

# RILIEVI GPS-RTK E STAZIONI PERMANENTI GPS: SPERIMENTAZIONE DEL SISTEMA RIR

R. Barzaghi\*, B. Betti\*, L. Biagi\*\*, V. Casella\*\*\*, M. Crespi\*\*\*\*, M. Franzini\*\*\*,  
A. M. Manzano\*\*\*\*\*, A. Mazzoni\*\*\*\*, M. Piras\*\*\*\*\*, M. Roggero\*\*\*\*\*,  
M. Scuratti\*\*\*\*\*, V. Tornatore\*

(\*) DIIAR – Sez. Rilevamento, Politecnico di Milano, p.zza L. da Vinci, 32 – 20133 Milano

(\*\*) Politecnico di Milano, Polo Regionale di Como, via Valleggio, 11 – 22100 Como

(\*\*\*) DIET, Università degli Studi di Pavia, via Ferrata, 1 – 27100 Pavia

(\*\*\*\*) DITS – Area di Geodesia e Geomatica, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”,  
via Eudossiana, 18 – 00184 Roma

(\*\*\*\*\*) DIGET, Politecnico di Torino, p.zza S. Eusebio, 1 – 13100 Vercelli

(\*\*\*\*\*) DIGET, Politecnico di Torino, c.so Duca degli Abruzzi, 24 – 10124 Torino

(\*\*\*\*\*) IREALP – via M. Gioia, 72 – 20125 Milano

E-mail: mattia.crespi@uniroma1.it

## Riassunto

Questo lavoro illustra i primi risultati della sperimentazione (svoltasi da luglio 2003 a luglio 2004) condotta congiuntamente da diverse sedi universitarie e relativa al posizionamento GPS in modalità RTK. In particolare, per il posizionamento si sono utilizzate reti di stazioni permanenti GPS e la trasmissione del messaggio RTCM è avvenuta tramite rete Internet impiegando un nuovo sistema denominato RIR (RTCM Internet Receiver<sup>®</sup>). Gli obiettivi del lavoro sono stati quelli di valutare l'efficienza e l'affidabilità del RIR e l'accuratezza conseguibile nel posizionamento. Rimangono tuttavia aperte alcune questioni che richiedono ulteriori approfondimenti che verranno sviluppati nel prossimo futuro.

## Abstract

The paper illustrates the first results of an experiment regarding the GPS-RTK positioning assisted by GPS permanent stations and RTCM message Internet broadcasting. The experiment, jointly carried out by several research groups in the period July 2003 – July 2004, was devoted to test a new broadcasting system (RIR - RTCM Internet Receiver<sup>®</sup>) in order to assess its efficiency, reliability and positioning accuracy. The present analysis leaves some problems still open: they will be investigated and discussed in an other paper in the next future.

## Introduzione e protocollo di rilievo

Il sistema RIR\* consiste in un dispositivo da collegare al ricevitore GPS, che gestisce, tramite un modem GSM integrato nel dispositivo stesso, la connessione via rete Internet ad un indirizzo IP dal quale l'utente desidera ricevere il messaggio RTCM.

E' importante sottolineare che in questa sperimentazione il sistema RIR è stato utilizzato per:

- ricevere il messaggio RTCM da una stazione permanente per volta e non globalmente da un'intera rete (correzioni interpolate su un'area)

---

\* D.G. Service di Rieti, commercializzato dalla Geotop di Ancona

- eseguire rilievi statici (e non cinematici) in tempo (quasi) reale

Nel corso della sperimentazione, dopo avere definito un protocollo di rilievo e di elaborazione dei dati comune, in modo da poter successivamente confrontare e/o aggregare i risultati ottenuti, ogni gruppo ha eseguito i rilievi con identici ricevitori rover (Topcon Legacy-E GGD equipaggiati con RIR) collegandosi però a stazioni permanenti equipaggiate con ricevitori di diversa marca: in tal modo si è simulato il più possibile l'attuale (e probabilmente anche futura) pratica operativa.

Per quanto riguarda la tipologia di messaggi RTCM, si è operato con i messaggi 1, 2 per le osservazioni di codice e 18, 19 per quelle di fase, secondo il protocollo RTCM v. 2.1.

Per studiare l'efficienza e l'affidabilità del sistema, e considerate le specifiche del ricevitore Topcon (vedi paragrafo successivo) si è previsto di eseguire per ogni punto rilievi indipendenti (ovvero spegnendo il RIR fra due sessioni successive) rispetto a due o più stazioni permanenti. La durata di ciascuna sessione di misura è stata di 10 minuti con intervallo di campionamento (e conseguente registrazione delle posizioni) di 1 s (impostazione del ricevitore in modalità cinematica), in modo da disporre di serie temporali sufficientemente lunghe (600 epoche) sulle quali eseguire diverse valutazioni:

- tempo intercorso tra l'accensione del RIR e la prima acquisizione del messaggio RTCM
- tempo intercorso tra l'accensione del RIR e la prima soluzione con ambiguità fissate ad interi
- stabilità delle soluzioni con ambiguità fissate e non ad interi (dispersione intrinseca delle soluzioni)

Per valutare l'accuratezza conseguibile, sono stati occupati punti di posizioni note nel sistema IGM95 - con precisioni caratteristiche della rete che lo materializza (1.5 cm in planimetria, 2.5 cm in quota) - e le loro coordinate sono state assunte come riferimento.

Nel seguito non si riportano i dettagli delle campagne di misura, limitandosi a segnalare che all'inizio della sperimentazione (prove condotte dal gruppo di Como) sono stati evidenziati diversi problemi hardware e software del RIR; tali problemi sono successivamente stati risolti a cura della D.G. Service e della Geotop, cosicché gli altri gruppi hanno potuto operare con il sistema RIR in piena efficienza. È però necessario precisare il principio di stima delle soluzioni suddette prima di illustrare e discutere i risultati ottenuti.

### **Principio di stima delle posizioni in tempo reale**

In generale l'elaborazione delle misure per il rilievo in tempo reale viene condotta dal software dell'ricevitore *rover* e l'utente ha scarso controllo sui parametri di elaborazione.

Nello specifico delle apparecchiature Topcon, lo schema di elaborazione delle osservazioni è qui di seguito illustrato.

In assenza di qualunque osservazione dalla stazione di riferimento, le stime di posizione del ricevitore *rover* vengono calcolate mediante elaborazione delle misure di codice in *point-positioning*.

In presenza di osservazioni di codice della stazione di riferimento, vengono invece prodotte soluzioni mediante compensazione delle doppie differenze delle misure di codice.

A partire dalla prima epoca di acquisizione delle osservazioni di fase della stazione di riferimento, l'algoritmo del ricevitore mobile utilizza le osservazioni di fase dei due ricevitori sulle due frequenze. Epoca per epoca, mediante compensazione di tali osservazioni, il firmware aggiorna le stime delle ambiguità iniziali e della posizione del ricevitore *rover* (la cosiddetta stima *float*); contemporaneamente ad ogni aggiornamento della stima *float*, viene effettuato un test per il fissaggio ad interi delle ambiguità: se il test ha esito negativo si prosegue con una nuova stima *float*; viceversa, dall'epoca successiva, vengono fornite le stime di posizione ad ambiguità fissate (la cosiddetta stima *fixed*). Dall'epoca del fissaggio, contestualmente ad ogni stima *fixed*, viene effettuata una verifica statistica sulla qualità della soluzione: se la verifica ha esito positivo

prosegue la serie di stime *fixed*; viceversa, le ambiguità vengono sbloccate e incomincia una nuova serie di soluzioni *float*.

In tale processo all'utente è lasciata unicamente la scelta di definire il livello di significatività per l'esecuzione del test per il fissaggio ad interi delle ambiguità (di default posta all'1%).

Nel caso il ricevitore sia impostato in modalità cinematica (come nel nostro caso per poter memorizzare le posizioni relative alle 600 epoche di misura), per ogni epoca le stime di coordinate vengono trasferite al PDA e memorizzate in un opportuno formato, accompagnate da un *flag* che ne indica il tipo (codice, *float*, *fixed*). Nel caso il ricevitore sia impostato in modalità statica (utilizzata correntemente dagli operatori per il rilievo statico in tempo reale) la memorizzazione del risultato avviene solo quando sia stato accumulato un certo numero di epoche (per default posto a 5) corrispondenti a un certo tipo di soluzione (di default la *fixed*): la stima finale è ottenuta come semplice media sulle suddette epoche e non deriva da nessun processo di ottimizzazione.

In altri termini, per il ricevitore Topcon, non esiste una distinzione di algoritmo di elaborazione dei dati fra rilievo cinematico e rilievo statico: semplicemente, nel primo caso, viene memorizzata l'intera strisciata di risultati, nel secondo viene memorizzato solo il risultato definitivo ottenuto come media.

### Metodologia di analisi dei risultati

Ogni gruppo di lavoro ha prodotto le tabelle di sintesi dei propri risultati secondo un formato prestabilito riportando, per ogni punto rilevato, le seguenti informazioni: nome punto e nome stazione permanente di riferimento (SP); distanza fra punto e SP; epoca di prima acquisizione del messaggio RTCM; epoca di prima soluzione *fixed*; epoca di quinta soluzione *fixed*; numero totale di epoche *fixed*; numero totale di epoche *float*; dispersione e accuratezza delle stime delle coordinate (N,E,h) calcolate sulle prime 5 epoche *fixed*; dispersione e accuratezza delle stime delle coordinate calcolate su tutte le epoche *fixed*.

Per completezza si ricorda che per dispersione della stima di una coordinata  $x$  su  $N$  epoche si intende la statistica (scarto quadratico medio)

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - E\{x_i\})^2 / N}$$

dove  $x_i$  è la stima all'epoca  $i$  e  $E\{x_i\}$  indica la media delle stime  $x_i$  calcolata sulle  $N$  epoche, mentre per accuratezza della stima di una coordinata  $x$  su  $N$  epoche si intende la statistica (errore quadratico medio)

$$RMS_x = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - x_R)^2 / N}$$

dove  $x_i$  è la stima all'epoca  $i$  per la coordinata  $x$  e  $x_R$  è il valore di riferimento, noto a priori. E' opportuno sottolineare che i valori delle accuratezze ottenuti dai diversi gruppi dipendono ovviamente dalle precisioni dei valori di riferimento utilizzati, in ogni caso di ordine di grandezza centimetrico, ma non tutti omogenei in quanto ottenuti da compensazioni di reti diverse.

I risultati ottenuti dall'analisi dell'intero campione di 122 posizioni *fixed* (e quindi 122 basi rispetto alle diverse stazioni permanenti utilizzate) relativi a diversi parametri elencati nel seguito sono stati raggruppati per classi di distanze (Tabella 1) ed in ogni classe è stata valutata la mediana, in modo da disporre di indici robusti per rappresentare la dipendenza dei parametri stessi dalla distanza dalla stazione permanente di riferimento:

- tempo intercorso tra l'accensione del RIR e la prima acquisizione del messaggio RTCM (Figura 1): tale intervallo è risultato pari a circa 40 s e sostanzialmente indipendente dalla distanza

- tempo intercorso tra l'accensione del RIR e la prima e la quinta soluzione con ambiguità fissate ad interi (Figura 2): tali tempi sono risultati dipendenti dalla distanza in modo assolutamente analogo (le prime 5 soluzioni sono generalmente consecutive o contenute in un intervallo di circa 10 s), e per la maggior parte inferiori a 3-4 minuti dall'accensione del RIR; anche a brevi distanze (entro i 10 km) sono peraltro evidenti situazioni critiche (tempi superiori a 4 minuti), le cui cause devono essere ulteriormente approfondite (scarsa copertura GSM, interferenze sul segnale GPS, cattivo RDOP, ecc.)
- frequenza delle soluzioni *fixed* (Figura 3): tale frequenza (come prevedibile) è decrescente all'aumentare della distanza; tuttavia si nota che è ancora significativamente elevata (compresa tra il 60% ed il 70% per distanze tra i 20 ed i 40 km)
- stabilità delle soluzioni con ambiguità fissate ad interi (dispersione intrinseca delle soluzioni) calcolate su tutte le epoche *fixed* (Figura 4): la dispersione è risultata sensibilmente dipendente dalla distanza, ma comunque inferiore a 2 cm in planimetria ed a 5 cm in quota;
- accuratezza delle soluzioni con ambiguità fissate ad interi calcolate su tutte le epoche *fixed* (Figura 5): l'accuratezza è risultata sensibilmente dipendente dalla distanza, ma comunque inferiore a 4 cm in planimetria ed a 10 cm in quota; è opportuno ricordare nuovamente che tali valori sono sovrastimati, poiché si può ritenere che gli errori delle coordinate di riferimento (ordine di grandezza centimetrico) si combinino quadraticamente in modo indipendente con quelli propri delle soluzioni:

$$(RMS_x)^2 = (ERR_x)^2 + \sigma^2(x_R)$$

ove  $ERR_x$  rappresenta l'accuratezza effettiva della soluzione; si rimanda ad una futura pubblicazione la discussione completa di tutti i risultati ottenuti e dei casi critici che si sono presentati (per lo più probabilmente dovuti ad errati fissaggi delle ambiguità iniziali).

## Conclusioni

Sulla base delle elaborazioni condotte su un significativo campione di soluzioni si possono delineare le seguenti conclusioni:

- il sistema RIR ha mostrato una buona efficienza (una volta superati i problemi hardware e software riscontrati durante la prima fase della sperimentazione), consentendo di ricevere il messaggio RTCM mediamente in circa 40 s dall'accensione in condizioni di campo GSM normali
- su distanze dalla stazione permanente contenute entro 40 km, le soluzioni *fixed* possono essere conseguite con percentuali variabili tra il 60 ed oltre il 90% dei casi e l'accuratezza, sebbene dipendente dalla distanza, risulta comunque inferiore a 4 cm in planimetria ed a 10 cm in quota.

Rimangono a tutt'oggi aperte diverse questioni, sia relative alle prove già discusse in questo lavoro (analisi dei casi critici relativi ai tempi di fissaggio ed alle accuratezze, dispersione ed accuratezza delle soluzioni *float*), sia inerenti future possibili sperimentazioni (confronto tra soluzioni basate su messaggi RTCM diversi, prove con ricevitori a basso costo), che costituiranno tematiche di un futuro lavoro.

## Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano la Geotop e la D.G. Service per aver messo a disposizione una parte della strumentazione utilizzata in questo lavoro.

## Bibliografia

Crespi M. (2003) "Rilevamenti GPS-RTK e reti di stazioni permanenti: stato dell'arte, sperimentazioni e possibili applicazioni", Geocentro, XXVI, dicembre 2003: 31-35

Crespi M., Malena G. M., Pantanetti L., Pusceddu G. (2003) “Rilievi GPS-RTK con correzioni differenziali via Internet”, GeoMedia, 2: 38-42.

Manzino A. M. (2002) “Stazioni permanenti GNSS in Italia: scopi usi e prospettive”, 6ª Conferenza ASITA

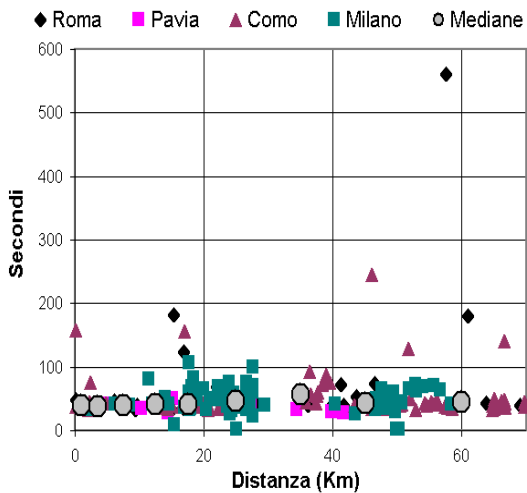


Figura 1 - Tempo intercorso tra l'accensione del RIR e la prima acquisizione del messaggio RTCM

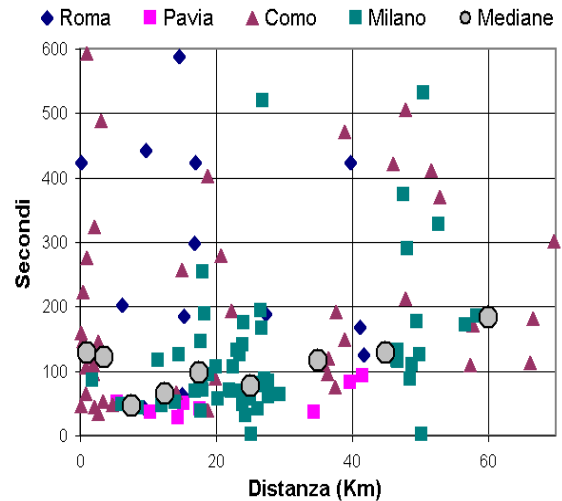


Figura 2 - Tempo intercorso tra l'accensione del RIR e la prima soluzione con ambiguità fissate ad interi

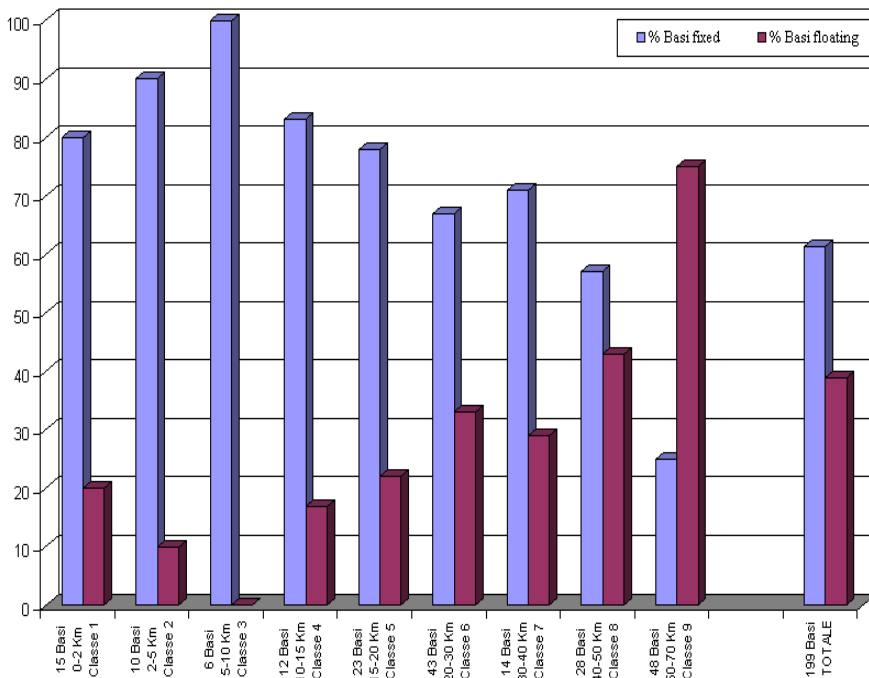


Figura 3 – Frequenza delle soluzioni fixed

Classe	Numerosità
0 - 2 Km	12
2 - 5 Km	9
5 - 10 Km	6
10 - 15 Km	10
15 - 20 Km	18
20 - 30 Km	29
30 - 40 Km	10
40 - 50 Km	16
50 - 70 Km	12
<b>TOTALE</b>	<b>122</b>

Tabella 1 – Campione di soluzioni fixed e classi

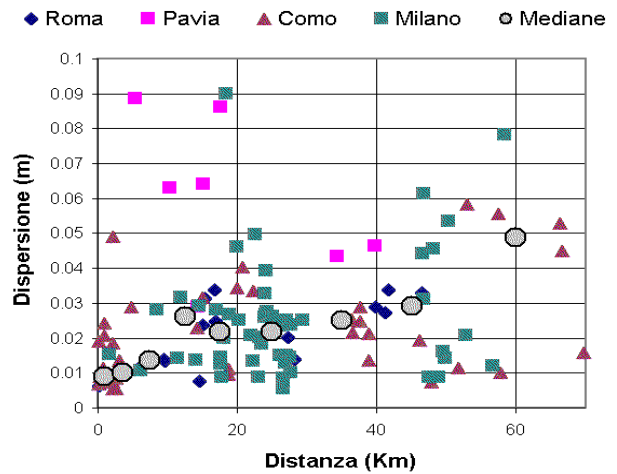
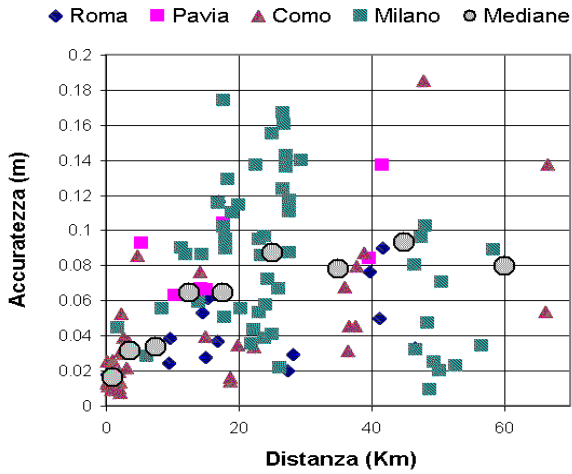
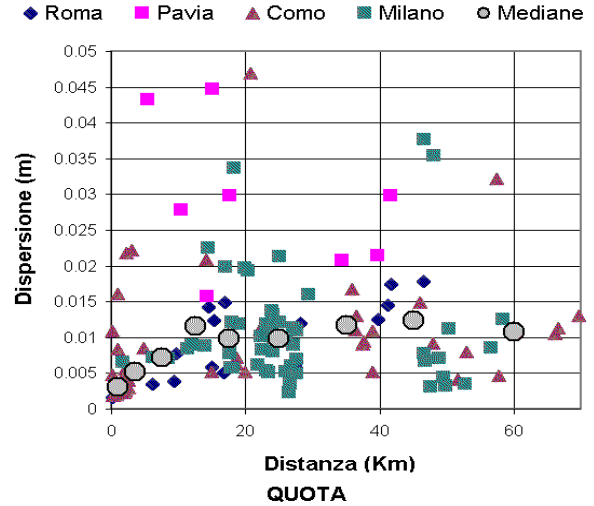
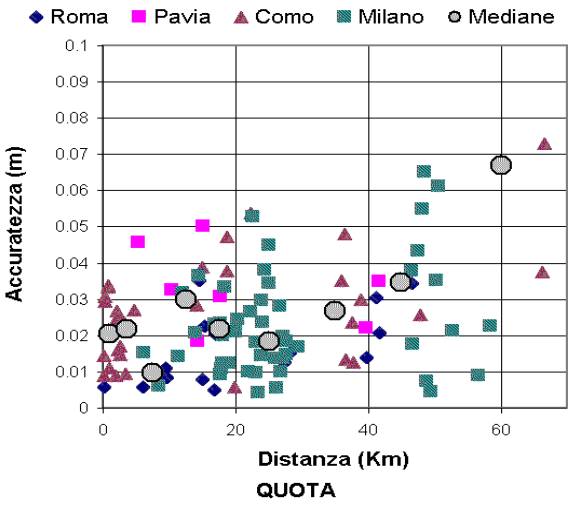
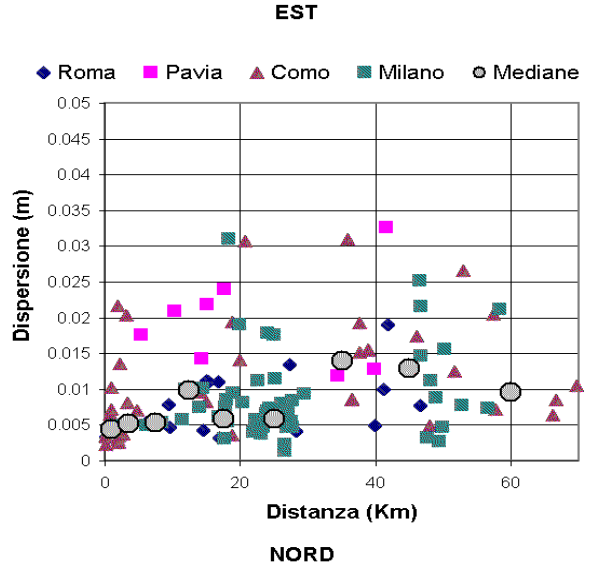
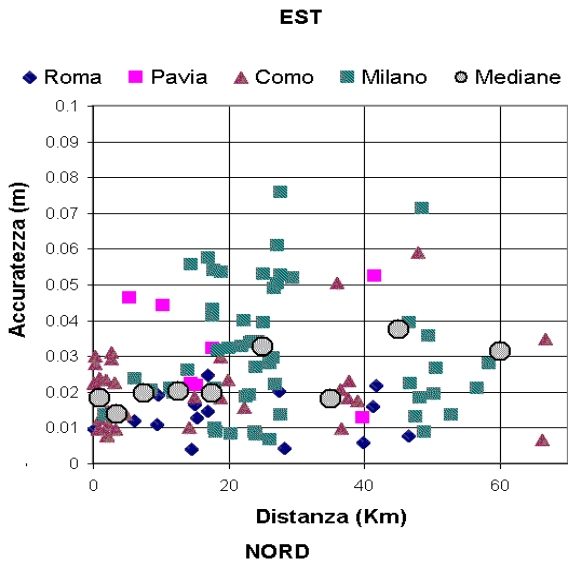


Figura 4 - Dispersione intrinseca delle soluzioni (N,E,h) con ambiguità fissate ad interi calcolate su tutte le epoche fixed

Figura 5 - Accuratezza delle soluzioni (N,E,h) con ambiguità fissate ad interi calcolate su tutte le epoche fixed