

LE ATTIVITÀ INTERREGIONALI PER LE SPECIFICHE TECNICHE DI ORTOIMMAGINI E DTM

Francesco CILLOCCU (*), Maria BROVELLI (**), Mattia CRESPI (***),
Sergio DEQUAL (***), Andrea LINGUA (****)

(*) Regione Autonoma della Sardegna, tel. 070/60.64.235, fax 070/60.66.840, fcilloccu@regione.sardegna.it

(**) Politecnico di Milano, Polo Reg. di Como, tel. 031-3327517, fax 031-3327519; maria.brovelli@diar-topo.polimi.it

(***) Sapienza Università di Roma, tel. 06-44585097, fax 06-44585515, mattia.crespi@uniroma1.it

(****) Politecnico di Torino, DITAG, tel. 011-564-(7663,7700), Fax. 011-5647699,
(sergio.dequal, andrea.lingua)@polito.it

Riassunto

La crescente domanda d'informazione geografica strettamente connessa alla gestione del territorio richiede la produzione di modelli altimetrici e ortofoto digitali che siano in grado di fornire un'adeguata conoscenza del territorio. Queste informazioni devono essere spesso condivise tra Enti territoriali differenti secondo logiche di interoperabilità di dati e servizi, oggi disponibili e ormai consolidate nelle tecnologie intranet/internet. Ne deriva che è necessario definire specifiche tecniche e standard di riferimento in modo da garantire l'uniformità di contenuto, la corretta interpretabilità e l'efficace utilizzo di dati condivisi. In questo contributo si descrivono le nuove norme proposte dagli autori per il Centro Interregionale di Coordinamento e Documentazione per le Informazioni Territoriali, sottolineandone gli aspetti maggiormente innovativi.

Abstract

The increasing request of geographic information due to the greater need of more and more detailed environment and territory knowledge leads to a wide production of elevation models and ortho-imagery. This information must be shared between different Administrations and Agencies, according to data and service interoperability paradigm, nowadays available thanks to the intranet/internet technology.

The immediate consequence is the need of specifications and standards guaranteeing content uniformity, correct interpretation and effective usage of shared data.

The paper presents the main ideas at the basis of the new standards proposed by the authors.

Introduzione

In Europa, Enti, Istituzioni e Agenzie pubbliche necessitano, per i propri scopi istituzionali, di produrre e utilizzare dati a riferimento spaziale, indispensabili per un'efficace gestione del territorio. Nell'ambito di questa crescente domanda d'informazione geografica, la produzione di modelli altimetrici e ortofoto digitali è spesso in grado di fornire un'adeguata e sostanzialmente completa conoscenza del territorio in modo rapido ed economico, a completamento di operazioni volte alla definizione di DB cartografici.

I vari Enti territoriali che operano sul territorio, sia sulle stesse aree con diverse competenze sia su aree limitrofe con analoghe competenze, evidenziano con sempre maggior forza la necessità di una reale condivisione di questi dati geografici, generalmente prodotti con notevoli investimenti economici. In questo modo, si possono raggiungere i migliori risultati in un quadro di razionale gestione delle risorse, evitando sia la sovrapposizione di interventi cartografici con obiettivi simili sia la nascita di "isole territoriali" di dati geografici con caratteristiche proprie non legate alle aree limitrofe.

Ne deriva che, favorita dalla diffusa disponibilità di infrastrutture tecnologiche condivise (intranet/internet), l'interoperabilità di dati e servizi disponibili in rete diviene un concetto chiave per la Pubblica Amministrazione al fine di ottimizzare le risorse stanziare per la produzione di dati cartografici, geografici, territoriali. Le specifiche tecniche divengono, pertanto, indispensabili in quanto rappresentano uno strumento di lavoro comune per la produzione di dati geografici secondo standard di riferimento nazionali e internazionali (IntesaGIS, norme ISO comitato tecnico 211, CEN comitato tecnico 287, specifiche OGC, ecc.).

Il progetto di ricerca finanziato dal Centro Interregionale di Coordinamento e Documentazione per le Informazioni Territoriali, denominato Lotto III "Ortoimmagini 10k e DTM" e sviluppato dagli autori, si colloca in questo contesto e ha come obiettivo la definizione di specifiche tecniche e standard di riferimento per la produzione di modelli altimetrici e ortofoto 10k (alla scala nominale 1:10000). Esso si sviluppa nell'ambito dell'attività del "Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali" previsto dall'art. 59 del Codice dell'Amministrazione Digitale ed ha lo scopo di aggiornare, integrare e, in parte, sostituire le specifiche preesistenti:

- i 5 documenti prodotti dal Comitato Nazionale per l'Informatizzazione della Pubblica Amministrazione (CNIPA), inerenti la produzione di ortofoto alla scala nominale 1:10000 citati in bibliografia
- le specifiche contenute nel documento "*Intesa GIS: Prescrizioni Tecniche per la produzione di Modelli Digitali del Terreno*" - Versione 16I del 29 Aprile 2001" (DTM16I_Spec_Apr01_it), inerenti la produzione di modelli altimetrici.

Linee guida per la redazione delle specifiche tecniche

Nel campo della geomatica, la redazione di specifiche tecniche e standard di riferimento non può prescindere, al giorno d'oggi, dalla rapidità con cui l'evoluzione tecnica e tecnologica influenza la produzione di dati a riferimento spaziale. Ne consegue che una norma riferita ad una specifica tecnologia e alla relativa procedura produttiva, diviene rapidamente obsoleta e richiede continui aggiornamenti.

Gli autori hanno tentato di seguire una doppia via.

Innanzitutto, la parte principale delle specifiche tecniche è stata espressa in termini di qualità, in modo sostanzialmente indipendente dalle tecniche di produzione: si sono definiti termini, formati, indici di accuratezza, sistemi di riferimento e altri standard in modo da caratterizzare il prodotto finale (e non le procedure da seguire), definendo le generali modalità di verifica di qualità sul prodotto finale. Si ritiene quindi che questa parte possa conservare la sua validità per un periodo medio-lungo, in quanto definisce standard indipendenti dalle procedure di produzione e quindi poco influenzati dalla velocità di evoluzione delle tecniche geomatiche.

Inoltre, come ausilio alle operazioni di collaudo in corso d'opera o come passo intermedio di verifica interna del processo di produzione da parte delle imprese incaricate, sono state indicate alcune norme di tipo procedurale più intrinsecamente legate ai processi e ai metodi produttivi relativi allo stato attuale dell'arte e alle tecniche attualmente consolidate: in relazione ad esse, sono stabilite anche le modalità di verifica interna in corso d'opera, che devono essere svolte al fine di garantire la qualità del prodotto finale. In particolare, sono state inserite informazioni e specifiche inerenti metodi e strumenti che le specifiche vigenti non contenevano: i nuovi sensori digitali ad alta risoluzione montati su piattaforma aerea o satellitare, i nuovi prodotti che si possono trovare sul mercato (modelli altimetrici da satellite ecc.), l'evoluzione delle tecniche LiDAR aeree o terrestri oggi tecnologicamente a regime e molto diffuse commercialmente, l'ortofoto di precisione che attualmente si può generare senza grandi difficoltà, utilizzando procedure descritte nella bibliografia scientifica e pertanto di dominio comune.

Tali prescrizioni, attualmente valide, dovranno comunque essere mantenute in continuo aggiornamento sulla base delle evoluzioni tecnologiche cui sono soggette le differenti fasi nelle quali si articolano i processi produttivi delle ortofoto digitali e dei modelli altimetrici.

E' necessario sottolineare, infine, che la redazione delle specifiche tecniche si è ovviamente basata anche sulla considerazione di standard presentati in documenti già esistenti in ambito internazionale che, ove possibile, sono stati adeguati alle usanze più consolidate nel contesto nazionale dal punto di vista terminologico e degli indici di accuratezza.

L'organizzazione del testo

Il testo è composto da 5 parti principali:

- I. Modelli altimetrici
- II. Ortofoto 10K
- III. Descrizione delle camere digitali e dei satelliti ad alta risoluzione attuali
- IV. Glossario
- V. Bibliografia.

Le specifiche vere e proprie sono contenute nelle parti I e II. La parte III illustra le caratteristiche degli attuali sensori montati su piattaforma aerea o satellitare, in modo che il lettore possa conoscere quali sono attualmente le tecnologie disponibili. La parte IV consiste in un'insieme di definizioni terminologiche, utile per stabilire un linguaggio comune relativo a:

- le varie tipologie di prodotto (DTM, DEM, DSM ordinario o denso, ortofoto 10k speditiva, ordinaria e di precisione)
- i sistemi di riferimento nazionali e internazionali
- gli indici di accuratezza, i formati di memorizzazione e le tecniche di compressione di immagini digitali
- gli acronimi utilizzati nel testo.



Figura 1 – Prima pagina del testo

Il testo viene, infine, completato con riferimenti bibliografici per eventuali approfondimenti sulle tematiche trattate.

Specifiche tecniche sui modelli altimetrici

Definite le varie tipologie e acronimi utilizzati, si tracciano i contenuti che devono possedere:

- i DEM (*Digital Elevation Model*, in questo testo considerato sinonimo di DTM *Digital Terrain Model*), che contengono le informazioni di descrizione altimetrica della superficie del solo terreno (ad esclusione della vegetazione e di opere artificiali quali edifici, ponti, viadotti, ecc.), costituite da punti quotati disposti secondo una maglia regolare, completati da *breakline* e altre discontinuità anche puntuali (punti quotati isolati);
- i DSM (*Digital Surface Model*), che contengono le informazioni di descrizione altimetrica della superficie del territorio, comprensiva di tutti i dettagli elevati rispetto al terreno (vegetazione e opere artificiali quali edifici, ponti, viadotti, ecc.) formati da punti quotati (disposti secondo una maglia regolare o irregolare) e completati da *breakline* e altre discontinuità anche puntuali (punti quotati isolati);
- i modelli densi (DDEM = *Dense DEM*, DDSM = *Dense DSM*), che contengono le informazioni di descrizione altimetrica della superficie del terreno o del territorio con densità dello stesso ordine di grandezza della loro accuratezza altimetrica. In questo caso non sono necessarie informazioni aggiuntive (*breakline*, punti di vetta ecc.).

Attualmente si prevede l'utilizzo del sistema di riferimento vigente WGS84-ETRF89, al quale è associata la rappresentazione conforme UTM-WGS84-ETRF89, utilizzando il geoide come la superficie di riferimento per la quote (ortometriche).

Per quanto riguarda l'accuratezza (tabella 1), sono stati fissati valori dell'accuratezza altimetrica differenziati per tipologia di copertura del terreno (terreno aperto $T_{Q(a)}$, aree con copertura arborea > 70 % o arbusti > 50 % $T_{Q(b)}$, tetti degli edifici $T_{Q(c)}$) o planimetrica (T_{EN}), riferiti a indici di accuratezza derivati dalle normative internazionali ISO/TC 211(TS 19138 - Geographic information - Data quality measures - N 2029 del 5 giugno 2006 – sigla 211n2029). In particolare, le tolleranze sono fissate al 95% di probabilità e sono corrispondenti al valore LE95 (*Linear Error* al 95% di probabilità) per l'altimetria (caso monodimensionale) e al valore CE95 (*Circular Error* al 95%) per le componenti planimetriche (caso bidimensionale). Viene stabilito anche un valore per il massimo errore sistematico ammissibile (ES_{max}). Nel paragrafo successivo sono specificate le procedure per la verifica dell'accuratezza sul prodotto finale utilizzando questi parametri.

Livello	Tipo	Passo (m)	$T_{Q(a)}$ (m)	$T_{Q(b)}$ (DEM) (m)	$T_{Q(c)}$ (DSM) (m)	ES_{max} (m)	T_{EN} (m)
0	DEM, DSM	40-100	30	30	-	5	20
1	DEM, DSM	20	10	20	-	2.5	10
2	DEM, DSM	20	4	½ al.m.al.	-	1	4
3	DEM, DSM	10	2	½ al.m.al.	-	0.50	2
4	DEM, DSM	5	0.60	1.20	-	0.15	0.60
5	DEM, DSM	2	0.40	0.80	-	0.10	0.40
6	DDEM, DDSM	1	0.60	1.20	0.80	0.15	0.60
7	DDEM, DDSM	0.50	0.30	0.60	0.40	0.08	0.30
8	DDEM, DDSM	0.10-0.20	0.20	0.30	0.20	0.05	0.20

(al.m.al = altezza media alberi)

Tabella 1 – I livelli di precisione dei modelli altimetrici

Tutti gli standard di accuratezza sono stati organizzati secondo una serie di livelli direttamente derivati dalla norma precedente (Intesa GIS), modificando alcuni valori e inserendo 3 nuovi livelli di specifica dei modelli altimetrici densi (DDEM e DDSM). Sono stati inoltre inserite nuove tecniche di produzione per il livello 0 e 1 (SRTM, AsterDTM, satelliti ad alta risoluzione) e per tutti i livelli è prevista la possibilità di impiego del LiDAR e della fotogrammetria anche digitale; è inoltre consentito il riutilizzo di cartografia numerica preesistente purché avente caratteristiche di accuratezza e aggiornamento sufficienti.

La verifica di qualità finale dei modelli altimetrici

In assenza di errori sistematici significativi (viene definita una apposita procedura di verifica degli errori sistematici massimi), la verifica di accuratezza si esegue nel modo seguente, riprendendo e adattando la norma ISO integrata con NSDI. La verifica è comunque basata su punti di controllo (*Check Point* = CP) direttamente rilevati a terra, o comunque aventi caratteristiche di precisione di un ordine di grandezza migliore rispetto al dato da verificare. Indicando con:

- n il numero di punti di controllo;
- $Q_{CP,i}$ le quote dei punti di controllo;
- $\sigma_{CP,Q}$ lo scarto quadratico medio delle quote dei punti di controllo;

si determina il valore dell'errore lineare al 95 % di probabilità dei punti di controllo $LE95_{CP}$:

$$LE95_{CP} = 1.96 \sigma_{CP,Q}.$$

Indicando con $Q_{MA,i}$ le quote dei punti del modello altimetrico corrispondenti ai punti di controllo, si determina il valore dell'errore lineare al 95 % di probabilità del modello altimetrico $LE95_{MA}$:

$$LE95_{MA} = 1.96 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{MA,i} - Q_{CP,i})^2}{n}}$$

Si determina pertanto il valore dell'errore lineare complessivo $LE95_Q$ che deve risultare minore della tolleranza in quota fissata T_Q .

$$LE95_Q = \sqrt{LE95_{MA}^2 + LE95_{CP}^2} \leq T_Q$$

La verifica deve essere effettuata per le varie tipologie di area (terreno aperto, copertura arborea solo per DEM, edifici solo per DSM) con le rispettive tolleranze ($T_{Q(a)}$, $T_{Q(b)}$ e $T_{Q(c)}$) indicate in tabella 1.

Anche le *breakline* e le informazioni vettoriali comprese nel modello altimetrico devono essere verificate. Si devono pertanto determinare le coordinate di punti significativi di controllo lungo i tracciati (CP) contenuti nel modello altimetrico (mediante rilievo diretto a terra, o comunque aventi caratteristiche di accuratezza di un ordine di grandezza superiore a quella del dato da verificare) e queste coordinate devono essere confrontate con le coordinate dei punti corrispondenti contenute nei tracciati contenuti nel modello altimetrico. Indicando con:

- n il numero di punti di controllo;
- $E_{CP,i}$ $N_{CP,i}$ le coordinate planimetriche dei punti di controllo;
- $\sigma_{CP,E}$ $\sigma_{CP,N}$ gli scarti quadratici medi delle coordinate planimetriche dei punti di controllo derivanti dal metodo di determinazione utilizzato;

si determina il valore del *Circular error* al 95 % di probabilità dei punti di controllo $CE95_{CP}$:

$$CE95_{CP} = 1.7308 \sqrt{\sigma_{CP,E}^2 + \sigma_{CP,N}^2}$$

Indicando con $E_{BR,i}$, $N_{BR,i}$ le coordinate dei punti del modello altimetrico corrispondenti ai punti di controllo, si determina il valore del *Circular error* al 95 % di probabilità del modello altimetrico $CE95_{BR}$:

$$CE95_{BR} = 1.7308 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{BR,i} - E_{CP,i})^2 + (N_{BR,i} - N_{CP,i})^2}{n}}$$

Si determina pertanto il valore dell'errore lineare complessivo $CE95_{EN}$ che deve risultare minore della tolleranza in planimetria fissata T_{EN} .

$$CE95_{EN} = \sqrt{CE95_{BR}^2 + CE95_{CP}^2} \leq T_{EN}$$

Qualora le verifiche denuncino problemi di accuratezza, si prevede la verifica globale della corretta posizione del modello altimetrico mediante confronto tra superfici con un modello altimetrico di riferimento.

Specifiche tecniche per ortofoto 10k

Le tipologie di ortofoto considerate sono sostanzialmente tre:

- Tipo A: ortofoto orientate ad applicazioni prevalentemente cartografiche, distinte nei sottotipi:
 - A1: ortofoto ordinaria
 - A2: ortofoto di precisione
- Tipo B: ortofoto speditive per applicazioni prevalentemente tematiche e di comparazione con carte tecniche

Le tipologie A1 e B sono state derivate dalle norme precedenti CNIPA, mentre è stata aggiunta la tipologia A2 legata all'ortofoto di precisione. Ovviamente, questo prodotto viene realizzato solo in

rarissimi casi alla scala nominale 1:10000, ma è stato citato e inserito nella classificazione per mantenere la completezza e la generalità delle classi anche in casi di ortofoto a scala maggiore. Anche in questo caso, attualmente, si prevede l'utilizzo del sistema di riferimento vigente WGS84-ETRF89, al quale è associata la rappresentazione conforme UTM-WGS84-ETRF89.

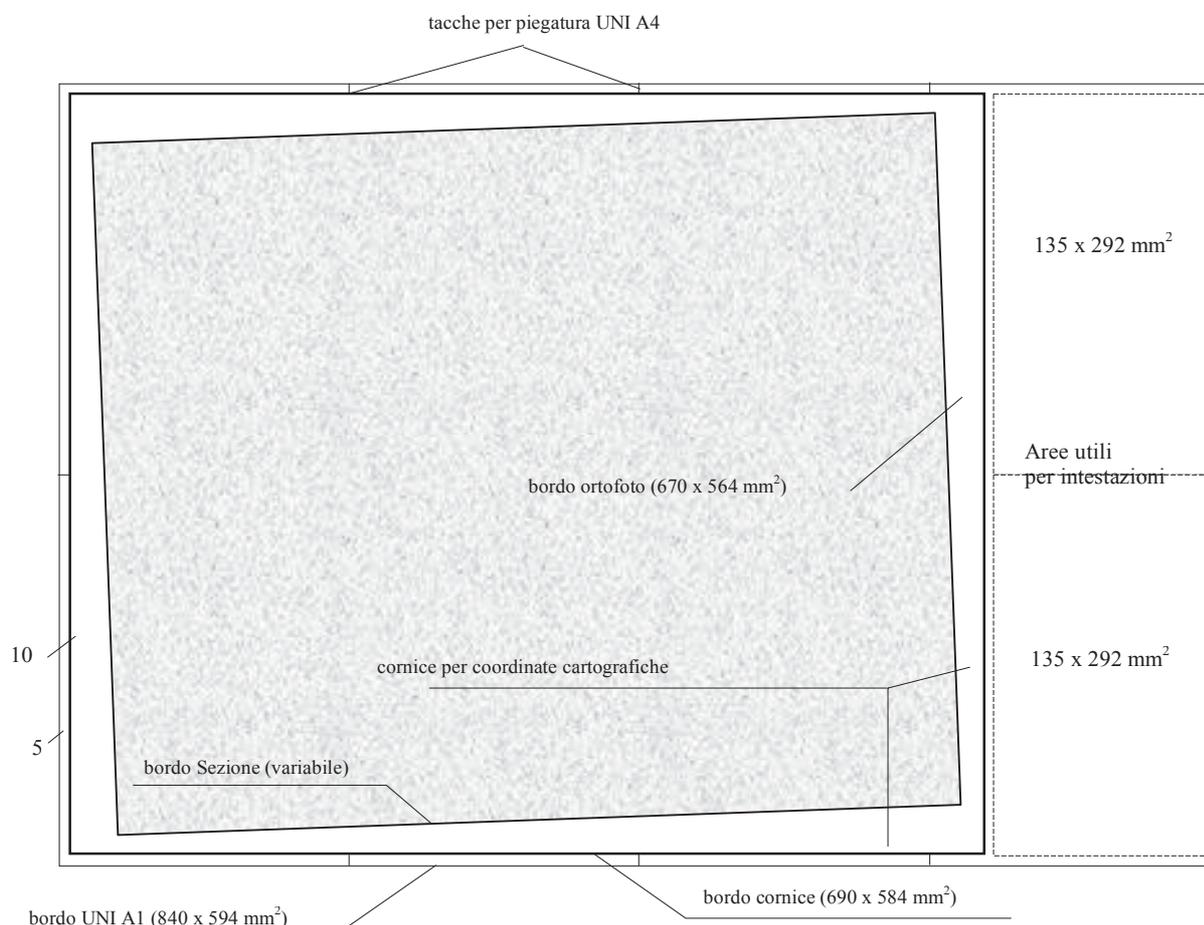


Figura 2 - Fac-simile di foglio-tipo (Sezione 1:10.000)

A meno di esigenze particolari, ad esempio legate alle caratteristiche della CTR preesistente, il modulo minimo di produzione della ortofoto dovrà essere costituito dalla porzione di territorio, coperta da una “Sezione” a scala 1:10.000, inquadrato, come sottomultiplo, nella cartografia IGM a scala 1:50.000, in analogia alle definizioni della Commissione Geodetica Italiana. Ogni sezione dovrà corrispondere alla sedicesima parte di un foglio della serie IGM a scala 1:50.000 e i bordi del foglio seguiranno pertanto un taglio geografico (trasformate di meridiani e paralleli). In questo modo, le ortofoto 10k sono integrabili più facilmente con dati a scale differenti se la carta tecnica alle varie scale è stata eseguita secondo gli standard definiti a suo tempo dalla Commissione Geodetica Italiana. In figura 2 è visibile un prototipo del foglio tipo di una ortofoto 10k secondo il taglio geografico appena specificato.

Per sottolinearne il significato al fine di evitare errori di lettura e comprensione del dato ortofoto, si stabiliscono tolleranze sia per i punti al suolo sia per i punti elevati per le ortofoto speditive e ordinarie. Per le ortofoto di precisione viene ovviamente stabilito un unico valore (tabella 2).

La verifica di qualità finale delle ortofoto 10k

La verifica della qualità finale, oltre a controlli legati alla completezza e alla qualità del dato radiometrico, deve prevedere l'accertamento dell'accuratezza. In modo analogo ai modelli altimetrici, questo controllo si svolge in base a CP direttamente rilevati a terra o derivati ad

cartografia numerica preesistente con $s_{qm} \leq 40$ cm. I CP sono scelti sia al suolo sia in corrispondenza di punti elevati. La verifica si svolge nei due casi secondo la procedura descritta per le *breakline* nei modelli altimetrici (in base al CE95).

E' prevista anche la verifica radiometrica generale per accertare la correttezza dell'istogramma nelle varie componenti.

Tipo di ortofoto	Elementi geometrici	Precisione grafica	SQM planimetrico σ_{EN}	Tolleranza T_{EN} (CE95)
Speditiva (Tipo B)	Punti al suolo	0.3 mm	3 m	5.00 m
	<i>Punti elevati rispetto alla superficie del terreno (tetti, viadotti,..)</i>	<i>0.9 mm</i>	<i>9 m</i>	<i>16.00m</i>
Ordinaria (Tipo A)	Punti al suolo	0.2 mm	2 m	3.50 m
	<i>Punti elevati rispetto alla superficie del terreno (tetti, viadotti,..)</i>	<i>0.6 mm</i>	<i>6 m</i>	<i>11.00 m</i>
Di precisione	Tutti i punti rappresentati	0.2 mm	2 m	3.50 m

Tabella 2 - Tolleranze planimetriche per le varie tipologie di ortofoto

Conclusioni

Il documento prodotto contiene le specifiche tecniche per la produzione di modelli altimetrici e di ortofoto 10k in aggiornamento delle norme esistenti (CNIPA e Intesa GIS). La parte principale di queste norme è legata a standard di qualità del prodotto finito e, risultando indipendente dai processi produttivi e quindi dall'evoluzione tecnologica, dovrebbe conservare validità per un periodo sufficientemente lungo. Le norme di verifica interna più legate alle procedure, invece, richiederanno integrazioni future in funzione dell'evoluzione della geomatica, anche se si ritiene che i principi generali rimarranno attuali, nel prossimo futuro, per alcuni anni.

In futuro, si auspica che analoghe e lodevoli iniziative siano attuate dal CISIS al fine di colmare necessità sempre più pressanti relative a prodotti a scale maggiori: non sono infatti comprese in questo documento, né descritte in altri documenti normativi, le specifiche tecniche per la produzione di ortofoto a scale più grandi (1:5000, 1:2000, 1:1000 e 1:500), in particolare quelle relative a ortofoto di precisione.

Bibliografia

Kraus K., trad. S. Dequal (1994), "Fotogrammetria", Levrotto & Bella, Torino, 7-23 472-478.

Autori Vari, (2004), "Manual of photogrammetry, Fifth edition", ed. ASPRS

CNIPA (2007) "Repertorio nazionale dei dati territoriali - Linee guida per l'applicazione dello Standard ISO 19115 Geographic Information – Metadata" (vers. 0.1 e s.m.i.) emanato dal Comitato tecnico nazionale per il coordinamento informatico dei dati territoriali, istituito con Decreto del Ministro per l'Innovazione e le Tecnologie in base a quanto previsto dall'art. 59 del Codice dell'Amministrazione Digitale

"ISO/TC 211" : "TS 19138 - Geographic information - Data quality measures" - N 2029 del 5 giugno 2006 (211n2029)

ASPRS Lidar Committee (PAD), (2004) *ASPRS Guidelines, Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data*, Version 1.0 , Editor Martin Flood, www.asprs.org/society/committees/lidar/Downloads/Vertical_Accuracy_Reporting_for_Lidar_Data.pdf

Barazzetti L., Brovelli M. A., Cilloccu F., Melis M., Vacca G. (2007). *Controllo della qualità del DTM LiDAR nelle aree urbanizzate della costa della Sardegna da Porto Rotondo a San Teodoro*, Bollettino SIFET, n. 3 - 2007, pp. 9-21.

Brovelli M. A., Crespi M., Fratarcangeli F., Giannone F. and Realini E. (2008). *Accuracy assessment of high resolution satellite imagery orientation by leave-one-out method*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol 63 – issue 4 – July 2008, pp. 427-440.

Barazzetti L, Brovelli M. A., Scaioni M., (2008). *Generation of True-Orthophotos with Lidar High Resolution Digital Surface Models*, The Photogrammetric Journal Of Finland, Published by The Finnish Society of Photogrammetry and Remote Sensing and Institute of Photogrammetry and Remote Sensing Helsinki University of Technology, vol. 21, 2008, n. 1, pp. 26-36.

CNIPA (2007) “*Ortofoto digitali in scala nominale 1:10000: standard di riferimento*”, CNIPA, Comitato tecnico nazionale per il coordinamento informatico dei dati territoriali- Gruppo di lavoro Ortofoto e DEM

Dequal S., Lingua A., Rinaudo F. (2001), *Ortofoto digitale di precisione*, Bollettino SIFET, supplemento al n. 2/2001

Dequal S., Lingua A. (2002), *L'ortofoto di precisione del Comune di Torino*, Atti VI conferenza nazionale ASITA

FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2008). *LIDAR Specifications for Flood Hazard Mapping*, Appendix 4b: Airborne LIght Detection And Ranging systems, http://www.fema.gov/plan/prevent/fhm/lidar_4b.shtm (ultima consultazione 6 giugno 2008)

IntesaGIS (2001). “*Intesa GIS: Prescrizioni Tecniche per la produzione di Modelli Digitali del Terreno*” - Versione 16I del 29 Aprile 2001” (DTM16I_Spec_Apr01_it)

Greenwalt, C.R. and M.E. Schultz, (1968). *Principles and Error Theory and Cartographic Applications*, ACIC Technical Report No. 96: St. Louis, Mo., Aeronautical Chart and Information Center, U.S. Air Force, 89 p.

Maune D.F (2007), “*Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, 2nd Edition*”, ed. ASPRS

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Direzione Generale per la Difesa del Suolo (2007). *Piano straordinario di telerilevamento ambientale ad alta precisione per le aree ad elevato rischio idrogeologico fornitura di dati, sistemi e servizi per la realizzazione del sistema informativo del piano straordinario di telerilevamento ambientale (PST-A)- Disciplinary Tecnico*, Roma

M.E. Schultz, (1963). *Circular error Probability of a Quantity Affected by a Bias*, United States Air Forces, Aeronautical Chart and Information Center, Chart Research Division Geophysical and Space Sciences Branch.

Ringraziamenti

Lo studio è stato svolto nell’ambito del progetto di ricerca LOTTO 3 “Specifiche tecniche Ortoimmagini e DTM” finanziato dal Centro Interregionale di Coordinamento e Documentazione per le Informazioni Territoriali.