

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,

AMBIENTALE E DEI MATERIALI

TESI DI LAUREA

in

TOPOGRAFIA

**POSIZIONAMENTO CINEMATICO DI PRECISIONE:
CONFRONTO TRA TECNICHE GNSS DIFFERENZIALI ED
INDIFFERENZIALI**

CANDIDATO

Eugenio Serantoni

RELATORE:

Chiar.mo Prof. Luca Vittuari

Anno Accademico 2010/11

Sessione II

Sommario

1. Introduzione	5
1.1. Posizionamento Relativo Cinematico Continuo	6
1.2. Precise Point Positioning	8
1.2.1. Correzioni caratteristiche del posizionamento PPP.....	10
1.3. Servizi di rete	14
2. Operazioni di campagna	15
2.1. Strumentazione utilizzata nel rilievo	18
2.2. Prodotti CODE utilizzati.....	18
3. Processamento delle osservazioni.....	19
4. Comparazione delle soluzioni.....	22
4.1. Posizionamento relativo GrafMov e relativo RTKLIB	23
4.2. Posizionamento relativo GrafMov e PPP GrafMov	26
4.3. Posizionamento relativo RTKLIB e PPP RTKLIB	29
4.4. Posizionamento relativo GrafMov e PPP RTKLIB.....	34
5. Interpretazione delle soluzioni.....	37
6. Conclusioni e prospettive	38
7. Bibliografia	41
8. Appendice: esempi di documenti utilizzati nell'elaborazione dei dati	43
8.1. File delle osservazioni	43
8.2. File delle effemeridi trasmesse.....	44
8.3. File delle effemeridi precise.....	45
8.4. File degli offset degli orologi dei satelliti	46
8.5. File di output (GrafMov)	47
8.6. File di output (RTKLIB).....	48

1. Introduzione

Lo scopo di questa tesi consiste nell'analizzare le prestazioni del *Precise Point Positioning* (PPP) cinematico in relazione a quelle del posizionamento relativo cinematico continuo. E' stato utilizzato un *data set* relativo al monitoraggio delle dune costiere presso le foci del Bevano. Inoltre, è stata valutata l'attendibilità delle soluzioni ottenute col software geodetico *open-source* RTKLIB (sviluppato da Tomoji Takasu) confrontandole con quelle fornite dal software commerciale GrafNav (Waypoint Consulting Inc.).

Nell'ambito del posizionamento satellitare, le tecniche che consentono di ottenere precisioni spaziali di ordine al più centimetrico sono dette di alta precisione. In particolare, si distinguono due tecniche alternative circa il processamento dei dati, che possono infatti contemplare l'uso di osservabili differenziate od indifferenziate. Un'osservabile è detta differenziata se consiste nel resto della sottrazione fra due segnali. Queste due tecniche non sono da intendersi esclusivamente come diversi algoritmi di elaborazione bensì, in senso più ampio, come distinti approcci al rilievo. Infatti, fra esse vi sono pure differenze relative alla strumentazione necessaria, ai dati di input e, più in generale, alla stima delle correzioni. Nella pratica, le tecniche differenziate e quelle indifferenziate prendono i nomi, rispettivamente, di posizionamento relativo e di *Precise Point Positioning*.

1.1. Posizionamento Relativo Cinematico Continuo

Questo metodo è di gran lunga il più diffuso per applicazioni geodetiche: prevede l'utilizzo di due distinte antenne ricevatrici, di cui una generalmente ferma (*master*) ed una in movimento (*rover*). La finalità consiste nel determinare un vettore tridimensionale (*baseline*) *master – rover* per ogni epoca di acquisizione.

Tale procedimento permette il raggiungimento di accuratezze inferiori al metodo statico, cui è molto simile, a causa della minore ridondanza dei dati acquisiti.

L'utilizzo di due stazioni permette di differenziare le osservabili, ottenendo grandezze che non risentono dei disturbi comuni. Per questo motivo, se le antenne sono poste a grande distanza l'accuratezza della soluzione ne risente negativamente.

Ricevitori

Tipicamente i ricevitori sono di tipo geodetico a doppia frequenza, ossia eseguono sia misure di pseudorange sia di fase e ricevono su entrambe le due portanti L1 (1575.42 MHz) ed L2 (1227.60 MHz).

Varie combinazioni dei due segnali permettono di stimare più agevolmente l'ambiguità di fase (combinazione *Wide-lane* Lw), ottenere precisioni elevate (combinazione *Narrow-lane* Ln) od infine eliminare il ritardo ionosferico (combinazione *Iono-free* Lc).

Effemeridi ed errori di sincronizzazione degli orologi dei satelliti

Il posizionamento cinematico consente di scegliere fra l'utilizzo di effemeridi trasmesse (*broadcast*) o precise. Similmente, l'uso delle stime degli errori di sincronizzazione (*offset*) degli orologi dei satelliti non è strettamente necessario.

L'impiego dei prodotti IGS è però raccomandabile nel posizionamento di alta precisione effettuato in *postprocessing*.

Ambiguità di fase

Per ambiguità di fase si intende il numero di cicli interi contenuti nella distanza satellite-ricevitore all'inizio delle osservazioni.

Il posizionamento relativo cinematico permette di fissare le ambiguità di fase in forma intera mediante differenziazioni singole, doppie e triple dei segnali ricevuti. Inoltre, la

determinazione dell'ambiguità in forma intera (inizializzazione) riveste un ruolo cruciale: essa deve avvenire in tempi brevi, altrimenti in caso di perdita del segnale tratti significativi del percorso del *rover* sono processati in modo impreciso. A tale scopo sono stati sviluppati algoritmi detti *On The Fly* (OTF) che permettono inizializzazioni rapide ed in movimento.

1.2. Precise Point Positioning

Col termine *Precise Point Positioning* si intende una tecnica di posizionamento satellitare che prevede l'elaborazione dei dati ricevuti da un singolo ricevitore GNSS (geodetico a doppia frequenza). Tale ricevitore può rimanere fermo su un punto (modalità statica) o muoversi (modalità cinematica). Questa tecnica fu sviluppata negli anni novanta dal *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) della NASA.

L'utilizzo di un solo ricevitore comporta l'adozione di diversi accorgimenti relativi alla strumentazione, ai dati in input ed alle tecniche di processamento. La prima conseguenza di ciò è l'impossibilità di disporre delle equazioni differenziate. Le uniche equazioni disponibili sono quelle delle misure di *pseudorange* e di fase, i cui errori sistematici sono da stimare singolarmente.

In genere il processamento è del tipo *code-smoothed*: siccome il posizionamento di codice è meno preciso ma più rapido, viene progressivamente sostituito dal posizionamento di fase. In genere tale *code-smoothing* si esplica in un centinaio di epoche di acquisizione.

L'equazione dell'osservabile di fase assume la seguente forma:

$$\lambda \cdot \phi_i^j(t) = \rho_i^j(t - \tau) + c(\delta t_i - \delta t^j) + \lambda[\phi_i(t_0) - \phi^j(t_0)] - I_i^j + T_i^j + \lambda \cdot N_i^j + \lambda \cdot \varepsilon_i^j$$

dove:

λ lunghezza d'onda della portante (o della combinazione di portanti)

$\phi_i^j(t)$ osservabile di fase relativa al ricevitore i ed al satellite j

ρ_i^j distanza geometrica tra ricevitore i e satellite j

t istante di ricezione

τ tempo di volo

c velocità della luce nel vuoto

δt_i errore dell'orologio del ricevitore i

δt^j errore dell'orologio a bordo del satellite j (noto se si utilizzano prodotti IGS)

$\phi_i(t_0)$ fase del segnale al ricevitore i all'istante t_0

$\phi^j(t_0)$ fase del segnale inviato dal satellite j all'istante t_0

I_i^j ritardo ionosferico (trascurabile se si utilizza la combinazione *Iono-free*)

T_i^j ritardo troposferico

N_i^j ambiguità iniziale di fase relativa al ricevitore i ed al satellite j (non intera)

ε_i^j rumore sul segnale relativo al ricevitore i ed al satellite j (*multipath* incluso)

Similmente al posizionamento di codice, almeno quattro satelliti sono necessari per poter effettuare il posizionamento: alle tre coordinate spaziali va aggiunta una quarta incognita, ossia l'errore dell'orologio del ricevitore, non determinabile tramite singole differenze.

Inoltre, l'impossibilità di disporre delle equazioni alle triple differenze rende impraticabile la determinazione dell'ambiguità iniziale di fase in forma intera.

Effemeridi ed errori di sincronizzazione degli orologi dei satelliti

Per quanto riguarda le effemeridi e gli *offset* degli orologi dei satelliti, non si utilizzano i dati *broadcast*, bensì quelli precisi, frutto di un'elaborazione a posteriori. Tali prodotti sono distribuiti da centri di ricerca internazionali.

L'uso di stime precise circa le asincronie degli orologi dei satelliti è molto importante, in quanto con un singolo ricevitore non si è in grado di ottenere equazioni alle singole differenze, le quali eliminerebbero il suddetto anacronismo.

Inoltre, le correzioni degli orologi dei satelliti sono divenute di reale utilità solo successivamente allo spegnimento della *Selective Availability* (2 maggio 2000). Prima di allora il degrado artificiale della precisione degli orologi rendeva impossibile interpolare le correzioni degli stessi effettuate dai centri di ricerca. Pertanto, la difficoltà consisteva nel far coincidere le epoche di acquisizione con quelle per cui era fornita la correzione (Colombo, 2004).

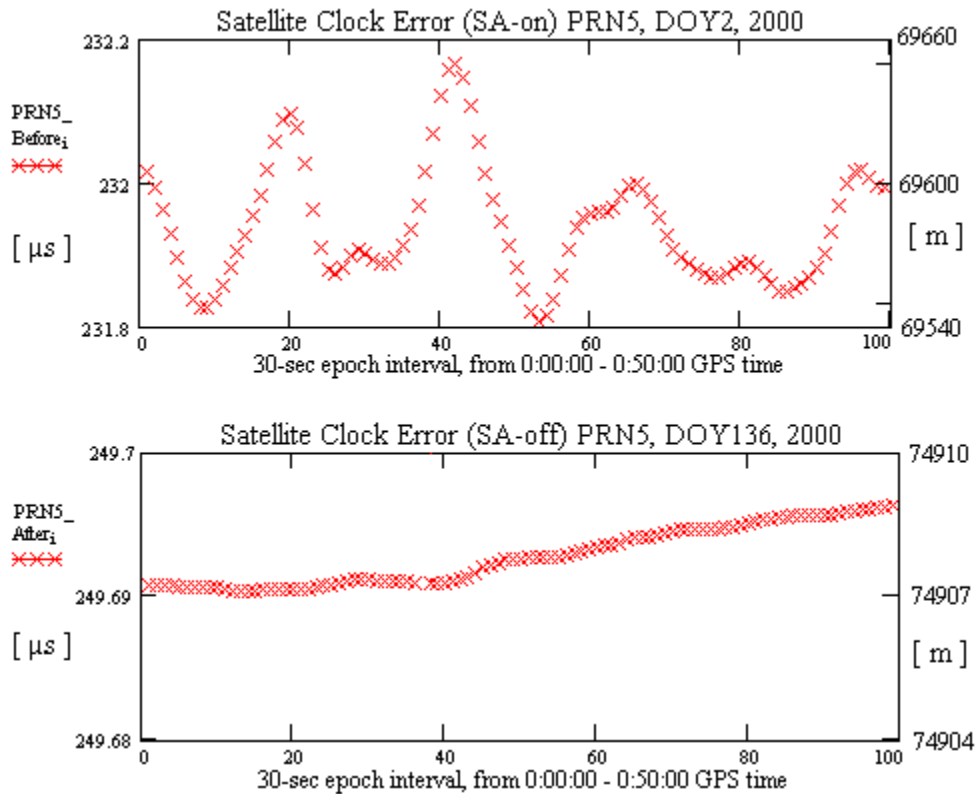


Fig. 1.1 - Correzioni dell'orologio di bordo del satellite PRN5 prima e dopo la disattivazione della SA. (Witchayangkoon, 2000)

1.2.1. Correzioni caratteristiche del posizionamento PPP

Ritardo ionosferico

Il ritardo ionosferico è proporzionale alla quantità di particelle ionizzate presenti sul cammino del segnale GPS.

Tale ritardo ha la particolarità di essere inversamente proporzionale al quadrato della frequenza dell'onda. Pertanto, se si dispone di un ricevitore a doppia frequenza, combinando le due portanti L_1 ed L_2 è possibile ottenere una nuova osservabile indipendente dagli effetti ionosferici. Tale segnale è largamente impiegato nello stimare l'errore ionosferico ed è detta *Iono-free*, L_c o L_3 .

Assume la forma

$$L_c = \frac{(f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2)}{f_1^2 - f_2^2}$$

Il segnale L_c fornisce precisioni sub-centimentriche ($\lambda_{Lc} \cong 10.7$ cm) sebbene non consenta il fissaggio dell'ambiguità iniziale in forma intera (le portanti L1 ed L2 sono moltiplicate per valori non interi). Per queste ragioni è generalmente utilizzato nel posizionamento PPP.

Ritardo troposferico

Il ritardo troposferico T_r è modellizzato come il prodotto fra ritardo allo zenit (*Zenital Path Delay* ZPD) ed una funzione mappante M, che corregge il ritardo del segnale al variare dell'angolo zenitale.

Inoltre, il ZPD viene diviso in due componenti, una è funzione dello spessore di aria secca attraversata dal segnale (ZPD_h) ed una è funzione dell'umidità dell'atmosfera (ZPD_w):

$$T_r = M \cdot ZPD_h + M \cdot ZPD_w$$

ZPD_h e ZPD_w possono essere stimati con formule che contemplano i parametri atmosferici (temperatura, pressione, umidità) presso la stazione ricevitrice: le più diffuse sono quelle di Hopfield (1969) e Saastamoinen (1971).

Valori tipici dei due ritardi ZPD_h e ZPD_w sono 230 cm e 10 cm rispettivamente (Niell, 1996).

Invece, per quanto riguarda le funzioni mappanti, le più semplici sono funzione del solo angolo zenitale della *baseline master – rover*, mentre le più avanzate tengono conto anche dei parametri atmosferici o della latitudine del luogo.

Le funzioni mappanti più usate sono quelle dette *Vienna Mapping Function* (VMF) e *Niell Mapping function* (NMF): la prima fa uso di modelli meteorologici globali (Bohem et al., 2005), mentre la seconda non tiene conto delle caratteristiche atmosferiche del luogo, ma solo di latitudine, longitudine e giorno dell'anno (Niell, 1996).

Effetti relativistici

Gli effetti relativistici più significativi sono il ritardo Sagnac e, secondariamente, l'effetto Doppler (Ashby, 2003). Il primo, se non corretto, comporta errori notevoli, dell'ordine delle centinaia di nanosecondi ($100 \text{ ns} \cdot c \cong 30 \text{ m}$).

Entrambi questi fenomeni possono essere stimati in modo piuttosto semplice e con grande precisione grazie ai relativi modelli fisici.

Offset dei centri di fase delle antenne dei ricevitori

A differenza della gran parte degli strumenti topografici (total station, livelli...) il centro strumentale dei ricevitori GPS non è né materializzato né indipendente dalla misura.

Le antenne presentano unicamente un riferimento posto sull'involucro detto *Antenna Reference Point* (ARP) utilizzato per collegarne la quota a capisaldi altimetrici. Infatti, la posizione del centro di fase dell'antenna ricevitrice (*Phase Center Variation* PCV) rispetto all'ARP può variare in un intervallo di diversi centimetri ed è funzione della frequenza della portante e dell'elevazione del satellite.

I PCV delle diverse antenne in commercio sono determinati in laboratorio e descritti in appositi file da includere nel processamento. Inoltre, è buona norma calibrare periodicamente le antenne in proprio possesso.

Offset dei centri di fase delle antenne dei satelliti

Le orbite descritte dai satelliti coincidono con quelle dei relativi centri di massa, mentre le *baseline* satellite-ricevitore sono riferite ai centri di fase delle due antenne.

Siccome i centri di massa dei satelliti non coincidono necessariamente coi centri di fase delle antenne a bordo, nel processamento è importante conoscere le posizioni relative di questi due punti e l'orientazione di ogni satellite. La prima di queste informazioni è fornita dall'IGS, la seconda è deducibile da effemeridi e messaggio di navigazione.

Phase wind-up

Il *phase wind-up* è un effetto dipendente dalle mutue orientazioni delle antenne (del satellite e del ricevitore).

Difatti, il segnale GPS è polarizzato circolarmente ed un ciclo corrisponde ad un'intera rotazione del campo elettrico. Pertanto, le rotazioni relative delle due antenne possono essere erroneamente interpretate come moti diretti lungo la congiungente.

In pratica, tali rotazioni possono avvenire contestualmente alle rotazioni dei satelliti finalizzate ad orientare i pannelli solari verso il Sole. Per quanto riguarda le antenne a terra

tale sistematismo è assente in caso di stazioni fisse mentre è assorbito dalle correzioni temporali nel caso di stazioni mobili (Kouba, 2009).

Una particolarità di questo fenomeno è che i suoi effetti variano con continuità nel tempo.

Movimenti periodici della superficie terrestre

L'utilizzo di effemeridi precise permette di ottenere soluzioni espresse nel sistema di riferimento globale *International Terrestrial Reference System* (ITRS), aggiornato quotidianamente. Di conseguenza, le fluttuazioni con periodicità giornaliera o sub-giornaliera vanno stimate in modo indipendente e, fra queste, le principali sono le maree della Terra solida ed il carico oceanico.

Le maree della Terra solida sono movimenti periodici dovuti al fatto che la Terra non è infinitamente rigida. Possono raggiungere ampiezze di 12 centimetri in quota (Kouba, 2009). Tali moti sono descrivibili in armoniche sferiche e sono causati dalle stesse forze che provocano le maree, ossia l'attrazione gravitazionale della Luna e, secondariamente, del Sole.

Le maree stesse, invece, sono la causa del carico oceanico, ossia l'attrazione esercitata dalle masse d'acqua nei confronti della crosta emersa. Rispetto alle maree della Terra solida, i moti causati dal carico oceanico sono minori e concentrati nelle zone costiere.

1.3. Servizi di rete

Le effemeridi *broadcast* sono fornite con una precisione di circa 1 m (1 deviazione standard), decisamente inaccettabili per un posizionamento di alta precisione. Pertanto, l'utilizzo di effemeridi più accurate è necessario in caso di posizionamento PPP e comunque consigliabile per ogni posizionamento in *postprocessing*.

Effemeridi più precise ed accurate sono fornite da centri di ricerca internazionali quali l'*International GNSS Service* (IGS) ed altri come il *Center for Orbit Determination in Europe* (CODE) di Berna, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ed il JPL. Ad esempio, l'IGS dispone di numerose stazioni permanenti su tutto il globo che inviano ai propri centri di calcolo i segnali ricevuti con cadenza oraria. Tali stazioni, equipaggiate di orologi estremamente precisi (oscillatori al cesio – rubidio, maser ad idrogeno), raffittiscono la rete dell'*International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) e si integrano con essa. Mediante compensazione di queste misure sono determinate le posizioni dei satelliti, definite nel sistema di riferimento globale ITRS corrente, che è oggi pressoché coincidente con WGS84, sistema di riferimento nativo del GPS. Conseguentemente, l'uso di effemeridi precise permette anche ottenere soluzioni in un sistema di riferimento aggiornato.

Le effemeridi precise (*final*) sono quindi combinate e distribuite gratuitamente dall'IGS via INTERNET con una latenza di 12 - 18 giorni: presentano una deviazione standard pari a 2,5 cm circa e la frequenza di campionamento è di 15 minuti.

Discorso analogo vale per gli *offset* degli orologi a bordo dei satelliti: se il dato broadcast presenta una deviazione standard pari a 2,5 nanosecondi ($2,5 \text{ ns} * c \cong 0,75 \text{ m}$), il dato preciso ha $\sigma \approx 0,02 \text{ ns}$ ($0,02 \text{ ns} * c \cong 0,006 \text{ m}$). I prodotti relativi agli *offset* degli orologi sono distribuiti dall'IGS contestualmente alle effemeridi e hanno frequenza di campionamento di 30 secondi. Il CODE fornisce i propri dati anche con una frequenza di campionamento di soli 5 secondi.

2. Operazioni di campagna

Le misure sono state eseguite in data 1 aprile 2011 nell'ambito del monitoraggio successivo alla realizzazione di un impianto di vegetalizzazione sulla nuova duna del sito pilota di Foce Bevano. L'intervento è stato condotto dal Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali (DiSTA) dell'Università di Bologna. Il progetto si inserisce in un più ampia azione di riqualificazione del tratto costiero circostante (Speranza et al., 2009).

L'area del rilievo è piuttosto sgombra da ostacoli, eccezion fatta per la pineta posta ad Ovest, ad una distanza di almeno 50 metri. E' pertanto improbabile che vi siano verificati problemi significativi di *multipath*.

Le operazioni di campagna si sono articolate in questo ordine:

1. installazione della stazione *master* (su treppiede) in corrispondenza del caposaldo Nord Bevano;
2. misura della quota dell'ARP del *master* rispetto al caposaldo;
3. accensione del rilevatore *master* e relativo settaggio;
4. misura della quota dell'ARP del *rover* (su zaino da spalla indossato) rispetto a terra;
5. accensione del rilevatore *rover* e relativo settaggio;
6. rilievo della duna, effettuato percorrendo a piedi una traiettoria a serpentina.

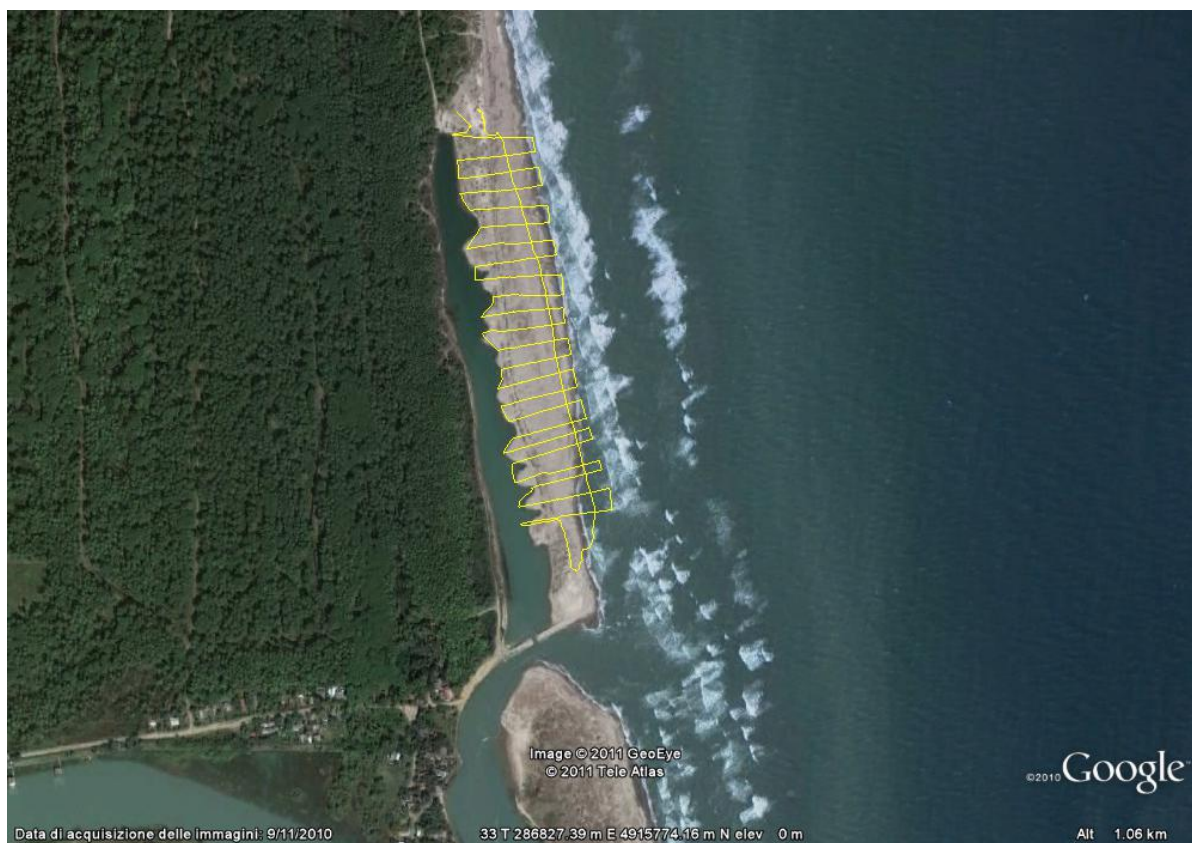


Fig. 2.1 – Vista aerea (Google Earth) del sito di rilievo e traccia del cammino seguito dal rilevatore. La serpentina è stata percorsa verso Nord.

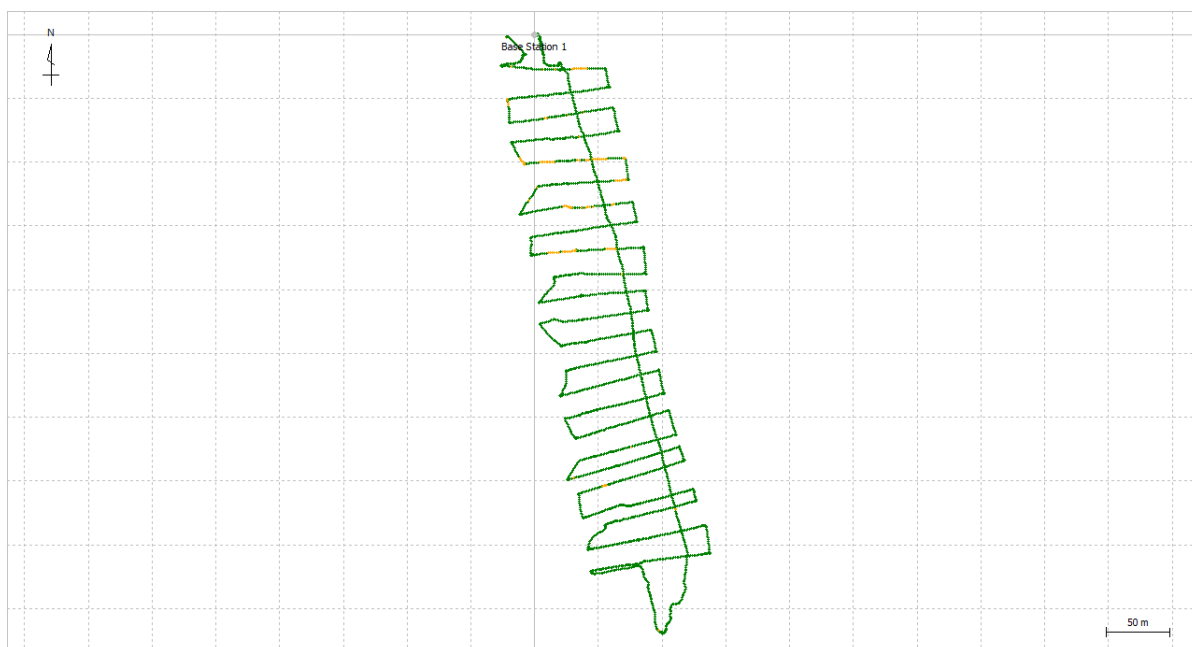


Fig. 2.2 – Traccia dei punti acquisiti dal rilevatore ed elaborati in modalità cinematica relativa. I tratti gialli denotano una precisione inferiore rispetto a quelli verdi.

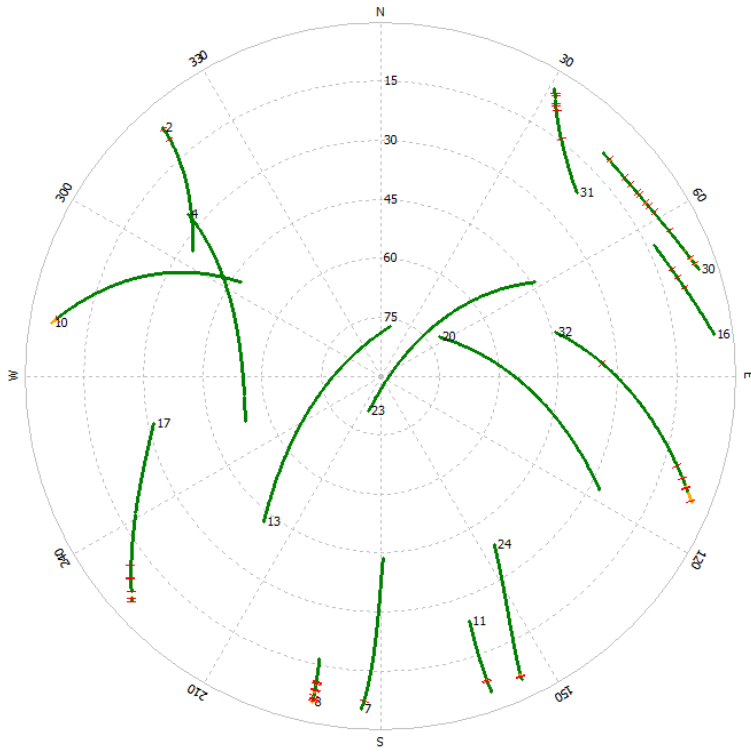


Fig. 2.3 – Mappa del cielo relativa al periodo di acquisizione.

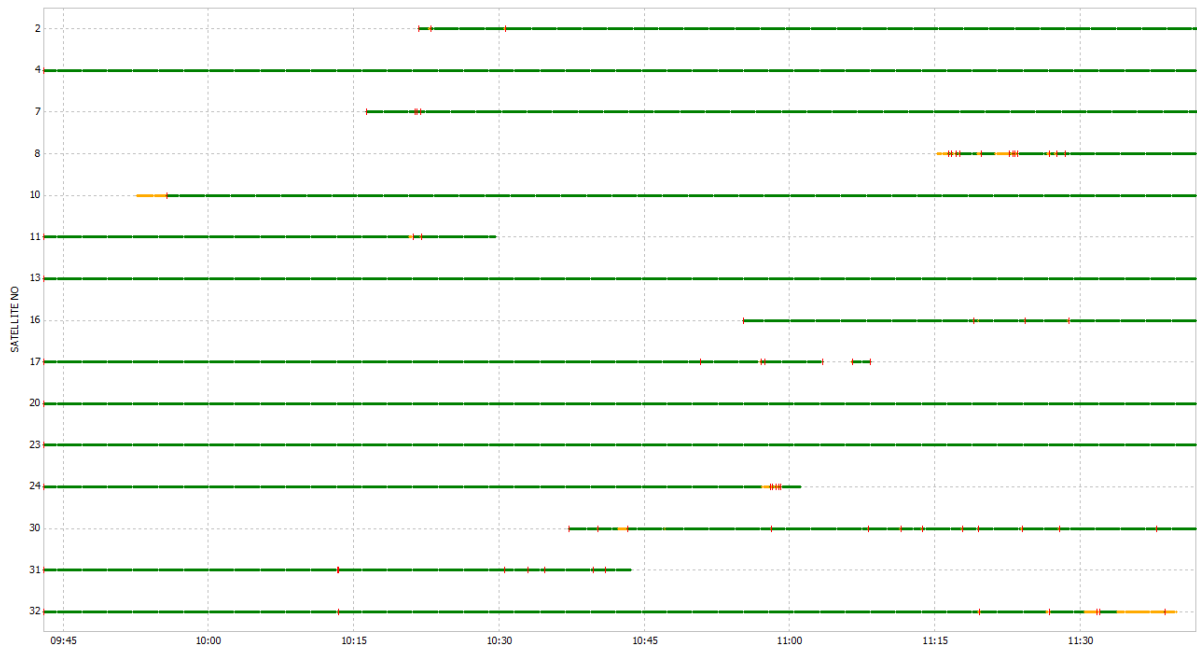


Fig. 2.4 – Satelliti visibili durante il periodo di acquisizione.

2.1. Strumentazione utilizzata nel rilievo

Stazione *master*: ricevitore Trimble R7 GNSS con antenna Zephyr Geodetic 2 TRM55971.00 montata su treppiede (angolo di cut-off = 10°, frequenza di campionamento = 1 s).

Stazione *rover*: ricevitore Trimble R7 GNSS con antenna Zephyr TRM39105.00 montata su uno zaino da spalla (angolo di cut-off = 10°, frequenza di campionamento = 1 s).

2.2. Prodotti CODE utilizzati

Sia nell'elaborazione PPP che in quella relativa si è fatto uso di effemeridi precise e *offset* degli orologi distribuiti dal CODE. I file utilizzati sono i seguenti:

COD16295.eph

COD16295.clk_05s

reperibili all'indirizzo <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/2011>

3. Processamento delle osservazioni

Il processamento dei dati è stato eseguito grazie a due diversi software: Waypoint GrafMov 8.30.0331 prodotto da NovAtel Inc. e RTKLIB 2.4.0 di Tomoji Takasu. Il primo applicativo è di tipo commerciale, mentre il secondo è *open - source*.

In particolare, di GrafMov è stato usato il modulo GrafNav e, similmente, di RTKLIB è stato fatto uso del modulo RTKPOST. Entrambi i moduli sono deputati all'elaborazione in *post-processing* di rilievi statici e cinematici effettuati con misure di fase, sia in modalità relativa che in modalità PPP.

Entrambi gli applicativi implementano un filtro di Kalman, che attenua i rumori sul segnale e prevede i probabili sviluppi del rilievo in modalità cinematica. In particolare, GrafMov permette di impostare il filtro più adatto alla velocità ed tipo di movimenti del rover (su aeromobile, su veicolo terrestre, su natante).

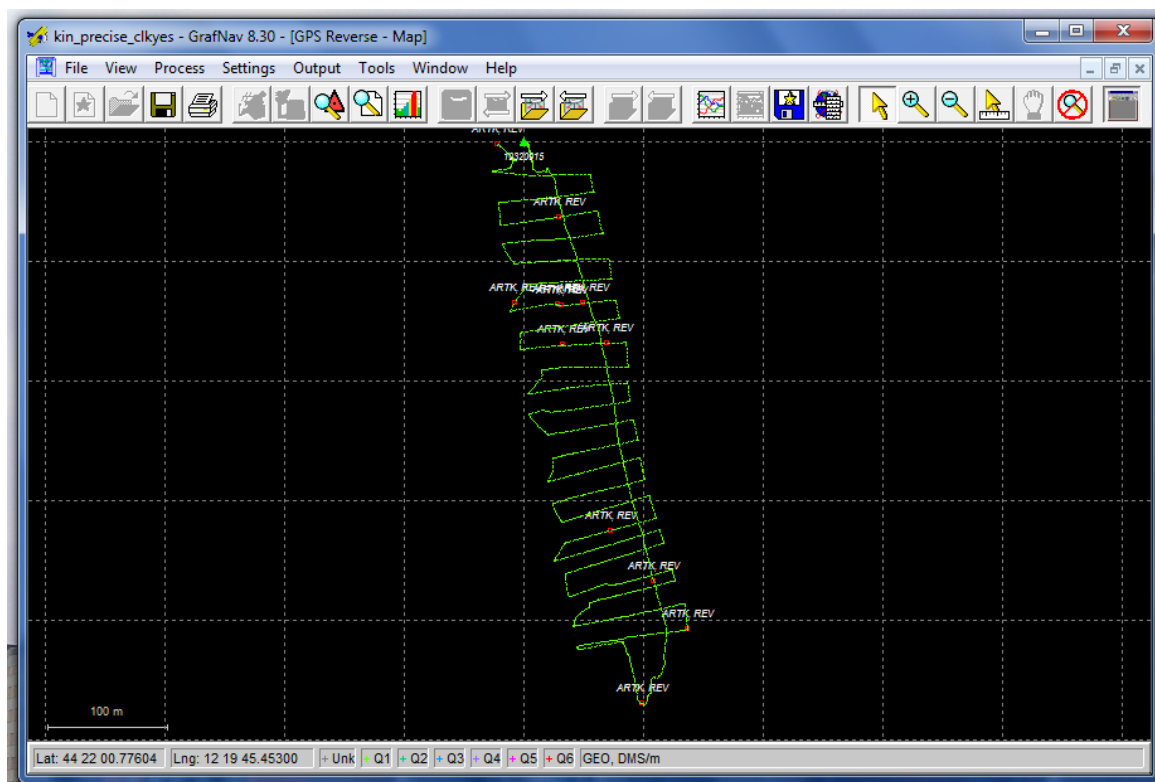


Fig. 3.1 – Ambiente operativo del modulo GrafNav 8.30

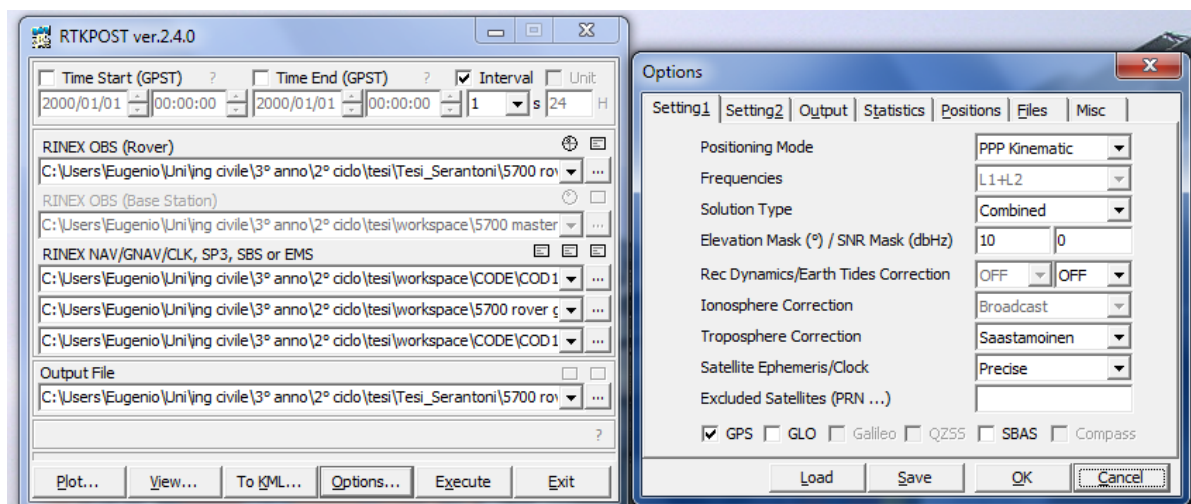


Fig. 3.2 – Ambiente operativo del modulo RTKPOST 2.4.0

La posizione della stazione *master* è stata determinata preliminarmente in modalità differenziale statica. Come stazione di riferimento si è utilizzata quella di Medicina (BO), appartenente all'ITRF, identificata dal codice MEDI. Tali dati sono stati scaricati dall'archivio ftp://geodaf.mt.asi.it.

Entrambi gli applicativi hanno elaborato i medesimi dati di input e, per quanto possibile, la configurazione dei software è stata resa la più omogenea possibile; le correzioni contemplate nel processamento PPP sono dunque: le maree della Terra solida, il phase wind-up e gli offset dei centri di fase delle antenne sia satellitari sia del ricevitore. Il carico oceanico non è stato considerato.

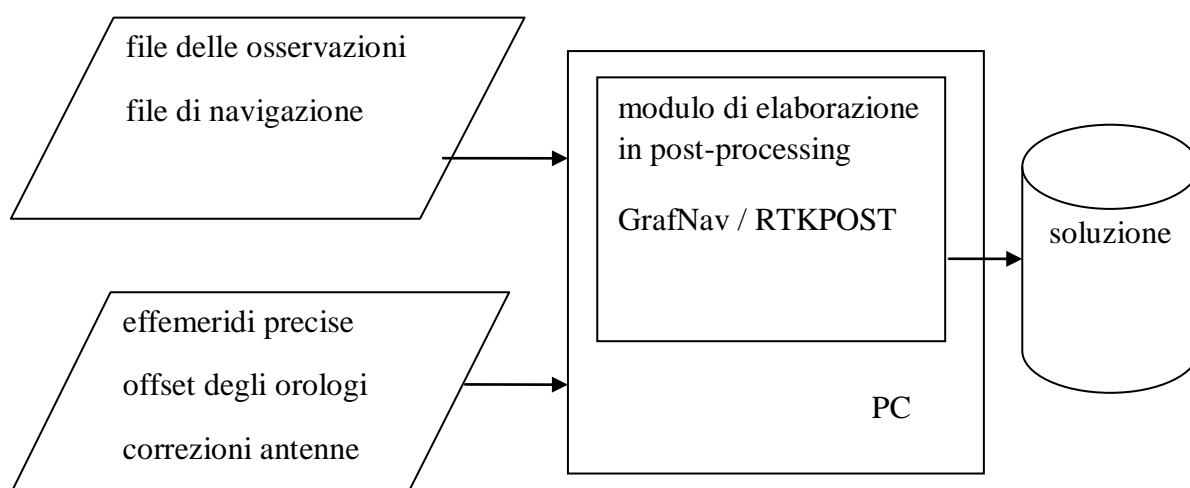


Fig. 3.1 – Diagramma di flusso dell'elaborazione del dato GPS

Le soluzioni fornite dai software, espresse in coordinate cartesiane geocentriche, sono quindi state convertite in coordinate cartografiche UTM, decisamente più intuitive. La conversione è stata effettuata grazie al software Trimble Total Control.

4. Comparazione delle soluzioni

Sono state generate complessivamente quattro soluzioni: una mediante posizionamento relativo ed una mediante posizionamento PPP per ognuno dei due applicativi. Quindi, sono state comparate le seguenti coppie di soluzioni:

1. Posizionamento relativo GrafMov e relativo RTKLIB
2. Posizionamento relativo GrafMov e PPP GrafMov
3. Posizionamento relativo RTKLIB e PPP RTKLIB
4. Posizionamento relativo GrafMov e PPP RTKLIB

4.1. Posizionamento relativo GrafMov e relativo RTKLIB

Siccome GrafMov è considerato un applicativo ben collaudato, questo confronto ha la finalità di valutare se pure il software RTKLIB risponde ad analoghi standard di prestazione per quanto riguarda la tecnica di processamento più diffusa, ossia quella relativa.

Le figure mostrano come le due soluzioni siano pressoché coincidenti: gli scarti raramente superano il cm (fig.4.1.4) e le deviazioni standard degli scarti *North-East-Up* (NEU) sono rispettivamente di 0.33, 0.18 e 0.47 cm.

Inoltre, i sistematismi sono sostanzialmente assenti: gli scarti si distribuiscono secondo campane decisamente simili a gaussiane.

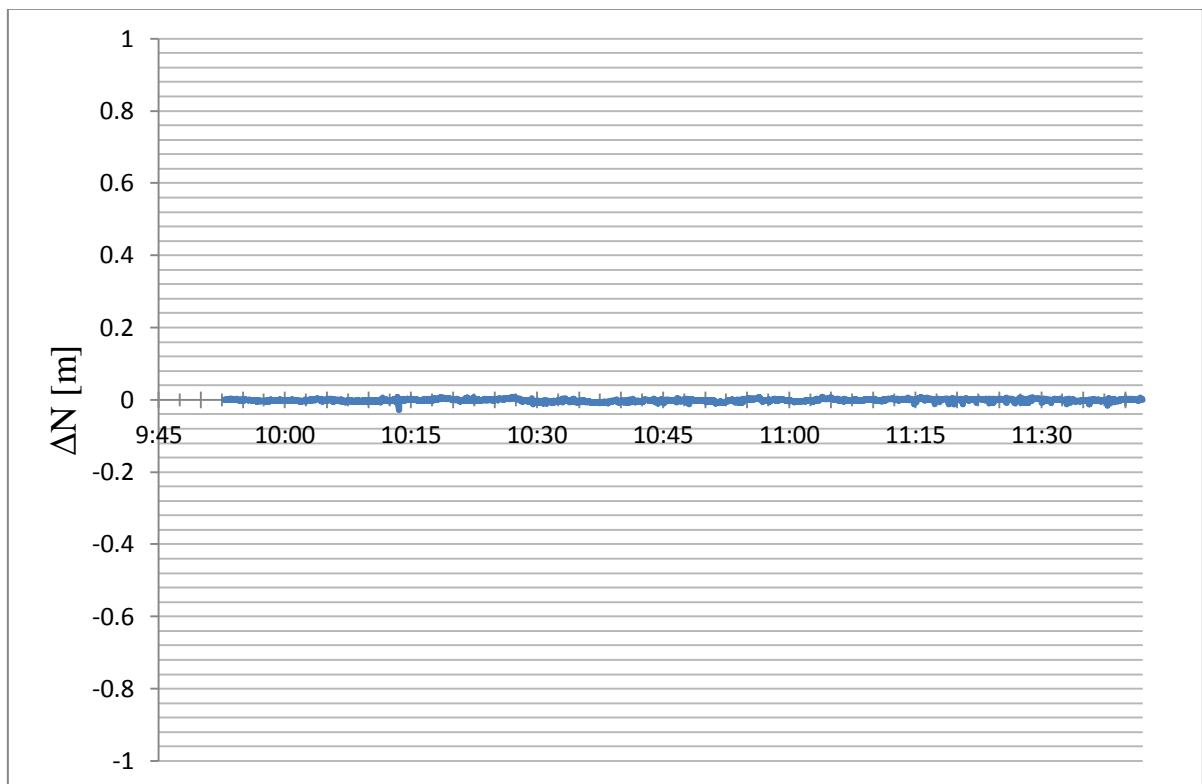


Fig. 4.1.1 – Posizionamento relativo cinematico continuo: serie temporale degli scarti fra le coordinate North delle soluzioni fornite dai software GrafMov e RTKLIB.

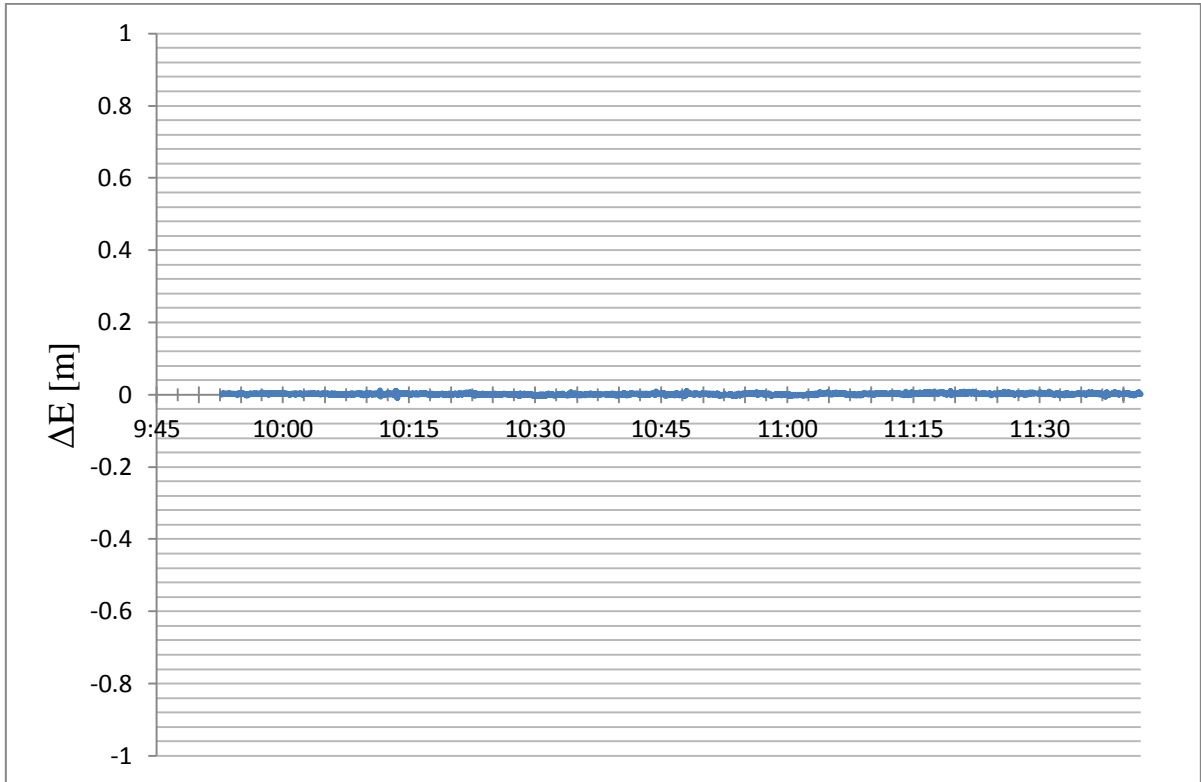


Fig. 4.1.2 – Posizionamento relativo cinematico continuo: serie temporale degli scarti fra le coordinate East delle soluzioni fornite dai software GrafMov e RTKLIB.

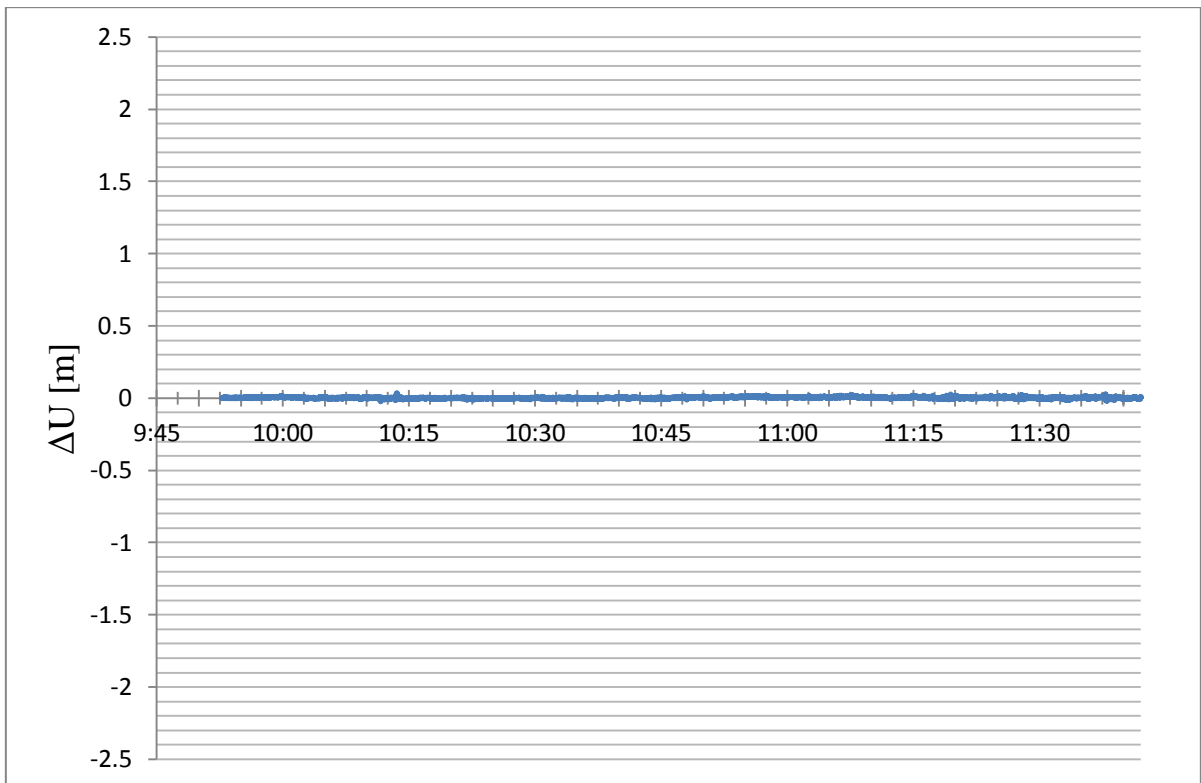


Fig. 4.1.3 – Posizionamento relativo cinematico continuo: serie temporale degli scarti fra le coordinate Up delle soluzioni fornite dai software GrafMov e RTKLIB.

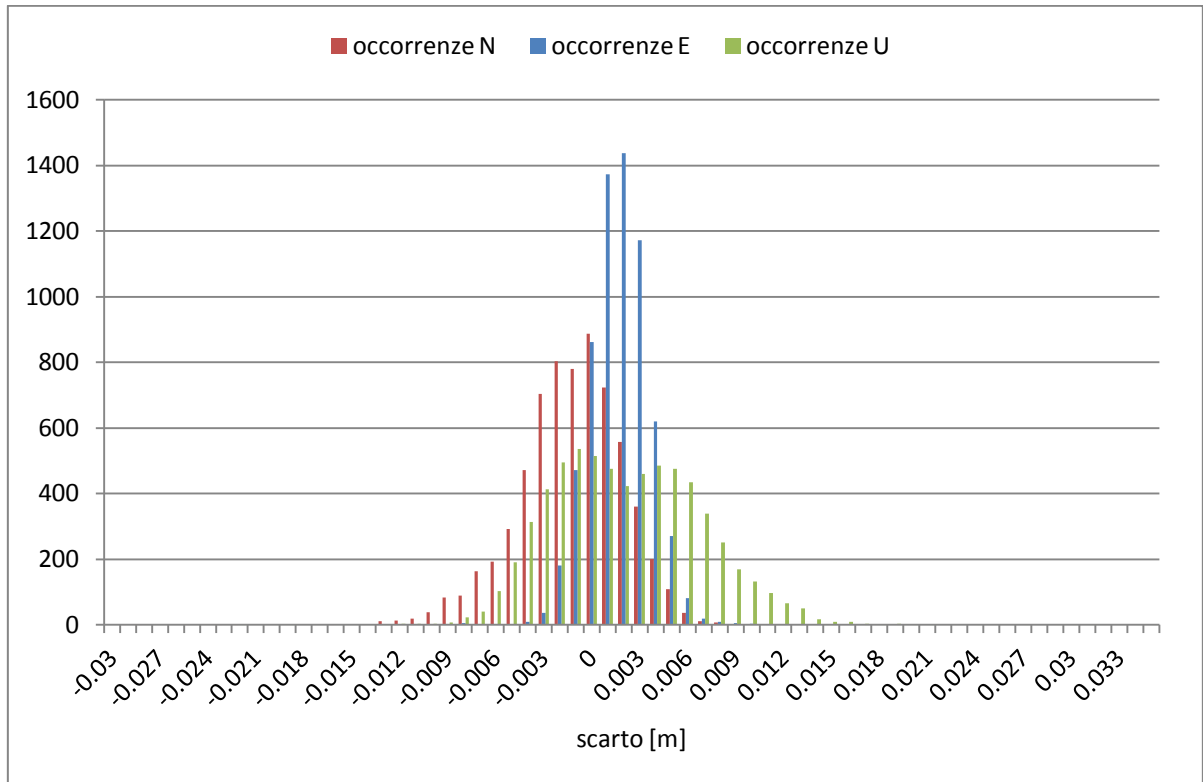


Fig. 4.1.4 – Posizionamento relativo cinematico continuo: distribuzione degli scarti North, East, Up delle soluzioni fornite dai software GrafMov e RTKLIB.

4.2. Posizionamento relativo GrafMov e PPP GrafMov

Questo confronto fornisce indicazioni circa l'accuratezza e la precisione della tecnica differenziata rispetto a quella indifferenziata.

Le figure mostrano come gli scarti fra le due soluzioni siano contenuti entro il decimetro per quanto riguarda le coordinate *North* ed entro i due decimetri per quanto riguarda le altre due.

Le deviazioni standard degli scarti NEU sono rispettivamente di 1.0, 2.3 e 3.0 cm. Osservando le distribuzioni degli scarti (fig. 4.2.4) si nota come la coordinata *North* sia determinata con precisione maggiore rispetto alle restanti, le quali mostrano una significativa coda verso lo zero.

Si osservano poi dei sistematismi: la soluzione PPP sottostima la coordinata *N* e sovrastima le altre. Inoltre, la coordinata *Up* presenta un lieve trend divergente (fig. 4.2.3).

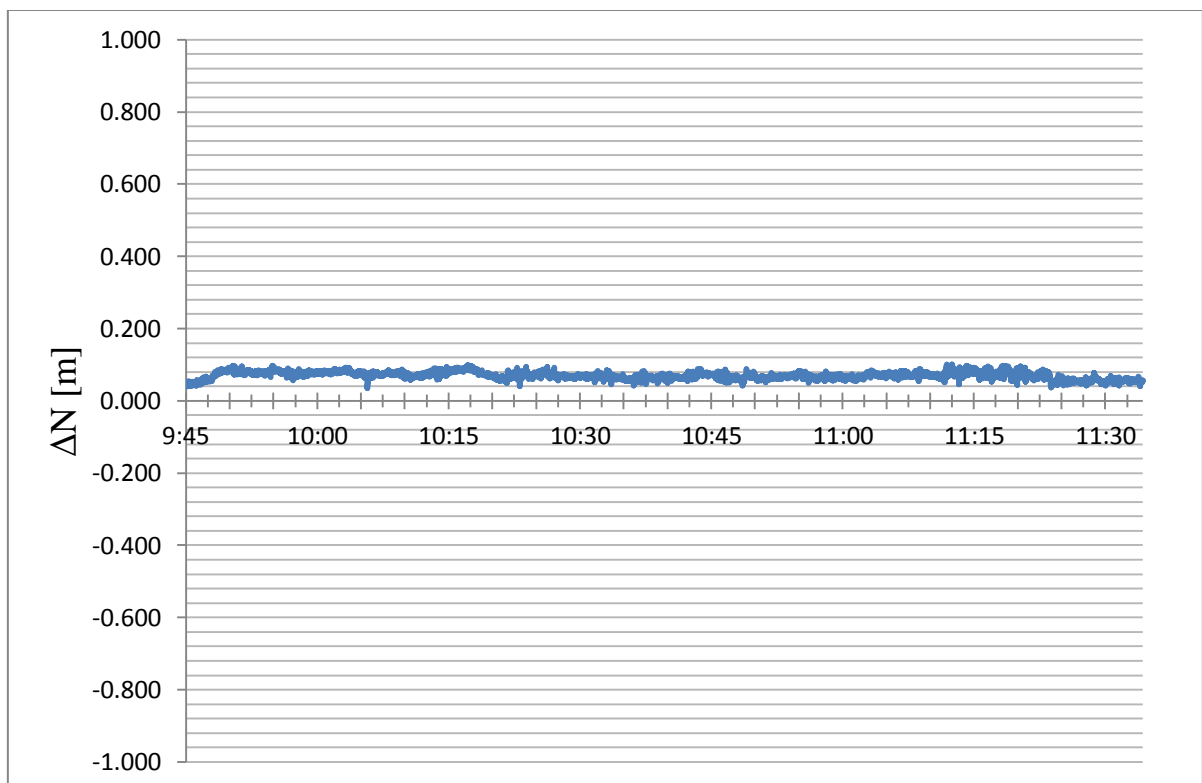


Fig. 4.2.1 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate North delle soluzioni relativa e PPP fornite dal software GrafMov.

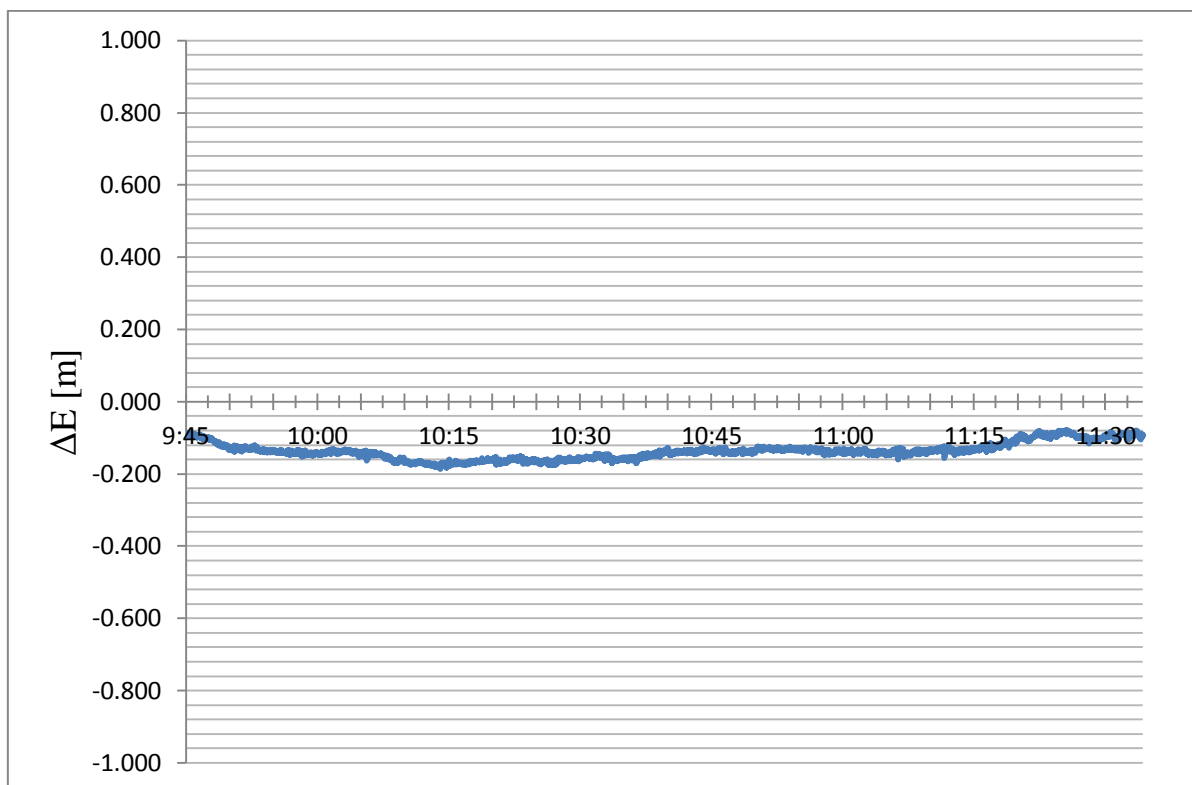


Fig. 4.2.2 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate East delle soluzioni relativa e PPP fornite dal software GrafMov.

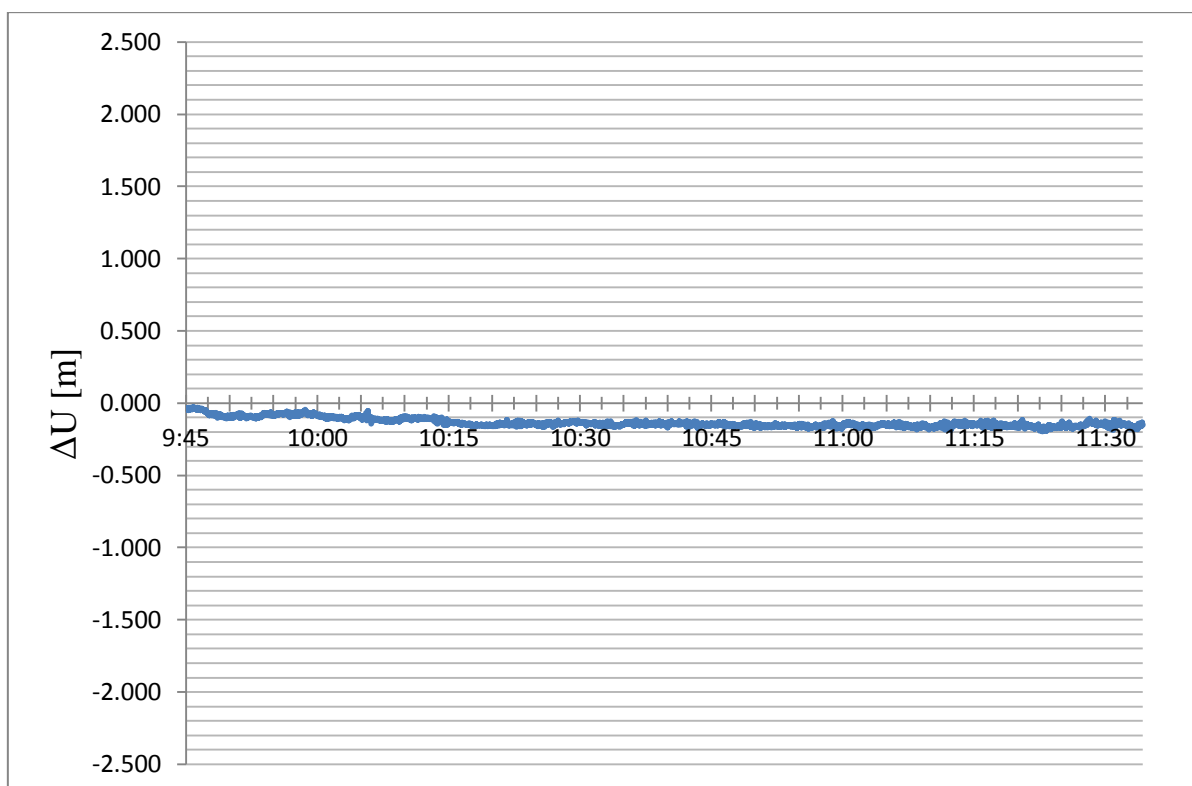


Fig. 4.2.3 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate Up delle soluzioni relativa e PPP fornite dal software GrafMov.

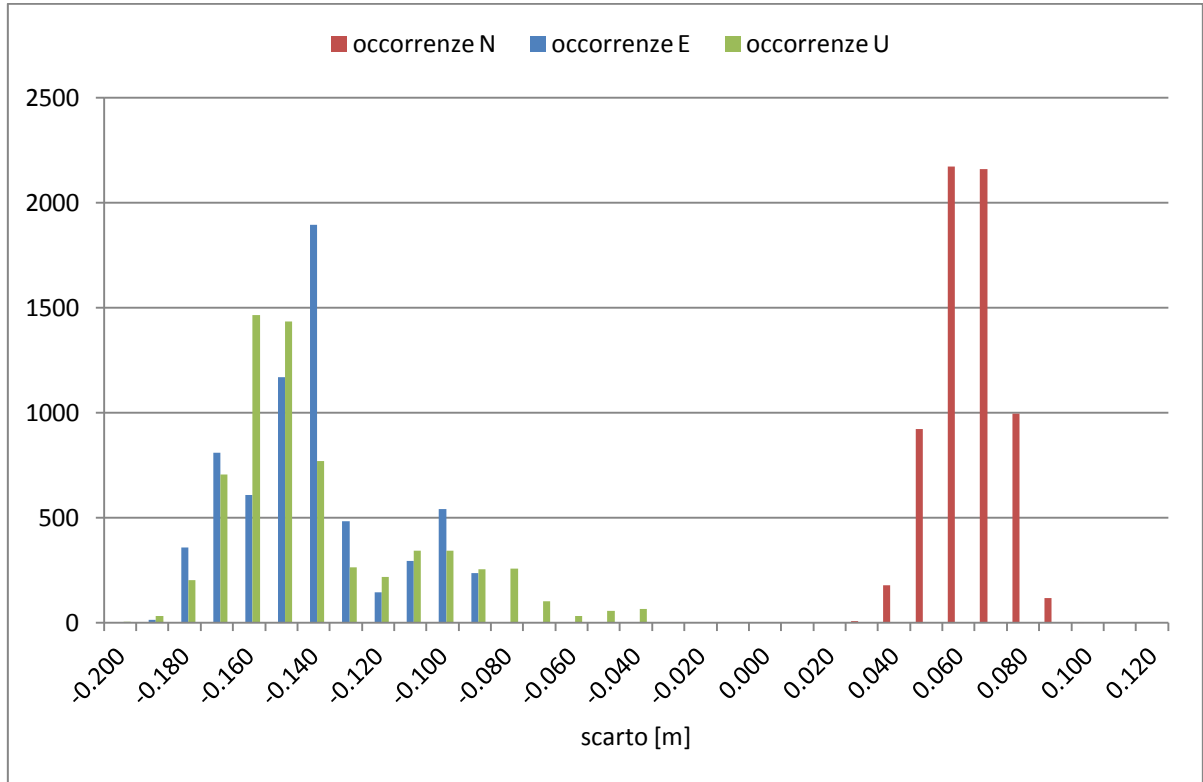


Fig. 4.2.4 - Distribuzione degli scarti North, East, Up delle soluzioni fornite dal software GrafMov.

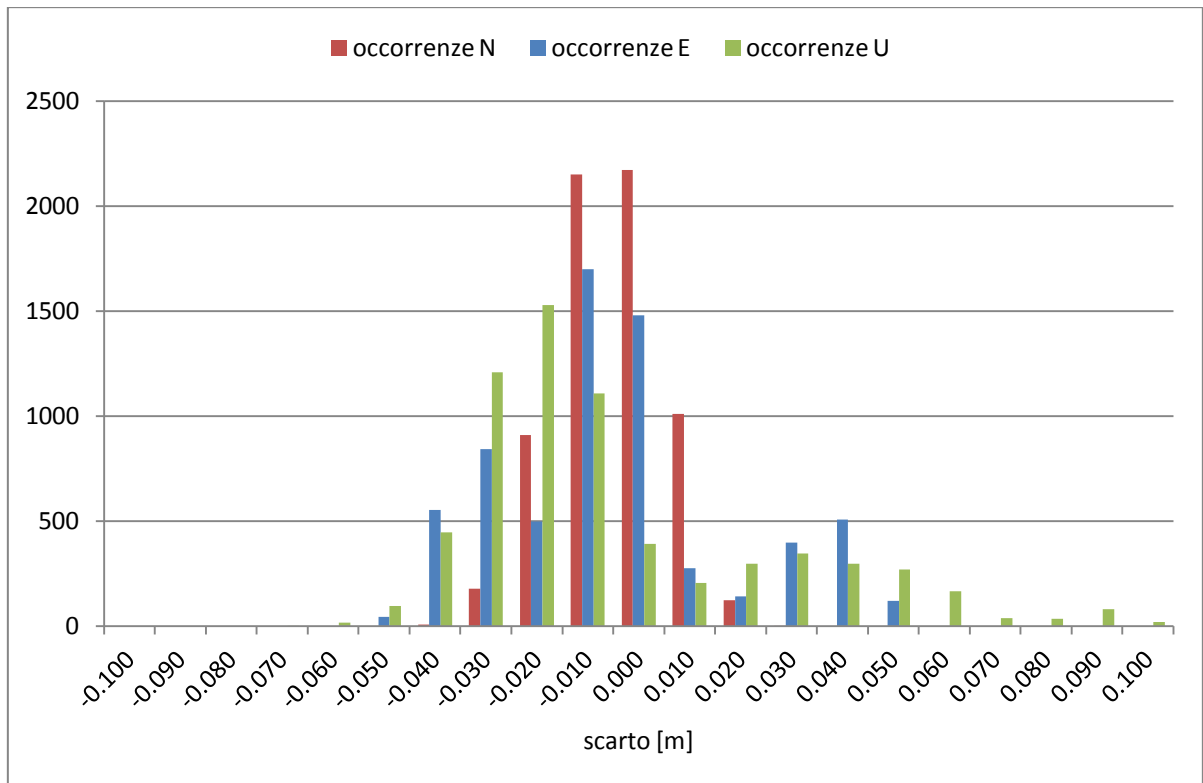


Fig. 4.2.5 – Distribuzioni traslate a media nulla degli scarti North, East, Up delle soluzioni fornite dal software GrafMov.

4.3. Posizionamento relativo RTKLIB e PPP RTKLIB

Analogo al confronto precedente, fornisce indicazioni circa accuratezza e precisione della tecnica differenziata rispetto a quella indifferenziata.

Le figure mostrano come gli scarti fra le due soluzioni siano contenuti entro il metro per quanto riguarda le coordinate *North* ed *East* (figg. 4.3.1, 4.3.2) ed entro i 2,5 metri per quanto riguarda la coordinata *Up* (fig. 4.3.3).

Le deviazioni standard degli scarti NEU sono rispettivamente di 27, 36 e 68 cm. Osservando le distribuzioni degli scarti si nota come la coordinata *Up* sia determinata con precisione decisamente inferiore alle restanti (fig. 4.3.4).

Si osservano poi dei forti sistematismi: le tre soluzioni mostrano dei trend temporali molto marcati e forse divergenti, soprattutto per quanto riguarda la coordinata *Up* (figg. 4.3.3, 4.3.7).

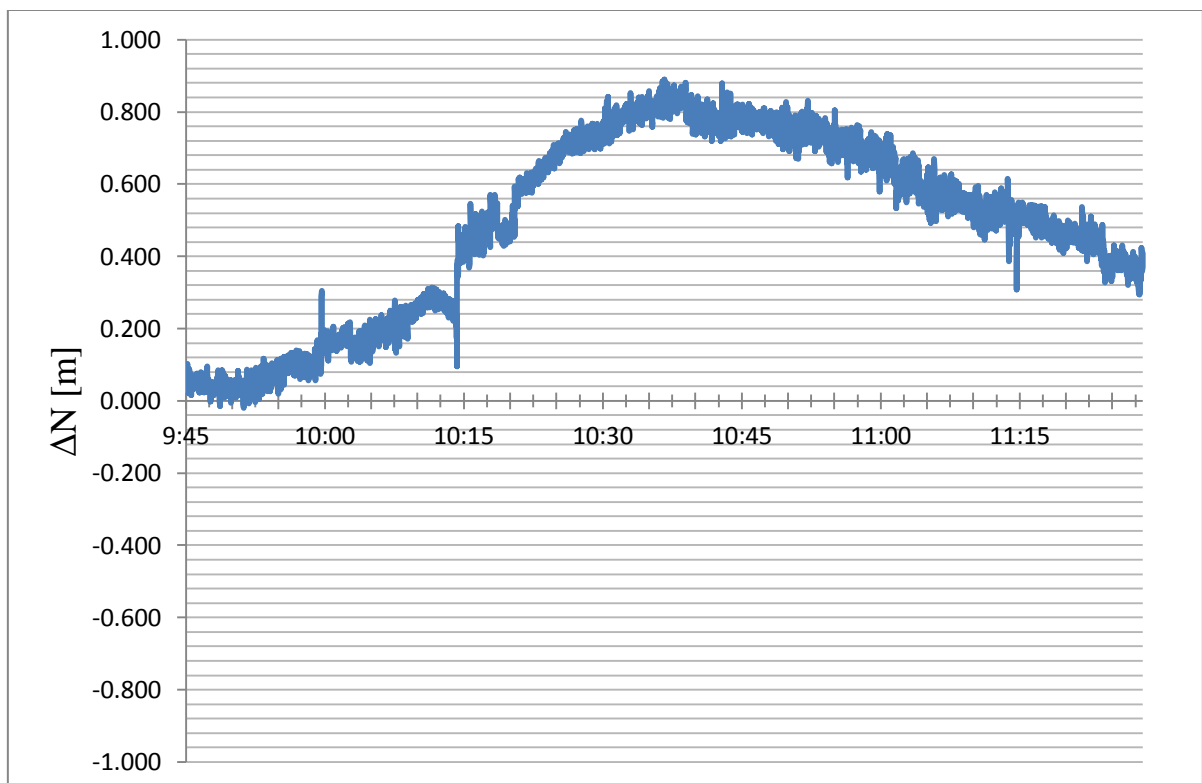


Fig. 4.3.1 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate North delle soluzioni relativa e PPP fornite dal software RTKLIB.

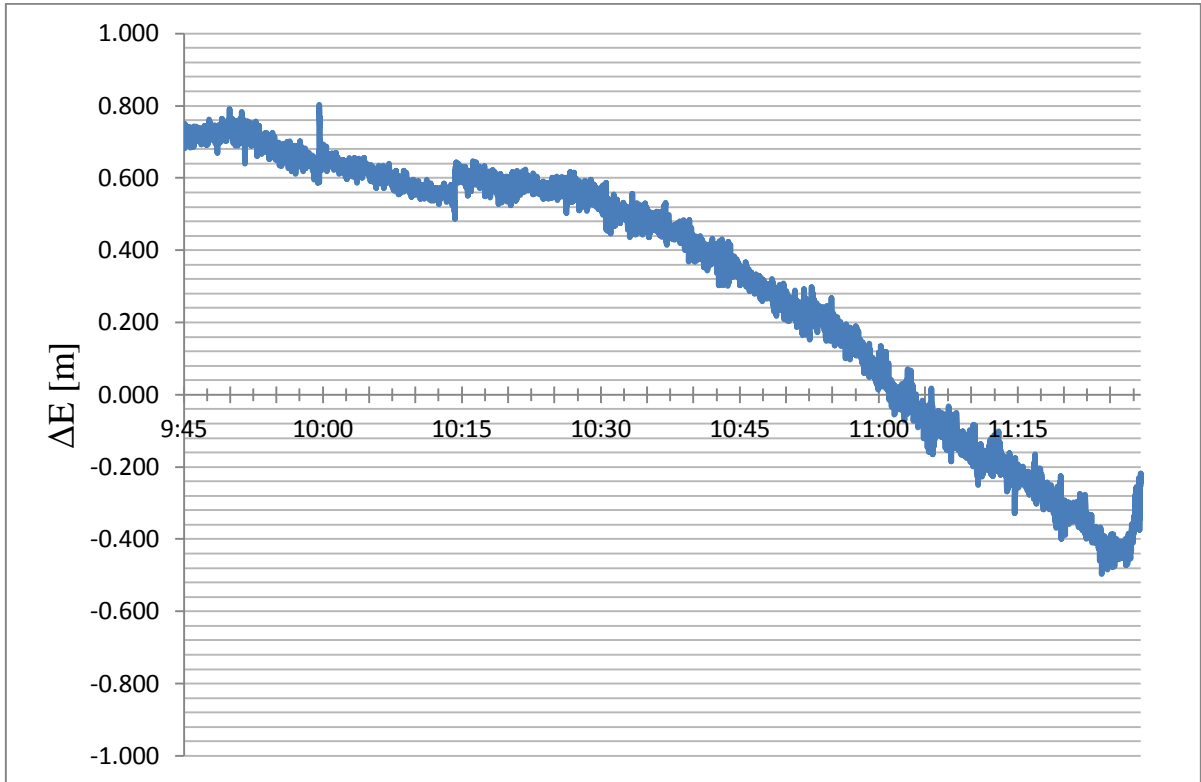


Fig. 4.3.2 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate East delle soluzioni relativa e PPP fornite dal software RTKLIB.

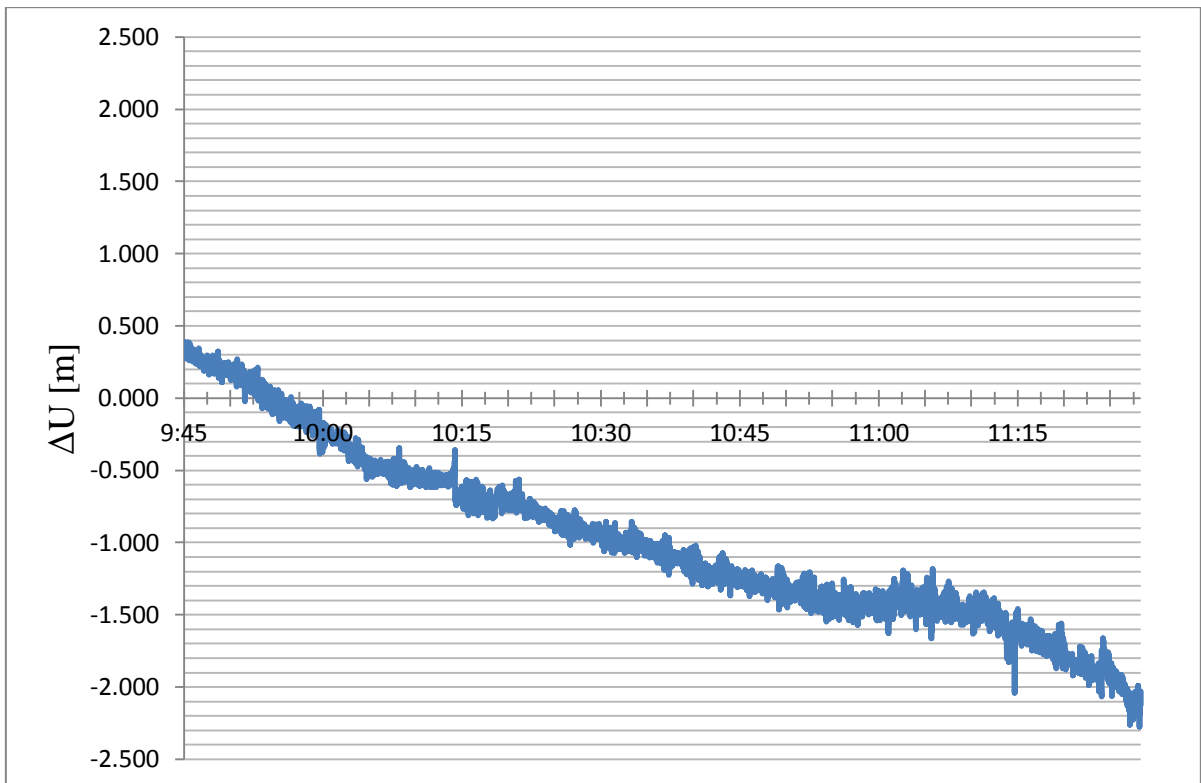


Fig. 4.3.4 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate Up delle soluzioni relativa e PPP fornite dal software RTKLIB.

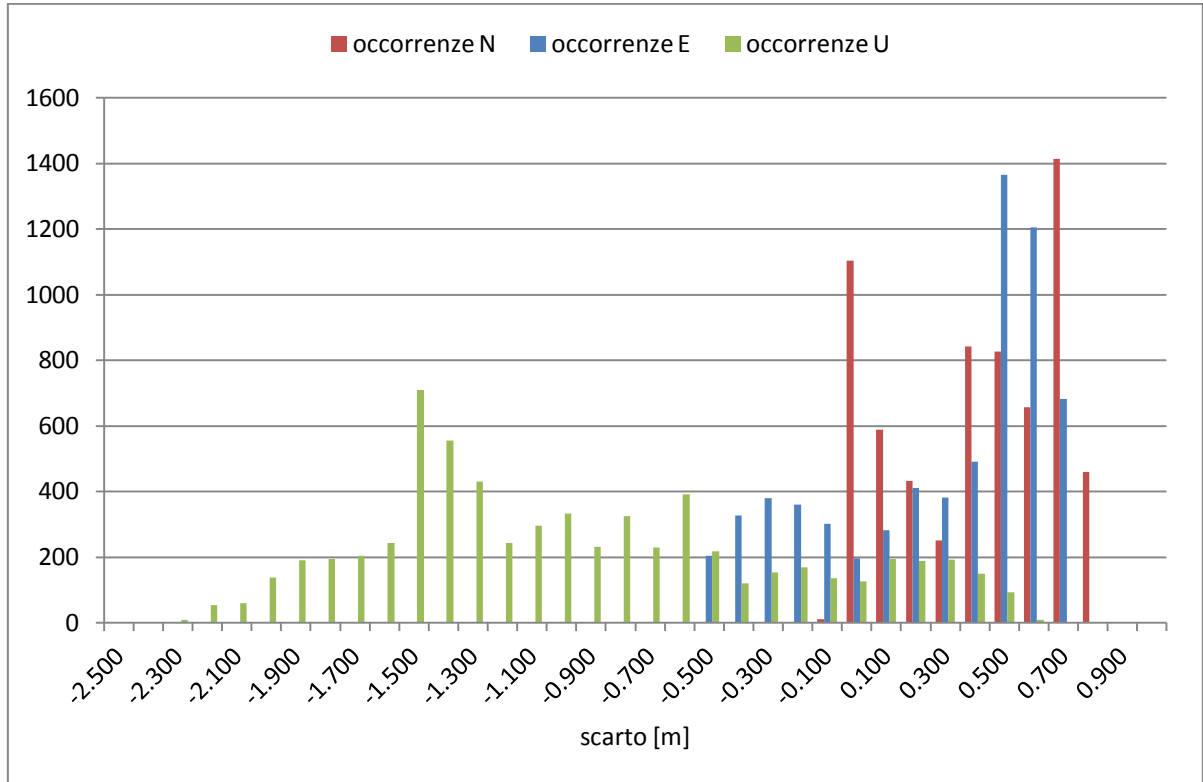


Fig. 4.3.5 - Distribuzione degli scarti North, East, Up delle soluzioni fornite dal software RTKLIB.

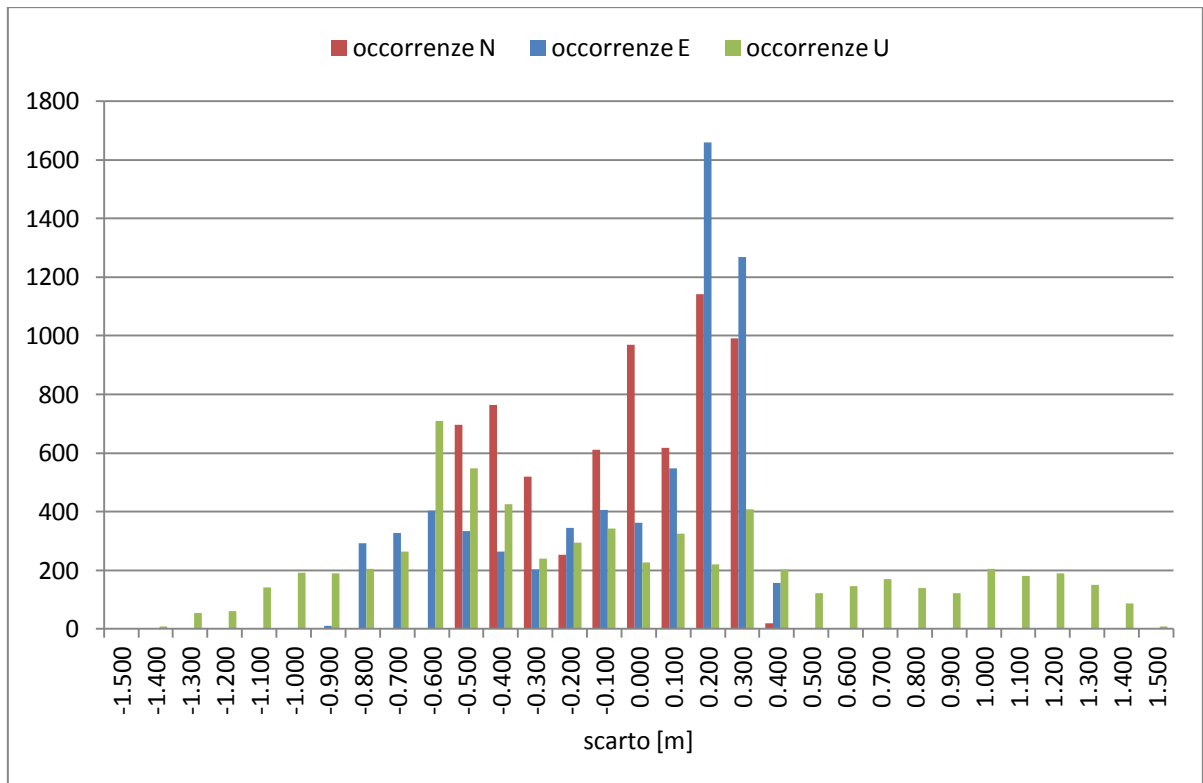


Fig. 4.3.6 – Distribuzioni traslate a media nulla degli scarti North, East, Up delle soluzioni fornite dal software RTKLIB.

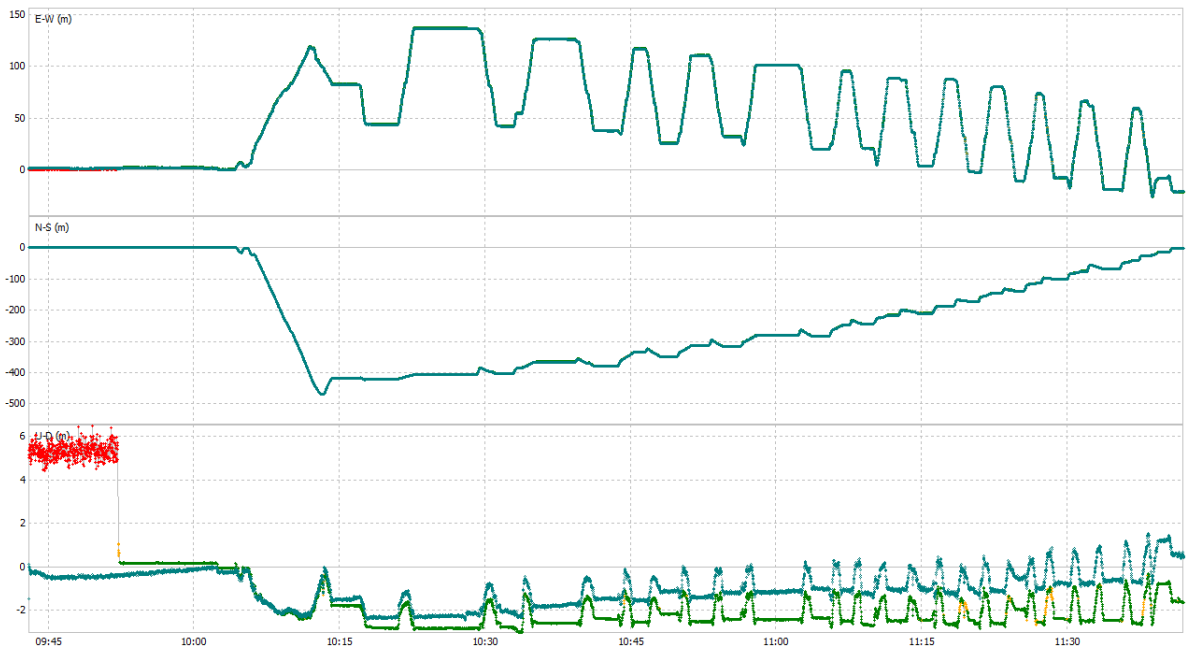


Fig. 4.3.7 – Andamento temporale delle coordinate East, North, Up delle soluzioni fornite dal software RTKLIB.

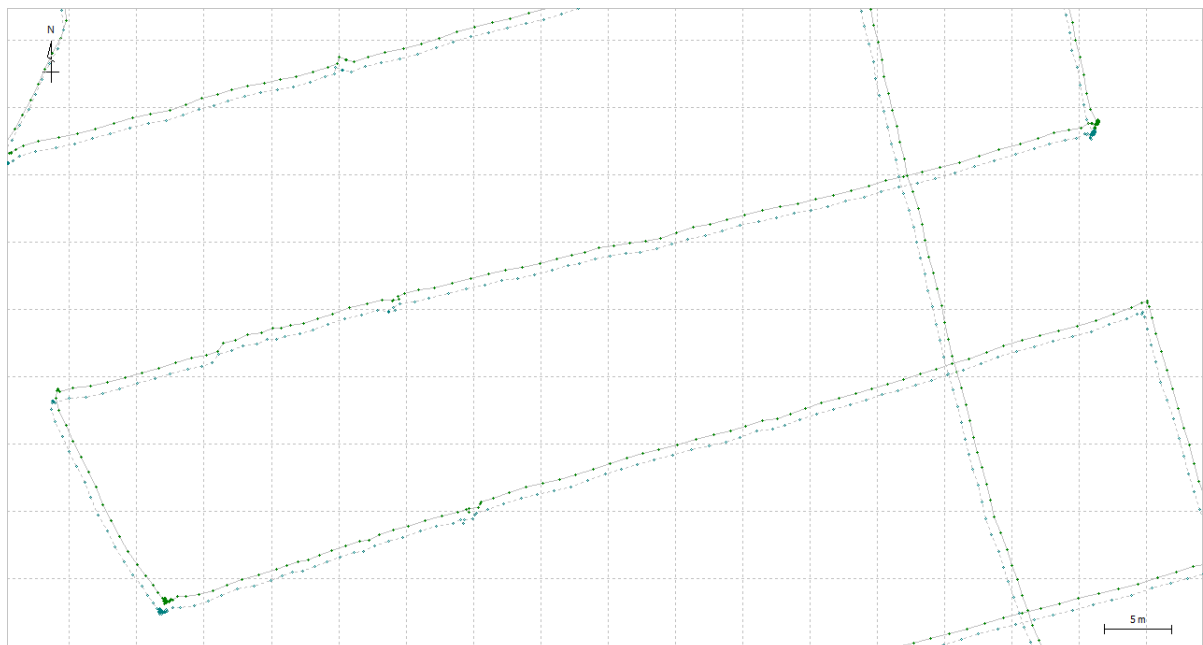


Fig. 4.3.8 – Dettaglio delle tracce delle soluzioni fornite dal software RTKLIB. I punti verdi rappresentano la soluzione relativa, mentre quelli azzurri la soluzione PPP.

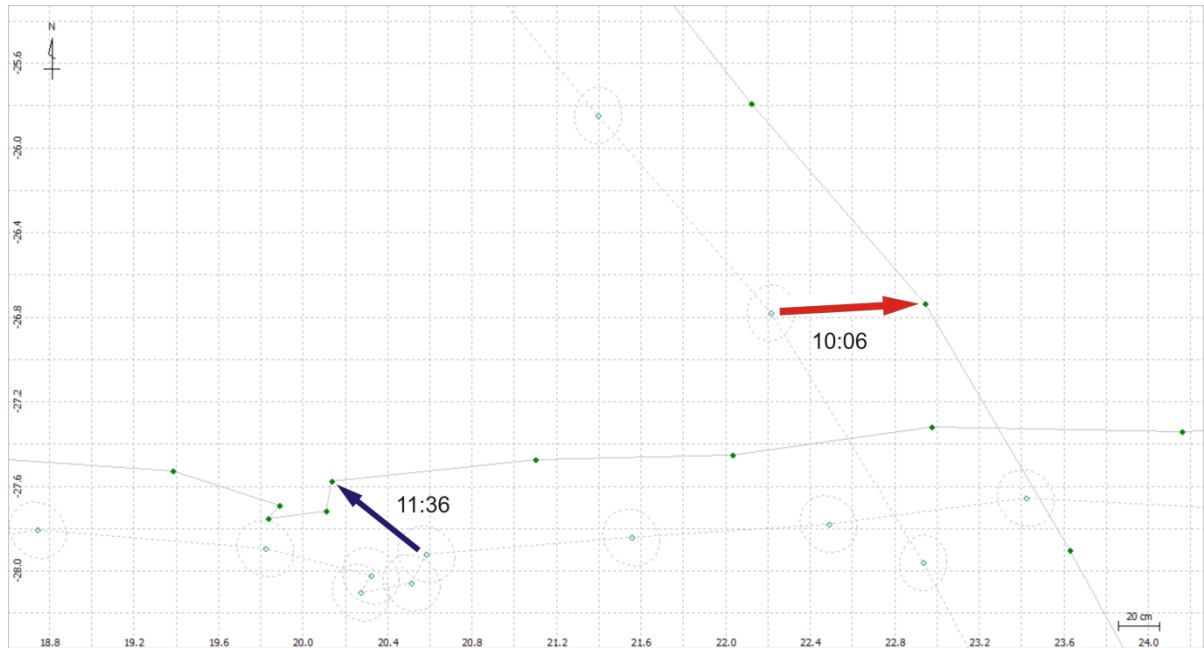


Fig. 4.3.9 – Dettaglio delle tracce delle soluzioni fornite dal software RTKLIB. I punti verdi rappresentano la soluzione relativa, mentre quelli azzurri la soluzione PPP. Le frecce rossa e blu rappresentano i vettori scarto delle ore 10:06 ed 11:36, rispettivamente.

Nonostante entrambi tracciati presentano forme quasi sovrapponibili (fig. 4.3.8), si osserva che il vettore differenza varia lentamente durante il periodo di acquisizione (fig. 4.3.9) fino quasi ad invertire il proprio verso.

4.4. Posizionamento relativo GrafMov e PPP RTKLIB

Siccome il posizionamento relativo ottenuto col software GrafMov è da considerarsi il più attendibile, questo confronto fornisce indicazioni “assolute” circa le prestazioni del processamento PPP effettuato dall’applicativo RTKLIB.

Le figure mostrano come gli scarti fra le due soluzioni siano contenuti entro il metro per quanto riguarda le coordinate *North* ed *East* ed entro i 2,5 m per quanto riguarda la coordinata *Up*. Le deviazioni standard degli scarti NEU sono rispettivamente di 27, 36 e 67 cm. Osservando le distribuzioni degli scarti si nota come la coordinata *Up* sia determinata con precisione decisamente inferiore alle restanti (fig. 4.4.4). Si osservano poi dei forti sistematismi: le tre soluzioni mostrano dei trend temporali molto marcati e forse divergenti, soprattutto per quanto riguarda la coordinata *Up* (fig. 4.4.3).

In definitiva, i risultati di questo confronto sono pressoché identici rispetto a quelli del precedente. Infatti, gli scarti fra le due soluzioni cinematiche relative hanno ordine di grandezza del millimetro.

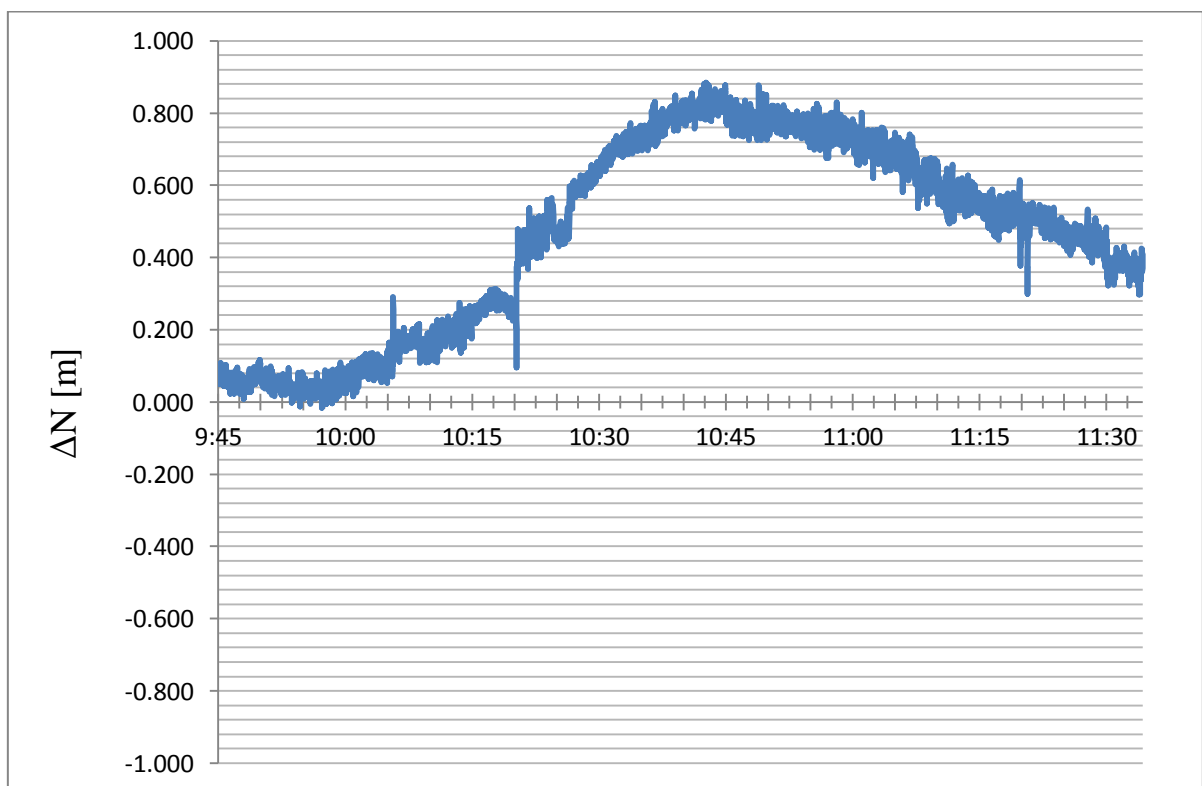


Fig. 4.4.1 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate North delle soluzioni fornita da GrafMov e PPP fornita da RTKLIB.

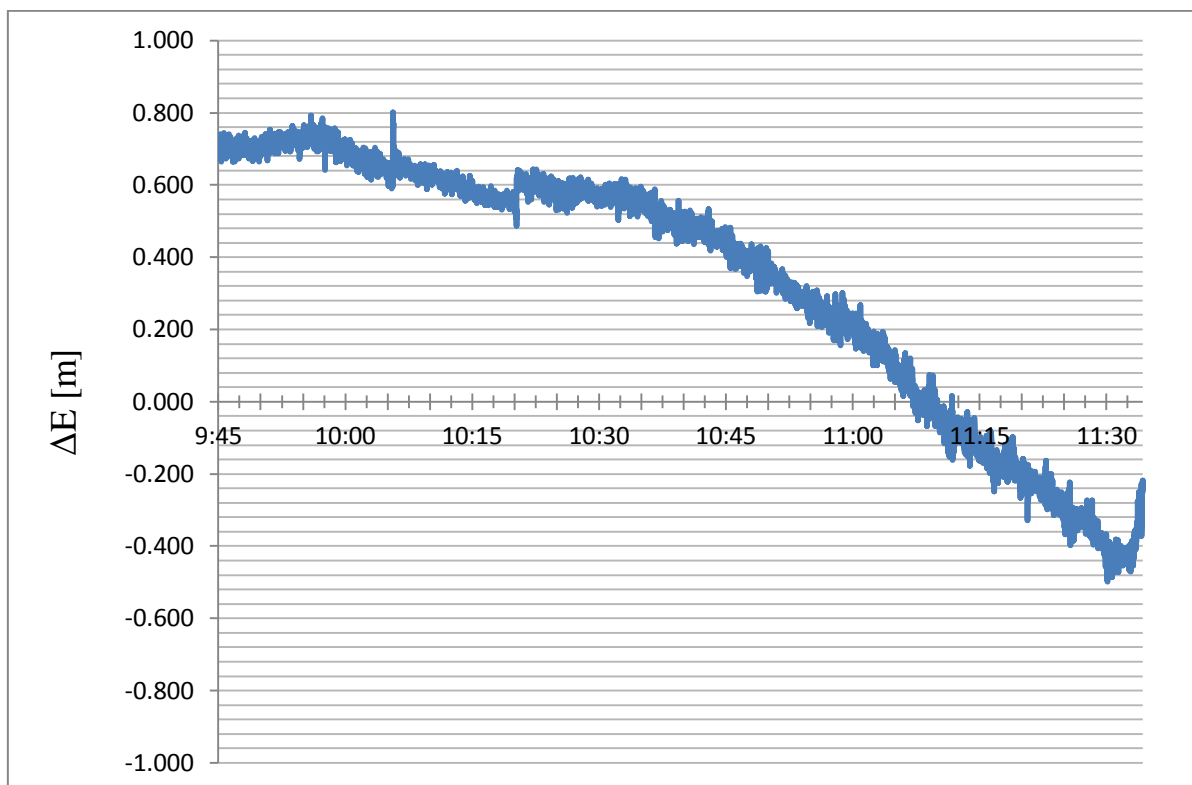


Fig. 4.4.2 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate East delle soluzioni fornite da GrafMov (posizionamento relativo) e RTKLIB (posizionamento PPP).

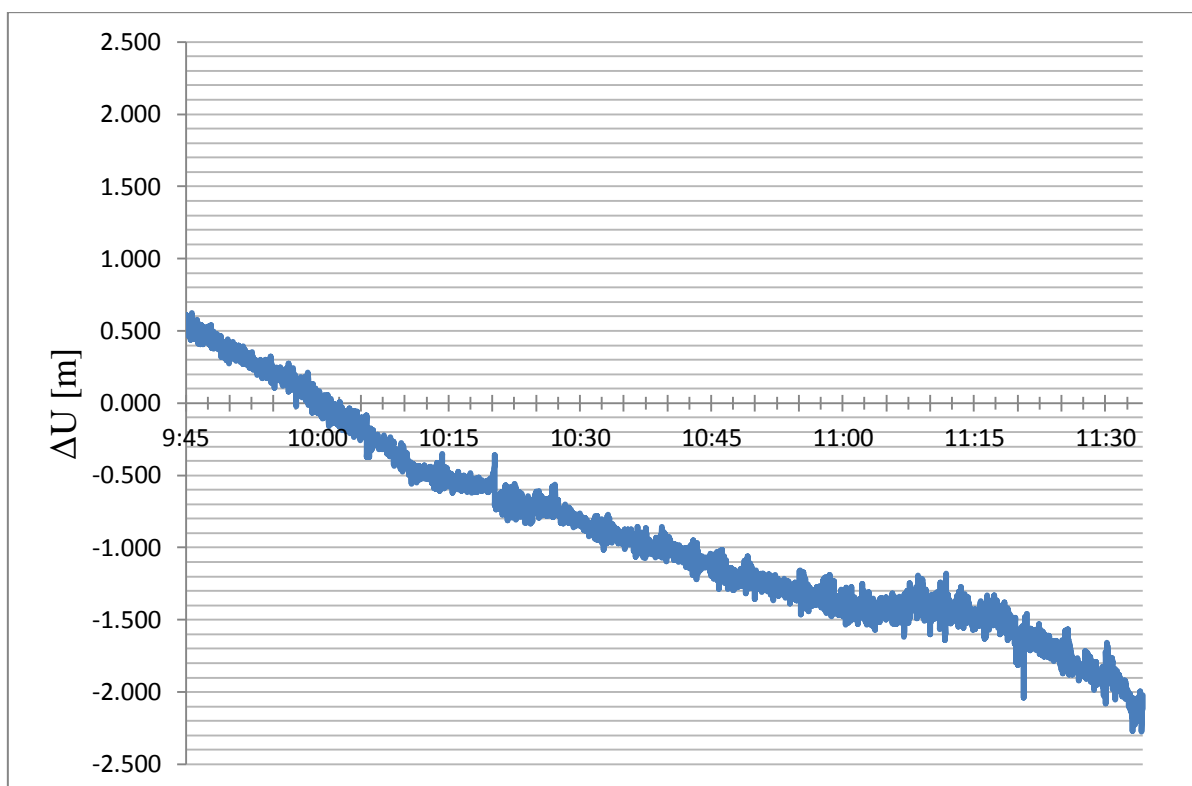


Fig. 4.4.3 – Serie temporale degli scarti fra le coordinate Up delle soluzioni fornite da GrafMov (posizionamento relativo) e RTKLIB (posizionamento PPP).

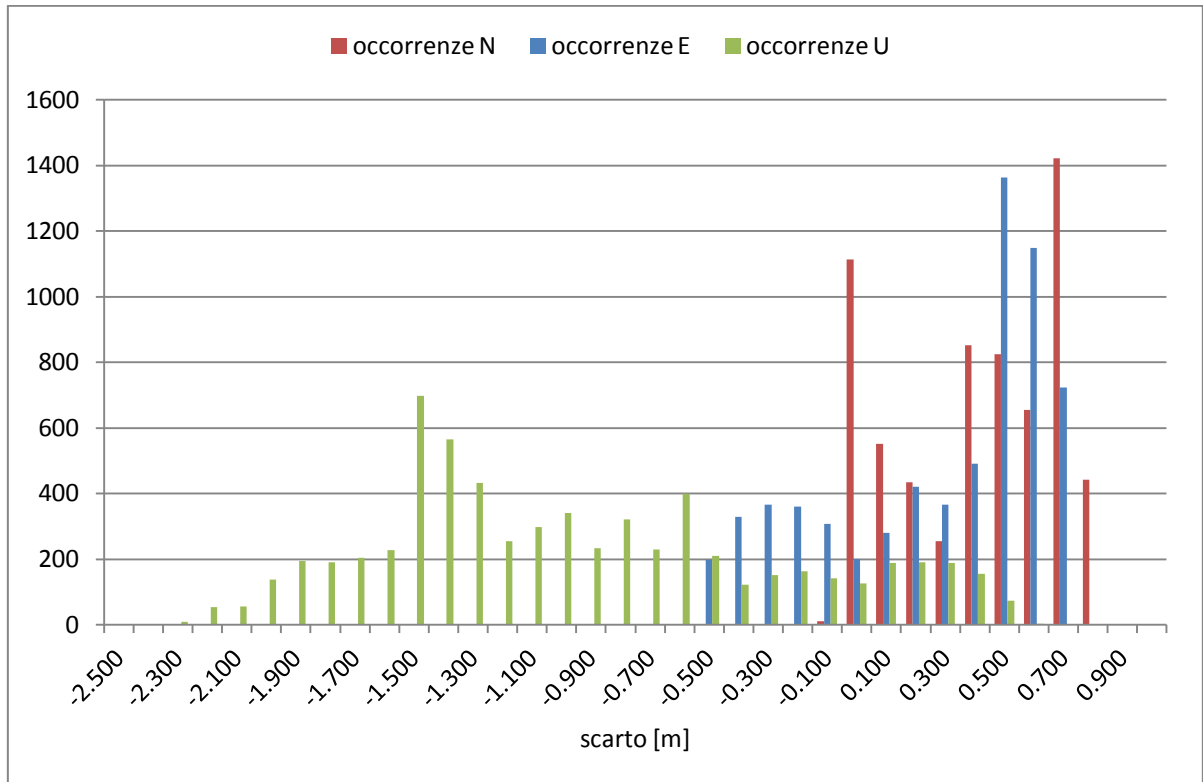


Fig. 4.4.4 - Distribuzione degli scarti North, East, Up delle soluzioni fornite da GrafMov (posizionamento relativo) e RTKLIB (posizionamento PPP).

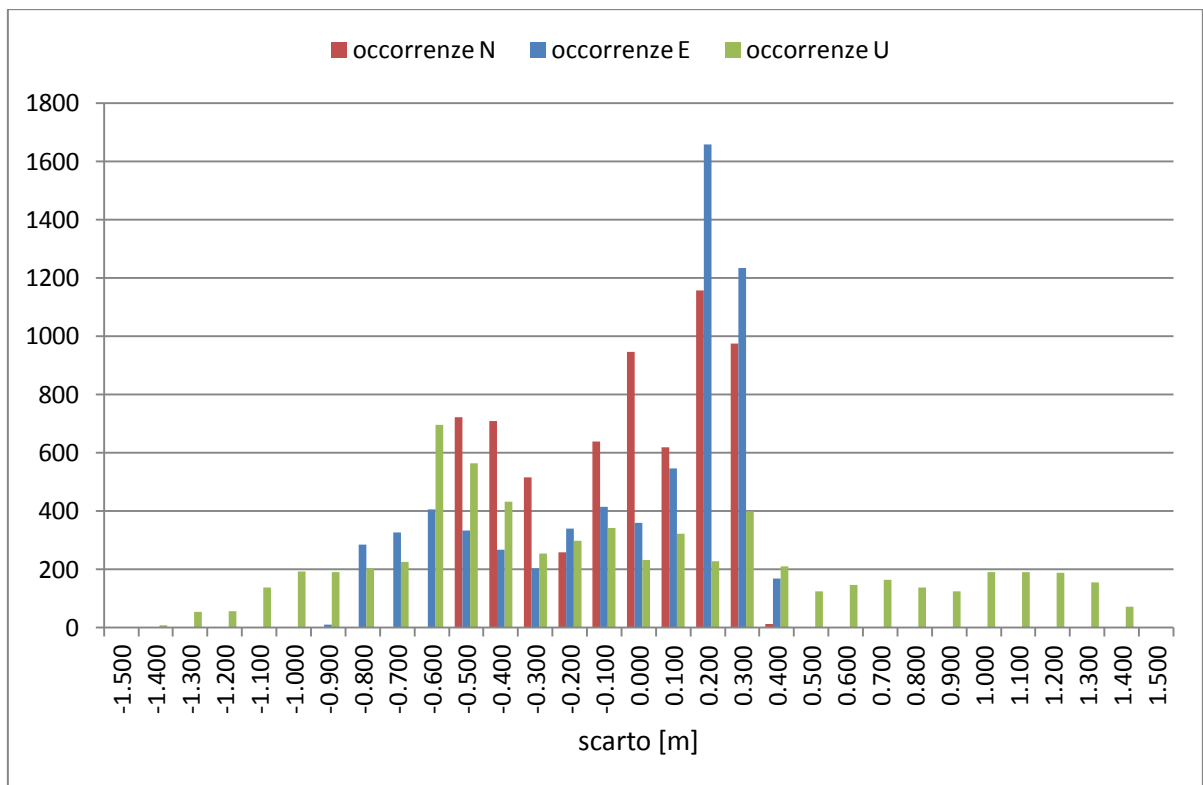


Fig. 4.4.5 – Distribuzioni traslate a media nulla degli scarti NEU delle soluzioni fornite da GrafMov (posizionamento relativo) e RTKLIB (posizionamento PPP).

5. Interpretazione delle soluzioni

Per quanto concerne il posizionamento relativo, i software forniscono output assolutamente coerenti: il processamento relativo del software *open - source* RTKLIB può essere considerato affidabile.

Circa il Precise Point Positioning, invece, i due applicativi mostrano performance di diverso tenore: se RTKLIB si limita ad accuratezze dell'ordine del metro, GrafMov fornisce soluzioni con un'accuratezza ben inferiore al decimetro e piuttosto precise.

I piccoli *bias* del posizionamento PPP di GrafMov sono del tutto accettabili: la stima delle correzioni da applicare alla soluzione indifferenziata raramente può essere esaustiva. Sistematismi come il carico oceanico (le cui correzioni non sono state incluse nel processamento) possono determinare lievi trend come quello osservato sulla coordinata *Up* (fig. 4.2.3). Si ricorda inoltre che nel posizionamento satellitare il dato altimetrico è solitamente il meno accurato: le misure eseguite nella trilaterazione hanno intervalli di errore orientati lungo le congiungenti antenna – satellite, le cui deviazioni angolari rispetto alla verticale nel punto di stazione sono in genere modeste.

I sistematismi presenti del processamento PPP di RTKLIB sono notevoli e non possono essere causati solamente da *bias* secondari come il *phase wind-up*. In particolare, il progressivo divergere della coordinata *Up* (fig. 4.4.3) può essere sintomo di qualche fallacia nello stimare alcune correzioni più rilevanti e variabili con regolarità come le maree della Terra solida. Inoltre, la regolarità del trend divergente fa supporre che vi sia qualche problema connesso al *code-smoothing*. L'instabilità dell'algoritmo è però esclusa: si è provato a re-inizializzare il processamento a un'epoca successiva all'inizio delle acquisizioni (11.30) e l'output è rimasto sostanzialmente invariato.

6. Conclusioni e prospettive

In definitiva, il *Precise Point Positioning* cinematico di RTKLIB non può essere considerato un posizionamento di precisione. Tuttavia, precisioni dell'ordine del metro sono comparabili con quelle fornite dai sistemi di correzione da satellite (SBAS), quali EGNOS, WAAS e STARFIRE.

Si aggiunga che la gratuità del programma e la possibilità di acquistare un solo ricevitore rendono la tecnica PPP decisamente appetibile per l'utilizzatore non interessato a precisioni di tipo geodetico.

Infatti, il posizionamento PPP pare molto indicato per la navigazione aerea e marittima e, in generale, per tutte quelle applicazioni condotte in aree lontane da stazioni GPS permanenti. In più, è già largamente usato in modalità statica anche per scopi scientifici.

Per quanto riguarda il futuro, è molto probabile che l'impiego della tecnica PPP si espanda rapidamente e presenti nuove potenzialità come il posizionamento di precisione in tempo reale. Difatti, è in corso l'implementazione di un servizio di distribuzione via INTERNET dei prodotti IGS, tra i quali le effemeridi ultra-rapide. Questa tecnologia appartiene a quella categoria di sistemi detti *Network Transport of RTCM data over IP* (NTRIP) e il suo successo è subordinato alla trasmissione stabile e continuativa dei prodotti IGS con tempi di latenza sufficientemente piccoli (<1 s).

La tecnica PPP NTRIP avrebbe qualche vantaggio rispetto al posizionamento relativo in tempo reale *Network Real Time Kinematic* (NRTK) con *Virtual Reference Station* (VRS): non vi sarebbe la necessità di nessun centro di calcolo che generi segnali su misura per ogni utente, oltre agli esistenti centri di analisi internazionali. Difatti, il NRTK con VRS presuppone che l'unità di calcolo trasmetta a ogni *rover* il segnale che sarebbe ricevuto da una stazione master posta nelle vicinanze del *rover* stesso. Le precisioni ottenibili sono invece, in condizioni ottimali, comparabili poiché sub-decimetriche per entrambe le tecniche.

Attualmente alcuni ricercatori (Ge et al., Geng et al.) stanno cercando di definire un algoritmo che permetta il fissaggio delle ambiguità in forma intera anche per il posizionamento PPP, migliorandone le precisioni in modo molto significativo.

Infine, è importante ricordare che nei prossimi anni si assisterà a una significativa modernizzazione dei sistemi GNSS. Infatti, più paesi hanno programmato la costruzione di nuove costellazioni (GPS III, GALILEO, COMPASS) che trasmetteranno su numerose nuove portanti, incrementando notevolmente la copertura e l'interoperabilità dei segnali. Il lancio di questi nuovi sistemi satellitari, più numerosi e potenti, avrà sicuramente ricadute positive sulla qualità del posizionamento PPP.

In un prossimo futuro il *Real Time PPP* potrebbe quindi sostituirsi al posizionamento di codice e forse pure al posizionamento DGPS in alcune applicazioni quali la navigazione e l'agricoltura di precisione.

7. Bibliografia

- N. Ashby (2003), *Relativity in the Global Positioning System*, Living Reviews in Relativity, no.6, 1, <http://www.livingreviews.org/lrr-2003-1>
- S. Bisnath, Y. Gao (2007), *Current state of Precise Point Positioning and Future Prospects and Limitations*, Proceedings of IUGG 24th General Assembly
- J. Boehm, P.J. Mendes Cerveira, H. Schuh, P. Tregoning (2005), *The impact of tropospheric mapping functions based on numerical weather models on the determination of geodetic parameters*, Springer Verlag
- O. L. Colombo, A. W. Sutter, A. G. Evans (2004), *Evaluation of Precise, Kinematic GPS Point Positioning*, Proceedings of the Institute Of Navigation GNSS-2004 Meeting, Long Beach, California, September 2004.
- S. Gandolfi, L. Gusella, M. Milano (2005) *Precise point positioning: studio sulle accuratèzze e precisioni ottenibili*, *Bollettino di Geodesia e scienze affini*, no. 4, pp. 229-253.
- Y. Gao, K. Chen (2004), *Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real - Time Orbit and Clock Products*, *Journal of Global Positioning Systems* (2004), Vol. 3, No. 1-2: 95-100
- M. Ge, G. Gendt, M. Rothacher, C. Shi, J. Liu (2006), *Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations*, Springer-Verlag
- J. Geng, X. Meng, A. H. Dodson, M. Ge, F. N. Teferle (2010), *Rapid re-convergences to ambiguity-fixed solutions in precise point positioning*, Springer-Verlag
- J. Geng, F.N. Teferle, X. Meng, A.H. Dodson (2009), *Towards PPP-RTK: Ambiguity resolution in real-time precise point positioning*, Elsevier
- J. Kouba (2009), *A guide to using International GNSS Service (IGS) products*, <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>

- A.E. Niell (1996), *Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths*, Journal of Geophysical Research, vol. 101, no. B2, pp. 3227 - 3246, February 10, 1996
- M. Speranza, L. Ferroni, G. Pritoni (2009), *L'intervento di vegetalizzazione della duna, Foce Bevano: l'area naturale protetta e l'intervento di salvaguardia*, Bologna, Regione Emilia-Romagna, 2009, Cap. 3, pp. 26 - 28
- B. Witchayangkoon (2000), *Elements of Gps Precise Point Positioning*, PhD thesis

8. Appendice: esempi di documenti utilizzati nell'elaborazione dei dati

8.1. File delle osservazioni

```
2.1 OBSERVATION DATA G (GPS) RINEX VERSION / TYPE
Trimble Terrasat RINEX Generator 27-Apr-11 23:33:56 PGM / RUN BY / DATE
gregorio_____ MARKER NAME
MARKER NUMBER
OBSERVER / AGENCY
4744K30957 R7 GNSS 4.12 4.12 REC # / TYPE / VERS
7200 LOCAL TIME OFFSET IN SEC COMMENT
0 RCV CLOCK OFFS APPL
1 TRM39105.00 ANT # / TYPE
4462091.3927 974886.0092 4437088.5960 APPROX POSITION XYZ
1.6700 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 0 WAVELENGTH FACT L1/2
7 C1 P2 L1 L2 S1 S2 D1 # / TYPES OF OBSERV
15 # OF SATELLITES
2011 4 1 9 43 0.000000 GPS TIME OF FIRST OBS
G02 4818 4818 4818 4818 4818 PRN / # OF OBS
G04 7145 7145 7145 7145 7145 PRN / # OF OBS
G07 5141 5141 5141 5141 5141 PRN / # OF OBS
G08 1585 1585 1585 1585 1585 PRN / # OF OBS
G10 6568 6568 6568 6568 6568 PRN / # OF OBS
G11 2795 2795 2795 2795 2795 PRN / # OF OBS
G13 7145 7145 7145 7145 7145 PRN / # OF OBS
G16 2809 2809 2809 2809 2809 PRN / # OF OBS
G17 4918 4918 4918 4918 4918 PRN / # OF OBS
G20 7145 7145 7145 7145 7145 PRN / # OF OBS
G23 7145 7145 7145 7145 7145 PRN / # OF OBS
G24 4681 4681 4681 4681 4681 PRN / # OF OBS
G30 3876 3876 3876 3876 3876 PRN / # OF OBS
G31 3638 3638 3638 3638 3638 PRN / # OF OBS
G32 7008 7008 7008 7008 7008 PRN / # OF OBS
END OF HEADER
11 4 1 9 43 0.000000 0 9G04G11G13G20G23G31G24G32G17
22989241.742 22989251.043 120809280.70915 94137135.85811 42.000 28.000 -0.000
23671109.547 23671119.941 124392603.82916 96929267.41211 44.000 28.000 -0.000
21804412.953 21804422.066 114582961.60317 89285464.37911 47.000 32.000 -0.000
20377797.922 20377805.102 107086048.85519 83443641.69915 50.000 41.000 -0.000
20351075.453 20351081.309 106945621.91619 83334273.20215 53.000 42.000 -0.000
23705239.742 23705249.773 124571743.93117 97069024.53416 46.000 43.000 -0.000
22234800.164 22234810.910 116844662.61318 91047827.28012 48.000 34.000 -0.000
22168519.672 22168528.488 116496349.94518 90776357.60413 49.000 36.000 -0.000
22638957.648 22638966.500 118968521.04816 92702776.78816 44.000 43.000 -0.000
...
```

8.2. File delle effemeridi trasmesse

```
2                NAVIGATION DATA                RINEX VERSION / TYPE
                PGM / RUN BY / DATE
                END OF HEADER
4 11  4  1 10  0  0.0 7.629301398993D-05 1.023181539495D-11 0.000000000000D+00
  8.700000000000D+01 4.303125000000D+01 4.914490422538D-09 8.308774952342D-01
  2.562999725342D-06 9.569057030603D-03 1.147016882896D-05 5.153630687714D+03
  4.680000000000D+05-4.097819328308D-08 1.342134471688D-01 9.499490261078D-08
  9.387608410314D-01 1.472812500000D+02 7.163004346397D-01-8.303203004591D-09
  8.250343659930D-11 0.000000000000D+00 1.629000000000D+03 0.000000000000D+00
  0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 8.700000000000D+01
  0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00
11 11  4  1 10  0  0.0-1.391163095832D-04-3.069544618484D-12 0.000000000000D+00
  3.300000000000D+01 1.262500000000D+01 5.902388715324D-09 2.522940774816D+00
  5.438923835754D-07 1.167182903737D-02 1.225061714649D-05 5.153510116577D+03
...
```

8.3. File delle effemeridi precise

```

#cP2011 4 1 0 0 0.00000000 96 d+D IGS05 FIT AIUB
## 1629 432000.00000000 900.00000000 55652 0.00000000000000
+ 54 G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G11G12G13G14G15G16G17
+ G18G19G20G21G22G23G24G25G26G27G28G29G30G31G32R01R02
+ R03R05R06R07R08R09R10R11R12R13R15R16R17R18R19R20R21
+ R22R23R24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 6 5 4 6 4 4 5 6 5 4 5 4 4 4 4 4 4 4
++ 4 4 4 5 4 4 6 4 4 6 4 4 4 5 4 4 4
++ 6 4 4 4 4 6 6 6 6 6 6 5 5 4 4 4
++ 4 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c M cc GPS ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc
%f 1.2500000 1.025000000 0.0000000000 0.000000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* Center for Orbit Determination in Europe (CODE)
/* Final GNSS orbits and GPS clocks for year-day 11091
/* Note: Middle day of a 3-day arc GPS/GLONASS solution
/* PCV:IGS05 OL/AL:FES2004 NONE YN ORB:CoN CLK:CoN
* 2011 4 1 0 0 0.00000000
PG01 11952.393098 -9354.125705 21671.919866 -219.456833
PG02 -11706.796683 13773.960910 19334.631037 328.180440
PG03 9379.286401 -24544.659324 -2806.536375 695.928243
PG04 -23158.134992 7030.369559 11122.882995 75.921739
PG05 -2043.079575 20916.271413 16158.285810 -137.728525
PG06 13910.183513 -22458.943630 1301.104603 -220.545174
PG07 -25109.135633 -5964.471882 6721.209530 6.978604
PG08 -26538.940341 -833.711888 -4028.057521 7.624553
PG09 9924.664344 14090.691674 -20760.391265 71.038596
PG10 -13584.806503 7166.095823 21447.446584 -70.375533
PG11 -9789.468873 -14732.208068 -20190.981271 -139.001498
PG12 11116.385880 24198.157859 -1183.466049 -15.111287
PG13 -13378.754862 -6203.770441 21949.428343 276.895650
PG14 19512.812480 -11212.850198 -13840.981882 141.110674
PG15 353.265297 21141.889330 -15964.033925 -138.805709
PG16 4162.915947 -19236.758596 17719.553151 -161.823201
PG17 -19430.391122 10641.016781 -14350.587331 184.205412
PG18 18375.316621 9626.229154 -16487.158193 129.474257
PG19 4634.095987 -22012.468305 -13842.518204 -125.837612
PG20 -14407.983530 -22229.045655 2218.784425 48.818413
PG21 25733.274738 5717.437475 5708.434653 -134.308739
PG22 16005.081327 -2630.010739 -20878.924973 150.890900
PG23 -5153.066702 -16953.951317 19672.052776 316.382704
PG24 -13022.100377 -14413.733272 -18176.425173 377.913705
PG25 17613.354638 16398.615322 11245.606841 -0.965621
PG26 -11055.375276 22880.478558 -7515.272877 -160.190122
PG27 4023.284757 14312.126861 -21380.677814 251.211172
PG28 -16340.168870 -2290.689935 -20357.674621 28.596870
PG29 11749.815543 9764.344691 21809.501321 196.503067
PG30 9028.058946 -13394.457105 20670.810196 333.476209
PG31 21396.961691 -8112.764596 13868.399578 60.489578
PG32 -7160.597039 -25400.035689 -4265.437575 -226.203603
PR01 -12662.180585 -15789.526578 15533.947749 999999.999999
PR02 -10708.230728 2786.899966 22980.753735 999999.999999
PR03 -11242.395130 7581.013519 -21638.647769 999999.999999
PR05 12672.572094 15809.228213 -15507.303750 999999.999999
PR06 10879.001651 -1934.165644 -23012.697968 999999.999999
PR07 865.811916 -19985.461104 -15833.314084 999999.999999
...

```

8.4. File degli offset degli orologi dei satelliti

```

2.00          CLOCK DATA          RINEX VERSION / TYPE
CCRNXC V5.1   AIUB                 06-APR-11 11:17   PGM / RUN BY / DATE
CODE final GPS clock information for day 091, 2011   COMMENT
Clock information consistent with phase and P1/P2 code data COMMENT
Satellite/receiver clock values at intervals of 5/300 sec COMMENT
High-rate (5 sec) clock interpolation based on phase data COMMENT
GPS          TIME SYSTEM ID
15          LEAP SECONDS
G GPSEST V5.1 IGS05              SYS / PCVS APPLIED
G GPSEST V5.1 P1C1.DCB @ ftp.unibe.ch/aiub/CODE/   SYS / DCBS APPLIED
2 AR AS      # / TYPES OF DATA
COD Center for Orbit Determination in Europe      ANALYSIS CENTER
1          # OF CLK REF
PIE1 40456M001 0.000000000000E+00 ANALYSIS CLK REF
114 IGS05    # OF SOLN STA / TRF
PIE1 40456M001 -1640916991 -5014781199 3575447060 SOLN STA NAME / NUM
ALGO 40104M002 918129276 -4346071297 4561977887 SOLN STA NAME / NUM
AMC2 40472S004 -1248596287 -4819428214 3976505968 SOLN STA NAME / NUM
AMU2 66040M002 -19637 -137237 -6359571264 SOLN STA NAME / NUM
AREQ 42202M005 1942826219 -5804070346 -1796894222 SOLN STA NAME / NUM
ARTU 12362M001 1843956572 3016203168 5291261757 SOLN STA NAME / NUM
ASPA 50503S006 -6100260103 -996503142 -1567977556 SOLN STA NAME / NUM
...
G01 G02 G03 G04 G05 G06 G07 G08 G09 G10 G11 G12 G13 G14 G15 PRN LIST
G16 G17 G18 G19 G20 G21 G22 G23 G24 G25 G26 G27 G28 G29 G30 PRN LIST
G31 G32 PRN LIST
END OF HEADER
AR PIE1 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.248219179233E-04 0.162853636540E-09
AR ALGO 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.277147635670E-05 0.162837546361E-09
AR AMC2 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.515857723912E-09 0.162849786269E-09
AR AMU2 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.650489363273E-07 0.162882252086E-09
AR AREQ 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.889663445769E-07 0.161886377687E-09
AR ARTU 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.626456398470E-07 0.162868134057E-09
AR ASPA 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.497790378885E-07 0.114860359839E-09
...
AS G01 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.219456833450E-03 0.664457337330E-10
AS G02 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.328180440131E-03 0.663635654992E-10
AS G03 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.695928242716E-03 0.664474476604E-10
AS G04 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.759217386974E-04 0.664176921273E-10
AS G05 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.137728524540E-03 0.663475513447E-10
...
AS G12 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.151112868592E-04 0.669019291479E-10
AS G13 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.276895649547E-03 0.665126742787E-10
AS G14 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.141110673809E-03 0.669308169636E-10
AS G15 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.138805709330E-03 0.663987795001E-10
AS G16 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.161823200501E-03 0.663465121419E-10
AS G17 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.184205412238E-03 0.664419189193E-10
AS G18 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.129474256602E-03 0.666924974996E-10
AS G19 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.125837611963E-03 0.676162573226E-10
AS G20 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.488184130917E-04 0.671516746035E-10
AS G21 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.134308738876E-03 0.665801273634E-10
AS G22 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.150890899505E-03 0.668188406041E-10
AS G23 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.316382703852E-03 0.664247503743E-10
AS G24 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.377913705190E-03 0.672638838712E-10
AS G25 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.965621019550E-06 0.664206659809E-10
AS G26 2011 04 01 00 00 0.000000 2 -0.160190122103E-03 0.664250914833E-10
AS G27 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.251211172420E-03 0.664701117210E-10
AS G28 2011 04 01 00 00 0.000000 2 0.285968701260E-04 0.665558167620E-10
...

```

8.5. File di output (GrafMov)

Project: kin_precise_clkyes
 Program: GrafNav Version 8.30.0331
 Profile: UserEugenio
 Source: GPS Epochs (Combined)
 ProcessInfo: Run (5) by Unknown on 07/20/2011 at 16:06:09

Datum: WGS84, (processing datum)
 Master 1: Name 19320915, Status ENABLED
 Antenna height 1.435 m, to L1-PC (TRM55971.00, MeasDist 1.350 m to
 ARP)
 Position 44 22 00.60853, 12 19 23.19215, 41.846 m (WGS84, Ellips hgt)
 Remote: Antenna height 1.741 m, to L1-PC (TRM39105.00, MeasDist 1.670 m to
 ARP)
 SD/Covariance Scaling Settings:
 Position: No scaling (1-sigma)
 Velocity: No scaling (1-sigma)
 Increase SD on kinematic float: No

Column/Variable Contents, Units and Description:

01: Station		Name given to station
02: Date	Year/Month/Day	Date of epoch or feature (GMT time zone)
03: GPSTime	HH:MM:SS.SS	Time of epoch or feature--Receiver time frame
04: X-ECEF	Metres	X coordiante in Earth-Centred Earth-Fixed frame
05: Y-ECEF	Metres	Y coordiante in Earth-Centred Earth-Fixed frame
06: Z-ECEF	Metres	Z coordiante in Earth-Centred Earth-Fixed frame
07: SolType		Type of solution acheived for that epoch/
08: NS		Number of total satellites (GPS+GLONASS)

Station;	Date;	GPSTime;	X-ECEF;	Y-ECEF;	Z-ECEF;	Solut;	NS;
;	(YMD);	(HMS);	(m);	(m);	(m);	;	;
588-K	;2011/04/01;	9:52:47.000;	4461869.4554;	974732.1903;	4437351.2016;	D	; 9;
589-K	;2011/04/01;	9:52:48.000;	4461869.4504;	974732.2479;	4437351.1651;	D	; 9;
590-K	;2011/04/01;	9:52:49.000;	4461869.4618;	974732.2588;	4437351.1500;	D	; 9;
591-K	;2011/04/01;	9:52:50.000;	4461869.4547;	974732.2679;	4437351.1496;	D	; 9;
592-K	;2011/04/01;	9:52:51.000;	4461869.4377;	974732.2556;	4437351.1696;	D	; 9;
593-K	;2011/04/01;	9:52:52.000;	4461869.4023;	974732.2790;	4437351.1904;	D	; 9;
594-K	;2011/04/01;	9:52:53.000;	4461869.3960;	974732.2766;	4437351.1916;	D	; 9;
595-K	;2011/04/01;	9:52:54.000;	4461869.4233;	974732.2456;	4437351.1813;	D	; 9;
596-K	;2011/04/01;	9:52:55.000;	4461869.4078;	974732.2425;	4437351.1947;	D	; 9;
597-K	;2011/04/01;	9:52:56.000;	4461869.4124;	974732.2529;	4437351.1900;	D	; 9;
598-K	;2011/04/01;	9:52:57.000;	4461869.4253;	974732.2506;	4437351.1805;	D	; 9;
599-K	;2011/04/01;	9:52:58.000;	4461869.4278;	974732.2347;	4437351.1815;	D	; 9;
600-K	;2011/04/01;	9:52:59.000;	4461869.4262;	974732.2780;	4437351.1670;	D	; 9;
601-K	;2011/04/01;	9:53:00.000;	4461869.4219;	974732.2564;	4437351.1818;	D	; 9;
602-K	;2011/04/01;	9:53:01.000;	4461869.4171;	974732.2545;	4437351.1763;	D	; 9;
603-K	;2011/04/01;	9:53:02.000;	4461869.4279;	974732.2505;	4437351.1772;	D	; 9;
604-K	;2011/04/01;	9:53:03.000;	4461869.4343;	974732.2494;	4437351.1721;	D	; 9;
605-K	;2011/04/01;	9:53:04.000;	4461869.4259;	974732.2628;	4437351.1728;	D	; 9;
...							

8.6. File di output (RTKLIB)

```
% program      : RTKPOST ver.2.4.0
% inp file     : 0957091A.110
% inp file     : 1932091A.110
% inp file     : COD16295.EPH
% inp file     : 0957091A.11N
% inp file     : COD16295.CLK_05S
% obs start    : 2011/04/01 09:43:00.0 GPST (week1629 466980.0s)
% obs end      : 2011/04/01 11:42:04.0 GPST (week1629 474124.0s)
% pos mode     : kinematic
% freqs        : L1+L2
% solution     : combined
% elev mask    : 10.0 deg
% snr mask     : 0.0 dBHz
% dynamics     : off
% tidecorr     : off
% ionos opt    : broadcast
% tropo opt    : saastamoinen
% ephemeris    : precise
% amb res      : continuous
% val thres    : 3.0
% antenna1     : TRM39105.00      NONE ( 0.0000 0.0000 1.6700)
% antenna2     : TRM55971.00      NONE ( 0.0000 0.0000 1.3500)
% ref pos      : 4461869.5842; 974730.2063; 4437351.2186
%
%              (x/y/z-ecef=WGS84,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=#
satellites)
% GPST        ;      x-ecef (m);      y-ecef (m);      z-ecef (m); Q; ns;;age(s) ;
2011/04/01 09:43:00; 4461873.0325; 974731.2727; 4437355.1915; 5; 9;;-582.00;
2011/04/01 09:43:01; 4461872.6419; 974731.2423; 4437355.1105; 5; 9;;-581.00;
2011/04/01 09:43:02; 4461872.8274; 974731.0716; 4437355.1142; 5; 9;;-580.00;
2011/04/01 09:43:03; 4461872.7414; 974731.4149; 4437355.4028; 5; 9;;-579.00;
2011/04/01 09:43:04; 4461872.7872; 974730.9905; 4437355.0940; 5; 9;;-578.00;
2011/04/01 09:43:05; 4461873.0592; 974730.8723; 4437355.6047; 5; 9;;-577.00;
2011/04/01 09:43:06; 4461872.8513; 974731.0916; 4437355.5403; 5; 9;;-576.00;
2011/04/01 09:43:07; 4461872.3941; 974730.9845; 4437355.3933; 5; 9;;-575.00;
2011/04/01 09:43:08; 4461872.8922; 974730.9260; 4437355.5724; 5; 9;;-574.00;
2011/04/01 09:43:09; 4461872.9572; 974730.9342; 4437355.4329; 5; 9;;-573.00;
2011/04/01 09:43:10; 4461872.6484; 974730.9135; 4437354.7568; 5; 9;;-572.00;
2011/04/01 09:43:11; 4461872.9621; 974730.8581; 4437355.1060; 5; 9;;-571.00;
2011/04/01 09:43:12; 4461872.5794; 974731.1256; 4437355.1568; 5; 9;;-570.00;
2011/04/01 09:43:13; 4461873.0020; 974731.4295; 4437355.3524; 5; 9;;-569.00;
2011/04/01 09:43:14; 4461872.6027; 974730.9603; 4437354.9553; 5; 9;;-568.00;
2011/04/01 09:43:15; 4461873.0429; 974731.3285; 4437355.8190; 5; 9;;-567.00;
2011/04/01 09:43:16; 4461872.9816; 974731.2252; 4437355.0494; 5; 9;;-566.00;
2011/04/01 09:43:17; 4461872.9742; 974731.1557; 4437355.6033; 5; 9;;-565.00;
2011/04/01 09:43:18; 4461872.5800; 974731.5492; 4437355.2673; 5; 9;;-564.00;
...

```