

## La redazione di un capitolato speciale d'appalto per le riprese LiDAR

Virgilio Cima (\*), Mario Fondelli (\*\*), Massimo Rumor (\*\*\*), Maurizio De Gennaro (\*\*\*\*),  
Antonio Zampieri (\*\*\*\*), Umberto Trivelloni (\*\*\*\*)

(\*) Libero Professionista esperto in Geomatica, virgiliocima@tin.it

(\*\*) Già Professore Ordinario di Topografia nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze e di Cartografia Numerica, nella Facoltà di Pianificazione del Territorio dell'Università IUAV di Venezia, m.fondelli@3fconsulting.it

(\*\*\*) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, rumor@unipd.it

(\*\*\*\*) Regione del Veneto, Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia,  
maurizio.degennaro@regione.veneto.it, antonio.zampieri@regione.veneto.it, umberto.trivelloni@regione.veneto.it

### Riassunto

Il settore del rilievo aerofotogrammetrico per la documentazione e rappresentazione del territorio risulta negli anni in continua evoluzione, sia per gli aspetti tecnologici sia per i contenuti scientifici. In questo innovativo scenario, di particolare importanza sono le indicazioni fornite dal rilievo mediante laser scanner posizionato su aeromobile: un sistema che consente di ottenere modelli digitali del terreno (DTM) e della superficie (DSM) di elevata precisione. Si tratta tuttavia di una tecnologia che, pur essendo sicuramente vantaggiosa nei nuovi processi di produzione cartografica, necessita di opportune metodologie di integrazione con le tradizionali operazioni di restituzione al fine di ottimizzare il risultato della combinazione dei due procedimenti.

I numerosi aspetti di ordine tecnico e scientifico sono da più parti oggetto di studio e ricerca al fine di migliorare approcci e metodi legati all'uso integrato di tecnologie differenti; inoltre appare opportuno inquadrare in un ambito definito tali aspetti anche sotto il profilo della normativa tecnica. L'analisi integrata di diverse metodologie di rilevamento ha consentito di non trascurare gli elementi di complessità insiti nei differenti metodi di acquisizione; aspetti legati alla modellazione altimetrica che necessita di elevati livelli di dettaglio per non vanificare il consistente grado di precisione conseguibile con un corretto uso del LiDAR.

A tale scopo la Regione del Veneto ha realizzato uno studio per definire le linee guida per la redazione di Capitolati Speciali d'Appalto per le tematiche, avvalendosi della consulenza di esperti altamente qualificati in materia: l'attività si è sviluppata sull'esame di una vasta documentazione tecnica, riferita alle caratteristiche del rilievo LiDAR sia in riferimento agli strumenti sia ai risultati potenzialmente acquisibili; inoltre sono state utilizzate le esperienze dirette acquisite nel corso degli ultimi anni.

### Abstract

The methods and tools used in the field of aerophotogrammetry are in continuous evolution and the use of LIDAR aerial surveys is now largely applied for the construction of high accuracy DSMs and DTMs. But LIDAR technology, in order to achieve the expected high accuracy, needs to be combined with other, more traditional techniques. This integration, which has been the object of research, experiments and applications, is now well defined and the Regione Veneto thought it was time to draw up for it a technical specification.

With this aim in mind the Regione Veneto has carried out a project, based on a study of the state of the art of LIDAR technology and applications, in order to define the guidelines for its use and to draw up a specification for the use of aerial LIDAR survey for the construction of large scale elevation models. This specification is part of a series to be used for the construction of the large scale geographic infrastructure of the Regione Veneto and of its Municipalities.

### **Premesse generali**

Nella corrente prassi operativa, la *qualità* degli elaborati informativi geografici viene definita in generale dalla loro *completezza*, dalla loro *chiarezza* e dalla loro *accuratezza metrica*. Ammesso che gli errori presenti negli elaborati informativi geografici abbiano tutti la stessa natura accidentale, la *accuratezza metrica* risulta allora funzione delle modalità di acquisizione e di elaborazione dei dati geografici collazionati e dei condizionamenti imposti dalla relativa rappresentazione numerica.

I progressi registrati in questi ultimi tempi dai moderni processi di rilevamento territoriale e la emergente domanda di informazioni territoriali sempre più aggiornate ed affidabili hanno posto il problema di pervenire ad una più esauriente ed affidabile *corrispondenza biunivoca*, o *verosimiglianza* possibile, fra la realtà oggettiva fisica, formale e dimensionale, degli elementi territoriali interessati e le corrispondenti entità spaziali che ne forniscono la relativa più accurata rappresentazione descrittiva. Una corrispondenza biunivoca tra gli oggetti e la loro rappresentazione, che gli attuali processi di rilevamento assicurano solo se vengono rispettate alcune regole metodologiche da definirsi in sede progettuale.

Invero, il contributo offerto dall'informatica territoriale ha aperto nuove possibilità al monitoraggio del patrimonio culturale ambientale e territoriale regionale da gestire e da salvaguardare, sia dal punto di vista della loro distribuzione nell'ambito territoriale, che della loro descrizione puntuale geometrica e qualitativa.

La messa a punto di opportuni sistemi informativi territoriali consente ormai di ampliare e coordinare in maniera alquanto più ampia e razionale di quanto non sia avvenuto nel passato, le conoscenze sulle diverse realtà correlate, attraverso la loro puntuale definizione in un unico sistema di riferimento spaziale, capace di sovrapporre i domini di pertinenza, incrociarne le peculiari caratteristiche ed elaborarne i relativi dati identificativi. Un trattamento dei dati raccolti, suscettibile di approfondirne la lettura e l'interpretazione, ma anche di predisporre gli elementi necessari per le eventuali urgenze operative e conservative.

Il settore è in continua evoluzione sia per gli aspetti tecnologici sia per i contenuti scientifici, in particolare per quanto attiene:

1. al rilevamento aerofotogrammetrico da piattaforma aerea di immagini digitali e il successivo trattamento per la produzione dei DB geografici
2. al rilievo altimetrico attraverso la tecnologia laser (LiDAR) da piattaforma aerea al fine della determinazione di modelli digitali del terreno e di superficie (DTM e DSM)
3. all'elaborazione di ortofotocarte alle diverse scale e/o risoluzione di immagine
4. all'elaborazione dei DB geografici nella logica multiscala per la gestione dei dati all'interno dell'Infrastruttura Dati Territoriale
5. all'utilizzo nei rilievi territoriali della "Rete di stazioni permanenti GPS", già istituita dalla Regione, in collaborazione con il CISAS (Centro Interdipartimentale Studi e Attività Spaziali "G. Colombo") dell'Università degli Studi di Padova, ai fini della determinazione delle reti piano altimetriche di controllo cartografico e geodetico.

A fronte di questo nuovo panorama, composto da innovazione tecnologica e sofisticate soluzioni hardware e software, la Regione del Veneto, al fine di migliorare le procedure mirate alla formazione ed allo sviluppo delle proprie *infrastrutture dati territoriali* e per adeguarle alle crescenti variegate necessità del governo e del monitoraggio del territorio, ha avviato una attività per definire le linee e gli indirizzi operativi più idonei per l'acquisizione e la diffusione dei dati geografici spaziali in oggetto.

Ulteriori approfondimenti sono stati inoltre avviati per la messa a punto di linee guida inerenti i rilevamenti del DEM mediante la metodologia LiDAR, condizionati tuttavia alla preliminare definizione di alcuni aspetti inerenti le esperienze non ancora completate relative alle attività correlate con il Ministero dell'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, il quale ha in corso un

rilevamento LiDAR sul territorio nazionale, e con il Consorzio BIM Adige di Verona che ha in programma di rilievo coordinato con il predetto Ministero e la Regione del Veneto da considerare come un *test* sperimentale che può dare indicazioni per un ulteriore aggiornamento del lavoro normativo eseguito.

L'attività condotta dal prof. Mario Fondelli, dal prof. Massimo Rumor e dall'ing. Virgilio Cima, in collaborazione con i funzionari dell'Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia della Regione del Veneto, è stata completata con l'elaborazione di tre importanti documenti tecnico-normativi che sono a disposizione presso il GeoPortale regionale:

- Linee guida per la redazione di un Capitolato speciale per il rilievo laser scanner da piattaforma aerea (LiDAR)
- Linee guida per la realizzazione di un Capitolato speciale per la formazione della CTRN e la strutturazione del DB geografico alla scale 1:2000 e 1:5000
- Linee guida per la redazione di un Capitolato speciale per la formazione dell'ortofotocarta digitale a colori

Tali documenti rappresentano uno strumento utilizzabile anche da altre amministrazioni al fine di ottenere produzioni compatibili per caratteristiche di acquisizione e per qualità e tipologia dei dati. Si tratta di una base essenziale anche in vista della prospettiva di operare aggiornamenti tematici dei contenuti dei database geotopografici.

### **Linee guida per la redazione di un Capitolato speciale per il rilievo laser scanner da piattaforma aerea (LiDAR)**

Il documento fornisce indirizzi sulle modalità di esecuzione del rilievo in riferimento agli elementi operativi, alle caratteristiche e ai formati dei prodotti da fornire e ai controlli di qualità da eseguire. In particolare vengono trattati gli aspetti relativi alla qualità metrica dei prodotti e alle modalità realizzative in considerazione delle condizioni del territorio da rilevare.

#### Caratteristiche tecniche:

- S.q.m. (1 $\sigma$ ) altimetrico: 25 cm
- S.q.m. (1 $\sigma$ ) planimetrico: 50 cm
- Densità per m<sup>2</sup>: 1,5 punti
- Valori di risposta per impulso (first-last):  $\geq 2$

#### Prodotti e formati di consegna:

Tutti i flussi di elaborazione dei dati telerilevati vengono eseguiti nel sistema di riferimento ETRF2000, così come la consegna definitiva dei prodotti finali;

L'organizzazione degli elaborati di consegna è basata su una suddivisione dell'intero territorio in unità elementari, definite "tile", con taglio di 1 km per 1 km.

1. **Dati grezzi LIDAR (raw data) di prima acquisizione:** nuvola di punti costituita dai dati grezzi divisi per strisciate, in formato binario LAS in coordinate UTM-ETRF2000 fuso 32 e altezze ellissoidiche, nella versione completa acquisita in fase di misura (prima dell'eliminazione degli "outliers").
2. **Dati grezzi LIDAR (raw data) senza "outliers":** nuvola di punti costituita dai dati grezzi divisi per strisciate, in formato binario LAS, dopo l'eliminazione degli "outliers".
3. **Nuvola di punti "Ground":** dati classificati come "Ground" in formato ASCII X, Y, Z, Intensità, Classe, con lo spazio come carattere separatore.
4. **Nuvola di punti "Overground":** dati classificati come "Overground" in formato ASCII X, Y, Z, Intensità, Classe, con lo spazio come carattere separatore.

5. **Modello Digitale delle Superfici “First pulse”:** (terreni aperti, sommità di manufatti ed edifici, superficie superiore della nuvola di punti nelle zone con risposta ad echi multipli) è il grigliato regolare che modella le superfici “first pulse”, in formato ASCII Grid.
6. **Modello Digitale delle Superfici “Last pulse”:** (terreni aperti, sommità di manufatti ed edifici, superficie inferiore della nuvola di punti nelle zone con risposta ad echi multipli) è il grigliato regolare che modella le superfici “last pulse”, in formato ASCII Grid.
7. **Modello Digitale del Terreno:** (andamento del solo terreno. Il modello è ottenuto dal DSM “Last pulse” mediante l’eliminazione degli oggetti solidi in elevazione come edificato, manufatti ecc.; le parti di modello eliminate sono sostituite con porzioni di superficie ottenute per interpolazione dei valori circostanti) è il grigliato regolare che modella l’andamento del solo terreno, in formato ASCII Grid.
8. **Intensità:** in formato TIFF + TFW in scala di grigio, dimensione del pixel 1 metro, georiferito.
9. **Keypoints Model della nuvola “Ground”:** in formato ASCII X, Y, Z, con lo spazio come carattere separatore.
10. **Elementi vettoriali (breakline):** in formato shapefile di tipo PolylineZ.
11. **Quadro di unione dei “tile”** in formato shapefile.

La normativa di riferimento ha avuto una continua attenzione al recepimento di quanto si stava definendo in ambito del Codice dell’Amministrazione Digitale.

Questi i riferimenti normativi:

- “Linee guida - Ortoimmagini alla scala 1:10000 e modelli altimetrici” CISIS - DigitPA;
- Documento a cura del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per il Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale per i rilievi con tecnica Laser-scanning LiDAR
- Documenti FEMA (Federal Emergency Management Agency)
- 2003 - Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners, Appendix A: Guidance for Aerial Mapping and Surveying
- 2007 - LiDAR Specifications for Flood Hazard Mapping, Appendix 4B: Airborne Light Detection and Ranging Systems

### **Linee guida per la realizzazione di un Capitolato speciale per la formazione della CTRN e la strutturazione del DB geografico alla scale 1:2000 e 1:5000**

La Regione del Veneto, ai sensi della L.R. 28/76, ha realizzato e provvede all’aggiornamento della Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN) alle scale 1:5.000 e 1:10.000 di tutto il territorio Veneto e, con il “Terzo Programma”, ha definito le procedure per la conversione nei Database Topografici e gli obiettivi per l’implementazione di banche dati territoriali integrate prevedendo la realizzazione della CTRN con precisioni geometriche alla scala 1:2.000 per i centri urbani.

Con la L.R. 11/04 “Norme per il governo del territorio”, la Regione del Veneto ha definito le finalità della pianificazione territoriale ai diversi livelli, finalità che devono essere perseguite, ai sensi del comma 2° dell’art 2, mediante l’adozione di un sistema informativo territoriale unificato prevedendo, come espressamente indicato dall’art. 9, l’adozione della Carta Tecnica Regionale come supporto per la redazione dei piani comunali e provinciali.

I maggiori Enti Territoriali regionali hanno, da tempo, avviato l’implementazione di propri sistemi informativi basati sull’infrastruttura dati territoriali e costituiscono i partner privilegiati della Regione per la definizione e realizzazione di progetti cartografici finalizzati allo sviluppo delle nuove tecnologie.

In questo articolato sistema di produttori e utilizzatori di dati risulta indispensabile, quanto strategico, il ruolo della Regione che, con una azione di coordinamento con i Comuni e gli Enti territoriali, possa fornire indicazioni per la condivisione di queste iniziative, e fornire strumenti e metodi operativi attraverso i quali si possano, sulla base di una verifica della loro strutture

informative e tecnologiche, definire progetti per la formazione/aggiornamento del DB topografico coordinati nell'ambito di norme tecniche coerenti con gli standard nazionali ed internazionali. Le linee guida elaborate dallo studio per un Capitolato Speciale d'Appalto per la formazione della CTRN e la strutturazione del DB geografico alla scala 1:2000 e 1:5000, hanno prodotto i seguenti contenuti.

Articolazione in fasi del processo:

- riprese aerea a colori con un valore medio di GSD (Ground Sampling Distance) pari a 0,10 m per la scala 1:2000 e 0,18 m per la scala 1:5000
- operazioni per l'istituzione della rete di raffittimento planoaltimetrico e dei punti di appoggio necessari alla triangolazione aerea
- triangolazione aerea
- restituzione fotogrammetrica numerica per la formazione della CTRN alla scala 1:2000 dei centri urbani e alla scala 1:5000 di tutto il territorio comunale
- ricognizione sul terreno per l'integrazione della restituzione fotogrammetrica
- raccolta della toponomastica
- editing, integrazione dati e strutturazione del DB Topografico
- produzione dei file di consegna del DB Topografico e della cartografia tecnica numerica
- plottaggio della Carta Tecnica Regionale e realizzazione file raster alle scale 1:2000 e 1:5000

Caratteristiche tecniche: Accuratezza delle geometrie:

per la scala 1:2000:

- Tolleranza planimetrica = 0,40 m
- Tolleranza altimetrica = 0,60 m

per la scala 1:5000:

- Tolleranza planimetrica = 1,00 m
- Tolleranza altimetrica = 1,50 m

Le linee guida realizzate hanno tenuto conto delle Norme di riferimento proprie del processo di formazione della cartografia, prevedendo inoltre una costante attenzione alle indicazioni fornite e sviluppate in ambito delle iniziative a livello nazionale, dapprima con l'IntesaGIS e successivamente con le recenti "regole" emanate e approvate ai sensi dell'art. 59 del Codice dell'Amministrazione Digitale (D.Lgs. 82/2005).

Queste le norme a cui l'attività ha posto costante riferimento:

- La formazione di cartografie generali a grande scala (1:2.000, 1:1.000)", Commissione Geodetica Italiana, 1974
- "Norme proposte per la formazione di carte tecniche alle scale 1:5.000 e 1:10.000" Commissione Geodetica Italiana, 1973
- "Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95" approvate dal Comitato Tecnico dell'Intesa Stato Regioni Enti Locali per i Sistemi Informativi Geografici (IntesaGIS)
- "Catalogo dei Dati Territoriali – Specifiche di contenuto per i Database Geotopografici", D.M. 10/11/2011 del Ministro per la Pubblica Amministrazione e l'Innovazione di concerto con il Ministro dell'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare

**Linee guida per la redazione di un Capitolato speciale per la formazione dell'ortofotocarta digitale a colori**

Le linee guida definite dallo studio, in coerenza con le indicazioni elaborate in materia dal CISIS e nell'ambito delle attività previste dal Codice dell'Amministrazione Digitale, hanno prodotto le seguenti indicazioni per la redazione di Capitolato Speciale d'Appalto.

### Caratteristiche tecniche:

L'immagine processing che conduce alle ortofotocarte digitali a colori si sviluppa a partire dalla copertura stereoscopica aerea, e richiede la preliminare disponibilità delle immagini digitali necessarie, insieme alla definizione del modello digitale delle altezze DEM (Digital Elevation Model) dell'area territoriale interessata dai lavori.

Le immagini digitali acquisite durante la ripresa aerea dovranno essere sottoposte in genere ad una preliminare elaborazione, sia geometrica che radiometrica. L'elaborazione geometrica, con la modifica della risoluzione, la variazione delle dimensioni e rotazione, così come l'elaborazione radiometrica, con la modifica della risoluzione cromatica, l'utilizzo di filtri di contrasto, l'attenuazione dell'intensità dei singoli pixel, in combinazione con trattamenti locali spaziali, possono costituire infatti un valido strumento per ridurre le alterazioni in determinate bande delle frequenze spaziali, e migliorarne altresì la stessa qualità.

A conclusione del pre-processing delle immagini digitali per il loro miglioramento formale e cromatico, si dovrà provvedere quindi al raddrizzamento differenziale dei fotogrammi pixel-by-pixel, realizzando una interpolazione radiometrica mediante il metodo bicubico basato sui 4x4 pixels adiacenti: il risultato conseguito sarà un'immagine ortofotografica di alta qualità geometrica e radiometrica.

I singoli ortofotogrammi dovranno essere quindi assemblati per realizzare un mosaico di ortofoto, da cui trarre attraverso altri trattamenti le ortofotocarte desiderate.

Le ortofotocarte digitali, in RGB a 24 bit, ovvero 8 bit per ogni banda cromatica Red, Green e Blue, dovranno essere il prodotto finale del raddrizzamento delle immagini digitali della ripresa aerea, georeferenziate e ortorettificate in base al DEM fornito.

La rappresentazione del territorio non dovrà presentare soluzioni di continuità. La georeferenziazione dovrà essere realizzata nel sistema di riferimento europeo UTM-ETRF2000, nel fuso di appartenenza del territorio oggetto del rilevamento.

Anche per questa tematica la normativa di riferimento per il processo ha avuto una continua attenzione al recepimento di quanto si stava definendo in ambito del Codice dell'Amministrazione Digitale, e dalla incisiva azione delle Regioni che, in ambito CISIS, hanno finanziato e prodotto uno specifico progetto scientifico, coordinato dal Politecnico di Torino, per la redazione di linee guida per la formazione degli elaborati.

- “La formazione di cartografie generali a grande scala (1:2.000, 1:1.000). Guida per le scelte tecniche ed economiche”, Commissione Geodetica Italiana, 1976
- “Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95”, approvate dal Comitato Tecnico dell'Intesa Stato Regioni Enti Locali per i Sistemi Informativi Geografici
- “Ortoimmagini 1:10.000 e modelli altimetrici - Linee Guida”, pubblicate a cura del Comitato permanente per i sistemi geografici del CISIS, 2009

### **Conclusioni**

L'applicazione sistematica di queste più che sperimentate metodologie di rilevamento ambientale ed architettonico è tuttora in corso di sviluppo e le prospettive che possono essere ancora dischiuse in questo campo tendono ormai anche ad una vera e propria introspezione delle realtà considerate.

Nuove prospettive dunque, nel futuro culturale di questo settore disciplinare delle infrastrutture dati territoriali capaci di verificare una corrispondenza biunivoca più globale ed affidabile tra i vari oggetti spaziali considerati ed i loro modelli digitali virtuali, che potrebbe essere in grado di modificare anche il nostro comune modo di operare nella gestione del territorio regionale Veneto.