forniti (laser e immagini) in formato DXF	Gauss Boaga	Quadro_unione_prodotti
Vettorizzazione degli edifici, in formato DXF e DWG	Gauss Boaga	Edifici.dxf; edifici.dwg

Come prodotti aggiuntivi, è stato creato un file in formato dwg con le breaklines, ovvero linee di discontinuità del territorio, lungo le arginature e le strade principali.

9 RELAZIONE TECNICA SUI RILIEVI PLANIMETRICI DEI MANUFATTI SUL BACINO DELL'ASPIO (ANCONA)

Tecnico: geom. Luca Passador

9.1 Identificazione dell'area

L'area di rilievo in oggetto, è ubicata nella vallata del fiume Aspio, nella zona tra Camerano e Osimo in provincia di Ancona. L'oggetto del rilievo sono 32 manufatti di attraversamento dislocati lungo il percorso del fiume Aspio e dei suoi affluenti. Per ogni manufatto sono stati posizionati nelle vicinanze due punti di riferimento, e gli stessi sono stati rilevati con metodologia GPS. Per ogni punto è stata prodotta una monografia con l'indicazione delle coordinate, una schizzo di riferimento, estratto carta tecnica e foto esplicativa. Ogni vertice è riconosciuto da una coppia di numeri (xx/yyy), i primi due della sezione di riferimento, i secondi relativi al punto GPS rilevato ed archiviato nel libretto delle misure.

Per ogni manufatto, sono state rilevate le sezioni a monte del manufatto, con osservazione sulla destra orografica. Le misure sono state rilevate parte con strumentazione GPS, e parte con metodologia tradizionale. L'integrazione dei dati ha prodotto le sezioni in formato .dwg.

9.2 Caratteristiche tecniche delle apparecchiature utilizzate

Strumentazione celeri metrica:

STAZIONE TOTALE TOPCON GTS 225

Precisione degli angoli:	1,5 mgon
Precisione delle distanze	5 mm
Lettura minima:	2 cc
Ultimo controllo e rettifica	Luglio 2007



Strumentazione GPS:

HiPer PRO	HiPer+
ACQUISIZIONE	
Segnali tracciati	
GPS	fase: L1,L2 codice: CA, L1P, L2P
GLONASS	fase: L1,L2 codice: CA, L1P, L2P
WAAS/EGNOS	si
Tipo di Antenna	microcentrata integrata
PRECISIONE	
RTK in tempo reale	H: ± 10 mm + 1 ppm V: ± 15 mm + 1 ppm
Statica in post - elaborazione	H: ± 3 mm + 0,5 ppm V: ± 5 mm + 0,5 ppm

COMUNICAZIONI RTK

Modem radio	UHF Tx/Rx integrato
Potenza radio	1,0 Watt
Modem GSM/GPRS	esterno
Portata RTK	> 30km

INPUT/OUTPUT

Comunicazione wireless	Bluetooth integrato
Porte seriali	fino a 4 RS232
Porta USB	si
1 pps/event mark	si
Alimentazione esterna	si

DATI E MEMORIA

Memoria interna	fino a 1Gb
Velocità di uscita dati	da 1 a 20 Hz selezionabile
Uscita dati in tempo reale	TPS, RTCM SC104, CMR, CMR+
Uscita ASCII	NMEA 0183 versione 3.0
Unità di controllo e display	controller esterno, opzionale

Fotocamera:

CANON EOS 400 D

Tipologia fotocamera	Reflex digitale
Risoluzione	10.1 megapixels (3888x2592)
Obbiettivo	EF-S 18-55 mm

Software:

Meridiana 2007	trattamento dati topografici, conversione coordinate
Autocad 2008	restituzione e presentazione del rilievo
Real works survey – trimble	trattamento dati laser scanner
Office Microsoft	relazioni e allegati

9.3 Modalità operative per l'esecuzione delle misure GPS

Generalità e rilievo GPS:

Per le misure GPS, è stato utilizzato un rover in modalità rtk/gsm, con base alla sede della Geotop – via Breccie Bianche.

Tolleranze:

La compensazione delle misure, considerando anche la consistenza del letto del fiume spesso labile, ha portato una tolleranza complessiva di 10 cm sulle misure riportate sulle sezioni.

Coordinate e riferimenti del rilievo celeri metrico:

Per la conversione delle coordinate, sono stati utilizzati dei parametri opportunamente calcolati, e riportati su tutte le schede monografiche.

9.4 Rilievo planimetrico e di dettaglio

Criteri di base:

Il rilievo di dettaglio è stato eseguito con base di rilievo GPS, e appoggio con metodologia tradizionale.

Dove è stato possibile accedere in sicurezza sull'alveo del fiume, e per assenza di vegetazione che ne permetteva il rilievo, i punti GPS, sono stati presi direttamente sulla superficie dell'alveo, e poi integrate con misure dirette sulle pile di fondazione dei manufatti, e misure di controllo delle altezze. Dove invece non è stato possibile accedere all'alveo per eccessiva vegetazione o mancanza di sicurezza per le forti pendenze, i punti sono stati presi in corrispondenza dell'estradosso del manufatto, in allineamento con i punti notevoli da evidenziare nelle sezioni. Per la misura delle altezze, le stesse sono state prese dall'estradosso, con metri laser e/o aste rigide.

Dettaglio dei manufatti e delle sezioni:

- Estradosso manufatti Rilevato l'estradosso del livello stradale, e dove presente il paracarro laterale e il marciapiede, opportunamente segnati sulle sezioni;
- Intradosso manufatti Rilevato il punto più basso della struttura di sostegno dei manufatti. Per i passaggi circolari, è stato rilevato il punto più alto della sezione.
- Scarpate Sono stati rilevati i punti di cambio di pendenza, a ridosso del lato a monte del manufatto rilevato. Causa l'inconsistenza del terreno, i punti rilevati possono avere delle tolleranze anche elevate.
- Alveo e profondità torrenti Sono stati rilevati i limiti destro e sinistro dell'alveo, con l'indicazione del giorno e dell'ora in cui è stato rilevato; è stata inoltre rilevata la profondità dell'acqua nel punto più alto;
- Indicazione dei materiali Ove possibile, sono state indicate sulle sezioni, i materiali rilevati sul letto del fiume, ed i materiali dei manufatti;
- Spallette laterali Sono state rilevate, ove presenti, le spallette laterali ai manufatti, che sono state riportate sul disegno .dwg, e per le quali è stato congelato il relativo layer;

9.5 Varie ed allegati

Dati statistici:

- Squadra di rilievo 1 strumentista GPS 1 addetto alla collazione delle misure dirette e eidotipi
- Restituzione grafica 2 disegnatori
- Giornate totali di rilievo in loco 11 GG
- Sezioni rilevate 31 (la n.4 non esisteva)
- Punti GPS 600 c.a.
- Immagini fotografiche c.a. 800

Documentazione fotografica:

Sono state acquisite c.a. 800 fotografie, posizionandosi su punti di vista strategici, e acquisendo immagini fotografiche della sezione a monte e di quella a valle del manufatto. Le immagini digitali sono state archiviate con i riferimenti delle sezioni utilizzate per il rilievo.

10 BIBLIOGRAFIA E FONTI

Cressie, N. A. C. (1990), The Origins of Kriging, *Mathematical Geology*, v. 22, p. 239-252.

Cressie, N. A. C. (1991), *Statistics for Spatial Data*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 900 pp.

Ackermann F., 1999. Airborne laser scanning present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), pp. 64-67.

Axelsson P. 2000. DEM Generation from Laser Scanner data Using Adaptive TIN Models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol.XXXIII, B4*. Amsterdam 2000.

Axelsson P., 2000. Dem generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *IAPRS*, Vol. 33, Part 2.

Axelsson, P., 1999. Processing of laser scanner data – algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(1), pp. 138-147

Baltsavias E.P., 1999. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54 , 1999, pp. 199-214.

Kraus K., Pfeifer N., 1998. Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne laser Scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol 53 No 4, pp 193-203.

Maas H.-G., Vosselman G., 1999. Two algorithms for extracting models from raw laser altimetry data. *ISPRS J. Photogrammetry. Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2-3, pp. 153-163. *TerraScan Manual* 2000.