

La geomatica per le verifiche dei sistemi di trasporto a fune

R. Cefalo (*), A. Piemonte (**), G. Sciuto (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria ed Architettura, Università degli Studi di Trieste, Via Valerio 6/1 - 34127 Trieste, tel. 040 558 3585, e-mail cefalo@dicar.units.it, giuliana85@gmail.com

(**) Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Università di Pisa, Largo Lucio Lazzarino 1, 56123 Pisa, tel 050 221 7773, e-mail andrea.piemonte@dic.unipi.it

Riassunto

In questo lavoro si illustrano i primi risultati di una ricerca innovativa relativa all'applicazione di tecniche di rilievo cinematico GNSS (Global Navigation Satellite System) integrate INS (Inertial System) su impianti funiviari, per il monitoraggio delle oscillazioni delle cabine sia in fase di collaudo che durante la fase di esercizio.

Nella prima serie di tests presentati, relativi alla funivia di Ravascletto (UD), sono stati installati due ricevitori GNSS sul tetto della cabina allo scopo di ricostruire l'involuppo della catenaria e di monitorare le oscillazioni della cabina a seguito di variazioni della velocità di esercizio.

Nella seconda serie di test, relativi alla cabinovia di Alleghe (BL), è stato utilizzato un sistema GPS integrato con INS (piattaforma inerziale tridimensionale POSLV Applanix) per monitorare l'effetto sulle cabine di brusche frenate, conseguenti ad arresti di emergenza simulati.

Queste misure hanno lo scopo di verificare il rispetto dei parametri imposti dalla normativa vigente sugli impianti che attualmente non prevede il monitoraggio della posizione delle cabine né durante la fase di collaudo, né durante l'esercizio dell'impianto.

Inoltre, al passaggio del veicolo sui piloni questi subiscono una torsione la cui entità deve essere contenuta entro un valore massimo definito dalla normativa nazionale ed europea.

Per verificare il rispetto di tale prescrizione, sono state eseguite misure con l'utilizzo di una stazione totale motorizzata ad inseguimento automatico della mira che ha permesso di registrare con continuità gli spostamenti tridimensionali della scarpa del traliccio.

Abstract

In this paper the first results of an innovative research based on the application of kinematic GNSS/INS techniques on cableways, for the monitoring of cabin oscillations both during the testing than during the operative phase, are presented.

In the first presented tests, relative to Ravascletto (UD) cableway, two GNSS receivers have been installed on the cableway cabin in order to reconstruct the catenary and to monitor the cabin oscillations due to speed variations.

In the second test series, relative to Alleghe (BL) cableway, GNSS instrumentation integrated with INS (a tridimensional POSLV Applanix inertial platform) has been used, in order to monitor the effect of sudden breaks on the cabins, due to emergency simulated stops.

The aim of these measurements is to verify the respect of some parameters fixed by actual Italian and European norms that do not foresee any cabin positioning monitoring neither during the testing phase, nor during the operative one.

Furthermore, during the passage of the cabins on the pillars, they suffer a torsion effect which entity needs to be maintained below a maximum value defined by national and European rules.

In order to verify the respect of this rule, some measurements using a high accuracy motorized total station allowing the continuously recording of the tridimensional pillar displacements, have been performed.

1. Introduzione

L'integrazione di metodologie geodetiche satellitari con tecniche di rilevamento topografiche classiche può essere impiegata in ambiti inusuali come quelli dei trasporti speciali, fornendo misure di posizionamento di alta precisione.

In questo lavoro si illustrano i primi risultati di una ricerca innovativa relativa all'applicazione agli impianti funiviari di misure geodetiche GNSS integrate con misure inerziali, per il monitoraggio del movimento delle cabine dell'impianto, sia durante la fase di collaudo che durante quella di esercizio.

Per i test cinematici sono stati utilizzati ricevitori geodetici GNSS L1/L2 ed una piattaforma inerziale tridimensionale di elevate prestazioni.

Nella prima serie di test, eseguiti sull'impianto FUNIFOR di Ravascletto (UD), sono stati installati due ricevitori GNSS a bordo di una delle due cabine allo scopo di ricostruire l'involuppo delle catenarie, mentre nella seconda serie di test, relativi alla cabinovia di Alleghe, sono stati utilizzati due ricevitori geodetici GPS+GLONASS (HyperPro Topcon), un ricevitore geodetico GPS (Legacy Topcon), un ricevitore GPS+GLONASS Leica 1200, con scheda di rete per la ricezione delle correzioni di fase dalle stazioni permanenti delle reti Marussi FVG, e FReDNet OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste) ed una piattaforma INS (INertial System) (sistema POSLV Applanix) per monitorare l'effetto di brusche frenate sulle cabine.

Queste misure hanno lo scopo di verificare il rispetto di alcuni limiti imposti dalla normativa vigente sugli impianti funiviari (Normativa Europea, EN e normativa nazionale "Prescrizioni Tecniche Speciali", PTS) che attualmente non vengono eseguiti né durante la fase di collaudo né durante quella di esercizio.

Al passaggio del veicolo inoltre, i piloni che suddividono in più parti la campata della funivia, subiscono una torsione, la cui entità deve rientrare in un valore massimo definito dalle normative nazionale ed europea.

A tale scopo è stata utilizzata una stazione totale ad inseguimento automatico della mira che ha permesso di registrare con continuità gli spostamenti tridimensionali della scarpa del traliccio.

2. Descrizione dei test effettuati per la ricostruzione dell'involuppo delle catenarie

L'impianto su cui sono stati effettuati i primi test è la funivia FUNIFOR di Ravascletto (UD). Si tratta di un impianto a va e vieni, con due funi portanti e una unica fune traente. Il percorso è lungo 2 km, con un dislivello totale di 830 m circa ed una stazione intermedia con due campate di uguale lunghezza.

Per monitorare la traiettoria del veicolo sono stati installati a bordo della cabina 2 ricevitori Topcon, un HyperPro GPS+GLONASS ed un Legacy GPS, quest'ultimo con frequenza di campionamento fino a 50 Hz (Fig.1).

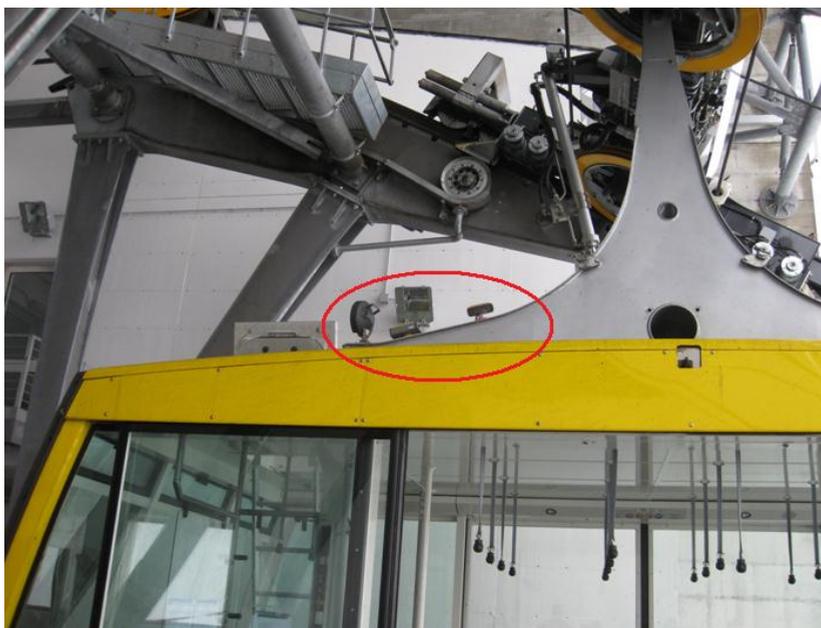


Fig. 1. La cabina dell'impianto funiviario di Ravascletto – nel dettaglio si vedono il ricevitore HyperPro Topcon e l'antenna del ricevitore Topcon Legacy.

Il master è stato posizionato nei pressi della stazione di monte, in una posizione con visuale aperta e priva di ostacoli. La frequenza di campionamento è stata impostata per tutti i ricevitori a 5 Hz, adeguata alla frequenza dei movimenti da monitorare.

La metodologia impiegata è stata quella differenziale di fase, con post elaborazione dei dati.

Per le elaborazioni dei dati è stato utilizzato il software commerciale Topcon Tools.

I dati grezzi della stazione fissa sono stati elaborati con i dati della stazione Zouf (Cercivento) della rete di stazioni permanenti FRedNET dell'Ogs (Osservatorio geofisico sperimentale, Borgo Grotta Gigante, Trieste), per il calcolo delle sue coordinate tridimensionali.

Successivamente i dati di fase registrati dalla stazione master sono stati elaborati con i dati dei due ricevitori rover, per ricavare la traiettoria della cabina.

Le coordinate dei punti ottenuti sono il risultato di un'elaborazione alle doppie differenze di fase; come noto, la tipologia della soluzione può essere di tipo *fix*, *float* o *partial*, a seconda che le ambiguità di fase siano state fissate ai valori interi nelle equazioni alle doppie differenze relative a tutti i satelliti in vista (soluzione *fix*), non fissate ai valori interi (soluzione *float*), oppure fissate ai valori interi solo per alcuni dei satelliti in vista (soluzione *partial*).

A tutte le coordinate dei punti così calcolati sono stati associati i valori della deviazione standard nelle tre componenti Nord, Est UTM-WGS84 e Quota WGS84.

Nel caso in cui, a seguito di cycle slip, le coordinate del punto vengono ottenute con misure di codice differenziale o Stand-Alone, non sempre viene sempre assegnato dal software il valore dello scarto quadratico medio (sqm).

Si riportano di seguito i grafici ottenuti raggruppando i punti caratterizzati da un valore di deviazione standard inferiore a 4 cm, e quindi significativi per la ricostruzione dell'andamento delle catenarie, quelli caratterizzati da deviazione standard superiore a 4 cm e infine quelli per i quali il software non fornisce il valore della precisione.

I valori delle deviazioni standard riportati sono associati alla quota ellissoidica WGS84, e alle coordinate Est e Nord UTM-WGS84.

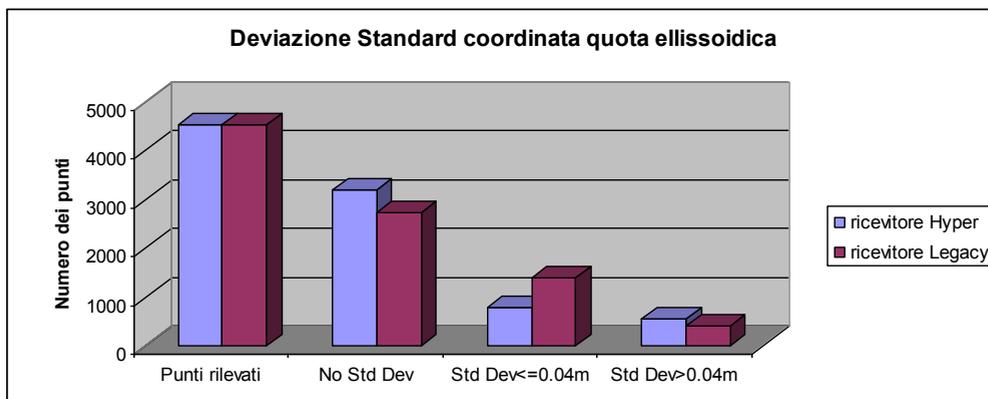


Fig. 2. Grafico a barre con l'indicazione delle precisioni associate ai punti elaborati nella componente Quota WGS84.

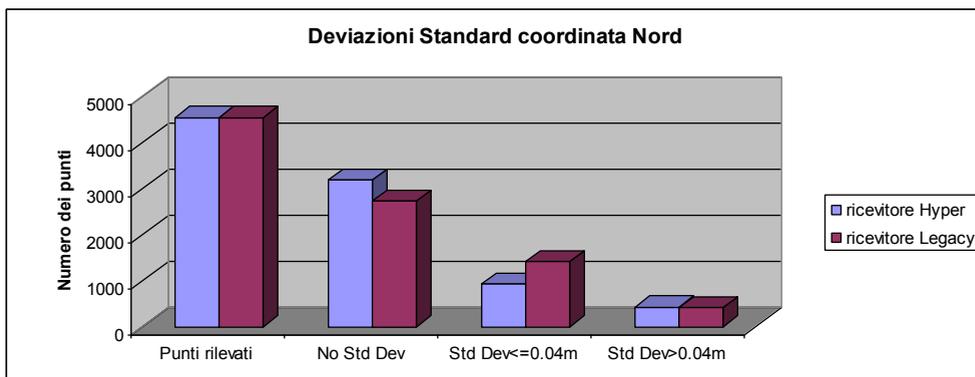


Fig. 3. Grafico a barre con l'indicazione delle precisioni associate ai punti elaborati nella componente NORD UTM - WGS84.

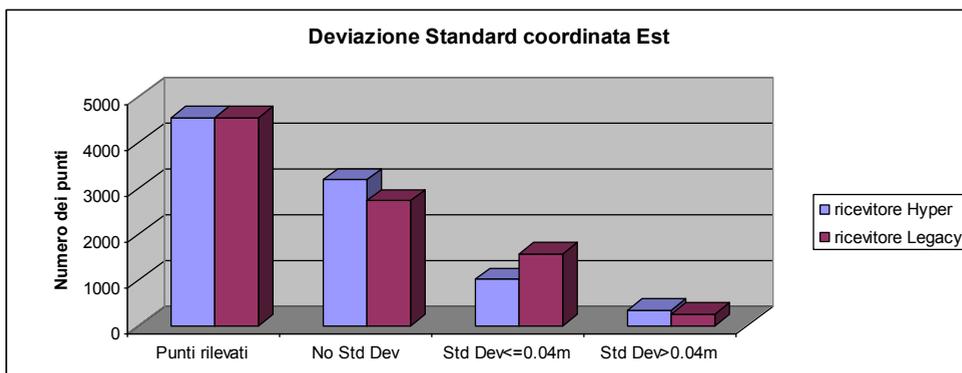


Fig. 4. Grafico a barre con l'indicazione delle precisioni associate ai punti elaborati nella componente EST UTM - WGS84.

I dati mancanti e quelli caratterizzati da una precisione inferiore a 4 cm sono relativi alle posizioni della cabina in corrispondenza alle stazioni di valle e di monte, dove la ricezione dei satelliti viene impedita dalla struttura stessa.

In corrispondenza al passaggio della vettura sotto il pilone si creano similmente problemi di continuità nella ricezione del segnale e nella conseguente determinazione della posizione della cabina.

Le soluzioni ottenute lungo il percorso della cabina, risultano invece sempre di tipo “fix” con precisioni associate dell’ordine di 2-3 cm.

Per poter ricostruire l’involuppo delle catenarie, i dati ottenuti sono stati rototraslati. Le coordinate ottenute sono state trasformate in coordinate piane euleriane e il sistema tridimensionale XYZ è stato successivamente rototraslato in modo che l’asse X’ del nuovo sistema di riferimento avesse la stessa direzione della congiungente fra la stazione di monte, quella di valle e l’azimut del cavo.

Si riporta un grafico dell’involuppo di una catenaria nel tratto fra il pilone centrale e la stazione di monte, dove si può notare la diminuzione di precisione in prossimità della stazione di monte (fig.5).

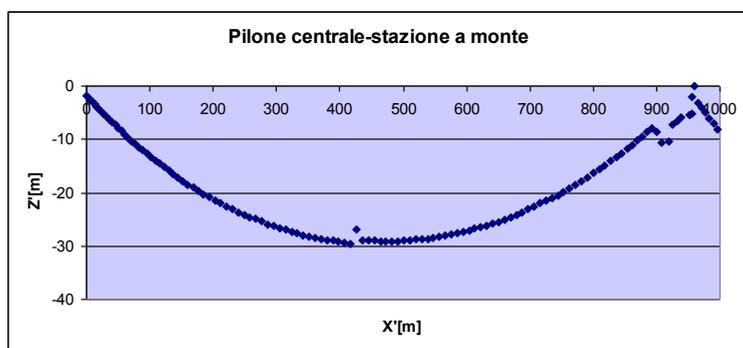


Fig. 5. Ricostruzione dell’involuppo della catenaria fra il pilone centrale e la stazione di monte.

In fase progettuale viene calcolato il valore di freccia massima al centro della campata, che risulta essere di 27.16 m a cabina scarica e di 41.54 m a cabina carica.

Dalla ricostruzione dell’involuppo delle catenarie in fase di esercizio si osserva che la freccia massima al centro della campata è di 29.55 m (Fig. 5), con 4 persone a bordo della cabina. Questo valore rientra quindi nell’intervallo calcolato in fase di progetto.

3. Descrizione delle misure effettuate per la determinazione dell’effetto di torsione sui piloni

Al passaggio delle due vetture in corrispondenza al pilone che divide la campata, questo subisce un effetto di torsione. Per misurare tale effetto è stato monitorato un punto della scarpa del traliccio con una stazione totale motorizzata ad inseguimento automatico della mira, TS30 Leica.

La normativa vigente stabilisce un valore massimo per l’entità dello spostamento conseguente l’effetto di torsione, che dipende dall’altezza del pilone, per la normativa europea, e dal diametro della fune, per le Prescrizioni Tecniche Speciali (PTS).

Questo valore è stato calcolato essere, per le PTS, pari a 1.26cm e per la Normativa Europea pari a 1.3cm.

In seguito alle misure effettuate con la stazione totale, posizionando il prisma sulla sommità della scarpa del traliccio, e con il passaggio contemporaneo delle due cabine sul pilone (condizioni di

esercizio più sfavorevoli), si è notato che lo spostamento massimo è stato rilevato in corrispondenza alla componente Z ed è risultato pari a 8 mm.

Il punto di stazione scelto è a circa 30 m dal pilone, con angolo zenitale di 90gon. Il sistema di riferimento è stato scelto in modo tale che l'origine coincida con il punto di stazione, l'asse Z sia verticale e l'asse Y appartenga al piano verticale passante per il punto monitorato.

4. Effetto di frenate di emergenza sulle cabine

Una successiva serie di test è stata effettuata sull'impianto di risalita della funivia di Alleghe (BL). Lo scopo del rilievo è stato quello di monitorare le oscillazioni a cui è soggetta la cabina in seguito a frenate brusche.

Il comportamento dinamico della vettura risulta essere infatti determinante per il confort e la sicurezza dei passeggeri: rapide variazioni laterali vengono risentite maggiormente rispetto ad oscillazioni verticali.



Fig. 6. Impianto di risalita della cabinovia di Alleghe (BL).

Il sistema di acquisizione utilizzato è costituito da 3 ricevitori GNSS: un ricevitore GPS+GLONASS Leica e due ricevitori GPS+GLONASS Topcon. I ricevitori sono stati montati su una barra fissata in modo rigido al tetto della cabina in modo da migliorare la ricezione dei satelliti.

Il ricevitore GPS Leica, è stato impostato in modalità RTK (Real Time Kinematic), con ricezione delle correzioni in tempo reale tramite protocollo NTRIP dalla rete di stazioni permanenti gestite dalla Regione Veneto.

I dati del ricevitore Topcon, invece, sono stati elaborati in post-processing con quelli del Master posizionato a valle della funivia. Le sue coordinate sono state calcolate mediante elaborazione statica con i dati della stazione Afal (Cortina) della rete di stazioni permanenti FreDNet, Ogs.

Gli arresti sono stati effettuati nel tratto fra i due piloni con maggiore pendenza ed estensione, dove la vettura risente maggiormente delle oscillazioni.

Di seguito si riportano i grafici relativi ad un arresto meccanico in funzione del tempo e dello spostamento. I dati sono stati elaborati con il software Topcon tools per i ricevitori Topcon e con il software LGO (Leica Geo Office) per i ricevitori Leica 1200.

I dati ottenuti sono stati rototraslati in un sistema di riferimento locale, con origine degli assi nel pilone scelto e asse x lungo la congiungente fra i due piloni: in ascissa sono riportati i tempi di acquisizione (in s), in ordinata gli spostamenti altimetrici (in m) (Fig.7).

Si riportano infine gli arresti in funzione dello spazio: si osserva che il moto e' di tipo pendolare (Fig.8).

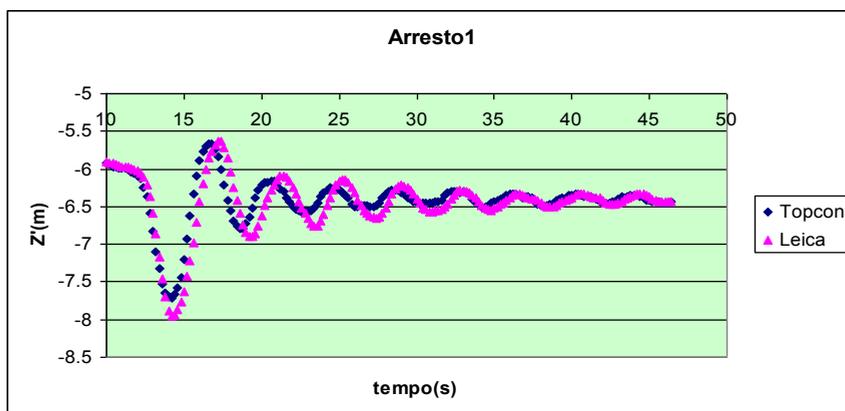


Fig. 7. Oscillazioni verticali della cabina dell'impianto a seguito di arresti di emergenza.

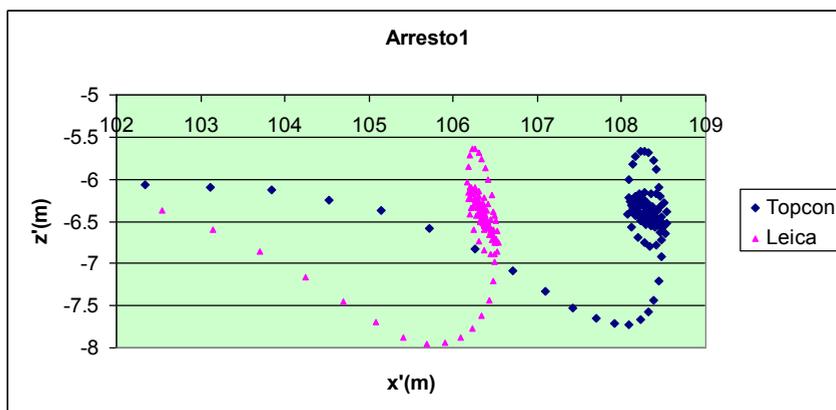


Fig. 8. Moto pendolare della cabina in funzione della coordinata x .

I dati di posizione registrati con i due ricevitori presentano un bias sistematico, dovuto alla differente modalità di elaborazione dei dati, ma gli spostamenti relativi risultano sovrapponibili.

Le coordinate dei punti così determinate hanno una precisione centimetrica.

5. Conclusioni

In questo lavoro sono stati illustrati i primi risultati di una ricerca innovativa relativa all'applicazione agli impianti funiviari di misure geodetiche GNSS integrate con misure inerziali, per il monitoraggio del movimento delle cabine dell'impianto, sia durante la fase di collaudo che in quella di esercizio.

Sono state effettuate due serie di test: la prima sull'impianto di risalita di Ravascletto (UD), allo scopo di ricostruire l'involuppo della catenaria e quindi la traiettoria effettiva della cabina; la seconda, invece sulla cabinovia di Alleghe, per monitorare le oscillazioni delle vetture in seguito a brusche frenate simulate.

Come strumentazione sono stati utilizzati dei ricevitori geodetici GNSS L1/L2 e, per le misure sulla cabinovia di Alleghe (BL), anche una piattaforma inerziale tridimensionale di elevate prestazioni, al fine di integrare i dati acquisiti per le future elaborazioni.

Durante questi test, sono stati evidenziati problemi di ricezione dei satelliti e di conseguenza, in condizioni critiche, una diminuzione della precisione delle coordinate dei punti, ottenute in seguito all'elaborazione dei dati acquisiti, con i software Topcon Tools (Topcon) ed LGO (Leica Geo Office).

Questi rilievi hanno lo scopo di verificare il rispetto di alcuni limiti imposti dalla normativa vigente sugli impianti funiviari (Normativa Europea EN e normativa nazionale Prescrizioni Tecniche Speciali PTS) che attualmente non vengono eseguiti né durante la fase di collaudo né durante quella di esercizio, come la posizione reale della cabina durante la marcia (per verificare eventuali diminuzioni dei franchi laterali e verticali o possibili collisioni del veicolo con parti fisse dell'impianto) ed oscillazioni della cabina tali da ridurre il comfort del passeggero e la sua sicurezza.

Al passaggio del veicolo inoltre, i piloni che suddividono in più parti la campata della funivia, subiscono una torsione, la cui entità deve rientrare in un valore massimo definito dalle normative nazionale ed europea. A tale scopo è stata utilizzata una stazione totale ad inseguimento automatico della mira che ha permesso di registrare con continuità gli spostamenti tridimensionali della scarpa del traliccio e di verificare il rispetto dai valori imposti dalla normativa.

Bibliografia

Cefalo R., Manzoni G. (1992), “ Esperienze di posizionamento GPS geodetico cinematico di veicoli terrestri ed aerei”, *Atti dell'Istituto Italiano di Navigazione*, Roma, 1992.

Kowal J., Snamina J., Podsiadlo A., Konieczny J (2008), “Static and dynamic analysis of the cableway”, *The Archive of Mechanical Engineering*, vol. LV, n. 4

Satirapod C., Wang J., Rizos C. (2003), „Comparing different GPS data processing techniques for modelling residual systematic errors“, *Journal of Surveying Engineering* 129(4), 129–135.

“Prescrizioni Tecniche Speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento permanente e temporaneo dei veicoli”, D.M. 08.03.1999; www.provincia.bz.it/mobilita/temi/901.asp

“Prescrizioni Tecniche Speciali per le funivie bifuni con movimento a va e vieni”, in applicazione del Regolamento Generale approvato con Decreto del Presidente della Repubblica, 18.10.1975, N.1367, www.provincia.bz.it/mobilita/temi/901.asp

EN 12929-1 Allegato Tecnico al D.D. n.337 del 16.11.2012 “Disposizioni e prescrizioni tecniche per le Infrastrutture degli Impianti a fune adibiti al trasporto di persone” www.sunia.it/documents/10157/66c82a67-6a2f-4cc7-962b-a867161d6621

UNI EN 13107 (edizione ottobre 2004) Norma Europea “Requisiti di sicurezza per gli impianti a fune progettati per il trasporto di persone – Opere di ingegneria civile.