



Documento: SPECIFICHE_IGM
Versione: draft
Data: Giugno 2006

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE

TITOLO: Georeferenziazione dei fotogrammi aerei
(inquadramento geometrico sul terreno e Triangolazione Fotogrammetrica)

COMPILATO DA: 2^a Direzione della Produzione e
Direzione Lavori Ricerca e Sviluppo

APPROVATO DA:

COMPOSIZIONE DEL DOCUMENTO

1. Inquadramento geometrico e Triangolazione Aerea
2. Specifiche operative
3. Operazioni di campagna
4. Inquadramento geometrico
5. La triangolazione aerea
6. Documentazione

Nomenclatura e definizioni

RIFERIMENTI: Specifiche tecniche per la formazione del
DB_25 e della corrispondente cartografia alla scala
1:25000

Questo documento è di proprietà dell'Istituto Geografico Militare e non può essere riprodotto, utilizzato e divulgato all'esterno dell'IGM senza la preventiva autorizzazione dell'ente di emissione.
Tutti i diritti sono tutelati a norma di legge.

INDICE

1. INQUADRAMENTO GEOMETRICO E TRIANGOLAZIONE AEREA

- 1.1 Punti fotografici di inquadramento geometrico.
- 1.2 Scheda monografica dei GCP (ex C3/01)

2. SPECIFICHE OPERATIVE

- 2.1 Progetto preliminare
- 2.2 Verifica del progetto e previsione di eventuali punti ausiliari (di dettaglio).
- 2.3 Numerazione e simbologia dei punti.

3 . OPERAZIONI DI CAMPAGNA

- 3.1 Le fasi operative
- 3.2 Precisione da conseguire nella determinazione dei **GCP**
- 3.3. Il riferimento fotografico
- 3.4 Modalità operative di campagna. Rilevamento con metodologia satellitare GPS
- 3.5 Composizione delle squadre. Schema del rilievo
- 3.6 Allestimento delle schede monografiche

4. INQUADRAMENTO GEOMETRICO – SALVATAGGIO ED ELABORAZIONE DEI DATI

- Modalità per il trattamento dei dati numerici.
- Accettazione del lavoro e sua archiviazione – Tolleranze

5. LA TRIANGOLAZIONE AEREA

- 5.1 **TA** digitale manuale
- 5.2 **TA** automatica
- 5.3 Misura e calcolo della Triangolazione Aerea – Tolleranze strumentali
- 5.4 Accettazione del lavoro di **TA** . Tolleranze

6. DOCUMENTAZIONE

NOMENCLATURA E DEFINIZIONI

GEREFERENZIAZIONE DEI FOTOGRAMMI AEREI INQUADRAMENTO GEOMETRICO SUL TERRENO E TRIANGOLAZIONE FOTOGRAMMETRICA

1. INQUADRAMENTO GEOMETRICO E TRIANGOLAZIONE AEREA

La Triangolazione aerea (**TA**) è l'insieme dei procedimenti strumentali e di calcolo che mediante operazioni di natura fotogrammetrica, senza far ricorso a lavori topografici sul terreno, o riducendo questi al minimo, consentono di determinare le coordinate piano altimetriche di *punti di appoggio* (**PA**)¹, necessarie all'orientamento assoluto degli stereogrammi, allo scopo di restituire graficamente e/o numericamente le aree da rilevare, con pochi punti di coordinate note (**punti di inquadramento PI** od anche **GCP** *Ground Control Point*) opportunamente distribuiti.

1.1 Punti fotografici di inquadramento geometrico.

Requisiti dei **GCP**. Essi devono possedere le seguenti caratteristiche di identificazione e distribuzione:

➤ *Identificazione*

- spiccata evidenza fotografica, piccole dimensioni, forma ragionevolmente simmetrica; offrire un riferimento planimetrico nitido, preciso e di sicura collimazione;
- piano di riferimento (piano di paragone) per quanto possibile orizzontale e collimabile con precisione in sede di **TA**, in modo da fornire un sicuro riferimento altimetrico.

Qualora il **GCP** non possieda contemporaneamente detti requisiti, dovrà essere sdoppiato in due punti molto vicini che li soddisfino singolarmente. Ad esempio si potrà assumere un campanile come riferimento planimetrico e la piazza adiacente (quotata) come riferimento altimetrico. Per appurare se i **GCP** rispondono agli accennati requisiti, si dovrà effettuare un accurato esame del particolare prescelto utilizzando lo stereoscopio per verificare la sua collimabilità e, ovviamente, l'esistenza della visione stereoscopica.

Si riportano di seguito alcuni fra i **particolari fotografici** che più frequentemente vengono scelti come **GCP**:

- a) per l'inquadramento planimetrico:
 - bivi e incroci di strade, di mulattiere, di sentieri;
 - spigoli di recinzioni, muretti ;
 - spigoli di edificio, di muro;
 - rocce e sassi isolati;
- b) per l'inquadramento altimetrico:
 - il suolo (purché pianeggiante, libero da ombre e vegetazione, di tonalità non bianca o brillante in fotografia);
 - eccezionalmente, in zone coperte od in presenza di terreni fortemente scoscesi: colmi di tetto, linee di gronda di case isolate o di grandi torri (la quota dovrà, in questo caso, essere sempre riportata anche al suolo).

È preferibile che i **GCP** soddisfino contemporaneamente le esigenze piano-altimetriche.

È fatto esplicito divieto di stabilire i piani di paragone su oggetti che sul fotogramma risultino di tonalità bianca o brillante, quali strade polverose, spiagge, greti sabbiosi, grossi massi, ecc.

➤ *Distribuzione dei PI.*

La distribuzione e quindi il numero dei **GCP** dovrà essere in funzione:

- della geometria del volo;
- delle dimensioni e forma del blocco;
- dell'orografia del terreno;
- della precisione richiesta.

¹ Per il significato degli acronimi, consultare il paragrafo *Nomenclatura e definizioni* al termine del documento.

(per un terreno mediamente ondulato corrispondente alla superficie di un foglio alla scala 1:50 000, scala media fotogramma del blocco 1:30000, **35 è il numero** – valore medio indicativo – **dei GCP necessari al calcolo**).

La regola da seguire è quella di garantire, senza eccezioni, la distribuzione intorno al perimetro del blocco fotogrammetrico, dei **GCP** piano altimetrici e la regolarità nella distribuzione trasversale di quelli altimetrici. Questo al fine di escludere situazioni a “sbalzo” che sono causa di rapida perdita di precisione e di controllare la deformazione altimetrica del blocco stesso.

In generale i **GCP** piano altimetrici dovranno essere posizionati seguendo i seguenti criteri:

- *all'esterno del blocco:*
lungo le strisciate esterne nel senso del volo ogni 2~3 modelli (fig. 1);
- *all'interno del blocco:*
nelle aree di sovrapposizione fra strisciate adiacenti, ad un interasse variabile da 4 a 5 modelli (vedi fig. 2);
- *ai vertici esterni del blocco*
almeno due punti a breve distanza l'uno dall'altro.

DISTRIBUZIONE DEI **PI** PLANO-ALTIMETRICI ESTERNI

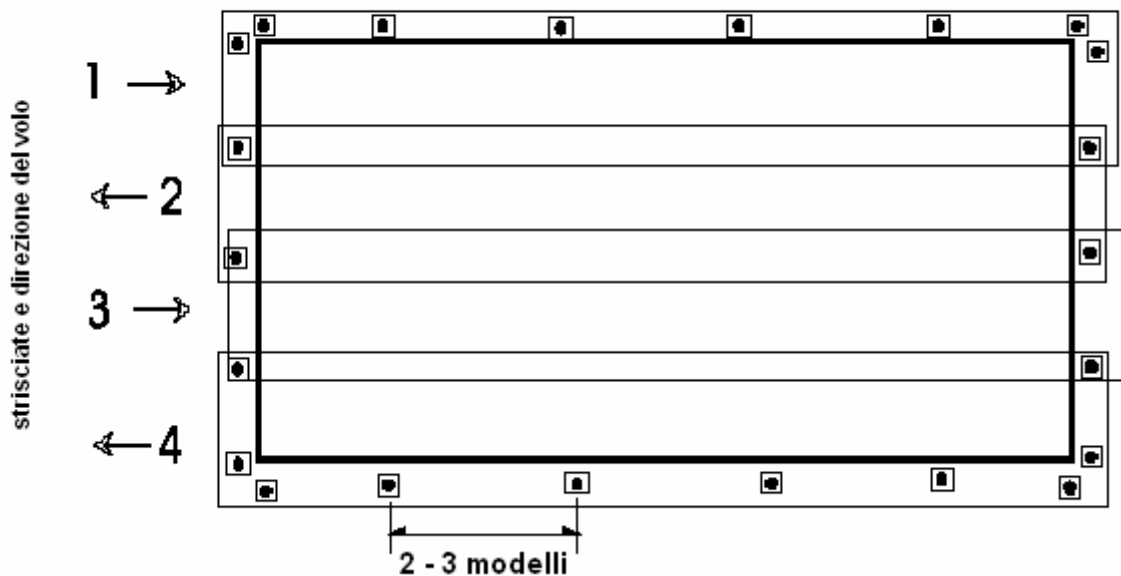


fig. 1

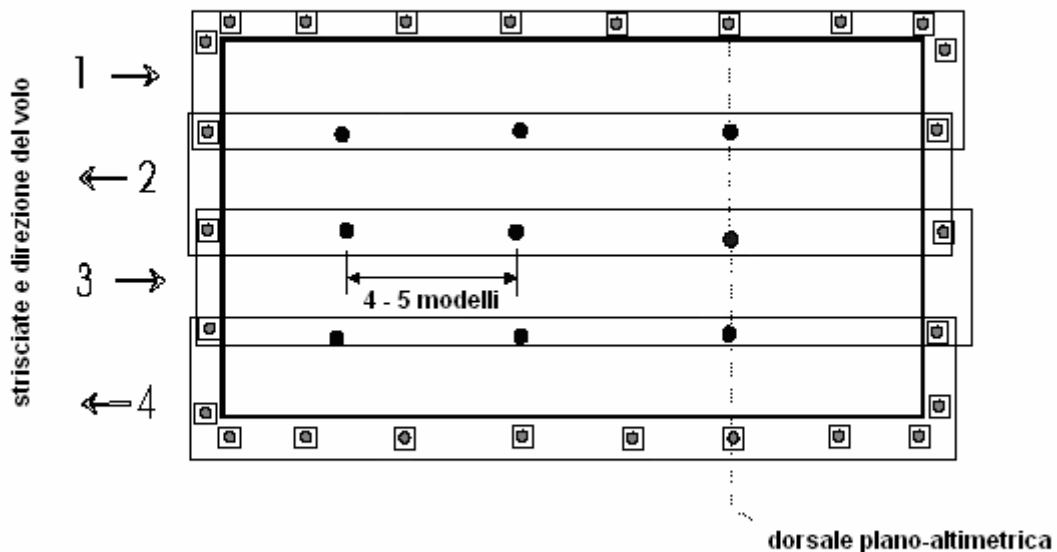
Utilizzando strumentazione GPS ogni **GCP** risulterà determinato sia in planimetria che in quota e come tale sarà utilizzato, anche se la conoscenza delle coordinate planimetriche, all'interno del blocco, non sia strettamente necessaria e poco contribuisca alla compensazione della **TA**.

E' buona regola utilizzare i **VT** interni all'area dei **GCP** addizionali in modo da fornire un utile controllo di affidabilità sia per i punti rilevati numericamente sul terreno che per la compensazione della **TA**.

In generale si avrà cura di aumentare la densità dei punti altimetrici all'interno del blocco in caso di terreni montuosi, lungo i bordi di aree nel cui interno non siano presenti chiari riferimenti fotografici.

I punti altimetrici dovranno essere posizionati lungo linee approssimativamente perpendicolari alla direzione del volo e non in modo sparso.

DISTRIBUZIONE DEI PI PLANO-ALTIMETRICI INTERNI



Le dorsali interne al blocco dovranno essere costituite da PI noti almeno in altimetria.

fig. 2

1.2 Scheda monografica dei GCP (ex C3/01)

Per consentire al restituitista l'esatta individuazione ed identificazione dei **GCP** occorre realizzare una scheda monografica in formato .MDB di Access[®] composta dalle seguenti parti:

- **intestazione contenente i dati relativi a:**
 - * anno del rilevamento
 - * numero del punto
 - * tipo di punto
 - * strisciata
 - * fotogramma
 - * elemento cartografico in cui ricade il punto;
- **parte grafica** caratterizzata da uno schizzo semplice e chiaro, in proiezione, orientato a Nord, che mostri la porzione di terreno del **FG** circostante il **GCP**, con le sue forme e aspetti salienti e la frecciatura del punto esatto a cui si intende far riferimento; la numerazione e la simbologia del punto per la classifica del **GCP**, dovranno essere come specificato in fig. 3 e fig. 4;
- **parte descrittiva**, a completamento di quella grafica, dovrà essere sintetica e precisa ed indicherà: l'ubicazione del punto (suolo, colmo tetto, sommità di...ecc.), la caratteristica del punto (asse geometrico di..., centro dell'incrocio antistante il..., spigolo Sud dell'edificio ecc.);
- **coordinate piane** (TMzn-ETRS89) e **quote** del punto e degli eventuali riferimenti fotografici, parimenti collimabili dal restituitista.

L'identificazione fotografica del **GCP** non può essere effettuata in modo soddisfacente senza l'utilizzo di uno stereoscopio da campagna.

Per garantire che il **GCP** sia chiaramente visibile sullo **SG** (come sulle **ST** adiacenti) occorre che la coppia di **FG** su carta sia osservata in stereoscopia. In questo modo si potrà verificare che il **GCP** non sia nascosto da ombre o da edifici su nessuno dei fotogrammi su cui dovrà essere individuato; infatti il **GCP** deve essere "leggibile" su tutti gli **SG** su cui va a cadere (questa è una condizione di grande importanza perché un **GCP** ben definito su una **ST**, ma non riconoscibile su quella adiacente, non può essere utilizzato al pieno delle sue potenzialità).

Le operazioni elencate dovranno essere effettuate in campagna, confrontando attentamente quanto osservato allo stereoscopio da campagna con quello visibile nella realtà, senza rimandare assolutamente nessuna fase di identificazione al successivo lavoro espletabile in ufficio.

La frecciatura (manuale) dovrà essere eseguita sempre sul lato destro del **FG** di sinistra, orientato a Nord e dovrà essere ripetuta con lo stesso criterio sulle **ST** lungo i fronti adiacenti, utilizzando un pennino di spessore pari a 0,3 mm. Analoga frecciatura deve essere riportata sulla scansione della porzione significativa di fotogramma che viene inserita nella scheda monografica in formato .MDB di Access®.

2. SPECIFICHE OPERATIVE

La preparazione della campagna di Inquadramento geometrico della **TA** riguarda la scelta della metodologia operativa, in relazione alle risorse ed ai tempi disponibili, e la ricerca ed approntamento della documentazione necessaria per l'esecuzione del lavoro. Qualora sia ritenuto opportuno l'utilizzo di documentazione di provenienza diversa da quella IGM, (livellazioni eseguite da altri Enti, profili ferroviari, punti catastali, ecc.) essa dovrà essere esaminata per la sua validazione.

Dovrà essere quindi predisposto un **Progetto preliminare** relativo all'intera fase di inquadramento geometrico che, nel caso di lavori in appalto, dovrà essere sottoposto ad approvazione da parte della DL.

2.1 Progetto preliminare

È l'elaborato costituito dalla seguente documentazione:

- grafico delle strisciate;
- grafico degli elementi geodetici;
- fotogrammi frecciati.

Il grafico delle strisciate, da realizzarsi in formato digitale (es. formato .DXF o .DWG), su carta e su supporto trasparente, deve potersi sovrapporre al mosaico dei fogli alla scala 1:100.000 (edizione con sfumo) che coprono l'area di interesse. Esso deve riportare:

- i limiti dei fogli alle due scale 1:100 000 ed 1:50 000 e l'ingombro di ogni **SG**. Gli **SG** devono essere numerati in sequenza, scrivendovi sopra, separati da trattino, i numeri (o la parte finale dei numeri) dei **FG** che li costituiscono. A lato del blocco, verranno trascritti il numero della strisciata e la direzione del volo;
- l'ubicazione dei **GCP** di progetto con la relativa numerazione (fig. 3) e simbologia (fig. 4);
- i vertici trigonometrici insistenti su manufatto ed i capisaldi di livellazione, i quali devono essere entrambi riferiti con la relativa numerazione (fig. 3) e simbologia (fig. 4). Per i predetti elementi geodetici, dovrà essere eseguita **la frecciatura** (manuale) sempre sul lato destro del **FG** di sinistra, orientato a Nord e dovrà essere ripetuta con lo stesso criterio sulle **ST** lungo i fronti adiacenti, utilizzando un pennino di spessore pari a 0,3 mm.

Se eventualmente esistono punti già utilizzati in **TA** in precedenti lavori, per l'inquadramento dei fogli/blocchi adiacenti, si utilizzeranno tali dati, incluse le relative monografie. In questo caso detti punti saranno riportati sul progetto con la loro numerazione d'archivio e mantenuti fissi nel calcolo di compensazione da eseguirsi al termine della campagna.

Il grafico degli elementi geodetici anch'esso da realizzarsi in formato digitale, su carta e su supporto trasparente, deve riportare:

- tutti gli **IGM95** interni e circostanti l'area di interesse;
- i **GCP** da determinare, con le relative baseline da misurare;
- i capisaldi sui quali effettuare le misure GPS.

I **GCP** verranno realizzati seguendo le disposizioni impartite precedentemente. In un primo momento si provvederà ad un loro posizionamento approssimativo sul grafico. Successivamente nel *Progetto esecutivo*, essi verranno rappresentati nelle proprie posizioni definitive.

I fotogrammi frecciati. Sui **FG** dovranno essere riportati gli elementi geodetici (tutti i vertici trigonometrici insistenti su manufatto ed i capisaldi di livellazione sui quali effettuare le misure GPS),

contrassegnati ciascuno con il proprio simbolo. Qualora questi siano utilizzabili anche come punti di inquadramento piano altimetrico per la **TA**, dovrà essere indicata per ciascuno di essi una doppia simbologia e numerazione (quella di catalogo e quella "fotogrammetrica"). In ogni **SG** i punti dovranno figurare nella parte destra, del fotogramma di sinistra.

Sui **FG** si dovranno delimitare le aree in cui è prevista la realizzazione di un **GCP**. Allo scopo si utilizzerà uno stereoscopio da campagna o da tavolo e una matita vetro grafica. Si avrà cura, di trascrivere accanto all'area selezionata il numero del punto, così come appare sul grafico. In questa fase del progetto, insieme alla scelta del punto è possibile anche predisporre la scheda monografica del **GCP** per le osservazioni di campagna.

Le operazioni di campagna prevedono anche le **misure topografiche accessorie per riferire** in planimetria e quota anche i vertici trigonometrici insistenti su manufatto² ed i capisaldi di livellazione³, esistenti nella zona di lavoro. Dovrà inoltre essere determinata la quota ellissoidica di **almeno due capisaldi di livellazione**, per una verifica dei valori di ondulazione geoidica della zona di interesse.

Per quanto infatti la metodologia GPS permetta da sola, di determinare rapidamente i punti di appoggio necessari all'inquadramento del blocco di fotogrammi, è opportuno, da un lato verificare l'effettiva consistenza del patrimonio di vertici trigonometrici per il necessario aggiornamento dell'Archivio Geodetico dell'IGM, dall'altro, arricchire il progetto di ulteriori punti noti (anche solo altimetrici) che potranno eventualmente essere utilizzati in successivi lavori di inquadramento.

2.2 Verifica del progetto e previsione di eventuali punti ausiliari (di dettaglio).

Terminata la realizzazione del Progetto preliminare, dovrà essere verificato se il numero dei punti GPS della rete IGM95 da utilizzarsi come stazioni *master*, siano sufficienti a coprire l'intera area prevista nel progetto o se invece si debba prevedere un loro raffittimento mediante l'istituzione di punti ausiliari, sempre ovviamente con metodologia satellitare.

L'istituzione di punti ausiliari dovrà essere prevista quando, operando con ricevitori GPS dotati di doppia frequenza, si constata che la densità dei punti IGM95 è tale da generare *baseline* di lunghezza superiori a 20 km. Operando invece con ricevitori GPS monofrequenza, dette *baseline* non dovranno superare i 10 km.

I punti ausiliari dovranno in ogni caso essere iperdeterminati. Per ognuno di essi dovranno essere previste due baseline con punti IGM95. È consentito a tal proposito, anche se meno consigliato rispetto allo schema di tipo radiale (vedasi paragrafo 3.4) l'adozione di uno schema di rilievo analogo a quello classico della poligonazione. In questo caso i punti dovranno essere collegati tra loro sequenzialmente da basi indipendenti di lunghezza mediamente non superiore a 5 km, costituenti una poligonale che non dovrà avere più di cinque lati e i cui estremi dovranno appartenere alla rete IGM95.

I punti ausiliari così determinati potranno essere inseriti nel progetto esecutivo per essere utilizzabili come punti per stazioni *master*.

Tutto il rilievo dei GCP è previsto mediante irradamenti con metodologia satellitare GPS. Sul progetto si avrà pertanto cura di evidenziare le stazioni utilizzate come *master* e le relative *baseline* verso i punti irradiati.

In fase di progetto, un particolare trattamento dovrà essere riservato ai punti esterni al blocco di fotogrammi che dovranno anch'essi essere iperdeterminati. Il grado di iperdeterminazione potrà essere ottenuto:

- a. semplicemente collegando ogni **GCP** mediante *baseline* a due punti IGM95 distinti;
- b. collegando in rete i **GCP** esterni al blocco, con chiusura su punti IGM95;
- c. ripetendo le misure GPS in ore e giorni diversi.

Il calcolo delle quote geoidiche dei GCP, in funzione di quelle ellissoidiche, sarà effettuato dall'IGM mediante l'adattamento locale del modello di geoide ITALGEOxx⁴.

² quota intesa "al suolo". Qualora non esistente in monografia, occorre effettuare la misura fra il piano di paragone (**PP**) ed il suolo.

³ in una percentuale non inferiore al 50% dei capisaldi di catalogo.

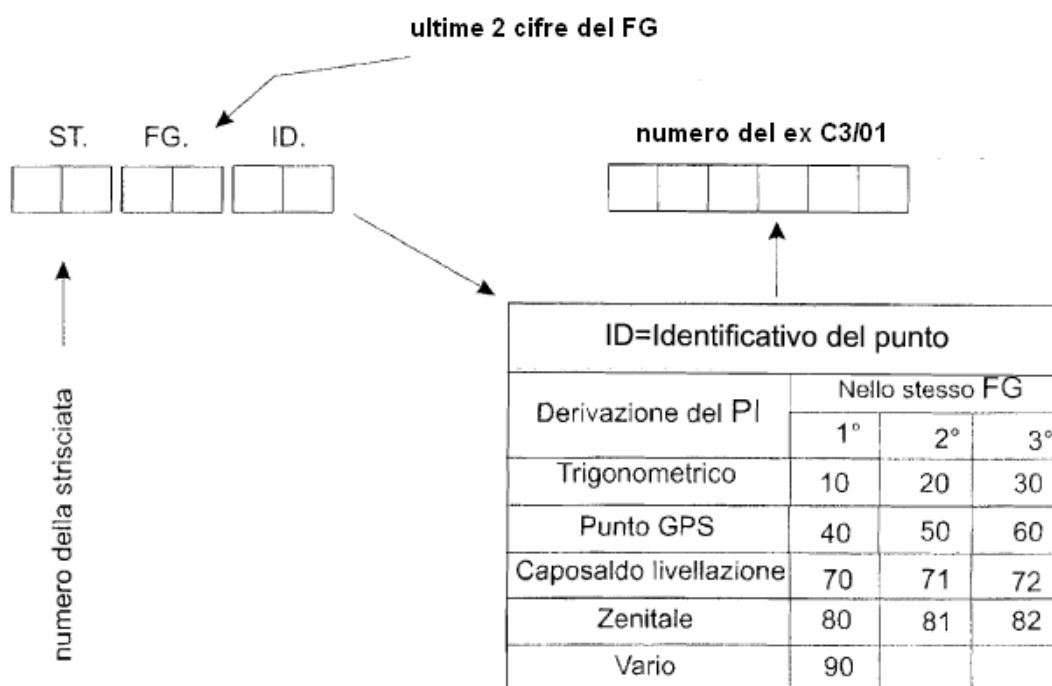
⁴ XX indicano l'anno del modello di geoide utilizzato

2.3 Numerazione e simbologia dei punti.

La numerazione relativa ai riferimenti quota sulle relative schede monografiche è realizzata mediante l'incremento progressivo del numero identificativo del punto cui fa riferimento la quota (ad esempio del punto 102680: strisciata 10, FG 26, zenitale principale 80, il suo riferimento secondario - cioè riporto al suolo - sarà 102681).

I punti IGM95 conserveranno sul progetto il loro numero originale di catalogo; se riferiti ed utilizzati come **GCP** avranno doppia numerazione, ovvero saranno identificati sia dal numero originale di catalogo che dal numero ad essi attribuito sulle schede monografiche.

Nel caso di lavorazioni in appalto, il *Progetto preliminare* dovrà essere sottoposto all'approvazione della DL la quale evidenzierà le eventuali correzioni o integrazioni necessarie.



Nota: per un numero di trigonometrici o GPS superiore a 3, è possibile numerare i successivi utilizzando i fotogrammi contigui, anche appartenenti ad altre strisciate.

fig. 3

Per quanto riguarda la simbologia da utilizzare si deve fare riferimento allo schema riportato nella figura seguente:

- Punti IGM95**
- Punti piano altimetrici determinati con misure GPS**
- Punti piano altimetrici derivanti da trigonometrici riferiti**
- Punti noti solo in altimetria**
- Capisaldi di livellazione**
- Punti altimetrici derivanti da capisaldi**
- Punti altimetrici derivanti da zenitali**

fig. 4

3. 3. OPERAZIONI DI CAMPAGNA

3.1 Le fasi operative

Le operazioni da effettuarsi sul terreno si articolano nelle seguenti fasi:

- a. ricognizione degli elementi geodetici – insistenti su manufatti – e dei capisaldi di livellazione, secondo quanto indicato dalle specifiche **SP_3/E**: “La ricognizione topografica e l'integrazione dei dati mediante la raccolta di informazioni da Enti esterni”;
- b. esecuzione delle misure.

Per gli elementi geodetici oggetto di ricognizione, che devono essere riferiti fotograficamente, occorre seguire le indicazioni e le modalità operative specificate in precedenza.

3.2 Precisione da conseguire nella determinazione dei **GCP**

Poiché le misure effettuate in campagna sono finalizzate alla determinazione dei **GCP** per il calcolo di compensazione della **TA** che fornirà i punti appoggio per l'orientamento assoluto dei modelli geometrici utilizzati nella restituzione numerica alla scala 1:25 000, le precisioni da rispettare nella determinazione dei **GCP**, sono le seguenti ⁵:

$$\sigma_E = 0,10 \text{ m}$$

$$\sigma_N = 0,10 \text{ m}$$

$$\sigma_Q = 0,15 \text{ m}$$

3.3 Il riferimento fotografico

Riferire fotograficamente un punto del terreno (vertici trigonometrici, capisaldi di livellazione punti GPS e punti d'inquadratura geometrico per la **TA**) significa effettuare una serie di operazioni quali, lo schizzo monografico completo di sintetica descrizione, l'evidenziazione sul fotogramma del punto detta frecciatura, la sua simbolizzazione e numerazione ed infine la sua determinazione plano altimetrica.

In ogni caso è indispensabile, con lo stereoscopio, controllare sempre l'evidenza fotografica del riferimento scelto. Nel caso di campanili, torri, tralicci, è necessario sdoppiare il riferimento planimetrico da quello altimetrico. Normalmente l'asse di un campanile, di una torre - facilmente individuabili allo strumento di restituzione - costituiscono quindi un buon riferimento planimetrico, mentre occorre scegliere un diverso riferimento fotografico per l'altimetria (ad esempio la quota della piazza antistante il campanile).

Occorre sempre fare la massima attenzione alla qualità del fotogramma, verificando che il particolare da collimare allo strumento di restituzione sia estremamente chiaro, ben esposto e identificabile in tutti gli **SG** su cui insiste.

3.4 Modalità operative di campagna. Rilevamento con metodologia satellitare GPS

Ai fini del rilievo fotogrammetrico la tipologia operativa maggiormente seguita oggi è certamente quella che utilizza strumentazione GPS. In particolare la determinazione di punti che usa lo schema di tipo radiale risulta essere la più idonea. In pratica questa tecnica consiste nell'eseguire irradamenti GPS muovendosi con i ricevitori intorno ad una stazione fissa detta **reference station** o **master**. Le **baseline** significative sono ogni volta quelle misurate fra la **master** ed il punto incognito. La fig. 5 mostra l'indicazione schematica della tipologia di rilievo menzionata.

⁵ e.q.m. delle coordinate (livello di confidenza $1 \cdot \sigma$). Ciò significa che la differenza fra il valore stimato ed il valore vero di ciascuna delle coordinate, è contenuta nell'intervallo $(-\sigma, +\sigma)$, con la probabilità del 68,3 %. Il livello di confidenza 2σ corrisponde ad una probabilità del 95,5%, mentre 3σ equivale alla probabilità del 99,7%.

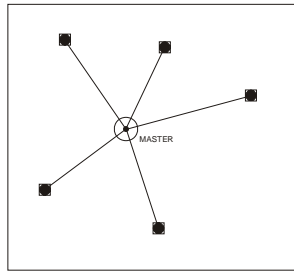


fig. 5

3.5 Composizione delle squadre. Schema del rilievo

La squadra operativa tipo è composta da **almeno tre unità**.

L'ottimizzazione del rilievo si ottiene con l'impiego di 2 squadre di tre persone e l'utilizzo contemporaneo di **tre ricevitori GPS** (una *reference station* e due *rover*) doppia frequenza per ogni squadra, in modo da consentire la realizzazione simultanea di **due** distinti **irradiamenti**. Evidente il fatto, che questo modo di operare in zone fra loro adiacenti, permette a parità di tempi, di **iperdeterminare** i **GCP** (vedi fig. 6).

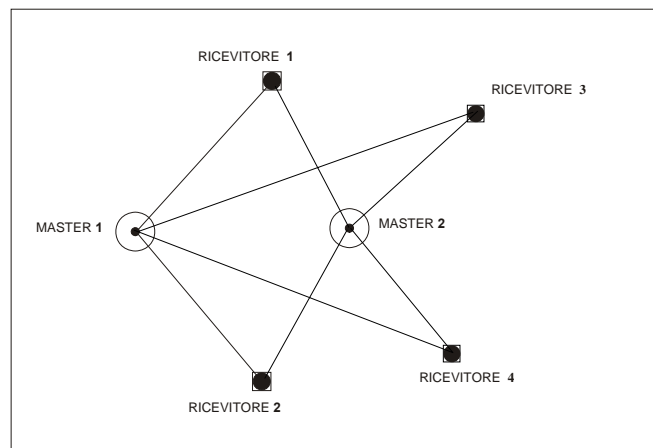


Fig. 6

Molti di questi risulteranno infatti determinati da **due vettori indipendenti** (vedasi fig. 7).

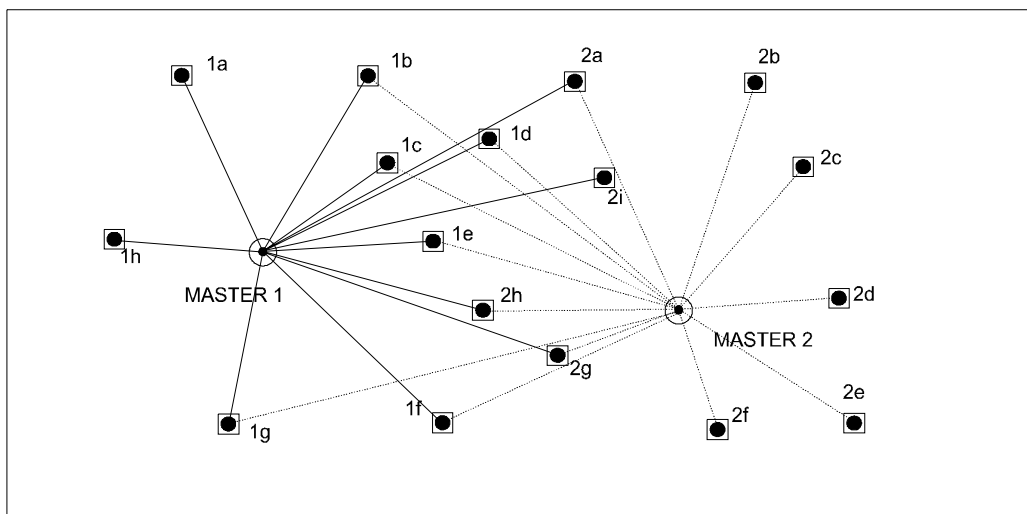


Fig. 7

I ricevitori (in movimento, **rover**) possono operare utilizzando la modalità **rapido statica** (o similare). Le condizioni di acquisizione devono comunque garantire una **PDOP < 7** (*Position Dilution Of Precision*).

L'operatore avrà cura di compilare in campagna la "scheda di stazione" e completarla con uno schizzo monografico e di provvedere alla frecciatura sui fotogrammi interessati.

3.6 Allestimento delle schede monografiche

Esse dovranno essere compilate come specificato precedentemente e completate in ogni loro parte. Da osservare in particolare che per gli elementi geodetici utilizzati occorre indicare, oltre la numerazione attribuita per la **TA**, anche la numerazione risultante dal catalogo geodetico; inoltre ogni riferimento dovrà avere il proprio numero di identificazione fotogrammetrica, definito secondo le caratteristiche del *software* utilizzato.

4. INQUADRAMENTO GEOMETRICO - Salvataggio ed elaborazione dei dati

Al termine delle sessioni giornaliere di campagna, i dati satellitari memorizzati sui vari ricevitori dovranno essere sottoposti ad elaborazione. Le modalità di scaricamento dei dati e la loro successiva elaborazione è descritta esaurientemente nella manualistica a corredo del software di processamento utilizzato.

4.1 Modalità per il trattamento dei dati numerici.

Allo scopo di consentire i necessari controlli in corso d'opera, l'operatore, al rientro dalla campagna, si preoccuperà di scaricare giornalmente i dati della o delle sessioni memorizzate sul ricevitore utilizzato.

Dovrà quindi procedere all'elaborazione dei dati acquisiti, secondo le indicazioni fornite dal manuale del *software* di processamento utilizzato.

Al termine dell'elaborazione verranno stampati i risultati. Conclusa l'elaborazione del "*project*" giornaliero ed accertata la qualità dei risultati ottenuti, si dovranno svolgere sistematicamente due operazioni fondamentali:

- a. salvare i dati memorizzati in campagna su supporto a parte e separatamente effettuare un *back up* totale dei dati processati (del "*project*" giornaliero).
L'operazione di salvataggio rappresenta una necessaria tutela dalla potenziale perdita dei dati per possibili successivi malfunzionamenti. Solo dopo aver effettuato tale operazione si potrà procedere all'eliminazione dei dati memorizzati sul ricevitore GPS, mentre sull'*hard disk* del computer si manterranno tutti i *file*, ad ulteriore garanzia;
- b. Inserimento dei risultati in un "*project*" generale.
Con l'ausilio del software di processamento si genera un "*project*" generale, destinato a raccogliere i risultati di tutte le *baseline* elaborate. Questo "*project*" (contraddistinto da un opportuno nome), ogni giorno verrà arricchito con i nuovi risultati ottenuti.

4.2 Accettazione del lavoro e sua archiviazione - Tolleranze

Il "*project*" generale, al termine delle operazioni di misura, deve contenere tutti i file necessari per l'elaborazione e la successiva archiviazione finale. Il CD-ROM o DVD sul quale esso è stato memorizzato deve essere etichettato con le informazioni che identificano il lavoro. Tale supporto fa parte della documentazione consegnata al termine della fase di "Inquadramento geometrico e TA" ed il suo contenuto è oggetto di verifica da parte della C.C..

La prima parte della fase, l'inquadramento geometrico, viene sottoposta al controllo dei documenti prodotti e alla verifica delle operazioni di campagna. Viene inoltre verificato che le metodologie di calcolo usate per la determinazione dei **GCP**, siano state quelle prescritte della presente specifica tecnica.

In particolare la C.C. verifica:

- la completezza della documentazione costituita da:
 - schede di stazionamento dei punti **GCP**;
 - schede descrittive delle sessioni, con relativi grafici, indicanti le basi utilizzate per il calcolo;
 - *report* sintetici relativi al calcolo di ciascuna base misurata;
 - relazione relativa al calcolo della compensazione intrinseca e finale contenente i dati I/O di compensazione, il valore standardizzato dei residui e l'indicazione delle basi eventualmente eliminate;
 - monografie dei **GCP** determinati.
 - la statistica generale dell'intero blocco;
- che le misure e le coordinate plano-altimetriche rientrino nei seguenti limiti di precisione:
 - **non meno del 90% delle basi** costituenti la rete di raffittimento differiscano in misura uguale o minore alle tolleranze stabilite al punto 3.2;
 - **il rimanente 10%** delle misure differiscano in misura minore od uguale al doppio delle tolleranze stabilite.

5. LA TRIANGOLAZIONE AEREA

Per la formazione del DB_25 e della corrispondente cartografia alla scala 1:25 000 è prevista anche la realizzazione di un DTM per auto correlazione. È quindi opportuno impiegare lo strumento digitale anche per l'esecuzione della TA, al fine di utilizzare i valori di orientamento derivanti dal calcolo di compensazione per la realizzazione del DTM.

Si può effettuare la TA digitale anche in modalità manuale, scegliendo quindi i PA necessari al piazzamento delle coppie stereoscopiche in maniera canonica, al fine di poter effettuare successivamente la fase di restituzione fotogrammetrica non solo con strumentazione digitale ma eventualmente anche con strumentazione analitica od analogica encoderizzata.

5.1 TA digitale manuale

In tal caso di i punti di legame (**PL**) vengono scelti fra i punti di chiara collimazione posti nelle posizioni classiche e le loro coordinate, provenienti dal calcolo di triangolazione, sono da utilizzare nella successiva fase di orientamento dei modelli stereoscopici.

Nel caso di TA digitale automatica, i **PL** sono molto più numerosi, non corrispondono a punti di normale collimazione e vanno direttamente a determinare i parametri di orientamento esterno dei fotogrammi da utilizzare in restituzione.

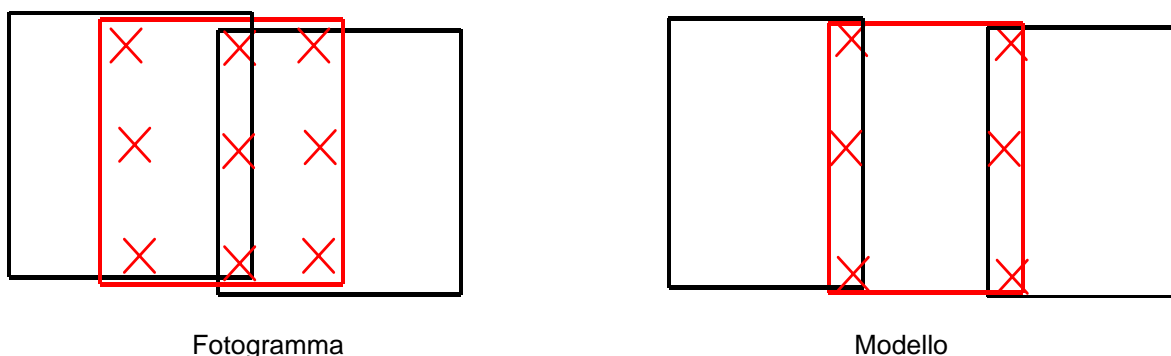
Nel caso si utilizzino le tradizionali procedure manuali di misura, i **PL** devono quindi essere di ottima collimazione fotogrammetrica, mentre non è richiesta analoga caratteristica nel caso si voglia utilizzare la triangolazione aerea automatica.

Nel caso di **TA** manuale, la densità dei **PL** è finalizzata al raggiungimento di una configurazione ottimale: in ciascun fotogramma devono essere individuati almeno **9 PL** in posizione longitudinale e trasversale, secondo lo schema sotto riportato. Ogni fotogramma (*oppure* modello) deve pertanto essere collegato:

- con ciascuno dei fotogrammi (*oppure* modelli) adiacenti lungo la strisciata, mediante **sei** (*oppure* tre) **PL** longitudinali;
- con ciascuna delle strisciate adiacenti a quella di appartenenza, mediante almeno **tre** (*oppure* due) **PL** trasversali.

Particolare attenzione deve essere posta al collegamento tra le strisciate, privilegiando nella scelta dei punti, le zone comuni al maggior numero di fotogrammi.

In ogni caso i **PL**, corrispondenti allo stesso particolare fotografico e quindi aventi le stesse coordinate-terreno, devono avere lo stesso nome identificativo; non è ammesso che punti aventi le stesse coordinate abbiano numero identificativo diverso, ancorché il punto sia osservato su modelli differenti, di strisciate diverse.



Per quanto riguarda le eventuali strisciate trasversali, occorre misurare sui fotogrammi (*oppure* modelli) tutti i PL esistenti, sia quelli visibili sulle strisciate parallele adiacenti che quelli propri delle strisciate trasversali.

Di ciascuno dei punti prescelti deve essere eseguita un'accurata monografia che ne garantisca l'inequivocabile individuazione sul terreno se possibile e in ogni caso sul modello stereoscopico.

5.2 TA automatica

In tal caso la scelta dei punti di legame è effettuata automaticamente dal programma di misura e calcolo: è però importante che in fase di impostazione della **TA** sia definito un numero di **PL** sufficientemente alto in modo da generare un legame analitico "robusto".

Nel caso si valuti opportuno integrare la **TA** automatica con **PL** collimati manualmente è richiesto che di tali punti sia redatta una monografia digitale che consenta il riconoscimento del particolare fotografico determinato.

Anche per la **TA** automatica deve essere verificato il rispetto delle condizioni minime di legame longitudinale e trasversale precedentemente descritte. Qualsiasi lacuna nelle connessioni deve essere corretta mediante nuove misurazioni sull'immagine o mediante **PA** supplementari.

5.3 Misura e calcolo della Triangolazione Aerea – Tolleranze strumentali

Le misure per la **TA** devono essere eseguite con strumentazione analitica o digitale tale da garantire che il modulo della **deviazione standard degli scarti** deve essere **inferiore a 10 µm** e che **nessuno scarto** deve risultare **superiore**, in modulo, **a 30 µm**. Per verificare in corso d'opera le caratteristiche degli stereorestitutori digitali impiegati devono essere eseguite, all'inizio e alla fine delle operazioni di **TA**, e per tutti gli strumenti impiegati, le calibrazioni degli strumenti, producendo i tabulati contenenti i valori (x, y, z) delle coordinate strumentali di **21 punti** uniformemente distribuiti sul modello, formato da due reticoli di precisione a maglia quadrata (lato 2 cm) orientato non parallelamente al piano (X, Y) del sistema strumentale, unitamente ai dati angolari di orientamento delle camere.

Il calcolo della **TA** deve essere eseguito con un programma rigoroso, ai minimi quadrati per stelle proiettive. Lo schema di **TA** deve essere riportato su apposito *layer* nel medesimo *file* .DXF precedentemente descritto, in modo da permettere la verifica della disposizione dei **PL** e dei **PA** rispetto ai fotogrammi del blocco, oggetto della triangolazione aerea.

Dal *report* di elaborazione della **TA** devono risultare evidenti i seguenti elementi:

le **coordinate modello** (*oppure* fotogramma) di ciascun punto misurato;

- una serie di dati riassuntivi che indichino il numero di collimazioni eseguite per ciascun punto;
- le coordinate compensate dei punti ed i relativi s.q.m.;
- gli scarti residui su tutti i punti d'appoggio riferiti al terreno (espressi in metri) e riferiti al fotogramma (espressi in micron);
- gli scarti residui dei **PL** utilizzati, sul fotogramma o sul modello, espressi in micron e gli s.q.m. sui **PL**;
- i punti eventualmente scartati in fase di elaborazione.

Il risultato della **TA** viene considerato positivo se:

- **gli s.q.m.** dei **PL** nelle tre componenti, in modulo, risultano **inferiori a 0,70 m**;
- **l'errore standard** risultante dalla compensazione **non deve superare $\pm 7\mu\text{m}$** (errore quadratico medio delle coordinate immagine, funzione del passo minimo di scansione previsto in 2032 d.p.i.).

5.4 . Accettazione del lavoro di **TA** . Tolleranze

Consiste nel controllo della documentazione di cui al paragrafo precedente e nella verifica che le operazioni e le metodologie usate nell'effettuazione della **TA** siano state quelle prescritte della presente specifica tecnica.

In particolare vengono verificati:

- i tabulati del calcolo con le iterazioni eseguite;
- il grafico delle strisciate triangolate con i punti di inquadramento impiegati;
- gli scarti in corrispondenza dei punti di concatenamento longitudinale e trasversale;
- il programma di calcolo utilizzato e i risultati ottenuti verificandone la corretta esecuzione e l'inserimento dei parametri richiesti (correzione di sfericità e rifrazione terrestre);

- la statistica generale dell'intero blocco (punti osservati, numero delle osservazioni per ciascun punto, valori quadratici medi, eventuali pesi per le diverse tipologie di punti, ecc.).

Il collaudo ed controllo di qualità della **TA** prevede inoltre una fase fondamentale di verifica in campagna con la determinazione dello scarto tra misura sul terreno e misura fotogrammetrica di alcuni punti (*check point*) a foglio triangolato (scala 1:50 000), noti nel sistema di riferimento ETRS89, tramite misurazione diretta sul terreno non inseriti nel calcolo e uniformemente distribuiti sul blocco dei fotogrammi. Le quote ortometriche di tali punti sono calcolate con la stessa procedura adottata per il calcolo delle quote geoidiche dei **GCP**, mediante l'adattamento locale del modello di geoida ITALGEO.

Il risultato del controllo è da ritenersi **accettabile** quando la distribuzione degli scarti tra misura diretta e determinazione fotogrammetrica:

- nel **70%** dei casi, **non supera** il valore di **1,00 m** nella posizione planimetrica e **0,80 m** in quota;
- nel **90%** dei casi, **non supera** il valore di **2,00 m** in planimetria e **1,60 m** in quota;
- nella **totalità** dei casi, **mai superiore** al valore di **3,00 m** in planimetria e **2,40 m** in quota.

6. DOCUMENTAZIONE

La documentazione ha lo scopo immediato di consentire la georeferenziazione dei fotogrammi aerei; inoltre deve permettere, anche a distanza di anni, di procedere a revisioni e controlli sul lavoro svolto e sull'utilizzo dei dati raccolti, per l'impianto di nuovi lavori.

Per ogni blocco di **TA** dovranno essere consegnati i seguenti documenti ed elaborati:

- a) il grafico finale e relativo *file*, stampato alla scala 1:100 000 su carta lucida, quale copia del progetto esecutivo definitivo (grafico delle strisciate con l'ingombro degli **SG** numerati, delimitazione dei fogli al 50 000 coperti dal blocco di **FG**, con l'indicazione dei **VT** e **CS** riferiti, dei punti **IGM95** utilizzati e riferiti, dei **GCP** numerati, in modo congruente alle schede monografiche ed alla frecciatura sui **FG**;
- b) le schede monografiche degli elementi geodetici ricogniti con le "Osservazioni e varianti" e relativo *file*;
- c) i libretti delle misure topografiche accessorie e relativo *file*;
- d) le schede di stazione e relativo *file*;
- e) i *file* su supporto magnetico, contenenti i dati di campagna acquisiti con i ricevitori GPS ed il *back up* dei "project" giornalieri;
- f) il "project" generale che riunisce tutte le *baseline* eseguite, su supporto magnetico, unitamente alla stampa delle *solution summary* dei "project" giornalieri ed alla stampa della *network map*;
- g) i cataloghi degli elementi geodetici forniti dall'IGM;
- h) le schede monografiche dei **PF** di appoggio dei modelli stereoscopici e relativo *file* in formato .MDB;
- i) i **FG** su carta con la frecciature dei punti di cui al punto precedente (fotogrammi integrati con le frecciature dei **PA** di origine fotogrammetrica);
- j) grafico su carta 1:100 000 relativo alla preparazione della **TA** e relativo *file*;
- k) tutti i tabulati di calcolo della **TA** (intermedi e complessivi) e relativo *file*;
- l) un documento di "istruzione" relativo al programma di calcolo di compensazione impiegato che consenta fra l'altro di comprendere chiaramente i tabulati di cui al punto *k*.

NOMENCLATURA E DEFINIZIONI

Allo scopo di ottenere uniformità di linguaggio, si riportano, corredandoli di brevi cenni illustrativi, la nomenclatura, le definizioni e le sigle relative ai termini fotogrammetrici di più frequente impiego.

Sistema di riferimento geodetico

Il sistema di riferimento geodetico da utilizzarsi per la georeferenziazione dei fotogrammi aerei, è il sistema **ETRS89**.

Il passaggio dai sistemi di riferimento geodetici ROMA40 o ED50, al sistema **ETRS89** e viceversa, deve avvenire secondo la procedura ufficiale adottata dall'IGM.

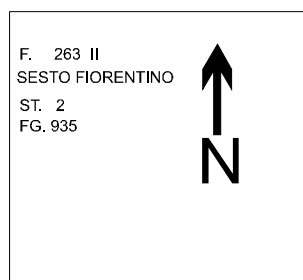
Fotogramma (FG).

È l'immagine fotografica di una porzione del terreno, eseguita per scopi fotogrammetrici e pertanto avente caratteristiche metriche, riportata su di un apposito supporto plastico o cartaceo.

I **FG** impiegati dall'IGM sono realizzati con camere aerofotogrammetriche nadirali di formato 230x230 mm e focale di circa 150 mm.

Generalmente la quota relativa di volo, durante l'acquisizione dei fotogrammi, è mantenuta fra 4000 e 5000 m e pertanto ogni fotogramma copre (abbracciamento al suolo) all'incirca una porzione del terreno compresa all'interno di un quadrilatero di 6~7 km di lato con scala media di 1:27000 - 1:33000.

Sul bordo del fotogramma vengono impressi, al momento dello scatto, gli elementi d'orientamento interno (marche fiduciali, distanza focale, etc.). Sul retro di ogni fotogramma dovranno essere invece riportate manualmente, ben chiare e visibili, le seguenti informazioni (vedi fig. 8):



Elemento cartografico di appartenenza

Numero della strisciata

Numero del fotogramma

Indicazione del Nord

fig. 8

Per far sì che l'immagine impressionata sul fotogramma sia il più possibile ricca di dettagli e priva di zone in ombra è necessario programmare i voli di ripresa aerea solo in determinate stagioni dell'anno, quando il terreno è vegetativamente più spoglio ed in condizioni meteorologiche favorevoli, ovvero, in presenza di cielo sereno senza nebbie o foschie e durante le ore centrali del giorno quando le ombre sono più corte.

Strisciata aerea (ST).

È l'insieme dei fotogrammi successivi acquisiti ad intervalli predefiniti di tempo dalla camera aerofotogrammetrica durante il volo dell'aereo a quota costante sulla zona da rilevare. La direzione mantenuta è rettilinea, generalmente lungo le direttrici est - ovest o nord - sud, così da sfruttare le medesime condizioni naturali di illuminazione (fig. 9). La copertura di tutto il territorio da rilevare si ottiene effettuando più strisciate fotogrammetriche, il più possibile parallele le une alle altre e con un opportuno ricoprimento laterale. L'insieme delle strisciate così realizzate definisce un "blocco fotogrammetrico". In presenza di difficoltà morfologiche, quali strette e profonde vallate o fasce costiere, la direzione delle strisciate aeree seguirà l'andamento della valle o della costa stessa.

Blocco fotogrammetrico (BL).

È l'insieme di tutte le strisciate e pertanto di tutti i modelli stereoscopici, collegati fra loro sfruttando punti fotografici di legame in modo che, tramite operazioni di calcolo, venga a costituirsi una grande struttura fotogrammetrica che copre l'area da rilevare.

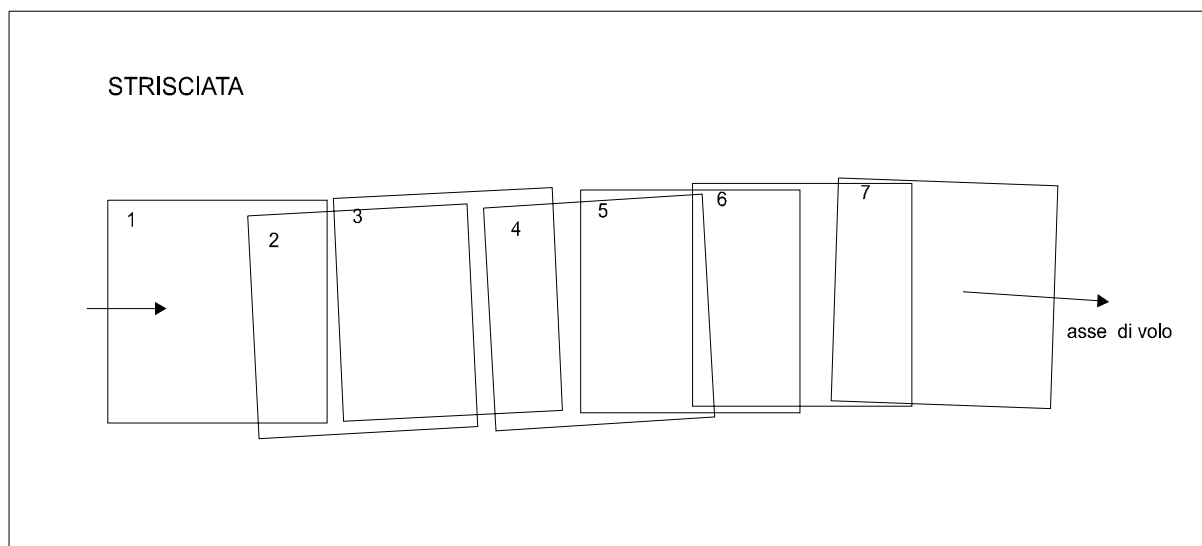


fig. 9

Stereogramma (SG).

È l'area di sovrapposizione di due **FG** scattati in successione da punti di presa diversi (fig. 10). I fotogrammi così realizzati costituiscono una "coppia stereoscopica". L'area comune a due **FG** successivi, appartenenti alla medesima strisciata, è definita come "sovrapposizione longitudinale" ed è normalmente pari al 60% dell'abbracciamento al suolo del singolo fotogramma. È definita invece "sovrapposizione laterale" la porzione del fotogramma (pari al 20% circa dell'abbracciamento al suolo) comune a due fotogrammi facenti parte di due distinte strisciate aeree adiacenti.

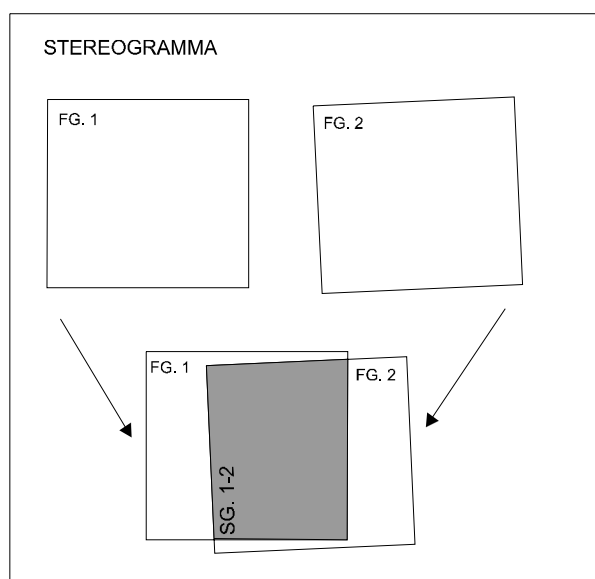


fig. 10

Modello stereoscopico o geometrico (MG).

È l'immagine tridimensionale virtuale ottenuta dall'osservazione binoculare di una coppia di immagini stereoscopiche piane. In altre parole è il luogo geometrico dei punti di intersezione delle infinite coppie di raggi proiettanti corrispondenti agli stessi punti terreno rappresentati nello stereogramma quando la posizione relativa dei singoli fotogrammi che lo compongono simula in maniera corretta quella assunta al momento della presa fotogrammetrica.

Vertici o punti geodetici (trigonometrici) (VT).

Sono costituiti da:

- a. *Punti della Rete IGM95 – Rete di Inquadramento*
Sono punti caratterizzati da una materializzazione stabile e duratura nel tempo, opportunamente distribuiti sul territorio ad una inter distanza media di 15-20 km (6 punti circa ogni foglio alla scala 1:100 000), determinati planimetricamente e altimetricamente con metodologie satellitari GPS;
- b. *Punti della Rete di Raffittimento*⁶
Rete di punti determinati per raffittimento della rete primaria di Inquadramento (circa un punto ogni 50 km²) archiviati dall'IGM.
- c. *Vertici della Rete classica*
Sono punti dominanti del terreno, aventi materializzazione stabile e duratura, determinati planimetricamente e altimetricamente con rigorose operazioni topografiche di triangolazione.

I **VT** sono raccolti sui cataloghi dell'IGM che cura l'aggiornamento della loro documentazione d'archivio. Le loro coordinate sono fornite direttamente dal Servizio Geodetico e sono espresse nel sistema di riferimento **ETRS89** o **ROMA40**. Il passaggio dal sistema nazionale al sistema **ETRS89** viene eseguito con il *software* **VERTO** dell'IGM.

Vertici catastali (VC).

Sono i vertici che il Catasto ha istituito per la realizzazione delle proprie mappe alla scala 1:2000. Generalmente la loro determinazione, limitata alla sola planimetria, avviene con l'ausilio di operazioni topografiche di triangolazione o di semplice intersezione utilizzando i **VT** (Rete classica) come appoggio.

Capisaldi altimetrici (CS).

Sono punti di quota ortometrica nota, acquisita mediante livellazione geometrica, riferita ad appositi contrassegni materializzati su opere che ne garantiscano la stabilità e la durata nel tempo. Costituiscono il dato di partenza per la determinazione altimetrica dei **VT** e dei **GCP**.

Essi comprendono:

- a. capisaldi di livellazioni **IGM (CSL)**, appartenenti alla rete di livellazione di precisione o di alta precisione; possono essere di tipo orizzontale (centrini, bulloni, ecc.) o verticali (targhette o mensole murate su strutture verticali).
- b. capisaldi di livellazioni ferroviarie (**CSF**), appartenenti alle linee di livellazione geometriche istituite dalle FF.SS. o da altre Società ferroviarie per il tracciamento dei profili ferroviari stessi. Vengono utilizzati appositi contrassegni, cui è riferita la quota, murati nelle stazioni o sui caselli.
- c. capisaldi di livellazioni ingegneristiche (**CSI**), istituiti da altri Enti per scopi molteplici, forniscono quote aventi vari gradi di precisione.

Punti fotografici (PF).

Sono punti, ben individuabili sul terreno e nello stesso tempo chiaramente visibili sul **FG**, rispondenti a specifiche caratteristiche di collimabilità allo strumento di restituzione. Essi rappresentano il tramite per la restituzione fotogrammetrica.

Punti d'inquadramento geometrico (GCP) Ground Control Point o (PI).

Sono punti chiaramente individuati sullo **SG** e sul terreno; determinati in planimetria e/o quota con misure di campagna appoggiate ai **VT** (non è da escludere che il **VT** stesso abbia caratteristiche di **GCP**), hanno lo scopo di consentire la compensazione in blocco della **TA**. Possono avere determinazione solo altimetrica e nel qual caso si dicono **GCP** o **PI** altimetrici (**PIA**); pos-

⁶ Vedansi le "Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95"(Intesa Stato, Regioni, Enti locali- luglio 2001)

sono essere determinati solo in planimetria e si dicono **PI** planimetrici (**PIP**); determinati sia in quota che in planimetria e si dicono **PI** tridimensionali (**PIT**).

Punti di controllo (CP) Check Point.

Sono punti chiaramente individuati sullo **SG** e sul terreno; determinati in planimetria e/o quota con misure di campagna per il collaudo oggettivo della **TA**.

Punti di legame (PL) o (TP) Tie Point.

Sono punti individuati sullo **SG** in sede di esecuzione della **TA**; determinati nel sistema di riferimento dell'unità fondamentale⁷ utilizzata, hanno lo scopo di consentire la connessione tra le varie unità per la compensazione in blocco della **TA**. Sono caratterizzati dal fatto di essere presenti in almeno due unità fondamentali.

Punti di appoggio (PA).

Sono punti fotografici (**PF**) individuati sullo **SG** in sede di esecuzione della **TA**; calcolati nel sistema di riferimento terreno per mezzo della compensazione in blocco, hanno lo scopo di consentire l'orientamento assoluto e la successiva restituzione degli **SG**, (possono coincidere con i **TP** e i **GCP**). Nel caso appartengano ad una sola unità fondamentale vengono considerati "punti singoli".

Zenitali (Z).

Sono osservazioni topografiche angolari, contenute nel piano verticale, tra punti aventi le seguenti possibili caratteristiche:

- un punto noto nelle tre coordinate e l'altro incognito;
- un punto fotografico e l'altro no;
- entrambi fotografici.

Osservazioni necessarie per il controllo altimetrico là dove non è stato possibile effettuare un **GCP**.

Punti di speciale determinazione (PSD).

Vengono così indicati tutti quei punti che non ricadono fra quelli fino ad ora definiti. Ad esempio i punti determinati dalle Regioni.

Frecciatura dei fotogrammi.

È la procedura attraverso la quale viene indicata, sul fotogramma di sinistra della coppia stereoscopica, la posizione del particolare fotografico d'interesse. In pratica consiste nel tracciare una freccia, con idoneo pennino, direzionata inequivocabilmente sul particolare fotografico.

⁷ stelle di raggi proiettanti (fotogramma più centro di proiezione) o modelli geometrici o strisciate che assemblate fra loro, formano una struttura complessiva che copre l'intera superficie da rilevare.