

SPECIFICHE TECNICHE

RAFFITTIMENTO DELLA

RETE FONDAMENTALE IGM95

PREMESSA

Questo capitolato viene proposto dal Gruppo di lavoro “Reti d’inquadramento plano-altimetriche”, specifico organo tecnico consuntivo del Comitato tecnico di coordinamento (CTC) per l’Intesa Stato – Regioni – Enti Locali del 26 settembre 1996 sui Sistemi informativi geografici.

Il mandato del CTC al Gruppo di lavoro era la realizzazione di Specifiche tecniche che prendessero in considerazione contemporaneamente sia le istanze dei vari settori della pubblica amministrazione sia le forti evoluzioni tecnologiche in atto.

Considerato che sono state programmate attività di raffittimento della nuova rete geodetica italiana in molte aree, si è preferito redigere una prima versione del capitolato circoscritta all’uso di personale già esperto sia dal punto di vista tecnico, sia dal punto di vista amministrativo. Ciò consentirà, non appena il testo verrà adottato dal Comitato tecnico di coordinamento, di procedere ad appalti con norme omogenee e quindi di agevolare sia l’interscambio nella PA di questa tipologia di dati, sia la realizzazione di banche dati di gestione, documentazione ed armonizzazione delle reti plano-altimetriche di carattere geodetico.

La nuova rete geodetica fondamentale italiana, IGM95 è nata nel 1992 ed è stata realizzata con le nuove procedure geodetiche satellitari GPS in soli 4 anni; essa fornisce alla nazione un accurato ed affidabile riferimento geotopocartografico.

Nell’aggiornamento geometrico di dati topografici, il progressivo proliferare di stazioni fisse GPS ed il diffondersi di moderna strumentazione, può rendere non sempre necessario, in termini di costi e qualità, avere a disposizione reti geodetiche di raffittimento simili a quelle del passato; invece è l’attuale fase di interscambio di informazioni topografiche geometriche derivanti dalla numerizzazione di precedente cartografia analogica, che rende opportuno, se non indispensabile, un’ampia disponibilità di punti con coordinate note secondo standard condivisi e moderni di qualità.

In tal senso quindi il presente capitolato prevede un raffittimento generale ed omogeneo a sette chilometri di interdistanza media della rete geodetica fondamentale IGM95 e ove ritenuto necessario, anche la determinazione di punti di dettaglio (Allegato 3 del testo).

Tale raffittimento rappresenta, in relazione alle potenzialità tecnologiche attuali, quanto alcuni anni fa il Catasto aveva inteso realizzare con la dizione “maglia primaria dei punti fiduciali”.

Il documento elaborato può essere quindi utilizzato anche per il completamento sul territorio italiano di tale infrastruttura.

IL PRESIDENTE DEL GRUPPO DI LAVORO
Alberto Coticchia

Composizione del gruppo di lavoro:

Alberto Coticchia Istituto Geografico Militare (presidente), **Maurizio Barbarella** Università di Bologna, **Riccardo Barzagli** Politecnico di Milano, **Marco D’Orazi** Comune di Genova, **Antonino Di Girolamo** Regione Trentino Alto Adige, **Roberto Gavaruzzi** Regione Emilia-Romagna, **Domenico Longhi** Regione Abruzzo.

SPECIFICHE TECNICHE PER IL RAFFITTIMENTO DELLA RETE FONDAMENTALE IGM95

1. RETI GEODETICHE GPS

Rete di inquadramento

La rete geodetica di **inquadramento** del territorio nazionale è rappresentata dalla rete fondamentale IGM95.

Le coordinate dei vertici della rete d'inquadramento sono note nel sistema di riferimento WGS84 (ETRF89) e nel sistema di riferimento nazionale ROMA40.

Oggetto delle seguenti specifiche è fornire i criteri per la realizzazione di reti planimetriche di raffittimento e di punti di dettaglio e per la determinazione delle loro quote sul livello medio del mare.

Come noto, per quanto la tecnica GPS consenta il rilievo tridimensionale, le quote ellissoidiche che ne derivano non sono direttamente fruibili. Ne è però consentito l'uso nel modo indicato al punto 5. del seguente disciplinare.

Rete di raffittimento

Nella rete di raffittimento dovranno essere inseriti tutti i punti IGM95 ricadenti nella zona d'intervento ed i punti di nuova istituzione omogeneamente distribuiti sul territorio, con densità tale che la distanza fra essi risulti mediamente dell'ordine di 7 km e comunque mai superiore a 9 (**un punto ogni 50 km²**). Dovranno inoltre essere inseriti nella rete, qualora situati nelle vicinanze dell'area da rilevare (entro 5 km), sia i vertici IGM95 che punti già in precedenza realizzati secondo le presenti norme.

La rete di raffittimento dovrà costituire nel complesso una struttura autonoma, intrinsecamente determinata da un numero sovrabbondante di misure ed essere costituita da poligoni connessi aventi **non più di 6 lati**, con un perimetro massimo di 50 km. Su ogni vertice incognito e sui punti IGM95 non marginali dovranno convergere **non meno di 3 basi indipendenti**; sui punti IGM95 marginali dovranno convergere non meno di 2 basi, rilevate in sessioni diverse e del tutto indipendenti.

2. MATERIALIZZAZIONE

I punti della rete di raffittimento saranno materializzati secondo le specifiche di seguito riportate.

2.1 UBICAZIONE DEI VERTICI

I punti, saranno ubicati in luoghi facilmente accessibili con normale autovettura, di norma su manufatti già presenti in loco ed aventi dimensioni, consistenza e destinazione d'uso tali da garantire una adeguata stabilità nel tempo. Sono da evitare marciapiedi, cordoli, muretti divisorii, pozzetti di fognature ed ogni altra simile struttura prefabbricata. Sono invece indicati: spalle di ponti, muri di sostegno, chiuse di canali ed in genere ogni altra struttura in calcestruzzo gettata in loco.

Nella scelta della sede del punto si terrà conto della presenza nelle vicinanze:

- dei "*punti fiduciali del Catasto*" che, se possiedono caratteristiche di materializzazione compatibili con le norme del presente capitolato, saranno direttamente utilizzati;

- di capisaldi appartenenti a linee di livellazione di alta precisione, sia IGM che di altri Enti, nel qual caso si impianterà il punto alla minima distanza possibile, sempre nel rispetto dei criteri suddetti e degli altri di seguito descritti, da detti capisaldi, allo scopo di facilitare il successivo collegamento altimetrico.

-

Il punto dovrà avere una posizione tale da consentire la realizzazione di una valida stazione GPS; in particolare dovrà essere verificato quanto segue.

La posizione dei punti sarà scelta possibilmente in:

- assenza di ostacoli stabili, che impediscono la ricezione dei segnali satellitari, aventi un'elevazione superiore a $15^\circ \div 20^\circ$ sul piano dell'orizzonte dell'antenna considerata posta ad altezza normale sopra un treppiede. E' ammessa la presenza di ostacoli, che non producano *multipath*, con azimut compreso fra 330° e 30° . Negli altri settori è tollerata la presenza di ostacoli aventi estensione od altezza limitata; in presenza di questi ultimi dovrà essere redatto, su apposito modello, uno "schizzo degli ostacoli" che verrà riportato in monografia;
- assenza di disturbi elettromagnetici tali da rendere impossibile o difficoltosa la ricezione dei segnali satellitari; in fase ricognitiva verrà verificato che il valore del rapporto segnale/rumore risulti sensibilmente superiore ai valori minimi dichiarati dal costruttore dello strumento utilizzato.

Qualora non sia possibile individuare nella zona prescelta un manufatto di caratteristiche appropriate, la sede del contrassegno verrà realizzata appositamente mediante uno scavo di dimensioni e profondità, dipendenti dalla natura del terreno, adeguate a garantirne la stabilità e la permanenza nel tempo. Lo scavo verrà riempito con una gettata di calcestruzzo, fino ad una altezza che superi convenientemente il piano di campagna.

La profondità dello scavo sarà tale da consentire l'ancoraggio allo strato roccioso od ad uno strato compatto e resistente del terreno; in terreno sciolto o poco consistente (terreno vegetale, sabbie ecc.) la profondità sarà di almeno 60 cm. Le dimensioni dello scavo saranno proporzionate alla profondità in maniera da consentire la realizzazione di un solido resistente, in ogni caso avente non meno di $20 \div 25$ cm di raggio.

2.2 CONTRASSEGNI

Dovendo realizzare vertici (sia di raffittimento che di dettaglio) che devono costituire riferimento per misure di alta precisione sia planimetriche (GPS) che altimetriche, i contrassegni costituenti le materializzazioni dovranno possedere una struttura geometrica tale da individuare in modo semplice ed inequivocabile sia un asse verticale che un piano orizzontale; inoltre, per garantire la permanenza nel tempo, dovranno essere costituiti di materiali metallici non deteriorabili: acciaio inox, ghisa, ottone, leghe di alluminio ecc.

La forma più indicata per soddisfare agli scopi suddetti è quella di un centrino che termina con una superficie sferica sulla quale un piccolo foro ne identifica il centro; dal lato opposto il centrino dovrà terminare con un gambo di lunghezza non inferiore a 5 cm che andrà infisso nel cemento in modo da garantirne l'inamovibilità. La superficie del gambo sarà adeguatamente scabrosa o dotata di protuberanze in maniera da rendere il centrino perfettamente solidale al manufatto che lo ospita. In ogni caso il tipo di contrassegno utilizzato dovrà essere preventivamente approvato dalla Direzione Lavori (nel seguito indicata brevemente D.L.).

2.3 MESSA IN OPERA DEI CONTRASSEGNI

Per la messa in opera dei centrini si praticherà, sul manufatto in cemento prescelto o su quello appositamente realizzato, un foro con trapano di dimensioni leggermente superiori ad diametro del gambo del centrino. Tale foro verrà allargato nella parte superiore per accogliere

almeno metà della testa del contrassegno in modo da rendere difficoltosa l'asportazione di quest'ultimo. Il centrino verrà quindi fissato con cemento o resine sintetiche ad alta resistenza; nel caso di sede realizzata appositamente sarà consentito inserire direttamente il contrassegno nella gettata di calcestruzzo. Il proprietario del manufatto o del terreno prescelto per la materializzazione, sia esso Ente pubblico o privato, verrà preventivamente informato con lettera scritta nella quale si richiederà il consenso all'esecuzione dell'opera.

2.4 DOCUMENTAZIONE MONOGRAFICA

Per ognuno dei vertici (sia di raffittimento che di dettaglio) sarà redatta una esauriente monografia che consenta il riconoscimento del punto. Tali monografie dovranno essere realizzate in formato A4 e dovranno contenere:

- nome dell'Ente appaltante;
- mese ed anno del rilievo;
- nome e numero del vertice;
- schizzo monografico della materializzazione e della zona circostante con tutte le possibili misure di distanza fra il vertice ed i particolari limitrofi rilevanti e facilmente individuabili;
- descrizione dell'accesso, del sito e della materializzazione;
- coordinate geografiche nel sistema WGS84(ETRF89) e ROMA40;
- coordinate piane UTM-WGS84 e GAUSS-BOAGA;
- spazio per l'inserimento di un'ulteriore coppia di coordinate: geografiche e relative coordinate piane (ad es. ED50 ed UTM-ED50);
- quota ellissoidica;
- quota s.l.m.;
- indicazione del caposaldo da cui è stato fatto il riattacco altimetrico, e dislivello misurato (tali spazi verranno lasciati in bianco per i punti non riattaccati con livellazione geometrica);
- stralcio della cartografia (alla scala 1:25 000 o maggiore) con "frecciatura" indicante la posizione del punto;
- fotografia della materializzazione sullo sfondo di particolari circostanti di facile individuazione;
- eventuale grafico degli ostacoli alla ricezione satellitare.
- eventuali difficoltà riscontrate (accesso, disturbi, ecc.)

Tutte le informazioni monografiche saranno rese numeriche, e l'intera monografia sarà memorizzata in un file in formato leggibile da software di larga diffusione.

3. RILIEVO DELLE RETI

3.1 PROGETTO E VERIFICHE PRELIMINARI

La ditta appaltatrice dovrà predisporre un progetto delle reti suddette, da riportare su grafico a scala opportuna (di norma 1:100.000); nel grafico dovranno essere riportati con idonea simbologia i vertici della rete di inquadramento e quelli di raffittimento, nonché gli eventuali punti di dettaglio. Inoltre dovranno essere indicate le linee di base che la ditta intende realizzare sia per la rete di raffittimento che per i punti di dettaglio.

Dovrà essere verificata preventivamente al rilievo, l'esistenza e l'integrità dei vertici della rete d'inquadramento IGM95, mediante sopralluoghi a cura della ditta appaltatrice che acquisirà le relative monografie. Dovranno essere verificate anche le condizioni di ricezione del segnale GPS.

Nel caso di perdita della materializzazione, di danneggiamento o di difficoltà di acquisizione dei dati satellitari, dovranno essere redatte apposite schede; queste saranno consegnate alla D.L. che avrà cura di segnalare il fatto all'IGM.

Al grafico della rete sarà accompagnata una relazione relativa alla: strumentazione che la ditta intende impiegare, alla organizzazione dei rilievi; al software che essa intende adottare per il calcolo delle basi, la compensazione e la elaborazione dei dati; alla codifica dei punti utilizzata nel rilievo e nei calcoli secondo quanto indicato dalla D.L.

3.2 – MISURA DELLE BASI COSTITUENTI LA RETE DI RAFFITTIMENTO

Le basi costituenti la rete di raffittimento dovranno essere indipendenti e saranno determinate con ricevitori GPS di precisione nominale non inferiore a

$$s = \pm (10 \text{ mm} + 1 \text{ mm per chilometro})$$

Questi valori sono da intendersi come gli sqm dichiarati dalle case costruttrici in modalità statica.

Si suggerisce di utilizzare squadre composte da almeno quattro ricevitori, operanti contemporaneamente, per garantire produttività e snellezza alle operazioni.

La metodologia di misura sarà di tipo relativo (differenziale) statico, con intervallo di campionamento non superiore a 15 secondi. Potrà anche essere di tipo rapido statico con intervallo di campionamento non superiore a 5 secondi, nei casi in cui la strumentazione impiegata garantisca comunque le precisioni richieste.

I tempi di acquisizione delle sessioni, espressi in minuti, saranno non inferiori a quelli riportati nella tabella seguente:

Distanze	con 4 satelliti in assenza di <i>cycle slip</i> significativi		con 5 o più satelliti in assenza di <i>cycle slip</i> significativi		
	GPS mono frequenza	GPS doppia frequenza	GPS mono frequenza	GPS doppia frequenza	GPS doppia frequenza rapido statico
Minori di 5 km	60	40	40	30	15
fra 5 e 10 km	80	50	60	40	20
fra 10 e 15 km	100	80	80	60	---

In presenza di *cycle slip* o di ostacoli superiori a 15÷20 gradi sull'orizzonte dell'antenna o di valori di GDOP e PDOP non ottimali, la durata della sessione di misura sarà convenientemente aumentata.

Le stazioni saranno realizzate esclusivamente “in centro” con l'ausilio di treppiede o piastra. L'antenna sarà fissata tramite basetta tricuspide dotata di viti calanti e livella sferica, o tramite apparato equivalente che consenta l'orizzontamento e il centramento di precisione. Si dovrà curare in modo particolare la misura del dislivello dal centro di fase dell'antenna alla sommità centrino che costituisce la materializzazione: tale dislivello sarà misurato in due punti diametralmente opposti dell'antenna, all'inizio della sessione di misura e, con la stessa procedura, alla fine della sessione; delle quattro misure, tutte registrate, si utilizzerà la media. Qualora le misure dello stesso momento differiscano per più di un centimetro verranno immediatamente ripetute, se invece la media delle misure finali differisce per più di un centimetro da quella delle misure iniziali verrà ripetuta la stazione. Per gli apparati che utilizzano sistemi particolari per la determinazione dell'altezza dell'antenna, la misura andrà comunque eseguita due volte all'inizio della sessione e due volte alla fine con le stesse modalità di validazione suddette.

Per ogni stazione verrà compilato una *scheda di stazione* in formato A4 nella quale saranno riportate:

- nome e numero del vertice;
- nome del file di memorizzazione dei dati;
- nome dell'operatore che esegue la misura;
- data, ora di inizio e di termine della sessione di misura;

- marca e modello dello strumento utilizzato;
- tipo e caratteristiche dell'antenna utilizzata;
- tutte le misure dell'altezza dell'antenna effettuate e la media di tali misure utilizzata nei calcoli;
- schizzo monografico dell'antenna con indicazione delle altezze misurate;
- note eventuali.

Per ciascuna squadra dovrà essere redatto uno schizzo o una tabella delle occupazioni dei punti per ciascuna sessione nell'arco della giornata lavorativa; successivamente, al momento della elaborazione saranno indicate le basi indipendenti ricavate da ciascuna sessione¹.

Il numero delle misure dovrà essere almeno 1,5 volte il numero dei punti (sovrabbondanza relativa di 1,5) per garantire il controllo di qualità delle misure.

Andrà redatto un grafico della rete realizzata effettivamente con i punti rappresentati secondo la loro tipologia, in modo che ne risulti agevole la distinzione

Una prima elaborazione delle basi dovrà essere eseguita durante le operazioni di rilievo per garantire la effettiva sufficienza delle ricezioni alla determinazione delle basi con le caratteristiche di qualità sotto indicate.

3.3 – ELABORAZIONE DELLE MISURE

Il calcolo delle basi potrà essere eseguito utilizzando le effemeridi trasmesse o quelle precise impiegando il programma fornito dalla Casa Costruttrice dei ricevitori, o un programma specifico purché internazionalmente noto: in questo caso dovrà esserne data preventivamente comunicazione alla D.L. nella relazione di progetto per la necessaria autorizzazione.

Il software dovrà essere messo a disposizione della D.L. per le opportune verifiche e prove.

Le basi calcolate saranno accettate esclusivamente in soluzione *fixed*, e solo se saranno caratterizzate da indicatori di qualità (*quality factor, ratio, varianza, contrast, ecc..* , a seconda del software utilizzato) che rientrino nei limiti previsti dal software stesso.

Le basi che non soddisfino tali requisiti verranno ripetute.

Del calcolo di ciascuna base dovrà essere fornito il file ASCII sintetico riportante le informazioni sostanziali: i codici dei punti collegati, le componenti della base, i loro parametri di precisione (deviazione standard delle componenti, correlazioni o covarianze, modalità di calcolo, fattori di qualità, durata della ricezione, ...).

Di norma tutti i software d'elaborazione delle basi consentono di produrre tali *report* riassuntivi. Il nome del file di *report* richiamerà i codici dei punti collegati dalla base riportata. La documentazione fornita dovrà consentire di risalire, per ciascuna base, alla sessione durante la quale essa è stata rilevata.

I dati grezzi acquisiti dovranno essere conservati nella forma originale (binario proprietario) presso la ditta appaltatrice e ne dovrà essere consegnata copia alla D.L. sia in formato binario che in formato standard d'interscambio RINEX (compresa la misura dell'altezza sul piano di paragone del punto di riferimento dell'antenna).

Per limitare gli errori grossolani, un primo controllo pre-compensazione delle basi, potrà essere effettuato attraverso il controllo di chiusura dei poligoni costituenti la rete, secondo il seguente criterio: la distanza cartesiana calcolata a partire dalle somme algebriche dei valori dx, dy, dz delle singole basi costituenti il poligono dovrà essere inferiore a 10 cm,

$$\sqrt{(\sum dx)^2 + (\sum dy)^2 + (\sum dz)^2} \leq 10 \text{ cm}$$

Le basi facenti parte di poligoni la cui chiusura non soddisfa la tolleranza suddetta verranno ripetute. Le basi validate con la filosofia suddetta entreranno a far parte del successivo calcolo di compensazione.

¹ Si ricorda che una sessione eseguita con *r* ricevitori fornisce *r* - 1 basi indipendenti.

3.4 - CALCOLO DELLE COORDINATE WGS84 DEI VERTICI DELLA RETE DI RAFFITTIMENTO

La rete di raffittimento verrà compensata nel sistema di riferimento WGS84 (ETRS89) in un unico blocco. Inizialmente si eseguirà un calcolo di compensazione ai minimi vincoli, finalizzato a verificare la precisione intrinseca delle misure; i valori dei semiassi maggiori delle ellissi standard piane dovranno risultare minori o uguali a **3 cm**, e lo s.q.m. in quota dovrà risultare minore o uguale a **5 cm**.

Potranno essere accettati eccezionalmente e motivatamente, per una piccola percentuale di punti (non superiore al 5%) dei valori che oltrepassino tali limiti, ma comunque in nessun caso superiori rispettivamente a **5 cm e 8 cm**.

I valori dei semiassi maggiori delle ellissi relative piane riferite a coppie di punti collegate da una base debbono essere minori od uguali a **2 cm** e lo s.q.m. della differenza di quota dovrà risultare minore di **3 cm**

Si sottolinea che le indicazioni riguardo l'altimetria si riferiscono esclusivamente alle quote ellissoidiche risultanti dalla compensazione in blocco delle basi GPS, e non alle quote s.l.m. della rete altimetrica delle quali si tratta separatamente in un paragrafo successivo.

La ditta appaltatrice consegnerà una relazione esauriente relativa al calcolo di compensazione - comprensiva dell'input/output della compensazione finale e l'elenco delle basi eliminate o ripetute - in forma cartacea e su supporto informatico.

Saranno ripetute le basi che convergono sui vertici per i quali i valori suddetti non risultino soddisfatti.

Alla compensazione intrinseca, seguirà una procedura di adattamento alla rete di inquadramento, consistente in una rototraslazione con variazione di scala tridimensionale.

Per la stima dei parametri della trasformazione, eseguita secondo il principio dei minimi quadrati, andranno utilizzati come punti doppi tutti i vertici IGM95 presenti in rete. Le differenze tra le coordinate rototraslate e quelle di monografia (i residui della trasformazione) daranno indicazione della congruenza del nuovo rilievo con le coordinate di monografia.

Se qualche punto di inquadramento presenta residui elevati, superiore a 10 cm, la rototraslazione con variazione di scala sarà eseguita senza tenere fissi i punti fuori tolleranza, le cui coordinate saranno quindi rideterminate ai soli fini dei lavori in appalto comunicando l'inconveniente all'IGM.

4. TRASFORMAZIONE DELLE COORDINATE DEI PUNTI GPS

4.1 – TRASFORMAZIONE NEL SISTEMA ROMA40

I vertici della rete di raffittimento, dovranno essere riferiti al sistema geodetico nazionale ROMA40. Le coordinate saranno ottenute tramite i grigliati ed i relativi software di interpolazione forniti dall'IGM, di imminente pubblicazione.

Attualmente le coordinate nel sistema ROMA40 possono essere determinate tramite una trasformazione conforme a sette parametri (relazione di Helmert, Allegato 1). A tal fine possono essere utilizzati i sette parametri assegnati ai vertici IGM95 aventi validità nell'ambito di circa 10 chilometri dal punto IGM95 stesso.

Ove la zona interessata dal raffittimento sia sufficientemente ampia da comprendere più vertici IGM95 (es. intere Province od anche Regioni), il Direttore dei Lavori può disporre che la determinazione delle coordinate, nel sistema ROMA40, dei punti di raffittimento e/o di dettaglio, avvenga tramite una trasformazione conforme spaziale (rototraslazione con variazione di scala) che consenta l'utilizzo tanto delle quote dei capisaldi, che delle coordinate ellissoidiche dei vertici di inquadramento che infine delle coordinate tridimensionali di punti (definiti in planimetria e quota).

Andranno utilizzati come punti noti in entrambi i sistemi:

- i vertici IGM95 quotati ortometricamente come punti *pieni* ;
- i vertici IGM95 non quotati ortometricamente (come punti noti in due dimensioni);
- i capisaldi della rete di inquadramento altimetrico collegati ai vertici di raffittimento, come punti quota.

Verranno usati di norma almeno 5 punti a quota nota e 4 punti a coordinate ellissoidiche note. Dovranno essere segnalati eventuali residui della trasformazione ritenuti ‘anomali’; l’entità della ‘anomalia’ è strettamente legata alla situazione locale della rete nazionale piano altimetrica; tali anomalie non possono essere imputate alla Ditta appaltatrice se sono state rispettate le specifiche indicate sulla qualità della rete intrinseca e il numero dei punti usati nella trasformazione.

Indicativamente si considerano ‘anomali’ residui sulle componenti dell’ordine di 15 cm e superiori. I vertici di inquadramento inconsistenti che presentano tali residui non verranno utilizzati come punti doppi nella trasformazione, che sarà ripetuta senza di essi.

La trasformazione, eseguita tramite stima a minimi quadrati, fornirà:

- un set di parametri di trasformazione (traslazioni, variazione di scala, rotazioni) validi su tutto il territorio oggetto di rilievo,
- le coordinate ROMA40 dei vertici della rete di raffittimento, ottenute trasformando le coordinate WGS84 (ETRF89) precedentemente calcolate, tramite i parametri stimati.

5. DETERMINAZIONE DELLE QUOTE S.L.M. DEI PUNTI GPS

Le quote sul livello del mare dei vertici della rete di raffittimento saranno derivate dalla rete altimetrica di inquadramento².

Una parte dei vertici, mai inferiore al 15%, dovrà essere collegata direttamente alla rete altimetrica, secondo le modalità di rilievo e calcolo indicate nel seguito. La restante parte dei vertici avrà una quota sul livello del mare (s.l.m.) derivata con l’ausilio del modello di ondulazione del geoide gravimetrico disponibile presso l’IGM.

Per tutti i punti con quota s.l.m. osservata si calcolerà l’ondulazione e si confronterà con quella stimata dal geoide al fine di valutare l’entità degli scarti tra le due determinazioni.

Si potrà affinare, in ambito locale, la stima della trasformazione tra sistema di riferimento del modello del geoide e quello del GPS sulla base dei punti doppi esistenti. Si dovrà quindi istituire una rete altimetrica di raffittimento³ in modo tale che dai suoi capisaldi e da quelli della rete fondamentale eventualmente presenti in zona, sia possibile la determinazione delle quote dei punti GPS richiesta. Lungo le linee di livellazione della rete altimetrica di raffittimento dovrà essere materializzato in modo stabile e permanente un caposaldo ogni 1.000 - 1.500 m di linea livellata, a seconda che si tratti di area urbana o extraurbana.

Potranno essere utilizzate materializzazioni di capisaldi preesistenti, purché diano garanzie di stabilità e vengano rideterminati in quota.

5.1 – PROGETTO DELLA RETE ALTIMETRICA DI RAFFITTIMENTO

Dovrà essere predisposto un progetto della rete di raffittimento altimetrico su una planimetria - a scala adeguata a consentirne l’analisi - che riporti le misure in progetto e i punti collegati con una simbologia che li diversifichi per tipologia:

- capisaldi della rete IGM;

² *Rete altimetrica di inquadramento*: essa è costituita dalla rete altimetrica fondamentale, cioè dall’insieme delle linee di livellazione geometrica d’alta precisione dell’Istituto Geografico Militare, distribuite sull’intero territorio nazionale.

³ *Rete altimetrica di raffittimento*: si considera rete altimetrica di raffittimento ogni rete costituita da linee di livellazione geometrica collegate alla rete fondamentale IGM con i criteri e le precisioni previste dalle Specifiche di *Livellazione di tipo A e di tipo B*.

- vertici IGM95 con quota s.l.m.;
- capisaldi di linee quotati da Enti diversi dall' IGM e preventivamente accettati come capisaldi d'inquadramento dalla D.L.;
- eventuali materializzazioni di vertici già esistenti sul territorio ma da rideterminare;
- vertici della rete di raffittimento GPS a 7 km;
- capisaldi di nuova istituzione.

Sul grafico di progetto andranno evidenziate le linee di livellazione da eseguire.

Per le operazioni di rilievo si farà riferimento alle norme contenute nelle Specifiche per le *Livellazioni di tipo B*.

Il grafico di progetto andrà accompagnato da una relazione tecnica sulle modalità operative e dovrà essere approvato dalla D.L..

5.2 – COMPENSAZIONE DELLA RETE

La rete di raffittimento altimetrico va intesa come una struttura autonoma e auto consistente, rilevata con un numero di dislivelli sufficientemente elevato da consentire un controllo attendibile dal punto di vista statistico della assenza di errori grossolani e della qualità delle misure.

Sarà eseguita una compensazione considerando tutte le osservazioni in un unico blocco; tale compensazione sarà di tipo intrinseco (a minimi vincoli), effettuata tenendo fissa la quota di un solo caposaldo.

Se tale caposaldo appartiene alla rete d'inquadramento, le quote dei vertici della rete risultano già approssimativamente inserite nel Sistema nazionale, e sarà possibile valutare per tutti gli altri punti della rete di inquadramento la differenza tra le quote compensate intrinsecamente e i valori di monografia.

La compensazione intrinseca permetterà di valutare:

- l'assenza di errori grossolani e la qualità delle misure tramite la analisi dei residui e di loro funzioni statisticamente significative (residui standardizzati);
- la precisione raggiunta nella determinazione delle quote, tramite la analisi degli s.q.m. .

La ditta appaltatrice dovrà consegnare il risultato della compensazione intrinseca riportante:

- i residui della compensazione e il loro valore standardizzato;
- gli s.q.m. delle quote compensate intrinsecamente;
- gli s.q.m. della differenza di quota tra capisaldi collegati da misure.

Le misure i cui residui non saranno ritenuti accettabili sulla base di criteri statistici saranno eliminate dal calcolo e, se ritenute indispensabili nel contesto della rete, saranno ripetute.

Lo s.q.m. delle quote dovrà risultare inferiore a **3 cm nel 95%** dei punti e comunque mai superiore a **5 cm**. Lo sqm della differenza di quota tra vertici di rete adiacenti dovrà risultare sempre inferiore a **2 cm**.

5.3 – INSERIMENTO NELLA RETE DI INQUADRAMENTO ALTIMETRICO

La rete di raffittimento altimetrico non è di alta precisione, per cui in linea di principio potrà essere inserita tramite una nuova compensazione nella quale i vertici di inquadramento sono mantenuti fissi alle coordinate di monografia, deformando in tal modo la rete compensata intrinsecamente.

Occorre però preventivamente assicurarsi che tutti i vertici di inquadramento siano attendibili; a questo fine saranno presi in considerazione gli scarti tra le coordinate compensate intrinsecamente e i valori di monografia per i soli capisaldi della rete di inquadramento, ne verrà calcolata la media e la variabilità rispetto a detta media.

Se per qualche punto si riscontrasse una differenza anomala dalla media, tali punti, sentita la D.L., non saranno più considerati noti, ma da ricalcolare come fossero di nuova istituzione; verrà considerata anomala una differenza superiore a **10 cm**.

Una volta verificata l'accettabilità dei vertici di inquadramento, verrà eseguita una compensazione vincolata della rete di raffittimento su quella di inquadramento.

6. COLLAUDO

Il collaudo verrà eseguito sia in corso d'opera, che al termine dei lavori.

6.1 COLLAUDO IN CORSO D'OPERA

Il collaudo in corso d'opera, effettuato in presenza della ditta appaltatrice, prevede la verifica della rispondenza delle procedure adottate a quanto indicato dal presente disciplinare tecnico e dalle direttive della D.L.. Durante ogni verifica a campione verrà redatto un verbale in contraddittorio con il rappresentante della ditta incaricata che potrà apporvi le proprie osservazioni. Al termine della **fase di materializzazione** il Collaudatore dovrà stilare una relazione indicando le modifiche che si rendessero necessarie.

La D.L, sulla base di tale relazione, provvederà ad impartire gli opportuni ordini di servizio alla ditta appaltatrice. La mancata osservanza di tali ordini di servizio comporterà la non accettazione del lavoro e conseguentemente la rescissione del contratto.

6.2 COLLAUDO AL TERMINE DEI LAVORI

Il Collaudatore entro un mese dalla consegna della documentazione finale, eseguirà il collaudo definitivo dei lavori.

Da esso deve risultare:

- la consistenza e la validità della documentazione consegnata (Allegato 2);
- la conformità agli schemi operativi e di calcolo prescritti dal presente Disciplinare tecnico e degli ordini di servizio della D.L.;
- che le misure e le coordinate plano-altimetriche rientrino nei limiti di precisione richiesti.

I controlli sono finalizzati all'accertamento che:

- a) **non meno del 90%** delle basi costituenti la rete di raffittimento e di quelle relative ai punti di dettaglio differiscano in misura uguale o minore alla tolleranze stabilite;
- B) **il rimanente 10%** delle misure differiscano in misura minore od uguale al doppio delle tolleranze stabilite.

È prescritta **la rimisura di almeno il 5%** delle *baseline* e la loro rielaborazione. Le *baseline* saranno scelte secondo il sistema del campione e saranno misurate sotto il diretto controllo del Collaudatore⁴

Le misure per il collaudo saranno eseguite con personale e mezzi dalla ditta appaltatrice, che dovrà inoltre mettere a disposizione del Collaudatore tutti i software utilizzati nelle procedure di calcolo.

Il Collaudatore in particolare accerterà che le *baseline* rimisurate differiscano in misura uguale o minore a **2 cm + 2 ppm** dai corrispondenti valori determinati nel corso dei lavori; redigerà quindi il "1° verbale di collaudo" formulando una delle seguenti valutazioni:

- **accettabile,**
quando sono verificate le condizioni di cui ai punti a) e b);
- **abbisognevole di completamenti e correzioni,**
quando dal risultato del collaudo si individuano manchevolezze ed errori, nella misura superiore a quanto prescritto ai precedenti punti a) e b);

⁴ Il Collaudatore può avvalersi della collaborazione di personale da lui indicato, nel caso non sia stata nominata formalmente una Commissione di Collaudo.

- **non accettabile,**

quando dal risultato del collaudo si individuano errori e manchevolezze in misura maggiore del 30 % del numero delle baseline misurate. Il lavoro non potrà più essere ripresentato al collaudo e pertanto si procederà alla rescissione del contratto.

Nel caso di esito “accettabile”, la D.L. provvederà a comunicare alla ditta appaltatrice l’esito favorevole del collaudo.

Nel caso di esito “abbisognevole di completamenti e correzioni” la ditta appaltatrice dovrà ripetere l’esecuzione delle misure per i punti fuori dal limite della tolleranza di cui alle precedenti prescrizioni. La Commissione di Collaudo assegnerà i giorni necessari alla ripetizione delle misure.

I giorni lavorativi necessari alla ditta appaltatrice per eseguire i completamenti e le correzioni derivanti dal 1° collaudo saranno soggetti alle penalità prescritte.

I giorni lavorativi necessari alla esecuzione delle misure decorreranno dal giorno successivo al ricevimento della raccomandata a.r. con cui la D.L. comunicherà l’esito del collaudo. La ditta appaltatrice comunicherà alla D.L. l’avvenuta rimisura dei vertici bocciati al 1° collaudo.

La Commissione di Collaudo entro trenta giorni solari ripeterà le operazioni di collaudo con le stesse modalità prescritte per il 1° collaudo.

Al termine del 2° collaudo la Commissione redigerà il “2° verbale di collaudo”, formulando sul lavoro una delle seguenti valutazioni:

- **accettabile**, in tale caso si provvederà a comunicare alla ditta l’esito favorevole del collaudo;
- **accettabile salvo completamenti**, nell’eventualità che si riscontrino ancora errori.

La ditta appaltatrice sarà sottoposta a penale il cui importo sarà determinato in funzione del numero dei punti GPS da rideterminare.

Non potranno essere effettuati più di due collaudi con completamenti.

ALLEGATO 1

Relazione di Helmert per riferire i punti determinati, nel sistema di riferimento ROMA40.

Si consideri la seguente espressione:

$$\begin{pmatrix} X_L^1 \\ Y_L^1 \\ Z_L^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_L^G \\ Y_L^G \\ Z_L^G \end{pmatrix} + (1+K) \cdot \begin{pmatrix} 1 & E_Z & -E_Y \\ -E_Z & 1 & E_X \\ E_Y & -E_X & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_G^1 \\ Y_G^1 \\ Z_G^1 \end{pmatrix}$$

dove (X_L^1, Y_L^1, Z_L^1) sono le coordinate del punto 1 nel sistema locale ROMA40;

(X_G^1, Y_G^1, Z_G^1) sono le coordinate del punto 1 nel sistema globale WGS84;

(X_L^G, Y_L^G, Z_L^G) sono le coordinate, nel sistema locale, dell'origine del sistema globale;

$(1+K)$ è il fattore di scala;

(E_X, E_Y, E_Z) sono gli angoli di rotazione, espressi in radianti e agenti in senso antiorario, intorno agli assi coordinati del sistema globale.

Qualora il calcolo di compensazione fornisca i risultati espressi in coordinate ellissoidiche, le coordinate cartesiane (X_G^1, Y_G^1, Z_G^1) potranno essere ricavate con le seguenti formule dove

$$X = (N + h) \cos \mathbf{j} \cdot \cos \mathbf{l}$$

$$Y = (N + h) \cos \mathbf{j} \cdot \sin \mathbf{l}$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h] \sin \mathbf{j}$$

$$N = \text{gran normale} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \mathbf{j}}}$$

a, e : parametri dell'ellissoide

h = quota ellissoidica WGS84

Le coordinate cartesiane (X_L^1, Y_L^1, Z_L^1) , risultanti dalla trasformazione suddetta, saranno trasformate in ellissoidiche, limitatamente alla parte planimetrica, utilizzando le seguenti relazioni

$$\mathbf{j} = \text{arctg} \frac{Z + (e')^2 \cdot b \cdot \sin^3 \mathbf{y}}{P - e^2 \cdot a \cdot \cos^3 \mathbf{y}} \quad \mathbf{l} = \text{arctg} \frac{Y}{X}$$

dove

$$b = a\sqrt{1 - e^2} \quad P = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad \mathbf{y} = \text{arctg} \frac{Z \cdot a}{P \cdot b}$$

ALLEGATO 2

Elaborati e dati da consegnare

Si riassume la documentazione, già descritta nei paragrafi precedenti, che la ditta appaltatrice dovrà presentare al termine dei lavori e che sarà conservata a documentazione dei rilievi effettuati.

A2-1 DOCUMENTAZIONE CARTACEA

Ai fini della documentazione del lavoro svolto per la realizzazione della rete di raffittimento e dei punti di dettaglio:

- progetto della rete di raffittimento e dei punti di dettaglio, comprensivo della relazione e grafico relativo;
- sulla base della ricognizione dell'area di interesse, l'elenco dei vertici di inquadramento che siano risultati in qualche modo inutilizzabili (danneggiati, con impedimento di ricezione, ..ecc.);
- schede di stazionamento dei punti;
- 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 vertici determinati.

A2-2 DOCUMENTAZIONE INFORMATIZZATA

Andranno consegnati su supporto informatico, preferibilmente CD, i *file* relativi a:

- grafico definitivo della rete (formato preferibilmente .dxf o .dgn);
- monografie dei vertici determinati;
- dati grezzi acquisiti ed utilizzati in formato originale (binario proprietario del ricevitore) ed in formato RINEX, relativi a ciascuna sessione;
- *report* ASCII sintetici del calcolo di ciascuna base calcolata;
- input e output ASCII della compensazione intrinseca e definitiva della rete di raffittimento e dei punti di dettaglio.

A2-3 DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALLE DETERMINAZIONI DI QUOTA ORTOMETRICA UTILIZZANDO IL MODELLO TEORICO DI ONDULAZIONE

La documentazione cartacea ed i corrispondenti *file* dovranno contenere:

- tabella e *file* ASCII del valore previsto dal modello dell'ondulazione per tutti i punti GPS da quotare ortometricamente forniti dall'IGM;
- tabella e *file* ASCII delle quote ellissoidiche, ortometriche, e loro differenza, per i punti con quota doppia, qualora si sia optato per una procedura di adattamento locale del modello teorico di ondulazione, effettuata dall'IGM o da altri, e report sulla procedura di adattamento locale suddetta.

A2-4 DOCUMENTAZIONE CARTACEA RELATIVA ALLE OPERAZIONI DI RAFFITTIMENTO ALTIMETRICO

Ai fini della documentazione del lavoro svolto per la realizzazione della rete altimetrica, si fa riferimento a quanto previsto nell'apposito disciplinare tecnico relativo alla livellazione geometrica (Specifiche tecniche di *Livellazione di tipo A o di tipo B*).

ALLEGATO 3

A.3 - 1 PUNTI DI DETTAGLIO

Per particolari applicazioni può essere necessario determinare tramite GPS la posizione di punti di ulteriore raffittimento che abbiano precise caratteristiche di permanenza nel tempo e di affidabilità, pur senza essere vertici di rete. Nel seguito tali punti vengono indicati come “punti di dettaglio”.

A.3 - 2 MATERIALIZZAZIONE E SCHEMA DI RILIEVO DEI PUNTI DI DETTAGLIO

Il tipo di materializzazione dipenderà dagli scopi istitutivi. Per i punti di dettaglio di interesse permanente, si suggerisce di procedere ad una materializzazione del tipo di quella indicata in precedenza per i vertici di rete. In ogni caso il contrassegno dovrà presentare superiormente una superficie curva con bulinatura centrale per il posizionamento planoaltimetrico dell’antenna.

I punti di dettaglio avranno la densità e l’ubicazione prescritte dall’Ente Appaltante secondo le finalità del lavoro; tali punti pertanto **non** avranno necessariamente la configurazione tipica di una rete geodetica (connessione, elevata ridondanza). I punti di dettaglio saranno tuttavia determinati da **almeno due basi** da due punti distinti.

È consentito a tal proposito 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 **non superiore a 5 km**, costituenti una poligonale che non dovrà avere più di **cinque lati** e i cui estremi dovranno appartenere alla rete di raffittimento o di inquadramento.

A.3 - 3 MISURA DELLE BASI RELATIVE AI PUNTI DI DETTAGLIO

Le basi relative ai punti di dettaglio dovranno essere indipendenti e saranno determinate con apparati GPS di tipo geodetico (aventi le precisioni già indicate) secondo la metodologia differenziale statica o rapido statica, con intervallo di campionamento non superiore rispettivamente a 15 e 5 secondi.

La misura dell’altezza dell’antenna avverrà con le stesse procedure descritte in 3.2 per le basi della rete di raffittimento. Per ogni stazione verrà compilata una “scheda di stazione” con le stesse procedure descritte per le basi della rete di raffittimento.

I tempi di acquisizione, espressi in minuti, saranno non inferiori a quelli riportati nella seguente tabella .

Distanze	con 4 satelliti in assenza di <i>cycle slip</i> significativi			con 5 o più satelliti in assenza di <i>cycle slip</i> significativi		
	GPS mono frequenza	GPS doppia frequenza	Rapido statico	GPS mono frequenza	GPS doppia frequenza	Rapido statico
Minori di 5 km	50	30	20	40	20	15
fra 5 e 10 km	70	40	25	50	30	20

Basi di lunghezza superiore a 5 km potranno essere necessarie per il collegamento diretto di punti di dettaglio alla rete di inquadramento, nei casi in cui l’entità del rilievo non richieda l’istituzione di una rete di raffittimento.

In presenza di *cycle slip* o di ostacoli superiori a 15÷20 gradi sull’orizzonte dell’antenna¹ la durata della sessione di misura sarà convenientemente aumentata.

Le basi verranno calcolate e preliminarmente validate, per quanto concerne i *quality factor*, con le stesse modalità descritte per le basi della rete di raffittimento; la soluzione dovrà essere di tipo FIXED.

Nel caso in cui il rilievo dei punti di dettaglio sia realizzato con un schema “a poligonale” con numero di lati minore o uguale a 5 e con i punti iniziale e finale coincidenti con un vertice di raffittimento o IGM95, la validazione dalle basi avverrà con il controllo di seguito descritto.

La distanza cartesiana calcolata a partire dalle somme algebriche dei valori dx, dy, dz delle singole basi di ogni poligonale chiusa, dovrà differire da zero o dalla distanza cartesiana tra i due estremi medesimi (calcolata a partire dalle rispettive coordinate X_1, Y_1, Z_1 e X_2, Y_2, Z_2) per meno di:

$$t_D \text{ (mm)} = 50 + 1.5 \times L_{km},$$

dove L_{km} è la somma delle lunghezze della poligonale espressa in chilometri:

$$\left| \sqrt{(\sum dx)^2 + (\sum dy)^2 + (\sum dz)^2} - \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2} \right| \leq \tau_D$$

(tale tolleranza è di tipo esclusivamente empirico)

Le basi facenti parte di poligoni che non soddisfino le tolleranze suddette verranno ripetute, mentre quelle validate entreranno a far parte del calcolo di compensazione.

A.3 - 4 CALCOLO DELLE COORDINATE DEI PUNTI DI DETTAGLIO

Nel caso di adozione dello schema a poligonale, il calcolo delle coordinate nel sistema WGS84(ETRF89) dei vertici di dettaglio, avverrà per compensazione di ciascuna delle poligoni che li definiscono, fissando i punti iniziali e finali al valore delle coordinate ricavati dalla compensazione della rete di raffittimento.

Nel caso di collegamento di un punto di dettaglio isolato con due o più basi, le coordinate saranno determinate mediante compensazione delle basi indipendenti che collegano il punto ai vertici della rete.

I valori dei semiassi maggiori delle ellissi standard piane dovranno risultare minori o uguali a **4 cm**, e lo s.q.m. in quota dovrà risultare minore o uguale a **5 cm**.

Le coordinate nel sistema ROMA40 saranno ottenute tramite i grigliati ed i relativi software di interpolazione forniti dall'IGM, se disponibili, o tramite una rototraslazione con variazione di scala tramite parametri stimati, in conformità con quanto fatto per i vertici della rete di raffittimento.

Calcolo delle quote dei punti di dettaglio

Le quote dei punti di dettaglio saranno calcolate applicando le ondulazioni del geoide ai valori di quota ellissoidica ottenuti nella compensazione, in conformità con quanto fatto per i vertici della rete di raffittimento non direttamente quotati con livellazione.

Monografie dei punti di dettaglio

La completezza delle monografie dipenderà dagli scopi istitutivi dei punti di dettaglio, in particolare in funzione delle desiderate caratteristiche di permanenza nel tempo.

Le monografie descritte per i vertici di rete delle quali si auspica l'uso, potranno perciò essere semplificate, fermo restando che debbono comunque contenere:

- nome dell'Ente Appaltante;

- mese ed anno del rilievo;
- codice del vertice;
- schizzo monografico della materializzazione e della zona circostante;
- coordinate geografiche nel sistema WGS84(ETRF89) e ROMA40;
- coordinate piane GAUSS-BOAGA;
- quota ellissoidica;
- quota s.l.m., con indicazione dell'ondulazione usata per il calcolo;
- stralcio della cartografia (alla scala 1:25 000 o maggiore) con “frecciatura” indicante la posizione del punto;
- fotografia della materializzazione sullo sfondo di particolari circostanti di facile individuazione;

Tutte le informazioni monografiche saranno rese numeriche, e l'intera monografia sarà memorizzata in un file in formato leggibile da software di larga diffusione.