



**PROCEDURA APERTA PER L'ACQUISIZIONE DI SERVIZI DI REALIZZAZIONE DI
PRODOTTI DIGITALI PER LA RAPPRESENTAZIONE DI DETTAGLIO DEL TERRITORIO
REGIONALE DA RIPRESE AEREE LIDAR E FOTOGRAMMETRIA**

ALLEGATO 3

CAPITOLATO TECNICO

Indice

SIGLE UTILIZZATE NEL PRESENTE CAPITOLATO	4
PARTE I - OGGETTO DELL'APPALTO E INDICAZIONI GENERALI	5
CAPITOLO I.1. OGGETTO DELL'APPALTO	5
I.1.1. Oggetto dell'appalto	5
I.1.2. Acquisizione riprese dati telerilevati	5
I.1.3. Fornitura dati e prodotti digitali.....	5
I.1.4. Estensione territoriale	5
CAPITOLO I.2. MODALITÀ DI SVOLGIMENTO	5
I.2.1. Condizioni di ripresa	5
I.2.2. Aree di ripresa.....	6
I.2.3. Pianificazione delle attività di ripresa aerea fotogrammetrica e LiDAR	6
I.2.4. Autorizzazioni.....	6
I.2.5. Pianificazione delle attività di fornitura dei prodotti	7
I.2.6. Modalità di erogazione	7
I.2.7. Gruppo di Lavoro e profili professionali.....	7
CAPITOLO I.3. MATERIALI PER L'ESECUZIONE DELL'APPALTO	8
I.3.1. Materiale da reperire da parte della D.A.	8
I.3.2. Materiale messo a disposizione dalla S.A.....	8
CAPITOLO I.4. SISTEMI DI RIFERIMENTO E METADATI	8
I.4.1. Sistemi di riferimento	8
I.4.2. Compilazione dei metadati.....	8
CAPITOLO I.5. CONTROLLI DI QUALITÀ INTERNI	9
I.5.1. Controlli di qualità interni.....	9
PARTE II - RIPRESA AEROFOTOGRAMMETRICA E FORMAZIONE DI ORTOFOTO	9
CAPITOLO II.1. OGGETTO DELL'ATTIVITÀ	9
II.1.1. Oggetto dell'attività.....	9
CAPITOLO II.2. SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE	9
II.2.1. Caratteristiche della ripresa	9
II.2.2. Progetto della ripresa fotogrammetrica	10
II.2.3. Materiale da consegnare al termine della ripresa	10
CAPITOLO II.3. TRIANGOLAZIONE AEREA	12
II.3.1. Dati utilizzati per la T.A.	12
II.3.2. Modalità di esecuzione della T.A.	12
II.3.3. Caratteristiche dei punti di appoggio a terra.....	12
II.3.4. Monografie dei punti di appoggio a terra.....	13
II.3.5. Risultati del calcolo di T.A.....	13
II.3.6. Elaborati da consegnare al termine della T.A.	13
CAPITOLO II.4. FORMAZIONE DELLE ORTOFOTO	13
II.4.1. Caratteristiche delle ortofoto	13
II.4.2. Accuratezza posizionale	14
II.4.3. Trattamento delle immagini e processo di generazione delle ortofoto	14
II.4.4. "Taglio" delle ortofoto e nomenclatura dei file	15
II.4.5. Formato dei file di consegna	15
II.4.6. Elaborati da consegnare	15
PARTE III - RILIEVO LiDAR E PRODUZIONE DEI MODELLI DIGITALI	15
CAPITOLO III.1. OGGETTO DEL RILIEVO	15
III.1.1. Oggetto dell'attività di rilievo LiDAR	15
CAPITOLO III.2. SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE	16
III.2.1. Requisiti della strumentazione	16
III.2.2. Qualità metrica e caratteristiche prestazionali.....	16

III.2.3. Progetto della ripresa LiDAR.....	16
III.2.4. Esecuzione del rilievo	17
III.2.5. Utilizzo del GNSS	17
CAPITOLO III.3. TRATTAMENTO DEI DATI E PRODUZIONE DEI MODELLI DIGITALI	17
III.3.1. Trattamento dei dati	17
III.3.2. Produzione dei modelli digitali.....	18
CAPITOLO III.4. CONSEGNA DEGLI ELABORATI	18
III.4.1. Elaborati di consegna	18
PARTE IV - ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI CONFORMITÀ	21
CAPITOLO IV.1. CRITERI E MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE VERIFICHE	21
IV.1.1. Criteri adottati per le verifiche di conformità.....	21
IV.1.2. Modalità di esecuzione delle verifiche di conformità.....	21
CAPITOLO IV.2. VERIFICHE PRELIMINARI	22
IV.2.1. Verifiche preliminari di conformità.....	22
CAPITOLO IV.3. VERIFICA DELLE RIPRESE AEROFOTOGRAMMETRICHE E DELLE ORTOFOTO	22
IV.3.1. Verifica delle riprese aerofotogrammetriche	22
IV.3.2. Verifica del contenuto dei file delle ortofoto	22
IV.3.3. Verifica visuale delle immagini.....	22
IV.3.4. Verifica dell'accuratezza metrica (intrinseca) mediante confronto con collimazioni stereoscopiche	23
IV.3.5. Verifica dell'accuratezza metrica mediante operazioni sul terreno	23
IV.3.6. Verifica della congruenza agli attacchi fra immagini adiacenti.....	23
CAPITOLO IV.4. VERIFICA DEL RILIEVO LiDAR E DEI MODELLI DIGITALI	23
IV.4.1. Oggetto delle verifiche	23
IV.4.2. Verifiche in corso d'opera	24
IV.4.3. Verifica formale dei file di consegna	24
IV.4.4. Verifica del contenuto dei file.....	24
IV.4.5. Verifica dell'accuratezza posizionale e della qualità dei dati.....	24

SIGLE UTILIZZATE NEL PRESENTE CAPITOLATO

D.A. Ditta Aggiudicataria

DBGT Database Geo-Topografico (D.M. 2011 "Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici")

D.E. C. Direttore dell'Esecuzione

DTM Modello digitale del terreno (Digital Terrain Model)

DSM Modello digitale delle superfici (Digital Surface Model)

E.Q.M. Errore Quadratico Medio

FMC Forward Motion Compensation

GDOP Geometric Dilution Of Precision

GNSS Global Navigation Satellite System

GSD Ground Sampling Distance

IGM Istituto Geografico Militare

IMU Inertial Measurement Unit

LiDAR Light Detection and Ranging (o Laser Imaging Detection and Ranging)

PDOP Position (3D) Dilution Of Precision

RDN Rete Dinamica Nazionale di stazioni permanenti GNSS

RNDT Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali

S.A. Stazione Appaltante

T.A. Triangolazione Aerea

PARTE I - OGGETTO DELL'APPALTO E INDICAZIONI GENERALI

CAPITOLO I.1. OGGETTO DELL'APPALTO

I.1.1. Oggetto dell'appalto

L'appalto ha per oggetto la realizzazione e fornitura di dati e prodotti cartografici digitali derivati dall'acquisizione LiDAR e Fotogrammetrica del territorio dell'Emilia-Romagna, ottenuti tramite rilevamento da piattaforma aeromobile ad ala fissa in condizioni di luce solare e bassa fogliazione favorevoli alla realizzazione di prodotti di utilizzo generale.

I.1.2. Acquisizione riprese dati telerilevati

- acquisizione riprese LiDAR con densità minima di 4 punti al metro quadrato sulla singola strisciata;
- riprese fotogrammetriche a 4 bande RGBI con un GSD nominale di 0.15 m.

È richiesto che le riprese LiDAR e le riprese fotogrammetriche siano acquisite in contemporanea.

I.1.3. Fornitura dati e prodotti digitali

I dati e i prodotti digitali oggetto della fornitura sono i seguenti:

- punti grezzi e dei punti riclassificati della ripresa LiDAR;
- modelli digitali derivati dai dati Lidar: DSM First-Pulse, DSM Last-Pulse e DTM, con passo 0.5 m;
- fotogrammi relativi alle riprese fotogrammetriche e di tutti i dati accessori;
- ortofoto digitali RGBI derivate dai fotogrammi in oggetto con dimensione nominale del pixel al suolo di 0.20 m.

I prodotti richiesti sono descritti in dettaglio nei capitoli successivi.

I.1.4. Estensione territoriale

Il rilievo e la fornitura dei prodotti in oggetto sono relativi ad una superficie complessiva pari a 9.240 kmq suddivisa equamente per annualità in 4.620 kmq nel 2022 e 4.620 kmq nel 2023.

CAPITOLO I.2. MODALITÀ DI SVOLGIMENTO

I.2.1. Condizioni di ripresa

La qualità delle riprese aeree dipende dalle condizioni di illuminazione e vi è l'esigenza che la vegetazione non sia molto sviluppata, in modo che le ostruzioni dovute ad essa siano ridotte.

Per tali motivi, le riprese aeree devono essere eseguite nelle ore centrali della giornata solare e in periodo tardo invernale – inizio primavera in modo che si abbiano le seguenti condizioni di ripresa:

- minima copertura del terreno da parte della vegetazione;
- assenza di manto nevoso, nubi o foschia;
- l'inclinazione dei raggi del sole sull'orizzonte non sia inferiore a 25° (https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=it. È uno dei tools che può permettere una verifica in base alla data). Occorre in ogni caso garantire le opportune condizioni di luminosità per evitare la presenza di zone d'ombra tali da compromettere la qualità dei dati e dei prodotti digitali derivati.

- condizioni di terreno privo di residui di precipitazioni, ovvero a distanza di tempo sufficiente da periodi di pioggia intensa e/o prolungata.

Si richiede quindi una pianificazione che tenga conto dei fattori indicati e che generalmente preveda le riprese nel periodo fine febbraio – aprile, salvo specifiche necessità di variazioni, opportunamente motivate, da concordare con il D.E.C.

In caso di impedimento causa maltempo o condizioni nevose non previste, si potrà concordare con il D.E.C. una ripianificazione dei voli in un periodo immediatamente successivo al periodo pianificato o nella finestra temporale autunnale di novembre -dicembre, sempre tenendo conto delle condizioni di ripresa indicate.

I.2.2. Aree di ripresa

Ai fini della Pianificazione delle attività il D.E.C. indicherà le aree oggetto di ripresa con la seguente tempistica:

- per le attività previste nel 2023 entro i primi 10 giorni dall'avvio del contratto
- per le attività previste nel 2024 entro il 10/01/2024

Le aree oggetto di ripresa avranno generalmente superficie minima di 500 kmq e favoriranno il continuo territoriale. Potranno essere indicate sia in riferimento ad aree amministrative, quali Comuni e Province, o in riferimento ad elementi della Carta Tecnica 1:5.000 o 1:10.000, salvo tenere conto dei confini regionali.

Le aree oggetto del servizio potrebbero trovarsi in adiacenza ad aree interessate da rilievi preesistenti, di tipologia e qualità confrontabili con le caratteristiche dell'attuale servizio. In tal caso, occorre gestire la parte in attacco in modo da garantire la continuità, sia in termini di completezza del dato sia in termini di coerenza di contenuti. La D.A. potrà valutare l'opportunità di prevedere qualche azione preparatoria in tal senso già nella fase di progettazione del volo, irrobustendo ad esempio gli elementi di vincolo (punti di appoggio a terra) in prossimità delle linee di contatto.

I.2.3. Pianificazione delle attività di ripresa aerea fotogrammetrica e LiDAR

La Pianificazione delle Attività di ripresa aerea fotogrammetrica e LiDAR andrà predisposta dalla D.A. in accordo con il D.E.C. sulla base delle aree di ripresa indicate e tenendo conto delle caratteristiche del territorio nel rispetto delle condizioni di ripresa e del presente capitolato.

La Pianificazione andrà predisposta con le seguenti tempistiche:

- per le attività previste nel 2023 entro i primi 30 giorni dall'avvio del contratto
- per le attività previste nel 2024 entro il 31/01/2024

Entro tali termini la Ditta appaltatrice deve presentare il progetto di ripresa aerea, comprensivo del Piano di Volo con i contenuti indicati nei successivi paragrafi II.2.2. e III.2.3. specifici per la ripresa fotogrammetrica e LiDAR, per la sua approvazione da parte del D.E.C..

Il Piano di Volo deve essere fornito su supporto informatico in formato da concordare con il D.E.C., idoneo alla rappresentazione grafica alla scala 1:50000.

Il D.E.C. è impegnato ad approvare la pianificazione entro 10 giorni dalla consegna.

I.2.4. Autorizzazioni

La D.A. sarà tenuta ad adempiere, a proprie spese, a tutti gli obblighi di legge circa le autorizzazioni da richiedersi alle Autorità civili e militari. L'esecuzione delle riprese aeree dovrà avvenire nel rispetto del DPR 367 del 29.09.2000 o successive disposizioni. L'eventuale periodo infruttuoso necessario per

l'assolvimento degli obblighi suddetti verrà dedotto dai tempi complessivi fissati per l'esecuzione delle attività oggetto dell'appalto. La durata di tale periodo dovrà essere documentata dalla corrispondenza intercorsa tra la D.A. e l'autorità competente.

I.2.5. Pianificazione delle attività di fornitura dei prodotti

La fornitura dei dati e prodotti digitali derivati dalle riprese potrà essere organizzata in più lotti distribuiti nel periodo successivo alle riprese e comunque entro l'anno delle riprese, salvo necessità di recupero effettuate nel periodo autunnale, che saranno eventualmente concordate con il D.E.C..

I.2.6. Modalità di erogazione

Le attività con cui si andranno ad eseguire le realizzazioni e le forniture richieste dovranno essere erogate attraverso l'utilizzo di adeguate strumentazioni, hardware e software, sia per la realizzazione delle riprese aeree sia per la elaborazione dei dati di ripresa e la produzione dei dati e prodotti digitali previsti nella fornitura, e attraverso un Gruppo di Lavoro costituito da figure con profilo di tipo organizzativo e tecnico con diversi livelli di esperienza e complessivamente idoneo a svolgere i servizi richiesti con il grado di qualità e le tempistiche concordate in sede di pianificazione.

Lo stato di avanzamento del servizio dovrà essere sempre monitorato e documentato prevedendo opportune soluzioni di comunicazione verso la S.A.

I.2.7. Gruppo di Lavoro e profili professionali

Le attività dovranno essere svolte da un Gruppo di Lavoro costituito sia da figure professionali di coordinamento e gestione del progetto, sia da operatori esperti nei diversi settori coinvolti dalle attività in oggetto.

In particolare, il gruppo dovrà essere costituito da un numero idoneo di professionalità con esperienze pluriennali relative ai contenuti dei servizi richiesti, che possono essere riferiti, in modo non esaustivo, alle seguenti tematiche:

- Realizzazione di riprese aeree fotogrammetriche e LiDAR
- Trattamento dei dati fotogrammetrici attraverso i principali strumenti software dedicati
- Trattamento dei dati LiDAR attraverso i principali strumenti software dedicati
- Utilizzo degli strumenti software per la produzione di ortofoto mediante ortorettifica dei fotogrammi della ripresa aerea
- Utilizzo degli strumenti software per la produzione di modelli digitali di elevazione (DTM, DSM)
- Topografia e rilevamento topografico, sistemi GNSS
- Cartografia digitale e fotointerpretazione
- Sistemi Informativi geografici e DBMS Spaziali
- Procedure e Scripting per elaborazione di dati geografici
- Elaborazione dati geografici attraverso Applicazioni GIS
- Metadati e Descrizione di dati geografici
- Sistemi di qualità e verifiche di conformità

Il Gruppo di lavoro andrà opportunamente articolato ed organizzato, individuando eventuali sottogruppi, ruoli, responsabilità e modalità di coordinamento.

CAPITOLO I.3. MATERIALI PER L'ESECUZIONE DELL'APPALTO

I.3.1. Materiale da reperire da parte della D.A.

Prima di iniziare le attività, la D.A. dovrà reperire il seguente materiale:

- a) monografie e coordinate dei vertici trigonometrici istituiti o modificati dall'IGM alla data di affidamento del servizio, compresi i vertici della rete IGM95, se utili come riferimento per la determinazione dei punti di appoggio;
- b) monografie dei vertici della rete GNSS di stazioni permanenti regionale. Le caratteristiche e le modalità di accesso sono reperibili presso il sito internet della rete.

I.3.2. Materiale messo a disposizione dalla S.A.

La S.A., su richiesta della D.A. e nei limiti della disponibilità, metterà a disposizione della D.A. il seguente materiale, relativo all'ambito geografico dell'appalto, necessario per le attività:

- a) i dati di trasformazione, prodotti dall'IGM, relativi al territorio da aggiornare, per i passaggi di coordinate fra sistemi di riferimento;
- b) il programma di conversione delle coordinate geo-cartografiche;
- c) la procedura di compilazione dei metadati come indicato dal RNDT;
- d) le coordinate dei vertici per la suddivisione dei modelli digitali in "tile";
- e) il file con la delimitazione geografica degli ambiti territoriali oggetto delle attività;
- f) i dati di eventuali rilievi lidar e/o ortofoto adiacenti all'area interessata dal servizio;

ed altro materiale che può essere utile nella fase di pianificazione:

- g) i dati e il quadro d'unione della cartografia tecnica regionale (DBT);
- h) la carta regionale dell'Uso del Suolo;
- i) l'ortofoto digitale a colori alla scala 1:5000;
- j) eventuali dati lidar di rilievi precedenti che ricadono all'interno dell'area interessata dal servizio;
- k) i dati disponibili del DTM regionale.

CAPITOLO I.4. SISTEMI DI RIFERIMENTO E METADATI

I.4.1. Sistemi di riferimento

I dati dovranno essere acquisiti secondo le direttive del D.M. 10 novembre 2011 - Adozione del Sistema di riferimento geodetico nazionale, costituito dalla realizzazione ETRF2000 all'epoca 2008.0 del sistema geodetico europeo ETRS89.

I dati non dovranno presentare soluzioni di continuità e dovranno essere memorizzati nel sistema di riferimento europeo ETRF2000 (RDN2008). Le coordinate piane dovranno essere espresse nel Fuso 32 (EPSG 7791).

Le quote ellissoidiche dovranno essere trasformate in geoidiche riferite al sistema verticale nazionale Genova 1942, utilizzando i dati dei "grigliati" (modello di geoide Italgeo2005) ed il software consegnati.

I.4.2. Compilazione dei metadati

La D.A. dovrà provvedere alla compilazione di tutti i metadati previsti del RNDT per i prodotti oggetto dell'appalto, secondo la procedura messa a disposizione dalla S.A.

CAPITOLO I.5. CONTROLLI DI QUALITÀ INTERNI

I.5.1. Controlli di qualità interni

La D.A. dovrà garantire l'esecuzione dei lavori "a regola d'arte", verificare la qualità dei dati prodotti, nei limiti delle precisioni prescritte, e garantire inoltre la loro affidabilità in relazione ai fini preposti.

L'acquisizione dei dati geografici e la formazione dei prodotti richiesti sono sviluppate attraverso fasi operative distinte e successive, regolate ciascuna da specifiche prescrizioni tecniche, per cui i controlli di qualità degli elaborati intermedi devono avvenire in corso d'opera, prima di ammetterli ad ogni altro successivo trattamento.

Detti controlli dovranno avvenire secondo i criteri definiti dall'International Standard Organization mediante la normativa ISO serie 9000, per la garanzia e l'assicurazione della qualità.

PARTE II - RIPRESA AEROFOTOGRAMMETRICA E FORMAZIONE DI ORTOFOTO

CAPITOLO II.1. OGGETTO DELL'ATTIVITÀ

II.1.1. Oggetto dell'attività

L'attività consiste nella ripresa aerea con camera digitale aerofotogrammetrica dell'area interessata, per la successiva formazione di ortofoto.

CAPITOLO II.2. SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE

II.2.1. Caratteristiche della ripresa

Le riprese fotogrammetriche per la copertura del territorio dovranno essere eseguite nel rispetto di tutti i requisiti richiesti dalla tecnica più aggiornata per la realizzazione dei rilievi aerofotogrammetrici, con l'uso di sistemi GNSS aerotrasportati per la determinazione delle coordinate dei centri di presa, integrati con sistemi inerziali IMU per la determinazione dei parametri di orientamento esterno dei fotogrammi prodotti.

La ripresa aerea digitale dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- colore con profondità di almeno 12 bit per canale;
- valore medio di GSD di 0.15 m e comunque non superiore a 0.20 m.

Le riprese dovranno essere eseguite con camera digitale di tipo "frame", salvo diversa motivata proposta che dovrà essere approvata dal D.E.C.. Nel secondo caso l'apposita relazione dovrà documentare le modalità di utilizzo della camera, anche in riferimento alla T.A. e alla restituzione.

La camera prescelta dovrà essere dotata del dispositivo di compensazione del movimento in avanti FMC per la correzione del trascinamento delle immagini alle quote relative più basse della presa.

Dal certificato di taratura della camera metrica digitale, redatto in data non anteriore a due anni dall'impiego, dovranno risultare la data di calibrazione ed i parametri dell'immagine virtuale ad alta risoluzione ed a colori (focale, risoluzione, abbracciamento, punto principale e distorsione).

Nella ripresa aerofotogrammetrica del territorio interessato, la copertura potrà essere suddivisa in blocchi omogenei di insiemi di strisciate parallele. Strisciate con diversa direzione potranno essere realizzate per il completamento del blocco o dei blocchi di strisciate della copertura medesima.

Il progetto del piano di volo potrà prevedere un adeguato irrigidimento dei blocchi, inserendo strisciate trasversali in testa ed in coda a ciascun blocco di strisciate di analogo sviluppo longitudinale, se ritenuto necessario in base alla forma del blocco e alle caratteristiche orografiche del territorio.

I voli di presa dovranno essere effettuati seguendo rigorosamente il previsto piano di volo.

Le giornate non idonee all'esecuzione delle riprese dovranno essere giustificate con documentazione rilasciata dall'Autorità competente.

Eventuali deroghe possono essere concesse preventivamente, per iscritto, dal D.E.C..

Le variazioni degli elementi di orientamento angolare fra fotogrammi consecutivi, così come i valori assoluti degli angoli di orientamento φ e ω dei singoli fotogrammi, non dovranno superare i 5 gradi centesimali.

I fotogrammi consecutivi di una stessa strisciata dovranno avere una sovrapposizione longitudinale non inferiore al 60%, con oscillazioni comprese entro il 5% e valori di deriva trasversale non superiori al 10% sul fotogramma.

La sovrapposizione trasversale fra strisciate contigue non dovrà essere inferiore al 30%.

In ogni strisciata lo scostamento massimo del punto principale dall'asse della strisciata stessa, così come indicato sul piano di volo, non dovrà superare il 10% del lato del fotogramma in zone pianeggianti o collinose, ed il 5% in zone di montagna.

In ogni caso non sono ammesse soluzioni di continuità nella copertura stereoscopica del territorio.

Qualora siano riscontrate delle anomalie o delle lacune nella copertura aerofotogrammetrica stereoscopica del territorio da cartografare, le strisciate difettose dovranno essere replicate *ex-novo*. Gli eventuali rifacimenti dovranno essere comunque realizzati entro 20 giorni dalla data di esecuzione del volo principale. In caso di impossibilità per cause di forza maggiore, il D.E.C. darà disposizioni in merito.

Dovranno essere rese note la data e le ore di inizio e fine della ripresa di ogni strisciata; ed in particolare, per ogni fotogramma dovranno risultare registrate la data, l'ora e l'altimetria della presa fotografica.

II.2.2. Progetto della ripresa fotogrammetrica

Il progetto della ripresa di cui al punto I.2.3. dovrà contenere una relazione nella quale vengono riportate le scelte operative effettuate con particolare riferimento alla strumentazione ausiliaria di navigazione, posizionamento e assetto, alla sua calibrazione, all'interfacciamento tra questa e la camera da presa, alla disposizione dei ricevitori GNSS a terra, alla procedura di trattamento dei dati ausiliari.

II.2.3. Materiale da consegnare al termine della ripresa

Al termine dei lavori di ripresa aerofotogrammetrica dovranno essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) copia del certificato di taratura delle camere da presa redatto in data non anteriore a due anni dall'esecuzione delle riprese;
- b) grafico alla scala 1:50000, su supporto informatico e in formato da concordare con il D.E.C., delle strisciate eseguite con tracciamento dei contorni dei fotogrammi alterni proiettati al suolo.

A tal fine dovrà essere previsto un *layer* per ogni fotogramma il cui ingombro dovrà essere acquisito come poligono chiuso e denominato con il medesimo nome del corrispondente file immagine di cui al punto f) (<strisciata>_<fotogramma>); si dovranno inoltre prevedere altrettanti *layer* per le frecce indicanti le direzioni di volo delle strisciate che andranno denominati con il numero della rispettiva strisciata.

Per ciascun *layer*, infine, dovrà essere previsto il corrispondente testo grafico.

Per quanto riguarda la numerazione delle strisciate, si fa presente che non sono ammesse numerazioni uguali per strisciate che mancano di continuità; ad esempio, se la strisciata viene interrotta per un tratto, la porzione successiva andrà acquisita con una nuova numerazione. La numerazione va assegnata unicamente con numeri naturali a cominciare da 1.

I contenuti, sia geometrici che descrittivi, del grafico sono parte integrante del DBGT regionale e pertanto andranno consegnati anche secondo la prevista struttura, popolando opportunamente le apposite classi: Assi di volo A_VOLO, Centri di presa CPRESA, Porzione di territorio restituito ZONA_R e Abbracciamento al suolo del fotogramma Z_FOTO.

- c) una copia digitale dei fotogrammi a piena risoluzione e massima profondità di colore, in formato TIFF a 8 bit non compresso, nelle 4 bande RGBI, comprensivi delle informazioni alfanumeriche (metadati);

La denominazione di ciascun file nel quale verrà memorizzato il singolo fotogramma, dovrà seguire le seguenti prescrizioni per la codifica:

<anno><descrizione>_<strisciata>_<fotogramma>.<tipo>

Il nome del volo è composto da due parti, <anno> e <descrizione> scritte una di seguito all'altra senza alcun carattere interposto:

- anno: 4 cifre;
- descrizione: stringa da 0 a 10 caratteri descrittiva del volo, in questo caso RER;
- strisciata: codice alfanumerico;
- fotogramma: codice alfanumerico.

Il nome completo include due caratteri "_" (trattino basso, *underscore*) che separano il nome volo dal codice strisciata, e il codice strisciata dal codice fotogramma.

Esempio: 2022RER_12_123.tif

Nel supporto di consegna i file dovranno essere archiviati in cartelle distinte, una per ciascuna strisciata, denominate "stnn" dove nn è il numero di strisciata.

Nel caso in cui siano stati previsti più voli sarà necessario archivarli separatamente;

- d) indice dei fotogrammi, in forma di file di testo, con l'elenco completo delle immagini, una per ogni *record* (riga). Il *record* dovrà contenere i seguenti elementi:
- nome del file con l'immagine;
 - data e ora del volo;
 - numero della strisciata;
 - numero del fotogramma;
 - indicazioni della quota di volo
 - informazioni sui centri di presa previste dal punto i)
- e) registrazioni su supporto digitale dei dati GNSS delle stazioni di terra e dei ricevitori a bordo in formato RINEX o in formato proprietario nel caso di ricevitori dello stesso tipo;
- f) risultati di *output* del trattamento dei dati GNSS;
- g) registrazione su supporto informatico, in formato da concordare con il D.E.C., dei seguenti dati per ciascun centro di presa:
- coordinate ellissoidiche φ , λ e h nel sistema ETRF2000;
 - coordinate piane nel sistema UTM-ETRF2000 fuso 32;
 - quota geoidica calcolata apportando alle altezze ellissoidiche le correzioni per l'ondulazione geoidica fornite dall'IGM;
- h) parametri angolari di orientamento esterno per ciascun fotogramma, su supporto informatico come per i centri di presa, corredati dalla definizione delle unità di misura e delle convenzioni utilizzate per ciascun valore angolare;
- i) documentazione della calibrazione del sistema inerziale effettuata ad hoc per la configurazione strumentale utilizzata per le riprese;
- j) report con i risultati dei controlli di qualità interni.

A completamento della fornitura, è richiesta una relazione descrittiva delle attività svolte, contenente anche la descrizione dei supporti informatici utilizzati per la consegna del materiale, con l'indicazione del contenuto di ciascun supporto e la descrizione della struttura delle cartelle con la quale è stata organizzata la memorizzazione dei file.

La D.A. dovrà inoltre consegnare anche tutti gli atti ed i documenti relativi alla fase di ripresa aerofotogrammetrica.

Una copia dei file dei fotogrammi, con relativi parametri di orientamento, sarà invece conservata per 5 anni dalla D.A., che dovrà rilasciarne copia su richiesta della S.A., al solo costo della riproduzione digitale (copia dei file).

CAPITOLO II.3. TRIANGOLAZIONE AEREA

II.3.1. Dati utilizzati per la T.A.

I dati potenzialmente utilizzabili per la T.A. del blocco di fotogrammi sono in primo luogo classificabili in due categorie:

- a) dati di orientamento esterno dei fotogrammi acquisiti in sede di riprese aerofotogrammetriche: coordinate spaziali dei centri di presa dei singoli fotogrammi nel sistema di riferimento ETRF2000 e parametri angolari di orientamento esterno dei fotogrammi;
- b) punti d'appoggio definiti in coincidenza di particolari fotografici di sicura collimabilità planimetrica e/o altimetrica sulle riprese.

II.3.2. Modalità di esecuzione della T.A.

Per le operazioni di T.A. dovranno essere impiegati esclusivamente restitutori digitali di adeguata e documentata precisione.

Le osservazioni saranno condotte secondo le procedure di T.A. digitale semi-automatica con introduzione dei parametri angolari e lineari di orientamento esterno dei fotogrammi derivanti da misure GNSS/Inerziali, finalizzata alla determinazione dei parametri compensati di orientamento esterno dei fotogrammi.

I punti di appoggio a terra altimetrici potranno essere diversi dai punti di appoggio planimetrici.

I centri di presa determinati con metodologia GNSS svolgono il ruolo di punti di appoggio virtuali per il blocco di fotogrammi triangolati.

La T.A. dovrà essere eseguita su blocchi di strisciate di forma regolare, con calcolo di compensazione a fasci proiettivi. Per il calcolo potrà essere impiegato un qualsiasi software specifico, purché già ampiamente noto e sperimentato.

A seconda del tipo di camera utilizzato, il D.E.C. valuterà la possibilità di richiedere che il valore della focale venga impostato come variabile durante il calcolo di T.A..

II.3.3. Caratteristiche dei punti di appoggio a terra

La distribuzione dei punti di appoggio per la T.A. dovrà essere tale da costituire poligoni di punti plano-altimetrici che includano l'intero lotto triangolato, escludendo modelli a sbalzo.

I punti di appoggio a terra dovranno essere opportunamente distribuiti sul territorio, in quantità e posizioni tali da garantire l'opportuno grado di vincolo per la T.A. sulla base delle attuali finalità della ripresa.

I punti di appoggio a terra dovranno permettere tutti una sicura collimazione stereoscopica plano-altimetrica.

La posizione di ciascuno di essi dovrà essere individuata e segnalata su una serie di immagini dei fotogrammi a bassa risoluzione. Ogni punto verrà identificato con lo stesso numero d'ordine che gli è stato attribuito in fase di determinazione.

II.3.4. Monografie dei punti di appoggio a terra

Ciascun punto d'appoggio a terra sarà corredato da una monografia descrittiva, oggetto di consegna, che ne consenta il riconoscimento sui fotogrammi.

Delle monografie descrittive faranno parte i seguenti dati:

- a) codice o nome del punto;
- b) coordinate planimetriche (E ed N) e quota geoidica (Q);
- c) stralcio dell'immagine (fotogramma) con frecciatura digitale del punto;
- d) data di esecuzione della monografia.

II.3.5. Risultati del calcolo di T.A.

Nei documenti d'uscita dei calcoli elettronici, oggetto di consegna, dovranno risultare chiaramente indicati:

- a) le coordinate d'ingresso del calcolo di compensazione;
- b) i parametri di orientamento esterno dei fotogrammi determinati congiuntamente alle riprese;
- c) le differenze tra le coordinate dei punti di appoggio per la T.A. determinate in ciascun modello e le coordinate note;
- d) il valore di sigma zero in planimetria a posteriori;
- e) il valore di sigma zero in altimetria a posteriori;
- f) i pesi attribuiti a ciascuna classe di osservazioni e di parametri;
- g) le coordinate compensate dei punti di appoggio;
- h) i parametri di orientamento esterno compensati.

II.3.6. Elaborati da consegnare al termine della T.A.

Al termine delle operazioni di T.A. devono essere consegnati i seguenti elaborati:

- a) output del calcolo con le caratteristiche indicate al paragrafo precedente;
- b) grafico delle strisciate triangolate con l'indicazione dei vertici delle reti di inquadramento e raffittimento e dei punti d'appoggio, indicati con simbologia adeguata su supporto informatico in un formato selezionato tra quelli di maggiore diffusione e concordato con il D.E.C.;

CAPITOLO II.4. FORMAZIONE DELLE ORTOFOTO

II.4.1. Caratteristiche delle ortofoto

Le ortofoto dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- risoluzione geometrica - dimensione nominale del pixel: 0.20 m;
- tipologia e risoluzione radiometrica: RGBI a 8 bit per banda, ovvero 1 byte per ogni banda cromatica Red, Green e Blue e 1 byte per la banda infrarosso.

II.4.2. Accuratezza posizionale

Per le coordinate dei particolari desumibili dalle ortofoto devono essere garantite le accuratezze espresse dalle seguenti tolleranze.

La differenza tra le coordinate x,y collimate sull'ortofoto e le corrispondenti coordinate X,Y determinate direttamente sul terreno su particolari di territorio antropizzato ben definiti, dovranno soddisfare, al livello di confidenza del 97%, la relazione:

$$[(x - X)^2 + (y - Y)^2]^{1/2} < 0.60 \text{ m}$$

II.4.3. Trattamento delle immagini e processo di generazione delle ortofoto

Si richiede che il processo venga effettuato utilizzando i fotogrammi e i relativi orientamenti forniti dalla ripresa aerea ed il modello digitale altimetrico prodotto dal rilievo LiDAR. Per l'interpolazione si richiede l'adozione del metodo di convoluzione cubica.

Durante tutte le fasi del processo di produzione delle ortofoto dovranno essere usati file non compressi alla risoluzione originale.

Le ortofoto dovranno essere il prodotto finale del raddrizzamento delle immagini digitali della ripresa aerea, georeferenziate e ortorettificate in base al modello digitale altimetrico, mosaiccate usando la porzione più opportuna di ogni fotogramma e successivamente ritagliate secondo la prevista suddivisione in file di consegna. Si raccomanda che la scelta delle linee di separazione fra le diverse porzioni dei fotogrammi (*seamline*) sia eseguita per quanto possibile lungo particolari lineari o bordi di oggetti areali del terreno, in modo da ottenere un effetto visivo più "naturale" nelle immagini finali evitando di introdurre linee di discontinuità cromatica artificiali. Per ridurre l'effetto di distorsione prospettica degli oggetti in elevazione (es. fabbricati) si raccomanda di utilizzare la parte più centrale (nadirale) dei fotogrammi.

Prima della mosaicatura i fotogrammi devono essere trattati con specifici software per uniformare i livelli cromatici, senza provocare decadimenti qualitativi ai contenuti informativi. Realizzata la mosaicatura deve essere eseguita l'equalizzazione cromatica ed eliminate le eventuali discontinuità in corrispondenza delle linee di congiunzione fra le varie immagini mosaiccate.

La rappresentazione del territorio non dovrà presentare soluzioni di continuità. Non è consentita la presenza di pixel con valore "no data" (completamente bianchi o completamente neri per mancanza di informazione). Le operazioni di equalizzazione cromatica non devono comportare perdita di informazione per saturazione o taglio agli estremi degli intervalli di valori previsti per ogni banda (0 e 255).

Nelle immagini non devono essere presenti elementi estranei al territorio che causano difetti informativi, come ad esempio porzioni di oggetti che essendo in movimento al momento della ripresa possono poi risultare deformati o incompleti a valle delle elaborazioni e della mosaicatura.

Per le ortofoto che ricadono a cavallo dei limiti geografici del territorio oggetto dell'appalto, deve essere concordato con il D.E.C. il criterio di riempimento delle porzioni di immagine esterne ai suddetti limiti: *no data* oppure contenuti reali, per dare continuità visiva alla descrizione del territorio. In quest'ultimo caso, le porzioni esterne non saranno oggetto di verifica per gli aspetti di accuratezza posizionale, essendo potenzialmente al di fuori dell'area coperta dal calcolo di T.A. con cui sono stati prodotti gli orientamenti esterni dei fotogrammi.

Non devono essere eseguite operazioni che modifichino in alcun modo il contenuto radiometrico dei pixel sui file delle ortofoto a valle della suddivisione secondo il "taglio" di consegna.

Nel caso in cui le aree oggetto del servizio si trovino in adiacenza ad aree interessate da rilievi preesistenti di tipologia e qualità confrontabili con le caratteristiche dell'attuale servizio, che saranno eventualmente indicati e forniti dalla S.A., è richiesto di garantire la continuità del dato, sia in termini di

completezza sia in termini di coerenza di contenuti. Occorre quindi verificare l'attacco in tutta la sua estensione, individuando eventuali incongruenze nella rappresentazione geometrica presente nell'ortofoto per i particolari del territorio che attraversano la linea di attacco. Ove risulti possibile mantenendo le alterazioni geometriche all'interno delle tolleranze ammesse, si procederà alla modifica dei dati prodotti nell'ambito del servizio per garantire la coerenza con i dati preesistenti. Eventuali casi di difformità superiori alle tolleranze dovranno essere invece segnalate al D.E.C., senza alterare i dati prodotti nell'ambito del servizio.

II.4.4. "Taglio" delle ortofoto e nomenclatura dei file

Il tipo di suddivisione geografica in singoli file delle ortoimmagini ("taglio") e la nomenclatura da utilizzare saranno indicati nel dettaglio dal D.E.C., che fornirà le coordinate dei vertici dei bordi di taglio.

Lungo i bordi di contatto fra immagini adiacenti non dovranno essere presenti lacune nella copertura (righe / colonne di pixel mancanti); eventuali sovrapposizioni potranno essere presenti solo se previste espressamente dai poligoni di taglio indicati.

II.4.5. Formato dei file di consegna

Le ortoimmagini risultanti dal taglio dovranno essere memorizzate come segue:

- un file per ogni ortofoto in formato GeoTIFF non compresso;
- un file per ogni ortofoto in formato compresso secondo indicazioni del D.E.C. (comunque con un tipo di compressione noto e di larga diffusione).

II.4.6. Elaborati da consegnare

La D.A., nel termine fissato, dovrà consegnare:

- i file delle ortoimmagini prodotti sul taglio cartografico come indicato precedentemente e nel formato richiesto, su supporto informatico di opportuna capacità e copia di backup;
- il quadro d'unione in formato shapefile con i bordi georiferiti delle ortofoto;
- qualsiasi altra documentazione o elaborato prodotti per l'esecuzione del lavoro oggetto del presente capitolato;
- i report con i risultati dei controlli di qualità interni;
- tutta la documentazione ricevuta in consegna dalla S.A.

PARTE III - RILIEVO LiDAR E PRODUZIONE DEI MODELLI DIGITALI

CAPITOLO III.1. OGGETTO DEL RILIEVO

III.1.1. Oggetto dell'attività di rilievo LiDAR

L'attività consiste nell'esecuzione di una campagna di telerilevamento con tecnica LiDAR da piattaforma aeromobile con le caratteristiche nel seguito descritte.

È richiesto che il rilievo LiDAR sia eseguito contemporaneamente alla ripresa aerea.

CAPITOLO III.2. SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE

III.2.1. Requisiti della strumentazione

Il sistema LiDAR dovrà possedere i requisiti minimi per garantire il raggiungimento delle precisioni e delle densità specificate al punto successivo. La D.A. dovrà consegnare al D.E.C., insieme alla relazione indicata nel seguito, tutta la documentazione tecnica descrittiva del sensore che intende utilizzare.

Dovrà essere fornita relazione e documentazione da parte della D.A. anche sui software utilizzati e sulle procedure di elaborazione dei dati grezzi.

III.2.2. Qualità metrica e caratteristiche prestazionali

Il territorio dovrà essere rilevato con strumentazione e procedure adeguate in grado di garantire le seguenti prestazioni:

S.q.m. (1σ) altimetrico	S.q.m. (1σ) planimetrico	Densità minima di punti (*)	Valori di risposta per impulso (first-last)
0.08 m	0.30 m	4 pt/mq	≥ 8

(*) per il conteggio della densità vengono considerati i punti intesi come eventi di misura, non i singoli ritorni: ad ogni impulso corrisponde un punto, anche se la risposta comprende più ritorni.

III.2.3. Progetto della ripresa LiDAR

Il progetto della ripresa di cui al punto I.2.3. dovrà contenere una relazione nella quale vengono descritte:

1. le caratteristiche tecniche della strumentazione laser da utilizzare per il rilievo e le modalità di calibrazione del sistema;
2. la suddivisione in blocchi omogenei e le modalità del rilievo che consideri la particolare morfologia del territorio da rilevare. Dovrà essere prevista una sovrapposizione laterale tra le strisciate non inferiore al 30%. Il piano di volo dovrà essere presentato in forma numerica in formato shapefile o altro formato concordato con il D.E.C.. La scelta della quota di volo dovrà garantire la densità dei punti e la precisione plano-altimetrica richiesta;
3. i parametri tecnici e analitici di volo e le impostazioni della strumentazione che si intendono adottare affinché siano rispettate la qualità metrica e la densità dei punti sul terreno richieste;
4. l'individuazione e la localizzazione delle stazioni GNSS di riferimento a terra (permanenti ed eventuali mobili) per i voli di ripresa LiDAR con accertamento delle condizioni di ricezione dei segnali satellitari e di omogeneità al sistema ETRF2000. La D.A. dovrà preliminarmente accertare, anche attraverso un'attività di ricognizione, l'eventuale presenza di interferenze elettromagnetiche che possano compromettere la buona ricezione dei segnali GNSS e/o la contemporanea ricezione dei segnali da più satelliti;
5. il software e le procedure di classificazione delle nuvole di punti e di generazione dei modelli digitali;
6. il piano di dettaglio delle attività articolato e illustrato secondo la forma del Cronoprogramma.

Ferma restando la densità minima di punti prescritta, occorre che la distribuzione degli stessi sia sufficientemente omogenea da garantire un'adeguata modellazione delle superfici per la formazione dei modelli digitali. La presenza di celle prive di informazione diretta, il cui valore risulta quindi ricavato per interpolazione dalle celle adiacenti, deve essere considerato un evento eccezionale, che non deve verificarsi in una percentuale superiore al 5% dei casi, e comunque mai per gruppi di celle adiacenti fra

loro. Nel conteggio del 5% non vengono considerate le celle contenenti no-data, dove eventualmente ammesso.

III.2.4. Esecuzione del rilievo

Le scansioni LIDAR dovranno essere eseguite nel rispetto di tutti i requisiti richiesti dalla tecnica più aggiornata, includendo tassativamente l'uso di sistemi GNSS aerotrasportati integrati con sistemi inerziali (IMU) per la determinazione dei tracciati delle traiettorie effettuate dal sensore.

In funzione dell'andamento e dell'assetto plano-altimetrico della superficie di ripresa dovranno essere progettati e realizzati insieme omogenei di strisciate (blocchi), ciascuno acquisito con un'unica sessione di volo.

Ogni blocco dovrà avere, rispetto a quelli ad esso adiacenti, una zona di sovrapposizione sufficiente a garantire la continuità della copertura e a permettere il controllo della corretta georeferenziazione dei dati acquisiti.

La D.A. dovrà predisporre opportune aree-test sulle quali verrà eseguita la calibrazione dei sensori e verificata la stabilità della calibrazione ad ogni missione. I dati relativi alle aree-test, ossia i report, i dati laser del volo, la traiettoria GNSS del volo di calibrazione e la documentazione sull'elaborazione dei dati IMU/GNSS dovranno essere consegnati al D.E.C. unitamente ad una relazione in cui vengono descritte le modalità utilizzate nel rilievo e le analisi statistiche di confronto con i dati desunti dal volo LIDAR sulle medesime aree.

Ogni missione deve acquisire i dati di almeno un'area di test. Se gli errori residui (cioè dopo l'applicazione dei parametri di calibrazione e l'eventuale correzione dei sistematismi) eccedono i valori di qualità metrica precedentemente indicati la D.A. è tenuta a ripetere l'acquisizione.

III.2.5. Utilizzo del GNSS

Durante l'acquisizione devono essere attivi sul terreno almeno tre ricevitori con le medesime caratteristiche di quello a bordo, oppure utilizzati i dati di almeno tre ricevitori appartenenti alla rete di stazioni permanenti concordata con il D.E.C. fra quelle disponibili nell'area di lavoro. L'intervallo di campionamento non deve essere superiore a 1 secondo.

Le distanze tra i ricevitori non devono essere inferiori a 10 km, mentre quelle tra il vettore aereo ed i ricevitori a terra non devono mai superare i 30 km per il ricevitore più vicino e i 50 km per quello più lontano.

I tre ricevitori devono essere in stazione su vertici di coordinate note nel sistema ETRF2000 e ciascuno deve tracciare almeno 5 satelliti tra quelli ricevuti sull'aereo. Poiché le stazioni di riferimento a terra consentono di determinare più soluzioni indipendenti per ciascun centro di presa, la D.A. può, giustificando le scelte fatte, definire la posizione impiegando una combinazione lineare delle diverse soluzioni.

Le stazioni a terra dovranno essere scelte in modo da garantire la migliore soluzione per ognuno dei blocchi in cui sarà suddiviso il territorio da rilevare.

Soluzioni diverse di vincolo e correzione GNSS, che garantiscano comunque la qualità metrica richiesta per i prodotti della ripresa, potranno essere proposte dalla D.A. con relazione dettagliata e sottoposte ad accettazione da parte del D.E.C..

CAPITOLO III.3. TRATTAMENTO DEI DATI E PRODUZIONE DEI MODELLI DIGITALI

III.3.1. Trattamento dei dati

I dati acquisiti dovranno essere trattati, dal punto di vista della georeferenziazione, tenendo conto di tutte le informazioni derivanti dalla rete GNSS di terra, dai sensori GNSS e dalle piattaforme inerziali di

bordo al fine di definire in modo univoco il corretto posizionamento dei punti LiDAR nel sistema di riferimento adottato. Il calcolo delle quote geoidiche dovrà essere effettuato utilizzando i software e i dati indicati: l'utilizzo dei "grigliati" IGM nella versione GK2 consente l'applicazione del modello di geoida nazionale Italgo2005.

Dovranno essere utilizzate le breakline per vincolare la modellazione delle linee di costa, dei laghi e dei fiumi di grandi dimensioni o di particolare interesse, nonché le linee in corrispondenza di significativi e ben definiti cambi di pendenza delle superfici da modellare per le quali la densità dei punti LiDAR risulti insufficiente a garantire il raggiungimento della prevista qualità metrica della modellazione.

Mediante algoritmi automatici o semiautomatici dovrà inoltre essere eseguita la diversa classificazione di tutti i punti che non appartengono al terreno ("Overground": edifici, coperture arboree e vegetali, pali, tralicci, ecc.). Tale operazione potrà essere utilmente facilitata dalle informazioni desumibili dai prodotti cartografici forniti dal D.E.C..

Per tutte le elaborazioni dovranno essere utilizzati i software dichiarati in sede di offerta tecnica, che devono essere noti e ampiamente sperimentati, in linea con lo stato dell'arte.

La procedura e gli algoritmi applicati e i software utilizzati dovranno essere documentati mediante un'apposita relazione.

III.3.2. Produzione dei modelli digitali

Dalle nuvole di punti classificate come terreno e non-terreno dovranno essere ricavati i modelli a maglia regolare DSM "First pulse", DSM "Last pulse" e DTM, con celle 0.5 x 0.5 m, con le caratteristiche e nei formati descritti nel successivo capitolo relativo al materiale di consegna.

I modelli a maglia regolare rappresentano le seguenti superfici:

DSM "First pulse": terreni aperti, sommità di manufatti ed edifici, superficie superiore della nuvola di punti nelle zone con risposta ad echi multipli;

DSM "Last pulse": terreni aperti, sommità di manufatti ed edifici, superficie inferiore della nuvola di punti nelle zone con risposta ad echi multipli;

DTM: andamento del solo terreno. Il modello è ottenuto dal DSM "Last pulse" mediante l'eliminazione degli oggetti solidi in elevazione (edificato); le parti di modello eliminate vengono sostituite con porzioni di superficie ottenute per interpolazione dei valori circostanti.

Per la formazione dei modelli digitali dovranno essere utilizzati i software dichiarati in sede di offerta tecnica, che devono essere noti e ampiamente sperimentati, in linea con lo stato dell'arte.

Nel caso in cui le aree oggetto del servizio si trovino in adiacenza ad aree interessate da rilievi preesistenti di tipologia e qualità confrontabili con le caratteristiche dell'attuale servizio, che saranno eventualmente indicati e forniti dalla S.A., è richiesto di garantire la continuità del dato, sia in termini di completezza sia in termini di coerenza di contenuti. Occorre quindi verificare l'attacco in tutta la sua estensione, verificando la completezza e l'assenza di incongruenze nella modellazione delle superfici. Se si dovessero individuare discontinuità di entità superiore alle accuratezze richieste per il presente servizio esse dovranno essere segnalate al D.E.C.

CAPITOLO III.4. CONSEGNA DEGLI ELABORATI

III.4.1. Elaborati di consegna

Al termine delle elaborazioni, la D.A. dovrà fornire:

A) i seguenti documenti:

1. grafico delle strisciate con i dati dei voli e i limiti dell'area da rilevare;

2. rapporti di volo;
3. report dei dati laser del volo per ogni sessione di calibrazione eseguita, traiettoria del volo di calibrazione e documentazione sull'elaborazione dei dati IMU/GNSS, che riporti le informazioni sulla qualità del dato satellitare e inerziale e un'indicazione sull'accuratezza di determinazione della posizione del sensore al momento della misura;
4. protocollo delle stazioni GNSS permanenti se utilizzate per la correzione differenziale;
5. dati GNSS delle acquisizioni a bordo e delle eventuali stazioni a terra, in formato RINEX;
6. report dei confronti tra i dati 3D acquisiti ed i dati piano altimetrici delle aree test, comprensivo del calcolo degli scarti delle misure eseguite ed opportuna analisi statistica degli stessi;
7. relazione su procedure e algoritmi applicati e software utilizzati per l'eliminazione delle informazioni che non appartengono al terreno;
8. garanzia scritta sui seguenti punti:
 - non si sono verificati problemi tecnici durante i voli e l'acquisizione dei dati;
 - i dati non sono influenzati da offset, inclinazioni e curvature del volo e sono stati verificati;
 - le aree misurate non presentano alcuna discontinuità di rilevamento;
 - i controlli di qualità interni sono stati eseguiti ed hanno dato esito positivo.
9. nel caso di correzioni di sistematismi, documentazione delle elaborazioni eseguite;
10. report con i risultati dei controlli di qualità interni.

B) i seguenti dati:

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

Eventuali suddivisioni dei tile in porzioni più piccole di territorio ai fini di contenere le dimensioni di file potranno essere concordate con il D.E.C..

Il singolo tile è identificato univocamente mediante le coordinate del vertice sud ovest, con codifica come specificato in seguito.

1. Dati grezzi LIDAR (raw data) di prima acquisizione: nuvola di punti costituita dai dati grezzi divisi per strisciate, in formato LAS binario in coordinate ETRF2000 geografiche sessadecimali e altezze ellissoidiche, nella versione completa acquisita in fase di misura (con la sola eventuale eliminazione degli "outliers").
2. Nuvola di punti classificati come "Ground" e "Overground" in formato ASCII ϕ , λ , h, Intensità, Classe in coordinate ETRF2000 geografiche sessadecimali e altezze ellissoidiche, con lo spazio come carattere separatore.
3. Modello Digitale delle Superfici "First pulse": è il grigliato regolare che modella le superfici "first pulse", con celle 0.5 x 0.5 m, in formato ASCII Grid in coordinate UTM-ETRF2000 fuso 32 e quote geoidiche.
4. Modello Digitale delle Superfici "Last pulse": è il grigliato regolare che modella le superfici "last pulse", con celle 0.5 x 0.5 m, in formato ASCII Grid in coordinate UTM-ETRF2000 fuso 32 e quote geoidiche.
5. Modello Digitale del Terreno: è il grigliato regolare che modella l'andamento del solo terreno, con celle 0.5 x 0.5 m, in formato ASCII Grid in coordinate UTM-ETRF2000 fuso 32 e quote geoidiche.
6. Intensità: in formato TIFF + TFW in scala di grigio (profondità 8 bit, dimensione del pixel 1 m, georiferito in coordinate UTM-ETRF2000 fuso 32).

7. Elementi vettoriali delle breakline (se presenti): in formato shapefile di tipo PolylineZ.

8. Quadro di unione dei "tile" in formato shapefile.

I prodotti al punti 1 saranno consegnati suddivisi per strisciate (un file per strisciata).

La consegna dei prodotti elencati alle voci 2, 3, 4, 5 e 6 sarà effettuata secondo il taglio concordato in superfici elementari (tile).

Il prodotto al punto 7 sarà consegnato in un solo file, contenente le breakline di tutto il lotto di consegna.

Anche il prodotto al punto 8 prevede un solo file di consegna.

L'eventuale consegna dei valori radiometrici RGB in aggiunta alle informazioni relative ai singoli punti delle nuvole potrà essere concordata, per quanto riguarda le modalità ed i formati, con il D.E.C.

Per la nomenclatura dei tile si utilizza la seguente "naming convention":

< TT > _ < EEEE > < NNNNN > _ < dddddd > _ < pppppp >

che prevede:

- due caratteri per identificare il tipo di taglio <TT>, con il seguente valore (fisso): 32 = taglio piano nel fuso 32
- quattro caratteri <EEEE>: prime 4 cifre della coordinata Est dello spigolo SO, es. 6780
- cinque caratteri <NNNNN>: prime 5 cifre della coordinata Nord dello spigolo SO, es. 49870
- sei caratteri <dddddd>: dimensione del "tile" in est-ovest (prime tre cifre) e nord-sud (seconde tre cifre), in centinaia di metri, es. 010010
- sei caratteri <pppppp>: "passo" della griglia (lato della cella) in est-ovest (prime tre cifre) e nord-sud (seconde tre cifre), in decimetri, es. 005005

Un esempio di nomenclatura è:

32_678049870_010010_005005

che significa: taglio piano fuso 32, tile di 1 km x 1 km con spigolo sud-ovest in coordinate 678000,4987000 e passo della griglia di 0.5 x 0.5 m.

Nel caso delle nuvole di punti, la parte finale < pppppp > è omessa.

Per identificare i diversi prodotti si adotta la seguente convenzione:

- Dati grezzi STR_numeroStrisciata_RAW

Es: STR_001_RAW

- Nuvola di punti classificata Ground: <naming convention>_Class

Es: 32_678049870_010010_Class

- DSM First pulse: <naming convention>_DSM_First

Es: 32_678049870_010010_005005_DSM_First

- DSM Last pulse: <naming convention>_DSM_Last

Es: 32_678049870_010010_005005_DSM_Last

- DTM: <naming convention>_DTM

Es: 32_678049870_010010_005005_DTM

- Intensità: <naming convention>_I

I file delle breakline e del quadro di unione si chiameranno semplicemente "Breakline" e "Quadro_unione_tile".

Tutti i file dovranno essere forniti in duplice copia su due diversi supporti (ciascuno costituito da uno o più hard disk esterni porta USB3 o successiva, o altro da concordare con il D.E.C.).

PARTE IV - ESECUZIONE DELLE VERIFICHE DI CONFORMITÀ

CAPITOLO IV.1. CRITERI E MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE VERIFICHE

IV.1.1. Criteri adottati per le verifiche di conformità

Le singole fasi operative descritte nel capitolato dovranno essere sottoposte a verifiche di conformità in corso d'opera ed a fine servizio.

Per quanto riguarda le verifiche in corso d'opera il D.E.C.:

- a) seguirà l'andamento dei lavori fin dal suo inizio, eseguendo visite per verificare l'osservanza delle prescrizioni operative;
- b) verificherà gli elaborati che a mano a mano verranno ultimati in ciascuna fase.

Nel caso di verifiche non positive il D.E.C. descriverà gli errori e le manchevolezze riscontrati e notificherà alla D.A. i risultati assegnando il termine perentorio per la ripresentazione degli elaborati, che saranno nuovamente sottoposti a verifica.

In tali casi la D.A., oltre a compiere a proprie spese le rettifiche, rifacimenti o integrazioni, potrà essere sottoposta alla penale giornaliera prevista dal contratto, per il periodo compreso fra la data di restituzione e quella di riconsegna alla S.A. degli elaborati corretti.

Sarà facoltà del D.E.C. suggerire, motivandola, una prassi operativa atta a rimuovere gli inconvenienti riscontrati.

Se il secondo controllo risulterà favorevole, verrà emessa relazione di accettazione notificando alla D.A. l'eventuale penale per i maggiori oneri derivanti dalla ripetizione del controllo; altrimenti si ripeterà la procedura di verifica con spese e penali a carico della D.A.

Se dalla seconda verifica risulterà che gli interventi disposti non sono stati eseguiti o lo sono stati soltanto parzialmente od irregolarmente, la S.A. si riserva la facoltà di respingere il servizio in via definitiva, o di fare eseguire d'ufficio, a spese della D.A., le operazioni necessarie per eliminare le deficienze e gli errori riscontrati ai sensi dell'art. 37, comma 2 del Capitolato Generale e dell'art 199 comma 2 lett. b) del DPR 554/1999 e successive modifiche ed integrazioni.

IV.1.2 Modalità di esecuzione delle verifiche di conformità

La D.A. dovrà mettere a disposizione del D.E.C. il personale tecnico, la strumentazione ed i mezzi impiegati dalla D.A. stessa per l'esecuzione delle attività.

La D.A. si obbliga inoltre ad acconsentire al D.E.C. l'accesso ai locali, alle strumentazioni ed ai documenti d'ufficio inerenti i lavori, impegnandosi ad agevolare con ogni mezzo i riscontri e gli accertamenti che il D.E.C. riterrà opportuno eseguire.

Le visite di controllo delle singole fasi potranno essere tenute su indicazione del D.E.C. oltre che presso la sede della ditta, presso la S.A. o presso altre sedi idonee concordate. I costi sono a carico della D.A.

Dal punto di vista operativo, le procedure di verifica sono applicate alle varie fasi delle attività con le modalità descritte nei capitoli seguenti.

CAPITOLO IV.2. VERIFICHE PRELIMINARI

IV.2.1. Verifiche preliminari di conformità

Dopo l'avvio delle attività e prima dell'inizio delle medesime, il D.E.C. verificherà, presso la D.A., che tutti i dispositivi ed i software da utilizzare per l'esecuzione di quanto previsto nel presente appalto siano conformi a quanto dichiarato in sede di offerta tecnica.

In questa fase vengono anche analizzate le procedure di controllo di qualità interno a cui la D.A. intende sottoporre i prodotti prima della consegna. Eventuali integrazioni potranno essere concordate con la D.A., per ridurre il più possibile il rischio di risultati negativi nelle successive operazioni di verifica.

CAPITOLO IV.3. VERIFICA DELLE RIPRESE AEROFOTOGRAMMETRICHE E DELLE ORTOFOTO

IV.3.1. Verifica delle riprese aerofotogrammetriche

La verifica di conformità delle riprese prevede:

- a) la verifica della continuità nella copertura stereoscopica del territorio, della corrispondenza fra strisciate eseguite, piano di volo e quadro d'unione delle strisciate;
- b) il controllo della completezza e correttezza della documentazione e dei supporti informatici previsti per la consegna;
- c) il controllo, per tutti i fotogrammi, che i valori di GSD rientrino nei limiti stabiliti;
- d) il controllo, per tutti i fotogrammi, dei ricoprimenti longitudinali e trasversali e della deriva;
- e) il controllo che i valori angolari di orientamento esterno di tutti i fotogrammi e le differenze di tali valori fra fotogrammi consecutivi rientrino nei limiti consentiti;
- f) il controllo che i contenuti delle immagini dei fotogrammi siano privi di nubi, ombre o altri difetti che compromettano la leggibilità del territorio;

Il risultato delle verifiche verrà considerato favorevole quando non più del 3% degli elementi relativi alle caratteristiche geometriche delle riprese non rispettano i requisiti previsti.

Qualora i presupposti previsti dal comma precedente non fossero rispettati per un'area superiore al 3% di quella oggetto del servizio, la D.A. dovrà ripetere le riprese relative alle strisciate interessate il primo giorno favorevole dopo la data di comunicazione formale da parte del D.E.C.

IV.3.2. Verifica del contenuto dei file delle ortofoto

Verranno effettuati i seguenti controlli sui contenuti dei file di consegna:

- a) verifica della risoluzione geometrica e radiometrica delle immagini;
- b) verifica che il sistema di riferimento utilizzato sia quello previsto;
- c) verifica delle dimensioni e del "taglio" dei fogli in cui è suddivisa la fornitura;
- d) verifica della corrispondenza degli elementi vettoriali del "quadro d'unione" con i bordi effettivi delle ortofoto.

L'eventuale presenza di valori nulli in un'immagine verrà analizzata per verificare se si tratti di errore oppure se i valori nulli abbiano ammissibilità nel contesto (es. aree esterne all'ambito amministrativo di consegna, se così concordato).

IV.3.3. Verifica visuale delle immagini

Verrà eseguito un controllo visuale sulla totalità delle immagini dell'ortofoto per verificare l'assenza di difetti significativi nel bilanciamento radiometrico, di discontinuità cromatiche non giustificate dal

contesto, di sfocature, artifatti o altri problemi nella qualità radiometrica delle immagini, di distorsioni prospettiche eccessive in corrispondenza degli oggetti in elevazione.

IV.3.4. Verifica dell'accuratezza metrica (intrinseca) mediante confronto con collimazioni stereoscopiche

Sul 2% delle ortofoto (non contigue e distribuite uniformemente sul territorio) e comunque in numero non inferiore a 5 unità e non superiore a 100, verrà eseguita la collimazione stereoscopica, su coppie di fotogrammi della stessa ripresa aerea usata per la formazione delle ortofoto, delle posizioni planimetriche di almeno 20 particolari ben riconoscibili sulle immagini.

La differenza fra le coordinate così determinate e quelle desunte dalle ortofoto dovrà risultare inferiore alle accuratezze posizionali definite per almeno il 97% dei punti controllati, e al doppio delle stesse accuratezze per il restante 3%.

Questo tipo di verifica non riguarda la conformità geometrica reale, poiché vengono utilizzati gli stessi dati fotogrammetrici con cui le ortofoto sono state generate, ma permette di evidenziare eventuali problemi che potrebbero essersi verificati durante le elaborazioni di raddrizzamento.

IV.3.5. Verifica dell'accuratezza metrica mediante operazioni sul terreno

Per il controllo dell'accuratezza metrica saranno identificate alcune zone campione, opportunamente distribuite nell'area del lavoro (orientativamente una ogni 100-200 kmq di territorio rilevato, a seconda della dimensione complessiva del lotto), scelte dal D.E.C.

In ciascuna zona verrà eseguita la determinazione, con operazioni topografiche sul terreno sufficientemente precise, delle posizioni planimetriche di almeno 20 punti ben riconoscibili e collimabili sulle immagini e delle dimensioni di alcuni particolari del territorio.

La differenza fra le coordinate dei punti così determinate e quelle desunte dalle immagini dovrà risultare inferiore alle accuratezze posizionali definite per almeno il 97% dei punti controllati, e al doppio delle stesse accuratezze per il restante 3%.

Le dimensioni misurate dei particolari serviranno invece per la verifica della dimensione del pixel al suolo.

IV.3.6. Verifica della congruenza agli attacchi fra immagini adiacenti

Al contatto fra ortofoto adiacenti verranno eseguiti:

- il controllo di congruenza radiometrica tra coppie di pixel adiacenti appartenenti alle due diverse immagini;
- il controllo di congruenza geometrica, verificando la continuità e la posizione di particolari del territorio ben definiti ed identificabili nelle immagini che ricadono a cavallo dei limiti di contatto fra coppie di immagini adiacenti.

Nel caso in cui le aree oggetto del servizio si trovino in adiacenza ad aree interessate da rilievi preesistenti di tipologia e qualità confrontabili con le caratteristiche dell'attuale servizio, indicate dalla S.A., le verifiche di conformità riguarderanno anche la completezza e la congruenza dei dati all'attacco fra i diversi dataset, tenuto conto delle eventuali situazioni di difformità segnalate dalla D.A.

CAPITOLO IV.4. VERIFICA DEL RILIEVO LiDAR E DEI MODELLI DIGITALI

IV.4.1. Oggetto delle verifiche

Le verifiche di conformità del rilievo LiDAR, eseguite sia in corso d'opera sia sui dati finali, riguardano gli strumenti, i software e gli algoritmi utilizzati, i dati prodotti e i risultati delle elaborazioni, compresi i modelli digitali DSM e DTM.

IV.4.2. Verifiche in corso d'opera

Le attività di controllo eseguite in corso d'opera riguarderanno:

1. la verifica della documentazione relativa alla calibrazione del laser ad ogni missione di volo da cui risulti che gli errori residui di georeferenziazione (cioè dopo l'applicazione dei parametri di calibrazione) siano non superiori alle precisioni del sistema dichiarate in planimetria e in altimetria;
2. il controllo del rispetto del piano di volo, con particolare riguardo alla sovrapposizione tra strisciate consecutive o tra blocchi di strisciate;
3. la verifica del rispetto della densità dei punti laser sul terreno e verifica sulla totalità del territorio dell'assenza di zone bianche;
4. la verifica delle procedure operative adottate per la produzione dei modelli;
5. l'eventuale rifacimento di alcune fasi di pretrattamento e filtratura e classificazione dei dati laser scanner.

IV.4.3. Verifica formale dei file di consegna

Verrà controllata la completezza della fornitura verificando la presenza di tutti i file previsti, che garantiscano la copertura totale dell'area geografica oggetto della consegna.

Riguardo alla completezza, l'eventuale presenza di valori nulli ("no data") in un modello a maglia regolare verrà analizzata per verificare se si tratti di errore oppure se i valori nulli abbiano ammissibilità nel contesto (es. aree esterne all'ambito territoriale di consegna, se così concordato).

I controlli di correttezza formale dei file verificano inoltre che essi siano leggibili e siano espressi nel formato previsto.

IV.4.4. Verifica del contenuto dei file

Verranno effettuati i seguenti controlli sui contenuti dei file di consegna:

- verifica della densità delle nuvole di punti;
- verifica che il sistema di riferimento utilizzato sia quello previsto;
- verifica della coerenza altimetrica dei punti nelle aree di sovrapposizione fra le diverse nuvole;
- verifica delle dimensioni e del "taglio" dei tile in cui è suddivisa la fornitura;
- verifica della risoluzione geometrica e radiometrica dei file raster dell'Intensità;
- verifica della corrispondenza degli elementi vettoriali del quadro d'unione con i bordi effettivi dei tile.

IV.4.5. Verifica dell'accuratezza posizionale e della qualità dei dati

Per verificare l'accuratezza posizionale del rilevamento si fa riferimento ai parametri indicati al precedente punto "Qualità metrica", che si riferiscono al contesto di utilizzo più favorevole: terreno pianeggiante libero da manufatti o vegetazione. L'errore massimo temibile resta definito dalla funzione di distribuzione normale.

Le operazioni di controllo sui dati finali saranno finalizzate ad accertare i requisiti di accuratezza, completezza e congruenza del prodotto e saranno svolte applicando la seguente metodologia:

1. verifica dell'intero "dataset" tramite applicazione di modelli o altri algoritmi finalizzati a evidenziare errori grossolani, incompletezza o discontinuità del dato;
2. verifica della coerenza altimetrica al contatto fra modelli adiacenti e nelle zone di sovrapposizione fra le nuvole di punti;
3. verifica della omogeneità del valore altimetrico in corrispondenza degli specchi d'acqua;

4. operazioni di controllo a terra, su zone test opportunamente distribuite, con l'ausilio di strumenti ed operatori messi a disposizione dalla D.A., per una superficie complessiva non superiore al 5% di quella rilevata.

L'assenza di "spikes", "outliers" e altre anomalie grossolane sui modelli a maglia regolare verrà verificata sia mediante confronto automatico di massima con modelli preesistenti sia mediante analisi visuale in ambiente di rappresentazione 3D.

Lungo i lati di contatto fra modelli altimetrici adiacenti, verrà eseguita una procedura automatica per confrontare i valori altimetrici delle coppie di celle a cavallo delle linee di contatto; nelle zone di sovrapposizione fra nuvole di punti, un'altra procedura automatica eseguirà il confronto fra i valori altimetrici di punti vicini appartenenti a nuvole diverse. In entrambi i casi, le procedure segnaleranno le situazioni in cui la differenza superi una certa soglia da concordare con il D.E.C., tenuto conto dell'accuratezza altimetrica dei dati. Le segnalazioni verranno poi verificate individualmente, per valutare se si tratti di errori o se le differenze possano essere attribuite ad effettive variazioni altimetriche delle superfici modellate.

Nel caso in cui le aree oggetto del servizio si trovino in adiacenza ad aree interessate da rilievi preesistenti di tipologia e qualità confrontabili con le caratteristiche dell'attuale servizio, indicate dalla S.A., le verifiche di conformità riguarderanno anche la completezza e la congruenza dei dati all'attacco fra i diversi dataset, tenuto conto delle eventuali situazioni di difformità segnalate dalla D.A.

Come per l'ortofoto, anche per i controlli a terra relativi ai dati LiDAR saranno identificate alcune zone campione, opportunamente distribuite nell'area del lavoro (orientativamente una ogni 100-200 kmq di territorio rilevato, a seconda della dimensione complessiva del lotto), scelte dal D.E.C. tenendo conto del diverso comportamento della tecnologia LiDAR nelle varie tipologie e situazioni di terreno.

Su ogni zona saranno eseguiti:

- controllo di un campione di almeno 20 e non più di 50 punti, misurati sul terreno con operazioni topografiche controllate in grado di fornire una qualità metrica superiore a quella del rilievo LiDAR (per le verifiche della componente planimetrica si utilizzeranno punti corrispondenti ad oggetti dalla "forma" ben riconoscibile quali manufatti verticali, brusche variazioni di pendenza del terreno ecc.);
- rilievo di profili su porzioni di terreno indicate dal D.E.C., come poligonali eseguite con stazione totale o con GNSS cinematico.

Per le verifiche di qualità altimetriche, verrà determinata con misure topografiche la posizione tridimensionale dei punti di controllo costituenti il campione prescelto.

Riguardo ai profili di controllo, in corrispondenza di ognuno di essi verrà ricavata la sezione del DTM, guidata sulla traccia del profilo e calcolata come intersezione con i limiti delle "celle" del modello a maglia regolare. Ogni sezione verrà restituita graficamente in alzata, sovrapposta al profilo di controllo, in modo da permettere un'immediata comparazione qualitativa. I confronti metrici per le valutazioni della qualità saranno però eseguiti solo sui punti del profilo effettivamente misurati (vertici della poligonale), ai quali verranno applicate le stesse modalità di verifica dei punti di controllo singoli.

La differenza fra le coordinate determinate in fase di verifica e quelle memorizzate nei dati di fornitura verrà valutata applicando i criteri della distribuzione normale a quanto indicato relativamente alle accuratezze geometriche prescritte.

L'accuratezza planimetrica potrà essere controllata solo in presenza di brusche variazioni altimetriche, ben riconoscibili nei dati LiDAR, oppure in corrispondenza di spigoli ben definiti di manufatti evidenti nei dati di intensità.

Il controllo dell'accuratezza altimetrica avverrà come confronto fra la quota del punto misurato ai fini del controllo e la quota ad esso più prossima presente nei dati oggetto di verifica, esplorando un intorno del punto il cui raggio è definito dall'accuratezza planimetrica prescritta.

Il dato appartiene alla nuvola di punti oppure viene interpolato nei modelli a maglia regolare, a seconda dell'oggetto del controllo; in entrambi i casi è scelto come il punto di quota più vicina a quella del punto di controllo nell'intorno definito.