

DOCUMENTO DI SPECIFICA DEL VOLO LIDAR DA CUI SONO STATI RICAVATI IL DTM E IL DSM ANNI 2005 E 2008.

1. STRUMENTAZIONE

1.1. Il sistema laser - scan ALTM Gemini

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

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

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

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

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

L'intero sistema è montato rigidamente sull'aeromobile la cui posizione (vettore di stato) viene determinata mediante soluzione GPS (*Global Position System*). Il calcolo della traiettoria del sistema avviene mediante misure GPS differenziali cinematiche utilizzando almeno una stazione fissa posizionata su di un punto noto entro 25 km dall'area del rilievo.

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

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

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

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

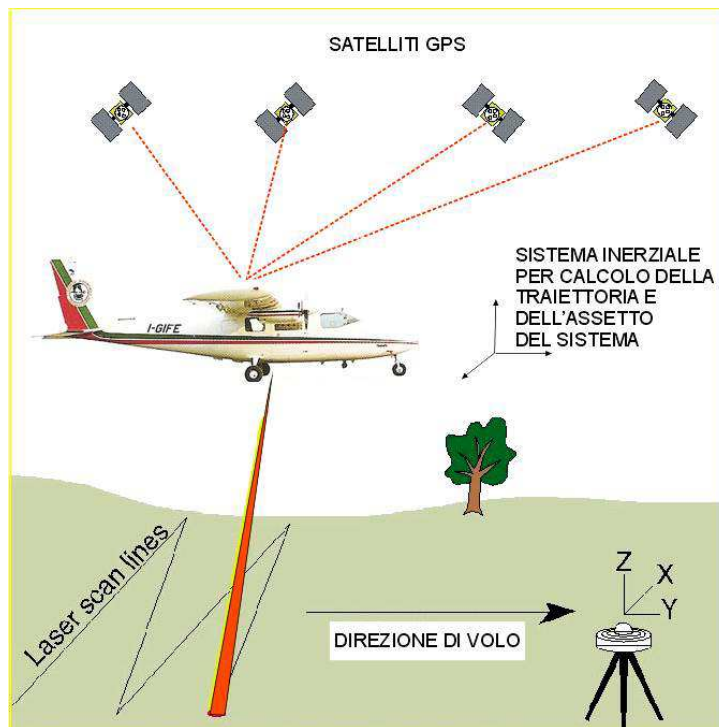


Fig. 1

1.2. Principali fonti di errore nei dati laser - scan

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

- la modalità di elaborazione del dato GPS (differenziale con L1, differenziale con L1 ed L2, assoluto, ecc.)
- la distanza fra il master ed il GPS montato a bordo del velivolo
- la corretta pianificazione del rilievo in termini di copertura GPS (numero di satelliti, PDOP prevista, comunicazioni NANU)
- lo stato della ionosfera
- lo stato della troposfera
- la presenza di *jamming* (disturbi)

- le modalità di esecuzione del rilievo stesso (esecuzione delle linee, traiettorie di ingresso nell'area del rilievo)

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

1.3. Calibrazione

I parametri di calibrazione adottati per l'elaborazione dei dati acquisiti sono stati determinati presso il sito di calibrazione di Parma, presso la sede di BLOM CGR. La calibrazione viene effettuata in una prima fase mediante ripetuti passaggi su bersagli noti dimensionalmente e misurati da terra con sistemi più accurati del lidar aerotrasportato, ad esempio DGPS o KGPS. In particolare viene impiegato come bersaglio la sede operativa di BLOM CGR, edificio rettangolare a tetto piano, posto nelle vicinanze dell'aeroporto, per la determinazione delle costanti di *Pitch* e *Roll* mentre la pista dell'aeroporto (superficie piana, lunga oltre 650 metri) viene utilizzata per le calibrazioni di scala e di elevazione.

Questa prima fase di calibrazione viene successivamente integrata con una più fine calibrazione definitiva eseguita grazie alle cross-lines per ciascuna ripresa effettuata.

E' bene illustrare in modo ulteriormente dettagliato la procedura indicata al secondo punto (calibrazione delle cross-lines).

Il software utilizzato per la classificazione dei punti e la realizzazione dei Modelli finali di consegna (la suite TerraScan della società finlandese Terrasolid) contiene un Modulo ("TerraMatch") che consente di analizzare statisticamente i dati di aree riprese durante la stessa sessione di volo in tempi successivi; è questo il caso delle aree di sovrapposizione tra le strisciate, ma soprattutto delle aree in comune tra le cross-lines e le strisciate che costituiscono il blocco di volo, dove la stessa porzione di territorio viene sorvolata secondo direzioni di volo reciprocamente perpendicolari.

Il software consente sia di verificare le discrepanze tra i due set di misure dei punti, sia di ricalcolare i parametri di Roll, Pitch e Scala da inserire nella calibrazione per minimizzarle.

Il processo avviene calcolando i dati utilizzando in un primo momento i parametri di Roll, Pitch e Scala ottenuti dalla calibrazione sul poligono di Parma, eseguendo l'analisi con TerraMatch per definire i nuovi parametri, che saranno poi utilizzati per un nuovo calcolo finale dei dati Lidar.

Si è osservato che nella maggior parte dei casi questo flusso di lavoro porta alla riconferma dei valori precedentemente introdotti, o comunque ad una modifica minima dei valori rispetto a quelli precedenti, per cui si tratta nella maggior parte dei casi di un procedura di conferma della stabilità e del mantenimento della calibrazione principale nel tempo, e/o di un suo leggero affinamento.

Le immagini seguenti illustrano il processo.

1. Esempio di blocco di volo con cross line : per ogni missione è stata realizzata una cross line (Fig. 2)

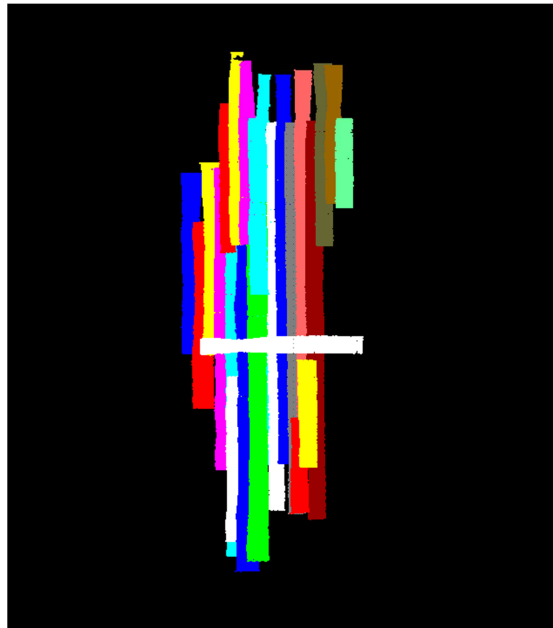


Fig. 2

2. Vengono selezionati i punti appartenenti al terreno per ogni singola strisciata e si esegue una prima valutazione visiva sulla qualità del dato applicando una scala di colori (Fig. 3) che rappresenta le differenze di quota di punti in comune alle due strisciate e osservando (Fig. 4) le sezioni sui tetti degli edifici (per valutare la planimetria). Guardando la figura 3 si nota che la scala di colori varia dal viola (differenze minime) al Giallo/rosso (differenze massime).

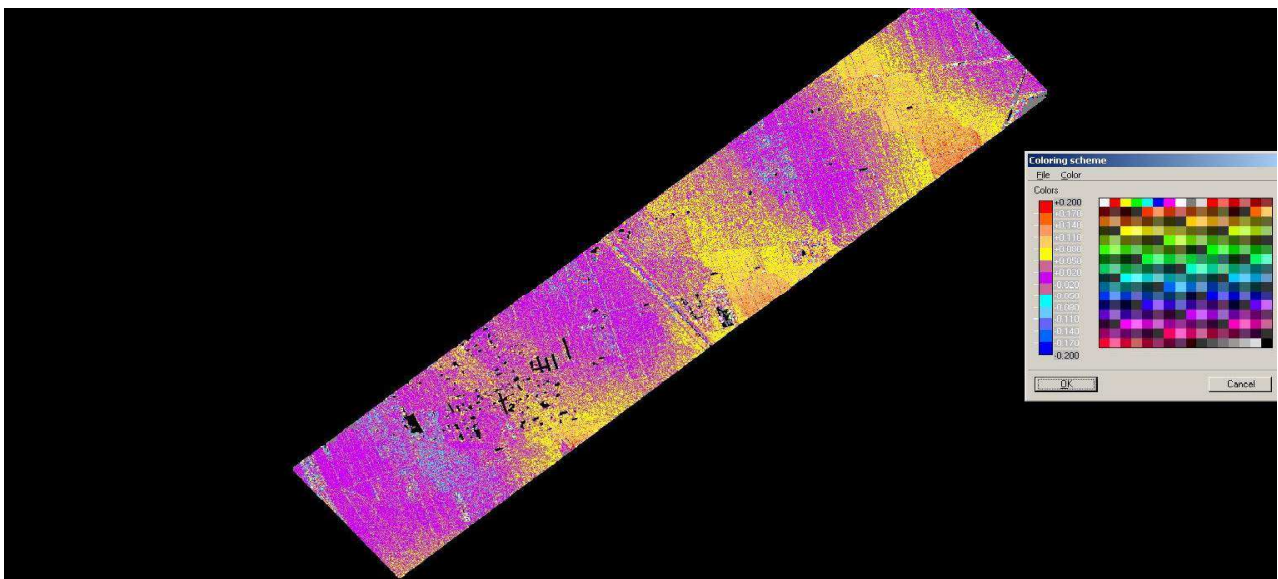


Fig. 3

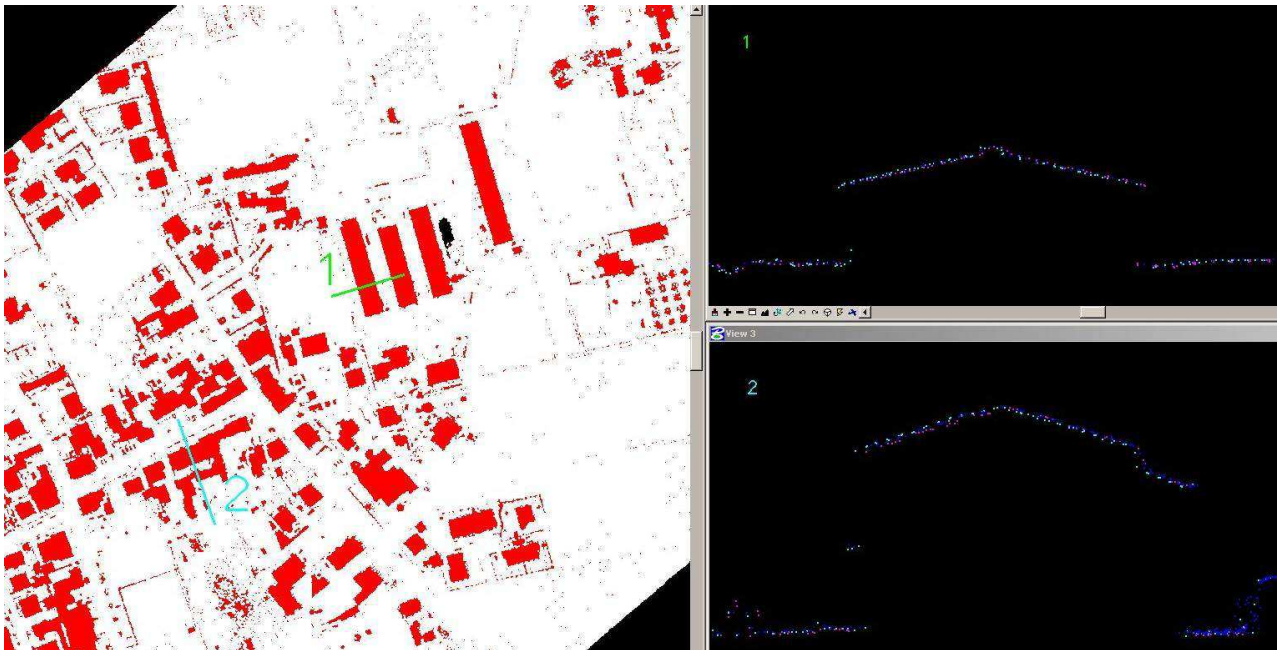


Fig. 4

3. Dopo le verifiche visive viene utilizzato TerraMatch che restituisce un report con i valori di correzione angolare da applicare ai parametri di Roll, Pitch e Scala per ottenere la calibrazione migliore.

Nel seguito è riportato l'output del processo con i nuovi valori da impostare dei parametri R shift, P shift e Scale.

```

Used loaded points
Trajectories:
s:\REPARTO_LASER\TOSCANA_2008V031\MATCH\volo_080320_SEN200\match\tra\
No known points
Observe every 1th point
Intensity not used
Solution for whole data set
Starting average dz:    0.0502
Final average dz:      0.0396
Standard error of unit 0.0177
Execution time: 1793.3 sec
Number of iterations: 31
Points                 3765431
R shift                 +0.0142    Std dev  0.0004
P shift                 +0.0097    Std dev  0.0008
Scale                  -0.00041

```

4. I valori di correzione Roll, Pitch e Scala vengono applicati nel nuovo processing del dato per il calcolo definitivo della nuvola di punti del volo in oggetto.
5. Le figure 5 e 6 mostrano le stesse aree dopo la calibrazione

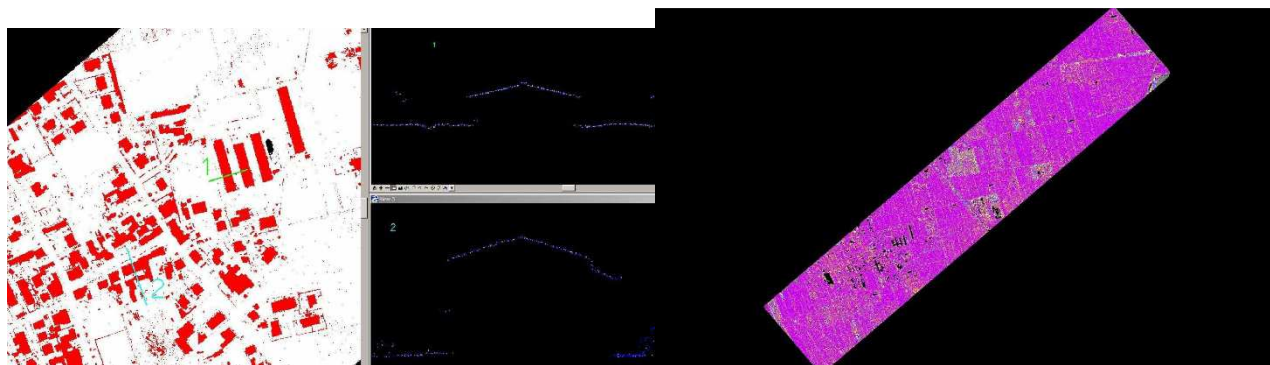


Fig. 5

Fig. 6

Per ogni sessione di volo sono stati calcolati due report, allegati alla presente relazione, che illustrano le differenze riscontrate tra le misure topografiche e le misura Laser (report delle piazzole) ed il processo di determinazione dei parametri di Roll, Pitch e Scala descritti in precedenza.

2. RAPPORTO DI VOLO

Le riprese relative alla regione Valle d'Aosta sono state eseguite nei giorni e con le caratteristiche riportate nella tabella 1.

Data ripresa	Sensore	Aereo	Stazione GPS di terra
27/06/08	Altm Gemini	I-BGFE	Montjovet Pollein
28/06/08	Altm Gemini	I-GIFE	Pollein
08/07/08	Altm Gemini	I-GIFE	Montjovet Pollein
09/07/08	Altm Gemini	I-GIFE	Montjovet Pollein
10/07/08	Altm Gemini	I-GIFE	Montjovet Pollein
15/07/08	Altm Gemini	I-BGFE	Montjovet
19/07/08	Altm Gemini	I-BGFE	Biella Montjovet Pollein
21/07/08	Altm Gemini	I-BGFE	Biella Montjovet Pollein
25/07/08	Altm Gemini	I-BGFE	Biella
20/09/08	Altm Gemini	I-MAFE	La Salle Quart Verres
29/09/08	Altm Gemini	I-MAFE	La Salle Quart Verres
05/10/08 Volo 1	Altm Gemini	I-ANCP	La Salle Quart
05/10/08	Altm Gemini	I-ANCP	La Salle

Volo 2			Quart
05/10/08 Volo 1	Altm Gemini	I- MAFE	La Salle Quart
05/10/08 Volo 2	Altm Gemini	I- MAFE	La Salle Quart
10/10/08	Altm Gemini	I- ANCP	La Salle Quart Verres

Tab. 1

La traiettoria assoluta è stata ricostruita determinando un punto ogni 35 centimetri circa. I dati di posizione sono stati integrati con quelli inerziali acquisiti con una frequenza di campionamento di 200 Hz, ottenendo in pratica un posizionamento con una precisione del sistema di 0.15 m.

Utilizzando i parametri di posizione ed orientamento, i dati di *range* sono stati ricollocati spazialmente generando il prodotto base che è un *file* vettoriale contenente i dati di tempo GPS, vettore di posizione e valore di intensità di retrodiffusione del *laser* (ampiezza) per ogni impulso misurato.

In ottemperanza a quanto richiesto nell' art. 21.15.2 del Disciplinare Tecnico, si attesta quanto segue:

- durante le riprese non si sono verificate problematiche particolari degne di nota, come risulta dai "log file " di volo; questi ultimi sono files che vengono registrati durante il volo, riportandone le caratteristiche principali ed eventuali problemi che dovessero insorgere.
- Sono stati verificati i dati affinché non fossero influenzati da curvature ed inclinazione dei voli ed offset; il pilota, che durante l'esecuzione delle riprese visualizza sempre un monitor su cui viene riportata la linea di volo da seguire e la posizione occupata istante per istante dall'aereo, ha controllato la sua corretta posizione rispetto alla strisciata ed eseguito correttamente la ripresa, mentre l'operatore di bordo ha controllato la corretta acquisizione dei dati.

Il pilota ha prestato particolare attenzione ad eseguire le virate in modo dolce e senza inclinare molto l'aereo per evitare di mettere in ombra l'antenna GPS e quindi provocare perdite di segnale.

Il sistema è dotato di una serie di allarmi che evidenziano immediatamente all'operatore eventuali malfunzionamenti.

- E' stata verificata la totale assenza di discontinuità nelle aree misurate.

In un foglio a parte (allegato 1), il **responsabile del controllo dei processi e dei prodotti** ha provveduto a sottoscrivere quanto suddetto, come richiesto dal Disciplinare Tecnico.

3. CONTROLLO DI QUALITA'

Oltre alla cross-line descritta al punto 3.3, per ogni sessione di volo è stata sorvolata almeno un'area test misurata topograficamente sul terreno; le aree test, che normalmente sono costituite da piazzali abbastanza grandi e nei quali la variazione altimetrica dei singoli punti non sia significativa (a quota nell'intorno dei singoli punti) sono state scelte in modo da poter costituire un valido riferimento soprattutto nella verifica dell'altimetria del rilievo; il paragone tra le misure effettuate a terra e le misure acquisite dal Lidar rappresentano una ottima indicazione dell'accuratezza altimetrica del rilievo.

I risultati dei paragoni tra i valori registrati dal Lidar e quelli rilevati per via topografica per ogni sessione di volo sono consultabili nei reports inseriti nell'hard disk esterno di consegna.

Al fine di valutare la qualità del risultato ottenuto in sede di postprocessing, vengono analizzati i principali fattori di seguito descritti.

Dai dati registrati dalle stazioni fisse di terra ubicate, in funzione dell'area ripresa, in maniera tale da garantire il rispetto delle precisioni piano altimetriche richieste, si esegue il calcolo della traiettoria dell'aeromobile per ogni volo, combinandoli con i dati ripresi dal sistema sull'aereo.

L'elaborazione della traiettoria GPS viene fatta con il programma POSGPS (contenuto nel POSPac dell'Applanix) che consente di effettuare il calcolo combinando anche differenti stazioni di terra e scegliendo la soluzione migliore in termini di accuratezza del dato finale.

Il programma offre inoltre diversi strumenti per analizzare la bontà del dato Gps e della soluzione finale calcolata.

4. STAZIONI GRS

Per garantire il rispetto delle precisioni piano altimetriche, è necessario effettuare una correzione differenziale dei dati GPS registrati dal sensore durante la ripresa in modo da ottenere la massima accuratezza possibile nel posizionamento dell'aeromobile in volo.

E' pertanto necessario registrare in contemporanea alla ripresa i dati GPS con una o più stazioni a terra, per effettuare poi la correzione differenziale.

Le stazioni utilizzate fanno parte della rete GPS Assogeo, della rete Leica Italpos, della rete TIM; sono state inoltre utilizzate alcune stazioni di enti ed atenei locali e di BLOM CGR, sia presso la sede di Parma che opportunamente dislocate per ottenere la desiderata copertura territoriale (con stazioni mobili dedicate).

Tutte le stazioni utilizzate hanno registrato i dati GPS con intervallo di 1 secondo, necessario per questo tipo di applicazione.

Tutti i dati di queste stazioni sono stati scaricati ed utilizzati nel Postprocessing.

Tutti i punti in cui sono installate queste stazioni sono punti inquadrati in IGM95, ed i gestori delle reti sono in grado di fornire le coordinate delle stazioni nel sistema di riferimento ufficiale.

Le stazioni Assogeo fanno parte della rete Trimble e sono gestite da Assogeo. Sono Stazioni GPS Permanenti, collegate a punti trigonometrici IGM95, utilizzate ormai da diversi anni per l'elaborazione delle traiettorie dei voli eseguiti dalla BLOM CGR con risultati sempre ottimali.

Le stazioni Leica fanno parte della rete Leica SmartNet ItalPoS, la prima rete di stazioni permanenti GNSS a copertura nazionale.

Il progetto Leica SmartNet è sviluppato grazie alla collaborazione di numerose università, enti pubblici e privati, che hanno collaborato alla realizzazione e alla divulgazione della rete stessa.

L'elevata qualità dei dati distribuiti dalla rete Leica SmartNet ItalPoS è garantita da G3 "Gruppo di Geodesia e Geomatica", Associazione Scientifica fra Politecnico di Milano, Politecnico di Torino e Università Sapienza di Roma, che esegue il monitoraggio e la validazione dei dati tramite proprie e comprovate procedure.

In particolare, G3 esegue il monitoraggio delle stazioni permanenti che costituiscono la rete e la validazione delle procedure di erogazione dei prodotti destinati al posizionamento in tempo reale.

La rete Leica SmartNet ItalPoS utilizza il sistema di coordinate IGM95.

Tutte le stazioni utilizzate sono state determinate dagli Enti gestori, inquadrandole nella rete IGM95.

La figura 11 illustra la posizione delle stazioni utilizzate per il calcolo ed un raggio di 30 km attorno ad esse, per mostrare la copertura dell'area da rilevare.

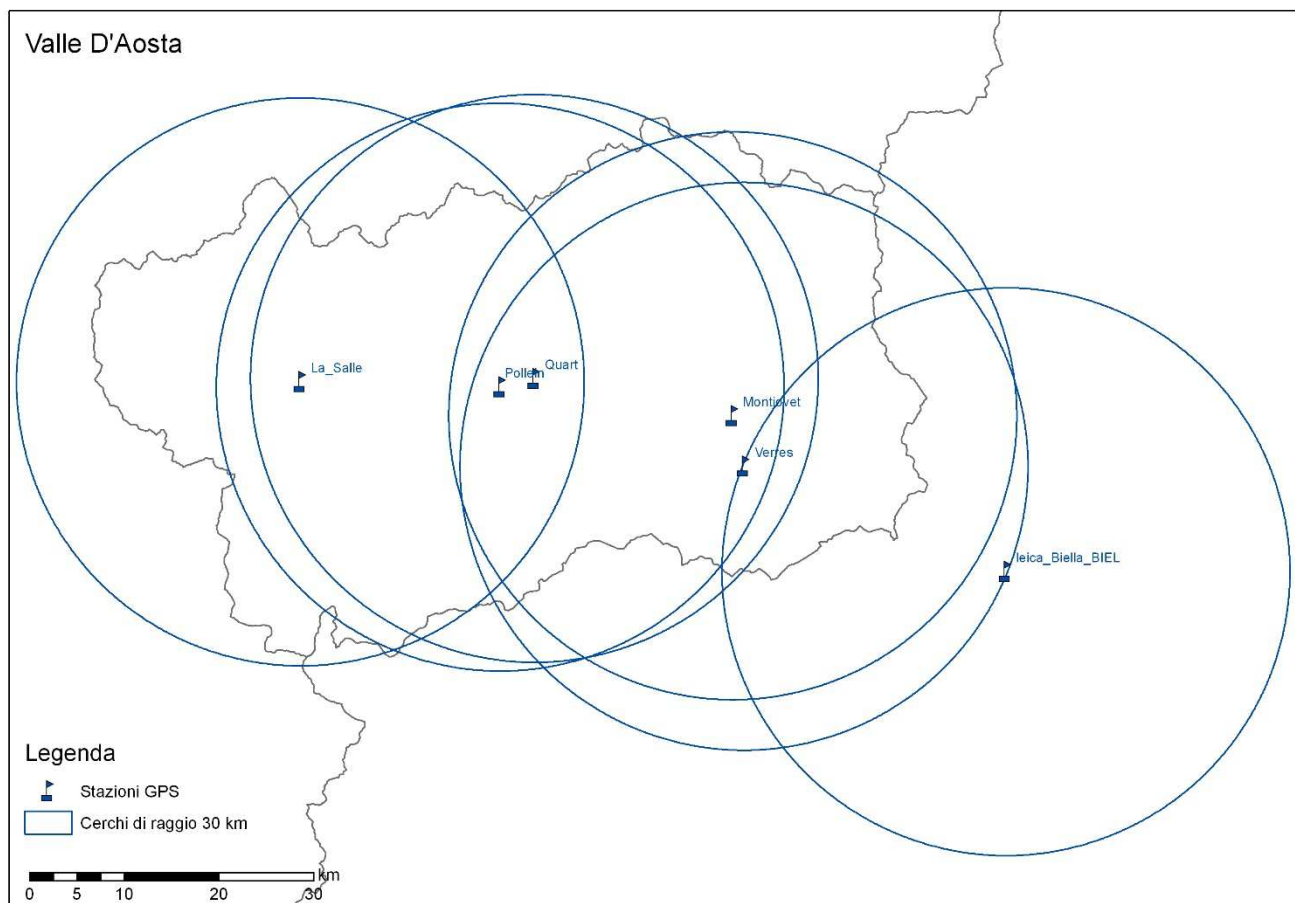


Fig. 11

Nella seguente Tabella 2 viene descritto l'elenco delle stazioni permanenti utilizzate nell'ambito della lavorazione per la regione Valle d'Aosta.

Nome Stazione GPS	Gestore servizio	codice	Coordinate Geografiche		Quota ell. (m)	Punto di riferimento	Offset to bottom (m)	Modello antenna
			φ	λ				
Biella	Leica-Italpos	BIEL	45° 33' 38.678400"	08° 02' 52.981800"	480.438	BAM		Trimble - TRM41249.00 Trimble Zephyr Geodetic with GP
La_Salle	Zenit Vallée		45° 43' 45.544000"	07° 05' 12.888000"	878.410	BAM		Leica - LEIAT502 Aero element L1/L2, External
Montjovet	Zenit Vallée		45° 42' 19.456520"	07° 40' 28.893040"	430.99	BAM		Leica - LEIAT502 Aero element L1/L2, External
Pollein	Zenit Vallée		45° 43' 42.815000"	07° 21' 30.186000"	605.440	BAM		Leica - LEIAT502 Aero element L1/L2, External
Quart	Zenit Vallée		45° 44' 14.978750"	07° 24' 16.460590"	585.671	BAM		Leica - LEIAT502 Aero element L1/L2, External
Verres	Zenit Vallée		45° 39' 26.967810"	07° 41' 27.762040"	413.014	BAM		Leica - LEIAT502 Aero element L1/L2, External

Tab. 2

4.1. Monografie dei punti IGM95 utilizzati

Nell'ambito della lavorazione della regione Valle d'Aosta, non sono stati utilizzati punti IGM95.

4.2. Schede di registrazione delle stazioni GPS mobili

Nell'ambito della lavorazione della regione Valle d'Aosta, non sono state fatte stazioni mobili.