

**Adozione del Sistema di riferimento geodetico nazionale**

**Allegato 4**

**Specifiche tecniche per le stazioni permanenti per i servizi di posizionamento in tempo reale**

## **Introduzione**

Scopo delle presenti linee guida è quello di mettere a disposizione dei gestori delle reti di stazioni permanenti la sintesi minima indispensabile per la “buona gestione” dei servizi per il tempo reale nell’interesse operativo ed economico che questi stanno acquisendo per l’aggiornamento cartografico sicuro e di qualità dei dati della Pubblica Amministrazione.

Servizi che risultano estremamente utili per il rilevamento topografico di aggiornamento di cartografia tecnica e catastale; tanto importanti per gli enti cartografici che già alcune Regioni si sono dotate di una rete locale di stazioni permanenti di carattere regionale e che anche l’Agenzia del Territorio si è dotata di una rete locale sperimentale.

*prima versione novembre 2009*

## **Definizioni e acronimi**

Si definiscono Stazioni Permanenti (SP) i complessi strumentali di misura costituiti principalmente da antenna e ricevitore satellitare di tipo Global Navigation Satellite System (GNSS), in grado di fornire, senza soluzione di continuità temporale, misure di fase e di codice ad un centro di calcolo. Le SP per servizi di posizionamento in tempo reale si caratterizzano in particolare per essere connesse ad un centro di controllo che fornisce in tempo reale ad una potenziale utenza, dati utili per il posizionamento satellitare di precisione.

Lo standard di riferimento per la monumentazione delle SP appartenenti alle reti di SP per servizi di posizionamento in tempo reale è quello IGS-EUREF (“Guidelines for EPN Stations and Operational Centres”).

## **1. I CRITERI E I VINCOLI PER LA LOCALIZZAZIONE DI DETTAGLIO DI UNA SP PER SERVIZI DI POSIZIONAMENTO IN TEMPO REALE**

Le principali accortezze che devono essere seguite per quanto riguarda la localizzazione preliminare dei siti sono le seguenti:

1. l'antenna e il ricevitore saranno localizzati presso strutture vigilate e non accessibili ad estranei;
2. antenna e ricevitore dovranno essere accessibili al personale del Servizio in orari lavorativi diurni; è preferibile che l'accessibilità sia garantita sulle 24 ore;
3. è necessaria la presenza di personale di riferimento in loco per consentire sopralluoghi in caso di anomalie di funzionamento ed un primo intervento per il recupero di situazioni emergenza; deve comunque essere organizzata la possibilità di intervento in tempi brevi da parte di personale specializzato.

I siti devono essere collocati presso strutture dotate di alimentazione elettrica e connessione alla rete di comunicazioni dati e che si trovino in zone geologicamente e localmente stabili.

Per la monumentazione dell'antenna una tipica installazione può essere su una struttura artificiale, quale ad esempio un tetto di edificio. I requisiti per l'ubicazione dell'antenna sono i seguenti:

1. nel cono di visibilità del cielo avente per vertice l'antenna della SP e angolo d'elevazione sull'orizzonte di  $15^\circ$  non devono essere presenti ostacoli che impediscono la ricezione dei satelliti nella zona compresa fra la direzione di azimut  $30^\circ$  e la direzione di azimut  $330^\circ$ ; in territorio montano o comunque particolare è ammessa la presenza di ostacoli nella fascia azimutale suddetta, che abbiano elevazione o estensione azimutale limitata;
- 2 non devono esservi superfici riflettenti vicino all'antenna in grado di creare multipath;
- 3 in prossimità dell'antenna non devono esservi fonti di onde elettromagnetiche in grado di interferire con il segnale GNSS (impianti televisivi, per telefonia mobile e ponti radio, elettrodotti, ecc.).

### **1.1 La validazione finale dei siti**

Su tutti i siti dovranno essere effettuate prove di acquisizione nelle seguenti modalità:

1. identificazione o segnalazione di un caposaldo provvisorio entro al più 5 metri dal sito definitivo;

2. installazione sul caposaldo mediante treppiede di una antenna connessa ad un ricevitore GNSS del tutto simile alla strumentazione da installare quale SP, garantendo stabilità migliore di 1 cm durante l'acquisizione;
3. misura dell'altezza d'antenna rispetto al caposaldo, ripetuta 3 volte sia all'inizio sia alla fine del rilievo;
4. 48 ore di acquisizione continua con strumentazione del tutto simile a quella che verrà utilizzata per le SP;
5. intervallo di acquisizione di 1 secondo, angolo minimo di elevazione a 0°.

Al fine della validazione del sito, per ciascuna sessione di misura dovrà essere richiesto da parte dell'Ente gestore della rete, oltre ai file di dati in formato RINEX, la documentazione attestante:

1. le date e gli orari di inizio e fine misura;
2. la strumentazione utilizzata per la prova;
3. le altezze d'antenna misurate;
4. le *fotografie* digitali dell'installazione prese dai 4 punti cardinali;
5. le fotografie digitali dell'installazione prese in direzione dei 4 punti cardinali.

L'analisi di qualità del sito sarà condotta mediante il controllo di qualità delle osservazioni, ovvero la valutazione del rumore correlato e scorrelato e della numerosità dei cycle slip:

ciò verrà eseguito con programmi facilmente acquisibili, come ad esempio TEQC (<http://www.unavco.org/facility/software/teqc/teqc.html>); dovrà inoltre essere condotta la compensazione della sessione, ripartita in 8 sottosessioni di 6 ore, rispetto ad altre SP di coordinate note, tipicamente della rete globale IGS (Beutler et al., 1999, <http://igscb.jpl.nasa.gov/>) o della rete europea EPN (Adam et al., 1999, <http://www.epncb.oma.be/>); a partire dalla compensazione sarà possibile effettuare sia l'analisi dei residui di osservazione relativi alle compensazioni delle singole sottosessioni sia l'analisi di coerenza e ripetibilità dei risultati forniti dalle sottosessioni. L'accettazione definitiva del sito verrà effettuata quando:

- la percentuale di osservazioni GNSS effettuate rispetto a quelle possibili risulterà essere maggiore del 99%;
- i residui di compensazione per le tre coordinate Nord, Est, quota risulteranno essere inferiori a 5 mm per le componenti Nord e Est e 10 mm per la componente quota.

## **2. L'INSTALLAZIONE DELLE STAZIONI PERMANENTI**

Nel presente paragrafo si analizzano quali siano i requisiti essenziali per una corretta installazione delle SP, ovvero le caratteristiche della strumentazione e le regole operative per la corretta messa in opera della SP.

### **2.1 Le caratteristiche di ricevitori e antenne**

I ricevitori dovranno rappresentare lo stato dell'arte della tecnologia GNSS per SP.

#### Caratteristiche minime del ricevitore

1. possibilità di campionamento dei dati ad almeno 1 Hz;
2. tracciare segnali GPS di codice e fase sulle frequenze trasmesse;

3. possibilità di trasmissione al centro di controllo in tempo reale dei dati di codice e di fase in formati standard (RTCM, BINEX; etc.);
4. presenza di una porta di rete RJ45 che supporti i protocolli Ethernet;
5. presenza di ulteriori 3 interfacce seriali o USB per ulteriori connessioni (ad esempio un'eventuale connessione dati di backup, una connessione mediante PC locale e una centralina meteo, ecc);
6. presenza di una memoria interna al ricevitore in grado di archiviare almeno 3 giornate di osservazione acquisite con campionamento dei dati a 1 secondo;
7. capacità di memorizzare contemporaneamente i dati nella memoria interna del ricevitore e di trasmetterli al centro di controllo (in modo autonomo: ftp push, o comandato dal centro).

#### Caratteristiche opzionali (auspicabili) del ricevitore:

1. possibilità di campionamento dei dati con frequenza maggiore di 1 Hz (5 o 10 Hz);
2. possibilità di tracciare qualsiasi satellite visibile GNSS e eventuali nuove frequenze;
3. possibilità di fornire output di un segnale di sincronizzazione di tempo;
4. possibilità di ricevere un segnale di sincronizzazione esterno (orologio atomico) e disponibilità della relativa porta di ingresso;
5. apposito SW per gestire le misure di pressione, temperatura e umidità acquisite da un'eventuale centralina meteo collegata al ricevitore GNSS.

#### Caratteristiche dell'antenna

1. di tipo Choke ring o con prestazioni certificate simili (si veda a proposito il documento [ftp://epncb.oma.be/pub/station/general/rcvr\\_ant.tab](ftp://epncb.oma.be/pub/station/general/rcvr_ant.tab));
2. con appoggio in posizione orizzontale e orientata a Nord;
3. siano note le eventuali eccentricità (calcolate rispetto all'Antenna Reference Point) rispetto al riferimento stabile;
4. sia noto il comportamento del centro di fase per ciascuna frequenza tracciata al variare della posizione dei satelliti (calibrazione assoluta e relativa EPN/IGS);
5. l'uso di Radome è accettato solo se esiste la calibrazione assoluta dell'antenna con Radome.
6. sia collegata al ricevitore tramite cavo coassiale di lunghezza non superiore a 30 m dotato di dispositivo di salvaguardia dalle sovratensioni.

## **2.2 Ulteriore Hardware presso la SP**

### Strumentazione necessaria

- Gruppo di continuità connesso al solo ricevitore, tale da garantire 3 giornate di autonomia per la registrazione continua dei dati.

### Strumentazione opzionale

- dispositivi per garantire il funzionamento della SP anche da remoto (webcam, possibilità di accensione e *reset* del ricevitore tramite SMS, ecc.)
- orologio atomico esterno connesso al ricevitore;

- stazione meteo (pressione, temperatura e umidità) interfacciata al ricevitore in modo che possano essere registrate le osservazioni e trasferiti ai centri di raccolta i file RINEX.

## **2.3 La monumentazione delle Stazioni Permanenti**

### **2.3.1 La monumentazione dell'antenna**

Il pilastrino di supporto dell'antenna può essere realizzato indifferentemente in cemento armato, acciaio inossidabile o altri materiali che garantiscano qualità e durabilità nel tempo. Il pilastrino deve inoltre essere monumentato in modo da minimizzare effetti di multipath dovuti al pilastrino stesso, in accordo alle linee guida UNAVCO (<http://www.unavco.org/>).

Il pilastrino deve avere un dimensionamento tale da garantirne la solidità e l'assoluta resistenza a vibrazioni e deformazioni lente nel tempo; si pone una tolleranza di 0.5 mm per tali aspetti strutturali.

Sulla sommità del piastrino deve essere fissato stabilmente un contrassegno metallico che consenta il centramento forzato del supporto a cui andrà ancorata l'antenna. Il congegno di autocentramento deve garantire il perfetto riposizionamento planimetrico in caso di smontaggio e rimontaggio dell'antenna. Il contrassegno deve rendere possibile l'identificazione di un piano orizzontale inamovibile (Piano di Paragone) al quale andranno riferite le altezze; a tale PP andrà riferita l'altezza della base dell'antenna con incertezza non superiore a 0.5 mm. Il supporto a cui si ancora l'antenna deve consentire l'orizzontamento, l'orientamento ed il bloccaggio di quest'ultima.

### **2.3.2 L'alloggiamento del ricevitore**

Il ricevitore sarà ospitato in ambiente chiuso, o comunque isolato dalle intemperie e provvisto di alimentazione elettrica, alloggiato in un armadio rack con serratura. Il cavo di connessione fra antenna e ricevitore dovrà essere inserito in una guaina protettiva e isolante. Nel caso di installazione in un unico edificio, ove tecnicamente possibile, il cavo correrà nei cavedii dell'edificio ospitante; ove non possibile si dovrà realizzare una canalina rigida opportunamente ancorata alla struttura. Nel caso di passaggio in terreno aperto dovranno essere studiate soluzioni adeguatamente protette.

### **2.3.3 La rete di controllo locale**

Vista la funzione alla quale devono sovrintendere le SP per servizi di posizionamento in tempo reale e la continua rimisura della posizione relativa alla quale esse sono sottoposte dal Centro di controllo, non si ritiene necessario istituire una rete di controllo locale realizzata "ad hoc".

Nel caso in cui si rendesse comunque necessario un controllo topografico periodico delle deformazioni, si realizzerà una rete locale di almeno tre vertici; i suddetti vertici dovranno:

1. permettere uno stazionamento di precisione;
2. essere ad una distanza inferiore a 50 m dalla SP e approssimativamente alla sua stessa quota;
3. preferibilmente costituire un poligono regolare, centrato sulla SP;
4. preferibilmente essere all'interno della proprietà in cui si trova la SP;

E' caratteristica utile che i vertici della rete di controllo e la SP siano strutturate in modo da permettere misure dai vertici alla SP, anche senza dovere smontare l'antenna. A tal fine è vantaggioso che sia materializzato un vertice della rete di controllo, nelle immediate vicinanze della

SP e ad essa solidale. Le misure di controllo potranno essere sia di tipo plano-altimetrico, sia solo di tipo altimetrico.

### **3. CONNESSIONE FRA STAZIONI PERMANENTI E CENTRO DI CONTROLLO**

Per consentire il funzionamento di una rete di SP per servizi di posizionamento in tempo reale è necessario che ciascuna SP sia connessa in rete con un centro di controllo.

Al fine di garantire l'affidabilità dei servizi in tempo reale (fatti salvi i casi eccezionali, non imputabili all'infrastruttura della rete di SP) è necessario che:

- la latenza media di trasmissione tra la SP e il centro di controllo, calcolata su base giornaliera, sia non superiore a 500 ms;
- il numero medio di pacchetti dati persi ogni giorno (differenza tra dati attesi e dati registrati), calcolato su base settimanale, deve essere inferiore a 10.

La connessione del centro di controllo alla rete dati deve tenere conto della necessità di acquisire contemporaneamente da tutte le SP, come anche di distribuire dati alla propria utenza: pertanto presso il centro di controllo dovrebbe essere presente un router che gestisca collegamenti con capacità di trasmissione non inferiore a 2 Mbit/s.

E' inoltre necessario prevedere un canale di comunicazione di backup fra SP e centro di controllo, almeno per la trasmissione dei dati in tempo reale, qualora la densità delle SP sia tale che la caduta di una di esse comprometta la funzionalità del servizio.

### **4. CENTRO DI CALCOLO**

Il dimensionamento dell'hardware (HW) installato presso il centro di controllo deve essere conformato al numero delle SP della rete, ai requisiti del software (SW) di governo e analisi della rete e dal numero massimo di utenti supportati. I requisiti HW devono quindi essere chiaramente definiti dal fornitore del SW di governo e analisi della rete.

E' opzionale la realizzazione di sistemi di "backup a caldo" tramite duplicazione (mirror) dell'intero sistema, in grado di subentrare automaticamente, ovvero senza alcuna interruzione nell'erogazione dei servizi, in caso di malfunzionamento del sistema primario.

Nel seguito si discutono le funzionalità essenziali del SW di governo e analisi installato presso il centro di controllo.

#### **4.1 Le caratteristiche del SW di governo e analisi della rete**

Le richieste seguenti non dettano indicazioni sulla struttura del SW, ma descrivono le funzioni che esso deve svolgere e alcune caratteristiche generali.

Il SW del centro di controllo deve funzionare con un HW e un sistema operativo facilmente reperibili. Lo stesso SW deve presentare un'interfaccia utente ergonomica e di semplice utilizzo. Le funzioni svolte dal SW della rete si considerano suddivise in sei aree principali:

1. autenticazione del dato proveniente delle singole SP,
2. verifica del funzionamento delle SP e generazione di eventuali allarmi,
3. regolazione dei parametri di configurazione dei ricevitori,
4. trasferimento e archiviazione dei dati,
5. gestione dei dati della rete nel suo complesso,

6. elaborazione dei dati (per la generazione delle correzioni differenziali e di altri prodotti),
7. distribuzione dei prodotti all'utenza.

Le verifiche e le operazioni che riguardano la singola SP devono essere possibili sia dal centro di controllo sia da un PC portatile connesso temporaneamente in locale. Per tal motivo il sw della rete, oltre a risiedere nel centro di controllo, include moduli installati nei ricevitori e in un calcolatore (tipo PC portatile) temporaneamente collegato per operazioni di manutenzione e controllo dei ricevitori.

Le operazioni di verifica del funzionamento dei ricevitori, regolazione dei parametri di configurazione, trasferimento e archiviazione dei dati devono essere eseguibili in modo unificato dal centro di controllo mediante dialogo simultaneo e/o coordinato con tutte le SP, secondo le funzionalità minime qui sotto riportate.

#### **4.1.1 La verifica del funzionamento dei ricevitori**

Tramite il sw di gestione e analisi dovrà essere possibile verificare almeno:

1. stato dell'alimentazione (comunicata dal ricevitore o dal sistema di alimentazione),
2. stato delle linee di comunicazione,
3. satelliti in visibilità e regolarmente acquisiti, con i rapporti segnale rumore.

#### **4.1.2 Le verifiche di corretto funzionamento del sistema**

Le verifiche di funzionamento del sistema dovranno lavorare anche in automatico e, sempre in automatico, elevare opportuni allarmi presso il centro di controllo e mediante comunicazioni telematiche.

Dovrà essere possibile controllare i seguenti parametri:

1. aggiornamento del SW e del firmware del ricevitore,
2. reset del ricevitore e ripristino della configurazione base,
3. impostazione dei parametri della stazione, secondo gli standard IGS: marker name e marker number, tipo e altezza d'antenna;
4. scelta della maschera di elevazione,
5. attivazione e disattivazione dell'acquisizione dei dati,
6. intervallo di campionamento dei dati,
7. attivazione e disattivazione del trasferimento dati,
8. scelta della durata dei file per i file da archiviare nella memoria interna del ricevitore,
9. formato per la trasmissione dei dati (RTCM, BINEX, proprietari, altri).

#### **4.1.3 Il trasferimento dei dati**

Per il trasferimento al centro di controllo e archiviazione dei dati, dovrà essere possibile:

1. nell'eventualità in cui si predisponga una linea di trasmissione secondaria di backup, scegliere in automatico il canale di trasferimento dei dati dal ricevitore al centro di controllo, in funzione dello stato dei due canali di trasmissione ipotizzati;



2. trasferire in automatico e in tempo reale i dati per il posizionamento relativo in tempo reale, di codice e di fase, in formato RTCM (2.x o successivo), BINEX o proprietario;
3. trasferire in automatico gli ultimi file memorizzati nel ricevitore e non ancora trasferiti;
4. trasferire in manuale qualunque file ancora in memoria nel ricevitore;
5. scegliere in modo non esclusivo il formato (RINEX, RINEX compresso, proprietario) di archiviazione dei dati presso il centro di controllo;
6. scegliere in modo non esclusivo l'intervallo di campionamento e la durata delle sessioni di osservazione per l'archiviazione dei file di dati.

E' opzionale l'archiviazione presso il Centro di Controllo delle correzioni generate in tempo reale dal ricevitore, soprattutto in previsione della fornitura di servizi certificati.

#### **4.2 La gestione complessiva della rete**

Le operazioni descritte nei punti precedenti dovranno essere applicabili all'insieme dei ricevitori mediante un unico programma di controllo della rete. Tutte le operazioni automatiche (ovvero verifica di funzionamento, trasferimento e archiviazione dei dati) dovranno essere pianificabili. Il SW dovrà provvedere al calcolo automatico di alcuni parametri per la valutazione del buon funzionamento dei ricevitori e della rete nel suo complesso; si indicano a titolo di esempio:

1. esecuzione di calcolo preliminare di inquadramento, tramite idoneo software scientifico, della rete nel sistema di riferimento che si intende erogare;
2. esecuzione periodica della compensazione (post-processamento) della rete (ad esempio per sessioni giornaliere) con il software di cui al punto precedente;
3. valutazione del numero di dati acquisiti rispetto a quelli acquisibili;
4. valutazione del numero di dati in singola frequenza rispetto a quelli in doppia frequenza;
5. stima della percentuale di dati identificati come outlier rispetto ai dati acquisiti;
6. stima del livello di rumore delle misure di codice e fase.

Il SW dovrà consentire inoltre:

7. la generazione e invio di rapporti sullo stato generale della rete;
8. la stima in tempo reale dei disturbi e degli errori sulle osservazioni di codice e fase delle SP;
9. la modellizzazione di rete dei disturbi e degli errori e stima delle correzioni;
10. la gestione razionale e backup automatico dei database associati alle stazioni (monografie, rapporti di funzionamento e qualità, dati grezzi e derivati);
11. la capacità di dialogare anche con ricevitori di marca e/o tipo diversi da quelli acquisiti per la realizzazione della rete, tramite l'utilizzo di formati dati di tipo standard;
12. la capacità di assorbire dati provenienti da stazioni diverse da quelle inizialmente previste nella rete;

13. l'adeguamento automatico del processo di calcolo a situazioni mutevoli (es.: interruzioni accidentali temporanee del collegamento con uno o più ricevitori);
14. l'archiviazione delle misure e degli altri dati in un archivio razionalmente strutturato e facilmente accessibile.

### **4.3 L'elaborazione dei dati e l'erogazione dei servizi**

Il SW del centro di controllo dovrà eseguire le seguenti operazioni:

1. compensazione periodica (post-processamento) della rete;
2. stima in tempo reale dei disturbi e degli errori sulle osservazioni di codice e fase delle SP;
3. modellizzazione di rete dei disturbi e degli errori e stima delle correzioni;
4. adeguamento automatico del processo di calcolo a situazioni mutevoli.

In particolare, a livello di erogazione dei servizi, il SW della rete dovrà eseguire le seguenti operazioni:

1. generazione dei dati che hanno generato le soluzioni da distribuire agli utenti per il posizionamento relativo in tempo reale; loro distribuzione e loro backup;
2. generazione dei dati da distribuire agli utenti per il posizionamento relativo in post-processamento; loro distribuzione e loro backup;
3. possibilità di gestione e rendicontazione delle richieste di accesso da parte degli utenti.

Dati, osservazioni e prodotti per il tempo reale e per il postprocessamento devono essere generati sfruttando in modo combinato e ottimale le misure delle SP della rete.

Le osservazioni e i prodotti per il postprocessamento devono essere calcolati a partire dai dati delle SP scaricati periodicamente con modalità robuste, controllate e non dalle correzioni già generate in tempo reale: questa condizione risulta infatti più conservativa rispetto a eventuali problemi di connessione dati fra SP e centro di calcolo occorsi nel tempo reale.

Le correzioni in tempo reale devono essere trasmesse all'utente in modo tale che lo stesso possa ottenere la posizione del ricevitore rover in un sistema di riferimento individuato con certezza. Esso sarà di tipo globale, (ITRFXX, IGSXX), regionale (ETRFXX) o nazionale attualmente in uso (RDN), selezionabile a seconda del tipo di applicazione tramite l'utilizzo di un set di parametri di trasformazione, messo a disposizione dal centro di controllo.

## **5. SERVIZI NON DI TIPO SCIENTIFICO**

Per fornire servizi non di tipo scientifico ma solo di carattere topografico/cartografico, di navigazione ecc., in particolare per estendere la copertura delle stazioni in zone di montagna, possono essere utilizzate anche stazioni permanenti con monumentazione e caratteristiche "non conformi" a quelle previste nel presente allegato 4.