

## **Prestazioni del software di analisi dati GPS NDA Lite in applicazioni di monitoraggio strutturale**

Davide Curone (\*), Massimiliano Chersich (\*\*)

(\*) Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (EUCENTRE), via Ferrata 1  
27100 Pavia, Tel. 0382-516954, e-mail: [davide.curone@eucentre.it](mailto:davide.curone@eucentre.it)

(\*\*) Galileian Plus S.r.l., c/o EUCENTRE, via Ferrata 1, 27100 Pavia, Tel. 0382-524482  
e-mail: [mchersich@galileianplus.it](mailto:mchersich@galileianplus.it)

### **Riassunto**

Il software di analisi dati GPS NDA Lite, sviluppato da Galileian Plus per il monitoraggio geofisico in modalità statico relativa, è stato recentemente modificato per poter processare sessioni di misura più brevi, mantenendo ripetibilità millimetriche. Questo miglioramento è stato implementato per poter estendere il suo utilizzo ad applicazioni di monitoraggio strutturale, nelle quali è necessaria la risoluzione di spostamenti (derive o oscillazioni) di ampiezza sub-centimetrica, che avvengono in periodi di tempo di poche ore.

Per quantificare le prestazioni di NDA Lite e determinare la configurazione ottimale di un sistema di monitoraggio strutturale che integri la sensoristica classica con le informazioni ricavabili dall'analisi dati GPS, si è realizzato uno studio di ripetibilità (RMS) della misura di posizione utilizzando dati provenienti da ricevitori GPS di tipo geodetico a doppia frequenza. La ripetibilità delle componenti UP, EST e NORTH delle linee di base è stata studiata in funzione della distanza tra i ricevitori (da 20 m a 25 km), della lunghezza delle sessioni di misura (da 20 minuti a 24 ore) e del periodo di campionamento delle osservabili (da 2 a 30 secondi). Si sono inoltre stimati i tempi di calcolo necessari per l'analisi di ogni sessione, in funzione degli stessi parametri.

I risultati ottenuti hanno dimostrato come, nel caso di linee di base corte (inferiori a 1 km) l'RMS varia tra 0.2 mm (sessioni di 24 ore) e 2.8 mm (sessioni di 20 minuti). Nel caso di linee di base di lunghezza superiore, si ottengono valori di RMS inferiori a 5 mm solo nel caso di sessioni di durata almeno oraria; oltre 15 km i risultati ottenuti non sono accettabili per applicazioni di monitoraggio strutturale. È stato inoltre dimostrato che il periodo di campionamento, pur modificando radicalmente i tempi di calcolo, non influenza in modo significativo la ripetibilità: a parità di lunghezza della sessione di misura, la differenza di RMS tra segnali campionati a 30 secondi e a 2 secondi è stata infatti inferiore al 2%, mentre il tempo di calcolo è aumentato di 14 volte.

### **Abstract**

*NDA Lite is a GPS data processing software developed by Galileian Plus for geophysical monitoring applications. Recently, it was improved in order to be employed for processing measure sessions shorter than 24 hours, keeping enough high measure repeatability. Such improvement was implemented in order to extend the use of such software to structural monitoring applications, which commonly require the identification of displacements (drifts or swings) characterized by sub-centimetre width and periods of few hours.*

*In order to quantify the performance of NDA Lite and to define the optimal configuration of a structural monitoring system, which integrate classic (local) sensors with GPS instrumentation, we realized a study of the repeatability (RMS) of the displacement measures obtained by processing GPS data produced by double-frequency geodetic-level receivers. In details, we investigated the relationship between the repeatability of UP, EAST and NORTH components of the baselines and*

*the distance between the receivers (ranging from 20 meters to 25 kilometres), the length of the measure sessions (ranging from 20 minutes to 24 hours) and the sampling period of the observables (ranging from 2 to 30 seconds). Furthermore, we studied the relationship between NDA Lite processing times and the same parameters.*

*The achieved results demonstrated that, in case of baselines shorter than 1 km, the RMS ranges between 0.2 mm (24 hour sessions) and 2.8 mm (20 minute sessions); in case of longer baselines, RMS is less than 0.5 mm only with sessions of 60 minutes or more; beyond 15 km we obtained results which are not suitable for structural monitoring applications. Furthermore, we demonstrated that increasing the sampling frequency does not imply an improvement of the repeatability and, at the same time, it causes an high increase of the processing times: for each session duration, RMS difference with data sampled at 30 seconds and 2 seconds is less than 2%, whereas the processing time increased of more than 14 times.*

### **Introduzione**

NDA (acronimo per “*Network Deformation Analysis*”) Lite è un pacchetto *software* sviluppato da Galileian Plus S.r.l. per l’analisi di dati GPS acquisiti da reti locali di monitoraggio, originariamente orientato ad applicazioni geofisiche e di protezione civile (monitoraggio frane, monitoraggio geodetico di aree vulcaniche, fenomeni di bradisismo, etc.) (Chersich *et al.*, 2006).

Il *software* permette l’elaborazione di dati GPS in modalità statico-relativa: tale modalità necessita l’acquisizione di dati GPS (segnali di *codice e fase*) simultaneamente da due ricevitori, mantenuti in una posizione, supposta fissa durante la sessione di misura (la cui durata è compresa tra qualche decina di minuti e alcune ore). L’elaborazione dei dati viene effettuata in *post-processing* (al termine dell’acquisizione dell’intera sessione di misura) e permette di ricostruire in modo accurato le posizioni relative dei due ricevitori. In particolare, l’*output* dell’elaborazione è rappresentato dalle componenti del vettore congiungente i due ricevitori (vettore linea di base).

In applicazioni di monitoraggio, un ricevitore è collocato al di fuori della regione da monitorare (stazione di riferimento, posta ad esempio al di fuori di un fronte di frana) e si ipotizza che la sua velocità di spostamento sia di entità trascurabile rispetto a quella del fenomeno da monitorare; in caso contrario, la presenza di eventuali spostamenti del ricevitore di riferimento non dovuti al fenomeno in esame deve essere identificata inquadrando lo stesso in una opportuna rete di stazioni di riferimento. Un secondo ricevitore viene posizionato in modo da subire spostamenti solidali con quelli del fenomeno da monitorare (ricevitore *rover*). L’analisi della variazione delle componenti del vettore linea di base nel tempo (in una serie storica di sessioni di misura consecutive) permette di stimare l’evoluzione temporale del fenomeno.

Tipicamente, l’accuratezza delle misure effettuate è inversamente proporzionale alla distanza tra i ricevitori e direttamente proporzionale alla durata della sessione di misura. In applicazioni geofisiche in cui si monitorano fenomeni relativamente lenti, vengono comunemente analizzate sessioni di durata superiore alle 12 ore (tipicamente 24 ore): in queste condizioni, studi preliminari effettuati con NDA Lite su serie storiche di 20 giorni di dati hanno dimostrato ripetibilità (deviazioni standard del campione) comprese tra 0.3 mm per linee di base di circa 1 metro e 7.0 mm per linee di base di 50 km (Chersich *et al.*, 2008). Lo stesso studio ha dimostrato l’efficacia di NDA Lite in un’applicazione reale di monitoraggio geofisico (analisi dell’evoluzione temporale di un fronte di frana).

Recenti sviluppi del *software* hanno permesso di migliorarne le prestazioni in termini di accuratezza anche nel caso di analisi di sessioni di misura di durata inferiore alle 12 ore, fino al caso limite di sessioni di durata oraria o sub-oraria (20-30 minuti). Tali miglioramenti permettono l’utilizzo del *software* anche in scenari diversi dal monitoraggio geofisico: in particolare è stata recentemente avviata una collaborazione tra Galileian Plus ed il Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (EUCENTRE) di Pavia, allo scopo di valutare l’applicabilità di tecniche GPS nel settore del monitoraggio strutturale (monitoraggio di dighe, oscillazioni di ponti o di edifici in muratura). Tali strutture sono tipicamente soggette a spostamenti (derive o oscillazioni) di ampiezza

centimetrica o sub-centimetrica, che possono avvenire anche in periodi di tempo di poche ore (per rilevare le quali è quindi essenziale dover processare sessioni di durata oraria o sub-oraria).

Per comprendere quali sono le condizioni limite di utilizzo di NDA Lite, in termini di durata minima delle sessioni di misura e lunghezza massima delle linee di base, si è valutata la ripetibilità delle misure prodotte nell'analisi di serie storiche di sessioni di diversa durata di segnali GPS registrati simultaneamente da coppie di ricevitori statici, posti a distanza via-via crescente (tra 0 metri e 25 km). Il lavoro presentato in questo articolo descrive la metodologia adottata e i risultati ottenuti nei primi test effettuati.

Un ulteriore fattore che deve essere indagato riguarda la frequenza di campionamento dei segnali GPS che sono processati da NDA Lite. In applicazioni di monitoraggio geofisico, i segnali sono tipicamente acquisiti con periodi di campionamento variabile tra 1 s e 30 s. Al diminuire del periodo di campionamento corrisponde, naturalmente, un aumento della quantità di dati che devono essere acquisiti e trasmessi da ogni ricevitore (è ragionevole ipotizzare che, in un sistema per il monitoraggio strutturale, ogni ricevitore trasmetta in tempo reale o immediatamente al termine della sessione di misura i dati acquisiti ad una stazione di riferimento, in modo tale da permettere il calcolo dello spostamento del ricevitore subito dopo la conclusione della sessione stessa). L'aumento della quantità di dati trasmessi implica un aumento di complessità e costi del sistema di acquisizione dati. La scelta della corretta frequenza di acquisizione rappresenta quindi un elemento importante nella progettazione di un sistema di monitoraggio. Per questo motivo, nell'ambito delle attività preliminari descritte in questo articolo, si è voluta indagare anche la relazione tra la frequenza di campionamento dei dati utilizzati come *input* di NDA Lite e l'accuratezza dei risultati prodotti, in modo tale da giustificare la scelta della frequenza di campionamento ottimale nelle applicazioni che verranno realizzate.

## Metodi

Lo scopo del lavoro descritto in questo articolo è la valutazione di ripetibilità e tempi di calcolo di NDA Lite nell'analisi di serie storiche di sessioni di osservabili GPS, in funzione della lunghezza della linea di base (distanza tra i due ricevitori), della durata delle sessioni di misura e del periodo di campionamento delle osservabili. In particolare, si sono considerate:

- lunghezze di linea di base comprese tra pochi metri e 25 km (distanze superiori non sono generalmente di interesse nel caso di applicazioni di monitoraggio strutturale);
- durata delle sessioni di misura pari a 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 480, 720 e 1440 minuti (l'analisi di sessioni di durata inferiore a 20 minuti richiede l'applicazione di metodi – e.g. analisi in modalità quasi-statica o GPS-RTK – non implementati in NDA Lite);
- periodi di campionamento delle osservabili GPS di 2, 5, 15, 30 secondi.

Il lavoro realizzato può essere concettualmente diviso in tre fasi distinte.

**1. Acquisizione della base di dati GPS.** Poiché lo scopo dello studio è la quantificazione della ripetibilità della misura di distanza tra coppie di ricevitori statici (il cui movimento reciproco, nel periodo di tempo corrispondente alla serie storica analizzata, è trascurabile rispetto alla sensibilità della misura GPS), si è ipotizzato di utilizzare NDA nell'elaborazione di dati GPS relativi a stazioni incluse in reti permanenti per il monitoraggio GPS. Si è quindi provveduto a ricercare nei *database* pubblici di alcune delle principali reti europee, nazionali e regionali (rete Europea EUREF, Rete Integrata dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, reti GPS delle Regioni Piemonte, Veneto, Friuli Venezia Giulia e Liguria) coppie di ricevitori posti a distanza massima di 25 km, per i quali fossero disponibili serie storiche di almeno 12 giorni consecutivi di dati, possibilmente acquisiti con periodo di campionamento di 1 secondo. Data la ridotta disponibilità di dati campionati con tale periodo, si è deciso di includere nel *database* utilizzato nello studio anche linee di base per le quali erano disponibili solo dati campionati a 30 secondi (periodo più comunemente utilizzato nell'ambito del monitoraggio GPS). Di conseguenza, i dati ad "alta frequenza" sono stati

utilizzati per la valutazione dell'effetto che il periodo di campionamento delle osservabili ha su ripetibilità e tempi di calcolo; i dati campionati a 30 secondi sono stati utilizzati solo per l'analisi della relazione tra durata della sessione di misura e ripetibilità.

**2. Costruzione delle serie storiche di osservabili per ogni linea di base ed elaborazione dei segnali mediante NDA Lite.** Una volta ottenuti i dati GPS necessari, per ogni coppia di ricevitori si è provveduto a costruire serie storiche di osservabili con tutte le combinazioni ammissibili di durata delle sessioni di misura e periodo di campionamento. E' opportuno osservare come, per ottimizzare i tempi di calcolo, NDA Lite implementi algoritmi di sotto-campionamento delle osservabili, prima di procedere all'analisi dei segnali GPS, in funzione della durata delle sessioni da processare e della frequenza di campionamento originale dei file di osservabili. Per questo motivo, le serie storiche relative a determinate combinazioni di durata e periodo di campionamento (i.e. sessioni di durata elevata con segnali ad alta frequenza) non possono essere processate: per ulteriori dettagli relativi a questo aspetto e alle sue implicazioni sulla qualità dell'*output* si rimanda alla discussione dei risultati ottenuti.

Al termine di questa fase, per ogni linea di base, si sono costruite 11 serie storiche per i segnali originariamente campionati a 30 secondi, e 30 serie storiche per i segnali originariamente campionati a 1 secondo. Le serie storiche così ottenute sono state processate mediante la versione corrente di NDA Lite, con le seguenti impostazioni relative al calcolo geodetico:

- utilizzo delle effemeridi *broadcast* (informazioni contenute nei file GPS di navigazione);
- applicazione di un angolo di *cutoff* di 15 gradi sull'elevazione dei satelliti in vista;
- applicazione della correzione del centro di fase dell'antenna (sulla base dei parametri relativi all'antenna contenuti nel *software* e dell'identificativo dell'antenna contenuto nei file di osservazione GPS relativi ad ogni stazione);
- fissaggio delle ambiguità con metodo *lambda*;
- ritardo ionosferico nullo;
- nessuna correzione o stima del ritardo troposferico.

Le ultime due impostazioni, in particolare, sono solitamente utilizzate nell'analisi di linee di base corte. Gli errori introdotti trascurando gli effetti ionosferici e troposferici aumentano infatti all'aumentare della distanza tra i ricevitori che costituiscono la linea di base e diventano sensibili, in particolare, quando tale distanza supera i 5 km e la differenza di quota tra le stazioni è superiore ai 100 m, eventualità poco frequente nell'analisi considerata e, in generale, non specifica di applicazioni di monitoraggio strutturale.

I risultati dell'elaborazione di ogni serie storica vengono salvati da NDA Lite in un *database* in formato proprietario. Dati il numero di linee di base da processare e il numero di serie storiche relative ad ogni linea di base, si è realizzato un semplice *software* (in linguaggio *VB .Net*) in grado di avviare sequenzialmente e in modo automatico ogni elaborazione di NDA Lite e di registrare in un *report* specifico i tempi di elaborazione totali, al termine di ogni esecuzione.

**3. Analisi delle prestazioni di NDA Lite.** Al termine dell'elaborazione di tutte le linee di base, si sono analizzati gli *output* di NDA Lite salvati nei *database* relativi ad ogni serie storica e i tempi complessivi di calcolo contenuti nel report del programma utilizzato per avviare le analisi. In particolare si sono calcolati i seguenti indici, relativi ad ogni serie storica:

- **percentuale di sessioni processate, rispetto al numero di sessioni attese** (il numero di sessioni processate è contenuto nel *database* prodotto da NDA Lite, il numero di sessioni attese è calcolato sulla base del numero di giorni nella serie storica e della durata di ogni sessione). L'impossibilità a produrre una soluzione relativa ad una specifica sessione dipende generalmente dalla mancanza di dati relativi ad una parte consistente della sessione (malfunzionamento del ricevitore o del sistema di trasmissione dati), dal numero ridotto di satelliti in vista durante la sessione (problema evidente in particolare nel caso di sessioni di

- durata oraria o sub-oraria), dalla parziale ostruzione del cielo in prossimità del ricevitore, o dalla presenza di dati “rumorosi” (ad esempio a causa di effetti di *multipath* o *tracking error*).
- **percentuale di sessioni in cui NDA Lite completa correttamente il fissaggio delle ambiguità, rispetto al numero di sessioni processate** (il fissaggio o mancato fissaggio delle ambiguità viene specificato, per ogni sessione, nel report prodotto dal *software*). Il mancato fissaggio delle ambiguità dipende generalmente dalla presenza di dati rumorosi e dall’elevato numero di interruzioni nel tracciamento di un satellite (elevato numero di *cycle slips*), ed è più probabile nel caso di sessioni di breve durata.
  - **deviazione standard (RMS) del modulo della linea di base e delle relative componenti UP, EST e NORD** (calcolato sulle sessioni in cui vengono fissate le ambiguità). Nello studio presentato si sono prese in considerazione linee di base composte da coppie di ricevitori permanenti in condizioni stabili, ovvero supponendo che, nell’arco di tempo considerato (pochi giorni), la distanza relativa tra gli stessi vari in modo trascurabile rispetto alla sensibilità della misura GPS stessa. In queste condizioni si può ipotizzare che ogni deviazione dal valore effettivo di distanza tra i due ricevitori (qui approssimato con la distanza media misurata nell’intera serie storica) sia dovuta ad errori di misura o di elaborazione dei segnali GPS. Nell’ipotesi che la distribuzione degli errori sia di tipo gaussiano, l’RMS rappresenta un indice valido nella quantificazione dell’entità degli stessi (data una misura  $D$ , la probabilità che la distanza reale tra i due ricevitori sia nell’intervallo  $D \pm \text{RMS}$  è pari al 68%, la probabilità che la distanza reale sia nell’intervallo  $D \pm 1.96 \cdot \text{RMS}$  è pari al 95%, la probabilità che la distanza reale sia nell’intervallo  $D \pm 2.58 \cdot \text{RMS}$  è del 99%). Si presentano, oltre ai risultati relativi al modulo della linea di base, anche i risultati relativi alle componenti verticale (UP) e orizzontali (EST e NORD) della linea di base, in quanto, per natura stessa delle misure GPS, i tre segnali presentano caratteristiche sensibilmente diverse.
  - **tempi medi di calcolo di ogni sessione**, ottenuti dividendo il tempo totale di elaborazione di una serie storica e il numero effettivo di sessioni calcolate. Poiché i tempi di calcolo assoluti dipendono in maniera significativa dalle caratteristiche del calcolatore impiegato per l’esecuzione del programma (potenza di calcolo del processore, dimensione della memoria RAM, etc.) i risultati qui riportati sono espressi in termini relativi; in particolare, tutti i tempi medi di calcolo relativi ad una stessa linea di base vengono riferiti al tempo medio di calcolo di una sessione oraria di osservabili campionate a 30 secondi.

## Risultati

La ricerca di coppie di stazioni permanenti poste a distanza relativa compresa tra 0 m a 25 km nei *database* pubblici delle reti di posizionamento citate ha portato all’individuazione di 56 linee di base potenzialmente utili. Tra queste, ne sono state selezionate 17 per le quali sono disponibili serie storiche di 12 o più giorni consecutivi e tali da coprire nel modo più uniforme possibile l’intervallo di distanze considerato. Per 5 coppie di stazioni sono disponibili osservabili GPS con periodo di campionamento pari a 1 s, per le restanti 12 coppie sono disponibili osservabili GPS campionate a 30 s. *Tabella 1* riporta informazioni dettagliate sulle linee di base utilizzate nello studio. La successiva *Tabella 2* riporta dati relativi alla strumentazione (ricevitore e antenna) utilizzata in ogni stazione. La durata media delle serie storiche considerate è di 14 giorni (intervallo 12-15 giorni).

**Percentuali di successo nel calcolo delle soluzioni e ripetibilità delle misure.** I risultati ottenuti, relativamente agli indici di prestazione descritti nella sezione precedente, sono riportati nelle seguenti tabelle. In particolare, *Tabella 3* riporta, per ogni linea di base, la percentuale di sessioni in cui NDA Lite produce una soluzione; *Tabella 4* riporta le percentuali di sessioni in cui NDA Lite produce una soluzione con ambiguità fissata. Le successive *Tablelle 5, 7, 8 e 9* riportano i valori di RMS (espressi in mm) relativi al modulo delle linee di base e alle componenti UP, EST e NORD. *Figura 6* riporta graficamente l’andamento del parametro RMS del modulo della linea di base, in funzione della durata delle sessioni di misura, per alcune delle linee di base analizzate.

Linea di Base	Rete Staz. 1 <sup>1</sup>	Rete Staz. 2	Periodo Oss. [s]	Durata Serie Storica [gg]	Modulo [m]	Comp. UP [m]	Comp. EST [m]	Comp. NORD [m]
ZIMM-ZIM2	1	1	30	15	18.76727	0.20807	-18.76145	-0.41849
HERT-HERS	1	1	30	15	136.45360	-6.78952	135.03296	-18.42789
PAVI-EUCE	2	7	1	12	156.30975	-0.15850	-122.03971	-97.66792
AQUI-INGP	1	3	30	15	3264.24392	17.97992	-2854.10242	1584.00267
GENO-GENU	1	4	30	15	3564.19955	-29.06821	3042.56900	-1856.19162
KIRO-KIRU	1	1	30	15	4473.10625	-108.67327	-3862.77727	-2252.95837
SDNA-NOVE	5	6	1	15	4688.00431	-20.62219	1887.96802	4290.98309
TORI-IENG	2	1	1	15	5631.09620	3.21194	-1724.51410	-5360.53031
TLMF-TLSE	1	1	30	14	8685.55773	-19.77863	8547.86127	-1540.32122
MSTR-VE01	5	5	1	15	9492.88679	-10.94289	7456.10678	-5875.47883
BRST-GUIP	1	1	30	15	9498.28705	81.81748	6271.93503	7132.57274
BORC-AFAL	5	6	30	12	10624.73658	1286.32236	-3347.52258	10001.22466
MLVL-SMNE	1	1	30	15	11918.61997	-45.35680	-11912.17227	389.35406
MDOR-SJDV	1	1	30	15	13601.31326	87.24062	-10277.78964	8908.15086
ZOUF-FUSE	6	6	1	13	16105.08285	-1384.74554	2121.66662	-15904.54980
PADO-TEOL	5	5	30	12	18748.63543	111.24223	-17148.42352	-7578.29312
BOLG-MEDI	1	1	30	15	23167.26128	-91.66727	23059.05782	2234.60172

Reti GPS utilizzate per l'acquisizione delle serie storiche di dati impiegate nello studio (e relativi siti web):

- 1 Rete Permanente EUREF <http://epncb.oma.be/>
- 2 Rete GPS della Regione Piemonte <http://gnss.regione.piemonte.it/frmIndex.aspx>
- 3 Rete Integrata Nazionale INGV <http://ring.gm.ingv.it/>
- 4 Rete GPS della Regione Liguria <http://www.gnssliguria.it/>
- 5 Rete GPS della Regione Veneto <http://147.162.229.63/Web/>
- 6 Rete GPS FReDNet <http://www.crs.inogs.it/frednet/ItalianSite/XFReDNetHome.htm>
- 7 Ricevitore installato da Galileian Plus

Tabella 1 – Caratteristiche delle linee di base utilizzate nello studio.

Linea di Base	Ricevitore Base	Antenna Base	Ricevitore Rover	Antenna Rover
ZIMM-ZIM2	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00 NONE	TRIMBLE NETR5	TRM59800.00 NONE
HERT-HERS	Leica GRX1200GGPRO	LEIAT504GG NONE	SEPT POLARX3ETR	LEIAR25.R3 NONE
PAVI-EUCE	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504	TPS NET-G3	TPSCR3_GGD CONE
AQUI-INGP	TRIMBLE 4700	TRM29659.00 NONE	Leica GRX1200GGPRO	LEIAT504 LEIS
GENO-GENU	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00 NONE	TPS NETG3	TPSCR.G3 TPESH
KIRO-KIRU	JPS EGGDT	AOAD/M_T OSOD	ASHTECH UZ-12	ASH701945C_M Snow
SDNA-NOVE	Leica GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	TPS GB-1000	TPSCR3_GGD CONE
TORI-IENG	Leica GRX1200+GNSS	LEIAR25.R3 NONE	ASHTECH Z-XII3T	ASH701945C_M
TLMF-TLSE	Leica GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	TRIMBLE NETR9	TRM59800.00 NONE
MSTR-VE01	LEICA SR510	TRM55971.00 NONE	TRIMBLE 4700	TRM33429.00-GP
BRST-GUIP	Leica GRX1200GGPRO	LEIAT504GG NONE	Leica GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS
BORC-AFAL	Leica GRX1200GGPRO	LEIAT504 LEIS	TPS GB-1000	ASH701945E_M SCIT
MLVL-SMNE	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 NONE	TRIMBLE NETR9	TRM55971.00 NONE
MDOR-SJDV	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 NONE	TRIMBLE NETRS	ASH700936A_M
ZOUF-FUSE	TPS GB-1000	ASH701945C_M SCIT	TPS GB-1000	ASH701945E_M SCIT
PADO-TEOL	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00 NONE	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 SCIT
BOLG-MEDI	LEICA SR9500	LEIAT302+GP NONE	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00 NONE

Tabella 2 – Strumentazione GPS delle stazioni considerate.

Linea di Base	Lunghezza sessioni [min]										
	1440	720	480	360	240	180	120	90	60	30	20
ZIMM-ZIM2	93.3	93.3	95.6	96.7	96.7	96.7	97.2	96.3	97.8	96.8	96.7
HERT-HERS	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	99.4
PAVI-EUCE	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	99.4
AQUI-INGP	100.0	100.0	100.0	96.7	95.6	96.7	95.6	95.8	95.0	83.6	83.5
GENO-GENU	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.6	100.0	99.0	99.2
KIRO-KIRU	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	99.2
SDNA-NOVE	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	99.9	99.2
TORI-IEHG	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0	97.9
TLMF-TLSE	100.0	96.4	97.6	98.2	98.8	98.2	98.8	98.7	99.1	98.4	97.9
MSTR-VE01	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.6	99.4	98.3	97.5
BRST-GUIP	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	98.3	98.3	98.1	97.4	97.1
BORC-AFAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	98.4	96.5	88.6	87.8
MLVL-SMNE	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.6	99.2	99.0	98.2
MDOR-SJDV	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	99.2
ZOUF-FUSE	93.3	96.7	97.8	98.3	98.9	99.2	98.9	99.6	99.2	99.2	98.4
PADO-TEOL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.6	99.3	98.6
BOLG-MEDI	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	100.0	100.0	100.0	99.2	99.1

Tabella 3 – Percentuale di sessioni per le quali NDA produce una soluzione.

Linea di Base	Lunghezza sessioni [min]										
	1440	720	480	360	240	180	120	90	60	30	20
ZIMM-ZIM2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	98.9	98.2
HERT-HERS	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	98.1	95.4
PAVI-EUCE	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	99.5	99.3	98.4	97.6
AQUI-INGP	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	99.6	96.2	86.2	78.7
GENO-GENU	100.0	96.7	97.8	98.3	97.8	99.2	99.4	99.2	98.6	94.2	87.9
KIRO-KIRU	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	96.9	94.9
SDNA-NOVE	100.0	96.7	100.0	100.0	98.9	99.2	99.4	99.6	98.9	92.1	79.9
TORI-IEHG	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	98.8	95.8	85.6	71.3
TLMF-TLSE	100.0	100.0	97.6	98.2	98.8	99.1	99.4	99.5	97.3	95.2	88.2
MSTR-VE01	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	100.0	100.0	100.0	99.4	91.7	80.9
BRST-GUIP	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.6	99.4	95.6	89.6
BORC-AFAL	100.0	100.0	100.0	100.0	98.6	99.0	99.3	96.8	87.8	68.0	54.7
MLVL-SMNE	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	97.9	96.6	90.5	80.3
MDOR-SJDV	93.3	96.7	93.3	95.0	96.7	97.5	98.3	97.1	95.3	81.1	65.0
ZOUF-FUSE	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	97.5	91.9	65.7	48.8
PADO-TEOL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.6	98.4	92.6	70.8	54.3
BOLG-MEDI	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.6	90.8	68.3	31.9	21.5

Tabella 4 – Percentuale di sessioni per le quali NDA fissa l'ambiguità, rispetto al numero di sessioni in cui produce una soluzione.

**Relazione tra periodo di campionamento, ripetibilità della misura e tempi di calcolo.** Tabella 9 riassume i valori di RMS (espressi in millimetri) e i tempi medi di calcolo in funzione della durata delle sessioni processate e del periodo di campionamento delle osservabili, per una delle linee di base per cui erano disponibili osservabili ad alta frequenza (linea di base PAVI-EUCE). I risultati ottenuti con questa linea di base sono del tutto assimilabili ai risultati ottenuti con le restanti linee di base ad alta frequenza.

Modulo linea di base	Lunghezza sessioni [min]										
	1440	720	480	360	240	180	120	90	60	30	20
ZIMM-ZIM2	0.176	0.346	0.332	0.464	0.519	0.648	0.730	0.858	0.944	1.135	1.278
HERT-HERS	0.348	0.989	0.846	1.155	1.217	1.224	1.377	1.498	1.676	2.016	2.277
PAVI-EUCE	0.493	0.536	1.137	0.795	1.230	1.440	1.536	1.809	2.204	2.708	2.872
AQUI-INGP	1.134	2.139	2.142	2.972	3.413	3.637	4.268	4.371	4.547	4.993	32.462
GENO-GENU	1.363	1.384	1.588	1.837	2.237	2.411	3.067	3.306	3.653	7.358	10.778
KIRO-KIRU	0.766	1.394	1.719	2.069	2.055	1.949	2.132	2.356	2.801	3.442	3.747
SDNA-NOVE	1.342	1.434	2.175	2.647	2.871	3.269	4.010	4.316	4.730	6.130	9.462
TORI-IEHG	2.693	3.357	3.498	4.538	4.938	5.300	6.291	6.759	7.657	12.444	28.530
TLMF-TLSE	1.160	2.374	2.918	3.064	3.443	3.923	4.096	4.515	4.609	5.402	19.006
MSTR-VE01	0.603	0.870	1.255	1.195	1.495	1.566	1.894	2.142	2.623	3.683	4.092
BRST-GUIP	1.515	2.415	3.167	3.409	3.771	4.034	4.398	4.820	5.247	6.200	6.507
BORC-AFAL	3.045	4.560	6.610	8.386	7.874	9.416	10.760	10.700	11.212	48.609	59.257
MLVL-SMNE	1.832	2.454	3.219	3.725	4.281	4.536	4.994	5.291	9.816	9.732	9.832
MDOR-SJDV	1.927	2.422	3.952	4.082	5.423	5.685	6.593	6.617	7.197	7.555	56.077
ZOUF-FUSE	5.586	7.113	7.098	9.363	10.273	10.859	11.843	11.649	11.760	11.118	30.006
PADO-TEOL	2.324	3.097	4.735	5.231	6.210	6.384	7.426	8.137	8.653	10.636	40.057
BOLG-MEDI	3.687	5.321	6.582	7.607	8.512	8.857	9.927	10.750	15.924	22.651	70.838

Tabella 5 – RMS [mm] del modulo della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

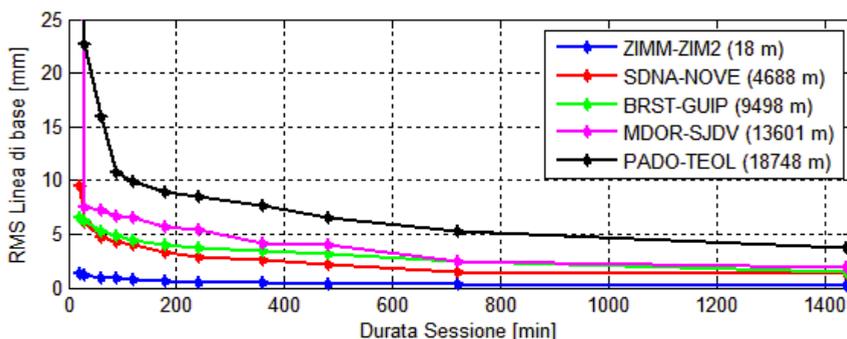


Figura 6 – Ripetibilità in funzione della durata delle sessioni processate per alcune linee di base di diversa lunghezza.

## Discussione

**Relazione tra durata delle sessioni e percentuale di soluzioni prodotte.** In tutte le serie storiche, la percentuale di soluzioni processate correttamente da NDA Lite è superiore al 93%, con le uniche eccezioni delle linee di base AQUI-INGP e BORC-AFAL (caratterizzate da percentuali inferiori a 90% nel caso di sessioni di durata inferiore a 60 minuti – Tabella 3). L'esame dei file di osservabili GPS relativi alle sessioni non processate ha permesso di identificare la causa della mancata produzione delle soluzioni nella presenza di numerose interruzioni nelle acquisizioni. Questo fatto implica da un lato l'assenza di porzioni consistenti di dati nei file (rilevante in particolare nel caso di sessioni brevi) e, dall'altro, la presenza di numerose sequenze di osservazioni consecutive relativamente brevi, scartate dal *software* prima di effettuare il calcolo geodetico: nella quasi totalità dei casi, quindi, l'elaborazione viene interrotta a causa della presenza di una quantità di dati insufficiente per poter stimare la posizione dei ricevitori.

Componente UP	Lunghezza sessioni [min]										
	1440	720	480	360	240	180	120	90	60	30	20
ZIMM-ZIM2	0.111	0.240	0.391	0.594	0.677	0.835	1.162	1.232	1.823	2.417	2.856
HERT-HERS	0.360	0.734	0.904	1.197	1.672	2.028	2.633	3.358	4.222	6.506	8.013
PAVI-EUCE	0.787	1.153	1.223	1.388	1.693	1.718	2.542	2.682	3.529	5.339	6.101
AQUI-INGP	3.691	4.582	7.490	6.465	8.437	8.236	8.610	9.895	10.611	12.540	90.346
GENO-GENU	4.842	5.881	6.552	6.921	7.926	8.687	9.109	10.073	10.392	31.208	55.413
KIRO-KIRU	2.465	3.828	3.856	5.337	5.391	5.232	6.013	6.471	7.771	9.787	10.798
SDNA-NOVE	2.493	4.042	4.727	5.503	5.479	6.725	6.802	7.913	8.474	11.295	18.953
TORI-IENG	3.975	5.377	6.606	7.025	8.013	8.139	9.533	10.359	11.879	16.233	83.988
TLMF-TLSE	3.454	5.400	5.719	6.495	7.047	7.805	8.723	9.008	10.127	11.797	11.637
MSTR-VE01	1.726	2.661	2.843	3.413	3.725	4.184	4.498	5.707	6.530	9.744	12.939
BRST-GUIP	4.233	4.935	5.712	5.914	6.854	7.391	8.013	9.007	9.442	10.758	11.623
BORC-AFAL	24.953	31.558	36.163	39.901	37.606	64.910	58.260	40.215	39.343	66.373	75.020
MLVL-SMNE	5.676	6.439	6.813	7.769	8.979	10.214	11.334	12.097	14.373	12.564	13.951
MDOR-SJDV	11.331	12.769	14.861	14.652	17.291	18.165	19.712	19.835	21.218	21.591	46.280
ZOUF-FUSE	21.612	24.454	28.757	29.807	31.014	31.720	32.152	32.195	32.667	29.835	46.665
PADO-TEOL	9.965	12.550	13.544	15.102	16.206	16.972	18.904	19.845	21.819	24.249	37.846
BOLG-MEDI	13.015	16.013	21.154	22.000	24.796	28.293	31.115	28.328	32.029	34.495	64.780

Tabella 7 – RMS [mm] componente UP della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

Componente EST	Lunghezza sessioni [min]										
	1440	720	480	360	240	180	120	90	60	30	20
ZIMM-ZIM2	0.174	0.348	0.335	0.463	0.527	0.651	0.729	0.854	0.934	1.124	1.267
HERT-HERS	0.335	0.999	0.822	1.183	1.225	1.254	1.390	1.497	1.668	2.025	2.263
PAVI-EUCE	0.597	0.698	1.326	1.127	1.505	1.447	1.688	1.817	2.061	2.441	2.567
AQUI-INGP	1.362	2.063	2.485	2.599	3.238	3.374	4.061	4.257	4.471	4.713	53.889
GENO-GENU	1.279	1.548	1.662	2.002	2.345	2.479	3.038	3.108	3.391	98.458	10.679
KIRO-KIRU	0.751	1.038	1.255	1.404	1.495	1.598	1.738	2.072	2.406	2.892	3.151
SDNA-NOVE	1.210	1.719	2.195	2.340	2.365	2.538	3.031	3.091	3.636	4.559	22.434
TORI-IENG	0.966	1.479	2.007	2.222	2.839	3.104	3.736	4.514	4.864	8.004	10.866
TLMF-TLSE	1.066	2.360	2.985	3.097	3.513	3.901	4.105	4.475	4.693	5.454	18.962
MSTR-VE01	0.605	0.744	1.297	1.163	1.414	1.667	1.913	2.323	2.811	3.642	3.798
BRST-GUIP	1.486	2.060	2.489	2.702	2.861	3.044	3.255	3.398	3.877	4.099	4.348
BORC-AFAL	1.874	2.140	3.188	3.941	4.357	18.167	15.243	5.553	5.651	66.595	68.679
MLVL-SMNE	1.842	2.443	3.230	3.728	4.291	4.543	4.999	5.306	7.753	9.721	9.834
MDOR-SJDV	1.563	2.576	3.398	3.879	4.728	5.058	5.859	5.867	6.710	6.773	55.756
ZOUF-FUSE	1.870	2.683	2.734	2.986	3.728	4.319	4.924	5.337	5.941	6.654	49.835
PADO-TEOL	2.105	2.862	4.367	4.524	5.683	5.691	6.516	7.146	7.448	10.561	43.725
BOLG-MEDI	3.589	5.337	6.464	7.432	8.321	8.659	9.682	10.519	15.038	21.936	70.813

Tabella 8 – RMS [mm] componente EST della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

Osservando i risultati mostrati in Tabella 4 si deduce come la percentuale di sessioni in cui NDA Lite stima l'ambiguità sia influenzata da tre distinti fattori:

- durata delle sessioni: per ogni linea di base, la percentuale di soluzioni ad ambiguità fissata decresce sistematicamente con il ridursi della durata delle sessioni analizzate. Se, nel caso di sessioni giornaliere, la percentuale di sessioni accurate è sempre pari al 100% (fa eccezione la linea di base MDOR-SJDV, nella quale la stima dell'ambiguità fallisce in un caso su 15),

Componente NORD	Lunghezza sessioni [min]										
	1440	720	480	360	240	180	120	90	60	30	20
ZIMM-ZIM2	0.127	0.214	0.570	0.345	0.784	0.706	0.860	0.889	1.010	1.197	1.435
HERT-HERS	0.367	0.453	0.539	0.737	0.690	0.932	1.192	1.559	2.000	2.717	3.474
PAVI-EUCE	0.254	0.339	0.522	0.459	0.955	1.048	1.458	1.793	2.153	2.751	2.993
AQUI-INGP	1.073	2.502	3.104	3.024	5.022	4.117	4.553	4.795	5.447	6.433	32.347
GENO-GENU	1.568	1.841	2.115	2.253	2.526	2.816	3.140	3.619	4.244	75.059	11.253
KIRO-KIRU	0.915	1.471	1.707	2.256	2.234	1.968	2.337	2.467	2.990	3.708	4.135
SDNA-NOVE	1.189	1.333	1.731	2.567	2.890	3.352	3.916	4.366	4.719	5.952	8.655
TORI-IENG	2.587	3.260	3.416	4.549	4.848	5.387	6.297	6.769	7.587	14.482	31.697
TLMF-TLSE	1.282	1.780	1.915	2.031	2.605	3.364	3.920	4.267	4.793	5.912	5.950
MSTR-VE01	0.896	1.141	1.461	1.569	1.911	1.945	2.307	2.560	3.110	4.668	5.584
BRST-GUIP	1.597	2.328	3.195	3.369	3.809	4.080	4.508	4.942	5.324	6.484	6.898
BORC-AFAL	3.096	3.691	5.280	7.987	6.729	8.109	9.483	9.743	10.529	37.274	49.496
MLVL-SMNE	1.174	2.683	3.369	4.063	4.191	4.243	4.948	4.565	5.867	6.234	6.311
MDOR-SJDV	2.085	2.625	3.779	3.832	4.685	4.844	5.666	6.166	6.571	7.279	22.616
ZOUF-FUSE	5.717	7.400	7.346	9.710	10.602	11.038	12.054	11.881	11.890	11.415	28.784
PADO-TEOL	2.481	2.852	3.556	4.465	5.069	5.634	6.679	7.608	8.537	9.642	29.239
BOLG-MEDI	3.211	4.354	5.396	6.613	7.844	8.080	9.119	10.500	15.823	15.503	33.185

Tabella 9 – RMS [mm] componente NORD della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

Lunghezza Sessioni [min]	RMS modulo linea di base [mm]				Tempi relativi di calcolo <sup>3</sup>			
	Periodo [s]				Periodo [s]			
	30	15	5	2	30	15	5	2
1440	0.493	-	-	-	30.3	-	-	-
720	0.536	-	-	-	9.4	-	-	-
480	1.137	1.119	-	-	5.4	12.1	-	-
360	0.795	0.784	-	-	4.0	9.1	-	-
240	1.230	1.208	-	-	2.4	5.5	-	-
180	1.440	1.417	1.415	-	1.8	3.8	13.6	-
120	1.536	1.536	1.528	-	1.5	3.1	11.0	-
90	1.809	1.827	1.809	1.822	1.3	2.4	6.1	21.3
60	2.204	2.174	2.150	2.162	1.0	1.8	4.5	13.5
30	2.708	2.675	2.639	2.633	0.9	1.6	3.6	10.4
20	2.872	2.818	2.828	2.815	0.9	1.6	3.4	10.3

Tabella 10 – Linea di base PAVI-EUCE: ripetibilità della misura in funzione di durata sessioni e periodo di campionamento delle osservabili GPS.

nel caso di sessioni sub-orarie si ottengono generalmente soluzioni ad ambiguità fissata in meno del 90% dei casi.

- lunghezza della linea di base: nel caso di sessioni brevi (orarie e sub-orarie), la percentuale di soluzioni ad ambiguità fissata diminuisce all'aumentare della distanza tra i ricevitori. Analizzando, a titolo di esempio, i risultati ottenuti sulle serie storiche di 20 minuti, si osserva come la percentuale di sessioni ad ambiguità fissata si riduca da valori superiori al 95% per linee di base di poche centinaia di metri di lunghezza, fino a valori inferiori al 55% per linee di base di lunghezza maggiore di 15 km.

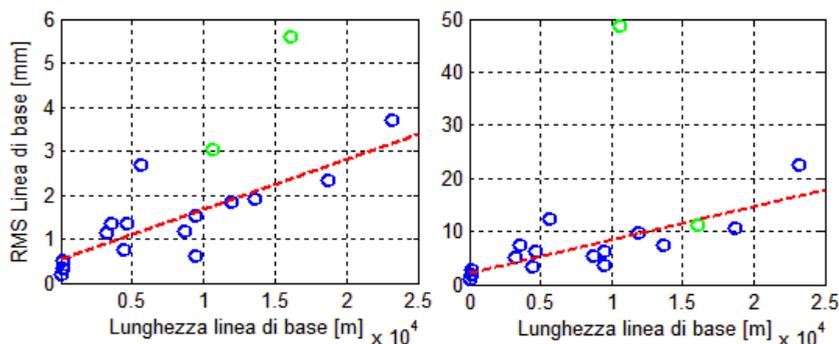
- differenza di quota tra i ricevitori: mettendo in relazione le percentuali riportate in *Tabella 4* con le caratteristiche delle linee di base analizzate (*Tabella 1*), si osserva come i risultati “peggiori” si ottengono per le linee di base di lunghezza superiore a 5 km e caratterizzate da una differenza di quota significativa tra i ricevitori (oltre 1200 metri, nel caso di BORG-AFAL e ZOUF-FUSE). Le cause della poca “efficienza” del *software* nella stima di linee di base con sensibili differenze in quota devono essere ricercate nel tipo di modelli algoritmici implementati da NDA Lite (modelli di stima degli effetti della troposfera sulla propagazione del segnale GPS). Come descritto in seguito, la differenza di quota riveste un ruolo importante anche nella diminuzione della ripetibilità delle soluzioni ottenute.

**Relazione tra ripetibilità e lunghezza della linea di base.** I risultati sperimentali permettono di definire la relazione esistente tra lunghezza della linea di base e ripetibilità della misura. I dati più significativi riportati nelle tabelle sono mostrati anche in *Figura 10*, dove è mostrato l'andamento della ripetibilità in funzione della lunghezza della linea di base, nel caso di serie storiche di sessioni giornaliere (pannello di sinistra) e di 30 minuti (pannello di destra): in entrambi i casi è evidente la relazione di proporzionalità diretta tra lunghezza della linea di base e ripetibilità. I grafici riportano anche le rette interpolanti ai minimi quadrati:

$$\begin{aligned} RMS_{1440\text{min}} &= 0.1132 \cdot D + 0.5412 \\ RMS_{30\text{min}} &= 0.6312 \cdot D + 2.1468 \end{aligned} \quad (1)$$

dove RMS è espressa in millimetri e D (lunghezza della linea di base) è espressa in km. Nell'ipotesi di distribuzione gaussiana degli errori, se è richiesta l'identificazione di uno spostamento di 5 mm con il 95% di probabilità, la massima RMS tollerabile è pari a  $5/1.96 = 2.55$  mm. Indicativamente, applicando le equazioni (1), la massima distanza ammessa tra i ricevitori è pari a 17.7 km nel caso si analizzino spostamenti medi su sessioni giornaliere, solo 0.6 km nel caso si analizzino sessioni di durata 30 minuti.

**Ripetibilità della misura nel caso di linee di base con componente verticale non trascurabile rispetto alla distanza complessiva tra i ricevitori.** È comunque evidente dai grafici riportati in *Figura 11* e dai dati riportati in *Tabella 5* come l'analisi delle linee di base caratterizzate da una marcata differenza di quota tra i ricevitori (BORG-AFAL e ZOUF-FUSE, i cui valori di RMS sono



*Figura 11 – RMS relativo al modulo della linea di base in funzione della distanza tra i ricevitori, nel caso di sessioni giornaliere (pannello di sinistra) e di 30 minuti (pannello di destra). I grafici riportano anche le rette interpolanti ai minimi quadrati. Si sono escluse dall'analisi le linee di base con componente UP non trascurabile (marker verdi nei grafici).*

riportati con *marker* verdi nei grafici) produca risultati sensibilmente meno precisi rispetto a quelli ottenuti nell'analisi di linee di base con modulo simile ma componente verticale trascurabile. Per questo motivo, i risultati sperimentali delle due linee di base non sono stati utilizzati nella stima dei parametri della retta interpolante riportati nelle equazioni (1). Inoltre, questi risultati dovrebbero essere attentamente presi in considerazione nella scelta del posizionamento relativo tra ricevitore di riferimento e ricevitore *rover* in applicazioni di monitoraggio. Come già riportato in precedenza, questo risultato può essere spiegato sulla base dei modelli algoritmici implementati da NDA Lite nella stima degli effetti troposferici sulla propagazione del segnale GPS nel caso di differenze di quota così marcate.

#### **Effetto della frequenza di campionamento delle osservabili su ripetibilità e tempi di calcolo.**

L'ultimo aspetto preso in considerazione riguarda la relazione tra ripetibilità della misura e tempi di calcolo della soluzione. I risultati ottenuti dimostrano come, all'aumentare della frequenza di campionamento, non corrisponda un miglioramento significativo della ripetibilità della misura (differenze massime di RMS inferiori a 0.1 mm – corrispondenti a circa il 2% – tra soluzioni calcolate su dati a 30 s e su dati a 2 s, a parità di durata della sessione), a fronte di un sostanziale aumento dei tempi di calcolo da parte di NDA Lite (il calcolo di una soluzione oraria con dati campionati a 2 s richiede mediamente un tempo 14.8 volte maggiore rispetto al calcolo della stessa soluzione oraria con dati campionati a 30 s).

#### **Conclusioni**

I risultati riportati nelle sezioni precedenti dimostrano come le prestazioni del *software* NDA Lite permettano l'utilizzo dello stesso in diversi ambiti di monitoraggio strutturale: in particolare si è dimostrato come nel caso di analisi di linee di base corte (di lunghezza inferiore al chilometro), la ripetibilità sia adeguata (RMS inferiore a 3 mm) anche quando vengono analizzate sessioni di lunghezza inferiore all'ora. Nel caso di linee di base di lunghezza maggiore è auspicabile di effettuare misure su sessioni di durata almeno oraria; in questi casi, risulta inoltre importante posizionare i ricevitori di riferimento e *rover* a quote simili (indicativamente non superiori a 100 metri), per non inficiare le prestazioni del sistema di monitoraggio. Infine, si è dimostrato come la scelta di utilizzare segnali GPS a bassa frequenza (periodo di campionamento 30 secondi) non modifichi l'accuratezza del sistema di misura, pur diminuendo drasticamente la quantità di dati che ogni ricevitore deve acquisire, salvare localmente e trasmettere.

Un *setup* di misura con le caratteristiche appena riportate è facilmente implementabile nel caso di monitoraggio di edifici e strutture. In questi casi è infatti ragionevole ipotizzare di collocare un ricevitore sulla sommità dell'edificio da monitorare ed un secondo ricevitore a terra, nelle immediate vicinanze dello stesso (in un luogo in cui, comunque, sia visibile una porzione adeguata di cielo). Sulla base dei risultati ottenuti e nell'ipotesi di realizzare un *setup* sperimentale come quello appena descritto, i prossimi passi della collaborazione tra Galileian Plus ed EUCENTRE prevedono la realizzazione di uno studio pilota relativo al monitoraggio con tecniche GPS di edifici storici siti nella città di Pavia.

#### **Ringraziamenti**

Un sentito ringraziamento va a Marco Osmo di Galileian Plus per la preziosa collaborazione nell'analisi dei risultati e nella revisione dell'articolo.

#### **Bibliografia**

Chersich M., De Giovanni A., Osmo M., "NDA: Un Tool Italiano per il Processamento Automatico di Dati da Reti GPS Permanenti", *Atti 6a Conferenza Nazionale ASITA, Perugia, Novembre 2002*;  
Chersich M., Crosta G.B., "Monitoraggio GPS di Instabilità di Pendio: la Frana di Cortenova (Lc)", *Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA, Roma, Dicembre 2004*.