

# Campo di velocità europeo dedotto da misure GPS

Andrea Nardo

31 luglio 2008



# Indice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introduzione</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Sintesi</b>   | <b>5</b>  |
| <b>Abstract</b>  | <b>11</b> |
| <b>1 Il segnale del satellite</b>                                  | <b>15</b> |
| 1.0.1 Struttura del segnale . . . . .                              | 15        |
| 1.0.2 Elaborazione del segnale . . . . .                           | 17        |
| <b>2 Osservabili</b>   | <b>21</b> |
| 2.1 Acquisizione . . . . .   | 21        |
| 2.1.1 Pseudorange dedotte dal codice . . . . .                     | 21        |
| 2.1.2 Pseudorange dedotte dalla fase . . . . .                     | 22        |
| 2.1.3 Osservabile Doppler . . . . .                                | 23        |
| 2.1.4 Rumore e biases . . . . .                                    | 24        |
| 2.2 Combinazioni di osservabili . . . . .                          | 25        |
| 2.2.1 Combinazioni lineari di osservabili di fase . . . . .        | 25        |
| 2.2.2 Combinazioni di osservabili di fase e di codice . . . . .    | 26        |
| 2.3 Effetti atmosferici . . . . .                                  | 27        |
| 2.3.1 Velocità di fase e di gruppo . . . . .                       | 27        |
| 2.3.2 Rifrazione ionosferica . . . . .                             | 28        |
| 2.3.3 Rifrazione troposferica . . . . .                            | 33        |
| 2.3.4 Multipath . . . . .  | 38        |
| <b>3 Modelli matematici per il posizionamento</b>                  | <b>41</b> |
| 3.1 Point positioning . . . . .                                    | 41        |
| 3.1.1 Point positioning mediante l'osservabile di codice . . . . . | 41        |
| 3.1.2 Point positioning mediante osservazioni di fase . . . . .    | 42        |
| 3.1.3 Posizionamento relativo . . . . .                            | 43        |
| 3.1.4 Correlazioni tra le combinazioni di fase . . . . .           | 46        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Stima dei parametri</b>  | <b>51</b> |
| 4.0.5    | Stima ai minimi quadrati . . . . .  | 51        |
| 4.0.6    | Linearizzazione . . . . .   | 52        |
| 4.0.7    | Modello linearizzato per il posizionamento puntuale con misure di codice . . . . .    | 53        |
| 4.0.8    | Modello linearizzato di posizionamento puntuale per mezzo di misure di fase . . . . . | 54        |
| 4.0.9    | Modello linearizzato per il posizionamento relativo . . . . .                         | 56        |
| <b>5</b> | <b>Combinazione delle equazioni normali</b>   | <b>59</b> |
| 5.1      | Introduzione . . . . .  | 59        |
| 5.2      | Il modello di Gauss-Markoff . . . . .   | 59        |
| 5.2.1    | Metodo dei minimi quadrati . . . . .  | 60        |
| 5.2.2    | Linearizzazione . . . . .   | 61        |
| 5.3      | Il modello di Gauss-Markoff con vincoli sui parametri. . . . .                        | 62        |
| 5.3.1    | Minimi quadrati vincolati . . . . .   | 62        |
| 5.4      | Pre eliminazione dei parametri . . . . .  | 63        |
| 5.5      | Combinazione delle equazioni normali . . . . .  | 64        |
| 5.5.1    | Stima batch . . . . .   | 65        |
| 5.5.2    | Stima sequenziale . . . . .   | 65        |
| 5.6      | Trasformazione dei parametri. . . . .   | 66        |
| 5.7      | Introduzione di parametri addizionali . . . . .                                       | 67        |
| 5.8      | Sistemi di equazioni normali vincolati . . . . .                                      | 68        |
| 5.9      | Applicazione . . . . .  | 70        |
| 5.9.1    | Un semplice modello di osservabile . . . . .  | 70        |
| 5.9.2    | Modello di osservabile basato su una trasformazione di similitudine . . . . .         | 72        |
| 5.9.3    | Vincoli . . . . .   | 75        |
| 5.9.4    | Vincoli interni . . . . .   | 77        |
| <b>6</b> | <b>Reti GPS</b>   | <b>79</b> |
| 6.1      | Introduzione . . . . .  | 79        |
| 6.2      | Le linee guida EUREF per i LACs . . . . .   | 79        |
| 6.3      | L'attività del Local Analysis Center UPA . . . . .                                    | 80        |
| 6.3.1    | Software utilizzato . . . . .   | 80        |
| 6.3.2    | L'organizzazione dei dati in campagne . . . . .                                       | 81        |
| 6.3.3    | La creazione di una campagna . . . . .  | 82        |
| 6.4      | La procedura di elaborazione . . . . .  | 83        |
| 6.4.1    | Variabili d'ambiente . . . . .  | 84        |
| 6.4.2    | Opzioni di elaborazione . . . . .   | 84        |
| 6.4.3    | Scripts di attivazione . . . . .  | 84        |
| 6.4.4    | Controllo della CPU . . . . .   | 84        |
| 6.4.5    | La definizione della sequenza di elaborazione . . . . .                               | 84        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 6.5      | Le strategie di elaborazione utilizzate da UPA LAC . . . . .           | 85         |
| 6.5.1    | Strategia per il posizionamento puntuale (Point Positioning) . . . . . | 86         |
| 6.5.2    | Strategia per l'elaborazione con le doppie differenze. . . . .         | 92         |
| 6.5.3    | Combinazione delle soluzioni giornaliere. . . . .                      | 97         |
| 6.5.4    | Calcolo del ritardo troposferico zenitale. . . . .                     | 97         |
| <b>7</b> | <b>Riproccamento CEGRN</b>   | <b>99</b>  |
| 7.1      | Introduzione. . . . .  | 99         |
| 7.2      | Descrizione delle campagne. . . . .                                    | 99         |
| 7.3      | Linee guida del riproccamento . . . . .                                | 100        |
| 7.3.1    | Descrizione dell'elaborazione giornaliera . . . . .                    | 101        |
| 7.4      | Stacking delle equazioni normali di campagna . . . . .                 | 102        |
| 7.4.1    | Grafici dei parametri di Helmert . . . . .                             | 107        |
| 7.5      | Soluzione multi-anno . . . . .   | 119        |
| 7.5.1    | Controllo della consistenza della soluzione multianno. . . . .         | 122        |
| 7.5.2    | Confronto con le velocità EPN . . . . .                                | 123        |
| 7.5.3    | Raffigurazione del campo di velocità CEGRN. . . . .                    | 124        |
| <b>8</b> | <b>Determinazione del campo di velocità</b>                            | <b>127</b> |
| 8.1      | Introduzione . . . . .   | 127        |
| 8.2      | Combinazione delle eq. normali della rete EUREF . . . . .              | 127        |
| 8.2.1    | Definizione del sistema di riferimento . . . . .                       | 127        |
| 8.2.2    | Correzione delle discontinuità . . . . .                               | 132        |
| 8.2.3    | Tabella delle discontinuità. . . . .                                   | 138        |
| 8.2.4    | Il campo di velocità nel riferimento ITRF00 . . . . .                  | 148        |
| <b>9</b> | <b>Infittimento del campo di velocità</b>                              | <b>161</b> |
| 9.1      | Introduzione . . . . .   | 161        |
| 9.2      | Descrizione della strategia di combinazione . . . . .                  | 162        |
| 9.2.1    | La definizione del sistema di riferimento . . . . .                    | 162        |
| 9.2.2    | Software di combinazione . . . . .                                     | 162        |
| 9.2.3    | Classificazione dei vincoli. . . . .                                   | 162        |
| 9.2.4    | Rimozione e imposizione di nuovi vincoli. . . . .                      | 163        |
| 9.2.5    | Vincoli relativi tra le velocità . . . . .                             | 164        |
| 9.2.6    | Stima dei pesi relativi alle soluzioni individuali . . . . .           | 164        |
| 9.2.7    | Stima statistica della qualità della combinazione . . . . .            | 165        |
| 9.2.8    | Sull'utilizzo dei vincoli interni . . . . .                            | 165        |
| 9.3      | Pre-processamento delle equazioni normali . . . . .                    | 165        |
| 9.3.1    | Soluzioni preliminari multianno . . . . .                              | 166        |
| 9.3.2    | Combinazione preliminare EUREF . . . . .                               | 167        |
| 9.3.3    | Combinazione preliminare GP . . . . .                                  | 181        |
| 9.3.4    | Combinazione preliminare UPA . . . . .                                 | 191        |
| 9.3.5    | Soluzioni settimanali combinate . . . . .                              | 200        |
| 9.4      | Soluzione multianno definitiva . . . . .                               | 201        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 9.4.1     | Realizzazione del sistema di riferimento . . . . .  | 201        |
| 9.4.2     | Campo di velocità combinato in ITRF2005. . . . .  | 203        |
| 9.4.3     | Effetto del termine annuale. . . . .  | 223        |
| 9.4.4     | Trasformazione ITRF2005 - ETRF . . . . .  | 230        |
| 9.4.5     | Campo di velocità ETRF . . . . .  | 230        |
| 9.5       | Conclusioni . . . . .   | 242        |
| <b>10</b> | <b>Campo di velocità CEGRN</b>  | <b>245</b> |
| 10.1      | Introduzione. . . . .   | 245        |
| 10.2      | Descrizione della strategia di combinazione . . . . .   | 245        |
| 10.2.1    | Consistenza della soluzione CEGRN . . . . .   | 246        |
| 10.3      | Campo di velocità combinato . . . . .   | 248        |
| <b>11</b> | <b>Interpolazione del campo di velocità.</b>  | <b>249</b> |
| 11.1      | Introduzione. . . . .   | 249        |
| 11.2      | Algoritmo di interpolazione . . . . .   | 249        |
| 11.2.1    | Descrizione dell'algoritmo . . . . .  | 249        |
| 11.2.2    | Collocazione con errori casuali . . . . .   | 252        |
| 11.2.3    | Applicazione dell'algoritmo al campo di velocità . . . . .                                    | 253        |
| 11.2.4    | Matrice di covarianza del noise per un campo di velocità orizzontale. . . . .                 | 254        |
| 11.2.5    | Scalatura della matrice di covarianza del noise . . . . .                                     | 254        |
| 11.2.6    | Funzione di covarianza . . . . .  | 255        |
| 11.2.7    | Caratteristiche del campo di velocità . . . . .   | 255        |
| 11.2.8    | Varianza e covarianza empiriche . . . . .   | 256        |
| 11.2.9    | Determinazione della funzione di covarianza . . . . .   | 257        |
| <b>12</b> | <b>Calcolo del tasso di deformazione</b>  | <b>263</b> |
| 12.1      | Introduzione . . . . .  | 263        |
| 12.2      | Il tasso di deformazione . . . . .  | 263        |
| 12.3      | Calcolo del tensore del tasso di deformazione: approccio discreto . . . . .                   | 264        |
| 12.4      | Calcolo del gradiente del campo . . . . .   | 265        |
| 12.4.1    | Legame tra tensore di deformazione e gradiente del campo . . . . .                            | 265        |
| 12.4.2    | Calcolo delle derivate parziali della matrice di covarianza . . . . .                         | 266        |
| 12.4.3    | Calcolo dell'errore associato alle componenti del tensore del tasso di deformazione . . . . . | 268        |
| 12.4.4    | Calcolo degli errori associati al tensore del tasso di deformazione diagonalizzato . . . . .  | 269        |
| 12.5      | Applicazione al campo di velocità combinato. . . . .  | 269        |
| 12.5.1    | Regione considerata . . . . .   | 270        |
| 12.5.2    | Caratteristiche del campo approssimato . . . . .  | 270        |
| 12.5.3    | Tasso di deformazione nella regione mediterranea. . . . .                                     | 270        |
|           | <b>Conclusioni</b>  | <b>277</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>A Scripts</b>  | <b>279</b> |
| A.1 Driver per il download dei dati e il pre-processing dei files . . . . . | 279        |
| A.2 Modulo chiamato dal driver . . . . .                                    | 282        |
| A.3 Script di comando per il quality checking dei files RINEX . . . . .     | 304        |
| A.4 Script perl l'interrogazione del server ftp igsch . . . . .             | 305        |
| A.5 Script per l'elaborazione automatica settimanale . . . . .              | 307        |
| A.6 Script per il trasferimento dei files SINEX al server FTP del BKG . .   | 311        |
| A.7 Script per l'estrazione del bollettino settimanale . . . . .            | 312        |
| A.8 Modulo per l'int. del campo e il calcolo del t. di def. . . . .         | 315        |
| <b>B Process Control Files</b>  | <b>365</b> |
| B.1 PPP . . . . .   | 365        |
| B.2 RNX2SNX . . . . .   | 367        |
| <b>C Elenco delle discontinuità e degli outliers</b>                        | <b>371</b> |





# Introduzione

L'oggetto di questa tesi è l'applicazione della tecnologia GPS alla conoscenza delle deformazioni della crosta terrestre, allo scopo di poter utilizzare i dati ricavati da un insieme di stazioni GPS per una migliore comprensione dei fenomeni sismici. Questo progetto viene affrontato su diversi livelli, dal processamento settimanale dei dati alla combinazione delle equazioni normali al fine di determinare il campo di velocità per risalire al campo di deformazione della crosta terrestre.

Per quanto riguarda il processamento ci avvaliamo dell'esperienza ottenuta come Local Analysis Centre per la rete geodetica europea EUREF (il consorzio che mantiene aggiornato il sistema ITRF nella regione europea). In questo contesto ci occupiamo di elaborare i dati giornalieri di un cluster di 34 stazioni fisse GPS appartenenti alla rete EUREF. Oltre a questa attività effettuiamo per i nostri studi anche il processamento settimanale di un insieme di 54 stazioni, non tutte appartenenti alla rete EUREF e disposte sul territorio italiano ed austriaco. A questi due insiemi di stazioni corrispondono anche differenti scopi: per le stazioni EUREF l'obiettivo è quello di produrre, ogni settimana e partendo dai dati grezzi, le equazioni normali settimanali e le correzioni troposferiche giornaliere (calcolate tenendo fisse le coordinate delle stazioni ai loro valori medi settimanali); queste soluzioni sono poi inviate al Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) di Francoforte per la combinazione con le equazioni normali prodotte dai restanti 15 LACs.

I dati relativi alla rete non EUREF vengono da noi utilizzati per densificare quelli della rete EUREF con stazioni di qualità comparabile per poter studiare con maggiore dettaglio le deformazioni superficiali della crosta terrestre nelle regioni italiane ed austriache.

Per entrambe le reti il dato grezzo è costituito da misure GPS (di fase e di codice), con frequenza di trenta secondi, immagazzinate in files ASCII formattati secondo uno specifico standard internazionale (RINEX); tramite tale formato le osservazioni GPS vengono rese indipendenti dall'hardware che le ha generate. I dati che noi utilizziamo, relativi alla rete EUREF si trovano immagazzinati in 10 servers ftp europei, detti data centers, mentre per i dati non EUREF ricorriamo a server locali oppure prendiamo contatto con i gestori delle stazioni per approntare procedure batch per il trasferimento automatico dei dati sul nostro server FTP. Il download e la creazione dell'ambiente necessario all'elaborazione dei dati (cioè il setup e l'attivazione in sequenza di tutti i programmi dedicati all'elaborazione) vengono effettuati attraverso scripts PERL appositamente scritti.



# Sintesi

Il processamento dei dati viene effettuato dal software **Bernese 5**, tale software dispone di due modalità di funzionamento: una interattiva e d una automatica, governata dal *Bernese Processing Engine* (BPE). L'utilizzo di Bernese in modalità automatica è assolutamente necessario per rendere efficiente e rigoroso l'elaborazione dei dati. La strategia di elaborazione è determinata da due enti: una sequenza di attivazione dei programmi di processamento (che si concretizza in un file ASCII detto Process Control File, PCF) ed un insieme di parametri (opzioni) dati in input ad ogni programma che compone la sequenza di elaborazione. In sostanza l'elaborazione è definita da un PCF che attiva in una sequenza ordinata vari scripts PERL, che a loro volta chiamano i programmi di basso livello, i cui argomenti sono specificati in appositi files di testo associati agli scripts PERL.

La versione 5 di Bernese viene fornita con i PCF e gli scripts PERL necessari all'elaborazione giornaliera di una reti di stazioni GPS. Tali files sono chiamati PPP e RNX2SNX: il primo effettua una stima preliminare delle coordinate a livello centimetrico, utilizzando osservazioni non differenziate, e genera files contenenti informazioni ausiliarie necessarie al corretto funzionamento del secondo PCF. Il secondo PCF è quello che effettivamente converte l'informazione contenuta nelle osservazioni nella stima delle coordinate e dei parametri di correzione troposferica. Il prodotto finale di RNX2SNX sono la matrice di covarianza relativa alle coordinate medie settimanali e le matrici di covarianza associate alle correzioni troposferiche giornaliere, sotto forma di otto files ASCII con formattazione particolare (formato SINEX). La strategia di elaborazione definita da RNX2SNX permette di 1) rigettare i RINEX che contengono gaps o residui troppo grandi, 2) determinare le ambiguità intere attraverso la strategia QIF, 3) calcolare una soluzione per le coordinate delle stazioni, vincolando il sistema di riferimento a quello ITRF2000 (ora ITRF2005) tramite un insieme di stazioni fiduciarie. Una volta prodotte le soluzioni giornaliere le equazioni normali associate vengo combinate mediante il programma ADDNEQ2 allo scopo di ottenere una soluzione settimanale. Infine, ottenuta la stima delle coordinate medie settimanale, queste stesse coordinate vengono utilizzate, fissandole, nella stima delle correzioni troposferiche giornaliere.

Per la determinazione del campo di velocità europeo affrontiamo il problema della combinazione multianno delle equazioni normali settimanali. In primo luogo viene affrontato il problema della combinazione delle equazioni settimanali della rete EUREF; la risoluzione di questo problema consiste nella determinazione di tutte le disconti-

nuità e gli outliers presenti nelle serie storiche delle stazioni EUREF, e nell'editing di un apposito file di input (file .STA) per il programma ADDNEQ2 che contenga le informazioni necessarie ad eliminare le discontinuità e gli outliers. Una volta ottenute delle serie storiche continue si può passare alla determinazione del campo di velocità e al suo infittimento per la regione italiana e austriaca attraverso l'utilizzo dell'informazione contenuta nelle equazioni normali settimanali relative al secondo insieme di stazioni da noi processate.

La rete EUREF, essendo una rete cartografica, non può essere utilizzata per misure di deformazione crostale, in quanto la distanza media tra le stazioni che la costituiscono è troppo elevata. Essa è però necessaria per definire in modo rigoroso il sistema di riferimento: consente di allineare le soluzioni derivanti dai dati di reti locali ad un sistema di riferimento comune (nel caso in questione utilizziamo la realizzazione più recente del sistema di riferimento terrestre: l'ITRF2005). Ogni soluzione settimanale EUREF deve essere combinata con la relativa soluzione settimanale della rete locale utilizzata per densificare il campo. Le due reti locali che utilizziamo per densificare il campo di velocità coprono parte del territorio italiano e la totalità del territorio austriaco. Un primo tentativo di combinazione delle equazioni normali EUREF ha rivelato che il software ADDNEQ2 non è particolarmente efficiente e stabile per effettuare questo compito. Si è reso necessario perciò passare all'utilizzo del software di combinazione CATREF. La strategia di combinazione è costituita da quattro passi: 1) rimozione dei vincoli dalle equazioni normali EUREF, UPA, GP, 2) combinazione preliminare multianno di ogni rete per individuare outliers e discontinuità, 3) combinazione settimanale delle equazioni normali UPA e GP per allineare le soluzioni settimanali, 4) combinazione multianno delle equazioni normali risultanti. I vincoli sono presenti nei sistemi di equazioni normali prodotti dai software di stima per il seguente motivo: i sistemi di equazioni normali derivanti da osservabili GPS hanno un deficit di rango 7, dovuto al fatto che le osservabili GPS non sono sensibili a traslazioni, rotazioni e cambiamenti di scala del sistema di riferimento. Da ciò risulta l'impossibilità di invertire il sistema delle equazioni normali. Questo problema viene risolto imponendo delle condizioni aggiuntive al sistema, nella forma di equazioni algebriche (imposizioni di vincoli). Tali vincoli possono agire sulle coordinate o sui parametri di traslazione, rotazione e scala che definiscono la trasformazione tra due sistemi di riferimento. L'imposizione di vincoli a questo tipo di sistemi di equazioni normali è equivalente alla definizione di un sistema di riferimento. Il software CATREF permette di imporre i vincoli sui parametri di traslazione, rotazione e scala, minimizzando tali parametri rispetto ad un sistema di riferimento definito a priori (minimi vincoli). Le discontinuità presenti nelle serie storiche vengono corrette stimando due posizioni e due velocità per il sito la cui serie storica è discontinua, e vincolando le velocità del sito prima e dopo la discontinuità. Tale procedura di trattamento delle discontinuità è risultata essere la più rigorosa in quanto tentativi di stimare e correggere le discontinuità nella posizione effettuati con ADDNEQ2 hanno dato risultati variabili, dovuti alla natura variabile delle serie storiche (outliers, gaps e andamenti non lineari ostacolano la stima delle discontinuità).

La rimozione dei vincoli è un passaggio critico: se risolviamo ogni sistema di equazioni normali settimanali e calcoliamo lo scarto quadratico medio (pesato, wrms) dei residui postfit delle posizioni (tridimensionale, orizzontale e verticale) e rappresentiamo in un grafico le serie temporali risultanti, possiamo investigare sull'eventuale presenza di outliers e sulla correttezza del procedimento di rimozione dei vincoli.

A. Kenyeres<sup>1</sup> afferma che valori di wrms molto grandi, dell'ordine dei centimetri, indicano la presenza di outliers, mentre valori molto piccoli (1 mm per il wrms della componente verticale) indicano che in vincoli non sono stati rimossi correttamente. Per la combinazione multianno EUREF troviamo un wrms che varia tra 3.5 e 2 mm, per quella GP un wrms compreso tra 5 e 2 mm e per quella UPA tra 4.5 e 2 mm. Per tutte e tre le soluzioni il wrms verticale è superiore a 2 mm. Valori maggiori per i wrms di GP e UPA erano attesi in quanto i dati grezzi da cui sono stati ottenuti i sistemi di equazioni normali non sono sottoposti ad una procedura di controllo automatica, come quelli della rete EUREF. Questo fatto si rivela anche nelle serie storiche dei parametri di Helmert (i parametri di trasformazione) che rivelano il carattere flottante delle soluzioni GP ed UPA, dovuta al basso numero di stazioni utilizzate per definire il sistema di riferimento. Tuttavia, anche in presenza di tali limiti la combinazione settimanale con le soluzioni EUREF riesce a garantire l'allineamento delle soluzioni con il sistema di riferimento definito dai seguenti siti:

|                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| BRUS A 13101M004 | JOZE A 12204M001 | POTS A 14106M003 | TRAB A 20808M001 |
| GLSV A 12356M001 | MASI A 31303M002 | ZIMM A 14001M004 | TRO1 A 10302M006 |
| GRAS A 10002M006 | METS A 10503S011 | RABT A 35001M002 | VILL A 13406M001 |
| HOFN A 10204M002 | NOT1 A 12717M004 |                  |                  |

Come ulteriore conferma della correttezza della definizione del sistema di riferimento sono stati calcolati i residui tra le velocità dei siti comuni alla nostra soluzione e alla soluzione ITRF05. I siti in comune sono 29 i valori medi dei residui sono:

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| Est [ $mm/yr$ ] | Nord [ $mm/yr$ ] |
| -0.11           | 0.07             |

Il numero totale di siti di cui è stata stimata la velocità è 247. Per utilizzare i dati di velocità nello studio delle deformazioni crostali è necessario sottrarre il moto rigido della placca. Per sottrarre il moto rigido sono state utilizzate i parametri di trasformazione ITRF2005 - ETRF ([37]). In un secondo tempo abbiamo effettuato l'elaborazione di 9 campagne, a cadenza annuale e di 2 anni, relative alla rete GPS CEGRN (intervallo temporale 1994 – 2007), utilizzando orbite ed EOPs riprocessati [50], distribuita nell'Europa centro-orientale. Le equazioni normali di campagna, combinate con le corrispondenti prodotte da altri centri di analisi, sono state combinate con le rispettive soluzioni settimanali EGU, allo scopo di ottenere una nuova soluzione che rappresentasse un campo di velocità densificato adatto a descrivere la cinematica della crosta terrestre nella regione europea mediterranea e centro-orientale. Il numero

<sup>1</sup>[http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/projects/series\\_sp/cumulative\\_solution.php](http://www.epncb.oma.be/_organisation/projects/series_sp/cumulative_solution.php)

di siti la cui velocità è stata determinata è di 296. Il campo di velocità residuo evidenzia che la regione centroeuropea è essenzialmente rigida (velocità inferiori a 1 mm/yr) mentre la regione mediterranea è caratterizzata da valori più elevati (superiori a 2 mm/yr). Abbiamo infine verificato che l'intervallo minimo di tempo considerato (2.5 anni, vedi [47]) è sufficiente a mediare gli effetti del termine annuale presente nelle serie storiche di molti siti. L'effetto del termine annuale è di 0.01 mm/yr per la componente est, e di 0.06 mm/yr per la componente nord.

La strategia di combinazione (con CATREF) è pienamente descritta nel cap. 9. In tale capitolo vengono inoltre riportate le tabelle di discontinuità, grafici di wrms e parametri di Helmert, e valori di ampiezza e fase iniziale del termine annuale.

Il campo di velocità così determinato viene utilizzato per determinare il tasso di deformazione della crosta. Il tensore di deformazione (orizzontale) è una matrice di quattro elementi che sono funzioni delle posizione. Tali elementi si esprimono come combinazioni lineari delle derivate parziali del campo di velocità rispetto alle coordinate est e nord. Si ha infatti che tali elementi si scrivono come:

$$\begin{aligned}\epsilon_{ee} &= \frac{\partial \hat{v}^e}{\partial e} \\ \epsilon_{en} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \hat{v}^n}{\partial e} + \frac{\partial \hat{v}^e}{\partial n} \right) \\ \epsilon_{nn} &= \frac{\partial \hat{v}^n}{\partial n}.\end{aligned}$$

Le derivate del campo vengono approssimate analiticamente per mezzo di un algoritmo di minima varianza (algoritmo di collocazione). Si ipotizza che il valore che il campo assume nel punto di interpolazione dipenda dai valori misurati del campo, pesati secondo la distanza. La formula di interpolazione si scrive come (vedi [5]):

$$\hat{s} = C_{st} (C_{tt} + C_{nn})^{-1} l$$

dove  $\hat{s}$  è il valore del campo nel punto di interpolazione,  $l$  rappresenta i valori osservati del campo (centrato),  $C_{tt}$  è la matrice di covarianza tra i valori osservati del campo,  $C_{st}$  è la matrice di cross-covarianza tra i valori osservati e i valori interpolati e  $C_{nn}$  è la matrice di covarianza del noise (moltiplicata per un fattore 10 per compensare l'effetto di random e flicker noise). La funzione peso è detta funzione di covarianza, ed esprime la covarianza tra i valori che il campo assume in due punti diversi. Tale funzione è rappresentata dalla funzione di Cauchy:

$$C_{ij} = \frac{w}{1 + \left( \frac{d_{ij}}{d_0} \right)^2}$$

dipendente da due parametri  $w$  (varianza del campo) e  $d_0$  (distanza di correlazione). La distanza di correlazione viene stimata attraverso un fit del covariogramma. Tale distanza inoltre non deve essere inferiore alla spaziatura media tra i siti (teorema del

campionamento), altrimenti l'interpolazione non fornisce risultati corretti. Il fit del covariogramma empirico porta ad assegnare alla lunghezza di correlazione il valore di 105 Km. Tale valore risulta inferiore di  $\frac{1}{3}$  rispetto ai valori riportati nei lavori [49], [34], [33] e [36]. Per derivazione è possibile calcolare il tasso di deformazione. Il tensore del tasso di deformazione è stato calcolato derivando rispetto alle direzioni nord ed est l'approssimazione analitica sopra citata. I valori del tensore del tasso di deformazione così calcolato sono risultati essere in accordo con quelli determinati da [16]. Le alpi sudorientali mostrano un tasso di deformazione di  $10 \div 15$  nstrain/yr, l'Italia centrale è caratterizzata da un tasso di estensione di circa 25 nstrain/yr, in direzione ortogonale alla catena apenninica. La Sardegna e la Corsica non rivelano tassi di deformazione apprezzabili. In generale l'accordo tra i valori del tasso di deformazione calcolati da noi e [16] è migliore nelle zone di maggior densità di siti. I risultati sono compatibili e tale fatto è di notevole importanza in quanto le due analisi differiscono per configurazione delle reti, software di elaborazione, software di combinazione e metodo di calcolo del tasso di deformazione. I risultati differiscono notevolmente solo per il distretto calabrese a causa scarsità di siti appartenenti a quell'area nella nostra soluzione. Infine, il buon accordo tra le due analisi rappresenta una conferma del valore della lunghezza di correlazione.

Poichè non era disponibile alcun programma per l'interpolazione del campo e il calcolo del tasso di deformazione, si è reso necessario implementare l'algoritmo di collocazione in un modulo python (riportato in appendice A.8).





# Abstract

The aim of this thesis is the application of the GPS technology to the investigation of crustal deformations, in order to exploit data from a GPS network to improve the knowledge of seismic phenomena. We attack this problem at different levels: from weekly GPS data processing to normal equations stacking, in order to compute the velocity field and the deformations field of the crust.

As a EUREF LAC (Local Analysis Centre) we carry out the weekly processing following the EUREF guidelines: we process data from a cluster of 34 stations. Besides this, we process data from another (non EUREF) cluster of stations, deployed on the Italian and Austrian regions. The aim of this second processing activity is to densify the EUREF network using stations whose quality is comparable to the EUREF stations. For both of the networks raw data are made up of daily phase and code measurements, at 30 seconds sampled, stored as RINEX observation files. We download these data every week, using PERL scripts to automate the procedure. The data processing is also done in an automatic way, through Bernese 5 and the Bernese Processing Engine. To produce daily normal equations and coordinates estimates we use the processing strategy defined by RNX2SNX PCF. This Process Control File is made of a list of statements activating the Bernese programs; the main features of this procedure are 1) Rejecting of RINEX containing large gaps or big residuals, 2) Ambiguity resolution through quasi-ionosphere-free strategy, 3) alignment of the network to the ITRF2000 (ITRF2005, now) using a set of fiducial stations.

Weekly coordinates are estimated by stacking the daily normal equations; daily tropospheric delays are estimated by fixing the coordinates of the site to their weekly mean values. The velocity field is computed by a multi years solution. At this level we must ensure that all the discontinuities and the outliers are eliminated from the time series of each station. This is done by editing a Bernese input file (.STA) which stores all the information needed to remove discontinuities and reject outliers. Once continuous EUREF time series have been obtained, we densify the velocity field by using the information stored in Austrian and Italian regions normal equations files.

In order to estimate a reliable velocity field we solve the problem of multi-year normal equations stacking. First of all, we stack the EUREF weekly normal equations; in order to solve this issue it is necessary to screen the time series of each site in order to find all the offsets and the outliers. The information collected is stored in an input file (.STA file) for the Bernese 5 stacking programme ADDNEQ2. The EUREF normal equations (neq's) stacking is essential for the definition of the reference frame.

The second issue is the densification of the EUREF velocity field. This step is essential because the EUREF network is a cartographic network, so its data are not suitable to be used in crustal deformation studies. But this network can be densified using the data belonging to others GPS local networks through the stacking of their normal equations. In this view, each weekly (local) normal equation must be stacked with the related EUREF weekly normal equation, hence the resulting neq's must be stacked in a multi-year solution. We use weekly neq's belonging to two networks, namely UPA and GP, to densify the velocity field in the Italian and Austrian areas.

During the EUREF multi-year stacking the programme ADDNEQ2 showed poor speed performance and repeatedly crashed, so we decided to use a faster and more stable software. We moved to CATREF (Combination and Analysis of Terrestrial Reference Frames, see [51], [52] and [10]). The stacking strategy we used to carry out the multi-year densified solution is made of 4 steps:

1. Removal of the a-priori constraints from EUREF, UPA and GP weekly neq's, and imposition of new constraints.
2. Preliminary multi-year solution for each network, in order to find offsets and outliers.
3. Stacking of each UPA and GP neq with the related EUREF neq.
4. Multi-year stacking of the resulting neq's.

Step 1 is very important to define a reference frame which is common for each neq involved in a stacking procedure. It is well known the neq's deriving from GPS observables are not full rank: the rank deficit is 7 and is strictly related to the poor definition of the reference frame given by the GPS observables themselves, since they are not sensitive to changes due to translations, rotation and are also scale invariant. So the information used to define the reference frame must be introduced by means of pseudo-observation equations called constraints. Several kinds of constraints can be imposed: some of them acting on the coordinates and velocities of the sites, others acting on the translation, rotation and scale parameters. CATREF is based on the second kind of constraints (the so-called minimum constraints).

Offsets detected in the time series are treated through a piecewise approach: two sets of coordinates and velocities are estimated for the same site, using the data before and after the offset epoch and constraining the velocities (before and after) to the same value. The weighted RMS (WRMS) of the weekly solution versus the stacked solution is used to check the correctness of the constraints and outliers removal. Following A. Kenyeres <sup>2</sup> we can say that WRMS of or greater than 1 cm reveals the presence of outliers, and that a very small WRMS value (under 1 mm for the vertical residuals) reveals a wrong constraint removal. In our case we have  $WRMS_{EUREF} \in [2.0, 3.5]$  mm,  $WRMS_{UPA} \in [2.0, 4.5]$  mm and  $WRMS_{GP} \in [2.0, 5.0]$  mm. The WRMS of

---

<sup>2</sup>[http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/projects/series\\_sp/cumulative\\_solution.php](http://www.epncb.oma.be/_organisation/projects/series_sp/cumulative_solution.php)

the vertical residuals is greater than 2 mm for the three multi-year solutions. We expected that WRMS of the UPA and GP stacking were greater than EUREF one because the raw data coming from UPA and GP are non checked as strictly as EUREF data. Moreover the plots of the Helmert parameters related to the UPA and GP neq's stacking reveal the inadequacy of reference frame definition, especially for the UPA neq's. However the weekly stacking of the EUREF, UPA and GP neq's seems to compensate this fact.

The combined reference frame is aligned to ITRF05 by minimum constraints imposed on the following subset of sites:

|                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| BRUS A 13101M004 | JOZE A 12204M001 | POTS A 14106M003 | TRAB A 20808M001 |
| GLSV A 12356M001 | MAS1 A 31303M002 | ZIMM A 14001M004 | TRO1 A 10302M006 |
| GRAS A 10002M006 | METS A 10503S011 | RABT A 35001M002 | VILL A 13406M001 |
| HOFN A 10204M002 | NOT1 A 12717M004 |                  |                  |

A further check of the correctness of the alignment of the combined frame to ITRF05 is performed by computing the residuals of the velocity on a subset of sites common to the combined frame and the ITRF05. The common sites are 29 and the averaged velocity residuals in East and North direction are:

| East [ $mm/yr$ ] | North [ $mm/yr$ ] |
|------------------|-------------------|
| -0.11            | 0.07              |

The total number of sites contained in the EUREF, UPA and GP multi-year solution is 247. ETRF velocities are computed using the transformation parameters reported in [37].

Later we did the processing of 9 annual and bi-annual measurement campaigns related to the CEGRN network (time span 1994 – 2007), using reprocessed satellite orbits and EOPs files (see [50]). The related neq's, stacked with the corresponding neq's computed by the others analysis centres participating in the CEGRN project, were stacked with the EUREF, UPA and GP neq's, resulting a multi-year solution which contains 296 sites. From this velocity field we can infer that the central European area is rigid (it shows horizontal ETRF velocity values smaller than 1 mm/yr) and that the Mediterranean area is characterized by ETRF velocity values greater than 2 mm/yr. Moreover we verified that the effect of the annual term, for a time span greater than 2.5 years, is negligible (see [47]). The averaged effect is 0.01 mm/yr and 0.06 mm/yr for the East and North components of the horizontal velocity.

The stacking strategy (with CATREF) is fully explained in chapter 9. Offsets tables, Helmert parameters and WRMS plots are given.

The velocity field was used to infer the strain rate. The horizontal strain rate tensor can be expressed as a linear combination of the partials of the velocity field, computed with respect to the East and North directions:

$$\begin{aligned}\epsilon_{ee} &= \frac{\partial \hat{v}^e}{\partial e}, \\ \epsilon_{en} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \hat{v}^n}{\partial e} + \frac{\partial \hat{v}^e}{\partial n} \right), \\ \epsilon_{nn} &= \frac{\partial \hat{v}^n}{\partial n}.\end{aligned}$$

The horizontal velocity field can be approximated analitically by means of least squares collocation. The least squares collocation is based on a knowledege of the statistical properties of the field. The interpolation formula can be written as (see [5]):

$$\hat{s} = C_{st} (C_{tt} + C_{nn})^{-1} l$$

where  $\hat{s}$  is the values of the field in the interpolation grid,  $l$  is the vector of the observed (centered) values of the field,  $C_{nn}$  is the noise covariance matrix (multiplied by a factor 10 to compensate for the effects of random and flicker noise) of the measurements,  $C_{tt}$  is the covariance matrix of the observed values of the field and  $C_{st}$  is the cross-covariance matrix between the interpolation points and the oservation points. If we suppose the velocity field is isotropic and homogeneous, the elements of the covariance and cross-covariance matrices can be represented by the Cauchy function:

$$C_{ij}^{e_n n} = \frac{w_{e_n n}}{1 + \left(\frac{d_{ij}}{d_0}\right)^2}$$

where  $d_{ij}$  is the spherical distance between  $i$  and  $j$  sites,  $w_{e_n n}$  are the variances of the East and North components of the velocity field and  $d_0$  is the correlation length. The  $w_{e_n n}$  values were computed through the empirical variance formula, and the  $d_0$  value was estimating by fitting the (normalized) Cauchy function to the empirical correlogram. We found  $d_0 = 105$  Km. This values is  $\frac{1}{3}$  smaller than the values reported by [49], [34], [33] e [36]. The strain-rate tensor is built using the partials of the analitical approximation given by the least squares collocation formula, computed with respect to East and North direction. To check the correctness of the algorithm we compare our strain-rate values with those estimated by [16]. South-Eastern Alps are characterized by a deformation rate of  $10 \div 15$  nstrain/yr, Central Italy shows an extension rate of 25 nstrain/yr. Sardinia and Corsica do not show significant deformation rates. The agreement between or results and [16] is better where our velocity field is more dense. This agreement is important because our processing and stacking software, our GPS network configuration and our strain-rate computation algorithm is different from [16]. Finally this agreeent suggests that the value of the correlation length we found is correct. Since we had not the strain-rate computation software, we coded the least squares collocation algorithm into a python module (see appendix A.8).

# Capitolo 1

## Il segnale del satellite

### 1.0.1 Struttura del segnale

#### Fondamenti fisici

La geodesia da satellite è basata sui dati che vengono trasmessi dai satelliti all'utilizzatore per mezzo di onde elettromagnetiche. Tali onde, come è noto, sono generate dal movimento di cariche elettriche. La propagazione delle onde elettromagnetiche è descritta dalle equazioni di *Maxwell*.

Durante la propagazione dell'onda, l'intensità del campo elettromagnetico decresce con l'aumentare della distanza dalla sorgente. L'attenuazione viene normalmente espressa in decibels (**dB**). Per definizione, un'attenuazione di  $n$  **dB** indica che il campo elettromagnetico iniziale è diminuito di un fattore di  $10^{-0.1n}$ . Perciò un'attenuazione di 3 **dB** riduce l'intensità del segnale a circa metà del valore iniziale. Alcune delle quantità utilizzate per descrivere le onde elettromagnetiche sono riportate in tabella

| Grandezza           | Simbolo   | Dimensioni               |
|---------------------|-----------|--------------------------|
| Frequenza circolare | $f$       | <i>ciclo</i> $s^{-1}$    |
| Fase                | $\varphi$ | <i>ciclo</i>             |
| Lunghezza d'onda    | $\lambda$ | $m$ <i>ciclo</i> $^{-1}$ |
| Periodo             | $P$       | $s$                      |
| Velocità della luce | $c$       | $m$ $s^{-1}$             |

Il numero intero di cicli equivale a un multiplo di  $2\pi$  radianti. E' noto che  $f$ ,  $P$ ,  $c$ , e  $\lambda$  sono legate dalle relazioni

$$f = 2\pi \frac{1}{P} = \frac{c}{\lambda}. \quad (1.1a)$$

La frequenza circolare istantanea si può definire come derivata della fase rispetto al tempo

$$f = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1.2)$$

e integrando la frequenza tra gli istanti  $t_0$  e  $t$  si ottiene che

$$\varphi = \int_{t_0}^t f dt. \quad (1.3)$$

Assumendo che la frequenza sia costante, ponendo la fase iniziale  $\varphi(t_0) = 0$  e tenendo conto dell'intervallo di tempo  $t_\varrho$  che il segnale impiega per percorrere la distanza tra la sorgente e il ricevitore, si può esprimere la fase del segnale osservata dal ricevitore come

$$\varphi = f(t - t_\varrho) = f\left(t - \frac{\varrho}{c}\right) \quad (1.4)$$

Se il ricevitore o la sorgente sono in moto, la frequenza del segnale ricevuto è spostata rispetto a quella del segnale emesso a causa dell'effetto Doppler. In sostanza la frequenza ricevuta  $f_r$  differisce dalla frequenza  $f_e$  del segnale emesso per una quantità  $\Delta f$ , la quale, esclusi gli effetti relativistici, è proporzionale alla velocità radiale del satellite rispetto al ricevitore:

$$\Delta f = f_r - f_e = -\frac{1}{c}v_\varrho f_e. \quad (1.5)$$

I satelliti GPS orbitano a una velocità media di  $r = na \approx 3.9 \text{ km s}^{-1}$ . Assumendo che il ricevitore sia fermo e trascurando la rotazione terrestre, nel momento di maggior vicinanza l'effetto Doppler è nullo. La massima velocità lungo la linea di vista viene raggiunta quando il satellite attraversa l'orizzonte, ed è di circa  $0.9 \text{ km s}^{-1}$ . Assumendo che la frequenza trasmessa sia  $f_e = 1.5 \text{ GHz}$ , lo shift Doppler sarebbe di  $\Delta f = 4.5 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ . Questo shift risulta in un cambiamento della fase di 4.5 cicli dopo 1 millisecondo, corrispondente ad un cambiamento di distanza di 90 cm.

### Componenti del segnale

Gli oscillatori a bordo dei satelliti generano una frequenza fondamentale  $f_0$  con la stabilità dell'ordine di  $10^{-13}$  per un giorno (per i satelliti del blocco II). Le due portanti L1 e L2 vengono generate moltiplicando la frequenza fondamentale per due costanti moltiplicative intere. Le informazioni riguardanti il clock del satellite vengono inviate al ricevitore modulando opportunamente le due portanti con un codice costituito da una sequenza di due stati (+1 e -1, corrispondenti ai valori binari 0 e 1). Il risultato è che in corrispondenza del cambio dello stato del codice si ha uno spostamento di  $180^\circ$  della fase della portante. I codici vengono sovrapposti a due sequenze pseudo casuali (C/A e P, con frequenze  $f_0/10$  e  $f_0$ , rispettivamente). Se la portante non modulata ha la forma analitica

$$Li(t) = a_i \cos(f_i t) \quad (1.6)$$

allora le due portanti modulate possono essere rappresentate dalle seguenti funzioni

$$L1(t) = a_1 P(t)W(t)D(t) \cos(f_1 t) + a_1 C/A(t)D(t) \sin(f_1 t) \quad (1.7a)$$

$$L2(t) = a_2 P(t)W(t)D(t) \cos(f_2 t) \quad (1.7b)$$

dove  $C/A(t)$  e  $P(t)$  rappresentano i codici C/A e P,  $W(t)$  è un codice ausiliario che viene utilizzato quando il segnale viene degradato per scopi militari, e  $D(t)$  rappresenta il messaggio di navigazione.

| Componente               | Frequenza ( MHz)                |
|--------------------------|---------------------------------|
| Frequenza fondamentale   | $f_0 = 1.023$                   |
| Portante L1              | $154f_0 = 1575.42$              |
| Portante L2              | $120f_0 = 1227.60$              |
| Codice P                 | $f_0 = 10.23$                   |
| Codice C/A               | $f_0/10 = 1.023$                |
| Codice W                 | $f_0/20 = 0.5115$               |
| Messaggio di navigazione | $f_0/204600 = 50 \cdot 10^{-6}$ |

### Messaggio di navigazione

Il messaggio di navigazione contiene le informazioni riguardanti lo stato di salute del satellite, il clock e l'orbita. Il messaggio è composto da 1500 bits suddivisi in 5 sezioni. Ogni sezione viene trasmessa in 6 secondi e contiene 10 words di 30 bits. Il tempo di trasmissione di una singola word è di 0.6 secondi. Un ricevitore impiega almeno 30 secondi per agganciare un satellite e ricevere il messaggio di navigazione.

Ogni sezione inizia con una word contenente un pattern di sincronizzazione e alcuni messaggi diagnostici. La seconda word di ogni sezione (hand over word, HOW) contiene il time of the week (TOW) per l'epoca d'izino della sezione immediatamente successiva (il TOW è un multiplo di 1.5 s, contato a partire dall'inizio della settimana GPS corrente).

La prima sezione contiene il numero della settimana GPS, una predizione sull'accuratezza del range, indicatori sulla salute del satellite e sull'età dei dati, una stima del ritardo di gruppo del segnale e i tre coefficienti per il polinomio quadratico che modella la correzione del clock del satellite.

La seconda e la terza sezione contengono le effemeridi del satellite. I contenuti della quarta e quinta sezione variano da messaggio a messaggio. L'informazione di queste sezioni è contenuta in 25 pagine e viene trasmessa in 12.5 minuti. La quarta sezione contiene prevalentemente informazioni di uso militare, associate a informazioni sulla ionosfera, sul TEC (Total Electron Content), sul tempo UTC e dati orbitali di bassa accuratezza riguardanti i satelliti che non fanno parte della costellazione nominale di 24 satelliti. La quinta sezione contiene le informazioni relative alle orbite e allo stato di salute dei 24 satelliti che costituiscono la costellazione GPS. Dal momento che la quarta e la quinta sezione vengono trasmesse da ogni satellite, è possibile ottenere i dati orbitali di tutti i satelliti.

### 1.0.2 Elaborazione del segnale

Il segnale trasmesso dal satellite ha la forma analitica descritta dall'eq. (???) ed è costituito da 3 componenti, indicate simbolicamente da (L1, C/A, D), (L1, Y, D) e

(L2, Y, D). La potenza del segnale del codice C/A sulla portante L1 è il doppio della potenza del codice Y sulla portante L1. Lo stesso rapporto tra le potenze esiste tra il codice Y sulle portanti L1 e L2. L'obiettivo dell'elaborazione del segnale GPS è la ricostruzione di tutte le componenti del segnale, includendo la ricostruzione della portante e l'estrazione dei codici che contengono le correzioni del clock del satellite e il messaggio di navigazione.

### Schema del ricevitore

Esiste una grande varietà di ricevitori in commercio, dedicati a compiti diversi (navigazione, surveying etc.) e con caratteristiche differenti. Essi tuttavia sono basati su alcuni principi comuni.

Il ricevitore contiene le componenti per la ricezione e l'elaborazione del segnale. Un'antenna omnidirezionale riceve i segnali di tutti i satelliti e, dopo averli preamplificati, li trasmette alla sezione a radiofrequenza (RF) del ricevitore. Notiamo che non esiste interferenza tra i segnali dei vari satelliti, in quanto i codici PRN sono diversi per ogni satellite, ed hanno una crosscorrelazione molto bassa. L'antenna può essere stata progettata solo per ricevere la portante L1, oppure per ricevere entrambe le portanti L1 ed L2. È importante che il centro di fase dell'antenna coincida nella miglior maniera possibile con il centro geometrico, e che tale centro di fase sia insensibile alla rotazione e all'inclinazione. Questo è molto importante soprattutto nelle applicazioni di tipo cinematico, quando l'antenna deve essere spostata mentre riceve il segnale. Oltre a questo, l'antenna dovrebbe essere progettata in modo tale da filtrare i segnali a bassa elevazione o quelli spuri prodotti dalle riflessioni del segnale sugli oggetti circostanti (multipath).

Il microprocessore controlla l'intero sistema e consente la navigazione in tempo reale attraverso l'osservabile pseudorange, eseguendo i comandi impartiti da un dispositivo di controllo (ad es. una tastiera). Il ricevitore infine contiene un dispositivo di memoria, necessario per immagazzinare le osservabili e i messaggi di navigazione, in modo da renderli disponibili per un'elaborazione successiva.

### Sezione a radiofrequenza

La sezione RF è il cuore del ricevitore. Dopo essere stato trasmesso dall'antenna, il segnale dei vari satelliti vengono discriminati analizzando il codice C/A.

I vari segnali vengono elaborati utilizzando canali separati. I ricevitori più vecchi impiegano tecniche analogiche, mentre quelli più recenti impiegano tecniche digitali di elaborazione del segnale. Alcuni ricevitori permettono di elaborare solamente la portante L1, mentre quelli che possono elaborare sia L1 sia L2 permettono di combinare i due segnali in modo da poter eliminare gli effetti della rifrazione ionosferica.

Una delle caratteristiche più importanti della sezione a radiofrequenza consiste nel numero di canali, che si riflette sul numero di satelliti che possono essere inseguiti simultaneamente. I ricevitori più vecchi possiedono un limitato numero di canali e consentono di osservare più satelliti con lo stesso canale sequenziando le osservazioni



a 20 ms. I ricevitori più moderni assegnano un canale ad ogni satellite: questo genere di ricevitori sono meno sensibili alle perdite di segnale, ma i vari canali possono essere affetti da biases diversi, anche se questo inconveniente può essere ridotto attraverso un'attenta calibrazione dei canali.

Gli elementi fondamentali della sezione a radiofrequenza sono gli oscillatori utilizzati per generare la frequenza di riferimento, i moltiplicatori necessari per ottenere frequenze diverse, e i mixers. Lo scopo dei mixers è quello di prendere due oscillazioni  $y_1$  e  $y_2$ , caratterizzate da ampiezze  $a_1$ ,  $a_2$  e da frequenze  $f_1$  e  $f_2$ , e moltiplicarle matematicamente, per ottenere

$$y = y_1 y_2 = a_1 \cos(f_1 t) a_2 \cos(f_2 t) = \frac{a_1 a_2}{2} [\cos((f_1 - f_2)t) + \cos((f_1 + f_2)t)] \quad (1.8)$$

risultando in una oscillazione composta da una parte a bassa frequenza ed una ad alta frequenza. Dopo aver applicato un filtro passa-basso, la parte ad alta frequenza viene eliminata e viene elaborata solo la parte a bassa frequenza  $f_2 - f_1$  (Frequenza intermedia IF). Tale frequenza è più facile da elaborare rispetto alla parte ad alta frequenza.

### **Tecniche di elaborazione**

Le misure di pseudorange vengono effettuate confrontando il segnale ricevuto con un segnale di riferimento attraverso tecniche di crosscorrelazione. Per mezzo di queste tecniche è possibile rimuovere la modulazione del codice per ottenere la portante (soggetta a spostamento Doppler). Tale portante viene poi confrontata con una replica del segnale (generata dal ricevitore) per ottenere la differenza di fase (frazionaria) tra i due segnali.

Tecniche di correlazione del codice premettono di estrarre tutte le componenti del segnale del satellite: letture dell'orologio, messaggio di navigazione e portante non modulata. L'unico requisito è la conoscenza del codice PRN. Dalla correlazione tra il segnale del satellite e la replica del segnale (modulata tramite il codice PRN) si ricava il tempo di volo del segnale dall'antenna del satellite al centro di fase dell'antenna del ricevitore (trascurando gli errori di clock). Dopo aver rimosso il codice PRN, il segnale contiene ancora il messaggio di navigazione, che viene decodificato e rimosso da un filtro passa-alto. Il risultato finale è la portante affetta da effetto Doppler, sulla quale può essere effettuata una misura di fase



# Capitolo 2

## Osservabili

### 2.1 Acquisizione

Sostanzialmente le osservabili GPS consistono in distanze, dedotte da misure di tempo oppure da misure di fase ottenute dal confronto tra il segnale ricevuto e una replica del segnale generata dal ricevitore. Diversamente dalle misure effettuate normalmente sulla superficie terrestre, il sistema GPS è basato sul concetto di osservabili a una via, che presuppone l'esistenza di due orologi diversi per effettuare una singola misura. Questo fatto comporta che le misure sono intrinsecamente affette da biases di clock, e perciò ci si riferisce alla distanza dedotta da tali misure con il termine "pseudodistanza" (pseudorange).

#### 2.1.1 Pseudoranges dedotte dal codice

Denotiamo con  $t^s$  la lettura dell'orologio del satellite al tempo di emissione del segnale, e con  $t_r$  la lettura dell'orologio del ricevitore all'istante di ricezione del segnale. Analogamente i ritardi dell'orologio del satellite e dell'orologio del ricevitore rispetto al tempo GPS verranno indicati con i simboli  $\delta^s$  e  $\delta_r$ . Ricordiamo che l'istante  $t^s$  è trasmesso attraverso il codice PRN. La differenza tra le letture degli orologi è equivalente all'intervallo di tempo durante il quale il segnale di riferimento si allinea con il segnale del satellite (nella procedura di correlazione del codice). Quindi,

$$\Delta t = t_r - t^s = [t_r(GPS) - \delta_r] - [t^s(GPS) - \delta^s] = \Delta t(GPS) - \Delta\delta \quad (2.1)$$

dove  $\Delta t(GPS) = t_r(GPS) - t^s(GPS)$  e  $\Delta\delta = \delta^s - \delta_r$ . L'errore  $\delta^s$  del clock del satellite può essere modellato per mezzo di un polinomio con i coefficienti estratti dalla prima sezione del messaggio di navigazione. Assumendo che la correzione  $\delta^s$  venga applicata, allora  $\Delta\delta$  coincide con l'opposto dell'errore di clock del ricevitore. L'intervallo di tempo  $\Delta t$ , moltiplicato per la velocità della luce  $c$  permette di esprimere la pseudodistanza  $R$

$$R = c\Delta t = c\Delta t(GPS) + c\Delta\delta = \rho + c\Delta\delta \quad (2.2)$$

Si noti che il codice C/A si ripete ogni millisecondo. Tale intervallo di tempo corrisponde ad una distanza di 300 km. Dato che i satelliti orbitano a 20000 km dalla terra, le misure pseudorange dedotte dal codice C/A sono ambigue. Tale ambiguità può essere facilmente eliminata introducendo coordinate a priori approssimate del ricevitore.

La distanza  $\varrho$  corrisponde dal tempo di volo del segnale, cioè corrisponde alla distanza tra la posizione occupata dal satellite all'istante di trasmissione  $t^s(GPS)$  e la posizione occupata dall'antenna del ricevitore all'istante di ricezione  $t_r(GPS)$ . Dal momento che  $\varrho$  è funzione di due epoche diverse, è spesso rappresentata dalla sua espansione in serie di Taylor, calcolata rispetto all'istante di emissione del segnale

$$\varrho = \varrho(t^s, t_r) = \varrho(t^s, (t^s + \Delta t)) = \varrho(t^s) + \dot{\varrho}(t^s) \quad (2.3)$$

dove  $\dot{\varrho}$  indica la derivata temporale di  $\varrho$ , cioè la velocità radiale del satellite rispetto all'antenna del ricevitore.

La massima velocità radiale di un satellite rispetto ad un ricevitore fermo è di circa  $0.9 \text{ km s}^{-1}$ , e il tempo di volo del segnale è approssimativamente di 0.07 s, perciò il termine correttivo dell'equazione precedente è pari a 60 m. Misure pseudorange del codice C/A consentono precisioni di 3 m, mentre misure del codice P consentono precisioni di 0.3 m.

### 2.1.2 Pseudoranges dedotte dalla fase

Conveniamo di indicare con  $\varphi^s(t)$  la fase della portante di frequenza  $f^s$  ricevuta e ricostruita, e con  $\varphi_r(t)$  la fase della portante generata dal ricevitore alla frequenza di riferimento  $f_r$ . L'istante  $t$  è un'epoca, espressa in tempo GPS, contata a partire dall'epoca iniziale  $t_0 = 0$ . Ricordando che

$$\varphi = f(t - t_\varrho) = f\left(t - \frac{\varrho}{c}\right) \quad (2.4)$$

e sostituendo, si ha che

$$\varphi^s(t) = f^s t - f^s \frac{\varrho}{c} - \varphi_0^s \quad (2.5)$$

$$\varphi_r(t) = f_r t - \varphi_{0r}. \quad (2.6)$$

Le fasi iniziali  $\varphi_0^s, \varphi_{0r}$  sono diretta conseguenza degli errori di clock e possono esprimersi come

$$\varphi_0^s = f^s \delta^s \quad (2.7)$$

$$\varphi_{0r} = f_r \delta_r. \quad (2.8)$$

Quindi la differenza tra le fasi è data da

$$\varphi_r^s(t) = \varphi^s(t) - \varphi_r(t) = -f^s \frac{\varrho}{c} - f^s \delta^s + f_r \delta_r + (f^s - f_r)t. \quad (2.9)$$

La deviazione delle frequenze  $f^s$  e  $f_r$  dalle frequenze nominali è dell'ordine di frazioni di Hz. Infatti la stabilità in frequenza è circa  $\frac{df}{f} = 10^{-12}$ . La frequenza nominale è  $f = 1.5$  GHz e quindi l'errore in frequenza è  $df = 1.5 \cdot 10^{-3}$  Hz. Tale errore può essere trascurato perchè durante la propagazione del segnale ( $\Delta t = 0.07$  s) l'errore massimo presente nella fase data dalla precedente equazione è di circa  $10^{-4}$  cicli, ed è sotto il livello del rumore. Gli errori di clock sono dell'ordine dei millisecondi. Imponendo che  $f^s = f_r = f$  si può scrivere

$$\varphi_r^s(t) = -f \frac{\rho}{c} - f \Delta \delta \quad (2.10)$$

dove  $\Delta \delta = \delta^s - \delta_r$ . Se l'assunzione che la frequenza della portante rimanga stabile non è corretta o che gli oscillatori siano instabili, allora è necessario modellare le deviazioni dai valori nominali con delle funzioni polinomiali.

Ogni volta che un ricevitore aggancia il segnale di un satellite all'epoca  $t_0$ , esso compie una misura della fase (frazionaria) del segnale stesso. Ciò significa che il numero intero di cicli  $N$  tra il satellite e il ricevitore è sconosciuto. E' possibile, tuttavia, risalire a tale informazione se il contatto tra il satellite e il ricevitore non subisce interruzioni. In tal caso il numero iniziale di cicli  $N$  rimane costante e vale la relazione

$$\varphi_r^s(t) = \Delta \varphi_r^s|_{t_0}^t + N \quad (2.11)$$

dove  $\Delta \varphi_r^s|_{t_0}^t$  indica la fase frazionaria, l'unica quantità che è possibile misurare. Combinando le precedenti equazioni e ponendo  $\Phi = -\Delta \varphi_r^s|_{t_0}^t$  si ottiene la relazione tra l'osservabile e il range

$$\Phi = \frac{1}{\lambda} \rho + \frac{c}{\lambda} \Delta \rho + N \quad (2.12)$$

dove è stata introdotta la lunghezza d'onda  $\lambda$ . Moltiplicando questa equazione per  $\lambda$  è possibile passare dal numero di cicli alla distanza geometrica. Dal momento che la fase può essere misurata con una precisione di 0.01 cicli, la distanza geometrica può essere determinata con precisione millimetrica.

### 2.1.3 Osservabile Doppler

Lo spostamento Doppler è linearmente dipendente dalla velocità radiale, e quindi può essere utilizzato per la determinazione in tempo reale della velocità. Derivando rispetto al tempo possiamo scrivere

$$D = \lambda \dot{\Phi} = \dot{\rho} + c \Delta \dot{\delta}. \quad (2.13)$$

Oltre a questo tipo di osservabile è possibile utilizzare lo spostamento Doppler integrato, che consiste in una differenza di fasi che viene scalata per ottenere una differenza di pseudorange.

### 2.1.4 Rumore e biases

Le osservabili di fase e di codice sono affette da errori sistematici e casuali. Le sorgenti di errore possono essere contenute in tre gruppi: quelle relative al satellite, quelle relative alla propagazione del segnale, e quelle dovute al ricevitore.

| Sorgente                 | effetto  |
|--------------------------|--|
| Satellite                | Clock bias, errori orbitali                          |
| Propagazione del segnale | Rifrazione ionosferica e troposferica                |
| Ricevitore               | Variazione del centro di fase, clock bias, multipath |

Alcuni degli errori sistematici possono essere modellati e danno luogo a termini addizionali nelle equazioni di osservazione. Alcuni effetti sistematici possono essere eliminati da opportune combinazioni di osservabili. Differenziando le osservabili rispetto ad un satellite si eliminano i biases dipendente dal satellite, differenziando rispetto al ricevitore si annullano i biases dovuti al ricevitore stesso. Differenziando rispetto a satelliti e ricevitori si ottengono delle osservabili che, in larga misura, sono indipendenti dai biases dei ricevitori e dei satelliti. La differenziazione delle osservabili consente anche di ridurre gli errori dovuti alla propagazione del segnale nel mezzo nella troposfera, ma questo solo se si considerano linee di base piccole, perchè in tal caso i punti agli estremi di una linea di base sono affetti (quasi) dagli stessi errori troposferici (dal momento che il segnale si propaga in una regione dell'atmosfera ristretta). Gli effetti ionosferici, invece, sono completamente eliminati dalla doppia differenziazione (pichè dipendono dalla frequenza del segnale). Più difficile da correggere è l'errore prodotto dalle riflessioni spurie del segnale (multipath). Tale disturbo dipende dalle caratteristiche del luogo in cui è posizionato il ricevitore, e quindi può essere ridotto dalla scelta del luogo e da un accurata progettazione dell'antenna. Esso inoltre è dipendente dalla frequenza, e questo fatto implica che le misure di fase sono meno affette da tale fonte di errore rispetto alle misure di codice. Il rumore associato alla misura, unitamente ai biases dipendenti dal satellite e alla propagazione del segnale, viene espresso dallo User Equivalent Range Error (UERE). L'UERE viene trasmesso nel messaggio di navigazione, e assieme al DOP (Dilution Of Precision) consente una stima dell'accuratezza ottenibile in Point Positioning.

Il random noise contiene l'errore casuale associato alla misura e le componenti casuali dovute al multipath. Tale errore si riflette sulla misura di distanza come riportato in tabella

|       |             |
|-------|-------------|
| Range | Rumore      |
| C/A   | 10 – 300 cm |
| P     | 10 – 30 cm  |
| Fase  | 0.2 – 5 mm  |

## 2.2 Combinazioni di osservabili

Le osservabili GPS vengono dedotte dal codice contenuto nel segnale o nella fase della portante del segnale. Ricordiamo che il codice P è modulato su entrambe le portanti, mentre il codice C/A solo sulla portante L1. Di conseguenza, per una singola epoca, è possibile misurare le distanze  $R_{L1}$ ,  $R_{L2}$ , le fasi  $\Phi_{L1}$  e  $\Phi_{L2}$  e i corrispondenti spostamenti Doppler  $D_{L1}$  e  $D_{L2}$ . Inoltre le osservabili della portante L1 possono essere derivate dal codice C/A o dal codice P.

### 2.2.1 Combinazioni lineari di osservabili di fase

Generalmente una combinazione lineare di osservabili di fase si scrive come

$$\varphi = n_1\varphi_1 + n_2\varphi_2 \quad (2.14)$$

dove  $n_1$  e  $n_2$  sono numeri arbitrari. Effettuando la sostituzione  $\varphi_i = f_i t$  si ottiene

$$\varphi = n_1 f_1 t + n_2 f_2 t = f t. \quad (2.15)$$

Quindi la frequenza della combinazione lineare è

$$f = n_1 f_1 + n_2 f_2 \quad (2.16)$$

e la lunghezza d'onda è

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.17)$$

è la lunghezza d'onda della combinazione lineare.

Nel caso del sistema GPS risultano di comune utilizzo le osservabili narrow lane

$$\Phi_{L1+L2} = \Phi_{L1} + \Phi_{L2} \quad (2.18)$$

e wide lane

$$\Phi_{L1-L2} = \Phi_{L1} - \Phi_{L2}. \quad (2.19)$$

Le lunghezze d'onda corrispondenti sono

$$\lambda_{L1+L2} = 10.7 \text{ cm} \quad (2.20)$$

$$\lambda_{L1-L2} = 86.2 \text{ cm}. \quad (2.21)$$

Un'altra combinazione lineare (combinazione Lc) si ottiene scegliendo

$$n_1 = 1 \quad n_2 = -\frac{f_{L2}}{f_{L1}} \quad (2.22)$$

da cui

$$\Phi_{Lc} = \Phi_{L1} - \frac{f_{L2}}{f_{L1}} \Phi_{L2}. \quad (2.23)$$

La combinazione Lc viene utilizzata per ridurre gli effetti della ionosfera, mentre le combinazioni narrow lane e wide lane sono usate per determinare l'ambiguità N. Il livello del rumore aumenta a seguito della combinazione lineare, se infatti supponiamo che entrambe le fasi siano affette dallo stesso rumore, osserviamo, in base alla propagazione degli errori, che il rumore delle combinazioni lineari narrow lane e wide lane è superiore di un fattore  $\sqrt{2}$  rispetto al rumore delle singole componenti.

## 2.2.2 Combinazioni di osservabili di fase e di codice

Le osservabili di fase possono servire per lisciare le osservabili di codice. L'applicazione più comune di tale combinazione è la determinazione della traiettoria in tempo reale. Ipotizziamo di avere la misura su entrambe le frequenze al tempo  $t_1$ , ciò significa che disponiamo delle misure di pseudodistanza derivanti dal codice e dalla fase

$$R_{L1}(t)/\lambda_{L1}, \quad R_{L2}(t)/\lambda_{L2}, \quad \Phi_{L1}(t_1), \quad \Phi_{L2}(t_2)$$

qui le misure di codice sono scalate per la lunghezza d'onda. Nel seguito intenderemo che  $R_{L1}(t) = R_{L1}(t)/\lambda_{L1}$  e  $R_{L2}(t) = R_{L2}(t)/\lambda_{L2}$ . Possiamo formare le combinazioni lineari

$$R(t_1) = \frac{f_{L1}R_{L1}(t_1) - f_{L2}R_{L2}(t_1)}{f_{L1} + f_{L2}} \quad (2.24)$$

$$\Phi(t_1) = \Phi_{L1}(t_1) - \Phi_{L2}(t_1) \quad (2.25)$$

dalla prima equazione si deduce che il rumore dell'osservabile  $R(t_1)$  è ridotto di un fattore 0.7 rispetto al rumore associato alla misura di una singola osservabile di codice. Nella seconda equazione, invece, l'incremento del rumore del fattore  $\sqrt{2}$  è trascurabile perchè il rumore dell'osservabile pseudorange di fase è inferiore rispetto all'osservabile pseudorange di codice. Notiamo inoltre che entrambe le combinazioni lineari hanno la stessa frequenza  $f$ . Possiamo formare le combinazioni lineari precedenti per ogni epoca di osservazione, e possiamo estrapolare i valori pseudorange di codice in base all'equazione

$$R(t_i)_{ex} = R(t_1) + (\Phi(t_i) - \Phi(t_1)). \quad (2.26)$$

Il valore liscio dell'osservabile  $R_1$  si ottiene mediando il valore estrapolato e quello osservato

$$R(t_i)_{sm} = \frac{R(t_i)_{ex} + R(t_i)}{2}. \quad (2.27)$$

Dalla formula precedente si può ricavare un algoritmo ricorsivo

$$R(t_i) = \frac{f_{L1}R_{L1}(t_i) - f_{L2}R_{L2}(t_i)}{f_{L1} + f_{L2}} \quad (2.28)$$

$$\Phi(t_i) = \Phi_{L1}(t_i) - \Phi_{L2}(t_i) \quad (2.29)$$

$$R(t_i)_{ex} = R(t_{i-1})_{sm} + (\Phi(t_i) - \Phi(t_{i-1})) \quad (2.30)$$

$$R(t_i)_{sm} = \frac{R(t_i)_{ex} + R(t_i)}{2} \quad (2.31)$$



che vale sotto le condizioni iniziali  $R(t_1) = R(t_1)_{ex} = R(t_1)_{sm}$  per  $i > 1$ .

L'algoritmo è valido se non si è in presenza di grandi errori. Nel caso si incorra in sganciamenti di fase è necessario introdurre un fattore  $w$  per pesare le osservazioni

$$R(t_i)_{sm} = wR(t_i) + (1 - w)(R(t_{i-1})_{sm} + \Phi(t_i) - \Phi(t_{i-1})). \quad (2.32)$$

Il fattore  $w$  dipende dal tempo: vale 1 per la prima epoca di osservazione e poi si riduce costantemente. Nel caso di uno cycle slip il fattore  $w$  viene posto nuovamente al valore 1.

## 2.3 Effetti atmosferici

### 2.3.1 Velocità di fase e di gruppo

Consideriamo una singola onda elettromagnetica che si propaga nello spazio con lunghezza d'onda  $\lambda$  e frequenza  $f$ . La velocità di fase è data da

$$v_{ph} = \lambda f \quad (2.33)$$

nel sistema GPS questa è la velocità di propagazione delle portanti L1 e L2. Per un gruppo di onde che differiscono lievemente nelle frequenze, la propagazione dell'energia loro associata è data dall'equazione

$$v_{gr} = -\frac{df}{d\lambda} \lambda^2. \quad (2.34)$$

Questa è la velocità di propagazione delle misure di codice. La relazione tra velocità di fase e velocità di gruppo si ottiene per differenziazione

$$dv_{ph} = f d\lambda + \lambda df \quad (2.35)$$

da cui si ottiene

$$\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{dv_{ph}}{d\lambda} - \frac{f}{\lambda} \quad (2.36)$$

ed infine

$$v_{gr} = -\lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda} + f \lambda \quad (2.37)$$

$$v_{gr} = v_{ph} - \lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda}. \quad (2.38)$$

In queste equazioni è implicita la dispersione, cioè la dipendenza della velocità di fase dalla frequenza. le velocità di fase e di gruppo sono uguali in mezzi non dispersivi, e coincidono con la velocità della luce nel vuoto.

La propagazione dell'onda in un mezzo dispersivo è descritta dall'indice di rifrazione  $n$ , che viene posto in relazione alla velocità di propagazione da

$$v = \frac{c}{n}. \quad (2.39)$$

Equazioni analoghe valgono per le velocità di fase e di gruppo

$$v_{ph} = \frac{c}{n_{ph}} \quad (2.40)$$

$$v_{gr} = \frac{c}{n_{gr}}. \quad (2.41)$$

Differenziando la velocità di fase

$$\frac{dv_{ph}}{d\lambda} = -\frac{c}{n_{ph}^2} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \quad (2.42)$$

da cui

$$\frac{c}{n_{gr}} = \frac{c}{n_{ph}} + \lambda \frac{c}{n_{ph}^2} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \quad (2.43)$$

ed equivalentemente

$$\frac{1}{n_{gr}} = \frac{1}{n_{ph}} \left( 1 + \lambda \frac{1}{n_{ph}} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \right) \quad (2.44)$$

e ricordando che  $(1 + \varepsilon)^{-1} \approx 1 - \varepsilon$  si ottiene

$$n_{gr} = n_{ph} - \lambda \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \quad (2.45)$$

che si può esprimere anche in funzione della frequenza  $f$  come

$$n_{gr} = n_{ph} + f \frac{dn_{ph}}{df} \quad (2.46)$$

### 2.3.2 Rifrazione ionosferica

La ionosfera, che si estende in vari strati tra 50 km e 1000 km sopra la superficie terrestre, è un mezzo dispersivo per il segnale radio GPS. L'indice di rifrazione per la fase si può rappresentare in funzione della frequenza  $f$  con una serie

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots \quad (2.47)$$

I coefficienti  $c_i$  dipendono dalla densità elettronica  $N_e$  lungo il percorso del segnale. Troncando la serie al termine quadratico si ha

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} \quad (2.48)$$

differenziando

$$dn_{ph} = -\frac{2c_2}{f^3} df \quad (2.49)$$

e sostituendo si ottiene

$$n_{gr} = 1 + \frac{c_2}{f^2} - f \frac{2c_2}{f^3} \quad (2.50)$$

da cui

$$gr = 1 - \frac{c_2}{f^2}. \quad (2.51)$$

Come si può osservare gli indici di rifrazione per il gruppo e la fase differiscono dall'unità per la stessa quantità, ma con segno opposto. Di solito il coefficiente  $c_2$  è legato alla densità elettronica dalla relazione

$$c_2 = -40.3N_e. \quad (2.52)$$

dal momento che  $n_{gr} > n_{ph}$  ( $v_{gr} < v_{ph}$ ), si ha che in presenza della ionosfera l'osservabile di codice è rallentata, mentre quella di gruppo è avanzata. Ne segue che la distanza dedotta dal codice è superiore al valore vero, mentre quella ottenuta dalla fase è inferiore.

Dal principio di Fermat la distanza misurata si esprime come

$$s = \int n ds \quad (2.53)$$

dove l'integrale è calcolato sul cammino del segnale. La distanza geometrica  $s_0$  può essere calcolata ponendo l'indice di rifrazione uguale a 1

$$s_0 = \int ds_0. \quad (2.54)$$

La rifrazione ionosferica si calcola come differenza

$$\Delta^{iono} = \int n ds - \int ds_0. \quad (2.55)$$

Per la fase la rifrazione ionosferica si esprime come

$$\Delta_{ph}^{iono} = \int \left(1 + \frac{c_2}{f^2}\right) ds - \int ds_0 \quad (2.56)$$

mentre per il codice

$$\Delta_{gr}^{iono} = \int \left(1 - \frac{c_2}{f^2}\right) ds - \int ds_0. \quad (2.57)$$

Possiamo semplificare l'equazione precedente se integriamo lungo il cammino geometrico: in tal caso  $ds = ds_0$  e le formule diventano

$$\Delta_{ph}^{iono} = \int \frac{c_2}{f^2} ds \quad \Delta_{gr}^{iono} = - \int \frac{c_2}{f^2} ds \quad (2.58)$$

ed esprimendo il coefficiente  $c_2$  in funzione della densità elettronica

$$\Delta_{ph}^{iono} = -\frac{40.3}{f^2} \int N_e ds_0 \quad \Delta_{gr}^{iono} = \frac{40.3}{f^2} \int N_e ds_0 \quad (2.59)$$

Il contenuto totale di elettroni (Total Electron Content) è definito da

$$TEC = \int N_e ds_0 \quad (2.60)$$

da cui si ha

$$\Delta_{ph}^{iono} = -\frac{40.3}{f^2} TEC \quad \Delta_{gr}^{iono} = \frac{40.3}{f^2} TEC. \quad (2.61)$$

notiamo che la dimensione di queste correzioni è una lunghezza. Di solito il TEC si misura in unità di  $10^{16}$  elettroni per  $m^2$ . Per il codice C/A una unità di TEC si traduce in un ritardo di 0.16 m.

Il TEC rappresenta il contenuto totale di elettroni lungo il cammino che congiunge il satellite al ricevitore, sostanzialmente il numero di elettroni contenuti nella colonna di sezione unitaria che si estende tra il satellite e il ricevitore. Di solito il TEC viene espresso tramite il contenuto verticale totale di elettroni (TVEC) scalato per una opportuna funzione della distanza zenitale. In formula

$$\Delta_{ph}^{iono} = -\frac{40.3}{f^2} \frac{TVEC}{\cos z'} \quad \Delta_{gr}^{iono} = \frac{40.3}{f^2} \frac{TVEC}{\cos z'}. \quad (2.62)$$

Dove  $z'$  rappresenta la distanza zenitale del satellite calcolata al punto sub-ionosferico. La relazione tra  $z'$  e la distanza zenitale osservata  $z_0$  è data da

$$\sin z' = \frac{R_E}{R_E + h_m} \sin z_0, \quad (2.63)$$

dove  $R_E$  rappresenta il raggio medio della terra,  $h_m$  l'altezza media della ionosfera (dai 300 ai 400 km).

Abbiamo visto che la variazione della misura della distanza introdotta dalla ionosfera dipende direttamente dal TEC. Questa quantità è affetta da variazioni dovute all'attività delle macchie solari (11 anni) e a variazioni stagionali e giornaliere. Dipende inoltre dall'elevazione e dall'azimuth del satellite e dalla posizione del ricevitore. L'effetto dovuto alla ionosfera sulla misura può variare da 0.15 m a 50.0 m.

### Calcolo degli effetti del TEC

Il modello di Klobuchar utilizza i coefficienti contenuti nella quarta sezione del messaggio di navigazione per calcolare le correzioni ionosferiche. Il ritardo è dato dall'equazione

$$\Delta T_v^{iono} = A_1 + A_2 \cos \left( \frac{2\pi (t - A_3)}{A_4} \right) \quad (2.64)$$

dove

$$A_1 = 5 \text{ ns} \quad (2.65)$$

$$A_2 = \alpha_1 + \alpha_2 \varphi_{IP}^m + \alpha_3 \varphi_{IP}^{m^2} + \alpha_4 \varphi_{IP}^{m^3} \quad (2.66)$$

$$A_3 = 14^h \text{ (tempo locale)} \quad (2.67)$$

$$A_4 = \beta_1 + \beta_2 \varphi_{IP}^m + \beta_3 \varphi_{IP}^{m^2} + \beta_4 \varphi_{IP}^{m^3}. \quad (2.68)$$

I valori  $A_1$  e  $A_3$  sono costanti, mentre  $A_2$  e  $A_4$  vengono trasmessi al satellite dal centro di controllo e poi diffusi agli utilizzatori mediante il messaggio di navigazione. Il parametro  $t$  rappresenta il tempo locale del punto ionosferico, e può essere dedotto dall'epoca di osservazione  $t_{UT}$  (tempo universale) e dalla longitudine geomagnetica  $\lambda_{IP}$

$$t = \frac{\lambda_{IP}}{15} + t_{UT} \quad (2.69)$$

La quantità  $\varphi_{IP}^m$ , infine, rappresenta la distanza sferica tra il polo geomagnetico e il punto ionosferico. Se il polo geomagnetico ha coordinate  $(\varphi_p, \lambda_p)$  e il punto ionosferico  $(\varphi_{IP}, \lambda_{IP})$  vale la relazione

$$\cos \varphi_{IP}^m = \sin \varphi_{IP} \sin \varphi_p + \cos \varphi_{IP} \cos \varphi_p \cos(\lambda_{IP} - \lambda_p) \quad (2.70)$$

dove le coordinate del polo geomagnetico sono

$$\varphi_p = 78.3^\circ \text{ N} \quad (2.71)$$

$$\lambda_p = 291.0^\circ \text{ E}. \quad (2.72)$$

Il calcolo della correzione ionosferica, secondo il modello di Klobuchar, può essere effettuata tramite i seguenti passi:

- Calcolo dell'azimuth  $a$  e dell'angolo zenitale  $z_0$  all'epoca  $t_{UT}$ .
- Scelta dell'altezza media della ionosfera e calcolo della distanza ricevitore-punto ionosferico.
- Calcolo delle quantità  $(\varphi_{IP}, \lambda_{IP})$  tramite le quantità  $a, z, s$ .
- Calcolo di  $\varphi_{IP}^m$ .
- Calcolo dei coefficienti  $A_i$  sulla base della conoscenza delle quantità  $\alpha_i, \beta_i$  dedotte dal messaggio di navigazione.
- Calcolo di  $\Delta T_v^{Iono}$ . Calcolo del ritardo effettivo tramite la formula  $\Delta T^{Iono} = \frac{1}{\cos z} \Delta T_v^{Iono}$ . La conversione in lunghezza si ottiene moltiplicando quest'ultima quantità per la velocità della luce.

### Eliminazione degli effetti del TEC

La difficoltà principale dei modelli di correzione ionosferica è dovuta alle variazioni temporali dei parametri da cui dipendono i modelli stessi. Il metodo più efficace per ovviare a questo problema consiste nell'eliminazione del ritardo ionosferico utilizzando due segnali a frequenze distinte. Proprio per questo il sistema GPS funziona su due frequenze separate. Ricordiamo che le distanze sono affette dal ritardo ionosferico secondo le relazioni

$$R_{L1} = \varrho + c\Delta\delta + \Delta^{Iono}(f_{L1}) \quad (2.73)$$

$$R_{L2} = \varrho + c\Delta\delta + \Delta^{Iono}(f_{L2}). \quad (2.74)$$

Formiamo la combinazione lineare

$$R_{L1,L2} = n_1 R_{L1} + n_2 R_{L2} \quad (2.75)$$

dove  $n_1$  e  $n_2$  sono fattori da determinare. Imponiamo che tali coefficienti permettano di cancellare il ritardo ionosferico, si ha

$$n_1 \Delta^{Iono}(f_{L1}) + n_2 \Delta^{Iono}(f_{L2}) = 0. \quad (2.76)$$

Scegliendo  $n_1 = 1$  si ottiene

$$n_2 = \frac{\Delta^{Iono}(f_{L1})}{\Delta^{Iono}(f_{L2})} \quad (2.77)$$

da cui

$$n_2 = -\frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2}. \quad (2.78)$$

Utilizzando questa scelta si ha (combinazione ione free per il codice)

$$R_{L1,L2} = R_{L1} - \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2} R_{L2}. \quad (2.79)$$

Per la fase si può scrivere

$$\lambda_{L1} \Phi_{L1} = \varrho + c\Delta\delta + \lambda_{L1} N_{L1} - \Delta^{Iono}(f_{L1}) \quad (2.80)$$

$$\lambda_{L2} \Phi_{L2} = \varrho + c\Delta\delta + \lambda_{L2} N_{L2} - \Delta^{Iono}(f_{L2}) \quad (2.81)$$

o equivalentemente

$$\Phi_{L1} = \frac{\varrho}{\lambda_{L1}} + f_{L1} \Delta\delta + N_{L1} - \frac{1}{\lambda_{L1}} \Delta^{Iono}(f_{L1}) \quad (2.82)$$

$$\Phi_{L2} = \frac{\varrho}{\lambda_{L2}} + f_{L2} \Delta\delta + N_{L2} - \frac{1}{\lambda_{L2}} \Delta^{Iono}(f_{L2}). \quad (2.83)$$

La combinazione lineare è

$$\Phi_{L1,L2} = n_1 \Phi_{L1} + n_2 \Phi_{L2} \quad (2.84)$$

da cui si ottiene

$$\begin{aligned} \Phi_{L1,L2} = & \varrho \left( \frac{n_1}{\lambda_{L1}} + \frac{n_2}{\lambda_{L2}} \right) + \Delta\delta (n_1 f_{L1} + n_2 f_{L2}) \\ & + n_1 N_{L1} + n_2 N_{L2} \\ & - \frac{n_1}{\lambda_{L1}} \Delta^{Iono}(f_{L1}) - \Delta^{Iono}(f_{L2}). \end{aligned} \quad (2.85)$$

Imponendo la condizione

$$\frac{n_1}{\lambda_{L1}} \Delta^{Iono}(f_{L1}) + \Delta^{Iono}(f_{L2}) \quad (2.86)$$

con la scelta  $n_1 = 1$ , si ottiene

$$n_2 = -\frac{\lambda_{L2} \Delta^{Iono}(f_{L1})}{\lambda_{L1} \Delta^{Iono}(f_{L2})} \quad (2.87)$$

equivalentemente

$$n_2 = -\frac{f_{L2}}{f_{L1}}. \quad (2.88)$$

La combinazione lineare priva di effetti ionosferici è quindi

$$\Phi_{L1,L2} = \Phi_{L1} - \frac{f_{L2}}{f_{L1}} \Phi_{L2}. \quad (2.89)$$

Come si vede esistono infinite combinazioni lineari del tipo iono free. La scelta del coefficiente  $n_1$  è in realtà ristretta perchè il rumore associato a tale combinazione è sempre aumentato rispetto al rumore delle singole fasi. Evidenziamo infine che l'eliminazione del ritardo troposferico non è completa, in quanto abbiamo trascurato i termini di ordine superiore nelle serie che descrivono gli indici di rifrazione e abbiamo ipotizzato che il cammino ottico coincidesse con il cammino geometrico satellite-ricevitore. Notiamo infine che, per quanto riguarda le fasi, l'ambiguità associata alla combinazione iono free non è più un numero intero, dal momento che

$$N = n_1 N_{L1} + n_2 N_{L2} = N_{L1} - \frac{f_{L2}}{f_{L1}} N_{L2} \quad (2.90)$$

### 2.3.3 Rifrazione troposferica

La troposfera è un mezzo non dispersivo rispetto alle onde radio fino ad una frequenza di 15 GHz. Questo fatto implica che non è possibile eliminare il ritardo troposferico utilizzando segnali a frequenze diverse. Il ritardo troposferico è definito dall'equazione

$$\Delta^{Trop} = \int (n - 1) ds \quad (2.91)$$

in modo analogo alla formula ionosferica. Approssimando il cammino ottico con quello geometrico e definendo

$$N^{Trop} = 10^{-6}(n - 1) \quad (2.92)$$

si ha

$$\Delta^{Trop} = 10^{-6} \int N^{Trop} ds. \quad (2.93)$$

La quantità  $N^{Trop}$  si divide nella parte secca e umida, e perciò

$$N^{Trop} = N_d^{Trop} + N_w^{Trop} \quad (2.94)$$

ottenendo le relazioni

$$\Delta_w^{Trop} = 10^{-6} \int N_w^{Trop} ds \quad (2.95)$$

$$\Delta_d^{Trop} = 10^{-6} \int N_d^{Trop} ds \quad (2.96)$$

e

$$\Delta^{Trop} = \Delta_w^{Trop} + \Delta_d^{Trop} \quad (2.97)$$

$$= 10^{-6} \int N_w^{Trop} ds + 10^{-6} \int N_d^{Trop} ds. \quad (2.98)$$

Il 90% del ritardo è dovuto alla componente secca, mentre il restante 10% è dovuto alla componente umida. Esistono diversi modelli delle componenti troposferiche,. Ad esempio per la componente secca solitamente si usa l'equazione

$$N_{d,0}^{Trop} = \bar{c}_1 \frac{p}{T} \quad \bar{c}_1 = 77.64 \text{ K mbar}^{-1} \quad (2.99)$$

dove  $p$  è la pressione in millibar e  $T$  la temperatura in Kelvin. La componente umida di solito si rappresenta come

$$N_{w,0}^{Trop} = \bar{c}_2 \frac{e}{T} + \bar{c}_3 \frac{e}{T^2} \quad \bar{c}_2 = -12.96 \text{ K mbar}^{-1} \quad \bar{c}_3 = 3.718 \text{ K}^2 \text{ mbar}^{-1} \quad (2.100)$$

dove  $e$  è la pressione parziale del vapor d'acqua.

### Il modello di Hopfield

Utilizzando dati reali raccolti su tutto il pianeta, Hopfield ha creato un modello per rappresentare la rifrattività della componente secca come funzione dell'altezza  $h$  sopra la superficie

$$N_d^{Trop}(h) = N_{d,0}^{Trop} \left[ \frac{h_d - h}{h_d} \right]^4 \quad (2.101)$$

assumendo che l'atmosfera sia rappresentata da un modello politropico di spessore

$$h_d = 40.136 + 148.72(T - 273.16) \text{ m}. \quad (2.102)$$

Il ritardo dovuto alla parte secca è quindi

$$\Delta_d^{Trop} = 10^{-6} N_{d,0}^{Trop} \int \left[ \frac{h_d - h}{h_d} \right]^4 ds \quad (2.103)$$

trascurando la curvatura del cammino ottico e calcolando l'integrale lungo la verticale

$$\Delta_d^{Trop} = \frac{10^{-6}}{h_d^4} N_{d,0}^{Trop} \int (h_d - h)^4 dh \quad (2.104)$$

$$\Delta_d^{Trop} = \frac{10^{-6}}{h_d^4} N_{d,0}^{Trop} \left[ -\frac{1}{5} (h_d - h) \Big|_{h=0}^{h=h_d} \right] \quad (2.105)$$



ed infine

$$\Delta_d^{Trop} = \frac{10^{-6}}{5} N_{d,0}^{Trop} h_d \quad (2.106)$$

che rappresenta la parte secca del ritardo troposferico. La parte umida è più difficile da modellare a causa delle grandi variazioni spaziali e temporali della quantità di vapore acqueo in atmosfera. Il modello di Hopfield assume che la parte secca e la parte umida siano descritte dalla stessa funzione

$$N_w^{Trop}(h) = N_{w,0}^{Trop} \left[ \frac{h_w - h}{h_w} \right]^4 \quad (2.107)$$

dove  $h_d = 11000$  m. Da misure sperimentali effettuate con radio sonde si sono trovati i seguenti vincoli per  $h_d$  e  $h_w$

$$\begin{aligned} 40 \text{ km} &\leq h_d \leq 45 \text{ km} \\ 10 \text{ km} &\leq h_w \leq 13 \text{ km.} \end{aligned} \quad (2.108)$$

Integrando l'equazione precedente si ottiene

$$\Delta_w^{Trop} = \frac{10^{-6}}{5} N_{w,0}^{Trop} h_w \quad (2.109)$$

e quindi il ritardo troposferico zenitale si scrive come

$$\Delta^{Trop} = \frac{10^{-6}}{5} \left[ N_{d,0}^{Trop} h_d + N_{w,0}^{Trop} h_w \right] \quad \text{m.} \quad (2.110)$$

Tale ritardo deve essere mappato ad una distanza zenitale arbitraria per mezzo di un fattore moltiplicativo

$$\Delta^{Trop} = \frac{10^{-6}}{5} \left[ N_{d,0}^{Trop} h_d m_d(E) + N_{w,0}^{Trop} h_w m_w(E) \right] \quad \text{m} \quad (2.111)$$

dove  $E$  è l'elevazione e  $m_d(E)$  e  $m_w(E)$  sono le mapping functions, rispettivamente per la parte secca e la parte umida. Le mapping functions si possono rappresentare nella seguente forma

$$m_d(E) = \frac{1}{\sin \sqrt{E^2 + 6.25}} \quad (2.112)$$

$$m_w(E) = \frac{1}{\sin \sqrt{E^2 + 2.25}}. \quad (2.113)$$

Scrivendo

$$\Delta_d^{Trop}(E) = \frac{10^{-6}}{5} \frac{N_{d,0}^{Trop} h_d}{\sin \sqrt{E^2 + 6.25}} \quad (2.114)$$

$$\Delta_w^{Trop}(E) = \frac{10^{-6}}{5} \frac{N_{w,0}^{Trop} h_w}{\sin \sqrt{E^2 + 2.25}} \quad (2.115)$$

ed esprimendo tutte le quantità in funzione di pressione e temperatura, si ottiene

$$\Delta_d^{Trop}(E) = \frac{10^{-6}}{5} \frac{77.64 \frac{p}{T}}{\sin \sqrt{E^2 + 6.25}} \quad (2.116)$$

$$\Delta_w^{Trop}(E) = -\frac{10^{-6}}{5} \frac{12.96T + 3.718 \cdot 10^5}{\sin \sqrt{E^2 + 2.25}} \frac{e}{T^2} 11000. \quad (2.117)$$

Misurando  $p$ ,  $T$ ,  $e$  e l'angolo  $E$  si può calcolare il ritardo troposferico come

$$\Delta^{Trop}(E) = \Delta_w^{Trop}(E) + \Delta_d^{Trop}(E) \text{ m.} \quad (2.118)$$

### Modelli di Hopfield modificati

Riscriviamo la funzione empirica

$$N_d^{Trop}(h) = N_{d,0}^{Trop} \left[ \frac{h_d - h}{h_d} \right]^4 \quad (2.119)$$

utilizzando le lunghezze  $r$  dei vettori posizione al posto delle altezze  $h$ . Sia  $R_E$  il raggio terrestre e  $r_d = R_E + h_d$  e  $r = R_E + h$ . La rifrattività troposferica assume la forma

$$N_d^{Trop}(r) = N_{d,0}^{Trop} \left[ \frac{r_d - r}{r_d - R_E} \right]^4. \quad (2.120)$$

Introducendo la quantità di vapore acqueo e la mapping function si ottiene

$$\Delta_d^{Trop} = 10^{-6} \int_{r=R_E}^{r=r_d} N_d^{Trop}(r) \frac{1}{\cos z(r)} dr \quad (2.121)$$

per la parte secca. Sia  $z$  l'angolo zenitale al punto di osservazione, allora vale la relazione

$$\sin z(r) = \frac{R_E}{r} \sin z_0. \quad (2.122)$$

Ne segue che

$$\cos z(r) = \sqrt{1 - \frac{R_E^2}{r^2} \sin^2 z_0}. \quad (2.123)$$

Sostituendo

$$\Delta_d^{Tropo}(z) = \frac{10^{-6} N_{d,0}^{Tropo}}{(r_d - R_E)^4} \int_{r=R_E}^{r=r_d} \frac{r(r_d - r)^4}{\sqrt{r^2 - R_E^2 \sin^2 z_0}} dr \quad (2.124)$$

e assumendo lo stesso modello per la componente umida

$$\Delta_w^{Tropo}(z) = \frac{10^{-6} N_{w,0}^{Tropo}}{(r_w - R_E)^4} \int_{r=R_E}^{r=r_d} \frac{r(r_w - r)^4}{\sqrt{r^2 - R_E^2 \sin^2 z_0}} dr \quad (2.125)$$

ricordando che  $E = 90 - z$ .

Espandendo in serie di Taylor l'integrando, e ponendo

$$r_i = \sqrt{(R_E + h_i)^2 - (R_E \cos E)^2} - R_E \sin E \quad i = d, w \quad (2.126)$$

Il ritardo troposferico in metri si può esprimere nella seguente maniera

$$\Delta_i^{Trop}(E) = 10^{-12} N_{i,0}^{Trop} \left[ \sum_{k=1}^9 \frac{\alpha_{k,i}}{k} r_i^k \right] \quad (2.127)$$

dove

$$\begin{aligned} \alpha_{1,i} &= 1 & \alpha_{6,i} &= 4a_i b_i (a_i^2 + 3b_i) \\ \alpha_{2,i} &= 4a_i & \alpha_{7,i} &= b_i^2 (6a_i^2 + 4b_i) \\ \alpha_{3,i} &= 6a_i^2 + 4b_i & \alpha_{8,i} &= 4a_i b_i^3 \\ \alpha_{4,i} &= 4a_i (a_i^2 + 3b_i) & \alpha_{9,i} &= b_i^4 \\ \alpha_{5,i} &= a_i^4 + 12a_i^2 + 6b_i^2 \end{aligned} \quad (2.128)$$

con

$$a_i = -\frac{\sin E}{h_i} \quad b_i = -\frac{\cos^2 E}{2h_i R_E} \quad (2.129)$$

### Il modello di Sastamoinen

La rifrattività può essere dedotta dalle leggi dei gas. Utilizzando tale approccio Sastamoinen ha proposto il modello

$$\Delta_i^{Trop} = \frac{0.002277}{\cos z} \left[ p + \left( \frac{1255}{T} + 0.05 \right) e - \tan^2 z \right] \quad (2.130)$$

dove  $z$  è l'angolo zenitale,  $p$  la pressione atmosferica in millibar,  $T$  la temperatura in Kelvin e  $e$  la pressione parziale del vapor d'acqua in millibar. Utilizzando valori medi per queste quantità si trova che il ritardo troposferico verticale è di circa 2.3 m. Tale modello può essere corretto aggiungendo due termini correttivi dipendenti dall'altezza del ricevitore e dall'angolo zenitale. Bauersima ha dato la formula

$$\Delta_i^{Trop} = \frac{0.002277}{\cos z} \left[ p + \left( \frac{1255}{T} + 0.05 \right) e - B \tan^2 z \right] + \delta R \quad (2.131)$$

dove i termini correttivi  $B$  e  $\delta R$  vengono ricavati interpolando delle tabelle.

### Il modello di Marini

Nel modello di Marini le mapping function sono rappresentate dalla seguente funzione

$$m_d(E) = \frac{1 + \frac{a_d}{1 + \frac{b_d}{1 + c_d}}}{\sin E + \frac{a_d}{\sin E + \frac{b_d}{\sin E + c_d}}} \quad (2.132)$$

con i coefficienti definiti come

$$\begin{aligned} a_d &= [1.2320 + 0.0139 \cos \varphi - 0.0209h + 0.00215(T - 283)] \cdot 10^{-3} \quad (2.133) \\ b_d &= [3.1612 - 0.1600 \cos \varphi - 0.0331h + 0.00206(T - 283)] \cdot 10^{-3} \\ c_d &= [71.244 - 4.293 \cos \varphi - 0.149h + 0.0021(T - 283)] \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

dipendenti dalla latitudine  $\varphi$  e dall'altezza  $h$  del sito di osservazione e dalla temperatura  $T$ . Per la parte umida i coefficienti sono

$$\begin{aligned} a_w &= [0.583 - 0.011 \cos \varphi - 0.052h + 0.0014(T - 283)] \cdot 10^{-3} \quad (2.134) \\ b_w &= [1.402 - 0.102 \cos \varphi - 0.101h + 0.0020(T - 283)] \cdot 10^{-3} \\ c_w &= [45.85 - 1.91 \cos \varphi - 1.29h + 0.015(T - 283)] \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Il modello di Niell utilizza la stessa rappresentazione per le mapping functions, solo che le fa dipendere da tre coefficienti. I coefficienti relativi alla parte secca dipendono da altezza, latitudine e giorno di osservazione, mentre quelli per la parte umida dipendono solo dalla latitudine. I coefficienti sono tabulati e devono essere interpolati per ricavare i loro valori a latitudini e giorni arbitrari.

### 2.3.4 Multipath

Il multipath è un disturbo creato da superfici riflettenti poste in vicinanza del ricevitore, anche se in misura minore tali riflessioni possono verificarsi sul satellite. Supponiamo che il segnale arrivi al ricevitore seguendo tre cammini distinti, uno diretto e gli altri due dovuti a riflessione. La conseguenza principale è che i tre cammini avranno diverse fasi, e tali fasi differiranno in proporzione alle lunghezze dei tre cammini. In realtà non esiste un modello di multipath a causa dell'estrema varietà di geometrie dei luoghi. In ogni caso l'effetto del multipath può essere stimato utilizzando un'opportuna combinazione di misure sulle frequenze L1 e L2. Il principio è basato sul fatto che la troposfera, gli errori di clock e gli effetti relativistici influenzano le misure di codice e di fase della stessa quantità, mentre gli errori introdotti da ionosfera e multipath dipendono dalla frequenza. Ne segue che differenziando le combinazioni iono free è possibile discriminare l'effetto del multipath.

I segnali provenienti da satelliti a bassa elevazione sono maggiormente affetti da multipath rispetto a quelli ad alta elevazione. L'errore prodotto da tale fenomeno può arrivare fino a 100 m nelle vicinanze di edifici. Di solito gli effetti prodotti dal multipath si dividono in tre categorie: 1) scattering del segnale dovuto a manufatti distribuiti su una vasta area, causa di errori di circa 10 m, 2) rifrazione speculare dovuta ad oggetti posti vicino all'antenna, causa di errori dell'ordine di 2 – 6 m, fluttuazioni a bassa frequenza dovute alla superficie di specchi d'acqua, causa di un errore di circa 10 m. In alcuni casi il multipath può causare la perdita del segnale.

L'effetto del multipath sulla fase può essere indagato nella seguente maniera:

supponiamo di rappresentare il segnale diretto e quello indiretto tramite le funzioni

$$\begin{aligned} a \cos \varphi \\ \beta a \cos(\varphi + \Delta\varphi) \end{aligned} \quad (2.135)$$

dove  $a$  e  $\varphi$  rappresentano l'ampiezza e la fase del segnale diretto. Notiamo che l'ampiezza del segnale indiretto è diminuita di un fattore  $\beta$  a seguito della riflessione. La fase del segnale riflesso è ritardata della quantità  $\Delta\varphi$  in relazione alla configurazione geometrica. La sovrapposizione dei segnali è data da

$$a \cos \varphi + \beta a \cos(\varphi + \Delta\varphi).$$

Applicando il teorema del coseno si ha

$$a \cos \varphi + \beta a \cos \varphi \cos \Delta\varphi - \beta a \sin \varphi \sin \Delta\varphi$$

,e equivalentemente

$$(1 + \beta \cos \Delta\varphi)a \cos \varphi - (\beta \sin \Delta\varphi)a \sin \varphi.$$

Il segnale risultante può essere rappresentato nella forma

$$\beta_M a \cos(\varphi + \Delta\varphi_M)$$

dove il pedice  $M$  indica il multipath. Il teorema del coseno porge

$$(\beta_M \cos \Delta\varphi_M)a \cos \varphi - (\beta_M \sin \Delta\varphi_M)a \sin \varphi.$$

Confrontando i coefficienti di  $a \sin \varphi$  e  $a \cos \varphi$  si trovano le seguenti relazioni

$$\begin{aligned} \beta_M \sin \Delta\varphi_M &= \beta \sin \Delta\varphi \\ \beta_M \cos \Delta\varphi_M &= 1 + \beta \cos \Delta\varphi \end{aligned}$$

che rappresentano due equazioni per le due incognite  $\beta_M$  e  $\Delta\varphi_M$ . Quadrando e sommando le due equazioni si ha

$$\beta_M = \sqrt{1 + \beta + 2\beta \cos \Delta\varphi}$$

mentre dividendo le due equazioni si ottiene

$$\tan \Delta\varphi_M = \frac{\beta \sin \Delta\varphi}{1 + \beta \cos \Delta\varphi}.$$

Il fattore  $\beta$  può variare tra 0 e 1. Se si pone  $\beta = 0$  (cioè nessuna riflessione del segnale) si ottiene  $\beta_M = 1$  e  $\Delta\varphi_M = 0$ ; se si pone  $\beta = 1$  si ha

$$\beta_M = \sqrt{2(1 + \cos \Delta\varphi)} = 2 \cos \frac{\Delta\varphi}{2}$$

e per la fase

$$\tan \Delta\varphi_M = \frac{\sin \Delta\varphi}{1 + \cos \Delta\varphi} = \tan \frac{\Delta\varphi}{2}$$

e infine

$$\Delta\varphi_M = \frac{\Delta\varphi}{2}.$$

Nella tabella seguente sono riportati alcuni esempi numerici

| $\Delta\varphi$ | $\beta_M$  | $\Delta\varphi_M$ |
|-----------------|------------|-------------------|
| $0^\circ$       | 2          | $0^\circ$         |
| $90^\circ$      | $\sqrt{2}$ | $45^\circ$        |
| $180^\circ$     | 0          | $90^\circ$        |

Si può notare che il massimo effetto del multipath sulle misure di fase avviene per  $\Delta\varphi_M = 90^\circ = 1/4$  di ciclo. Convertendo la differenza di fase in lunghezza si ha una variazione nella distanza di 5 cm, valore che può aumentare se si utilizzano combinazioni lineari di fase.

Sia ora  $\Delta s$  la differenza di cammino ottico. Supponiamo che la superficie riflettente sia il terreno, allora

$$\Delta\varphi = \frac{1}{\lambda} \Delta s = \frac{2h}{\lambda} \sin E$$

dove  $h$  rappresenta la distanza del ricevitore sulla superficie ed  $E$  è l'elevazione del satellite. Osserviamo che il multipath è periodico perchè l'elevazione  $E$  varia nel tempo. La frequenza del multipath è

$$f = \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} = \frac{2h}{\lambda} \cos E \frac{dE}{dt}.$$

Sostituendo i valori tipici  $E = 45^\circ$  e  $\frac{dE}{dt} = 0.07$  mrad/s si ottiene, per la portante L1

$$f = 0.521 \cdot 10^{-3} h \quad \text{m}$$

Da questa formula si deduce che un'antenna posta a 2 m di altezza è soggetta ad un errore di multipath di periodo pari a 16 min. Gli effetti del multipath sulle portanti nel posizionamento relativo con linee di base corte producono errori dell'ordine del centimetro.

# Capitolo 3

## Modelli matematici per il posizionamento

### 3.1 Point positioning

#### 3.1.1 Point positioning mediante l'osservabile di codice

##### Modello

Abbiamo visto che la pseudodistanza dedotta da misure di codice può essere rappresentata da

$$R_i^j(t) = \varrho_i^j(t) + c\Delta\delta_i^j(t). \quad (3.1)$$

Qui  $R_i^j(t)$  è la pseudodistanza tra il ricevitore  $i$  e il satellite  $j$ ,  $\varrho_i^j(t)$  è la distanza geometrica e  $c$  la velocità della luce. L'errore di clock (comprensivo del ricevitore e del satellite) è rappresentato da  $\delta_i^j(t)$  e rappresenta il bias rispetto al tempo GPS.

Le coordinate del punto sono presenti implicitamente nella distanza  $\varrho_i^j(t)$ , in base all'equazione

$$\varrho_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2} \quad (3.2)$$

dove  $X^j(t)$ ,  $Y^j(t)$ ,  $Z^j(t)$  sono le coordinate del satellite all'epoca  $t$  e  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$  sono le tre incognite corrispondenti alle coordinate del punto di osservazione. Consideriamo ora il significato del bias  $\Delta\delta_i^j(t)$ ; consideriamo una sola epoca, in tal caso l'equazione di osservazione contiene 4 incognite. Supponiamo che le coordinate del ricevitore siano costanti, in tal caso per ogni satellite osservato avremo un'equazione di osservazione contenente 4 incognite, ne segue il numero di incognite totali sarà sempre  $4 + (\text{numero di satelliti osservati}) < (\text{numero di osservazioni})$ . Per ovviare a questo problema è necessario ricorrere all'informazione relativa al clock contenuta nel messaggio di navigazione. Allora il bias del satellite può considerarsi conosciuto in base alla conoscenza dei coefficienti  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$

$$\delta^j(t) = a_0 + a_1(t - t_c) + a_2(t - t_c)^2. \quad (3.3)$$

dove  $t_c$  rappresenta il tempo di riferimento.

Il bias satellite-ricevitore si scrive come

$$\Delta\delta_i^j(t) = \delta^j(t) - \delta_i(t) \quad (3.4)$$

e quindi l'equazione di osservazione si può riscrivere come

$$R_i^j(t) - c\delta^j(t) = \varrho_i^j(t) - c\delta_i(t) \quad (3.5)$$

dove i termini del membro di sinistra sono conosciuti.

### Configurazioni base

Le configurazioni base sono quelle situazioni in cui il numero delle osservazioni è maggiore o uguale al numero delle incognite. Se indichiamo con  $n_j$  il numero di satelliti e  $n_t$  il numero di epoche di osservazione allora il numero totale di equazioni di osservazione sarà dato dal prodotto  $n_t n_j$ . Nel point positioning statico (cioè con ricevitori fissi) il numero delle incognite è  $3 + n_t$ . Dunque la configurazione base è definita dalla relazione

$$n_t n_j \geq 3 + n_t \quad (3.6)$$

che si può riscrivere come

$$n_t \geq \frac{3}{n_j - 1}. \quad (3.7)$$

Il numero minimo di satelliti necessario ad ottenere una soluzione è  $n_j = 2$  che implica  $n_t \geq 3$  epoche di osservazione. Se  $n_j = 4$  si può ottenere la soluzione con  $n_t \geq 1$ , cioè si può risolvere il problema per 4 incognite ad una singola epoca se sono osservabili contemporaneamente 4 satelliti. Se il ricevitore è in movimento allora il numero di incognite relative alle coordinate sale a  $3n_t$  e la configurazione base è definita dalla disequazione

$$n_j n_t \geq 4n_t \quad (3.8)$$

che porge immediatamente  $n_j \geq 4$ . Questo fatto implica che la posizione (e la velocità) di un ricevitore in movimento può essere determinata solo se vengono inseguiti contemporaneamente almeno 4 satelliti.

## 3.1.2 Point positioning mediante osservazioni di fase

### Modello

La pseudodistanza può essere determinata anche per mezzo di osservazioni di fase. Ricordiamo che la fase è legata alla distanza dall'equazione

$$\Phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_i^j(t) + N_i^j + f^j \Delta\delta_i^j(t). \quad (3.9)$$

Qui  $\Phi_i^j(t)$  rappresenta la fase della portante in cicli,  $\lambda$  è la lunghezza d'onda e  $\varrho_i^j(t)$  è la distanza geometrica. L'ambiguità  $N_i^j$  è un numero intero indipendente dal tempo.



Il termine  $f^j$  rappresenta la frequenza del segnale del satellite e  $\Delta\delta_i^j(t)$  rappresenta il bias combinato degli orologi del ricevitore e del satellite. Rendendo espliciti i singoli bias degli orologi si può scrivere

$$\Phi_i^j(t) - f^j\delta^j(t) = \frac{1}{\lambda}\varrho_i^j(t) + N_i^j - f^j\delta_i(t). \quad (3.10)$$

### Configurazioni base

Osserviamo che rispetto al point positioning il numero di ingognite è aumentato della quantità  $n_j$  a causa della presenza delle ambiguità. Per il point positioning statico la configurazione base è definita dalla disequazione

$$n_t n_j \geq 3 + n_j + n_t \quad (3.11)$$

da cui

$$n_t \geq \frac{n_j + 3}{n_j - 1}. \quad (3.12)$$

Il numero minimo di satelliti necessario ad ottenere una soluzione è  $n_j = 2$  che corrisponde ad almeno 5 epoche di osservazione. Altre soluzioni si ottengono per  $n_j = 3$ ,  $n_t \geq 3$  e  $n_j = 5$ ,  $n_t \geq 2$ .

Per il point positioning cinematico la configurazione base è definita da

$$n_t n_j \geq n_j + 4n_t \quad (3.13)$$

equivalente a

$$n_t \geq \frac{n_j}{n_j - 4}. \quad (3.14)$$

Il numero minimo di satelliti necessario ad ottenere una soluzione è  $n_j = 5$ , con i satelliti osservati per  $n_t \geq 5$  epoche. Altre soluzioni si hanno per  $n_j = 6$ ,  $n_t \geq 3$  e  $n_j = 8$ ,  $n_t \geq 2$ .

### 3.1.3 Posizionamento relativo

L'obiettivo del posizionamento relativo è la determinazione delle coordinate di un punto sconosciuto rispetto ad alcuni punti conosciuti che, nella maggior parte delle applicazioni sono stazionari. In altre parole il posizionamento relativo ha come compito la determinazione del vettore che congiunge due punti (detto linea di base). Sia  $A$  il punto di coordinate conosciute,  $B$  il punto di coordinate sconosciute e  $\mathbf{b}_{AB}$  il vettore linea di base. Siano  $\mathbf{X}_A$  e  $\mathbf{X}_B$  i vettori posizione, allora vale la relazione vettoriale

$$\mathbf{X}_B = \mathbf{X}_A + \mathbf{b}_{AB} \quad (3.15)$$

dove

$$\mathbf{b}_{AB} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_B - \mathbf{X}_A \\ \mathbf{Y}_B - \mathbf{Y}_A \\ \mathbf{Z}_B - \mathbf{Z}_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{X}_A \\ \Delta\mathbf{Y}_A \\ \Delta\mathbf{Z}_A \end{bmatrix}. \quad (3.16)$$

Le coordinate dei punti di riferimento devono essere date nel sistema WGS-84. Il posizionamento relativo può essere effettuato sia con misure di codice sia con misure di fase. Risulta inoltre maggiormente efficace se vengono effettuate osservazioni contemporanee sia nei punti conosciuti sia in quelli sconosciuti. Assumendo l'esistenza di osservazioni simultanee, è possibile combinare linearmente le combinazioni lineari delle equazioni di osservazione (singole differenza, doppie differenza, triple differenze).

### Differenze di osservabili di fase

**Singole differenze** In questa combinazione lineare sono interessati due punti ed un satellite. Indicando i due punti con le lettere  $A$  e  $B$  e il satellite con il pedice  $j$  possiamo scrivere le equazioni di osservazione nella seguente forma

$$\Phi_A^j(t) - f^j \delta^j(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_A^j(t) + N_A^j - f^j \delta_A(t) \quad (3.17)$$

$$\Phi_B^j(t) - f^j \delta^j(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_B^j(t) + N_B^j - f^j \delta_B(t)$$

la differenza tra le due equazioni è

$$\Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\varrho_B^j(t) - \varrho_A^j(t)] + N_B^j - N_A^j - f^j [\delta_B(t) - \delta_A(t)]. \quad (3.18)$$

questa ultima equazione viene detta equazione delle singole differenze. Tutte le quantità del membro di destra sono incognite. Osserviamo che nel processo di stima delle incognite è impossibile separare le ambiguità e gli errori di clock dei ricevitori, pertanto si introducono le quantità

$$N_{AB}^j = N_B^j - N_A^j \quad (3.19)$$

$$\delta_{AB}(t) = \delta_B(t) - \delta_A(t). \quad (3.20)$$

Utilizzando la notazione

$$\Phi_{AB}^j(t) = \Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t) \quad (3.21)$$

$$\varrho_{AB}^j(t) = \varrho_B^j(t) - \varrho_A^j(t) \quad (3.22)$$

si ha

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t) \quad (3.23)$$

che rappresenta la forma finale dell'equazione delle singole differenze. Rispetto all'equazione non differenziata è scomparso il bias del clock del satellite.

**Doppie differenze** Considerando due punti  $A$  e  $B$  e due satelliti  $j$  e  $k$ , possiamo scrivere due equazioni alle singole differenze

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t) \quad (3.24)$$

$$\Phi_{AB}^k(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k - f^k \delta_{AB}(t).$$

Per ottenere le doppie differenze sottraiamo tra di loro queste due equazioni, supponendo che le frequenze dei segnali dei due satelliti siano uguali ( $f^j = f^k$ )

$$\Phi_{AB}^k(t) - \Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\varrho_{AB}^k(t) - \varrho_{AB}^j(t)] + N_{AB}^k - N_{AB}^j. \quad (3.25)$$

utilizzando la notazione compatta si ottiene infine

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk}. \quad (3.26)$$

In questa equazione si cancellano gli errori di orologio dei ricevitori. Osserviamo che la cancellazione risulta dall'assunzione che le osservazioni siano simultanee e che le frequenze dei segnali siano uguali.

**Triple differenze** Fino ad ora abbiamo considerato osservazioni relative ad una sola epoca  $t$ . La differenziazione delle equazioni alle doppie differenze rispetto a due epoche distinte permette di cancellare i termini di ambiguità. Siani  $t_1$  e  $t_2$  due epoche di osservazione, le equazioni alle doppie differenze sono

$$\Phi_{AB}^j(t_1) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^{jk}(t_1) + N_{AB}^{jk} \quad (3.27)$$

$$\Phi_{AB}^j(t_2) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^{jk}(t_2) + N_{AB}^{jk} \quad (3.28)$$

da cui si può formare l'equazione di osservazione alle triple differenze

$$\Phi_{AB}^j(t_2) - \Phi_{AB}^j(t_1) = \frac{1}{\lambda} [\varrho_{AB}^{jk}(t_2) - \varrho_{AB}^{jk}(t_1)] \quad (3.29)$$

e in notazione compatta

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^{jk}(t_{12}). \quad (3.30)$$

Notiamo che  $\Phi_{AB}^{jk}(t_{12})$  e  $\varrho_{AB}^{jk}(t_{12})$  sono composti da 8 termini:

$$\begin{aligned} \Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) &= \Phi_B^k(t_2) - \Phi_B^j(t_2) - \Phi_A^k(t_2) + \Phi_A^j(t_2) \\ &\quad - \Phi_B^k(t_1) + \Phi_B^j(t_1) + \Phi_A^k(t_1) - \Phi_A^j(t_1) \end{aligned} \quad (3.31)$$

e

$$\varrho_{AB}^{jk}(t_{12}) = \varrho_B^k(t_2) - \varrho_B^j(t_2) - \varrho_A^k(t_2) + \varrho_A^j(t_2) \quad (3.32)$$

$$- \varrho_B^k(t_1) + \varrho_B^j(t_1) + \varrho_A^k(t_1) - \varrho_A^j(t_1). \quad (3.33)$$

Le triple differenze, in quanto indipendenti dalle ambiguità, non sono affette dagli sganciamenti di fase (cycle slips).

### 3.1.4 Correlazioni tra le combinazioni di fase

In generale esistono due tipi di correlazione, fisica e matematica. La correlazione fisica, per esempio, è quella che riguarda le fasi  $\Phi_A^j$  e  $\Phi_B^j$  del segnale del satellite  $j$  ricevute nei due punti  $A$  e  $B$ . Le due misure sono correlate fisicamente in quanto si riferiscono allo stesso satellite.

L'operazione di differenziazione delle osservabili introduce, dal punto di vista matematico, delle correlazioni tra le stime dei parametri. Nel seguito assumiamo che ogni misura di fase sia affetta da errori distribuiti normalmente (cioè con valori di aspettazione nulli e varianza  $\sigma^2$ ). Introduciamo il vettore delle fasi  $\Phi$ , allora si ha

$$\text{cov}(\Phi) = \sigma^2 \mathbf{I} \quad (3.34)$$

dove  $\mathbf{I}$  è la matrice unità.

#### Singole differenze

Se consideriamo due punti  $A$  e  $B$  e un satellite  $j$  abbiamo

$$\Phi_{AB}^j(t) = \Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t). \quad (3.35)$$

Formando le singole differenze per un altro satellite otteniamo

$$\Phi_{AB}^k(t) = \Phi_B^k(t) - \Phi_A^k(t). \quad (3.36)$$

Le singole differenze si possono rappresentare in notazione matriciale ponendo

$$\mathbf{SD} = \mathbf{C}\Phi \quad (3.37)$$

dove

$$\mathbf{SD} = \begin{bmatrix} \Phi_{AB}^j(t) \\ \Phi_{AB}^k(t) \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_A^j(t) \\ \Phi_B^j(t) \\ \Phi_A^k(t) \\ \Phi_B^k(t) \end{bmatrix}. \quad (3.40)$$

La covarianza delle singole differenze è data da

$$\text{cov}(\mathbf{SD}) = \mathbf{C}\text{cov}(\Phi)\mathbf{C}^T \quad (3.41)$$

da cui si ottiene

$$\text{cov}(\mathbf{SD}) = \mathbf{C}\sigma^2\mathbf{I}\mathbf{C}^T = \sigma^2\mathbf{C}\mathbf{C}^T \quad (3.42)$$

dove

$$\mathbf{C}\mathbf{C}^T = 2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = 2\mathbf{I} \quad (3.43)$$

e quindi

$$\text{cov}(\mathbf{SD}) = 2\sigma^2\mathbf{I}. \quad (3.44)$$

Questo fatto mostra che le singole differenze non sono correlate. Le dimensioni della matrice unità corrispondono al numero di singole differenze all'epoca  $t$ . Considerando più di un'epoca la matrice di covarianza è ancora una matrice unità di dimensioni pari al numero totale di singole differenze.

### Doppie differenze

Consideriamo i tre satelliti  $i, j$  e  $k$ . Per due punti  $A$  e  $B$  all'epoca  $t$  le doppie differenze sono

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \Phi_{AB}^k(t) - \Phi_{AB}^j(t) \quad (3.45)$$

$$\Phi_{AB}^{jl}(t) = \Phi_{AB}^l(t) - \Phi_{AB}^j(t) \quad (3.46)$$

In forma matriciale

$$\mathbf{DD} = \mathbf{C} \mathbf{SD} \quad (3.47)$$

dove

$$\mathbf{DD} = \begin{bmatrix} \Phi_{AB}^{jk}(t) \\ \Phi_{AB}^{jl}(t) \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

e le singole differenze sono rappresentate dal vettore

$$\mathbf{SD} = \begin{bmatrix} \Phi_{AB}^j(t) \\ \Phi_{AB}^k(t) \\ \Phi_{AB}^l(t) \end{bmatrix}. \quad (3.50)$$

La matrice di covarianza per le doppie differenze è data da

$$\text{cov}(\mathbf{DD}) = \mathbf{C} \text{cov}(\mathbf{SD}) \mathbf{C}^T \quad (3.51)$$

e da cui si ha

$$\text{cov}(\mathbf{DD}) = 2\sigma^2 \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}. \quad (3.52)$$

Osserviamo che la matrice non è diagonale e, quindi, le doppie differenze sono correlate. La matrice dei pesi  $\mathbf{P}(t)$  è definita dall'inversa della matrice di covarianza

$$\mathbf{P}(t) = [\text{cov}(\mathbf{DD})]^{-1} = \frac{1}{2\sigma^2} \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

dove sono state usate le doppie differenze relative ad un'unica epoca. Se  $n_{DD}$  è il numero di doppie differenze all'epoca  $t$ , la matrice di correlazione è data da

$$\mathbf{P}(t) = \frac{1}{2\sigma^2} \frac{1}{n_{DD} + 1} \begin{bmatrix} n_{DD} & -1 & -1 & \dots \\ -1 & n_{DD} & & \dots \\ -1 & & & \\ \dots & & & n_{DD} \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

dove la dimensione della matrice è  $n_{DD} \times n_{DD}$ . Assumiamo di disporre di 4 equazioni alle doppie differenze, allora la matrice di correlazione è data da

$$\mathbf{P}(t) = \frac{1}{2\sigma^2} \frac{1}{5} \begin{bmatrix} 4 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 4 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 4 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 4 \end{bmatrix}. \quad (3.55)$$

Questa matrice vale per una singola epoca di osservazione. Se si considerano epoche  $t_1, t_2, t_3, t_4$  la matrice di correlazione diventa diagonale a blocchi

$$\mathbf{P}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{P}(t_1) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{P}(t_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{P}(t_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{P}(t_4) \end{bmatrix}. \quad (3.56)$$

Le matrici  $\mathbf{P}(t_i)$  non hanno necessariamente le stesse dimensioni perchè ad epoche diverse può corrispondere un diverso numero di equazioni di osservazione.

### Triple differenze

La covarianza delle triple differenze si applica applicando la legge di propagazione della covarianza all'equazione

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \Phi_{AB}^k(t_2) - \Phi_{AB}^j(t_2) - \Phi_{AB}^k(t_1) + \Phi_{AB}^j(t_1). \quad (3.57)$$

Consideriamo prima le triple differenze relative alle stesse epoche e con in comune lo stesso satellite  $j$ , si ha

$$\begin{aligned} \Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) &= \Phi_{AB}^k(t_2) - \Phi_{AB}^j(t_2) - \Phi_{AB}^k(t_1) + \Phi_{AB}^j(t_1) \\ \Phi_{AB}^{jl}(t_{12}) &= \Phi_{AB}^l(t_2) - \Phi_{AB}^j(t_2) - \Phi_{AB}^l(t_1) + \Phi_{AB}^j(t_1). \end{aligned} \quad (3.58)$$

Introducendo le matrici

$$\mathbf{TD} = \begin{bmatrix} \Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) \\ \Phi_{AB}^{jl}(t_{12}) \end{bmatrix} \quad (3.59)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

$$\mathbf{SD} = \begin{bmatrix} \Phi_{AB}^j(t_1) \\ \Phi_{AB}^k(t_1) \\ \Phi_{AB}^l(t_1) \\ \Phi_{AB}^j(t_2) \\ \Phi_{AB}^k(t_2) \\ \Phi_{AB}^l(t_2) \end{bmatrix} \quad (3.61)$$

possiamo utilizzare la notazione matriciale

$$\mathbf{TD} = \mathbf{C SD} \quad (3.62)$$

per ottenere la matrice di covarianza

$$\text{cov}(\mathbf{TD}) = \mathbf{C cov}(\mathbf{SD}) \mathbf{C}^T \quad (3.63)$$

da cui

$$\text{cov}(\mathbf{TD}) = 2\sigma^2 \mathbf{CC}^T \quad (3.64)$$

ed infine

$$\text{cov}(\mathbf{TD}) = 2\sigma^2 \begin{bmatrix} 4 & 2 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}. \quad (3.65)$$

In generale le triple differenze  $\mathbf{TD}^{jk}(t_{12})$  sono composte dalle due doppie differenze (con i segni dati dalla tabella) relative ai satelliti  $j$  e  $k$  calcolate al tempo  $t_1$  le stesse due doppie differenze, ma relative al tempo  $t_2$ . Lo stesso fatto vale per le triple differenze  $\mathbf{TD}^{jl}(t_{12})$

| Epoca                      | $t_1$ |     |     | $t_2$ |     |     |
|----------------------------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|
|                            | $j$   | $k$ | $l$ | $j$   | $k$ | $l$ |
| $\mathbf{TD}^{jk}(t_{12})$ | 1     | -1  | 0   | -1    | 1   | 0   |
| $\mathbf{TD}^{jl}(t_{12})$ | 1     | 0   | -1  | -1    | 0   | 1   |

Se consideriamo tre epoche  $t_1, t_2, t_3$  si ha la seguente tabella

| Epoca                      | $t_1$ |     |     | $t_2$ |     |     | $t_3$ |     |     | $\mathbf{CC}^T$ |    |
|----------------------------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-----------------|----|
|                            | $j$   | $k$ | $l$ | $j$   | $k$ | $l$ | $j$   | $k$ | $l$ |                 |    |
| $\mathbf{TD}^{jk}(t_{12})$ | 1     | -1  | 0   | -1    | 1   | 0   | 0     | 0   | 0   | 4               | -2 |
| $\mathbf{TD}^{jk}(t_{23})$ | 0     | 0   | 0   | 1     | -1  | 0   | -1    | 1   | 0   | -2              | 4  |
| $\mathbf{TD}^{jk}(t_{12})$ | 1     | -1  | 0   | -1    | 1   | 0   | 0     | 0   | 0   | 4               | -1 |
| $\mathbf{TD}^{jl}(t_{12})$ | 0     | 0   | 0   | 1     | 0   | -1  | -1    | 0   | 1   | -1              | 4  |

### Posizionamento statico relativo

Consideriamo una survey statica composta da una singola linea di base definita dai punti  $A$  e  $B$ . I due punti rimangono fermi durante tutta la sessione di osservazione. Assumiamo che entrambi i siti possano osservare gli stessi satelliti alle stesse epoche;

il numero di satelliti sarà indicato con  $n_j$  e il numero di epoche di osservazione con  $n_t$ . Esprimiamo l'equazione delle singole differenze per ogni epoca e per ogni satellite

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t). \quad (3.66)$$

Il numero totale di osservazioni è dato dal prodotto  $n_t n_j$ , ed è sottoposto al vincolo

$$n_t n_j \geq 3 + n_j + n_t \quad (3.67)$$

da cui segue

$$n_t \geq \frac{n_j + 3}{n_j - 1}. \quad (3.68)$$

Osserviamo che se  $n_j = 1$  non è possibile ricavare una soluzione perchè il denominatore dell'equazione precedente si annulla. Per 2 satelliti si ha  $n_t \geq 5$  e per il caso usuale di 4 satelliti si ha  $n_t \geq \frac{7}{3}$ , da cui  $n_t \geq 3$ .

Per le doppie differenze sono necessari due satelliti osservati contemporaneamente, ne segue che per  $n_j$  satelliti si hanno  $n_j - 1$  equazioni alle doppie differenze relative ad una singola epoca. In tal modo il numero totale di equazioni di osservazione diventa  $(n_j - 1)n_t$ . Dunque si avrà il vincolo definito da

$$(n_j - 1)n_t \geq 3 + (n_j - 1). \quad (3.69)$$

Da cui segue

$$n_j \geq \frac{n_j + 2}{n_j + 1}. \quad (3.70)$$

Perciò il numero minimo di satelliti  $n_j = 2$  porge  $n_t \geq 4$ . Nel caso di 4 è necessario disporre di osservazioni relative ad almeno 2 epoche distinte. Per evitare di utilizzare equazioni di osservazione linearmente dipendenti tra di loro si utilizza un satellite di riferimento. Supponiamo che le misure siano effettuate osservando i satelliti 6, 9, 11, 12, con il satellite 6 usato come riferimento. Allora per ogni epoca possiamo formare le doppie differenze (9-6), (11-6), (12-6).

Per le triple differenze ogni equazione di osservazione contiene le tre incognite relative alle coordinate. Dal momento che per ogni tripla differenza sono necessarie 2 epoche, il numero di equazioni di osservazione linearmente indipendenti sarà  $n_t - 1$ . Perciò

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^{jk}(t_{12}) \quad (3.71)$$

con il vincolo

$$(n_j - 1)(n_t - 1) \geq 3 \quad (3.72)$$

da cui

$$n_j \geq \frac{n_j + 2}{n_j - 1}. \quad (3.73)$$

Al numero minimo di satelliti  $n_j = 2$  corrisponde  $n_t \geq 4$ . Se  $n_j = 2$  allora  $n_t \geq 2$ .



# Capitolo 4

## Stima dei parametri

### 4.0.5 Stima ai minimi quadrati

La tecnica matematica più comune di stima delle coordinate è quella fornita dai minimi quadrati. Le equazioni di osservazione vengono linearizzate attraverso un'espansione in serie di Taylor effettuata rispetto ai parametri da stimare. Questo fatto implica la conoscenza approssimativa a priori dei parametri da stimare. La serie di Taylor permette di esprimere il sistema delle equazioni di osservazione linearizzato come

$$\mathbf{l} = \mathbf{A}\mathbf{x} \quad (4.1)$$

dove

$\mathbf{l}$  ... è il vettore delle osservazioni

$\mathbf{A}$  ... è la matrice delle derivate parziali (design matrix)

$\mathbf{x}$  ... è il vettore delle incognite.

Introducendo la varianza a priori e la matrice di covarianza

$\sigma^2$  ... varianza a priori

$\Sigma$  ...matrice di covarianza

si può formare la matrice

$$\mathbf{Q}_l = \frac{1}{\sigma^2}\Sigma, \quad (4.2)$$

da cui si ottiene la matrice dei pesi

$$\mathbf{P} = \mathbf{Q}_l^{-1}. \quad (4.3)$$

Se sono disponibili  $n$  osservazioni e devono essere stimate  $u$  incognite, allora la matrice  $\mathbf{A}$  avrà dimensioni  $(n \times u)$ . Se  $n > u$  il sistema è sovradeterminato e non consistente a causa degli errori di misura. Rappresentando gli errori di misura con il vettore  $\mathbf{n}$  e sommandolo al vettore delle osservazioni si ottiene l'equazione

$$\mathbf{l} + \mathbf{n} = \mathbf{A}\mathbf{x}. \quad (4.4)$$

La soluzione di questo sistema è unica, nel senso dei minimi quadrati, e si trova imponendo che la somma dei quadrati dei residui sia minima, cioè

$$\mathbf{n}^T \mathbf{P} \mathbf{n} = \text{minimo.} \quad (4.5)$$

Tale condizione si esplicita nelle equazioni normali

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (4.6)$$

con la soluzione

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (4.7)$$

che può essere semplificata ponendo

$$\mathbf{x} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{g} \quad (4.8)$$

dove  $\mathbf{G} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$  e  $\mathbf{g} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}$ . La matrice  $\mathbf{Q}_x$  segue dall'equazione  $\mathbf{x} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}$ , applicando la legge di propagazione della covarianza

$$\mathbf{Q}_x = (\mathbf{G}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}) \mathbf{Q}_l (\mathbf{G}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P})^T \quad (4.9)$$

e sostituendo  $\mathbf{Q}_l = \mathbf{P}^{-1}$  si ottiene

$$\mathbf{Q}_x = \mathbf{G}^{-1} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \quad (4.10)$$

#### 4.0.6 Linearizzazione

Osserviamo che l'unica funzione presente nelle equazioni di osservazione in cui i parametri suscettibili di stima non compaiono linearmente è quella che rappresenta la distanza geometrica

$$\varrho_i^j(t) = \sqrt{((X^j(t) - X_i)^2 + ((Y^j(t) - Y_i)^2 + ((Z^j(t) - Z_i)^2)} = f(X_i, Y_i, Z_i). \quad (4.11)$$

Assumendo di conoscere le coordinate approssimate  $(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})$  del punto possiamo scrivere la distanza approssimata come

$$\varrho_{i0}^j(t) = \sqrt{((X^j(t) - X_{i0})^2 + ((Y^j(t) - Y_{i0})^2 + ((Z^j(t) - Z_{i0})^2)} = f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}). \quad (4.12)$$

Utilizzando i valori approssimati le coordinate incognite si possono scrivere come

$$\begin{aligned} X_i &= X_{i0} + \Delta X_i \\ Y_i &= Y_{i0} + \Delta Y_i \\ Z_i &= Z_{i0} + \Delta Z_i \end{aligned} \quad (4.13)$$

dove  $\Delta X_i$ ,  $\Delta Y_i$ ,  $\Delta Z_i$  rappresentano le nove incognite del modello linearizzato. Sostituendo queste variabili nell'equazione della distanza e sviluppando in serie di Taylor

si ha

$$\begin{aligned}
f(X_i, Y_i, Z_i) &= f(X_{i0} + \Delta X_i, Y_{i0} + \Delta Y_i, Z_{i0} + \Delta Z_i) = \\
&f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}) + \frac{\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})}{\partial X_{i0}} \Delta X_i \\
&+ \frac{\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})}{\partial Y_{i0}} \Delta Y_i + \frac{\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})}{\partial Z_{i0}} \Delta Z_i + \dots
\end{aligned} \tag{4.14}$$

La serie di Taylor viene troncata al primo termine, altrimenti si perderebbe la dipendenza lineare dai parametri  $\Delta X_i$ ,  $\Delta Y_i$ ,  $\Delta Z_i$ . La forma esplicita delle derivate parziali è

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})}{\partial X_{i0}} &= -\frac{X^j(t) - X_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \\
\frac{\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})}{\partial Y_{i0}} &= -\frac{Y^j(t) - Y_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \\
\frac{\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})}{\partial Z_{i0}} &= -\frac{Z^j(t) - Z_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)}
\end{aligned} \tag{4.15}$$

e rappresentano le coordinate del vettore unità che punta verso il satellite. La forma linearizzata della distanza è

$$\varrho_i^j(t) = \varrho_{i0}^j(t) - \frac{X^j(t) - X_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta X_i - \frac{Y^j(t) - Y_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta Z_i \dots \tag{4.16}$$

#### 4.0.7 Modello linearizzato per il posizionamento puntuale con misure di codice

Nel seguito diamo una descrizione semplificata del modello, includendo solo gli errori di clock e tralasciando gli effetti di troposfera e ionosfera. L'equazione di osservazione per il codice è

$$R_j^i(t) = \varrho_i^j(t) + c\delta^j(t) - c\delta_i(t) \tag{4.17}$$

e linearizzando si ottiene

$$R_j^i(t) = \varrho_{i0}^j(t) - \frac{X^j(t) - X_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta X_i - \frac{Y^j(t) - Y_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta Z_i + \varrho_i^j(t) + c\delta^j(t) - c\delta_i(t) \tag{4.18}$$

equivalente a

$$R_j^i(t) - \varrho_{i0}^j(t) - c\delta^j(t) = -\frac{X^j(t) - X_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta X_i - \frac{Y^j(t) - Y_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta Z_i - c\delta_i(t) \tag{4.19}$$

dove tutte le quantità del membro di destra sono sconosciute. Si suppone inoltre che il bias dell'orologio del satellite sia conosciuto per mezzo del messaggio di navigazione. Le incognite contenute nel modello sono perciò 4:  $\Delta X_i$ ,  $\Delta Y_i$ ,  $\Delta Z_i$  e  $\delta_i(t)$ . Per

una singola epoca  $t$  è quindi necessario disporre di osservazioni di 4 satelliti distinti. Introduciamo le notazioni compatte

$$\begin{aligned} l^j &= R_j^i(t) - \varrho_{i0}^j(t) - c\delta^j(t) \\ a_{X_i}^j &= -\frac{X^j(t) - X_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \\ a_{Y_i}^j &= -\frac{Y^j(t) - Y_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \\ a_{Z_i}^j &= -\frac{Z^j(t) - Z_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Le equazioni di osservazione relative ai 4 satelliti sono

$$\begin{aligned} l^1 &= a_{X_i}^1 \Delta X_i + a_{Y_i}^1 \Delta Y_i + a_{Z_i}^1 \Delta Z_i - c\delta_i(t) \\ l^2 &= a_{X_i}^2 \Delta X_i + a_{Y_i}^2 \Delta Y_i + a_{Z_i}^2 \Delta Z_i - c\delta_i(t) \\ l^3 &= a_{X_i}^3 \Delta X_i + a_{Y_i}^3 \Delta Y_i + a_{Z_i}^3 \Delta Z_i - c\delta_i(t) \\ l^4 &= a_{X_i}^4 \Delta X_i + a_{Y_i}^4 \Delta Y_i + a_{Z_i}^4 \Delta Z_i - c\delta_i(t) \end{aligned} \quad (4.21)$$

e introducendo la matrice e i vettori

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{X_i}^1 & a_{Y_i}^1 & a_{Z_i}^1 & -c \\ a_{X_i}^2 & a_{Y_i}^2 & a_{Z_i}^2 & -c \\ a_{X_i}^3 & a_{Y_i}^3 & a_{Z_i}^3 & -c \\ a_{X_i}^4 & a_{Y_i}^4 & a_{Z_i}^4 & -c \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \\ \delta_i(t) \end{bmatrix} \quad \mathbf{l} = \begin{bmatrix} l^1 \\ l^2 \\ l^3 \\ l^4 \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

il sistema può essere rappresentato nella forma

$$\mathbf{l} = \mathbf{Ax} \quad (4.23)$$

#### 4.0.8 Modello linearizzato di posizionamento puntuale per mezzo di misure di fase

Il procedimento di linearizzazione è simile a quello utilizzato nella sezione precedente. L'osservabile linearizzata si scrive

$$\begin{aligned} \lambda\Phi_i^j(t) - \varrho_{i0}^j(t) - c\delta^j(t) &= -\frac{X^j(t) - X_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta X_i \\ &\quad - \frac{Y^j(t) - Y_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i0}}{\varrho_{i0}^j(t)} \Delta Z_i + \lambda N_i^j - c\delta_i(t) \end{aligned} \quad (4.24)$$

rispetto alle misure effettuate con il codice il numero di incognite è incrementato del numero delle ambiguità. Considerando 4 satelliti ed utilizzando la notazione matriciale si ha

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} \lambda\Phi_i^1(t) - \varrho_{i0}^1(t) - c\delta^1(t) \\ \lambda\Phi_i^2(t) - \varrho_{i0}^2(t) - c\delta^2(t) \\ \lambda\Phi_i^3(t) - \varrho_{i0}^3(t) - c\delta^3(t) \\ \lambda\Phi_i^4(t) - \varrho_{i0}^4(t) - c\delta^4(t) \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{X_i}^1 & a_{Y_i}^1 & a_{Z_i}^1 & \lambda & 0 & 0 & 0 & -c \\ a_{X_i}^2 & a_{Y_i}^2 & a_{Z_i}^2 & 0 & \lambda & 0 & 0 & -c \\ a_{X_i}^3 & a_{Y_i}^3 & a_{Z_i}^3 & 0 & 0 & \lambda & 0 & -c \\ a_{X_i}^4 & a_{Y_i}^4 & a_{Z_i}^4 & 0 & 0 & 0 & \lambda & -c \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

$$\mathbf{x}^T = [\Delta X_i \quad \Delta Y_i \quad \Delta Z_i \quad N_i^1 \quad N_i^2 \quad N_i^3 \quad N_i^4 \quad \delta_i(t)] \quad (4.27)$$

Osserviamo che il precedente è un sistema di 4 equazioni in 8 incognite. Questo riflette il fatto che il posizionamento puntuale con misure di fase non può essere effettuato per una singola epoca. Inoltre ogni epoca addizionale aumenta il numero di incognite di un termine dovuto all'errore di orologio. Ne segue che considerando due epoche si hanno otto equazioni in nove incognite (e il sistema rimane sottodeterminato). Per tre epoche il problema diventa sovradeterminato, perchè il numero di equazioni è 12 e il numero di incognite è 10. In quest'ultimo caso le incognite sono 1) le correzioni alle coordinate  $\Delta X_i$ ,  $\Delta Y_i$ ,  $\Delta Z_i$ , 1) le ambiguità  $N^1$ ,  $N^2$ ,  $N^3$ ,  $N^4$  relative ai 4 satelliti, 3) gli errori di orologio del ricevitore  $\delta_i(t_1)$ ,  $\delta_i(t_2)$ ,  $\delta_i(t_3)$ . Le matrici delle osservazioni, delle incognite e delle derivate parziali sono

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} \lambda \Phi_i^1(t_1) - \varrho_{i0}^1(t_1) - c\delta^1(t_1) \\ \lambda \Phi_i^2(t_1) - \varrho_{i0}^2(t_1) - c\delta^2(t_1) \\ \lambda \Phi_i^3(t_1) - \varrho_{i0}^3(t_1) - c\delta^3(t_1) \\ \lambda \Phi_i^4(t_1) - \varrho_{i0}^4(t_1) - c\delta^4(t_1) \\ \lambda \Phi_i^1(t_2) - \varrho_{i0}^1(t_2) - c\delta^1(t_2) \\ \lambda \Phi_i^2(t_2) - \varrho_{i0}^2(t_2) - c\delta^2(t_2) \\ \lambda \Phi_i^3(t_2) - \varrho_{i0}^3(t_2) - c\delta^3(t_2) \\ \lambda \Phi_i^4(t_2) - \varrho_{i0}^4(t_2) - c\delta^4(t_2) \\ \lambda \Phi_i^1(t_3) - \varrho_{i0}^1(t_3) - c\delta^1(t_3) \\ \lambda \Phi_i^2(t_3) - \varrho_{i0}^2(t_3) - c\delta^2(t_3) \\ \lambda \Phi_i^3(t_3) - \varrho_{i0}^3(t_3) - c\delta^3(t_3) \\ \lambda \Phi_i^4(t_4) - \varrho_{i0}^4(t_4) - c\delta^4(t_4) \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \\ N_i^1 \\ N_i^2 \\ N_i^3 \\ N_i^4 \\ \delta_i(t_1) \\ \delta_i(t_2) \\ \delta_i(t_3) \\ \delta_i(t_4) \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{X_i}^1(t_1) & a_{Y_i}^1(t_1) & a_{Z_i}^1(t_1) & \lambda & 0 & 0 & 0 & -c & 0 & 0 \\ a_{X_i}^2(t_1) & a_{Y_i}^2(t_1) & a_{Z_i}^2(t_1) & 0 & \lambda & 0 & 0 & -c & 0 & 0 \\ a_{X_i}^3(t_1) & a_{Y_i}^3(t_1) & a_{Z_i}^3(t_1) & 0 & 0 & \lambda & 0 & -c & 0 & 0 \\ a_{X_i}^4(t_1) & a_{Y_i}^4(t_1) & a_{Z_i}^4(t_1) & 0 & 0 & 0 & \lambda & -c & 0 & 0 \\ a_{X_i}^1(t_2) & a_{Y_i}^1(t_2) & a_{Z_i}^1(t_2) & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & -c & 0 \\ a_{X_i}^2(t_2) & a_{Y_i}^2(t_2) & a_{Z_i}^2(t_2) & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & -c & 0 \\ a_{X_i}^3(t_2) & a_{Y_i}^3(t_2) & a_{Z_i}^3(t_2) & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & -c & 0 \\ a_{X_i}^4(t_2) & a_{Y_i}^4(t_2) & a_{Z_i}^4(t_2) & 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 & -c & 0 \\ a_{X_i}^1(t_3) & a_{Y_i}^1(t_3) & a_{Z_i}^1(t_3) & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c \\ a_{X_i}^2(t_3) & a_{Y_i}^2(t_3) & a_{Z_i}^2(t_3) & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & -c \\ a_{X_i}^3(t_3) & a_{Y_i}^3(t_3) & a_{Z_i}^3(t_3) & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & -c \\ a_{X_i}^4(t_3) & a_{Y_i}^4(t_3) & a_{Z_i}^4(t_3) & 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & -c \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

### 4.0.9 Modello linearizzato per il posizionamento relativo

Consideriamo il modello matematico delle doppie differenze di fase

$$\lambda\Phi_{AB}^{jk}(t) = \varrho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk} \quad (4.30)$$

dove il termine  $\varrho_{AB}^{jk}(t)$  si scrive in modo esplicito come

$$\varrho_{AB}^{jk}(t) = \varrho_B^k(t) - \varrho_B^j(t) - \varrho_A^k(t) + \varrho_A^j(t) \quad (4.31)$$

che riflette il fatto che un'equazione alle doppie differenze combina le informazioni contenute in quattro misure simultanee. Ciascuno di questi quattro termini deve essere linearizzato

$$\begin{aligned} \varrho_{AB}^{jk}(t) = & \varrho_{B0}^k(t) - \frac{X^k(t) - X_{B0}}{\varrho_{B0}^k(t)} \Delta X_B - \frac{Y^k(t) - Y_{B0}}{\varrho_{B0}^k(t)} \Delta Y_B \\ & - \frac{Z^k(t) - Z_{B0}}{\varrho_{B0}^k(t)} \Delta Z_B \\ & - \varrho_{B0}^j(t) + \frac{X^j(t) - X_{B0}}{\varrho_{B0}^j(t)} \Delta X_B + \frac{Y^j(t) - Y_{B0}}{\varrho_{B0}^j(t)} \Delta Y_B \\ & + \frac{Z^j(t) - Z_{B0}}{\varrho_{B0}^j(t)} \Delta Z_B \\ & - \varrho_{A0}^k(t) + \frac{X^k(t) - X_{A0}}{\varrho_{A0}^k(t)} \Delta X_A + \frac{Y^k(t) - Y_{A0}}{\varrho_{A0}^k(t)} \Delta Y_A \\ & + \frac{Z^k(t) - Z_{A0}}{\varrho_{A0}^k(t)} \Delta Z_A \\ & + \varrho_{A0}^j(t) + \frac{X^j(t) - X_{A0}}{\varrho_{A0}^j(t)} \Delta X_A + \frac{Y^j(t) - Y_{A0}}{\varrho_{A0}^j(t)} \Delta Y_A \\ & + \frac{Z^j(t) - Z_{A0}}{\varrho_{A0}^j(t)} \Delta Z_A \end{aligned} \quad (4.32)$$

da cui si ottiene l'osservabile alle doppie differenze linearizzata

$$\begin{aligned} l_{AB}^{jk}(t) = & a_{X_A}^{jk}(t) \Delta X_A + a_{Y_A}^{jk}(t) \Delta Y_A + a_{Z_A}^{jk}(t) \Delta Z_A \\ & + a_{X_B}^{jk}(t) \Delta X_B + a_{Y_B}^{jk}(t) \Delta Y_B + a_{Z_B}^{jk}(t) \Delta Z_B + \lambda N_{AB}^{jk} \end{aligned} \quad (4.33)$$

dove il membro di sinistra è

$$l_{AB}^{jk}(t) = \lambda\Phi_{AB}^{jk}(t) - \varrho_{B0}^k(t) - \varrho_{B0}^j(t) + \varrho_{A0}^k(t) - \varrho_{A0}^j(t) \quad (4.34)$$

e comprende sia le quantità misurate sia i termini calcolati per mezzo della conoscenza approssimata delle coordinate. Nelle formule precedenti sono state utilizzate le

abbreviazioni

$$\begin{aligned}
a_{X_A}^{jk}(t) &= \frac{X^k(t) - X_{A0}}{\varrho_{A0}^k(t)} - \frac{X^j(t) - X_{A0}}{\varrho_{A0}^j(t)} \\
a_{Y_A}^{jk}(t) &= \frac{Y^k(t) - Y_{A0}}{\varrho_{A0}^k(t)} - \frac{Y^j(t) - Y_{A0}}{\varrho_{A0}^j(t)} \\
a_{Z_A}^{jk}(t) &= \frac{Z^k(t) - Z_{A0}}{\varrho_{A0}^k(t)} - \frac{Z^j(t) - Z_{A0}}{\varrho_{A0}^j(t)} \\
a_{X_B}^{jk}(t) &= -\frac{X^k(t) - X_{B0}}{\varrho_{B0}^k(t)} + \frac{X^j(t) - X_{B0}}{\varrho_{B0}^j(t)} \\
a_{Y_B}^{jk}(t) &= -\frac{Y^k(t) - Y_{B0}}{\varrho_{B0}^k(t)} + \frac{Y^j(t) - Y_{B0}}{\varrho_{B0}^j(t)} \\
a_{Z_B}^{jk}(t) &= -\frac{Z^k(t) - Z_{B0}}{\varrho_{B0}^k(t)} + \frac{Z^j(t) - Z_{B0}}{\varrho_{B0}^j(t)}.
\end{aligned} \tag{4.35}$$

Osserviamo che per effettuare il posizionamento relativo devono essere conosciute le coordinate di un punto (ad esempio il punto  $A$ ). Più specificatamente la conoscenza delle coordinate del punto  $A$  riduce il numero di incognite di tre perchè

$$\Delta X_A = \Delta Y_A = \Delta Z_A = 0 \tag{4.36}$$

e comporta un piccolo cambiamento nel termine di sinistra

$$l_{AB}^{jk}(t) = \lambda \Phi_{AB}^{jk}(t) - \varrho_{B0}^k(t) - \varrho_{B0}^j(t) + \varrho_A^k(t) - \varrho_A^j(t). \tag{4.37}$$

Assumendo di osservare quattro satelliti  $j, k, l, m$  alle due epoche  $t_1$  e  $t_2$  le matrici del sistema sono

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} l_{AB}^{jk}(t_1) \\ l_{AB}^{jl}(t_1) \\ l_{AB}^{jm}(t_1) \\ l_{AB}^{jk}(t_2) \\ l_{AB}^{jl}(t_2) \\ l_{AB}^{jm}(t_2) \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \Delta X_A \\ \Delta Y_A \\ \Delta Z_A \\ N_{AB}^{jk} \\ N_{AB}^{jl} \\ N_{AB}^{jm} \end{bmatrix} \tag{4.38}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{X_B}^{jk}(t_1) & a_{Y_B}^{jk}(t_1) & a_{Z_B}^{jk}(t_1) & \lambda & 0 & 0 \\ a_{X_B}^{jl}(t_1) & a_{Y_B}^{jl}(t_1) & a_{Z_B}^{jl}(t_1) & 0 & \lambda & 0 \\ a_{X_B}^{jm}(t_1) & a_{Y_B}^{jm}(t_1) & a_{Z_B}^{jm}(t_1) & 0 & 0 & \lambda \\ a_{X_B}^{jk}(t_2) & a_{Y_B}^{jk}(t_2) & a_{Z_B}^{jk}(t_2) & \lambda & 0 & 0 \\ a_{X_B}^{jl}(t_2) & a_{Y_B}^{jl}(t_2) & a_{Z_B}^{jl}(t_2) & 0 & \lambda & 0 \\ a_{X_B}^{jm}(t_2) & a_{Y_B}^{jm}(t_2) & a_{Z_B}^{jm}(t_2) & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \tag{4.39}$$

che rappresenta un sistema di equazioni determinato.





# Capitolo 5

## Combinazione delle equazioni normali

### 5.1 Introduzione

Nei precedenti capitoli abbiamo descritto il significato fisico delle osservabili GPS, evidenziando il legame esistente tra le misure di fase, o di codice, e le coordinate del ricevitore. Abbiamo verificato che tale relazione è lineare nella distanza trasmettitore-ricevitore, e negli errori associati a clock, troposfera e ionosfera. Il problema immediatamente seguente consiste nella definizione di un metodo matematico che consenta di trasferire l'informazione contenuta nelle osservazioni nella conoscenza delle coordinate del ricevitore. Tale problema è affrontato dalla teoria della stima statistica.

Nell'ambito della geodesia utilizzando osservabili GPS, la teoria della stima statistica viene utilizzata in due momenti distinti: 1) stima delle posizioni a partire dai dati di osservazione, 2) combinazione delle soluzioni. In generale, il primo punto serve a ricavare la posizione e la posizione dei siti durante una sessione di misura, mentre il secondo punto permette di combinare tra di loro i risultati di diverse sessioni. Questo approccio permette di ottenere una maggiore efficienza computazionale e una maggior flessibilità per ciò che riguarda il processo di elaborazione, e consente di risolvere il problema della definizione del sistema di riferimento.

Nel seguente capitolo descriviamo il metodo di stima ai minimi quadrati e i concetti di: pre-eliminazione dei parametri, introduzione dei vincoli e combinazione delle equazioni normali. Quanto descriviamo si basa su [6], [9], [4], [23], [51] e [52].

### 5.2 Il modello di Gauss-Markoff

Supponiamo che le osservabili siano delle funzioni lineari, in tal caso un'osservazione effettuata all'epoca  $t_i$  potrà essere rappresentata da un'equazione lineare nella seguente forma:

$$y_i = X_{i1}\beta_1 + X_{i2}\beta_2 + X_{i3}\beta_3 + \dots + X_{ij}\beta_j \quad (5.1)$$

dove  $X_{i1}$  ( $i = 1..n$ ) sono dei coefficienti conosciuti e  $\beta_u$  ( $u = 1..u$ ) sono i parametri da stimare. Il corrispondente modello di Gauss-Markoff assume allora la seguente forma, utilizzando la notazione matriciale:

$$E(y) = X\beta, \quad D(y) = \sigma^2 P^{-1} \quad (5.2)$$

dove  $X$  è una matrice  $n \times u$  di rango pieno,  $y$  è un vettore di dimensione  $n$  che rappresenta le osservazioni,  $\beta$  è un vettore di dimensione  $u$  che rappresenta i parametri da stimare ed  $E$  e  $D$  rappresentano gli operatori di aspettazione e dispersione, rispettivamente. Il parametro  $\sigma$  è sconosciuto e viene detto varianza di peso unitario (coincide con la varianza delle osservazioni se la matrice  $P$  è la matrice identità). Se ipotizziamo la presenza di errori nelle osservazioni, con valore di aspettazione nullo, possiamo scrivere equivalentemente:

$$y + e = X\beta, \quad E(e) = 0, \quad D(e) = D(y) = \sigma^2 P^{-1} \quad (5.3)$$

### 5.2.1 Metodo dei minimi quadrati

Il sistema (5.3) non ha una soluzione unica. Per trovare una soluzione nel senso dei minimi quadrati è necessario aggiungere un'ulteriore condizione. Scegliamo di assumere come soluzione quell'insieme di parametri che minimizza la seguente forma quadratica:

$$\Omega(\beta) = \frac{1}{\sigma^2} (\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta)^T \mathbf{P} (\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta). \quad (5.4)$$

Il punto di minimo si ottiene imponendo l'annullarsi del gradiente della forma quadratica:

$$\frac{\partial \Omega(\beta)}{\partial \beta} = \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \frac{\mathbf{y}^T \mathbf{y} - 2\mathbf{y}^T \mathbf{X}\beta + \beta^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\beta}{\sigma^2} \right) = \mathbf{0} \quad (5.5)$$

da cui si ottiene:

$$\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X} \hat{\beta} = \mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{y}. \quad (5.6)$$

Il sistema (5.6) viene detto sistema delle equazioni normali. Una volta determinato il vettore di parametri  $\hat{\beta}$  è possibile determinare una stima del vettore  $y$ , che definiamo come  $\hat{y}$ , sostituendo il vettore  $\hat{\beta}$  nelle equazioni (5.1). I residui si definiscono analogamente come:

$$\hat{\mathbf{e}} = \hat{\mathbf{y}} - \mathbf{y}, \quad \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{X}\hat{\beta}. \quad (5.7)$$

La stima dedotta dal sistema (5.6) ha un'interpretazione geometrica: sia  $R(X)$  lo spazio colonne definito dalla matrice  $X$ , cioè:

$$R(\mathbf{X}) = \{\mathbf{z} | \mathbf{z} \in \mathbf{X}\beta\} \quad (5.8)$$

è uno spazio di dimensione  $u$  (dall'ipotesi di rango pieno per la matrice  $X$ ) nel quale si deve stimare il vettore  $X\beta$ . Lo stimatore  $\hat{\beta}$ , nel senso dei minimi quadrati, viene determinato in modo tale che il vettore  $X\hat{\beta}$  sia una proiezione ortogonale del vettore

di osservazioni  $y \in R^n$  nello spazio colonne di  $X$ . Ricordiamo che data una matrice  $X$ , il proiettore ortogonale  $R$  ad essa associato si scrive come:

$$\mathbf{R} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \quad (5.9)$$

da cui:

$$\mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{R}\mathbf{y} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (5.10)$$

equivalente alla (5.6) nel caso che  $\mathbf{P} = \mathbf{I}$ . Se  $\mathbf{P} \neq \mathbf{I}$  è sempre possibile trovare una trasformazione lineare che permetta di ridurre la matrice dei pesi ad una matrice identità.

### 5.2.2 Linearizzazione

Nel caso che le equazioni di osservazione non siano lineari nei parametri da stimare, è necessario procedere alla loro linearizzazione. Definiamo il sistema delle osservazioni come:

$$\mathbf{y} + \mathbf{e} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\beta}), \quad \mathbf{E}(\mathbf{e}) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{D}(\mathbf{y}) = \sigma^2 \mathbf{P}^{-1} \quad (5.11)$$

dove  $\mathbf{f}(\boldsymbol{\beta})$  è una funzione differenziabile nei parametri  $\boldsymbol{\beta}$ . Supponiamo che  $\boldsymbol{\beta}_0$  sia una stima approssimata dei parametri  $\boldsymbol{\beta}$ . Allora possiamo scrivere:

$$\mathbf{f}(\boldsymbol{\beta}) = \mathbf{f}(\boldsymbol{\beta}_0) + \left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \boldsymbol{\beta}} \right|_{\boldsymbol{\beta}=\boldsymbol{\beta}_0} (\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\beta}_0) \quad (5.12)$$

da cui, ponendo:

$$\Delta \mathbf{y} = \mathbf{y} - \mathbf{f}(\boldsymbol{\beta}_0) \quad (5.13)$$

$$\mathbf{X} = \left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \boldsymbol{\beta}} \right|_{\boldsymbol{\beta}=\boldsymbol{\beta}_0} \quad (5.14)$$

$$\Delta \boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\beta}_0 \quad (5.15)$$

possiamo ottenere il seguente sistema delle equazioni normali:

$$\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X} \Delta \hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{X}^T \mathbf{P} \Delta \mathbf{y}. \quad (5.16)$$

Mentre le stime per  $\mathbf{y}$  e  $\Delta \boldsymbol{\beta}$  sono date da:

$$\mathbf{y} = \Delta \hat{\mathbf{y}} + \mathbf{f}(\boldsymbol{\beta}_0), \quad \hat{\boldsymbol{\beta}} = \Delta \hat{\boldsymbol{\beta}} + \boldsymbol{\beta}_0. \quad (5.17)$$

Per linearizzare le equazioni di osservazione è necessario che il vettore  $\boldsymbol{\beta}_0$  approssimi abbastanza bene il vettore  $\boldsymbol{\beta}$  per permettere di troncatura la funzione  $f$  al primo ordine nello sviluppo di Taylor. In generale il processo di stima basato sulle equazioni di osservazione linearizzate richiede di essere iterato alcune volte.

### 5.3 Il modello di Gauss-Markoff con vincoli sui parametri.

Supponiamo di aggiungere al sistema delle equazioni di osservazione (5.3) un ulteriore sotto-sistema, rappresentato dalla matrice  $H$ :

$$\begin{cases} \mathbf{E}(\mathbf{y}) = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}, & \mathbf{D}(\mathbf{y}) = \sigma^2 \mathbf{P}^{-1} \\ \mathbf{H}\boldsymbol{\beta} = \mathbf{w} \end{cases} \quad (5.18)$$

dove  $\mathbf{H}$  è una matrice di dimensione  $r \times u$  (con  $r < u$ ), detta matrice dei vincoli, e  $\mathbf{w}$  è un vettore di costanti conosciute, di dimensione  $r$ . Ci proponiamo di risolvere il problema attraverso una stima ai minimi quadrati che soddisfi i vincoli.

#### 5.3.1 Minimi quadrati vincolati

in questo caso il problema ai minimi quadrati diventa vincolato. Per risolverlo è necessario minimizzare la funzione di Lagrange:

$$\mathbf{L}(\boldsymbol{\beta}) = \frac{1}{\sigma^2} (\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})^T \mathbf{P} (\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}) + \frac{2\mathbf{k}^T}{\sigma^2} (\mathbf{H}\boldsymbol{\beta} - \mathbf{w}) \quad (5.19)$$

dove il vettore  $\mathbf{k}$  ( $\dim(\mathbf{k}) = r$ ) rappresenta i moltiplicatori di Lagrange. Il gradiente della funzione  $\mathbf{L}(\boldsymbol{\beta})$  è:

$$\frac{\partial \mathbf{L}(\boldsymbol{\beta})}{\partial \boldsymbol{\beta}} = \frac{1}{\sigma^2} (-2\mathbf{X}^T \mathbf{y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + 2\mathbf{H}^T \mathbf{k}) \quad (5.20)$$

da cui si ottiene il seguente sistema di equazioni normali:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X} & \mathbf{H}^T \\ \mathbf{H} & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{\boldsymbol{\beta}} \\ \mathbf{k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{y} \\ \mathbf{w} \end{pmatrix}. \quad (5.21)$$

Risolvendo il sistema delle equazioni normali (5.21) si ottengono le seguenti stime:

$$\begin{aligned} \tilde{\boldsymbol{\beta}} &= \hat{\boldsymbol{\beta}} - (\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{H}^T (\mathbf{H} (\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{H}^T)^{-1} (\mathbf{H} \hat{\boldsymbol{\beta}} - \mathbf{w}) \\ \mathbf{D}(\tilde{\boldsymbol{\beta}}) &= \sigma^2 ((\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X})^{-1} - (\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{H}^T (\mathbf{H} (\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{H} (\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X})^{-1}) \\ \tilde{\Omega} &= \mathbf{y}^T \mathbf{P} \mathbf{y} - \mathbf{y}^T \mathbf{P} \mathbf{X} \tilde{\boldsymbol{\beta}} - \mathbf{w}^T \mathbf{k} = \Omega + (\tilde{\boldsymbol{\beta}} - \hat{\boldsymbol{\beta}})^T (\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X})^{-1} (\tilde{\boldsymbol{\beta}} - \hat{\boldsymbol{\beta}}) \\ \tilde{\sigma}^2 &= \frac{\tilde{\Omega}}{n - u + r} \end{aligned} \quad (5.22)$$

dove  $\tilde{\boldsymbol{\beta}}$ ,  $\tilde{\Omega}$ ,  $\tilde{\sigma}^2$  rappresentano stima dei parametri, forma quadratica e varianza del peso unitario per il problema vincolato, mentre  $\hat{\boldsymbol{\beta}}$  rappresenta la stima dei parametri per il problema libero. La quantità  $\tilde{\Omega} - \Omega$  rappresenta la misura dell'effetto dell'introduzione di un vincolo.

## 5.4 Pre eliminazione dei parametri

In questa sezione descriviamo il principio su cui si fonda la pre-eliminazione dei parametri. Tale procedimento permette di ridurre le dimensioni del sistema delle equazioni normali, eliminando i parametri che non interessa stimare. Vedremo nei capitoli successivi che tale procedimento è essenziale nello studio delle serie storiche di stazioni permanenti.

Supponiamo di avere un sistema di equazioni normali nella forma:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{N}_{11} & \mathbf{N}_{12} \\ \mathbf{N}_{21} & \mathbf{N}_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \boldsymbol{\beta}_1 \\ \boldsymbol{\beta}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{B}_2 \end{pmatrix} \quad (5.23)$$

Dove abbiamo suddiviso il vettore  $\mathbf{B}$  di parametri da stimare nei vettori  $\boldsymbol{\beta}_1$  e  $\boldsymbol{\beta}_2$ :

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\beta}_1 \\ \boldsymbol{\beta}_2 \end{pmatrix} \quad (5.24)$$

Siamo interessati ad eliminare il vettore  $\boldsymbol{\beta}_2$ , perciò moltiplichiamo la seconda riga del sistema di equazioni normali per la matrice:

$$-\mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}$$

sommando le due righe si ottiene

$$(\mathbf{N}_{11} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{N}_{12})\boldsymbol{\beta}_1 = \mathbf{B}_1 - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{b}_2. \quad (5.25)$$

In questo secondo sistema non è più esplicitamente presente il vettore  $\boldsymbol{\beta}_2$ , anche se il sistema continua a mantenere tutta l'informazione relativa ad esso. La forma quadratica associata a questo nuovo sistema si calcola nel seguente modo:

$$\begin{aligned} \Omega &= \mathbf{y}'\mathbf{P}\mathbf{y} - \mathbf{y}'\mathbf{P}\mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{P}\mathbf{y} - (\mathbf{b}'_1\mathbf{b}'_2) \begin{pmatrix} \boldsymbol{\beta}_1 \\ \boldsymbol{\beta}_2 \end{pmatrix} \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{P}\mathbf{y} - \mathbf{b}'_1\boldsymbol{\beta}_1 - \mathbf{b}'_2\mathbf{N}_{22}^{-1}(\mathbf{b}_2 - \mathbf{N}_{21}\boldsymbol{\beta}_1) \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{P}\mathbf{y} - \mathbf{b}'_1\boldsymbol{\beta}_1 - \mathbf{b}'_2\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{b}_2 - \mathbf{b}'_2\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{N}_{21}\boldsymbol{\beta}_1 \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{P}\mathbf{y} - \boldsymbol{\beta}'_1(\mathbf{b}_1 - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{b}_2) - \mathbf{b}'_2\mathbf{N}_{22}\mathbf{b}_2 \end{aligned} \quad (5.26)$$

La forma quadratica relativa all'equazione

$$(\mathbf{N}_{11} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{N}_{12})\boldsymbol{\beta}_1 = \mathbf{B}_1 - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{b}_2$$

è stata corretta dal termine

$$\mathbf{c} = -\mathbf{b}'_2\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{b}_2. \quad (5.27)$$

Il parametro  $\boldsymbol{\beta}_2$  può essere ricalcolato mediante:

$$\boldsymbol{\beta}_2 = \mathbf{N}_{22}^{-1}(\mathbf{b}_2 - \mathbf{N}_{21}\boldsymbol{\beta}_1). \quad (5.28)$$

La matrici di covarianza dei vettori  $\beta_1$  e  $\beta_2$  si determinano mediante la legge di propagazione degli errori:

$$\mathbf{Q}_{\beta_2\beta_2} = \mathbf{N}_{22}^{-1} + \mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{N}_{21} (\mathbf{N}_{11} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{N}_{12})^{-1} \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}^{-1} \quad (5.29)$$

$$\mathbf{Q}_{\beta_1\beta_1} = (\mathbf{N}_{11} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{22}^{-1}\mathbf{N}_{12})^{-1}. \quad (5.30)$$

Utilizzando l'identità matriciale:

$$(\mathbf{A}^{-1} - \mathbf{B}\mathbf{D}^{-1}\mathbf{C})^{-1} = \mathbf{A} + \mathbf{A}\mathbf{B}(\mathbf{D} - \mathbf{C}\mathbf{A}\mathbf{B})^{-1}\mathbf{C}\mathbf{A} \quad (5.31)$$

la matrice  $\mathbf{Q}_{\beta_1\beta_1}$  può essere riscritta come

$$\mathbf{Q}_{\beta_1\beta_1} = \mathbf{N}_{11}^{-1} + \mathbf{N}_{11}^{-1}\mathbf{N}_{21} (\mathbf{N}_{22} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{11}^{-1}\mathbf{N}_{12})^{-1} \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{11}^{-1}. \quad (5.32)$$

La somiglianza con la matrice  $\mathbf{Q}_{\beta_2\beta_2}$  è dovuta al fatto che la selezione degli indici è arbitraria.

Invertendo il sistema di equazioni normali nella forma partizionata si ha

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \mathbf{N}_{11} & \mathbf{N}_{12} \\ \mathbf{N}_{21} & \mathbf{N}_{22} \end{pmatrix}^{-1} \\ &= \begin{pmatrix} \mathbf{N}_{11}^{-1} + \mathbf{N}_{11}^{-1}\mathbf{N}_{21} (\mathbf{N}_{22} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{11}^{-1}\mathbf{N}_{12})^{-1} \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{11}^{-1} & - (\mathbf{N}_{22} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{11}^{-1}\mathbf{N}_{12})^{-1} \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{11}^{-1} \\ -\mathbf{N}_{11}^{-1}\mathbf{N}_{12} (\mathbf{N}_{22} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{11}^{-1}\mathbf{N}_{12})^{-1} & (\mathbf{N}_{22} - \mathbf{N}_{12}\mathbf{N}_{11}^{-1}\mathbf{N}_{12})^{-1} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (5.33)$$

ed è evidente che la matrice  $\mathbf{Q}_{\beta_1\beta_1}$  si ottiene dalla matrice di covarianza iniziale eliminando le righe e le colonne relative al vettore  $\beta_2$ .

## 5.5 Combinazione delle equazioni normali

Il concetto fondamentale su cui si basa la stima sequenziale di parametri è che i risultati ottenuti elaborando tutti i dati in un unico passo coincidono con quelli ottenuti suddividendo in varie parti indipendenti l'elaborazione, e poi combinando tali parti in un'unica soluzione globale. Per provare questo concetto risolviamo lo stesso problema in un unico passo e poi confrontiamo i risultati con quelli ottenuti risolvendo lo stesso problema sequenzialmente. sia  $\mathbf{y}_c$  il vettore delle osservazioni, indichiamo le equazioni di osservazione con la scrittura

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_1 + \mathbf{v}_1 &= \mathbf{A}_1\mathbf{p}_c & \mathbf{D}(\mathbf{y}_1) &= \sigma_1^2\mathbf{P}_1^{-1} \\ \mathbf{y}_2 + \mathbf{v}_2 &= \mathbf{A}_2\mathbf{p}_c & \mathbf{D}(\mathbf{y}_2) &= \sigma_2^2\mathbf{P}_2^{-1}. \end{aligned} \quad (5.34)$$

In questo caso abbiamo diviso il vettore  $\mathbf{y}_c$  in due serie indipendenti di osservazioni  $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2$ . Siamo intenzionati a stimare il vettore  $\mathbf{p}_c$  dei parametri comuni a entrambe le serie di osservazioni, assumendo che non esista alcun parametro che sia caratteristico di un'unica serie di osservazioni. La dimostrazione che il metodo sequenziale è equivalente al metodo batch è basata sull'assunzione che le due serie di osservazioni siano indipendenti.

### 5.5.1 Stima batch

Le equazioni precedenti si possono riscrivere in forma matriciale come

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \mathbf{A}_2 \end{bmatrix} [\mathbf{p}_c] \quad (5.35)$$

con

$$\mathbf{D} \left( \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \end{bmatrix} \right) = \sigma_c^2 \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_2^{-1} \end{bmatrix}. \quad (5.36)$$

Con una notazione compatta le precedenti equazioni si scrivono come

$$\mathbf{y}_c + \mathbf{v}_c = \mathbf{A}_c \mathbf{p}_c \quad \mathbf{D}(\mathbf{y}_c) = \sigma_c^2 \mathbf{P}_c^{-1}. \quad (5.37)$$

L'indipendenza delle due serie di osservazioni è data dalla forma della matrice di dispersione (diagonale a blocchi). Il sistema delle equazioni normali è quindi

$$[\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2] [\hat{\mathbf{p}}_c] = [\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 + \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2] \quad (5.38)$$

### 5.5.2 Stima sequenziale

Nel primo passo di elaborazione l'algoritmo di stima sequenziale tratta ogni serie di osservazioni come indipendente. La stima dei parametri incogniti è effettuata solo utilizzando le osservazioni contenute in quella specifica serie osservativa. Nel successivo passo di elaborazione viene determinato il contributo di ciascuna stima parziale dei parametri alla soluzione globale. Utilizzando le notazioni della sezione precedente scriviamo le equazioni di osservazione

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_1 + \mathbf{v}_1 &= \mathbf{A}_1 \mathbf{p}_c & \mathbf{D}(\mathbf{y}_1) &= \sigma_1^2 \mathbf{P}_1^{-1} \\ \mathbf{y}_2 + \mathbf{v}_2 &= \mathbf{A}_2 \mathbf{p}_c & \mathbf{D}(\mathbf{y}_2) &= \sigma_2^2 \mathbf{P}_2^{-1} \end{aligned} \quad (5.39)$$

o più generalmente

$$\mathbf{y}_i + \mathbf{v}_i = \mathbf{A}_i \mathbf{p} \quad \mathbf{D}(\mathbf{y}_i) = \sigma_i^2 \mathbf{P}_i^{-1}. \quad i = 1, 2 \quad (5.40)$$

dove il vettore  $\mathbf{p}$  indica quel sottoinsieme di parametri comuni del vettore  $\mathbf{p}_c$  relativi all'  $i$ -esima serie di osservazioni.

Ogni sistema individuale di equazioni normali si scrive

$$\begin{aligned} [\mathbf{A}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{A}_i] [\hat{\mathbf{p}}_i] &= \mathbf{A}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{y}_i \\ \mathbf{D}(\mathbf{p}_i) &= \hat{\sigma}^2 \quad \frac{2}{i} (\mathbf{A}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{A}_i)^{-1} = \hat{\sigma}_i^2 \boldsymbol{\Sigma}_i \end{aligned} \quad (5.41)$$

dove  $\boldsymbol{\Sigma}_i$  indica la matrice dei pesi. Nel secondo passo di elaborazione deriviamo la stima per il vettore  $\hat{\mathbf{p}}_c$  utilizzando i risultati delle soluzioni parziali appena trovate. I vettori  $\mathbf{p}_1$  e  $\mathbf{p}_2$  vengono utilizzati come pseudo-osservazioni. Il sistema delle pseudo-osservazioni ha la forma

$$\mathbf{y}_p + \mathbf{v}_p = \mathbf{A}_p \hat{\mathbf{p}}_c \quad \mathbf{D}(\mathbf{y}_p) = \sigma_c^2 \mathbf{P}_p^{-1} \quad (5.42)$$

ed esplicitamente

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{p}}_1 \\ \hat{\mathbf{p}}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{p1} \\ \mathbf{v}_{p2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{I} \end{bmatrix} \hat{\mathbf{p}}_c \quad \mathbf{D} \left( \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{p}}_1 \\ \hat{\mathbf{p}}_2 \end{bmatrix} \right) = \sigma_c^2 \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Sigma}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{\Sigma}_2 \end{bmatrix}. \quad (5.43)$$

I risultati delle stime parziali vengono utilizzati per ottenere la stima globale. Ogni stima parziale è introdotta come una nuova osservazione nel sistema di pseudo-osservazioni utilizzando la matrice di covarianza associata come matrice dei pesi. Il sistema di equazioni normali è

$$[\mathbf{A}_p^T \mathbf{P}_p \mathbf{A}_p] \hat{\mathbf{p}}_c = \mathbf{A}_p^T \mathbf{P}_p \mathbf{y}_p \quad (5.44)$$

ed in forma esplicita

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}^T & \mathbf{I}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Sigma}_1^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{\Sigma}_2^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ I \end{bmatrix} \hat{\mathbf{p}}_c = \begin{bmatrix} \mathbf{I}^T & \mathbf{I}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Sigma}_1^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{\Sigma}_2^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{p}}_1 \\ \hat{\mathbf{p}}_2 \end{bmatrix}. \quad (5.45)$$

Sostituendo  $\boldsymbol{\Sigma}_i^{-1}$  si ha

$$[\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2] [\hat{\mathbf{p}}_c] = [\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 + \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2], \quad (5.46)$$

identica all'equazioni trovata con il metodo batch. La sovrapposizione delle equazioni normali (detta stacking) è sempre possibile se le serie di osservazioni sono indipendenti (cioè la matrice di dispersione è diagonale a blocchi).

## 5.6 Trasformazione dei parametri.

Lo stacking delle equazioni normali descritto nel capitolo precedente può essere effettuato solo se tutte le equazioni normali si riferiscono agli stessi valori a priori dei parametri da stimare. Se questo non è vero allora è necessario prima effettuare una trasformazione dei parametri per avere lo stesso insieme di valori a priori.

Consideriamo il seguente sistema di equazioni di osservazione linearizzato:

$$\Delta \mathbf{y} + \mathbf{e} = \mathbf{X} \Delta \boldsymbol{\beta}; \quad D(\Delta \mathbf{y}) = \sigma^2 \mathbf{P}^{-1}. \quad (5.47)$$

Il corrispondente set di equazioni normali è

$$\mathbf{X}' \mathbf{P} \mathbf{X} \Delta \boldsymbol{\beta} = \mathbf{X}' \mathbf{P} \Delta \mathbf{y} \quad (5.48)$$

e in forma abbreviata

$$\mathbf{X} \mathbf{N} \Delta \boldsymbol{\beta} = \mathbf{b} \quad (5.49)$$

con  $\mathbf{N} = \mathbf{X}' \mathbf{P} \mathbf{X}$  e  $\mathbf{b} = \mathbf{X}' \mathbf{P} \Delta \mathbf{y}$ . Supponiamo che la trasformazione del parametro  $\Delta \boldsymbol{\beta}$  si data da

$$\Delta \boldsymbol{\beta} = \mathbf{B} \Delta \tilde{\boldsymbol{\beta}} + \mathbf{d} \boldsymbol{\beta} \quad (5.50)$$



e introduciamo questa relazione nelle equazioni di osservazione. Otteniamo

$$\Delta \mathbf{y} - \mathbf{X} \mathbf{d} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{e} = \mathbf{X} \mathbf{B} \Delta \tilde{\boldsymbol{\beta}} \quad (5.51)$$

e le equazioni normali associate sono

$$\begin{aligned} \mathbf{B}' \mathbf{X}' \mathbf{P} \mathbf{X} \mathbf{B} \Delta \tilde{\boldsymbol{\beta}} &= \mathbf{B}' \mathbf{X}' \mathbf{P} \Delta \tilde{\mathbf{y}} \\ \text{con } \Delta \tilde{\mathbf{y}} &= (\Delta \mathbf{y} - \mathbf{X} \mathbf{d} \boldsymbol{\beta}) \end{aligned} \quad (5.52)$$

la forma quadratica è data infine da

$$\begin{aligned} \Delta \tilde{\mathbf{y}}' \mathbf{P} \Delta \tilde{\mathbf{y}} &= (\Delta \mathbf{y} - \mathbf{X} \mathbf{d} \boldsymbol{\beta})' \mathbf{P} (\Delta \mathbf{y} - \mathbf{X} \mathbf{d} \boldsymbol{\beta}) \\ &= \Delta \mathbf{y}' \mathbf{P} \Delta \mathbf{y} - 2 \Delta \mathbf{y}' \mathbf{P} \mathbf{X} \mathbf{d} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{d} \boldsymbol{\beta}' \mathbf{X}' \mathbf{P} \mathbf{X} \mathbf{d} \boldsymbol{\beta} \\ &= \Delta \mathbf{y}' \mathbf{P} \Delta \mathbf{y} - 2 \mathbf{b}' \mathbf{d} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{d} \boldsymbol{\beta}' \mathbf{N} \mathbf{d} \boldsymbol{\beta}. \end{aligned} \quad (5.53)$$

## 5.7 Introduzione di parametri addizionali

E' possibile introdurre nei sistemi di equazioni normali alcuni parametri addizionali, se l'influenza di tali parametri sulla soluzione sequenziale è trascurabile. Assumiamo che esista una relazione tra il parametro  $\beta_i$ , relativo alla combinazione sequenziale di  $m$  sistemi di equazioni normali e i nuovi parametri  $\delta_1$  e  $\delta_2$ , nella forma:

$$\beta_i = \mathbf{f}(\boldsymbol{\delta}_1) + \mathbf{g}(\boldsymbol{\delta}_2) \quad \text{con } i = 1, m \quad (5.54)$$

In forma linearizzata si ha

$$\beta_i = \mathbf{F}_i \boldsymbol{\delta}_1 + \mathbf{G}_i \boldsymbol{\delta}_2 + \mathbf{c}_i. \quad (5.55)$$

Con riferimento al paragrafo precedente possiamo identificare la matrice  $\mathbf{B}$  e il vettori di costanti  $\mathbf{d} \boldsymbol{\beta}$  con le matrici  $\mathbf{F}_i$ ,  $\mathbf{G}_i$  e  $\mathbf{c}_i$

$$\mathbf{B} = (\mathbf{F}_i, \mathbf{G}_i) \quad \mathbf{d} \boldsymbol{\beta}_i = \mathbf{c}_i. \quad (5.56)$$

Il sistema delle equazioni normali trasformato diventa

$$\tilde{\mathbf{N}} \tilde{\boldsymbol{\beta}} = \tilde{\mathbf{b}} \quad (5.57)$$

con

$$\begin{aligned} \tilde{\boldsymbol{\beta}} &= \begin{pmatrix} \boldsymbol{\delta}_1 \\ \boldsymbol{\delta}_2 \end{pmatrix} \\ \tilde{\mathbf{N}} &= \begin{pmatrix} \mathbf{F}'_i \mathbf{N}_i \mathbf{F}_i & \mathbf{F}'_i \mathbf{N}_i \mathbf{G}_i \\ \mathbf{G}'_i \mathbf{N}_i \mathbf{F}_i & \mathbf{G}'_i \mathbf{N}_i \mathbf{G}_i \end{pmatrix} \\ \tilde{\mathbf{b}} &= \begin{pmatrix} \mathbf{F}'_i (\mathbf{b}_i - \mathbf{N}_i \mathbf{c}_i) \\ \mathbf{G}'_i (\mathbf{b}_i - \mathbf{N}_i \mathbf{c}_i) \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (5.58)$$

Se effettuiamo lo stacking di due sistemi di equazioni normali otteniamo

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \mathbf{F}'_1 \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1 \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}'_2 \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2 \mathbf{F}_2 & \mathbf{F}'_1 \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1 \mathbf{G}_1 + \mathbf{F}'_2 \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2 \mathbf{G}_2 \\ \mathbf{G}'_1 \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1 \mathbf{F}_1 + \mathbf{G}'_2 \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2 \mathbf{F}_2 & \mathbf{G}'_1 \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1 \mathbf{G}_1 + \mathbf{G}'_2 \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2 \mathbf{G}_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{pmatrix} \\ = & \begin{pmatrix} \mathbf{F}'_1 \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 + \mathbf{F}'_2 \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2 - \mathbf{F}'_1 \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 \mathbf{c}_1 - \mathbf{F}'_2 \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2 \mathbf{c}_2 \\ \mathbf{G}'_1 \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 + \mathbf{G}'_2 \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2 - \mathbf{G}'_1 \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 \mathbf{c}_1 - \mathbf{G}'_2 \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2 \mathbf{c}_2 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (5.59)$$

Assumiamo ora che le coordinate di ciascun sito variino linearmente nel tempo; La relazione tra il parametro  $\beta_i$ , che rappresenta la posizione delle stazioni al tempo  $\mathbf{t}_i$  e il parametro  $\beta_{t_0}$  rappresentante le coordinate delle stazioni all'epoca di riferimento  $t_0$ , si scrive nella forma

$$\beta_i = \beta_{t_0} + \Delta \mathbf{t}_i \mathbf{v}_{t_0} \quad (5.60)$$

dove  $\Delta \mathbf{t}_i = \mathbf{t}_i - \mathbf{t}_0$ . Assumiamo inoltre che

$$\mathbf{c}_i = \mathbf{0} \quad \mathbf{F}_i = \mathbf{I}_i \quad \mathbf{G}_i = \Delta \mathbf{t}_i \mathbf{I}_i \quad (5.61)$$

in tal modo, dopo aver effettuato lo stacking, il sistema delle equazioni normali diviene:

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1 + \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2 & \Delta \mathbf{t}_1 (\mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1) + \Delta \mathbf{t}_2 (\mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2) \\ \Delta \mathbf{t}_1 (\mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1) + \Delta \mathbf{t}_2 (\mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2) & \Delta \mathbf{t}_1^2 (\mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1) + \Delta \mathbf{t}_2^2 (\mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_{t_0} \\ \mathbf{v}_{t_0} \end{pmatrix} \\ = & \begin{pmatrix} \mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 + \mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2 \\ \Delta \mathbf{t}_1 (\mathbf{X}'_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1) + \Delta \mathbf{t}_2 (\mathbf{X}'_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2) \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (5.62)$$

Osserviamo infine che la trasformazione  $\beta_i = \beta_{t_0} + \Delta \mathbf{t}_i \mathbf{v}_{t_0}$  ha consentito di ridurre il numero di incognite da  $m$  vettori di parametri al vettore di parametri  $\begin{pmatrix} \beta_{t_0} \\ \mathbf{v}_{t_0} \end{pmatrix}$ .

## 5.8 Sistemi di equazioni normali vincolati

In generale, le osservazioni di un dato tipo non sono sensibili a tutti i parametri compresi nel modello teorico. In tal caso le equazioni normali  $\mathbf{N}\beta = \mathbf{b}$  sono singolari (in tal caso  $\det(\mathbf{N}) = 0$ ). Un caso semplice è quello dell'osservabile costituita dalla misura della distanza, che non contiene l'informazione sull'orientazione della rete.

In tal caso è necessario inserire dei vincoli per rimuovere la singolarità dalle equazioni normali. Il modo più diretto è quello di fissare le coordinate di almeno una stazione, tuttavia in questo caso l'informazione sulle coordinate di quella stazione è definitivamente persa. Un metodo più flessibile è quello di vincolare le coordinate di alcuni siti tramite un sistema di pseudo osservazioni del tipo seguente

$$\mathbf{w} + \mathbf{e}_w = \mathbf{H}\beta \quad \mathbf{D}(\mathbf{w}) = \sigma^2 \mathbf{P}_w^{-1} \quad (5.63)$$

dove  $\mathbf{H}$  è una matrice di dimensione  $r \times u$  con  $rg(\mathbf{H}) = r$ ,  $r$  è il numero di vincoli, sempre inferiore al numero delle incognite,  $\mathbf{e}_w$  è il vettore dei residui,  $\beta$  il vettore

dei parametri da stimare e  $\mathbf{w}$  un vettore di costanti conosciute di dimensione  $r$ . Osserviamo che il modello di Gauss-Markoff vincolato rientra nel caso precedente se si verifica che:

$$\mathbf{P}_w = \mathbf{0} \quad (5.64)$$

Il sistema delle equazioni di osservazione, aumentato di quello di pseudo osservazioni ha la forma:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{w} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{e}_y \\ \mathbf{e}_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{H} \end{pmatrix} \tilde{\boldsymbol{\beta}} \quad D \begin{pmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{w} \end{pmatrix} = \sigma^2 \begin{pmatrix} \mathbf{P}^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_w^{-1} \end{pmatrix} \quad (5.65)$$

il sistema di equazioni normali associato è

$$(\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X} + \mathbf{H}^T \mathbf{P}_w \mathbf{H}) \tilde{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{y} + \mathbf{H}^T \mathbf{P}_w \mathbf{w}. \quad (5.66)$$

Se indichiamo con  $\Sigma_c^{-1}$  il sistema delle equazioni normali vincolato,

$$\Sigma_c^{-1} = (\mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X} + \mathbf{H}^T \mathbf{P}_w \mathbf{H}) \quad (5.67)$$

e con  $\Sigma_{free}^{-1}$  e  $\Sigma_{vinc}^{-1}$  il sistema delle equazioni normali senza vincoli e il sistema delle equazioni normali corrispondente al sistema di pseudo osservazioni,

$$\begin{aligned} \Sigma_{free}^{-1} &= \mathbf{X}^T \mathbf{P} \mathbf{X} \\ \Sigma_{vinc}^{-1} &= \mathbf{H}^T \mathbf{P}_w \mathbf{H} \end{aligned} \quad (5.68)$$

allora possiamo scrivere:

$$\Sigma_c^{-1} = \Sigma_{free}^{-1} + \Sigma_{vinc}^{-1} \quad (5.69)$$

da cui segue

$$\Sigma_{free}^{-1} = \Sigma_c^{-1} - \Sigma_{vinc}^{-1}. \quad (5.70)$$

Ne segue che conoscendo le matrici  $\Sigma_c^{-1}$  e  $\Sigma_{vinc}^{-1}$  è possibile ricostruire il sistema di equazioni normali non vincolate  $\Sigma_{free}^{-1}$ . La forma quadratica che viene minimizzata si scrive come:

$$\tilde{\Omega} = \mathbf{e}_y^T \mathbf{P} \mathbf{e}_y + \mathbf{e}_w^T \mathbf{P} \mathbf{e}_w \quad (5.71)$$

$$= \mathbf{y}^T \mathbf{P} \mathbf{y} + \mathbf{w}^T \mathbf{P}_w \mathbf{w} - (\mathbf{y}^T \mathbf{P} \mathbf{X} + \mathbf{w}^T \mathbf{P}_w \mathbf{H}) \tilde{\boldsymbol{\beta}} \quad (5.72)$$

$$= \mathbf{y}^T \mathbf{P} \mathbf{y} + \tilde{\mathbf{b}} \mathbf{P} \tilde{\boldsymbol{\beta}} + \mathbf{w}^T \mathbf{P}_w \mathbf{w} \quad (5.73)$$

avendo posto:

$$\mathbf{e}_y = \mathbf{X} \tilde{\boldsymbol{\beta}} - \mathbf{y} \quad (5.74)$$

$$\mathbf{e}_w = \mathbf{H} \tilde{\boldsymbol{\beta}} - \mathbf{w} \quad (5.75)$$

La stima della varianza di peso unitario è:

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{\tilde{\Omega}}{n_y - u_y + n_w} \quad (5.76)$$

Supponiamo di voler vincolare la componente  $\beta_j$  del vettore  $\beta$ . In tal caso introduciamo l'equazione di pseudo osservazione

$$\beta_j + e_j = 0 \quad D(\beta_j) = \sigma^2 P_j^{-1} \quad (5.77)$$

e con

$$r = 1 \quad w = w_j = 0 \quad H = I_j = (0, 0, 0, \dots, 1_j, 0, \dots, 0) \quad P_w = \text{diag}(0, 0, 0, \dots, 1_j, 0, \dots, 0) \quad (5.78)$$

In questo modo è possibile vincolare le coordinate di qualsiasi stazione ai suoi valori a priori. Le coordinate di due stazioni vicine possono essere vincolate, invece, utilizzando il seguente vincolo:

$$\beta_i - \beta_j = 0 \quad (5.79)$$

dove  $\beta_j$  e  $\beta_i$  rappresentano le coordinate cartesiane della stazione  $j$  ed  $i$ , rispettivamente. Per vincolare le coordinate ellissoidiche è necessario introdurre la matrice jacobiana della trasformazione tra coordinate cartesiane e ellissoidiche:

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varphi}{\partial x} & \frac{\partial \varphi}{\partial y} & \frac{\partial \varphi}{\partial z} \\ \frac{\partial \lambda}{\partial x} & \frac{\partial \lambda}{\partial y} & \frac{\partial \lambda}{\partial z} \\ \frac{\partial h}{\partial x} & \frac{\partial h}{\partial y} & \frac{\partial h}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (5.80)$$

In tal caso il vincolo relativo diventa

$$H_i \beta_i - H_j \beta_j = 0 \quad (5.81)$$

## 5.9 Applicazione

Diamo una dimostrazione dei concetti descritti nei paragrafi precedenti applicandoli al modello di osservabile utilizzato dal software CATREF.

### 5.9.1 Un semplice modello di osservabile

Supponiamo che la rete sia costituita da  $n$  siti, e che la posizione di ogni sito sia individuata dal vettore:

$$\mathbf{r}_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} \quad i = 1, \dots, n \quad (5.82)$$

e che la matrice di covarianza del vettore  $r_i$  sia indicata da:

$$\Sigma_i = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_y^2 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}_i \quad i = 1, \dots, n. \quad (5.83)$$

Dunque potremmo scrivere il seguente equazioni di osservazione:

$$\begin{cases} r_1 = r_1 \\ r_2 = r_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ r_n = r_n \end{cases} \quad (5.84)$$

In notazione matriciale il sistema diventa:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \mathbf{r}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{r}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{I}_1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I}_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \mathbf{r}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{r}_n \end{pmatrix}, \quad \Sigma = \begin{pmatrix} \Sigma_1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Sigma_2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \Sigma_n \end{pmatrix} \quad (5.85)$$

dove:

$$\mathbf{I}_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad i = 1, \dots, n \quad (5.86)$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{I}_1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I}_n \end{pmatrix} \quad (5.87)$$

e ponendo:

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \mathbf{r}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{r}_n \end{pmatrix} \quad (5.88)$$

si ottiene, banalmente :

$$\mathbf{r} = \mathbf{A}\mathbf{r}, \quad \Sigma. \quad (5.89)$$

Il sistema precedente può essere risolto con il metodo dei minimi quadrati. Ponendo:

$$\mathbf{P} = \Sigma^{-1} \quad (5.90)$$

possiamo scrivere il sistema delle equazioni normali come:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \hat{\mathbf{r}} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{r}. \quad (5.91)$$

Supponiamo ora di avere a disposizione  $m$  sistemi del tipo (5.85). Tali sistemi di equazioni possono derivare da diverse compagnie di misura della rete, e differiranno

nei valori delle coordinate e delle matrici di covarianza associate. Per ogni campagna  $k$  possiamo pertanto scrivere un sistema di equazioni normali:

$$\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{r}}_k = \mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{r}_k. \quad (5.92)$$

Effettuando lo stacking dei sistemi di equazioni normali si ha:

$$\left( \sum_{k=1,m} \mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k \right) r = \left( \sum_{k=1,m} \mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{r}_k \right) \quad (5.93)$$

osserviamo che se la matrice di covarianza (5.83) è diagonale, allora le coordinate di ogni sito determinate per mezzo dell'equazione (5.93) corrispondono alla media pesata delle coordinate determinate per quel particolare sito per ogni campagna.

Il sistema di equazioni di osservazione (5.85) è molto semplice ma permette di comprendere il significato dello stacking. Tuttavia non consente di stimare le velocità dei siti e non permette di quantificare la consistenza tra i  $k$  sistemi di riferimento corrispondenti alle  $k$  campagne di misura. E' necessario perciò introdurre un modello di osservabile, per le coordinate e le velocità, che contenga quei parametri che permettano di confrontare più sistemi di riferimento.

## 5.9.2 Modello di osservabile basato su una trasformazione di similitudine

### Trasformazione di similitudine e linearizzazione

Consideriamo due sistemi di riferimento ortonormali, sappiamo che le coordinate dello stesso punto nei due diversi sistemi di riferimento sono legate dalla seguente equazione:

$$\mathbf{X}_2 = \mathbf{T} + \lambda \Theta \mathbf{X}_1 \quad (5.94)$$

dove  $T$  è un vettore che descrive una traslazione dell'origine del sistema di riferimento,  $\lambda$  è un fattore di scala e  $\mathbf{R}$  è una matrice di rotazione:

$$\Theta = \mathbf{R}_x \mathbf{R}_y \mathbf{R}_z \quad (5.95)$$

dove  $R_x$ ,  $R_y$  e  $R_z$  sono le note matrici di rotazione attorno agli assi coordinati:

$$\mathbf{R}_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos R_1 & \sin R_1 \\ 0 & -\sin R_1 & \cos R_1 \end{pmatrix} \quad (5.96)$$

$$\mathbf{R}_y = \begin{pmatrix} \cos R_2 & 0 & -\sin R_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin R_2 & 0 & \cos R_2 \end{pmatrix} \quad (5.97)$$

$$\mathbf{R}_z = \begin{pmatrix} \cos R_3 & \sin R_3 & 0 \\ -\sin R_3 & \cos R_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.98)$$

In geodesia la norma del vettore che definisce la traslazione è  $< 100$  m, mentre le rotazioni e il parametro di scala sono dell'ordine di  $10^{-5}$ , pertanto l'equazione (??) può essere linearizzata:

$$\mathbf{X}_2 = \mathbf{X}_1 + \mathbf{T} + \mathbf{D}\mathbf{X}_1 + \mathbf{R}\mathbf{X}_1 \quad (5.99)$$

avendo posto  $\lambda = 1 + D$ , e avendo linearizzato la matrice di rotazione:

$$\Theta = \mathbf{I} + \mathbf{R} \quad (5.100)$$

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (5.101)$$

La relazione tra le velocità si ricava per derivazione dall'eq. (5.99):

$$\dot{\mathbf{X}}_2 = \dot{\mathbf{X}}_1 + \dot{\mathbf{T}} + \mathbf{D}\dot{\mathbf{X}}_1 + \dot{\mathbf{D}}\mathbf{X}_1 + \mathbf{R}\dot{\mathbf{X}}_1 + \dot{\mathbf{R}}\mathbf{X}_1. \quad (5.102)$$

Nell'eq. (5.103) i termini  $\mathbf{D}\dot{\mathbf{X}}_1$  e  $\mathbf{R}\dot{\mathbf{X}}_1$  possono essere trascurati, perciò si ottiene, infine:

$$\dot{\mathbf{X}}_2 = \dot{\mathbf{X}}_1 + \dot{\mathbf{T}} + \dot{\mathbf{D}}\mathbf{X}_1 + \dot{\mathbf{R}}\mathbf{X}_1. \quad (5.103)$$

Osserviamo che le trasformazioni (5.99) e (5.103) dipendono da 14 parametri.

### Equazioni di osservazione

Consideriamo una rete composta da  $n$  siti, e supponiamo di poter disporre di  $s$  soluzioni per tale rete. Per soluzione intendiamo la coppia di oggetti:

$$\mathbf{X}_s = \begin{pmatrix} x_{s1} \\ y_{s1} \\ z_{s1} \\ x_{s2} \\ y_{s2} \\ z_{s2} \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{sn} \\ y_{sn} \\ z_{sn} \end{pmatrix}, \quad \Sigma_s \quad (5.104)$$

dove  $\Sigma_s$  rappresenta la matrice di covarianza associata al vettore  $\mathbf{X}_s$ . Supponiamo inoltre che le  $n$  soluzioni siano riferite a  $k$  sistemi di riferimento. Questo è il caso più generale, anche se per la maggior parte dei casi ogni soluzione  $s$  è associata ad un sistema di riferimento  $k$  con una corrispondenza biunivoca. Siamo interessati a

determinare una soluzione combinata per posizione e velocità dei siti:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix}, \quad \Sigma \quad (5.105)$$

e i  $7 \times k$  parametri di trasformazione tra i  $k$  sistemi di riferimento individuali e il sistema di riferimento combinato. Partendo dalle eq. (5.99) e (5.103), e tenendo conto del fatto che in generale il numero di sistemi di riferimento  $k$  non coincide con il numero di soluzioni  $s$  possiamo scrivere le equazioni di osservazione:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{si} = x_i + dt_{si}\dot{x}_i + T_{1k} + 10^{-6}x_i D_k - cR_{3k}y_i + cR_{2k}z_i \\ \quad + dt_{ik} \left[ \dot{T}_{1k} + 10^{-6}x_i \dot{D}_k - c\dot{R}_{3k}y_i + c\dot{R}_{2k}z_i \right] \\ y_{si} = y_i + dt_{si}\dot{y}_i + T_{2k} + 10^{-6}y_i D_k + cR_{3k}z_i - cR_{1k}x_i \\ \quad + dt_{ik} \left[ \dot{T}_{2k} + 10^{-6}y_i \dot{D}_k + c\dot{R}_{3k}x_i - c\dot{R}_{1k}z_i \right] \\ z_{si} = z_i + dt_{si}\dot{z}_i + T_{3k} + 10^{-6}z_i D_k + cR_{1k}y_i - cR_{2k}x_i \\ \quad + dt_{ik} \left[ \dot{T}_{3k} + 10^{-6}z_i \dot{D}_k + c\dot{R}_{1k}y_i - c\dot{R}_{2k}x_i \right] \\ \dot{x}_{si} = \dot{x}_i + \dot{T}_{1k} + 10^{-6}x_i \dot{D}_k - c\dot{R}_{3k}y_i + c\dot{R}_{2k}z_i \\ \dot{y}_{si} = \dot{y}_i + \dot{T}_{2k} + 10^{-6}y_i \dot{D}_k + c\dot{R}_{3k}x_i - c\dot{R}_{1k}z_i \\ \dot{z}_{si} = \dot{z}_i + \dot{T}_{3k} + 10^{-6}z_i \dot{D}_k + c\dot{R}_{1k}y_i - c\dot{R}_{2k}x_i \end{array} \right. \quad (5.106)$$

indicando con  $t_0$  un'epoca iniziale, con  $t_s$  l'epoca a cui si riferisce una soluzione individuale, e  $t_k$  l'epoca associata al  $k$ -esimo sistema di riferimento, le quantità:

$$dt_{si} = t_s - t_0 \quad (5.107)$$

$$dt_{ik} = t_{si} - t_k \quad (5.108)$$

permettono di mappare la soluzione  $s$  all'epoca del sistema di riferimento  $k$ . Linearizzando le equazioni nei parametri incogniti:

$$x_{si} = x_{0si} + \delta x_{si}, \quad y_{si} = y_{0si} + \delta y_{si}, \quad z_{si} = z_{0si} + \delta z_{si} \quad (5.109)$$

$$T_{1k} = T_{01k} + \delta T_{1k}, \quad T_{2k} = T_{02k} + \delta T_{2k}, \quad T_{3k} = T_{03k} + \delta T_{3k} \quad (5.110)$$

$$R_{1k} = R_{01k} + \delta R_{1k}, \quad R_{2k} = R_{02k} + \delta R_{2k}, \quad R_{3k} = R_{03k} + \delta R_{3k} \quad (5.111)$$

$$D_{1k} = D_{01k} + \delta D_{1k} \quad (5.112)$$



possiamo scrivere l'equazione di osservazione relativa alla singola soluzione  $s$ , nella seguente forma:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}_{1s} & \mathbf{A}_{2s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta\boldsymbol{\chi}_s \\ \delta\mathbf{T}_k \end{pmatrix} + \mathbf{B}_s = \mathbf{V}_s \quad (5.113)$$

dove  $\mathbf{A}_{1s}$  e  $\mathbf{A}_{2s}$  rappresentano le matrici di disegno rispetto alle coordinate e alle velocità, e rispetto ai parametri di trasformazione, mentre  $\delta\boldsymbol{\chi}_s$  rappresentano le coordinate e  $\delta\mathbf{T}_k$  i 14 parametri di trasformazione tra i sistemi di riferimento.  $\mathbf{V}_s$  rappresenta i residui e  $\mathbf{B}_s$  il vettore di termini costanti. Se introduciamo la matrice dei pesi  $\mathbf{P}_s = \boldsymbol{\Sigma}_s^{-1}$  possiamo scrivere il sistema delle equazioni normali:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}_{1s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{A}_{1s} & \mathbf{A}_{1s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{A}_{2s} \\ \mathbf{A}_{2s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{A}_{1s} & \mathbf{A}_{2s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{A}_{2s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta\boldsymbol{\chi}_s \\ \delta\mathbf{T}_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{A}_{1s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{B}_s \\ \mathbf{A}_{2s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{B}_s \end{pmatrix} = \mathbf{0}. \quad (5.114)$$

Effettuando lo stacking abbiamo il seguente sistema di equazioni normali:

$$\begin{pmatrix} \sum_s \mathbf{A}_{1s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{A}_{1s} & \sum_s \mathbf{A}_{1s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{A}_{2s} \\ \sum_s \mathbf{A}_{2s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{A}_{1s} & \sum_s \mathbf{A}_{2s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{A}_{2s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta\boldsymbol{\chi}_s \\ \delta\mathbf{T}_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sum_s \mathbf{A}_{1s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{B}_s \\ \sum_s \mathbf{A}_{2s}^T \mathbf{P}_s \mathbf{B}_s \end{pmatrix} = \mathbf{0}. \quad (5.115)$$

### 5.9.3 Vincoli

Il sistema delle eq. normali (5.115) può essere scritto come:

$$\mathbf{N}\boldsymbol{\Delta}\mathbf{X} = \mathbf{K} \quad (5.116)$$

dove  $\mathbf{K}$  è un vettore di termini noti e  $\boldsymbol{\Delta}\mathbf{X} = \mathbf{X} - \mathbf{X}_0$  è il vettore di incognite linearizzate. Abbiamo visto che il rango della matrice  $\mathbf{N}$  non è massimo. Per invertire la matrice è necessario definire dei vincoli. Abbiamo visto che vincoli che agiscono singolarmente sulle coordinate dei siti comportano una distorsione della geometria interna della rete, cerchiamo dunque una condizione che agisca globalmente su tutti i siti che scegliamo per definire il sistema di riferimento. L'idea è di definire un insieme di condizioni che agiscano sui parametri di trasformazione del sistema di riferimento, in modo tale da ricercare quell'insieme di parametri che minimizzi gli scarti nelle coordinate dei siti scelti per definire il riferimento. Partiamo dalla relazione di similitudine tra due sistemi di riferimento:

$$\mathbf{X}_2 = \mathbf{X}_1 + \mathbf{A}\boldsymbol{\Theta} \quad (5.117)$$

dove:

$$\Theta = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ D \\ R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ \dot{T}_1 \\ \dot{T}_2 \\ \dot{T}_3 \\ \dot{D} \\ \dot{R}_1 \\ \dot{R}_2 \\ \dot{R}_3 \end{pmatrix} \quad (5.118)$$

è il vettore che rappresenta i parametri di rototraslazione e di scala. La matrice di disegno  $\mathbf{A}$  può essere approssimata da:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & 0 & x_{i0} & 0 & z_{i0} & -y_{i0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y_{i0} & -z_{i0} & 0 & x_{i0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z_{i0} & y_{i0} & -x_{i0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & x_{i0} & 0 & z_{i0} & -y_{i0} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & y_{i0} & -z_{i0} & 0 & x_{i0} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & z_{i0} & y_{i0} & -x_{i0} & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \quad (5.119)$$

utilizzando i valori delle coordinate a priori. Le differenze tra le coordinate nei due sistemi di riferimento sono:

$$\mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1 = \mathbf{A}\Theta \quad (5.120)$$

che possono essere minimizzate per mezzo del seguente sistema di equazioni normali:

$$\Theta = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T (\mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1). \quad (5.121)$$

I due sistemi di riferimento coincidono se tutti i parametri di trasformazione sono nulli, quindi:

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T (\mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1) = \mathbf{0} \quad (5.122)$$

è l'equazione che definisce il sistema di riferimento. Tale equazione può essere convertita in un sistema da risolvere ai minimi quadrati, ponendo  $B = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$ , e definendo una matrice di covarianza  $\Sigma_\Theta$ , che indica a che livello il vettore  $\Theta$  debba considerarsi nullo. Il sistema da risolvere ai minimi quadrati è quindi:

$$\mathbf{B}(\mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1) = \mathbf{0}, \quad \Sigma_\Theta \quad (5.123)$$

da cui:

$$\mathbf{B}^T \Sigma_{\Theta}^{-1} \mathbf{B} (\mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1). \quad (5.124)$$

Sai ora  $X_R$  il vettore delle coordinate dei siti scelti per definire il riferimento, e sia  $X_{R,0}$  le corrispondenti coordinate a-priori. Applicando al sistema (5.116) i vincoli definiti dall'eq. (5.124) si ottiene il seguente sistema:

$$(\mathbf{N} + \mathbf{B}^T \Sigma_{\Theta}^{-1} \mathbf{B}) \Delta \mathbf{X} = \mathbf{K} + \mathbf{B}^T \Sigma_{\Theta}^{-1} \mathbf{B} (\mathbf{X}_R - \mathbf{X}_{R,0}) \quad (5.125)$$

con  $\Sigma_{\Theta}$  matrice diagonale composta dalla varianza del vettore  $\Theta$ .

### 5.9.4 Vincoli interni

I vincoli definiti dall'eq. (5.124) si basano sull'esistenza di una soluzione esterna. E' lecito chiedersi se esistono delle condizioni di vincolo che consentano di risolvere ai minimi quadrati un sistema di equazioni di rango non massimo senza specificare un sistema di riferimento esterno. Supponiamo che  $\mathbf{P}_k$  rappresenti uno dei sette parametri su cui si basa una trasformazione di similitudine tra il riferimento  $k$  e il riferimento combinato. Supponiamo inoltre che la dipendenza temporale del parametro  $\mathbf{P}_k$  si data dalla seguente equazione:

$$P_k = P_k(t_0) + \dot{P}_k(t - t_0). \quad (5.126)$$

Possiamo imporre che i  $k$  sistemi di riferimento coincidano se:

$$P_k(t_0) = 0 \quad (5.127)$$

$$\dot{P}_k = 0 \quad (5.128)$$

osserviamo che  $P_k(t_0)$  e  $\dot{P}_k$  possono essere ottenuti dall'equazione (5.126) attraverso i minimi quadrati:

$$\begin{pmatrix} K & \sum_{k \in K} (t_k - t_0) \\ \sum_{k \in K} (t_k - t_0) & \sum_{k \in K} (t_k - t_0)^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_k(t_0) \\ \dot{P}_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k \in K} P_k \\ \sum_{k \in K} (t_k - t_0) P_k \end{pmatrix} \quad (5.129)$$

e sostituendo le equazioni (5.127) nell'eq. (5.129) otteniamo le condizioni di vincolo:

$$\begin{cases} \sum_{k \in K} P_k = 0 \\ \sum_{k \in K} (t_k - t_0) P_k = 0 \end{cases} \quad (5.130)$$

Osserviamo che le eq. (5.130) si basano sull'esistenza di  $k$  sistemi di riferimento e sulle formaule di regressione lineare (5.127), per questo fatto l'utilizzo dei vincoli interni è particolarmente indicato nello studio di combinazioni multianno di sistemi di equazioni normali.



# Capitolo 6

## Reti GPS

### 6.1 Introduzione

Una rete GPS come quella europea è costituita da un insieme di stazioni GPS, non interagenti tra di loro, che ricevono i segnali dei satelliti e trasformano le osservazioni in files ASCII, secondo una formattazione standard (formato RINEX), riversandoli in un secondo momento in un apposito server FTP dal quale in seguito possono essere prelevate per elaborazioni successive. A livello della raccolta di dati non viene effettuata alcuna elaborazione, a parte quelle strettamente necessarie a verificare il corretto funzionamento della stazione stessa.

Le reti GPS possono variare in estensione e in numero di stazioni componenti, ovviamente maggiore è il numero di stazioni maggiore saranno le risorse di calcolo necessarie per svolgere l'elaborazione dei dati: per una grande rete geodetica come quella EUREF (circa 200 stazioni) non risulta fattibile elaborare giornalmente e simultaneamente tutti i files RINEX prodotti dalle stazioni. La soluzione più efficiente consiste nella suddivisione della rete in tante sottoreti (clusters, composti di circa 30, 40 stazioni) i cui dati vengono elaborati da centri di analisi locali (LACs, local analysis centers, in tutto 16). I prodotti di questi LACs sono files SINEX giornalieri; un unico centro si occupa poi della combinazione di queste soluzioni parziali. Poiché la soluzione globale (la matrice di covarianza associata a tutta la rete di stazioni) non è il prodotto diretto di un'elaborazione che parte dai dati grezzi, è necessario che le soluzioni fornite dai vari LAC vengano prodotte utilizzando lo stesso software e le stesse opzioni di elaborazione. Il software comune a tutti i LAC è il **Bernese 5** e le linee guida<sup>1</sup> seguite sono quelle dettate dall'EUREF stesso.

### 6.2 Le linee guida EUREF per i LACs

EUREF ha dettato le seguenti stringenti regole per la produzione di soluzioni locali. Possiamo dividere tali regole in sottogruppi:

---

<sup>1</sup>[http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/guidelines/index.php](http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/index.php)

### Preparazione

1. Download di tutti files RINEX relativi al sottoinsieme di stazioni di interesse, e alla settimana di interesse, da tutti i server EPN.
2. Dowload dei files delle orbite precise IGS dal server IGS.

### Elaborazione

1. Stima delle coordinate giornaliere (risultato intermedio) e relativa matrice di covarianza.
2. Stima delle correzioni troposferiche orarie (risultato intermedio) e relativa marice di covarianza.
3. Generazione di una soluzione settimanale, allineata al sistema ITRF2000.
4. Utilizzo delle matrici di covarianza giornaliere per la stima delle correzioni troposferiche orarie, fissando le coordinate ai valori medi settimanali determinati al punto 2.

## 6.3 L'attività del Local Analysis Center UPA

Il Local Analysis Center (LAC UPA) di Padova fa parte dei LACs EUREF dal 1999. Il numero di stazioni che fanno parte della sua sottorete è aumentato da quell'anno fino alle 34 attuali. In questa sezione descriviamo in dettaglio le procedure implementate dal Local Analysis Center di Padova per soddisfare pienamente le richieste EUREF.

### 6.3.1 Software utilizzato

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati GPS è l'ultima versione del software Bernese: **Bernese 5**. Tale software è composto da numerosi programmi, che possiamo pensare contenuti in tre insiemi, cioè quelli relativi all'interfaccia grafica (menu, scritto in C), quelli associati alle elaborazioni scientifiche (scritti in Fortran) e gli scripts che si occupano della comunicazione tra il menu e i diversi programmi scientifici (scritti in PERL). Il software Bernese permette l'elaborazione dei dati in modo interattivo (tramite menu) e automatico (tramite il cosiddetto BPE, Bernese Processing Engine); per tutte le attività di routine risulta molto più efficiente automatizzare le operazioni per mezzo del BPE. Tale automatizzazione viene effettuata attraverso alcuni files di input (in formato ASCII) e scripts PERL scritti dall'utente.

Per quanto riguarda la fase di pre-processing dei dati, essa viene effettuata mediante l'utilizzo dei seguenti programmi:

- gzip, permette di decomprimere un file compresso secondo la compressione UNIX.

- `teqc`, permette di controllare la qualità di un file RINEX. Nel nostro caso viene utilizzato per ritagliare l'intervallo di osservazioni contenuto in un RINEX tra le 00:00:30 e le 23:59:30 del giorno a cui si riferisce il file e per editare l'header dei files (ad esempio, per cambiare il tipo di antenna o ricevitore), nel caso le informazioni riportate nell'header originale fossero sbagliate.
- `crz2rnx`, consente di decomprimere i files RINEX ASCII in formato compresso (di estensione `.YYd`, dove `YY` sono le ultime 2 cifre dell'anno) in files RINEX ASCII utilizzabili da bernese. Tale programma utilizza lo schema di compressione/decompressione di Hatanaka<sup>2</sup>.

### 6.3.2 L'organizzazione dei dati in campagne

Tutti i dati e le opzioni di elaborazione di Bernese sono organizzati in una particolare struttura di *directories*, detta **campagna**. Una campagna settimanale EUREF è composta da otto directories, sette di esse (indicate con `YY_DDD`, `YY` = ultime due cifre dell'anno, `DD` = giorno dell'anno) rappresentano campagne giornaliere, mentre l'ottava (indicata con la scrittura `WKWWWW`, dove `WWWW` rappresenta la settimana GPS) serve alla combinazione delle equazioni normali giornaliere. Ciascuna campagna giornaliera è costituita dalle seguenti directories:

- `ORX`, in questa directory vengono scaricati i files RINEX.
- `ORB`, in questa directory vengono scaricati i files delle orbite precise `.SP3` e i files contenenti le informazioni sul moto del polo `.ERP`.
- `SOL`, in questa directory vengono salvati i files SINEX e i files `.NQ0` (files binari in formato proprietario Bernese, che contengono le equazioni normali).
- `ATM`, qui vengono scaricati i files contenenti le correzioni ionosferiche (di estensione `.ION`) e vengono salvati i files che immagazzinano le correzioni troposferiche (files `.TRO`).
- `STA`, in questa directory vengono posti i files contenenti le coordinate a priori (files `.CRD`), le velocità delle stazioni (files `.VEL`), un file che contiene le informazioni sulle stazioni processate (file `.STA`, contiene le informazioni sugli intervalli di operatività delle stazioni, sul tipo di ricevitori ed antenne), un file che implementa le correzioni mareali (di estensione `.BLQ`) ed un file che definisce le linee di base (`.ABB`, tabella delle abbreviazioni).
- `RAW`, in questa directory vengono copiati i RINEX, una volta decompressi e controllati.
- `OUT`, contiene i files di output di ogni singolo programma che viene attivato durante la sequenza di elaborazione.

---

<sup>2</sup><http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html>

- BPE, contiene i log files della sequenza di elaborazione. Tali files sono essenziali in caso di errore, in quanto permettono di determinare il punto della sequenza di elaborazione in cui si verifica l'errore stesso.

Accanto ai files di input che potremmo definire specifici di una campagna (rappresentati nella seguente tabella)

| File |  |
|------|--|
| .CRD | Coordinate a priori  |
| .VEL | Velocità   |
| .SP3 | Orbite e correzioni di clock dei satelliti                 |
| .BLQ | Coefficienti di correzione mareale                         |
| .STA | Informazioni sulle stazioni (ricevitore, antenna)          |
| .ERP | Moto del polo  |
| .FIX | Lista delle stazioni fiduciarie                            |
| .ABB | Tabella delle abbreviazioni                                |
| .PLD | Indica la placca a cui appartengono le stazioni della rete |

sono necessari anche files che contengono informazioni indipendenti dalla campagna. Il più importante tra di essi è il files che contiene lo stato di funzionamento e le caratteristiche dei satelliti (SATELLIT.).

| Nome del file          | Contenuto  |
|------------------------|--|
| CONST.                 | Costanti usate nel software                                  |
| DATUM.                 | Definizioni del datum geodetico                              |
| RECEIVER.              | Eccentricità di fase e offsets delle antenne                 |
| SATELLIT.              | Informazioni sui satelliti (massa, coeff. di press. di rad.) |
| SAT_yyy.CRX            | Problemi relativi ai satelliti                               |
| IAU80.NUT IAU2000.NUT  | Coefficienti del modello di nutazione                        |
| IERS2000.SUB RAY96.SUB | Coefficienti sub-giornalieri per il mod. del moto del polo   |
| POLOFF.                | Coefficienti per l'offset del polo                           |
| GEMT3.                 | Coefficienti per il potenziale terrestre                     |
| GEM10N.                | Come sopra   |
| JGM3.                  | Come sopra   |
| EGM96.                 | Come sopra   |
| EIGEN2.                | Come sopra   |
| TEG4.                  | Come sopra   |
| GPSUTC                 | Secondo mobile   |
| OT_CSRC.TID            | Coefficienti di correzione mareale                           |
| OT_TOPEX.TID           | Come sopra   |
| OT2TOPEX.TID           | Come sopra   |

### 6.3.3 La creazione di una campagna

La creazione di una campagna comporta tre passi preliminari:



1. Creazione della struttura della directory specifica della campagna.
2. Download dei dati.
3. Decompressione e pre-trattamento dei dati.

Questi tre passaggi preliminari richiedono l'attivazione automatica di diversi programmi. Per ottenere una efficiente integrazione di tali programmi si è dovuta scrivere una procedura in linguaggio PERL. Tale procedura si concretizza in un insieme di subroutine contenute in un modulo PERL (*bernutil.pm*) e in uno script (*downloadbkg.pl*) che funge da driver per tali subroutine. La tabella seguente presenta l'elenco di tali subroutine con la descrizione della loro funzione

| Subroutine               | Funzione  |
|--------------------------|---|
| <i>downloadfrom</i>      | Effettua il download di un file tramite FTP                   |
| <i>downloadfromberne</i> | Effettua il download di un file tramite HTTP                  |
| <i>maketree</i>          | Crea la struttura delle directory                             |
| <i>copyfromto</i>        | Copia i files   |
| <i>decomp</i>            | Decomprime i files in formato binario                         |
| <i>crz2rnrx</i>          | decomprime i files secondo la procedura di Hatanaka           |
| <i>qualitycheck</i>      | Controlla i RINEX e ne edita l'header, quando necessario      |
| <i>upload2igs</i>        | Upload dei files risultato dell'elaborazione sul server EUREF |
| <i>makecamp</i>          | Crea una campagna giornaliera                                 |

Le subroutine *decomp*, *qualitycheck* e *crz2rnrx* chiamano 3 programmi esterni, rispettivamente *gzip*, *teqc* e *crz2rnrx*. Il driver *downloadbkg.pl* effettua le seguenti operazioni:

1. Aggiorna i files indipendenti della campagna (*SATELLIT.* e *SAT\_yy.CRX*).
2. Chiama la subroutine *makecamp* in un loop. Ogni iterazione del loop crea una campagna giornaliera e la riempie con i files relativi (*RINEX*, orbite, moto del polo).
3. Decomprime i dati (*UNIX -> RINEX ASCII compresso*) con una chiamata alla subroutine *decomp*.
4. Decomprime i dati (*RINEX ASCII compresso -> RINEX ASCII*) con una chiamata alla subroutine *crz2rnrx*.
5. Controlla la qualità dei *RINEX* attraverso una chiamata alla subroutine *qualitycheck*.

## 6.4 La procedura di elaborazione

Descriviamo in questa sezione gli strumenti e le modalità mediante le quali viene attuata la procedura di elaborazione che accoglie le direttive EUREF.

### 6.4.1 Variabili d'ambiente

**Bernese 5** è un software con una struttura molto complicata: utilizza una grande quantità di files di testo come input ed output per i diversi sottoprogrammi che lo compongono. Tali files vengono immagazzinati in una struttura di directories molto articolata. Per semplificare l'utilizzo del software ad alcune directories, quelle di uso più frequente, sono state associate delle variabili di sistema.

| Variabile | Directory         | Funzione               |
|-----------|-------------------|------------------------|
| X         | C:\BERN50\GPS     | Script di compilazione |
| U         | C:\GPSUSER        | Ambiente dell'utente   |
| T         | C:\TEMPV50        | Directory temporanea   |
| P         | C:\GPSDATA        | Dati delle campagne    |
| XG        | C:\BERN50\PGM\EXE | Programmi Scientifici  |

### 6.4.2 Opzioni di elaborazione

La parte di elaborazione che dipende da ogni programma scientifico che costituisce **Bernese** ubbidisce ad un insieme di parametri in input; Tale insieme di parametri viene passato a questi programmi attraverso un file di testo contenente delle *keywords*, detto pannello (di estensione .INP). Ad ogni programma è associato uno specifico pannello, che viene editato per mezzo del menu. Per una specifica campagna l'insieme di pannelli che definiscono le opzioni di elaborazione viene immagazzinato in una determinata directory, contenuta nella directory GPSUSER\OPT.

### 6.4.3 Scripts di attivazione

Ad ogni particolare programma scientifico è associato un driver, costituito da uno script PERL. Lo scopo di tale driver è quello di chiamare il programma scientifico ad esso associato passandogli i parametri specificati nel pannello. Questi scripts sono contenuti nella directory GPSUSER\SCRIPTS.

### 6.4.4 Controllo della CPU

**Bernese** permette di distribuire l'elaborazione su diverse CPU, nel caso di macchine multiprocessore. Un processo di elaborazione può essere associato ad una specifica CPU, e tale associazione viene effettuata attraverso un particolare file, detto CPU file (di estensione .CPU). Tale file è posto nella directory GPSUSER/PAN.

### 6.4.5 La definizione della sequenza di elaborazione

Ogni procedura di elaborazione comporta l'attivazione, secondo una sequenza specificata, di una serie di programmi. Per quanto riguarda i programmi che compongono **Bernese 5**, tale sequenza viene definita tramite un comune file di testo chiamato

*Process Control File* (abbreviato in PCF, di estensione .PCF). Per come è strutturato **Bernese**, il collegamento tra file PCF e i programmi scientifici di basso livello (quelli scritti in Fortran) avviene attraverso scripts PERL specificati. Ciò significa che il file PCF definisce la sequenza di attivazione degli scripts PERL, i quali a loro volta attivano i programmi di basso livello. Il file PCF inoltre gestisce i parametri che devono essere passati agli scripts attraverso un insieme di files di configurazione: tali files, detti pannelli (di estensione .INP), si trovano nella directory GPSUSER/OPT e devono essere modificati tramite il menu. Il file PCF è diviso in 3 sezioni:

1. Sezione indicante la sequenza di attivazione degli scripts, le directories contenenti i pannelli delle opzioni che devono essere passate agli scripts, e quale processore usare.
2. Sezione che definisce in quale modo le azioni definite da uno script devono essere distribuite tra i processori disponibili (nel caso di macchine multiprocessore).
3. Sezione che definisce le variabili che possono essere passate agli scripts.

Per ogni strategia di elaborazione l'utente deve quindi definire il file PCF nel seguente modo, tenendo conto che ad ogni riga del PCF corrisponde una chiamata ad un processo:

- Ad ogni script che attiva un processo deve essere assegnato un numero che lo identifica all'interno della sequenza di elaborazione (PID, *Process Identifier*), nella colonna Script del file PCF.
- Nella stessa riga, sotto la colonna Opt\_dir, deve essere specificata la directory nella quale lo script deve reperire i parametri in input (i pannelli) per i programmi di basso livello. Tale directory deve essere contenuta in GPSUSER/OPT.
- La colonna Campaign contiene il nome della campagna da processare. Se il campo viene lasciato bianco viene processata la campagna definita tramite menu.
- La colonna Cpu indica su quale processore deve essere eseguito il processo. Se il campo riporta il valore ANY allora lo script viene eseguito sul primo processore libero.
- I campi restanti indicano quali sono i processi che devono essere terminati prima che venga attivato il processo che compete a quella determinata riga.

## 6.5 Le strategie di elaborazione utilizzate da UPA LAC

Le strategie di elaborazione utilizzate dal LAC UPA sono definite da due file PCF: il primo serve ad effettuare il posizionamento puntuale di una stazione, utilizzando osservabili non differenziate, mentre il secondo fa uso di osservabili alle doppie

differenze. L'utilizzo di dati non differenziati consente di determinare la posizione delle stazioni a livello centimetrico, inoltre in tale modalità eventuali problemi affliggenti una stazione non hanno effetto sulla determinazione delle coordinate delle altre stazioni che fanno parte della rete. Infine le coordinate determinate in questa modalità sono automaticamente allineate al sistema di riferimento ITRF2000, grazie all'utilizzo di orbite IGS (che sono espresse nel riferimento ITRF2000), l'inconveniente principale rimane la scarsa precisione delle coordinate così determinate; per migliorare la stima delle coordinate a livello millimetrico è necessario differenziare le osservabili rispetto ai satelliti e ai ricevitori, eliminando in questo modo gli errori di clock. In questo modo, però, si potrà determinare solo la posizione di una stazione relativamente ad un'altra e le coordinate stimate differiranno da quelle reali (nel riferimento ITRF2000) per una traslazione, una rotazione ed un fattore di scala. Usualmente, per un network regionale come quello EUREF, le differenze dovute a rotazione e fattore di scala sono trascurabili ed è perciò necessario tenere conto solo della traslazione. Questo problema viene risolto selezionando un insieme di stazioni fiduciarie che servono ad allineare il network minimizzando gli scarti tra le coordinate stimate e quelle a-priori, per il set di stazioni fiduciarie individuato.

### 6.5.1 Strategia per il posizionamento puntuale (Point Positioning)

Il posizionamento puntuale viene definito dal PCF PPP.PCF. Oltre alla stima delle coordinate tale PCF può effettuare la stima di:

- Correzioni di clock per i ricevitori.
- Contenuto totale di elettroni (TEC).
- Bias dell'osservabile di codice per il ricevitore.
- Vettore della traslazione comune delle coordinate delle stazioni della rete.

Il PCF PPP viene utilizzato principalmente come elaborazione preparatoria allo scopo di determinare:

- Determinazione delle stazioni mancanti nel file .BLQ.
- Aggiornamento della tabella delle abbreviazioni.
- Mappatura delle coordinate ad una specifica epoca.
- Inserimento delle coordinate e delle velocità relative ad una nuova stazione nei files di coordinate e velocità della rete processata.

Le variabili utilizzate dai pannelli di input del PCF PPP che possono essere modificate nella terza sezione del PCF stesso sono:

- V\_CRDREF: nome dei files di coordinate e velocità per le stazioni che realizzano il sistema di riferimento.
- V\_CRDMRG: nome dei files risultanti dal merging dei files di coordinate e velocità a priori con quelli relativi alle coordinate e velocità determinate con PPP.
- V\_STAINF: nome del file .STA, che contiene le informazioni riguardanti la campagna. Se il campo relativo a questa variabile è lasciato nullo, allora le informazioni vengono estratte direttamente dai files RINEX. Il file .STA può essere utilizzato anche per rinominare le stazioni che verranno scritte nei files di coordinate e velocità calcolate da PPP.
- V\_PLDINF: nome del file che indica le placche a cui appartengono le stazioni appartenenti alla rete. Viene utilizzato per determinare la velocità delle stazioni tramite il modello NUVEL1A.
- V\_BLQINF: nome del file contenente i coefficienti di correzione mareale. Se il campo relativo non è nullo le correzioni vengono eseguite e le stazioni mancanti vengono segnalate.
- V\_ABBINF: nome del file che contiene la tabella delle abbreviazioni. PPP aggiorna automaticamente questo file se una stazione non è contenuta in esso.

Le informazioni derivanti dall'elaborazione PPP vengono immagazzinate nei seguenti files:

- Files di equazioni normali (formato binario Bernese), files di coordinate, velocità, correzioni troposferiche (formato ASCII Bernese).
- Ritardo zenitale troposferico, in formato SINEX troposferico.
- Correzioni di clock per la stazione, in formato RINEX.
- Coordinate in formato SINEX.

### Descrizione del PCF PPP

**Copiatura dei files** Prima dell'inizio dell'elaborazione tutti i files richiesti dal BPE devono essere resi disponibili nelle opportune directories della campagna. Questo compito è svolto dal processo:

- PID 001 PPP\_COP: Lo script copia i files richiesti nelle rispettive campagne. Il nome di alcuni file può essere cambiato modificando la variabile V\_B (che

definisce il prefisso di alcuni file a priori). Il BPE si blocca quando manca uno dei seguenti files:

| Tipo di file | Sorgente | Destinazione |
|--------------|----------|--------------|
| RINEX        | ORX      | RAW          |
| .SP3         | ORB      | ORB          |
| .ERP         | ORB      | ORB          |
| .CLK         | ORB      | ORB          |
| .DCB         | ORB      | ORB          |

**Preparazione del file del moto del polo, delle orbite e delle correzioni di clock.** Questo blocco converte le informazioni IGS sul moto del polo, orbite e clock dei satelliti in file con formattazione Bernese.

- PID 101 POLUPD: Il programma estrae le informazioni sui parametri terrestri di rotazione contenuti nel bollettino IERS (di estensione .IEP) e le scrive in un file con formattazione Bernese (di estensione .ERP).
- PID 111 PRETAB: Converte le orbite in formato SP3 (nel riferimento earth fixed, con estensione .PRE) in un file tabulato (nel sistema di riferimento inerziale, file con estensione .TAB) che viene utilizzato nell'integrazione delle equazioni del moto.
- PID 103 ORBGEN: Integra le equazioni del moto utilizzando come condizioni iniziali le posizioni immagazzinate nel file .TAB, generando un file .STD che viene utilizzato in tutti i programmi di Bernese che richiedono la conoscenza dell'orbita. L'orbita viene rappresentata attraverso 6 elementi osculatori e 9 parametri dinamici associati alla pressione di radiazione.
- PID 121 CCRNXC: Il programma converte i clock files RINEX in un file Bernese contenente le correzioni di clock dei satelliti (di estensione .CLK).

Le informazioni sulle orbite, le correzioni di clock e il moto del polo generate da questo blocco del PCF PPP vengono utilizzate invariate da tutti i programmi che verranno attivati successivamente.

### **Preprocessamento, conversione e sincronizzazione dei dati di osservazione.**

Il compito di questo blocco è preparare i dati di osservazione (pulizia dei dati a livello dei files RINEX e conversione in formato binario Bernese), aggiornare i files di coordinate e di informazione e sincronizzare gli orologi dei ricevitori al tempo GPS.

- PID 201 RNXGRA: Produce un sommario di tutti i files RINEX di osservazione disponibili attraverso una rassegna dei satelliti osservati, della stazioni considerate e delle loro caratteristiche. Questo file appare nel sommario dell'elaborazione e permette di identificare eventuali problemi di tracking delle stazioni.

- PID 211 RNXSMTAP: questo script e il seguente costituiscono un'unità. Il loro compito è di pulire i dati a livello dei files RINEX. Il compito di questo script è di parallelizzare il processo nel caso siano disponibili più processori.
- PID 212 RNXSMT\_P: Determina cicle slips e outliers utilizzando la combinazione lineare Melbourne-Wubben. Produce un file RINEX liscio nelle osservabili di codice.
- PID 221 SMTOBV3: Lo script attiva il programma RXOBV3, che crea i files binari di osservazione in formato Bernese. Inoltre confronta le informazioni contenute nell'header dei file RINEX con le informazioni contenute nel file .STA, allo scopo di determinare eventuali inconsistenze. Nel caso si verificano discrepanze il BPE si blocca. Nel caso di nuove stazioni vengono aggiornati automaticamente il file di coordinate e la tabella delle abbreviazioni. I dati osservativi non differenziati contenuti nei RINEX vengono immagazzinati in files binari (di estensione .CZH, .CZO, .PZH, .PZO).
- PID 222 CRDMERGE: Definisce lo stesso dato geodetico e la stessa epoca di riferimento per tutte le stazioni coinvolte.
- PID 221 CODSAPPP: Prepara l'esecuzione del processo successivo. Parallelizza il processo successivo nel caso di più processori disponibili.
- PID 232 CODSPP\_P: Sincronizza gli orologi dei ricevitori e determina le coordinate approssimate delle stazioni utilizzando un approccio di posizionamento puntuale diretto, facente uso unicamente dei dati liscio. Questo può essere di utilità nel caso che le coordinate a priori riportate nell'header dei RINEX siano di scarsa qualità. Effettua inoltre un ulteriore controllo sugli outliers.
- PID 233 CODXTR: Questo script produce un file che riassume tutti gli outliers, gli archi d'orbita mancanti, i satelliti malfunzionanti e le correzioni di clock mancanti.

**Calcolo della soluzione puntuale stazione per ogni stazione.** La sezione seguente effettua uno screening dei dati e determina il posizionamento puntuale.

- PID 301 PPEDETAP: Prepara la parallelizzazione del processo successivo.
- PID 302 PPEDET\_P: Attiva i seguenti programmi:
  1. GPSEST: Genera un file di residui per lo screening dei dati utilizzando la combinazione *iono-free* L3.
  2. RESRMS: Effettua lo screening dei residui.
  3. SATMRK: Evidenzia gli outliers nei files di osservazione tramite opportune flags.

4. GPSEST: Come al punto 1), solo utilizzando le osservazioni ritenute valide. I risultati vengono immagazzinati nei seguenti files e utilizzati nei processi successivi:
  - File di coordinate.
  - File di correzioni di clock dei ricevitori.
  - File binari di equazioni normali (estensione .BLQ).
5. ADDNEQ2: genera i seguenti files:
  - Files di coordinate e SINEX.
  - Correzioni troposferiche (.di estensione .TRP) e SINEX troposferici (di estensione .TRO).

I passi da 1) a 3) vengono effettuati iterativamente con limiti decrescenti di RMS per il rivelamento degli outliers. Stazioni per le quali non sono disponibili le informazioni nel file .BLQ vengono evienziate da un *warning* nel file di output di GPSEST

- PID 303 GPSXTR: Genera il file sommario di GPSEST.
- PID 311 PPPCHK: Attiva in sequenza i seguenti programmi:
  1. RESRMS: produce una statistica dei residui utilizzando i dati generati dal processo 302. Analizza la combinazione lineare L3.
  2. RESRMS: produce una statistica dei residui utilizzando i dati generati dal processo 302 al passo 4).
  3. RESCHK: produce una statistica dei residui.

REsiduali molto grandi o un'elevata percentuale di punti rigettati sono indicativi di un cattivo funzionamento di qualche stazione o qualche satellite.

- PID 321 CDRMERGE: I files di coordinate generati al processo 302 vengono fusi in un unico file.
- PID 322 ADDNEQ2: Scrive un singolo SINEX comprensivo di tutte le stazioni processate al putno 302, pre eliminando i parametri troposferici.
- PID 331 CCRNXC: I RINEX contenenti le correzioni di clock vengono fusi in un unico file.



**Generazione delle velocità tramite il modello NUVEL1A.** Il seguente blocco permette di calcolare le velocità delle stazioni mediante il modello NUVEL1A. Questo blocco viene eseguito solo se viene definita la variabile V\_PLDINF.

- PID 401 PPP\_PLD: verifica se la variabile V\_PLDINF è definita, altrimenti salta il blocco e va direttamente al processo 421..
- PID 402 NUVELO: Il campo di velocità calcolato con il modello NUVEL1A viene calcolato e immagazzinato in un file .VEL.
- PID 403 COOVEL: Le coordinate delle stazioni vengono propagate all'epoca di riferimento del sistema ITRF (Per ITRF2000 è il 1 gennaio 2000), utilizzando le velocità calcolate dal processo 402.
- PID 411 CRDMERGE: effettua un merging tra il file di velocità generato dal processo 402 e il file di velocità a priori, definito dalla variabile V\_CRDREF. Il campo di velocità risultante è immagazzinato nel file definito dalla variabile V\_CRDMRG.
- PID 421 CRDMERGE: effettua le stesse operazioni del processo 411, solo applicate ai files di coordinate.
- PID 431 ADDNEQ2: I files di coordinate e velocità insieme al file di equazioni normali generato dal processo 322 vengono utilizzate per stimare i parametri di traslazione del centro della terra. Viene utilizzata una soluzione ai minimi vincoli in cui vengono stimati solo i parametri di traslazione. Le stazioni utilizzate per la definizione vengono definite nel file .FIX.

**Generazione dei modelli di ionosfera.** Questo blocco consente la determinazione delle correzioni ionosferiche e dei bias associati all'osservabile di codice.

- PID 501 PPP\_ION: verifica se la variabile V\_F è definita, in caso contrario salta il blocco e va al processo 901.
- PID 502 PPPESTAP: Parallelizza l'esecuzione del processo successivo.
- PID 503 PPPEST\_P: Stima i coefficienti per le correzioni troposferiche e le salva in un file con estensione .ION. Stima i bias associati all'osservabile di codice e li scrive in un file di estensione .DCB (uno per ogni stazione).
- PID 504 GPSXTR: Crea un sommario relativo al processo precedente.
- PID 511 ADDNEQ2: Utilizza le equazioni normali generate al processo 502 relative ai bias per generare un'unico files .DCB contenente i bias associati ad ogni stazione.

- PID 521 GPSEST: Viene generato un modello regionale di ionosfera, che viene salvato in un file di estensione .INX.
- PID 522 GPSXTR: Genera il file sommario del processo precedente.

**Creazione dei files sommario di tutta l'elaborazione.** L'ultimo blocco genera un file sommario comprensivo di tutta l'elaborazione.

- PID 901 PPP\_SUM: Genera un file sommario di tutti i processi che sono stati attivati.
- PID 902 PPP\_DEL: Cancella i files temporanei.
- PID 903 BPE\_CLN: Cancella i files di debugging.
- PID 999 DUMMY: Non fa nulla, serve ad indicare la fine del file PCF.

### 6.5.2 Strategia per l'elaborazione con le doppie differenze.

L'elaborazione mediante doppie differenze viene definita dal PCF RNX2SNX. Questa strategia permette la stima delle coordinate e dei parametri di correzione troposferica e il loro immagazzinamento sotto forma di files SINEX. Per ogni sessione le equazioni normali vengono salvate per poter essere utilizzate successivamente in una soluzione multi sessione. Le principali caratteristiche del PCF RNX2SNX sono:

- Rilevazione dei files in cui sono presenti gaps dei dati o di residui elevati nei files di osservazione. Rimozione automatica degli stessi.
- Stima dell'ambiguità a valori interi per linee di base fino a 2000 Km attraverso la strategia QIF (*quasi-ionosphere free strategy*).
- Soluzione finale per la rete che utilizza i minimi vincoli, realizzata minimizzando i parametri di traslazione su un sottoinsieme di coordinate ITRF2000. Verifica delle stazioni fiduciarie utilizzate attraverso una trasformazione di Helmert a 3 parametri. Nel caso di discrepanze la soluzione viene ricalcolata utilizzando un set ridotto di stazioni fiduciarie (eliminando quelle che non hanno superato il test).
- I SINEX risultanti consentono la rimozione dei vincoli o l'estrazione diretta delle coordinate relative alla soluzione ai minimi vincoli.

I files di input necessari all'esecuzione del PCF RNX2SNX (oltre ai RINEX e ai files dell'orbita e del polo) sono i seguenti:

- 1. Tabella delle abbreviazioni (file .ABB).
- 2. Coordinate a priori.
- 3. Velocità a priori.
- 4. Lista di stazioni utilizzate per definire il sistema di riferimento (file .FIX).

**Copia dei files richiesti e creazione di un file di coordinate a priori.** Il blocco seguente copia i files richiesti per l'elaborazione in un'area temporanea.

- PID 001 R2S\_COP: lo script copia i files richiesti in un'area temporanea. Quando richiesto alcuni files vengono rinominati in accordo alla variabile V\_B (che contiene i prefissi di tali files) e alla data a cui si riferisce la sessione. I files richiesti dallo script in questione sono:

| File                            | Sorgente | Destinazione | Rinominazione |
|---------------------------------|----------|--------------|---------------|
| RINEX di osservazione           | ORX      | RAW          | No            |
| Files delle orbite precise      | ORB      | ORB          | Si            |
| Files del moto del polo         | ORB      | ORB          | Si            |
| Files .DCB                      | STA      | STA          | Si            |
| Files .ION                      | ATM      | ATM          | Si            |
| Lista delle stazioni fiduciarie | STA      | STA          | Si            |

- PID 002 COOVEL: Propaga le coordinate delle stazioni che realizzano il sistema di riferimento dall'epoca 01 gennaio 2000 all'epoca della sessione corrente.

**Preparazione dei files del polo, dell'orbita e di clock.** In questa sezione vengono eseguiti alcuni passaggi preparatori, in particolare i files delle orbite e del polo vengono convertiti nel formato specifico di Bernese.

- PID 101 POLUPD: Il file del moto del polo in formato IERS (di estensione .IEP) viene riformattato in formato Bernese. Tale file sarà utilizzato in tutte le elaborazioni seguenti.
- PID 111 PRETAB: Il file delle orbite precise viene convertito in formato binario. Vengono inoltre estratte le correzioni di clock dei satelliti ed immagazzinate in un file di estensione .CLK.
- PID 112 ORBGEN: Partendo dall'orbita contenuta nel file generato dal processo precedente, le equazioni del moto vengono integrate.

**Conversione e sincronizzazione dei dati di osservazione.** Questo blocco converte i files RINEX di osservazione in files binari e allinea gli orologi dei ricevitori al tempo GPS.

- PID 201 RNXGRA: Viene creato un sommario di tutte le osservazioni disponibili. Riporta informazioni su tutti i satelliti osservati, sulle stazioni coinvolte e sulle loro caratteristiche. Il file generato da questo processo è utile per evidenziare possibili problemi di tracking. Se in un files RINEX vengono trovati gaps molto grandi, allora tali files vengono eliminati dall'insieme di RINEX da elaborare.

- PID 211 RXOBV3AP: Cancella i files di osservazione già esistenti e prepara la parallelizzazione del processo successivo. Il grado di parallelizzazione è controllato dalla variabile V\_CLU. Se tale variabile non è definita allora per ogni RINEX di osservazione viene attivato il processo successivo. Se a V\_CLU viene assegnato un numero intero allora il processo successivo viene attivato considerando un cluster di stazioni.
- PID 212 RXOBV3: Confronta gli headers dei files RINEX con le informazioni contenute nel file di informazioni .STA e se si verifica una discrepanza blocca il processo di elaborazione. Questo viene fatto per mantenere il più possibile stabile la configurazione della rete.
- PID 221 CODSPPAP: Prepara la parallelizzazione del programma CODSPP. Questo processo attende che l'esecuzione dei processi 002, 112 e 212 sia conclusa per potere garantire che i files necessari al proseguimento dell'elaborazione (coordinate a priori, moto del polo e orbite, files di osservazione).
- PID 222 CODSPP\_P: Questo processo effettua il posizionamento puntuale utilizzando dati non differenziati, allo scopo di sincronizzare i ricevitori al livello del microsecondo. Dal momento che gli orologi dei ricevitori non sono stabili al punto da poter modellare le correzioni tramite polinomi, le correzioni vengono determinate per ogni epoca di osservazione.
- PID 223 CODXTR: Questo processo genera un file di sommario relativo all'esecuzione del processo precedente. Il file è utile per identificare le stazioni che presentano un cattivo funzionamento (quelle che hanno un r.m.s alto o presentano molti outliers).

**Generazione delle linee di base, preprocessamento e screening delle osservabili di fase, generazione delle equazioni normali associate ai clusters di stazioni.** Questo blocco è una parte essenziale della procedura di elaborazione. In questa sezione vengono generate le osservabili alle singole differenze, vengono rilevati e corretti i cycle slips e vengono rimosse le cattive osservazioni.

- PID 301 SNGDIF: Questo processo cancella eventuali files già esistenti contenenti le singole differenze, seleziona un insieme di linee di base e crea i files delle singole differenze.
- PID 311 MAUPRPAP: Parallelizza il processo successivo.
- PID 313 MAUPRP\_P: Questo script attiva il programma MAUPRP, che pre processa le osservazioni alle singole differenze. Se l'ampiezza di un cycle slip non può essere determinata, allora viene introdotto una nuova ambiguità. Inoltre osservazioni non accoppiate (cioè che mancano di una delle due fasi L1 o L2 ad una specifica epoca) ed effettuate a piccoli angoli di elevazione vengono segnalate con apposite flags per non essere più utilizzate in seguito.

- PID 313 MPRXTR: Crea un file sommario dei processi precedenti.
- PID 321 GPSEDTAP: Parallelizza il processo successivo.
- PID 322 GPSEDT\_P: Questo script effettua uno screening delle osservabili di fase alle doppie differenze. Attiva 4 programmi:
  1. GPSEST: crea i files dei residui.
  2. RESRMS: ricerca outliers nei residui.
  3. SATMARK: segna gli outliers con apposite flags.
  4. GPSEST: crea la soluzione finale e il file delle equazioni normali.
- PID 331 GPSCHK: Controlla i risultati del processo precedente e rigetta i dati delle stazioni mlfunzionanti. Utilizza in sequenza i programmi:
  1. RESRMS: crea files di sommario dei files di residui creati al punti 1) e 4) del processo 322.
  2. RESCHK: crea la statistica dei residui e evidenzia le stazioni malfunzionanti.

Se il Programma RESCHK evidenzia una stazione malfunzionante, il nome di tale stazione viene scritto in un file che definisce l'insieme di stazioni i cui dati vengono rigettati dalla procedura di elaborazione. Una volta eliminate lo script GPSCHK torna al processo 301, crea un nuovo insieme di linee di base e ripete il pre processamento. Il loop che coinvolge i processi 301-331 viene continuato finchè tutte le stazioni sono accettate.

**Calcolo della soluzione (con ambiguità reali).** Questa sezione è dedicata alla stima delle ambiguità. Dopo aver calcolato una soluzione con le ambiguità reali viene applicata la strategia QIF per risolvere le ambiguità al loro valore intero.

- PID 401 ADDNEQ2: Genera una soluzione per la rete utilizzando le equazioni normali create al passo 2) del processo 322. Le coordinate e le correzioni troposferiche vengono salvate per un uso successivo.
- PID 402 GPSXTR: Crea un file sommario riguardante la soluzione con ambiguità reali.
- PID 411 GPSQUIAP: Prepara la parallelizzazione del processo successivo.
- PID 412 GPSQIF\_P: Per ogni linea di base viene attivato il programma GPSEST. Le correzioni troposferiche e le coordinate calcolate nella soluzione con ambiguità reali vengono introdotte e fissate. Le ambiguità vengono risolte ai loro valori interi mediante l'algoritmo QIF.
- PID 413 GPSXTR: Crea un file sommario del passo precedente.

**Calcolo della soluzione (con ambiguità fissate).** Una volta che sono stati determinati i valori interi delle ambiguità, tali ambiguità vengono fissate e viene calcolata una nuova soluzione. In questa sezione vengono inoltre evidenziati le stazioni fiduciarie problematiche, e nel caso esistano, viene ricalcolata la soluzione tralasciando tali stazioni.

- PID 501 GPSEST: Viene calcolata una soluzione fissando le ambiguità e vengono generate le equazioni normali. I parametri stimati sono coordinate e ritardo troposferico zenitale. Le coordinate delle stazioni fiduciarie non vengono fissate.
- PID 511 ADDNEQ2: Viene calcolata la soluzione definitiva utilizzando le equazioni normali calcolate dal processo precedente. La realizzazione del datum geodetico viene effettuata utilizzando i minimi vincoli su un set di coordinate di stazioni fiduciarie. Vengono inoltre generati i SINEX troposferici contenenti il ritardo zenitale troposferico.
- PID 512 GPSXTR: Crea un file sommario relativo al processo precedente.
- PID 513 COMPAR: Confronta l'insieme delle coordinate stimate con i risultati ottenuti dalle sessioni precedenti.
- PID 514 HELMR1: La stima delle coordinate di tutte le stazioni fiduciarie viene verificata mediante una trasformazione di Helmert. Se i residui nelle coordinate di qualche stazione sono superiori ad un valore di soglia, allora tale stazione viene rimossa dall'elenco delle stazioni fiduciarie e la soluzione viene ricalcolata a partire dal processo 511.
- PID 521 ADDNEQ2: questo script serve a diminuire la dimensione dei files di equazioni normali fissando i parametri troposferici.
- PID 522 GPSXTR: Crea un file sommario relativo al processo precedente.

### Creazione dei files di sommario

- PID 901 R2S\_SUM: Crea un file di sommario comprensivo dei risultati più importanti dell'elaborazione:
  1. Messaggi di errore
  2. Informazioni su generazione dell'orbita, posizionamento puntuale e screening dei dati.
  3. Elenco delle stazioni rigettate.
  4. Sommario sul calcolo delle ambiguità per mezzo dell'algoritmo QIF.
  5. Risultati preliminari e finali (per coordinate e troposfera).
  6. Verifica della definizione del datum geodetico.

- PID 902 R2S\_SAV: Salva i files in output in una directory specificata dall'utente.
- PID 902 R2S\_DEL: Cancella i files temporanei.
- PID 904 BPE\_CLN: Cancella i files di debugging dalla directory BPE.
- PID 999 DUMMY: Indica la fine della procedura di elaborazione.

### 6.5.3 Combinazione delle soluzioni giornaliere.

I files di equazioni normali giornalieri generati dal processo 521 del PCF RNX2SNX vengono utilizzati per calcolare una soluzione settimanale. La procedura seguita è la seguente:

- Copiatura dei files di equazioni normali dalle directories giornaliere YY\_DDD/SOL alla directory WKWWW/SOL.
- Combinazione dei files di equazioni normali tramite il PCF COMB. Tale PCF attiva il programma di combinazione delle equazioni normali ADDNEQ2; i files in input sono:
  1. Files delle equazioni normali .NQ0.
  2. Files delle coordinate a priori.
  3. Elenco delle stazioni fiduciarie .FIX.

Il processo genera 3 files: il file UPAWWW7.NQ0 (equazioni normali settimanali, relative alla settimana GPS WWWW), il file UPAWWW7.SNX (contenente la matrice di covarianza) e il file UPAWWW7.CRD contenente le coordinate a priori. La soluzione è allineata al sistema ITRF2000 tramite il metodo dei minimi vincoli (solo per i 3 parametri di traslazione) applicato all'insieme di stazioni specificate nel file .FIX.

### 6.5.4 Calcolo del ritardo troposferico zenitale.

Il ritardo troposferico zenitale viene calcolato utilizzando le equazioni normali giornaliere generate dal processo 511 del PCF RNX2SNX, fissando le coordinate ai valori medi settimanali. La procedura seguita è costituita dai seguenti passi:

- Copiatura del file delle coordinate settimanali UPAWWW7.CRD dalla directory WKWWW/STA alle directories giornaliere YY\_DDD/STA.
- Esecuzione della stima dei parametri troposferici mediante il PCF TROPO. Tale PCF attiva il programma ADDNEQ2 che stima i ritardi troposferici tenendo fissate le coordinate ai valori settimanali.

Per ogni giorno vengono generati in output i SINEX troposferici (UPAWWW7.D.TRO, WWWW = settimana GPS, D = giorno della settimana).





# Capitolo 7

## Riprocessamento CEGRN

### 7.1 Introduzione.

Nel capitolo precedente il campo di velocità nella regione europea è stato determinato per mezzo dello stacking delle equazioni normali EUREF. Abbiamo visto che questa procedura permette, tramite le operazioni elementari effettuate sulle equazioni normali (pre-eliminazione dei parametri e rinominazione dei siti), di diminuire l'effetto di outliers e cattivo funzionamento della strumentazione sulla determinazione della velocità dei siti. Purtroppo, a causa dell'utilizzo di osservabili alla doppie differenze, il cattivo funzionamento della strumentazione di un sito si riflette negativamente sui dati di tutti gli altri siti della rete. Perciò sarebbe preferibile effettuare il rigetto degli outliers a livello dei dati grezzi. Inoltre la combinazione multi anno delle equazioni normali risente della qualità del prodotto IGS (orbite precise e correzioni per il moto del polo), che è variata nel corso degli anni. Un eventuale riprocessamento di tutti i dati EUREF è discusso da anni, ma non è stato ancora effettuato essenzialmente per mancanza di risorse. In questo capitolo affronteremo il riprocessamento di una rete geodetica distribuita nella regione europea centro-orientale (CEGRN, Central European GPS Geodynamic Reference Network). Diversamente da quanto fatto per la combinazione EUREF, non è possibile analizzare le serie storiche in quanto le misure sono state effettuate una volta all'anno per gli anni 1994, 1995, 1996, 1997, ed ogni due anni in seguito (1999, 2001, 2003, 2005 e 2006). Per ovviare al problema della qualità variabile dei prodotti IGS si è fatto uso delle orbite e degli EOP ottenuti dal riprocessamento dei dati GPS relativi agli anni dal 1994 al 2005, effettuato dall'università di Potsdam (vedi [50]).

### 7.2 Descrizione delle campagne.

Riportiamo in questa sezione i dati che caratterizzano ogni campagna CEGRN.

| Campagna | Numero di siti | giorni di campagna |
|----------|----------------|--------------------|
| CEGRN94  | 29             | 5                  |
| CEGRN95  | 40             | 7                  |
| CEGRN96  | 50             | 6                  |
| CEGRN97  | 45             | 7                  |
| CEGRN99  | 61             | 6                  |
| CEGRN01  | 56             | 7                  |
| CEGRN03  | 73             | 6                  |
| CEGRN05  | 100            | 6                  |
| CEGRN06  | 47             | 7                  |

### 7.3 Linee guida del riprocessamento

Il riprocessamento dei dati CEGRN si basa sulla strategia di elaborazione alle doppie differenze delineata nei capitoli precedenti (strategia RNX2SNX), con qualche lieve modifica riguardante la definizione del sistema di riferimento. Le linee guida dettate dal consorzio CEGRN (vedi [46]) per mantenere l'uniformità tra le diverse soluzioni prodotte dai centri di analisi coinvolti nel progetto sono descritte dai punti seguenti:

1. Software: Bernese 5.
2. Lunghezza delle campagne giornaliere: 24 ore.
3. Utilizzo delle orbite IGS00b e degli EOPs ottenute dal riprocessamento delle Università di Potsdam e Monaco.
4. Inclusione dei siti addizionali IGS (ONSA, ZIMM, KOSG, METS e MATE).
5. Utilizzo della mapping function di Niell umida.
6. Stima del ritardo troposferico zenitale (utilizzando una sigma a priori di 5.0 m)
7. Osservazioni pesate in funzione dell'angolo di elevazione.
8. Soluzione con ambiguità fissate.
9. Coordinate a-priori con accuratezza di alcuni centimetri.
10. Utilizzo delle correzioni assolute per i centri di fase delle antenne (utilizzo dei valori IGS).
11. Angolo di cut off superiore o uguale a  $5^\circ$ .
12. Utilizzo delle informazioni ausiliarie, riguardanti cambiamenti di hardware, contenute nel file .STA ufficiale EUREF, aumentate con le informazioni contenute nei log files ufficiali CEGRN.

13. Utilizzo del file di correzioni mareali ufficiale CEGRN.
14. Coordinate della stazione JOZE fortemente vincolate ai valori a priori.
15. Stima del gradiente troposferico.
16. Utilizzo del modello mareale FES2004.

### 7.3.1 Descrizione dell'elaborazione giornaliera

La differenza principale tra una soluzione giornaliera UPA per l'EUREF, come descritta nei capitoli precedenti, e una soluzione UPA per CEGRN, consiste nel fatto che le coordinate della stazione JOZE in quest'ultima, sono fortemente vincolate ai valori ITRF05, (a livello di 0.1 mm). La soluzione ottenuta dallo stacking viene vincolata per mezzo dei minimi vincoli (solo sui parametri di traslazione) sulle seguenti stazioni:

|      |      |      |
|------|------|------|
| BOR1 | GRAZ | JOZE |
| KOSG | LAMA | METS |
| ONSA | PENC | ZIMM |
| WTZR | MATE | GOPE |

Le informazioni ausiliarie (tipo di antenna, offset dell'antenna e tipo del ricevitore) derivano direttamente dal file ufficiale EUREF. Per gli altri siti le informazioni sono state estratte dalla documentazione relativa ad ogni sito. Un apposito script perl è stato utilizzato per riformattare i files contenenti tale informazione, allo scopo di minimizzare gli errori tipografici. Si è notato che la documentazione delle campagne meno recenti era lacunosa, in particolare era assente per quanto riguardava il radome utilizzato. Come regola, quando non è stato possibile risalire al tipo di radome, si è ipotizzato che il radome fosse assente (utilizzando la keyword NONE nell'apposito campo dello Station Information File). Per le campagne 1994-1995-1996 non sono disponibili i files .ION e i files .DCB, pertanto nelle relative elaborazioni tali informazioni non sono state utilizzate.

Le coordinate e le velocità delle stazioni di riferimento sono riferite al primo gennaio 2000 e sono espresse nel sistema di riferimento ITRF2005. Le coordinate degli altri siti, all'epoca della campagna, sono state ricavate dalle precedenti elaborazioni CEGRN, ottenute con orbite IGS. Questo fatto è sufficiente a garantire l'accuratezza centimetrica delle coordinate a priori, necessaria ad ottenere una stima corretta del ritardo troposferico. Le coordinate delle stazioni di riferimento sono state mappate alla posizione che occupavano all'epoca della campagna per mezzo delle loro velocità. Quando le coordinate a priori dei siti non erano disponibili, si è utilizzata la strategia PPP per ottenere una stima di esse.

Per la campagna CEGRN06 si sono utilizzate le orbite, gli EOPs e i Satellite Problem Files dell'IGS, in quanto le orbite di Monaco/Potsdam sono disponibili solo

per gli anni dal 1994 al 2005. Quando i dati erano disponibili, si sono introdotte nell'elaborazione le seguenti stazioni EPN.

|      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| GLSV | ORID | GSR1 | BOGO |
| KRAW | MIKL | CAOP | PUGS |

## 7.4 Stacking delle equazioni normali di campagna

Per ogni campagna sono state combinate le equazioni normali giornaliere (ridotte, cioè contenenti l'informazione riguardante le sole coordinate). Le statistiche di ogni soluzione di campagna sono riportate nella tabella (). La soluzione è stata allineata all'ITRF05 utilizzando i minimi vincoli (non-net translation condition, che implica che il baricentro del sistema di riferimento combinato deve coincidere con il baricentro del sistema di riferimento ITRF05).

| Campagna | Numero di siti | $\frac{chi^2}{DoF}$ | A posteriori RMS |
|----------|----------------|---------------------|------------------|
| CEGRN94  | 29             | 1.12                | 0.00106          |
| CEGRN95  | 40             | 1.86                | 0.00136          |
| CEGRN96  | 50             | 1.86                | 0.00136          |
| CEGRN97  | 45             | 1.51                | 0.00123          |
| CEGRN99  | 61             | 1.77                | 0.00133          |
| CEGRN01  | 56             | 1.73                | 0.00132          |
| CEGRN03  | 73             | 1.93                | 0.00139          |
| CEGRN05  | 100            | 1.83                | 0.00135          |
| CEGRN06  | 47             | 1.73                | 0.00132          |

Si osserva che il rapporto  $\frac{chi^2}{DoF}$  rimane sempre vicino all'unità, e inoltre non varia molto al variare delle campagne. Questo significa che:

- Non sono presenti significativi outliers.
- La qualità di orbite ed EoPs è omogenea.

I grafici della ripetibilità permettono di determinare quali siti risultano più problematici. I risultati sono riportati nella tabella.

| Campagna | sito       | descrizione                               |
|----------|------------|---|
| CEGRN99  | VRN1       | Cattiva ripetibilità verticale            |
| CEGRN01  | HUTB       | Cattiva ripetibilità della componente Est |
| CEGRN05  | BJEL, KABA | Cattiva ripetibilità verticale            |

I grafici mostrano che, a parte i siti evidenziati, le ripetibilità sono dell'ordine di grandezza di alcuni millimetri. La ripetibilità della componente verticale è sempre maggiore di quella delle componenti orizzontali.

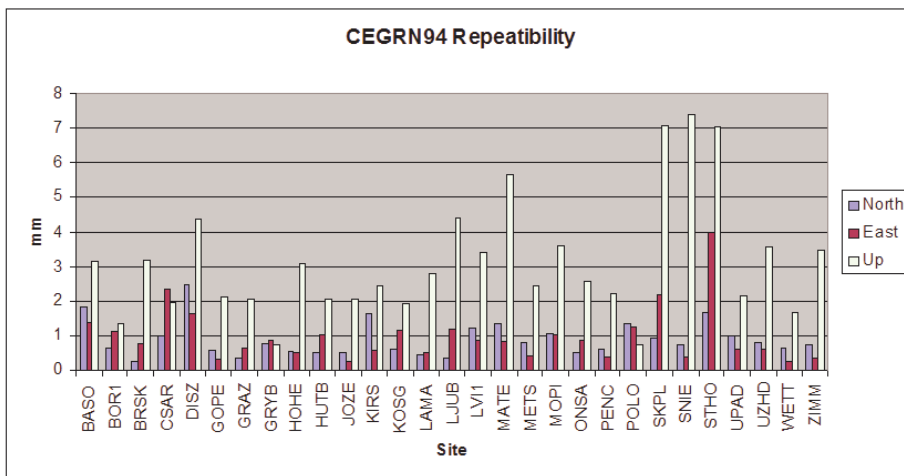


Figura 7.1: Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN94

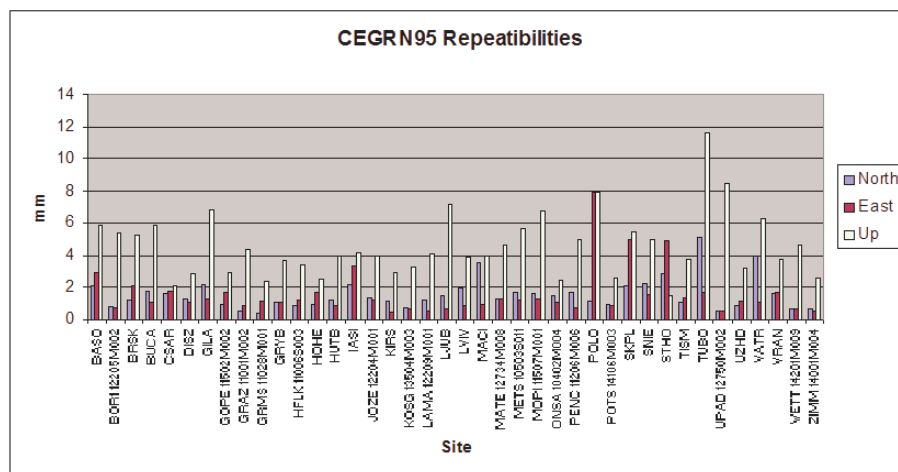


Figura 7.2: Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN95

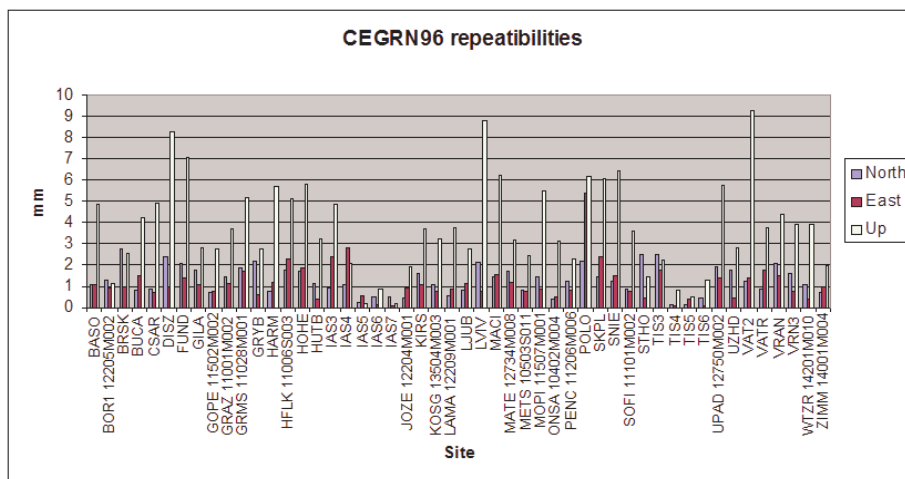


Figura 7.3: Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN96

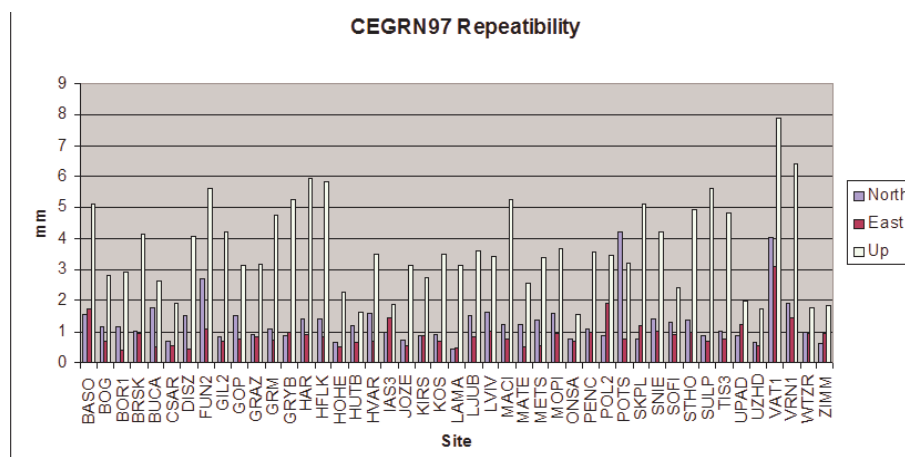


Figura 7.4: Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN97

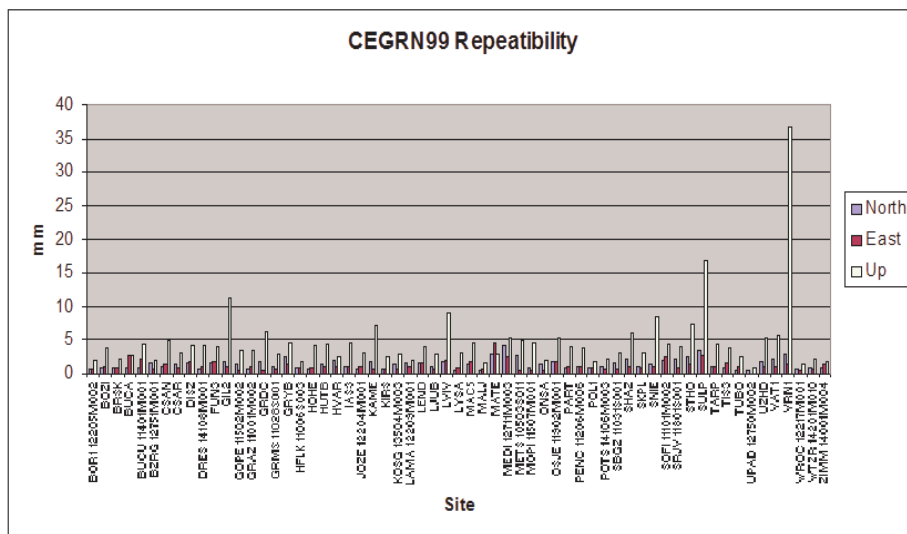


Figura 7.5: Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN99

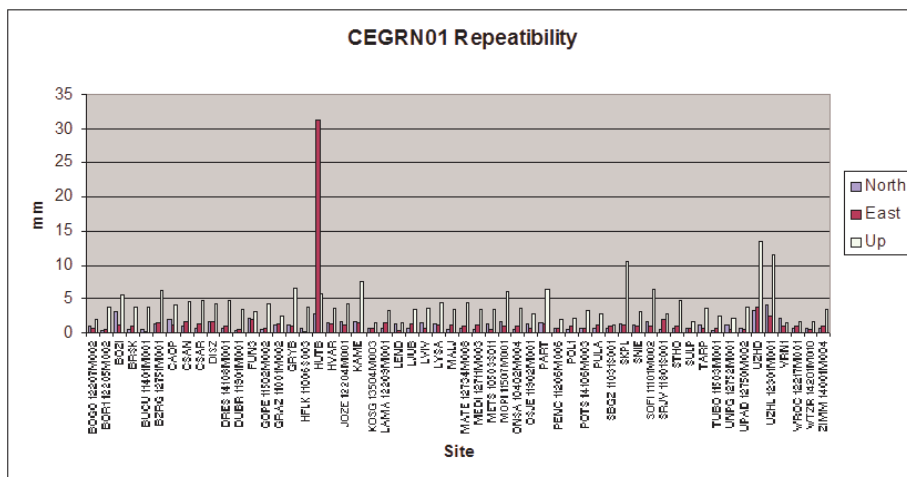


Figura 7.6: Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN01

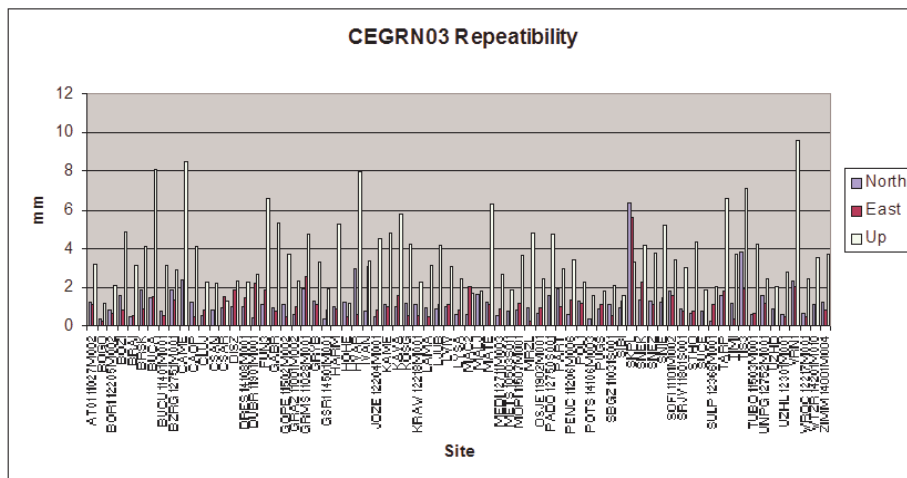
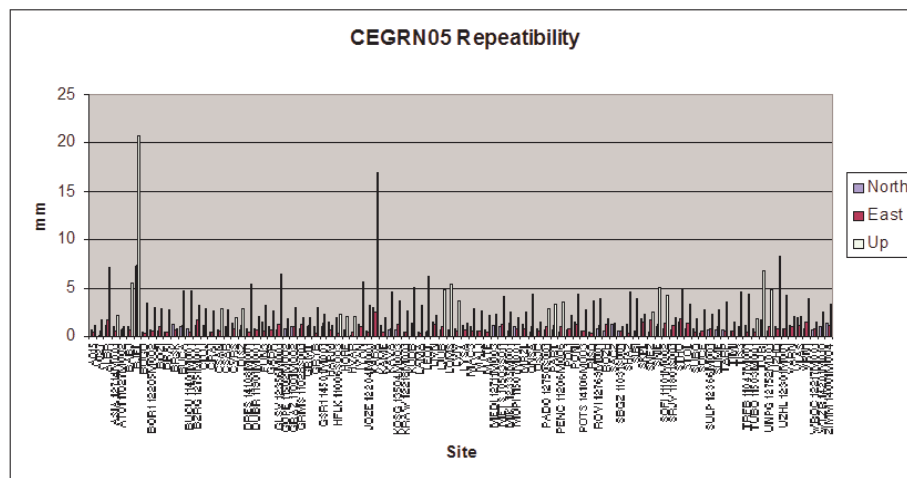
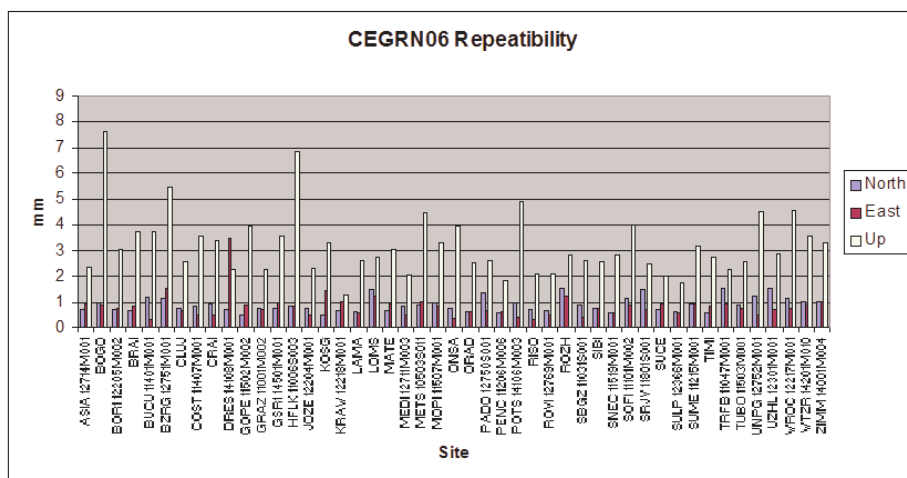


Figura 7.7: Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN03



Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN05



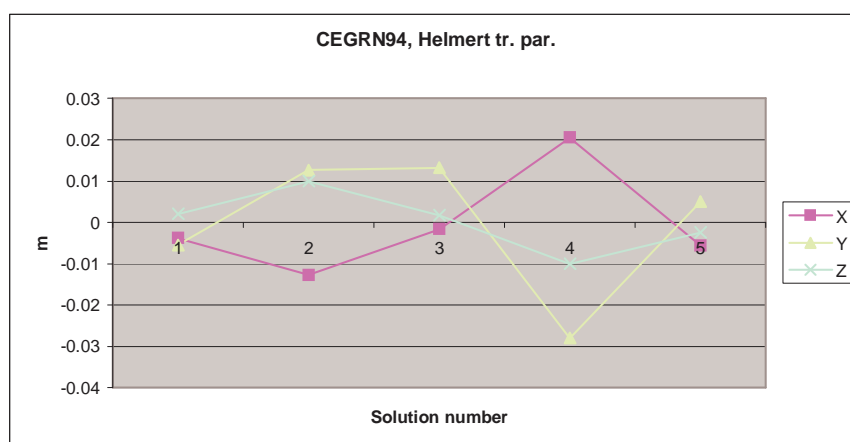


Ripetibilità dei siti, campagna CEGRN06

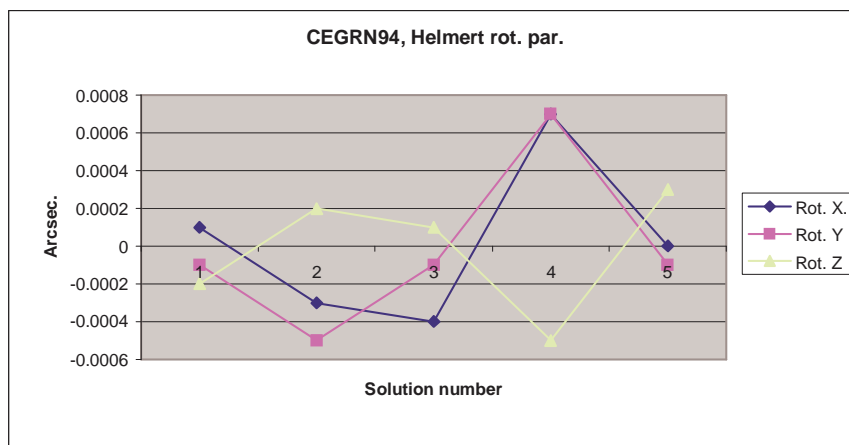
### 7.4.1 Grafici dei parametri di Helmert

Per verificare che il riferimento combinato realizzato in ciascuna campagna sia definito consistentemente è necessario analizzare i grafici dei parametri di Helmert. L'analisi delle ripetibilità e dei residui ha mostrato che il comportamento delle stazioni fiduciarie non presenta problemi particolari. Dai grafici dei parametri di Helmert si vede che i parametri di traslazione non sono mai superiori a 3 cm, e che i parametri di rotazione sono inferiori a 0.0008 secondi di arco. Tali valori ci fanno supporre che ogni sistema di riferimento combinato sia stato definito consistentemente.

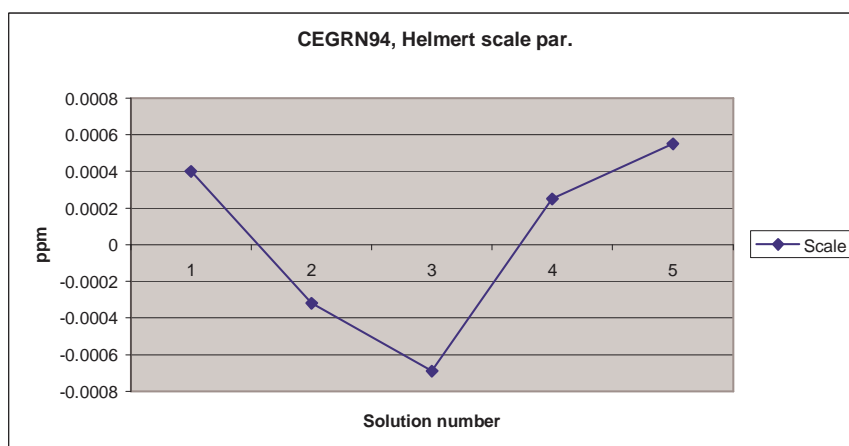
#### Grafici dei parametri di Helmert per la campagna CEGRN94



Parametri di Helmert per la traslazione, CEGRN94

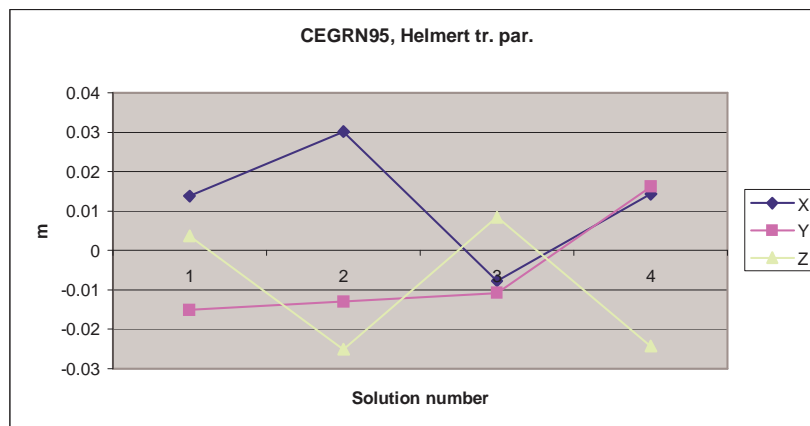


Parametri di Helmert per la rotazione, CEGRN94

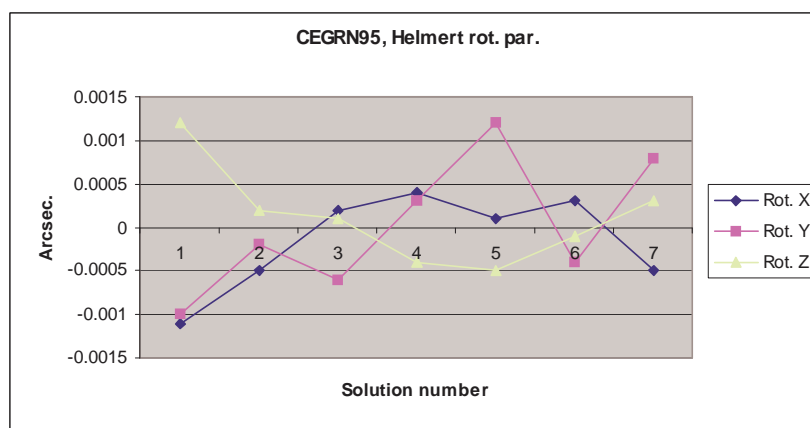


Fattore di scala, CEGRN94

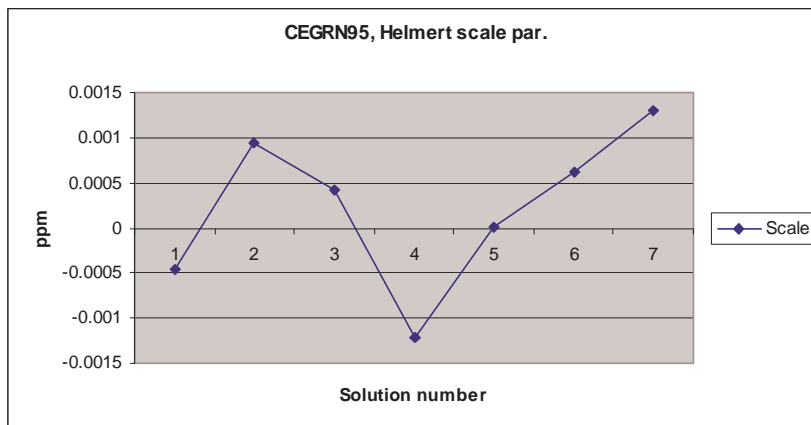
Grafici dei parametri di Helmert per la campagna CEGRN95.



Parametri di Helmert per la traslazione, CEGRN95.

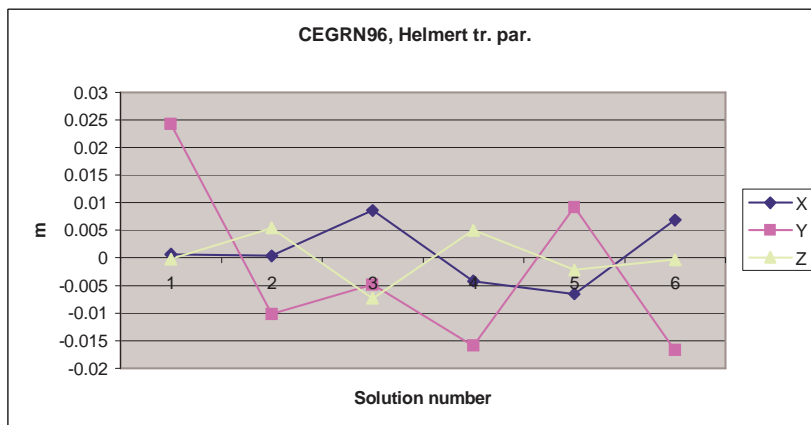


Parametri di Helmert per la rotazione. CEGRN95.

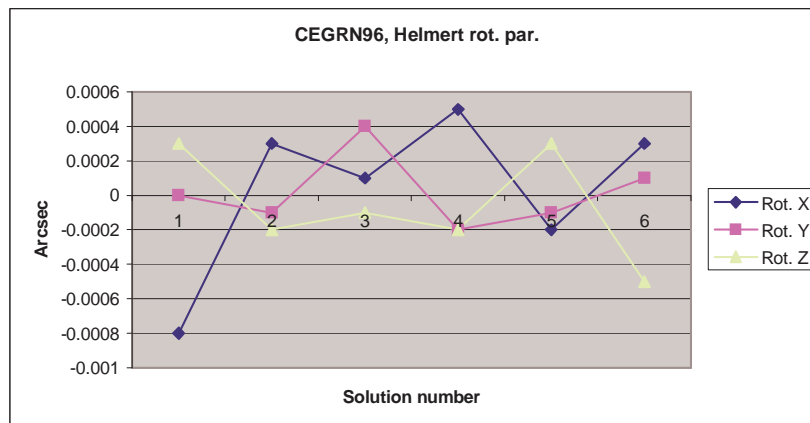


Fattore di scala. CEGRN95.

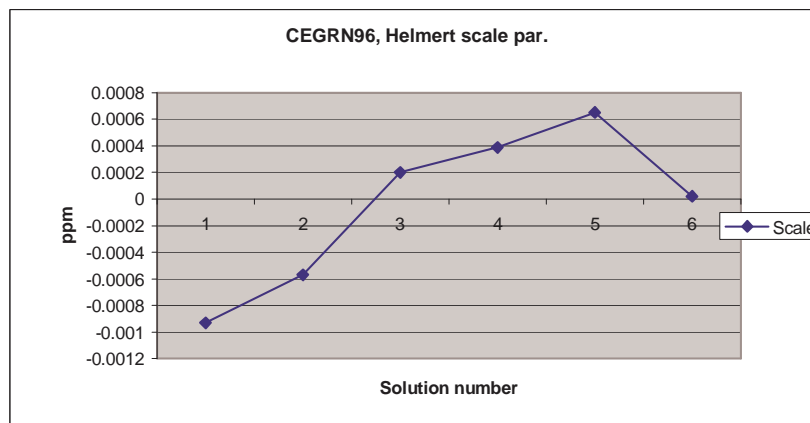
Grafici dei parametri di Helmert per la campagna CEGRN96.



Parametri di traslazione di Helmert. CEGRN96.

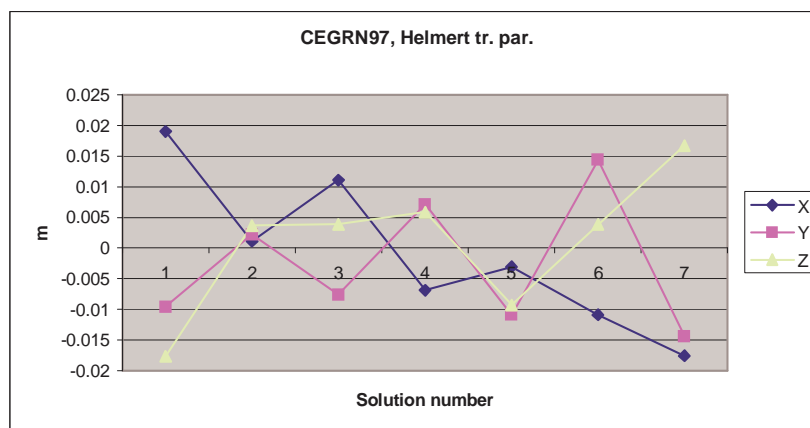


Parametri di rotazione di Helmert. CEGRN96.

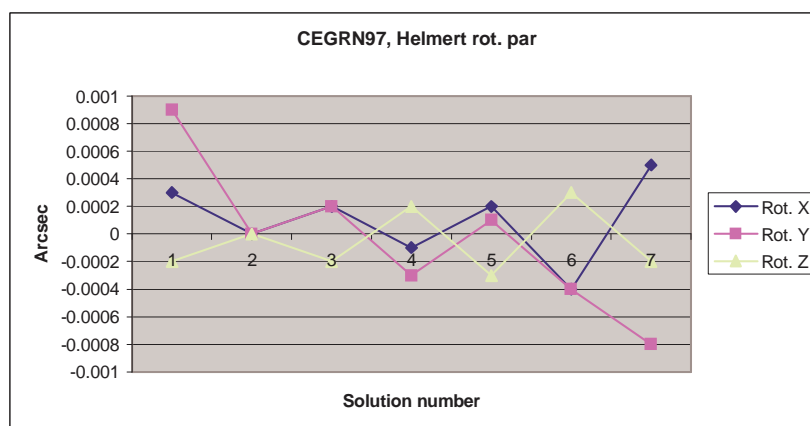


Fattore di scala. CEGRN96.

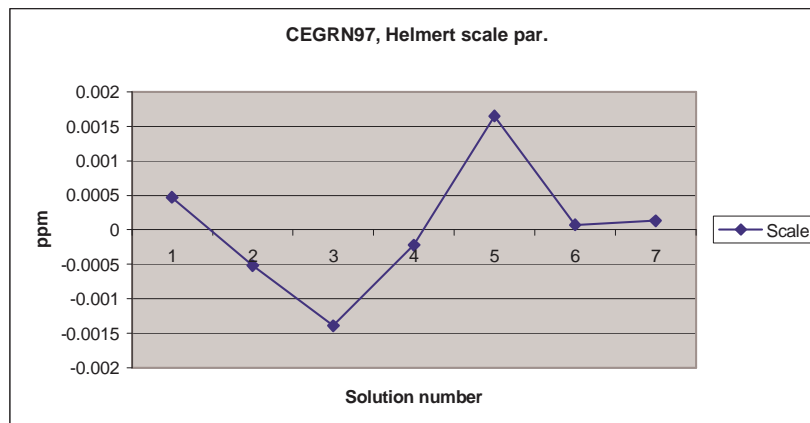
Grafici dei parametri di Helmert per la campagna CEGRN97.



Parametri di traslazione di Helmert. CEGRN97.

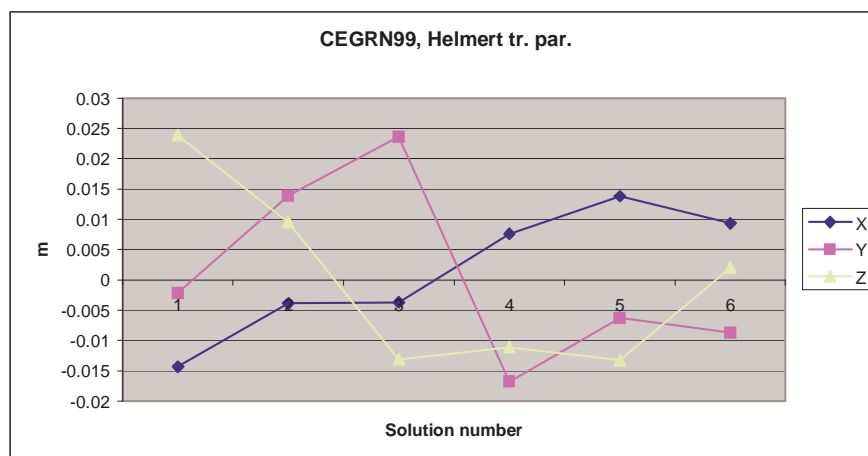


Parametri di rotazione di Helmert. CEGRN97.

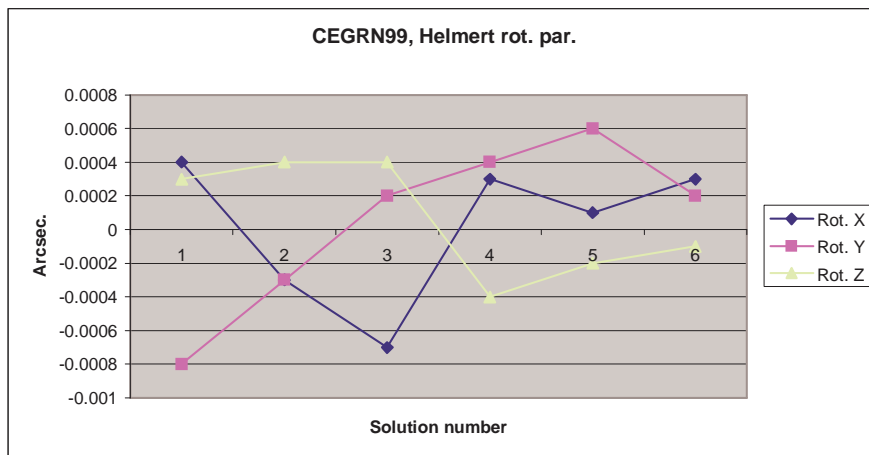


Parametri di scala di Helmert. CEGRN97.

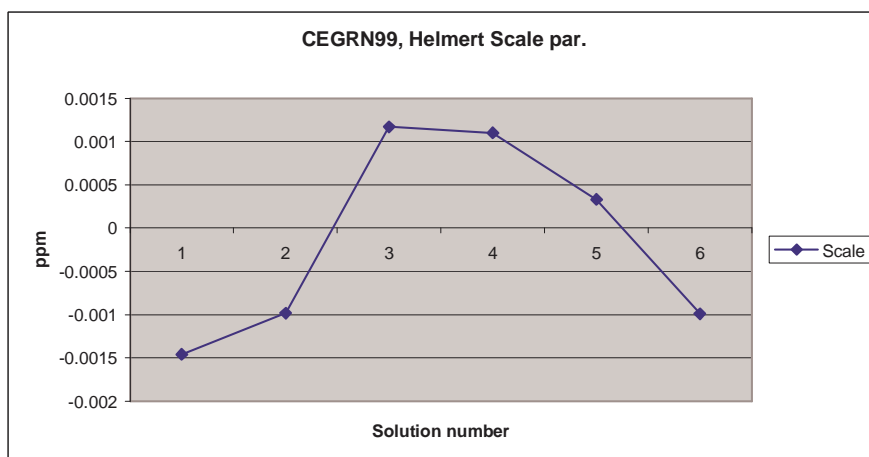
Grafici dei parametri di Helmert per la campagna CEGRN99.



Parametri di traslazione di Helmert. CEGRN99.



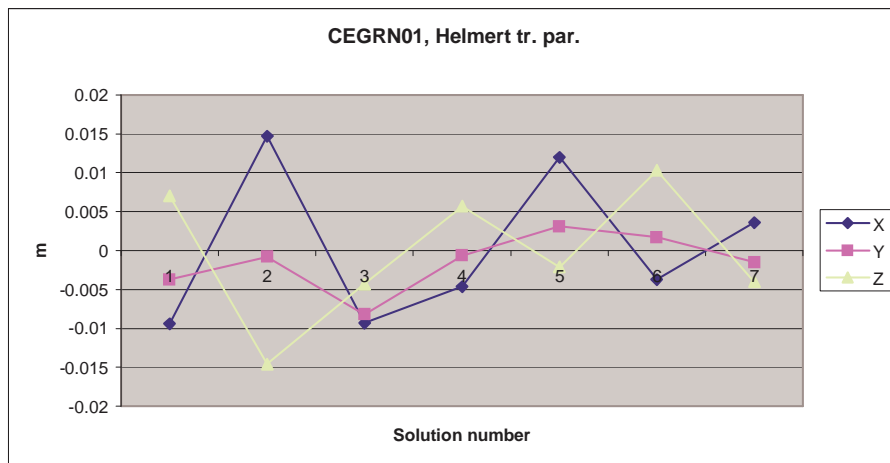
Parametri di rotazione di Helmert. CEGRN99.



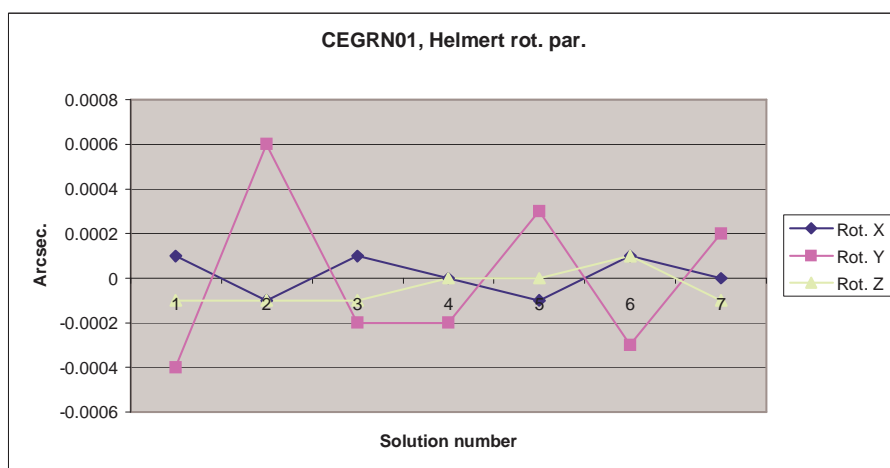
Fattore di scala, CEGRN99.



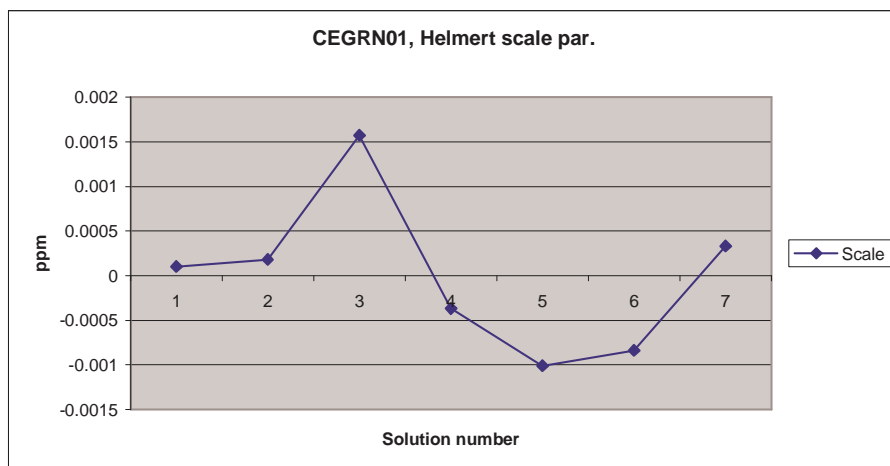
Grafici dei parametri di Helmert per la campagna CEGRN01.



Parametri di traslazione di Helmert. CEGRN01.

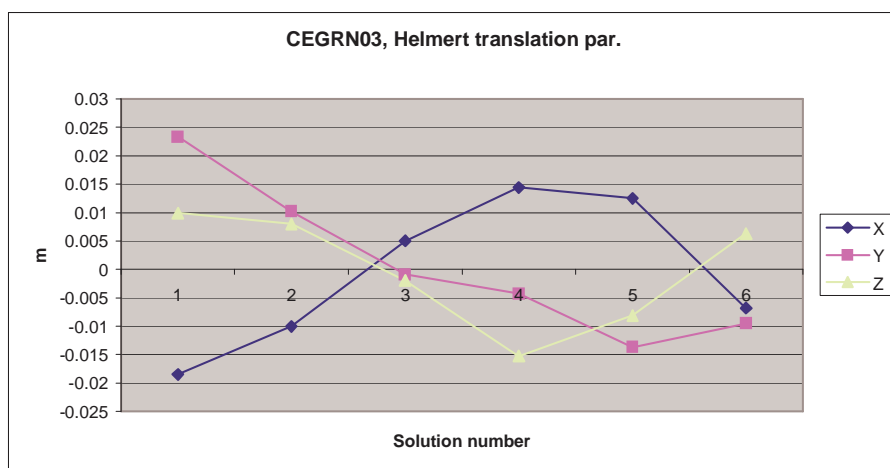


Parametri di rotazione di Helmert. CEGRN01.

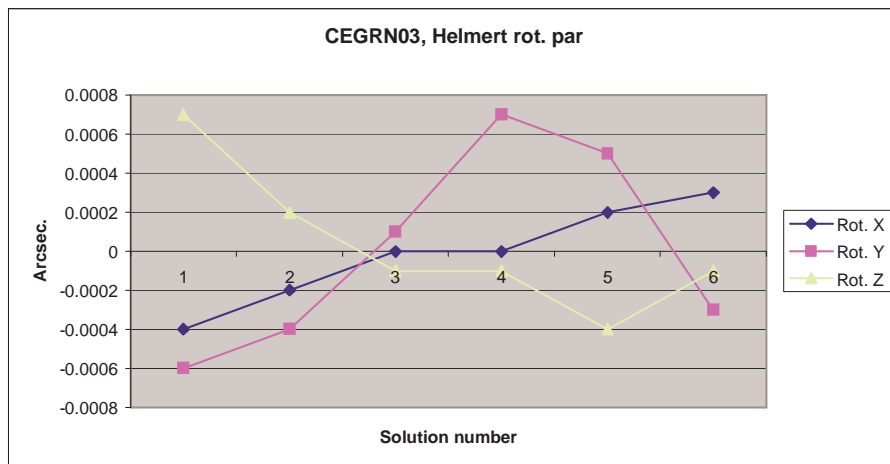


Fattore di scala. CEGRN01.

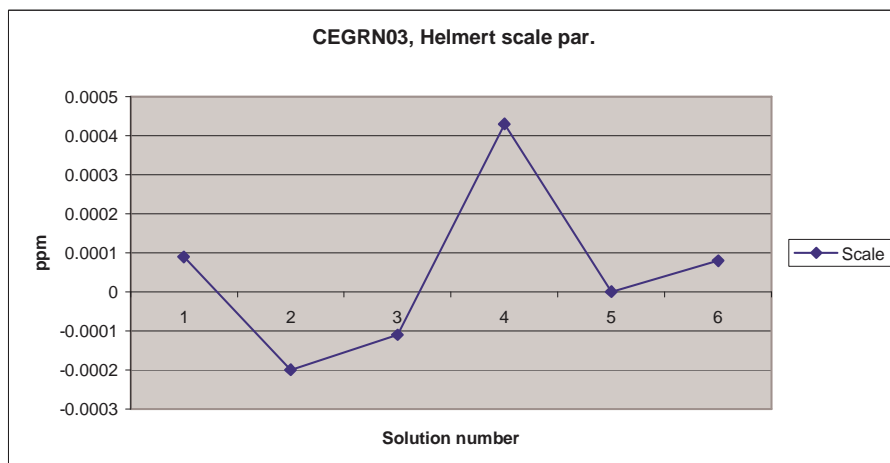
Grafici dei parametri di Helmert per la campagna CEGRN03.



Parametri di traslazione di Helmert. CEGRN03.

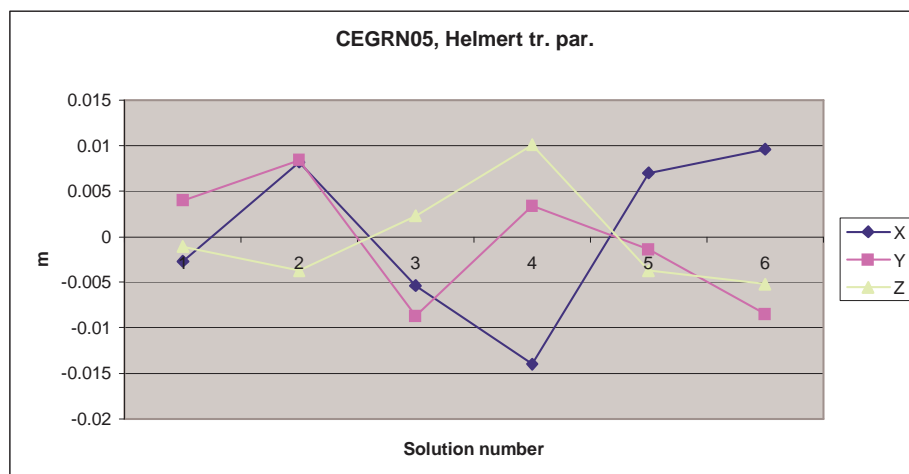


Parametri di rotazione di Helmert. CEGRN03.

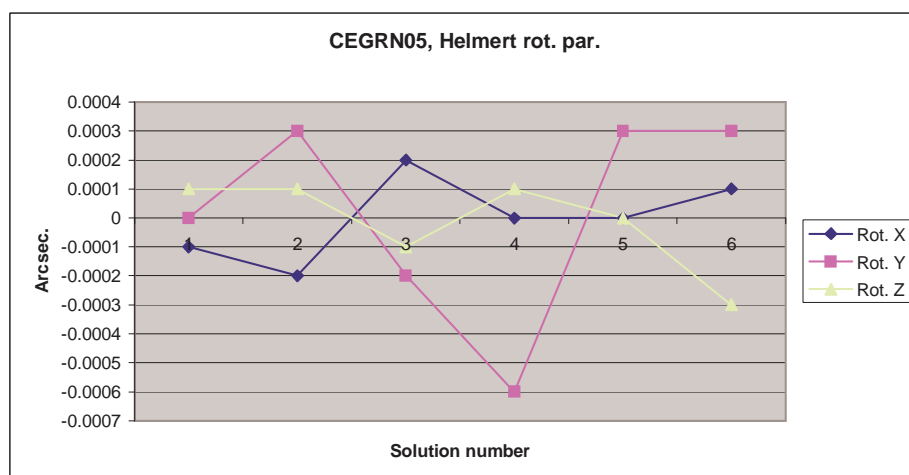


Fattore di scala. CEGRN03.

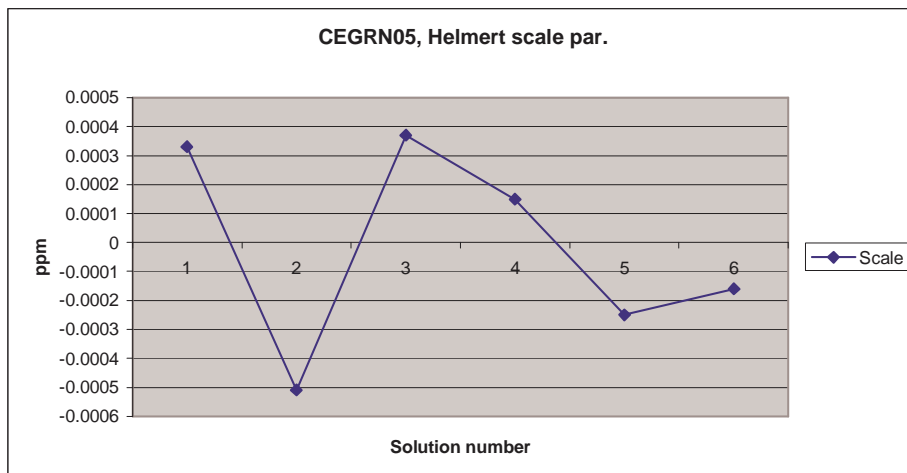
Grafici dei parametri di Helmert per la campagna CEGRN05.



Parametri di traslazione di Helmert. CEGRN05.



Parametri di rotazione di Helmert. CEGRN05.



Fattore di scala. CEGRN05.

## 7.5 Soluzione multi-anno

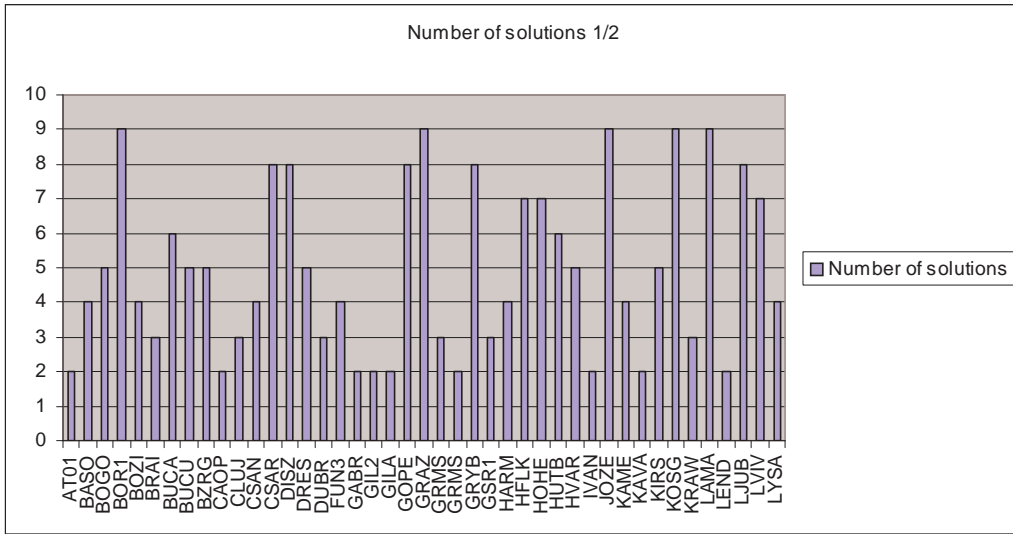
Una volta che la consistenza di ciascuna soluzione di campagna è stata verificata, è possibile effettuare una combinazione multianno, allo scopo di stimare le velocità dei siti. I siti riportati nella seguente tabella sono stati utilizzati per definire il sistema di riferimento, attraverso i minimi vincoli imposti sui soli parametri di translazione. Le velocità dei siti che costituiscono il riferimento sono state vincolate ai valori ITRF 2005 (con una sigma di 0.1 mm/anno nelle componenti x,y,z). Le velocità a priori per i siti che non fanno parte del riferimento sono di 0.0 mm/anno.

### Individuazione dei siti che presentano un comportamento problematico.

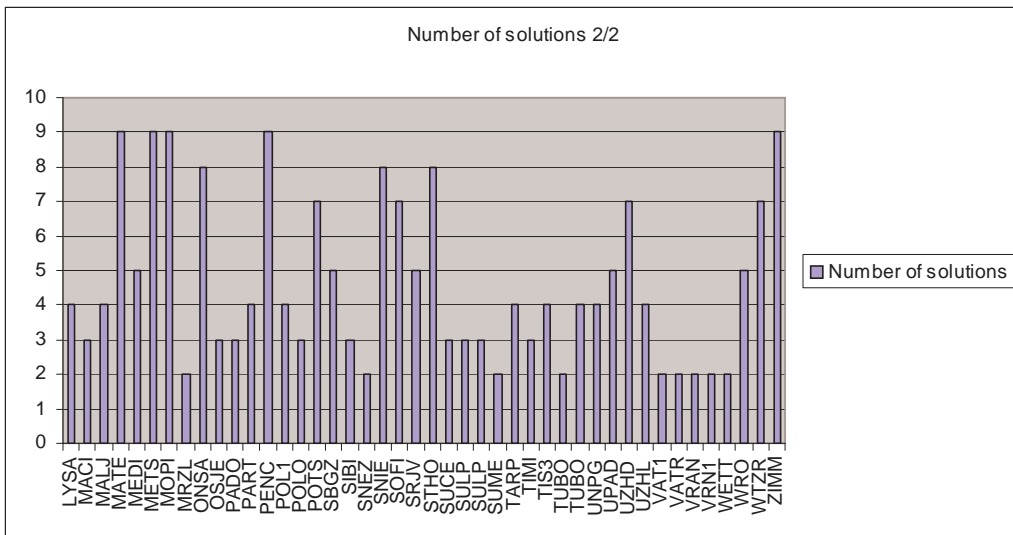
Sappiamo che l'attendibilità della stima delle velocità dipende da tre fattori:

1. Numero di dati.
2. Intervallo temporale sul quale si distribuiscono i dati.
3. Qualità intrinseca dei dati.

La strategia scelta per minimizzare gli effetti dovuti consiste nella preeliminazione dalle equazioni normali dei siti che presentano un'elevata ripetibilità. Inoltre sappiamo che per ottenere una stima attendibile delle velocità è necessario che le osservazioni siano distribuite su un intervallo di tempo maggiore di tre anni. I siti caratterizzati da un intervallo di osservazione inferiore ai tre anni o che hanno al più due osservazioni sono stati vincolati a valori nulli delle velocità verticali. Il numero di osservazioni relative a ciascun sito è riportato nei seguenti grafici:

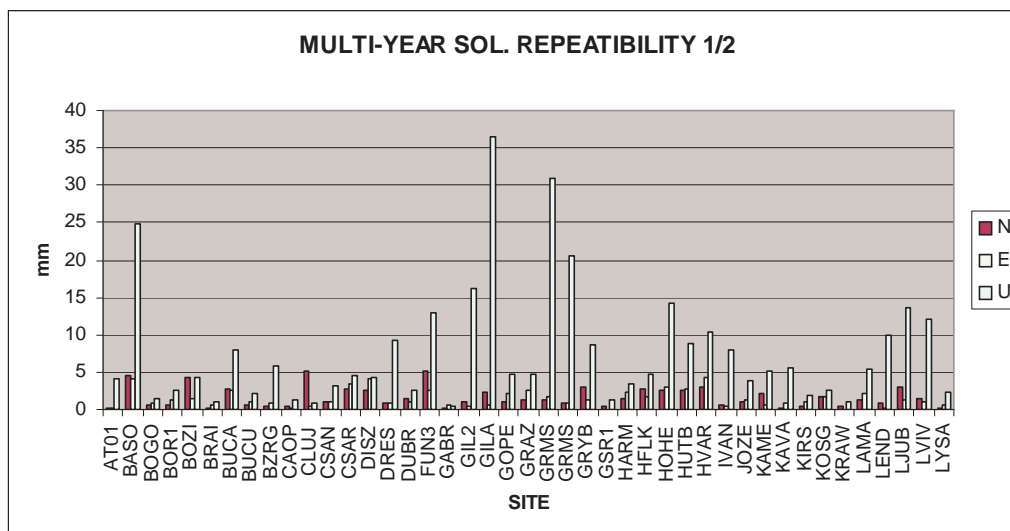


Numero di soluzioni di campagna per ogni sito (1/2).

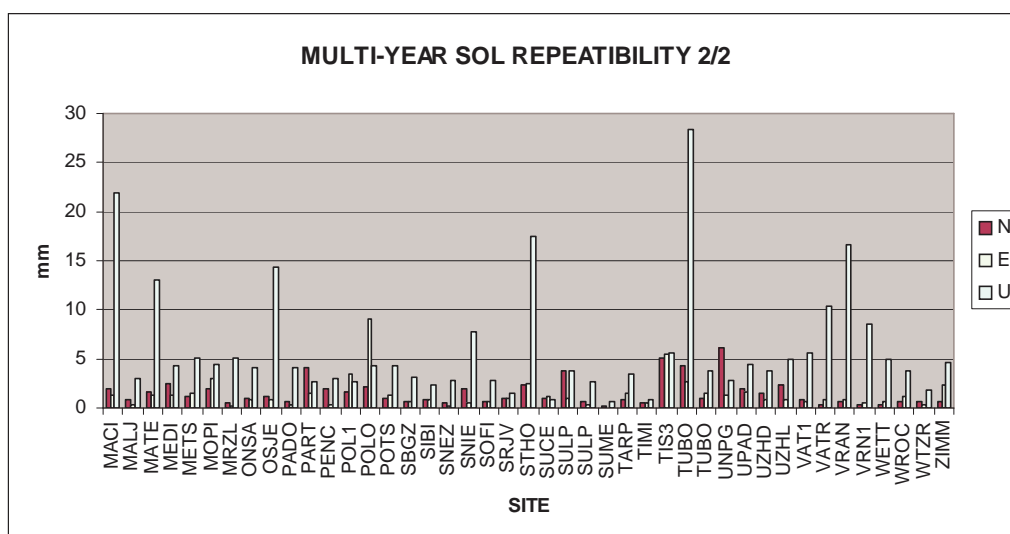


Numero di soluzioni di campagna per ogni sito (2/2).

Le ripetibilità della soluzione multianno, per ogni sito, sono riportate nei seguenti grafici:



Ripetibilità di ogni sito, soluzione multianno (1/2).



Ripetibilità di ogni sito, soluzione multianno (2/2).

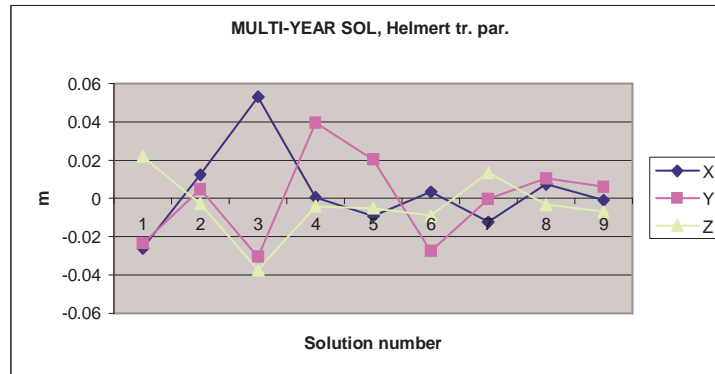
Sulla base dei grafici precedenti è stata definita la seguente lista di siti problematici.

|                |      |                |                |
|----------------|------|----------------|----------------|
| AT01 11027M002 | LEND | SNEZ           | VATR           |
| CAOP           | GILA | IVAN           | VRAN           |
| GIL2           | MRZL | GRMS 11028S001 | WETT 14201M009 |
| GLSV           | TUBO | VAT1           | GABR           |

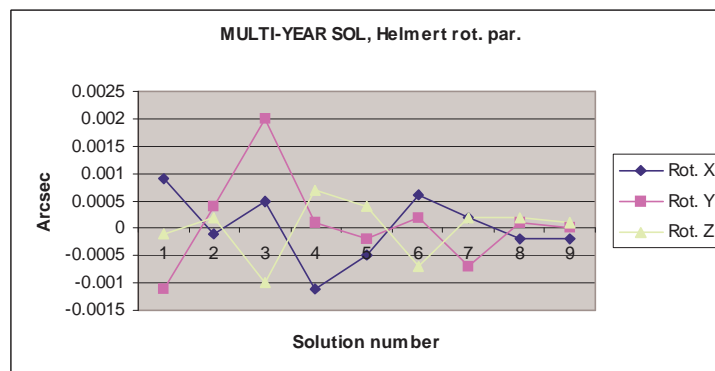
Il numero totale di siti di cui è stata stimata la velocità è 86.

### 7.5.1 Controllo della consistenza della soluzione multianno.

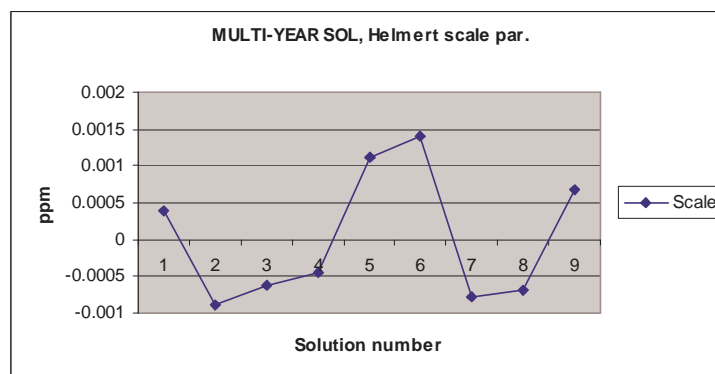
I grafici dei parametri di Helmert sono stati utilizzati per determinare la consistenza del sistema di riferimento combinato.



Parametri di traslazione, soluzione multianno.



Parametri di rotazione. Soluzione multianno.



Fattore di scala. Soluzione multianno.



Osserviamo che i parametri di traslazione sono sempre inferiori a 6 cm, e i parametri di rotazione sono inferiori a 0.002 secondi d'arco. Questo valori costituiscono un'ulteriore conferma della consistenza della soluzione calcolata.

### 7.5.2 Confronto con le velocità EPN

Come ulteriore verifica confrontiamo le velocità dei siti EPN che fanno parte della soluzione CEGRN con le velocità stimate attraverso lo stacking delle equazioni settimanali EUREF. I risultati sono riportati in tabella:

|      |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| bucu | 12.46 | 23    | 1.86  | -1.16 | -0.23 | 1.86  |
|      | 11.61 | 23.56 | 2.14  | -2.02 | 0.34  | 2.09  |
|      | 0.85  | -0.56 | -0.28 | 0.86  | -0.57 | -0.23 |
| bzrg | 15.77 | 19.93 | 2.79  | 0.42  | -0.18 | 2.79  |
|      | 15.37 | 19.31 | 1.27  | 0.02  | -0.79 | 1.21  |
|      | 0.4   | 0.62  | 1.52  | 0.4   | 0.61  | 1.58  |
| mopi | 15.21 | 21    | 2.78  | 0.44  | 0.2   | 2.78  |
|      | 14.85 | 20.91 | 3.26  | 0.08  | 0.11  | 3.21  |
|      | 0.36  | 0.09  | -0.48 | 0.36  | 0.09  | -0.43 |
| sbgz | 15.34 | 20.09 | 1.64  | 0.15  | 0.77  | 1.64  |
|      | 15.37 | 20.47 | 2.65  | 0.17  | 0.33  | 2.6   |
|      | -0.03 | -0.38 | -1.01 | -0.02 | 0.44  | -0.96 |
| unpg | 16.45 | 20.6  | 2.52  | 1.19  | -0.49 | 2.52  |
|      | 17.43 | 19.64 | 0.15  | 2.17  | -1.45 | 0.1   |
|      | -0.98 | 0.96  | 2.37  | -0.98 | 0.96  | 2.42  |
| pado | 15.82 | 21.1  | 0.36  | 0.52  | 0.63  | 0.02  |
|      | 16.95 | 20.6  | 1     | 1.64  | 0.12  | 0.95  |
|      | -1.13 | 0.5   | -0.64 | -1.12 | 0.51  | -0.93 |

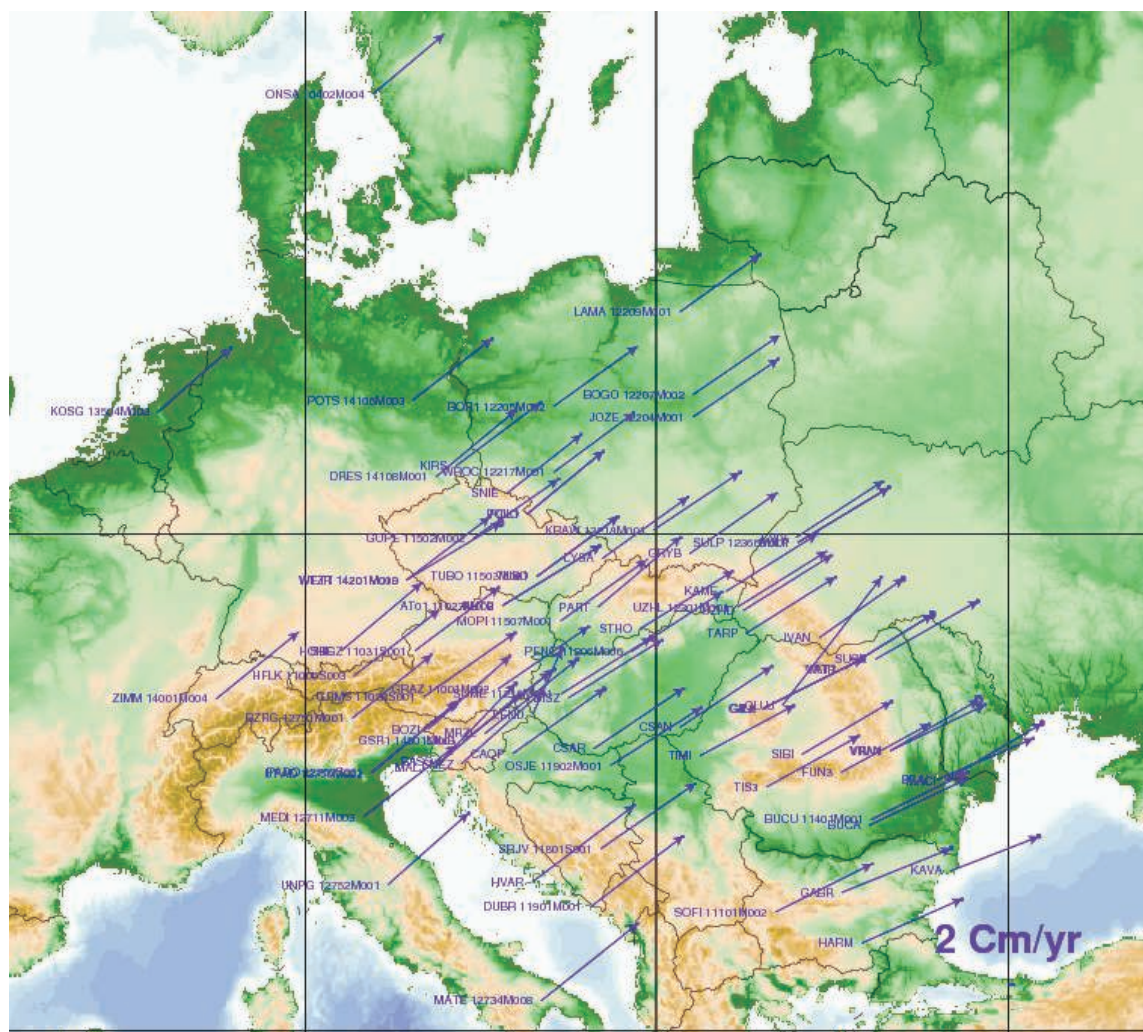
Confronto tra le velocità CEGRN e le velocità EPN, per 6 siti comuni. Velocità in mm/yr.

Per ogni sito le velocità sono espresse in mm/anno. Le colonne 2-3-4 riportano le componenti N, E, U delle velocità nel sistema di riferimento ITRF05, mentre le colonne 5-6-7 riportano le velocità nel sistema di riferimento ETRF05. Per ciascun sito la prima riga rappresenta le velocità EPN, la seconda le velocità CEGRN, la terza la differenza tra le due soluzioni. Come si vede l'accordo è molto buono in quanto le differenze tra le due soluzioni sono inferiori ad 1 mm/anno, fatta eccezione per i siti BZRG e UNPG. Le discrepanze della componente verticale per tali siti dipendono da discontinuità dovute a cambiamenti delle antenne. Dal momento che le soluzioni CEGRN sono costituite da pochi punti, non è stato possibile applicare la tecnica di rinominazione dei siti per trattare tali discontinuità.

### 7.5.3 Raffigurazione del campo di velocità CEGRN.

Riportiamo i grafici delle velocità orizzontali ricavati dalla soluzione CEGRN, sia nel sistema ITRF05 sia nel sistema ETRF05, e delle associate ellissi di errore.

#### Velocità ITRF05.



Campo di velocità preliminare CEGRN, ITRF05.

#### Velocità ETRF05

Osserviamo che i siti CLUJ e LEND hanno velocità ETRF anomale. Per quanto riguarda LEND, tale fatto è dovuto alla scarsità di soluzioni di campagna presenti (solo 2); Il sito CLUJ presenta instabilità locali che non permettono una stima affidabile della velocità, per questa ragione è stato eliminato dalla rete CEGRN.

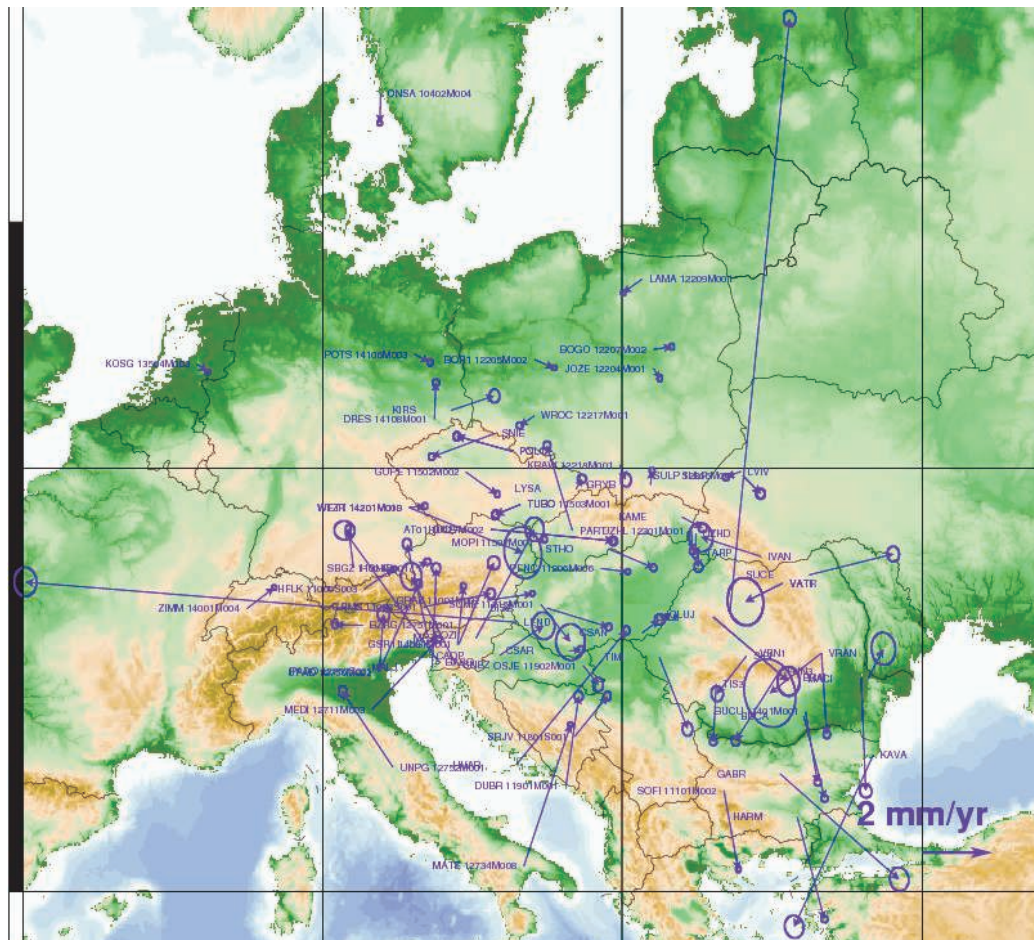


Figura 7.8: Campo di velocità preliminare CEGRN, ETRF.



# Capitolo 8

## Determinazione del campo di velocità

### 8.1 Introduzione

Nei precedenti capitoli abbiamo visto come è possibile determinare le coordinate di una rete di stazioni GPS con precisione millimetrica. Evidenze scientifiche dimostrano che la crosta terrestre si muove e si deforma. Una volta stabilito questo fatto ci si chiede come sia possibile effettuare una determinazione accurata del campo di velocità di una determinata regione della crosta terrestre, allo scopo di risalire al campo di deformazione. Dal momento che negli ultimi 15 anni vi è stato un impetuoso sviluppo delle reti geodetiche basate sulla tecnologia GPS è naturale pensare a come potere utilizzare le informazione relative alla posizione di un insieme di punti (le stazioni GPS) disposti su una particolare regione della crosta terrestre.

### 8.2 Combinazione delle eq. normali della rete EU-REF

#### 8.2.1 Definizione del sistema di riferimento

Per determinare il campo di velocità della placca europea dobbiamo fare uso dei dati prodotti dalla rete che densifica il riferimento terrestre nella regione europea. I dati che ci interessano sono le coordinate settimanali delle stazioni componenti la rete e le relative matrici di varianza-covarianza. Per ogni settimana GPS, a partire dalla 860, tali dati sono disponibili in formato SINEX; questo particolare formato contiene le matrici di covarianza  $\Sigma_c$  e  $\Sigma_{vinc}$  che in base alla relazione (5.70) permettono di rimuovere i vincoli da ogni soluzione settimanale. I siti le cui informazioni sono disponibili sono circa 230 . Alcuni tra essi sono stati dismessi, altri sono stati attivati solo recentemente: vi è quindi una grande variabilità nella quantità e nella qualità delle informazioni a disposizione. Dobbiamo inoltre considerare che la strategia di

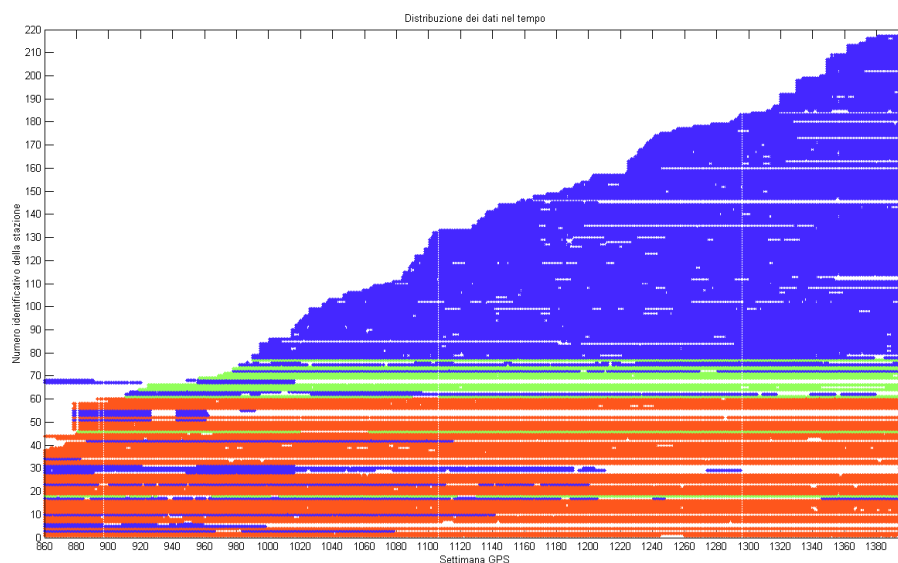


Figura 8.1: Distribuzione dei dati in funzione del tempo; il colore rosso indica i siti con una densità dei dati  $> 90\%$ , il verde indica i siti con densità  $> 75\%$ , il blu quelli con densità inferiore al  $75\%$ .

elaborazione, a livello di LAC, è variata nel corso degli anni, come sono variate le realizzazioni del sistema di riferimento ITRS. Per definire opportunamente il sistema di riferimento tramite una accurata scelta delle stazioni fiduciarie. Per tale scelta si sono seguiti i seguenti criteri:

1. Densità dei dati maggiore o uguale al  $90\%$ .
2. Assenza di discontinuità.
3. Assenza di drift evidenti nelle serie storiche.
4. Assenza anomalie visivamente evidenti nelle serie storiche.
5. Posizione geografica dei siti.

### Distribuzione temporale dei dati

La figura (8.1) mostra la distribuzione settimanale dei dati per ogni sito. Tale figura corrisponde ad una combinazione delle equazioni normali effettuata con dati grezzi. Come si vede, nonostante l'elevato numero di siti le cui informazioni sono presenti nei files SINEX, solo un numero ristretto possiede una densità dei dati sufficientemente alta da poter soddisfare il primo requisito che ci siamo posti. Tali siti sono riportati nella figura (8.2) e sono in tutto 42. Il numero potrebbe sembrare elevato, tuttavia la

grande maggioranza dei siti di figura (8.2) ha subito cambiamenti della strumentazione nel corso degli anni. Tra i cambiamenti che più influiscono negativamente sulla stima delle velocità vi è quello relativo al cambiamento dell'antenna, che si manifesta come una discontinuità netta nella serie temporale del sito che ha subito tale modifica della strumentazione. Seguendo scrupolosamente i criteri di selezione delle stazioni

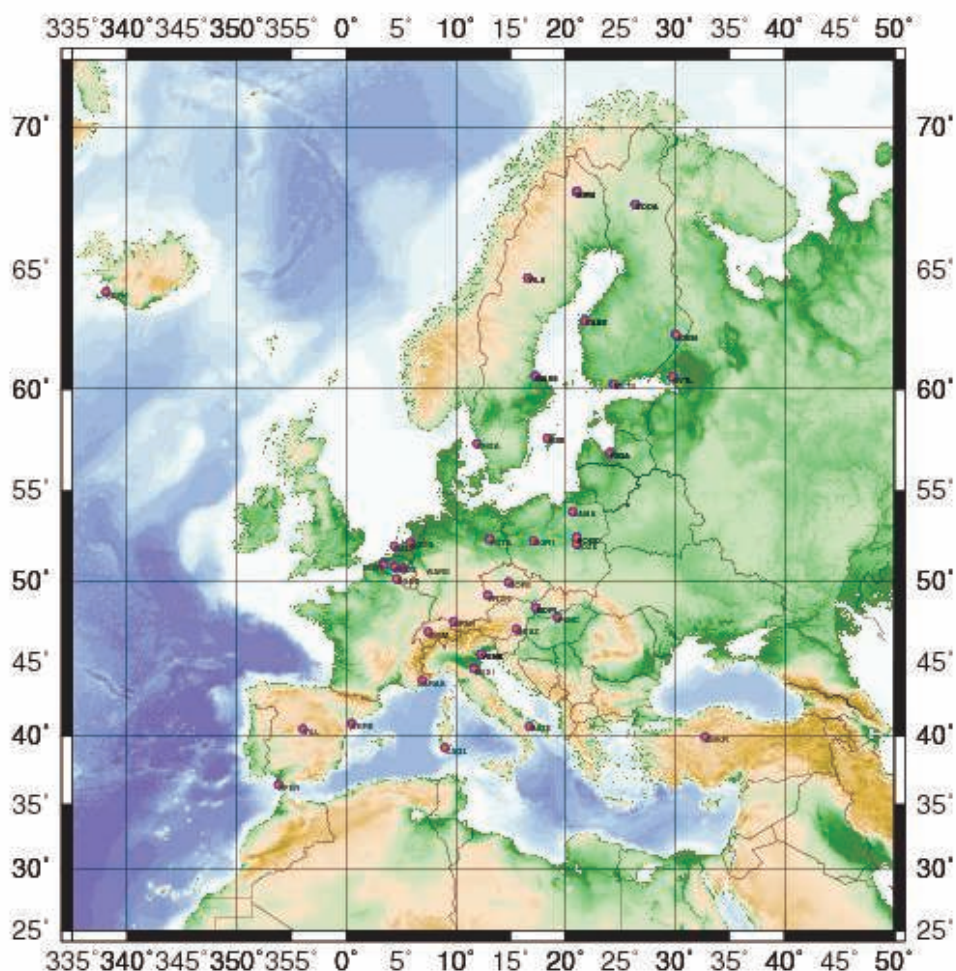


Figura 8.2: Posizione geografica delle stazioni con densità di dati superiore al 90%.

presentati in precedenza si arriva a restringere il numero delle stazioni fiduciarie a 3.

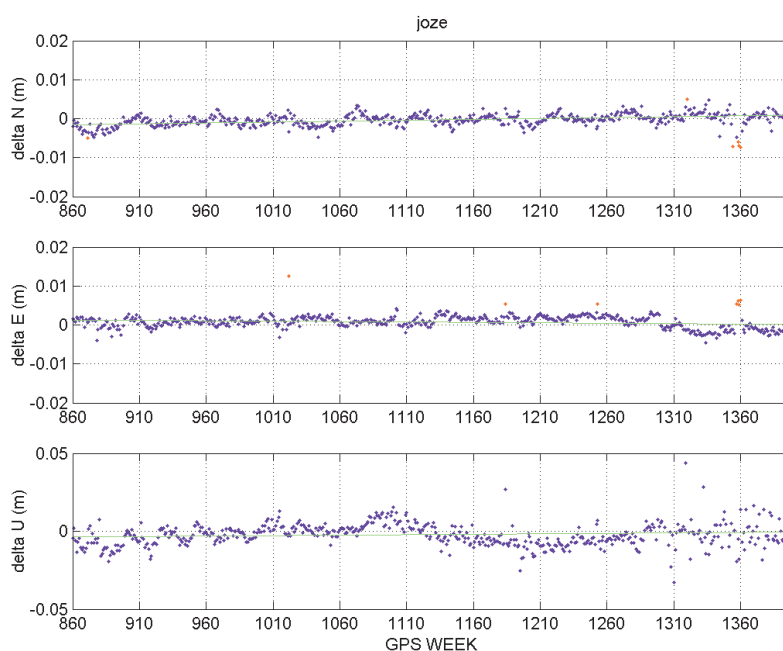


Figura 8.3: Serie storica del sito VILL.

Nella tabella seguente riportiamo tali siti, unitamente alle coordinate geodetiche.

| Stazione | Longitudine | Latitudine |
|----------|-------------|------------|
| JOZE     | 21.03       | 52.09      |
| POTS     | 13.06       | 52.37      |
| VILL     | -3.95       | 40.44      |

Le serie storiche di tali stazioni sono riportate nelle figure (8.3), (8.4), (8.5). Come si vede il numero delle stazioni che soddisfano tutti i punti elencati nella sezione precedente è insufficiente a definire il sistema di riferimento. Vedremo nella sezione successiva che esiste comunque un metodo per aumentare il numero delle stazioni, Forniamo intanto alcuni esempi di serie temporali che presentano un andamento anomalo, allo scopo di chiarire i criteri di selezione elencati nella sezione precedente; La stazione GRAZ (in figura 8.6) presenta 3 discontinuità. La stazione HOFN (fig. 8.7), anche se non fa parte delle stazioni la cui densità di dati è superiore al 90%, presenta nella componente verticale una discontinuità tipicamente dovuta al cambiamento di un'antenna. Infine mostriamo la serie storica della stazione VENE (fig. 8.8): in questo caso la densità di dati è superiore al 90% ma la stazione mostra un comportamento anomalo, non imputabile a cambi di antenna.



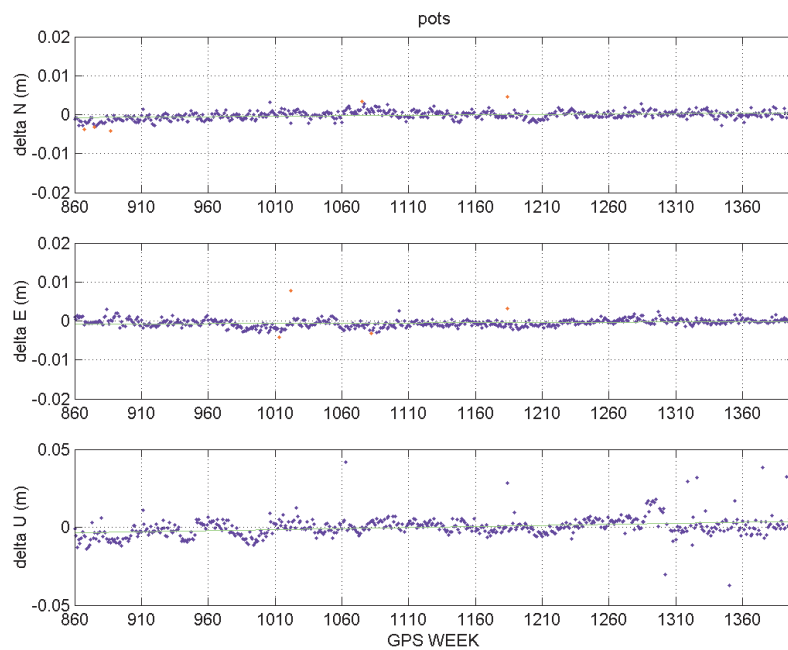


Figura 8.4: Serie storica del sito POTS

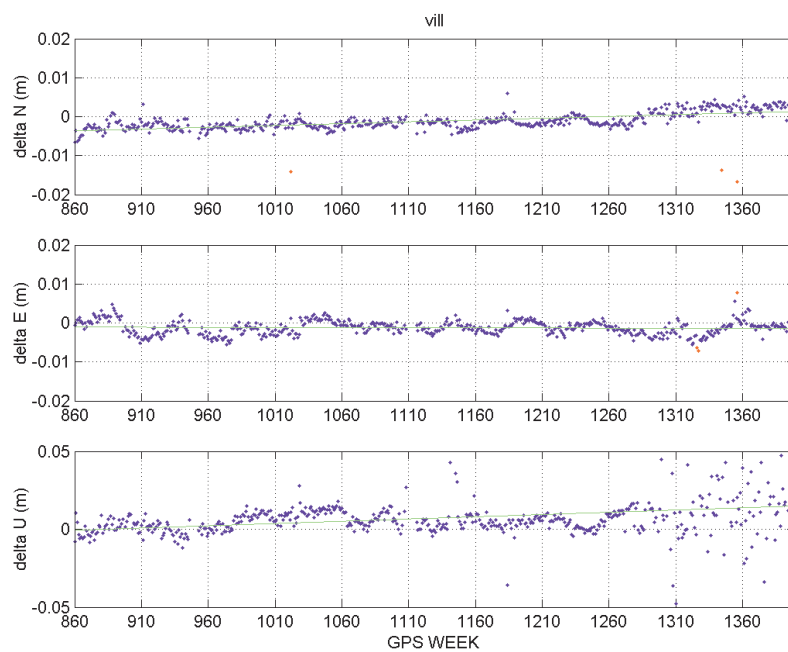


Figura 8.5: Serie storica del sito VILL

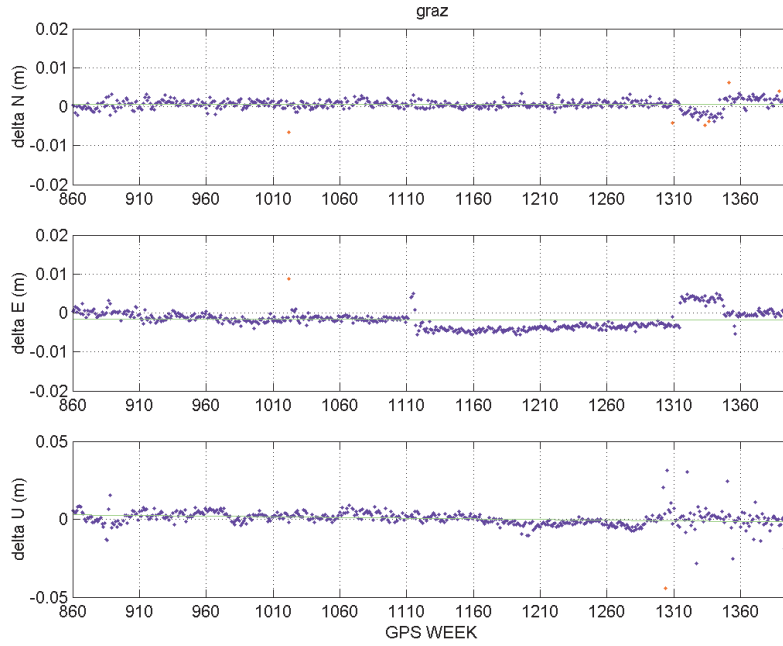


Figura 8.6: Sito GRAZ. La serie storica presenta 3 discontinuità in prossimità delle settimane GPS 1112, 1315 e 1348.

## 8.2.2 Correzione delle discontinuità

Le discontinuità nelle serie temporali sono, nella maggior parte dei casi, dovute a cambiamenti dell'antenna. Tali cambiamenti sono origine di biases nelle coordinate orizzontali e verticali, che si riflettono negativamente sulla stima delle velocità. Infatti molto spesso tali discontinuità sono associate a cambiamenti delle pendenze delle serie temporali. Il software da noi utilizzato non permette la stima di tali biases, tuttavia è possibile ugualmente la correzione da apportare nel modo seguente: supponiamo che una serie storica copra l'intervallo temporale  $[t_a, t_b]$  e che presenti un discontinuità all'istante  $t_{disc}$  con  $t_a < t_{disc} < t_b$ . Approssimiamo la serie storica negli intervalli  $[t_a, t_{disc}]$  e  $[t_{disc}, t_b]$  con due rette di equazioni

$$\begin{aligned} x_a(t) &= a_{a,disc} + v_{a,disc}t \\ x_b(t) &= b_{disc,b} + v_{disc,b}t \end{aligned} \quad (8.1)$$

allora possiamo definire la discontinuità all'epoca  $t_{disc}$  come:

$$\Delta_{ab} = x_b(t_{disc}) - x_a(t_{disc}) = b_{disc,b} - a_{a,disc} + (v_{disc,b} - v_{a,disc})t_{disc} \quad (8.2)$$

Il software che si occupa della combinazione delle equazioni normali richiede 3 tipi di files in input:

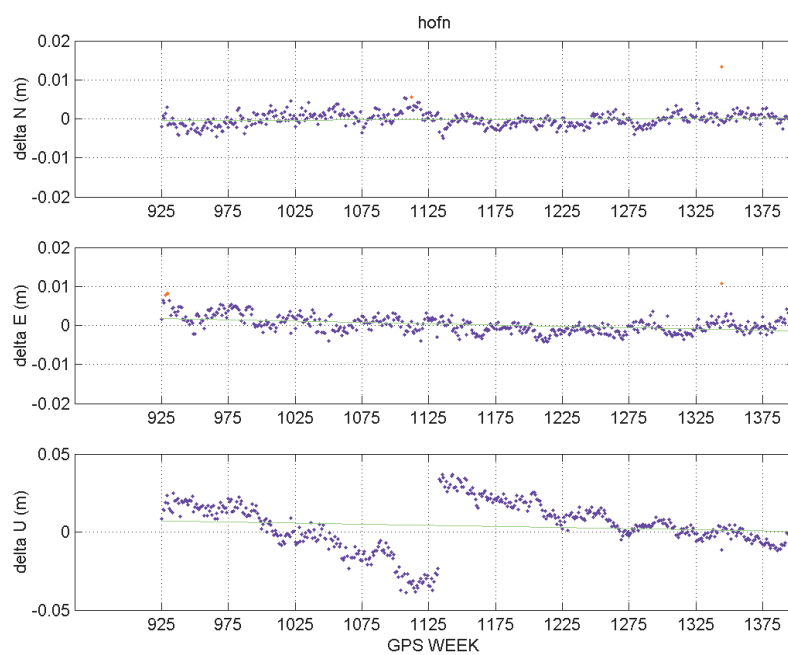


Figura 8.7: Stazione HOFN. Si può desumere il cambiamento dell'antenna dalla discontinuità evidente alla settimana GPS 1133. A questa discontinuità è anche dovuta la pendenza assunta dalle due parti di serie storica divisi dalla discontinuità.

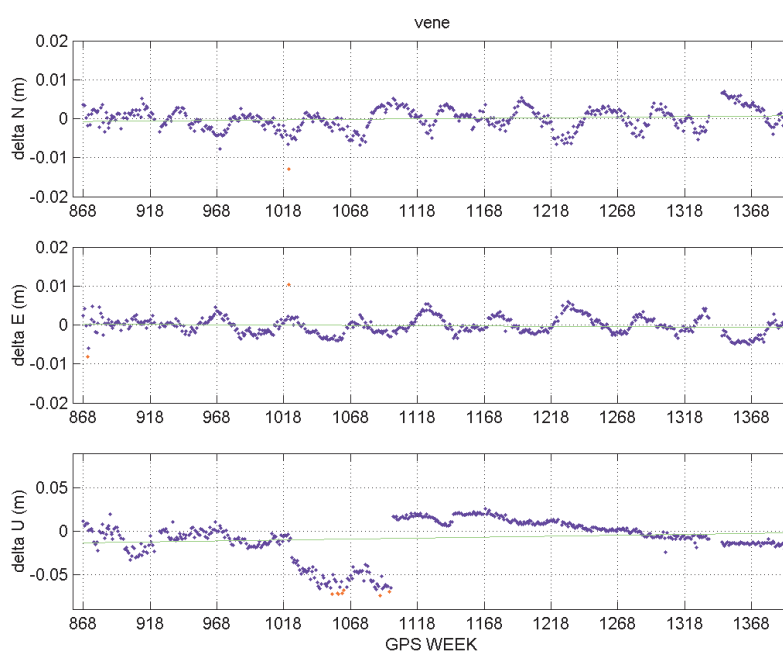


Figura 8.8: Serie storica della stazione VENE. Si osservi l'andamento anomalo della componente verticale.

1. Un file contenente le coordinate a priori di tutti i siti (di estensione .CRD).
2. Un file contenente le velocità a priori di tutti i siti (di estensione .VEL).
3. Un file contenente le informazioni sulle stazioni (di estensione .STA).

Editando opportunamente il file .STA è possibile introdurre le correzioni alle discontinuità determinate per mezzo dell'equazione (8.2). Inoltre è possibile *rinominare* un sito, cioè suddividere l'insieme di dati di un sito in diversi sottoinsiemi, ed utilizzare ciascun sottoinsieme per ottenere una stima indipendente dei parametri di interesse (nel nostro caso coordinate e velocità). Inoltre, sempre editando opportunamente il file .STA è possibile vincolare i parametri relativi alle diverse realizzazioni di una stessa stazione (secondo i vincoli descritti dall'equazione 5.81). Operativamente si sono osservate le seguenti regole:

1. Nel caso si riscontrino  $n$  discontinuità, il sito viene suddiviso in  $n + 1$  realizzazioni.
2. Viene individuato un sistema di riferimento provvisorio tale che le serie storiche di tutte le stazioni fiduciarie (provvisorie) siano continue nell'intervallo compreso tra la fine della serie storica in questione e la penultima discontinuità.

3. Le coordinate e le velocità dell'ultima realizzazione vengono vincolate a quelle della penultima. Le coordinate e le velocità delle restanti realizzazioni non vengono vincolate.
4. Viene effettuata la combinazione delle equazioni normali.
5. Ogni sistema settimanale viene risolto con gli stessi vincoli usati per la soluzione combinata, le coordinate settimanali vengono trasformate nel sistema di riferimento della soluzione combinata attraverso una trasformazione di Helmert a 7 parametri e viene formata la serie temporale dei residui.
6. Dalla serie temporale di ciascuna componente vengono eliminati i residui  $> 3\sigma$ .
7. Vengono determinate le rette  $x_a(t)$  e  $x_b(t)$  e la discontinuità  $\Delta_{ab}$ .
8. La discontinuità  $\Delta_{ab}$  viene inserita corretta nel file .STA e viene eliminata la rinominazione per l'ultima e la penultima realizzazione.
9. Si ripete dal punto 1) finchè tutte le discontinuità non sono state corrette.

Consideriamo la serie storica del sito HOFN, senza correzione della discontinuità le ripetibilità delle componenti nord, est e verticale sono

| Stazione | N (mm) | E (mm) | U (mm) |
|----------|--------|--------|--------|
| HOFN     | 1.83   | 2.26   | 15.76  |

I valori delle discontinuità, calcolati con il metodo descritto in precedenza, sono i seguenti

| Stazione | $\Delta N$ (mm) | $\Delta E$ (mm) | $\Delta U$ (mm) |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| HOFN     | -2.4            | -0.3            | 64.8            |

Una volta introdotte le correzioni, i valori delle ripetibilità delle componenti nord, est e verticale diminuiscono

| Stazione | N (mm) | E (mm) | U (mm) |
|----------|--------|--------|--------|
| HOFN     | 1.73   | 2.06   | 7.42   |

La serie temporale corretta per la discontinuità è riportata in fig. 8.10; Per provare la correttezza del metodo utilizzato mostriamo il caso della serie storica di un sito affetto da discontinuità multiple. Prima di essere corretta la stazione GRAZ presentava le seguenti ripetibilità

| Stazione | N (mm) | E (mm) | U (mm) |
|----------|--------|--------|--------|
| GRAZ     | 1.37   | 2.81   | 10.66  |

Dopo la correzione la serie storica non presenta più discontinuità (fig. 8.11) e i valori delle ripetibilità diminuiscono, come riportato nella tabella seguente

| Stazione | N (mm) | E (mm) | U (mm) |
|----------|--------|--------|--------|
| GRAZ     | 1.12   | 1.41   | 8.81   |

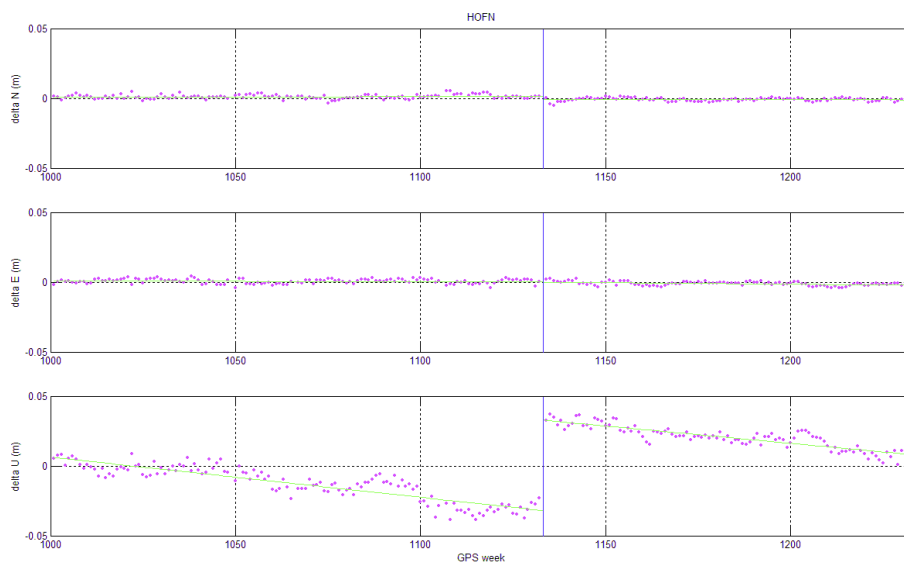


Figura 8.9: Correzione della discontinuità nella componente verticale della serie storica della stazione HOFN.

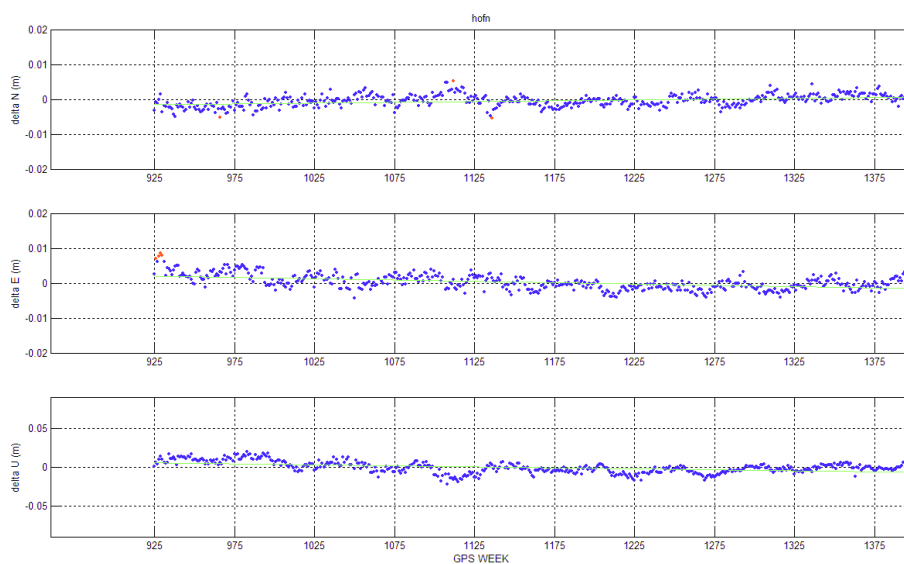


Figura 8.10: Serie temporale della stazione HOFN corretta per la discontinuità. Notare che la pendenza della componente verticale si è ridotta.

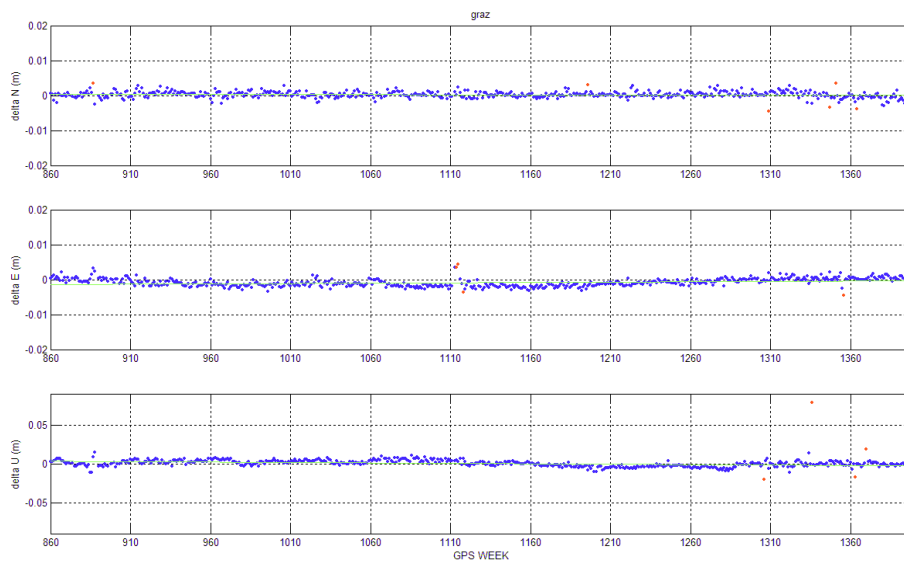


Figura 8.11: Serie temporale della stazione GRAZ, corretta per discontinuità.

### Scelta delle stazioni fiduciarie

Una volta corrette le discontinuità, il numero delle stazioni candidabili come siti fiduciarie è aumentato nella misura sufficiente alla realizzazione di un sistema di riferimento comune a tutte le soluzioni settimanali. Le stazioni che abbiamo scelto sono riportate nella seguente tabella (la posizione è riportata nella figura 8.12)

| Stazione | Longitudine | Latitudine |
|----------|-------------|------------|
| BOR1     | 17.07       | 52.27      |
| GRAZ     | 15.49       | 47.06      |
| JOZE     | 21.03       | 52.09      |
| KOSG     | 5.80        | 52.17      |
| MATE     | 16.70       | 40.64      |
| METS     | 24.39       | 60.21      |
| ONSA     | 11.92       | 57.39      |
| POTS     | 13.06       | 52.37      |
| VILL     | -3.95       | 40.44      |
| ZIMM     | 7.46        | 46.87      |

Le ripetibilità, prima e dopo aver effettuato le correzioni, sono riportate nella tabella seguente

| Stazione | Non corretta |        |        | Corretta |        |        |
|----------|--------------|--------|--------|----------|--------|--------|
|          | N (mm)       | E (mm) | U (mm) | N (mm)   | E (mm) | U (mm) |
| BOR1     | 0.93         | 1.45   | 19.48  | 1.04     | 1.45   | 8.81   |
| GRAZ     | 1.37         | 2.81   | 10.66  | 1.12     | 1.41   | 7.25   |
| KOSG     | 2.89         | 1.34   | 13.64  | 1.56     | 1.30   | 5.35   |
| MATE     | 2.33         | 2.12   | 12.81  | 1.47     | 2.30   | 5.40   |
| ONSA     | 1.18         | 1.13   | 6.36   | 1.14     | 1.19   | 4.94   |
| ZIMM     | 1.13         | 1.42   | 19.22  | 1.25     | 1.47   | 8.24   |

Riportiamo inoltre anche le epoche in cui si verificano le discontinuità

| Stazione | Anno | Giorno dell'anno |
|----------|------|------------------|
| BOR1     | 1999 | 151              |
| GRAZ     | 2001 | 152              |
| GRAZ     | 2005 | 079              |
| GRAZ     | 2005 | 303              |
| KOSG     | 2003 | 110              |
| MATE     | 199  | 165              |
| ONSA     | 1999 | 033              |
| ZIMM     | 1998 | 310              |

| Stazione | Longitudine | Latitudine |
|----------|-------------|------------|
| BOR1     | 17.07       | 52.27      |
| GRAZ     | 15.49       | 47.06      |
| JOZE     | 21.03       | 52.09      |
| KOSG     | 5.80        | 52.17      |
| MATE     | 16.70       | 40.64      |
| METS     | 24.39       | 60.21      |
| ONSA     | 11.92       | 57.39      |
| POTS     | 13.06       | 52.37      |
| VILL     | -3.95       | 40.44      |
| ZIMM     | 7.46        | 46.87      |

### 8.2.3 Tabella delle discontinuità.

Una volta definito il sistema di riferimento, abbiamo proseguito nella correzione delle discontinuità. Abbiamo verificato che 43 erano affetti da discontinuità evidenti. Nella seguente tabella riportiamo le diverse realizzazioni dei siti, l'intervallo temporale relativo a ciascuna realizzazione, e le correzioni per le componenti nord, est e verticale, come richieste dal software ADDNEQ2.



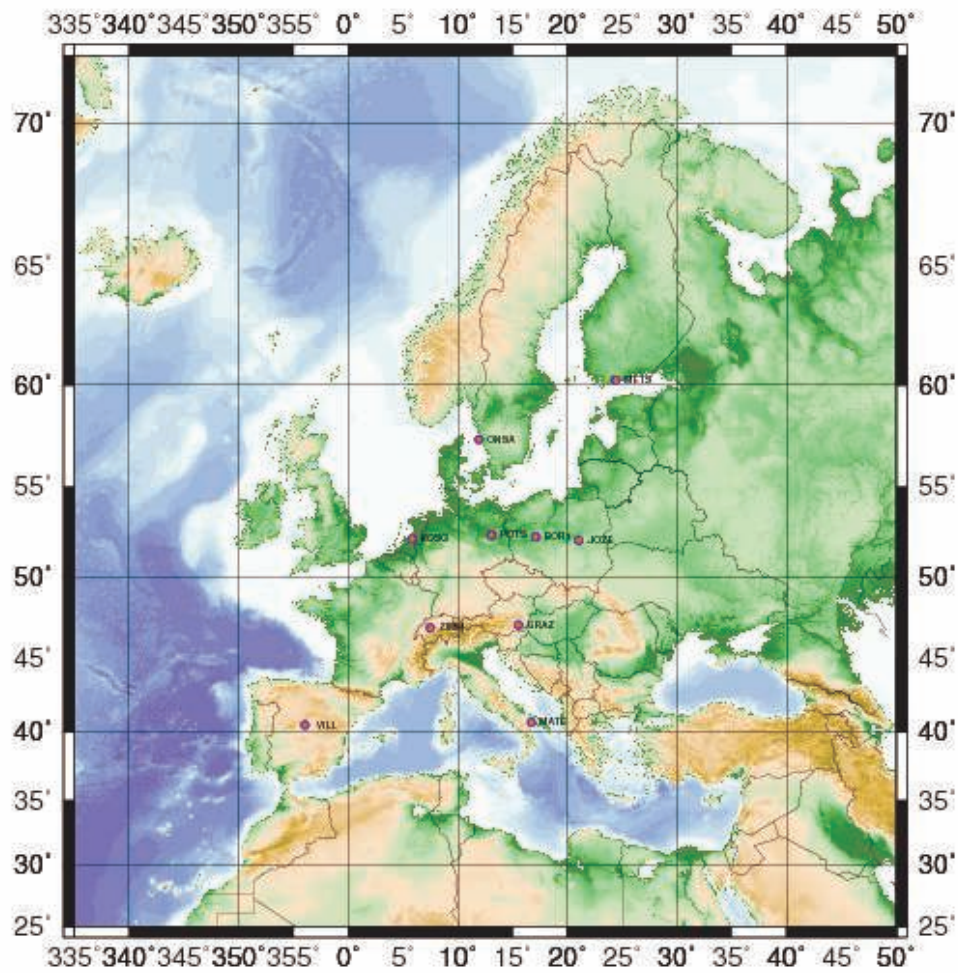


Figura 8.12: Posizione delle stazioni fiduciarie.

| Realizzazione    | inizio              | fine                | N (m)   | E (m)   | U (m)   |
|------------------|---------------------|---------------------|---------|---------|---------|
| ALAC 13433M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2006 05 27 23 59 59 | 0.0004  | 0.0044  | 3.0333  |
| ALAC 13433M001A  | 2006 05 28 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 3.0350  |
| ANKR 20805M002A  | 1996 06 30 00 00 00 | 1999 08 16 23 59 59 | -0.0050 | 0.0241  | 0.0319  |
| ANKR 20805M002B  | 1999 08 17 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0540  |
| BOGO 12207M002A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 08 17 23 59 59 | -0.0025 | -0.0011 | 0.0048  |
| BOGO 12207M002B  | 2001 08 18 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| BOR1 12205M002A  | 1996 06 30 00 00 00 | 1999 06 12 23 59 59 | -0.0007 | -0.0046 | 0.0624  |
| BOR1 12205M002B  | 1999 06 13 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0624  |
| CREU 13432M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 04 07 23 59 59 | 0.0165  | 0.0135  | 0.0724  |
| CREU 13432M001B  | 2001 04 08 00 00 00 | 2003 08 02 23 59 59 | 0.0180  | 0.0043  | 0.0731  |
| CREU 13432M001C  | 2003 08 03 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0540  |
| GRAS 10002M006A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2004 10 20 23 59 59 | -0.0045 | -0.0020 | 0.0350  |
| GRAS 10002M006B  | 2004 10 21 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0350  |
| BZRG 12751M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2000 12 02 23 59 59 | 0.0000  | 0.0000  | 0.2355  |
| BZRG 12751M001B  | 2000 12 03 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.2120  |
| BRUS 13101M004A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2000 04 22 23 59 59 | 0.0000  | 0.0000  | 3.9702  |
| BRUS 13101M004B  | 2000 04 23 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 3.9702  |
| CAGL 12725M003A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 07 14 23 59 59 | -0.0010 | -0.0030 | 0.0485  |
| CAGL 12725M003B  | 2001 07 15 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0450  |
| CEUT 13449M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2005 01 15 23 59 59 | -0.0089 | 0.0010  | 0.0071  |
| CEUT 13449M001B  | 2005 01 16 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| DELFL 13502M004A | 1996 06 30 00 00 00 | 2000 07 22 23 59 59 | -0.0013 | 0.0004  | -0.0131 |
| DELFL 13502M004B | 2000 07 23 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| DOUR 13113M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 10 06 23 59 59 | -0.0026 | -0.0092 | 0.7489  |
| DOUR 13113M001B  | 2001 10 07 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.7530  |
| DRES 14108M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2003 01 18 23 59 59 | -0.0055 | 0.0029  | 0.5661  |
| DRES 14108M001B  | 2003 01 19 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.5943  |
| EUSK 14258M003A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 05 05 23 59 59 | 0.0014  | 0.0023  | 0.0130  |
| EUSK 14258M003B  | 2001 05 06 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0510  |

| Stazione        | inizio              | fine                | N (m)   | E (m)   | U (m)   |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------|---------|---------|
| GRAZ 11001M002A | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 05 31 23 59 59 | -0.0018 | 0.0000  | 1.9656  |
| GRAZ 11001M002B | 2001 06 01 00 00 00 | 2005 03 19 23 59 59 | -0.0023 | -0.0027 | 1.9681  |
| GRAZ 11001M002C | 2005 03 20 00 00 00 | 2005 10 29 23 59 59 | -0.0053 | 0.0038  | 1.9681  |
| GRAZ 11001M002D | 2005 10 30 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 1.9640  |
| HOBU 14202M003A | 1996 06 30 00 00 00 | 2002 06 22 23 59 59 | 0.0011  | -0.0030 | 0.0526  |
| HOBU 14202M003B | 2002 06 23 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0510  |
| HOFN 10204M002A | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 09 20 23 59 59 | 0.0000  | 0.0000  | 0.0005  |
| HOFN 10204M002B | 2001 09 21 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0510  |
| KARL 14216M001A | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 05 05 23 59 59 | 0.0000  | 0.0000  | 0.0293  |
| KARL 14216M001B | 2001 05 06 00 00 00 | 2002 07 06 23 59 59 | 0.0000  | -0.0042 | 0.0650  |
| KARL 14216M001C | 2002 07 07 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0650  |
| KELY 43005M001A | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 09 15 23 59 59 | -0.0039 | 0.0091  | 0.0379  |
| KELY 43005M001B | 2001 09 16 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0762  |
| KLOP 14214M002A | 1996 06 30 00 00 00 | 2001 05 05 23 59 59 | -0.0033 | 0.0000  | 0.0314  |
| KLOP 14214M002B | 2001 05 06 00 00 00 | 2002 06 29 23 59 59 | -0.0051 | -0.0016 | 0.0600  |
| KLOP 14214M002C | 2002 06 30 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0610  |
| KOSG 13504M003A | 1996 06 30 00 00 00 | 2003 04 19 23 59 59 | 0.0084  | 0.0019  | 0.1033  |
| KOSG 13504M003B | 2003 04 20 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.1050  |
| LAMA 12209M001A | 1996 06 30 00 00 00 | 2000 10 05 23 59 59 | 0.0023  | 0.0042  | 0.0720  |
| LAMA 12209M001B | 2000 10 06 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0610  |
| MALL 13444M001A | 1996 06 30 00 00 00 | 2003 08 09 23 59 59 | 0.0128  | 0.0040  | -0.0033 |
| MALL 13444M001B | 2003 08 10 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| MATE 12734M008A | 1996 06 30 00 00 00 | 1999 06 14 23 59 59 | 0.0037  | -0.0040 | 0.1035  |
| MATE 12734M008B | 1999 06 15 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.1010  |
| NICO 14302M001A | 1996 06 30 00 00 00 | 1999 08 20 23 59 59 | -0.0018 | 0.0013  | 0.0522  |
| NICO 14302M001B | 1999 08 21 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0500  |
| NYIR 11208M001A | 1996 06 30 00 00 00 | 2005 02 12 23 59 59 | 0.0145  | -0.0088 | -0.0018 |
| NYIR 11208M001B | 2005 02 13 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |

| Realizzazione    | inizio              | fine                | N (m)   | E (m)   | U (m)   |
|------------------|---------------------|---------------------|---------|---------|---------|
| NPLD 13234M003A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2004 08 21 23 59 59 | 0.0095  | 0.0049  | 0.0751  |
| NPLD 13234M003B  | 2004 08 22 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0796  |
| ONSA 10402M004A  | 1996 06 30 00 00 00 | 1999 02 02 23 59 59 | 0.0000  | 0.0000  | 1.0073  |
| ONSA 10402M004B  | 1999 02 03 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.9950  |
| OROS 11207M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2004 08 14 23 59 59 | -0.0033 | 0.0026  | 0.0011  |
| OROS 11207M001B  | 2004 08 15 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| PENC 11206M006A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2003 05 21 23 59 59 | -0.0026 | -0.0023 | 0.0399  |
| PENC 11206M006B  | 2003 05 22 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0300  |
| PFAN 11005S002AA | 1996 06 30 00 00 00 | 1999 10 30 23 59 59 | -0.0077 | 0.0038  | 0.0479  |
| PFAN 11005S002B  | 1999 10 31 00 00 00 | 2001 03 11 23 59 59 | -0.0031 | 0.0087  | 0.0035  |
| PFAN 11005S002C  | 2001 03 11 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| PTBB 14234M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2002 03 23 23 59 59 | 0.0011  | 0.0028  | 0.0771  |
| PTBB 14234M001B  | 2002 03 23 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0562  |
| RAMO 20703S001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2000 07 16 23 59 59 | 0.0114  | 0.0050  | -0.0180 |
| RAMO 20703S001B  | 2000 07 17 00 00 00 | 2004 03 16 23 59 59 | -0.0037 | -0.0193 | -0.0049 |
| RAMO 20703S001C  | 2004 03 17 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0030  |
| REYK 10202M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2000 07 15 23 59 59 | -0.0049 | 0.0060  | 0.0695  |
| REYK 10202M001B  | 2000 07 16 00 00 00 | 2003 06 12 23 59 59 | 0.0012  | 0.0007  | 0.0805  |
| REYK 10202M001C  | 2003 06 13 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0555  |
| RIGA 12302M002A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2004 12 25 23 59 59 | -0.0013 | -0.0053 | 0.0867  |
| RIGA 12302M002B  | 2004 12 26 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0850  |
| SFER 13402M004A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2002 03 05 23 59 59 | -0.0016 | 0.0024  | 1.6241  |
| SFER 13402M004B  | 2002 03 06 00 00 00 | 2003 06 07 23 59 59 | -0.0085 | 0.0059  | 1.6232  |
| SFER 13402M004C  | 2003 06 08 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 1.6260  |
| SVTL 12350M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2004 11 27 23 59 59 | -0.0123 | -0.0033 | 0.0158  |
| SVTL 12350M001B  | 2004 11 28 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0285  |
| SULD 10113M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2005 06 11 23 59 59 | 0.0006  | -0.0038 | -0.0029 |
| SULD 10113M001B  | 2005 06 12 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| TRO1 10302M006A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2004 07 17 23 59 59 | 0.0048  | 0.0086  | -0.0048 |
| TRO1 10302M006B  | 2004 07 18 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| UNPG 12752M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 2002 05 18 23 59 59 | -0.0034 | 0.0028  | 0.0726  |
| UNPG 12752M001B  | 2002 05 19 00 00 00 | 2006 04 22 23 59 59 | -0.0106 | 0.0046  | 0.0761  |
| UNPG 12752M001C  | 2006 04 23 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.1000  |
| WARE 13114M001A  | 1996 06 30 00 00 00 | 1998 01 10 23 59 59 | -0.0042 | 0.0113  | 0.5068  |
| WARE 13114M001B  | 1998 01 11 00 00 00 | 2003 01 18 23 59 59 | -0.0069 | 0.0090  | 0.5050  |
| WARE 13114M001C  | 2003 01 19 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.5050  |
| ZIMM 14001M004A  | 1996 06 30 00 00 00 | 1998 10 31 23 59 30 | 0.0000  | -0.0045 | 0.0144  |
| ZIMM 14001M004B  | 1998 11 01 00 00 00 |                     | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |

**Rimozione degli outliers**

Nelle serie temporali si possono notare singoli punti che scartano più di  $3\sigma$  dalla media, o addirittura interi intervalli di dati che mostrano un andamento anomalo. L'effetto di tali dati degrada la stima delle velocità, in particolare i punti isolati che si trovano all'estremità di una serie storica. Per eliminare tali dati si utilizza il metodo della pre eliminazione dei parametri. L'esame manuale delle serie storiche ha permesso di determinare 190 tra intervalli e punti isolati da pre eliminare. Nelle seguenti tabelle riportiamo gli intervalli di dati che sono stati eliminati e la stazione a cui si riferiscono.

| Stazione       | inizio              | fine                |
|----------------|---------------------|---------------------|
| ACOR 13434M001 | 1999 09 29 00 00 00 | 2000 01 05 23 59 59 |
| ACOR 13434M001 | 2002 07 31 00 00 00 | 2004 01 28 23 59 59 |
| AJAC 10077M005 | 2001 08 01 00 00 00 | 2001 08 29 23 59 59 |
| AJAC 10077M005 | 2005 02 13 00 00 00 | 2005 02 19 23 59 59 |
| ALAC 13433M001 | 2004 10 13 00 00 00 | 2004 10 13 23 59 59 |
| ALME 13437M001 | 2001 02 21 00 00 00 | 2001 02 28 23 59 59 |
| ALME 13437M001 | 2001 05 30 00 00 00 | 2001 07 04 23 59 59 |
| ALME 13437M001 | 2001 10 17 00 00 00 | 2001 10 17 23 59 59 |
| ALME 13437M001 | 2005 02 13 00 00 00 | 2005 02 19 23 59 59 |
| ANKR 20805M002 | 1996 08 07 00 00 00 | 1996 08 07 23 59 59 |
| ANKR 20805M002 | 1998 11 25 00 00 00 | 1998 11 25 23 59 59 |
| ANKR 20805M002 | 1999 08 18 00 00 00 | 1999 12 15 23 59 59 |
| ANKR 20805M002 | 2000 03 22 00 00 00 | 2000 03 22 23 59 59 |
| ANKR 20805M002 | 2004 04 14 00 00 00 | 2004 07 28 23 59 59 |
| BOGO 12207M002 | 1996 07 03 00 00 00 | 1997 03 26 23 59 59 |
| BOGO 12207M002 | 2001 07 18 00 00 00 | 2001 08 01 23 59 59 |
| BOGO 12207M002 | 2001 07 25 11 59 59 | 2001 07 25 11 59 59 |
| BOGO 12207M002 | 2001 08 01 11 59 59 | 2001 08 01 11 59 59 |
| BOR1 12205M002 | 1998 02 04 00 00 00 | 1998 02 11 23 59 59 |
| BOR1 12205M002 | 1999 08 08 00 00 00 | 1999 08 14 23 59 59 |
| BOR1 12205M002 | 2005 01 26 00 00 00 | 2005 01 26 23 59 59 |
| BOR1 12205M002 | 2006 05 21 00 00 00 | 2006 05 27 23 59 59 |
| BORK 14268M001 | 2003 04 12 00 00 00 | 2003 06 25 23 59 59 |
| BRUS 13101M004 | 2000 04 26 00 00 00 | 2000 04 26 23 59 59 |
| BUCU 11401M001 | 1999 03 24 00 00 00 | 1999 08 04 23 59 59 |
| BZRG 12751M001 | 2001 07 18 00 00 00 | 2002 07 03 23 59 59 |
| CASC 13909S001 | 1998 11 11 00 00 00 | 1999 10 20 23 59 59 |
| CEUT 13449M001 | 2001 12 19 00 00 00 | 2002 05 08 23 59 59 |
| CEUT 13449M001 | 2005 01 19 00 00 00 | 2005 03 02 23 59 59 |
| CREU 13432M001 | 1999 02 10 00 00 00 | 1999 06 30 23 59 59 |
| CREU 13432M001 | 2002 12 18 00 00 00 | 2003 07 30 23 59 59 |

| Stazione       | inizio              | fine                |
|----------------|---------------------|---------------------|
| DENT 13112M001 | 1996 07 03 00 00 00 | 1997 05 28 23 59 59 |
| DOUR 13113M001 | 1996 07 03 00 00 00 | 1996 12 21 23 59 59 |
| DOUR 13113M001 | 2001 04 29 00 00 00 | 2001 10 06 23 59 59 |
| DRAG 20710S001 | 2001 10 24 00 00 00 | 2001 10 24 23 59 59 |
| DRAG 20710S001 | 2002 04 03 00 00 00 | 2002 05 01 23 59 59 |
| DRAG 20710S001 | 2002 09 25 00 00 00 | 2002 09 25 23 59 59 |
| DRAG 20710S001 | 2002 11 27 00 00 00 | 2002 11 27 23 59 59 |
| DRAG 20710S001 | 2003 01 01 00 00 00 | 2003 01 01 23 59 59 |
| DRAG 20710S001 | 2003 03 19 00 00 00 | 2003 03 19 23 59 59 |
| DRAG 20710S001 | 2003 05 07 00 00 00 | 2003 05 14 23 59 59 |
| DRES 14108M001 | 2003 01 22 00 00 00 | 2003 01 22 23 59 59 |
| EIJS 13533M001 | 1999 06 30 00 00 00 | 2000 05 03 23 59 59 |
| ELBA 12721M002 | 2004 11 03 00 00 00 | 2004 11 03 23 59 59 |
| ESCO 13435M001 | 2003 05 07 00 00 00 | 2003 05 07 23 59 59 |
| GAIA 13902M001 | 2002 10 16 00 00 00 | 2002 10 16 23 59 59 |
| GAIA 13902M001 | 2003 01 01 00 00 00 | 2003 01 01 23 59 59 |
| GLSV 12356M001 | 2005 01 26 00 00 00 | 2005 03 09 23 59 59 |
| GOPE 11502M002 | 1999 11 10 00 00 00 | 2001 12 26 23 59 59 |
| GRAZ 11001M002 | 1996 07 03 00 00 00 | 1996 08 28 23 59 59 |
| GRAZ 11001M002 | 1996 12 25 00 00 00 | 1997 01 15 23 59 59 |
| GRAZ 11001M002 | 2001 05 09 00 00 00 | 2001 05 23 23 59 59 |
| GRAZ 11001M002 | 2005 02 09 00 00 00 | 2005 02 09 23 59 59 |
| GSR1 14501M001 | 2001 02 25 00 00 00 | 2001 03 03 23 59 59 |
| GSR1 14501M001 | 2001 03 07 00 00 00 | 2001 12 26 23 59 59 |
| GSR1 14501M001 | 2002 05 29 00 00 00 | 2002 05 29 23 59 59 |
| HERS 13212M007 | 1996 07 03 00 00 00 | 1996 11 06 23 59 59 |
| HERS 13212M007 | 1999 04 28 00 00 00 | 2001 06 06 23 59 59 |
| HFLK 11006S003 | 2002 10 23 00 00 00 | 2003 02 12 23 59 59 |
| HFLK 11006S003 | 2003 10 22 00 00 00 | 2003 12 03 23 59 59 |
| HOBU 14202M003 | 2002 06 05 00 00 00 | 2002 06 19 23 59 59 |
| JOEN 10512M001 | 1996 11 13 00 00 00 | 1997 09 03 23 59 59 |
| JOEN 10512M001 | 2002 12 11 00 00 00 | 2003 01 15 23 59 59 |
| JOZE 12204M001 | 2006 01 11 00 00 00 | 2006 02 01 23 59 59 |
| KIRO 10422M001 | 1996 11 13 00 00 00 | 1997 04 23 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 1998 01 28 00 00 00 | 1998 02 25 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 1998 03 18 00 00 00 | 1998 03 18 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 1999 11 24 00 00 00 | 2000 01 26 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 2000 03 01 00 00 00 | 2000 03 15 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 2000 12 06 00 00 00 | 2001 01 10 23 59 59 |

| Stazione       | inizio              | fine                |
|----------------|---------------------|---------------------|
| KIRU 10403M002 | 2001 02 14 00 00 00 | 2001 03 28 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 2001 11 21 00 00 00 | 2001 12 05 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 2002 02 13 00 00 00 | 2002 03 13 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 2004 01 14 00 00 00 | 2004 02 11 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 2004 12 29 00 00 00 | 2005 02 23 23 59 59 |
| KIRU 10403M002 | 2005 12 14 00 00 00 | 2006 01 11 23 59 59 |
| KOSG 13504M003 | 1996 07 03 00 00 00 | 1996 10 30 23 59 59 |
| KOSG 13504M003 | 2003 03 19 00 00 00 | 2003 04 16 23 59 59 |
| LAGO 13903M001 | 2003 03 19 00 00 00 | 2003 03 19 23 59 59 |
| LAMA 12209M001 | 2000 03 15 00 00 00 | 2000 10 04 23 59 59 |
| LAMA 12209M001 | 2001 01 03 00 00 00 | 2001 01 03 23 59 59 |
| LAMA 12209M001 | 2006 01 25 00 00 00 | 2006 02 08 23 59 59 |
| LAMP 12706M002 | 2005 03 09 00 00 00 | 2005 03 09 23 59 59 |
| LAMP 12706M002 | 1999 08 08 00 00 00 | 1999 08 14 23 59 59 |
| LLIV 13436M001 | 2001 04 18 00 00 00 | 2001 04 18 23 59 59 |
| LLIV 13436M001 | 2004 09 29 00 00 00 | 2004 09 29 23 59 59 |
| MALL 13444M001 | 1999 05 05 00 00 00 | 1999 05 05 23 59 59 |
| MARS 10073M008 | 1999 05 05 00 00 00 | 1999 05 05 23 59 59 |
| MATE 12734M008 | 2006 02 08 11 59 52 | 2006 02 08 11 59 52 |
| MATE 12734M008 | 2006 06 07 11 59 52 | 2006 06 07 11 59 52 |
| MEDI 12711M003 | 1998 11 25 00 00 00 | 1998 12 09 23 59 59 |
| MEDI 12711M003 | 2002 11 20 00 00 00 | 2003 01 08 23 59 59 |
| METS 10503S011 | 1998 11 04 00 00 00 | 1998 11 18 23 59 59 |
| MLVL 10092M001 | 2000 10 25 00 00 00 | 2000 11 15 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 1996 11 27 00 00 00 | 1998 05 13 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 1998 12 09 00 00 00 | 1998 12 09 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 1998 12 23 00 00 00 | 1998 12 23 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 1999 10 13 00 00 00 | 1999 10 20 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 2000 01 19 00 00 00 | 2000 01 26 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 2002 12 25 00 00 00 | 2002 12 25 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 2003 11 26 00 00 00 | 2003 12 03 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 2003 12 31 00 00 00 | 2003 12 31 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 2004 01 07 00 00 00 | 2004 01 07 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 2004 01 28 00 00 00 | 2004 01 28 23 59 59 |
| MOPI 11507M001 | 2004 03 03 00 00 00 | 2004 03 03 23 59 59 |
| MORP 13299S001 | 2004 10 27 00 00 00 | 2004 10 27 23 59 59 |
| MORP 13299S001 | 2005 10 12 00 00 00 | 2005 11 30 23 59 59 |
| MORP 13299S001 | 2006 01 04 00 00 00 | 2006 03 29 23 59 59 |
| NSSP 12312M001 | 2001 05 23 00 00 00 | 2001 05 23 23 59 59 |
| NSSP 12312M001 | 2002 01 16 00 00 00 | 2002 01 30 23 59 59 |
| NSSP 12312M001 | 2003 02 12 00 00 00 | 2003 02 12 23 59 59 |

| Stazione       | inizio              | fine                |
|----------------|---------------------|---------------------|
| NYA1 10317M003 | 1998 12 30 00 00 00 | 1998 12 30 23 59 59 |
| NYA1 10317M003 | 2004 01 14 00 00 00 | 2004 01 14 23 59 59 |
| NYIR 11208M001 | 2003 02 12 00 00 00 | 2003 02 12 23 59 59 |
| NYIR 11208M001 | 2005 01 19 00 00 00 | 2005 02 09 23 59 59 |
| OBE2 14208M003 | 2001 09 12 00 00 00 | 2001 10 24 23 59 59 |
| ORID 15601M001 | 2003 12 31 00 00 00 | 2003 12 31 23 59 59 |
| ORID 15601M001 | 2004 03 03 00 00 00 | 2004 03 03 23 59 59 |
| ORID 15601M001 | 2004 10 20 00 00 00 | 2004 10 20 23 59 59 |
| OROS 11207M001 | 2001 12 19 00 00 00 | 2002 04 10 23 59 59 |
| OSLS 10307M001 | 2001 01 03 00 00 00 | 2001 01 24 23 59 59 |
| OSLS 10307M001 | 2002 12 18 00 00 00 | 2003 01 15 23 59 59 |
| OSLS 10307M001 | 2004 01 07 00 00 00 | 2004 01 21 23 59 59 |
| PADO 12750S001 | 2001 11 28 00 00 00 | 2002 08 07 23 59 59 |
| PDEL 31906M004 | 2001 09 26 00 00 00 | 2001 10 10 23 59 59 |
| PENC 11206M006 | 1997 01 15 00 00 00 | 1997 01 15 23 59 59 |
| PFAN 11005S002 | 2004 01 21 00 00 00 | 2004 01 28 23 59 59 |
| PFAN 11005S002 | 2005 12 21 00 00 00 | 2005 12 28 23 59 59 |
| POTS 14106M003 | 1999 08 08 00 00 00 | 1999 08 14 23 59 59 |
| QAQ1 43007M001 | 2002 09 18 00 00 00 | 2003 01 01 23 59 59 |
| QAQ1 43007M001 | 2003 09 10 00 00 00 | 2003 12 03 23 59 59 |
| QAQ1 43007M001 | 2005 06 01 00 00 00 | 2005 06 01 23 59 59 |
| RAMO 20703S001 | 2001 06 20 00 00 00 | 2001 07 11 23 59 59 |
| RIGA 12302M002 | 1997 01 08 00 00 00 | 1997 01 29 23 59 59 |
| RIGA 12302M002 | 2003 01 01 00 00 00 | 2003 01 08 23 59 59 |
| RIGA 12302M002 | 2003 10 08 00 00 00 | 2003 10 08 23 59 59 |
| SBGZ 11031S001 | 1999 02 10 00 00 00 | 1999 10 27 23 59 59 |
| SBGZ 11031S001 | 2001 11 28 00 00 00 | 2001 12 26 23 59 59 |
| SBGZ 11031S001 | 2006 07 16 00 00 00 |                     |
| SFER 13402M004 | 1996 07 03 00 00 00 | 1997 12 24 23 59 59 |
| SFER 13402M004 | 2001 03 21 00 00 00 | 2001 03 21 23 59 59 |
| SJDV 10090M001 | 1998 08 12 00 00 00 | 1999 03 10 23 59 59 |
| SJDV 10090M001 | 2001 07 25 00 00 00 | 2001 08 29 23 59 59 |
| SJDV 10090M001 | 2003 05 14 00 00 00 | 2003 05 14 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 1997 02 26 00 00 00 | 1998 03 25 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 1998 11 18 00 00 00 | 1998 11 18 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 1999 01 06 00 00 00 | 1999 03 24 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 2000 02 23 00 00 00 | 2000 03 15 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 2000 12 27 00 00 00 | 2001 01 10 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 2001 01 31 00 00 00 | 2001 01 31 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 2001 11 21 00 00 00 | 2002 01 09 23 59 59 |



| Stazione       | inizio              | fine                |
|----------------|---------------------|---------------------|
| SODA 10513M001 | 2002 12 04 00 00 00 | 2003 03 05 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 2004 02 04 00 00 00 | 2004 02 18 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 2004 12 15 00 00 00 | 2005 03 23 23 59 59 |
| SODA 10513M001 | 2005 12 14 00 00 00 | 2006 03 15 23 59 59 |
| SOFI 11101M002 | 2001 12 26 00 00 00 | 2002 01 02 23 59 59 |
| SOFI 11101M002 | 2003 10 22 00 00 00 | 2003 10 22 23 59 59 |
| SRJV 11801S001 | 2000 04 19 00 00 00 | 2000 09 27 23 59 59 |
| SRJV 11801S001 | 2003 01 08 00 00 00 | 2003 01 15 23 59 59 |
| SVTL 12350M001 | 1996 11 27 00 00 00 | 1997 06 04 23 59 59 |
| SVTL 12350M001 | 2001 01 10 00 00 00 | 2001 03 07 23 59 59 |
| SVTL 12350M001 | 2002 11 20 00 00 00 | 2002 11 20 23 59 59 |
| SVTL 12350M001 | 2002 12 25 00 00 00 | 2003 01 15 23 59 59 |
| SVTL 12350M001 | 2004 01 28 00 00 00 | 2004 01 28 23 59 59 |
| THU3 43001M002 | 2005 06 01 00 00 00 | 2005 06 01 23 59 59 |
| TUBI 20806M001 | 1999 08 11 00 00 00 | 1999 08 11 23 59 59 |
| UZHL 12301M001 | 2003 01 15 00 00 00 | 2003 01 15 23 59 59 |
| VAAS 10511M001 | 1996 11 13 00 00 00 | 1997 04 23 23 59 59 |
| VAAS 10511M001 | 1998 11 11 00 00 00 | 1998 11 11 23 59 59 |
| VAAS 10511M001 | 1999 12 01 00 00 00 | 1999 12 22 23 59 59 |
| VAAS 10511M001 | 2000 12 27 00 00 00 | 2001 01 10 23 59 59 |
| VAAS 10511M001 | 2001 02 21 00 00 00 | 2001 03 07 23 59 59 |
| VAAS 10511M001 | 2002 11 20 00 00 00 | 2002 12 11 23 59 59 |
| VAAS 10511M001 | 2003 01 01 00 00 00 | 2003 01 15 23 59 59 |
| VAAS 10511M001 | 2005 11 30 00 00 00 | 2006 01 11 23 59 59 |
| VALE 13439M001 | 2005 05 01 00 00 00 | 2005 05 07 23 59 59 |
| VALE 13439M001 | 2002 05 22 00 00 00 | 2002 06 05 23 59 59 |
| VALE 13439M001 | 2003 05 14 00 00 00 | 2003 05 14 23 59 59 |
| VALE 13439M001 | 2003 06 18 00 00 00 | 2003 06 18 23 59 59 |
| VALE 13439M001 | 2004 05 19 00 00 00 | 2004 05 19 23 59 59 |
| VALE 13439M001 | 2005 05 04 00 00 00 | 2005 05 04 23 59 59 |
| VENE 12741M001 | 1996 08 21 00 00 00 | 2001 12 12 23 59 59 |
| VLNS 10801M001 | 1999 03 24 00 00 00 | 1999 04 28 23 59 59 |
| VLNS 10801M001 | 2002 09 25 00 00 00 | 2002 09 25 23 59 59 |
| VLNS 10801M001 | 2005 02 02 00 00 00 | 2005 02 09 23 59 59 |
| WARE 13114M001 | 1996 07 03 00 00 00 | 1996 11 06 23 59 59 |
| WSRT 13506M005 | 1997 08 27 00 00 00 | 1998 03 11 23 59 59 |
| ZECK 12351M001 | 1997 11 26 00 00 00 | 1997 11 26 23 59 59 |
| ZECK 12351M001 | 1997 12 10 00 00 00 | 1997 12 10 23 59 59 |
| ZIMM 14001M004 | 1997 01 01 00 00 00 | 1997 01 01 23 59 59 |
| ZOUF 12763M001 | 2004 12 15 00 00 00 | 2004 12 15 23 59 59 |

### 8.2.4 Il campo di velocità nel riferimento ITRF00

Una volta corrette tutte le discontinuità ed eliminati gli outliers, è possibile effettuare una stima del campo di velocità, sulla base delle formule relative all'espansione dei sistemi normati. Nelle tabelle seguenti riportiamo le velocità di ogni sito nel sistema di riferimento ITRF2000, unitamente alle incertezze formali, espresse come valori dei semiassi dell'ellisse di errore e come angolo del semiasse maggiore di tale ellisse rispetto alla direzione Nord.

| Lon    | Lat   | V <sub>n</sub> (mm/yr) | V <sub>e</sub> (mm/yr) | Semiassi minore | Semiassi maggiore | Azimuth | Stazione |
|--------|-------|------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|---------|----------|
| 8.97   | 39.14 | 0.0203                 | 0.0154                 | 0.0000          | 0.0000            | 108.3   | CAGL     |
| -3.95  | 40.44 | 0.0179                 | 0.0164                 | 0.0000          | 0.0000            | 73.4    | VILL     |
| 16.70  | 40.65 | 0.0224                 | 0.0191                 | 0.0000          | 0.0000            | 138.3   | MATE     |
| 14.99  | 36.88 | 0.0192                 | 0.0184                 | 0.0001          | 0.0001            | 89.8    | NOTO     |
| 17.07  | 52.28 | 0.0190                 | 0.0145                 | 0.0000          | 0.0000            | 88.9    | BOR1     |
| 5.81   | 52.18 | 0.0170                 | 0.0162                 | 0.0000          | 0.0000            | 93.4    | KOSG     |
| 4.36   | 50.80 | 0.0166                 | 0.0152                 | 0.0000          | 0.0000            | 93.5    | BRUS     |
| 21.04  | 52.48 | 0.0202                 | 0.0142                 | 0.0001          | 0.0000            | 90.3    | BOGO     |
| 24.40  | 60.22 | 0.0197                 | 0.0125                 | 0.0000          | 0.0000            | 80.2    | METS     |
| 7.47   | 46.88 | 0.0188                 | 0.0159                 | 0.0000          | 0.0000            | 91.1    | ZIMM     |
| 14.79  | 49.91 | 0.0199                 | 0.0148                 | 0.0000          | 0.0000            | 86.5    | GOPE     |
| 15.49  | 47.07 | 0.0209                 | 0.0154                 | 0.0000          | 0.0000            | 91.3    | GRAZ     |
| 0.34   | 50.87 | 0.0163                 | 0.0167                 | 0.0000          | 0.0000            | 94.9    | HERS     |
| 21.03  | 52.10 | 0.0203                 | 0.0142                 | 0.0000          | 0.0000            | 87.9    | JOZE     |
| 20.97  | 67.86 | 0.0157                 | 0.0152                 | 0.0000          | 0.0000            | 90.4    | KIRU     |
| 11.65  | 44.52 | 0.0224                 | 0.0172                 | 0.0000          | 0.0000            | 91.8    | MEDI     |
| 11.93  | 57.40 | 0.0167                 | 0.0146                 | 0.0000          | 0.0000            | 89.6    | ONSA     |
| 13.07  | 52.38 | 0.0183                 | 0.0150                 | 0.0000          | 0.0000            | 91.1    | POTS     |
| -21.96 | 64.14 | -0.0106                | 0.0204                 | 0.0000          | 0.0000            | 83.9    | REYK     |
| 12.88  | 49.14 | 0.0194                 | 0.0153                 | 0.0000          | 0.0000            | 97.0    | WTZR     |
| 20.67  | 53.89 | 0.0192                 | 0.0143                 | 0.0000          | 0.0000            | 89.2    | LAMA     |
| -68.79 | 76.54 | -0.0229                | 0.0054                 | 0.0001          | 0.0001            | 135.8   | THU1     |
| 19.28  | 47.79 | 0.0213                 | 0.0143                 | 0.0000          | 0.0000            | 88.9    | PENC     |
| -50.94 | 66.99 | -0.0176                | 0.0118                 | 0.0000          | 0.0000            | 82.9    | KELY     |
| -6.21  | 36.46 | 0.0149                 | 0.0172                 | 0.0000          | 0.0000            | 106.4   | SFER     |
| 11.39  | 47.31 | 0.0200                 | 0.0161                 | 0.0000          | 0.0000            | 88.7    | HFLK     |
| 11.88  | 45.41 | 0.0208                 | 0.0176                 | 0.0001          | 0.0000            | 86.8    | UPAD     |
| 4.59   | 50.09 | 0.0162                 | 0.0154                 | 0.0000          | 0.0000            | 91.8    | DOUR     |
| 4.39   | 51.99 | 0.0167                 | 0.0158                 | 0.0000          | 0.0000            | 91.1    | DELFI    |
| 5.25   | 50.69 | 0.0181                 | 0.0158                 | 0.0000          | 0.0000            | 92.4    | WARE     |

| Lon    | Lat   | V <sub>n</sub> (mm/yr) | V <sub>e</sub> (mm/yr) | Semiassse minore | Semiassse maggiore | Azimuth | Stazione |
|--------|-------|------------------------|------------------------|------------------|--------------------|---------|----------|
| 3.40   | 50.93 | 0.0166                 | 0.0162                 | 0.0000           | 0.0000             | 92.8    | DENT     |
| 32.76  | 39.89 | 0.0012                 | 0.0121                 | 0.0000           | 0.0000             | 86.2    | ANKR     |
| 6.92   | 43.75 | 0.0194                 | 0.0155                 | 0.0000           | 0.0000             | 94.8    | GRAS     |
| 0.49   | 40.82 | 0.0192                 | 0.0156                 | 0.0000           | 0.0000             | 97.8    | EBRE     |
| 21.77  | 62.96 | 0.0179                 | 0.0132                 | 0.0001           | 0.0000             | 92.2    | VAAS     |
| 30.10  | 62.39 | 0.0200                 | 0.0117                 | 0.0000           | 0.0000             | 93.3    | JOEN     |
| 21.06  | 67.88 | 0.0158                 | 0.0144                 | 0.0000           | 0.0000             | 93.3    | KIR0     |
| 17.26  | 60.60 | 0.0179                 | 0.0137                 | 0.0000           | 0.0000             | 90.5    | MAR6     |
| 16.56  | 64.70 | 0.0152                 | 0.0148                 | 0.0000           | 0.0000             | 91.6    | VIL0     |
| 24.06  | 56.95 | 0.0196                 | 0.0129                 | 0.0001           | 0.0000             | 91.9    | RIGA     |
| 18.37  | 57.65 | 0.0184                 | 0.0135                 | 0.0000           | 0.0000             | 90.2    | VIS0     |
| 21.77  | 62.96 | 0.0179                 | 0.0132                 | 0.0001           | 0.0000             | 92.2    | VAAS     |
| 30.10  | 62.39 | 0.0200                 | 0.0117                 | 0.0000           | 0.0000             | 93.3    | JOEN     |
| 21.06  | 67.88 | 0.0158                 | 0.0144                 | 0.0000           | 0.0000             | 93.3    | KIR0     |
| 17.26  | 60.60 | 0.0179                 | 0.0137                 | 0.0000           | 0.0000             | 90.5    | MAR6     |
| 16.56  | 64.70 | 0.0152                 | 0.0148                 | 0.0000           | 0.0000             | 91.6    | VIL0     |
| 24.06  | 56.95 | 0.0196                 | 0.0129                 | 0.0001           | 0.0000             | 91.9    | RIGA     |
| 18.37  | 57.65 | 0.0184                 | 0.0135                 | 0.0000           | 0.0000             | 90.2    | VIS0     |
| 29.78  | 60.53 | 0.0206                 | 0.0112                 | 0.0001           | 0.0001             | 86.2    | SVTL     |
| 17.27  | 48.37 | 0.0206                 | 0.0151                 | 0.0001           | 0.0001             | 89.4    | MOPI     |
| 17.06  | 51.11 | 0.0191                 | 0.0145                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.9    | WROC     |
| 26.39  | 67.42 | 0.0175                 | 0.0131                 | 0.0001           | 0.0000             | 94.6    | SODA     |
| 17.06  | 51.11 | 0.0191                 | 0.0145                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.9    | WROC     |
| 21.04  | 52.48 | 0.0202                 | 0.0142                 | 0.0001           | 0.0000             | 90.3    | BOGO     |
| 17.27  | 48.37 | 0.0206                 | 0.0151                 | 0.0001           | 0.0001             | 89.4    | MOPI     |
| 17.06  | 51.11 | 0.0191                 | 0.0145                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.9    | WROC     |
| 18.37  | 57.65 | 0.0184                 | 0.0135                 | 0.0000           | 0.0000             | 90.2    | VIS0     |
| 21.06  | 67.88 | 0.0158                 | 0.0144                 | 0.0000           | 0.0000             | 93.3    | KIR0     |
| 16.56  | 64.70 | 0.0152                 | 0.0148                 | 0.0000           | 0.0000             | 91.6    | VIL0     |
| 30.10  | 62.39 | 0.0200                 | 0.0117                 | 0.0000           | 0.0000             | 93.3    | JOEN     |
| 24.06  | 56.95 | 0.0196                 | 0.0129                 | 0.0001           | 0.0000             | 91.9    | RIGA     |
| 29.78  | 60.53 | 0.0206                 | 0.0112                 | 0.0001           | 0.0001             | 86.2    | SVTL     |
| 21.77  | 62.96 | 0.0179                 | 0.0132                 | 0.0001           | 0.0000             | 92.2    | VAAS     |
| 9.78   | 47.52 | 0.0202                 | 0.0159                 | 0.0000           | 0.0000             | 90.2    | PFAN     |
| 26.39  | 67.42 | 0.0175                 | 0.0131                 | 0.0001           | 0.0000             | 94.6    | SODA     |
| 23.39  | 42.56 | 0.0234                 | 0.0118                 | 0.0001           | 0.0000             | 87.7    | SOFI     |
| 33.40  | 35.14 | 0.0186                 | 0.0153                 | 0.0001           | 0.0001             | 73.5    | NICO     |
| 6.60   | 52.91 | 0.0170                 | 0.0161                 | 0.0001           | 0.0000             | 90.8    | WSRT     |
| 41.57  | 43.79 | 0.0251                 | 0.0114                 | 0.0001           | 0.0001             | 83.5    | ZECK     |
| -15.20 | 64.27 | 0.0125                 | 0.0146                 | 0.0000           | 0.0000             | 85.4    | HOFN     |
| 5.25   | 50.69 | 0.0181                 | 0.0158                 | 0.0000           | 0.0000             | 92.4    | WARE     |
| 30.50  | 50.36 | 0.0217                 | 0.0125                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.6    | GLSV     |

| Lon    | Lat   | V <sub>n</sub> (mm/yr) | V <sub>e</sub> (mm/yr) | Semiassse minore | Semiassse maggiore | Azimuth | Stazione |
|--------|-------|------------------------|------------------------|------------------|--------------------|---------|----------|
| 4.68   | 45.88 | 0.0188                 | 0.0156                 | 0.0001           | 0.0001             | 91.3    | SJDV     |
| 6.76   | 50.67 | 0.0181                 | 0.0163                 | 0.0001           | 0.0000             | 90.5    | EUSK     |
| 5.35   | 43.28 | 0.0196                 | 0.0166                 | 0.0001           | 0.0001             | 92.5    | MARS     |
| 8.41   | 49.01 | 0.0190                 | 0.0159                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.8    | KARL     |
| -9.42  | 38.69 | 0.0176                 | 0.0171                 | 0.0001           | 0.0001             | 100.7   | CASC     |
| 34.76  | 30.60 | 0.0223                 | 0.0211                 | 0.0001           | 0.0001             | 72.0    | RAMO     |
| 7.47   | 46.88 | 0.0188                 | 0.0159                 | 0.0000           | 0.0000             | 91.1    | ZIMM     |
| 11.34  | 46.50 | 0.0194                 | 0.0154                 | 0.0001           | 0.0001             | 89.3    | BZRG     |
| 8.92   | 44.42 | 0.0200                 | 0.0154                 | 0.0001           | 0.0001             | 91.5    | GENO     |
| -4.50  | 48.38 | 0.0159                 | 0.0169                 | 0.0001           | 0.0001             | 91.7    | BRST     |
| 12.36  | 43.12 | 0.0201                 | 0.0164                 | 0.0001           | 0.0001             | 90.2    | UNPG     |
| 1.40   | 41.60 | 0.0186                 | 0.0162                 | 0.0001           | 0.0001             | 87.1    | BELL     |
| 7.66   | 45.06 | 0.0195                 | 0.0158                 | 0.0001           | 0.0001             | 90.5    | TORI     |
| 3.32   | 42.32 | 0.0214                 | 0.0177                 | 0.0001           | 0.0001             | 92.8    | CREU     |
| 13.11  | 47.80 | 0.0206                 | 0.0153                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.8    | SBGZ     |
| 25.30  | 54.65 | 0.0210                 | 0.0133                 | 0.0002           | 0.0001             | 88.9    | VLNS     |
| 26.13  | 44.46 | 0.0226                 | 0.0121                 | 0.0001           | 0.0000             | 85.8    | BUCU     |
| 12.61  | 35.50 | 0.0191                 | 0.0186                 | 0.0001           | 0.0001             | 90.8    | LAMP     |
| 1.97   | 42.48 | 0.0189                 | 0.0157                 | 0.0001           | 0.0001             | 94.9    | LLIV     |
| 5.22   | 53.36 | 0.0180                 | 0.0148                 | 0.0001           | 0.0001             | 89.7    | TERS     |
| 5.68   | 50.76 | 0.0173                 | 0.0161                 | 0.0001           | 0.0001             | 90.1    | EIJS     |
| 11.87  | 78.93 | 0.0103                 | 0.0148                 | 0.0001           | 0.0000             | 88.3    | NYA1     |
| 18.94  | 69.66 | 0.0141                 | 0.0146                 | 0.0001           | 0.0000             | 92.4    | TRO1     |
| 0.16   | 48.02 | 0.0181                 | 0.0157                 | 0.0001           | 0.0001             | 91.4    | MANS     |
| 22.30  | 48.63 | 0.0211                 | 0.0136                 | 0.0001           | 0.0001             | 88.8    | UZHL     |
| 29.45  | 40.79 | 0.0230                 | 0.0095                 | 0.0001           | 0.0000             | 82.3    | TUBI     |
| -15.63 | 27.76 | 0.0155                 | 0.0179                 | 0.0001           | 0.0001             | 128.5   | MAS1     |
| -8.40  | 43.36 | 0.0210                 | 0.0163                 | 0.0001           | 0.0001             | 97.2    | ACOR     |
| -0.48  | 38.34 | 0.0191                 | 0.0168                 | 0.0001           | 0.0001             | 96.2    | ALAC     |
| 0.98   | 42.69 | 0.0187                 | 0.0163                 | 0.0001           | 0.0001             | 92.3    | ESCO     |
| 13.73  | 51.03 | 0.0195                 | 0.0156                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.8    | DRES     |
| 8.73   | 50.22 | 0.0184                 | 0.0153                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.3    | KLOP     |
| 18.41  | 43.87 | 0.0224                 | 0.0160                 | 0.0001           | 0.0001             | 85.7    | SRJV     |
| 7.89   | 54.17 | 0.0169                 | 0.0160                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.6    | HELG     |
| 29.02  | 41.10 | 0.0255                 | 0.0095                 | 0.0001           | 0.0000             | 82.1    | ISTA     |
| 39.78  | 40.99 | 0.0248                 | 0.0131                 | 0.0001           | 0.0001             | 80.5    | TRAB     |
| 8.76   | 41.93 | 0.0203                 | 0.0159                 | 0.0001           | 0.0001             | 89.3    | AJAC     |
| 10.46  | 52.30 | 0.0187                 | 0.0154                 | 0.0001           | 0.0000             | 88.3    | PTBB     |
| 10.48  | 53.05 | 0.0181                 | 0.0153                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.6    | HOBU     |
| 20.79  | 41.13 | 0.0236                 | 0.0114                 | 0.0001           | 0.0001             | 80.3    | ORID     |
| 14.99  | 36.88 | 0.0204                 | 0.0198                 | 0.0001           | 0.0001             | 81.3    | NOT1     |
| 18.11  | 42.65 | 0.0227                 | 0.0185                 | 0.0001           | 0.0001             | 84.7    | DUBR     |

| Lon    | Lat   | Vn (mm/yr) | Ve (mm/yr) | Semiassse minore | Semiassse maggiore | Azimuth | Stazione |
|--------|-------|------------|------------|------------------|--------------------|---------|----------|
| 18.68  | 45.56 | 0.0218     | 0.0152     | 0.0001           | 0.0001             | 86.4    | OSJE     |
| -3.09  | 40.52 | 0.0181     | 0.0163     | 0.0001           | 0.0001             | 98.8    | YEBE     |
| 2.59   | 48.84 | 0.0173     | 0.0158     | 0.0001           | 0.0001             | 91.4    | MLVL     |
| 10.32  | 63.37 | 0.0136     | 0.0161     | 0.0001           | 0.0000             | 87.3    | TRDS     |
| -0.41  | 46.13 | 0.0181     | 0.0164     | 0.0001           | 0.0001             | 94.4    | CHIZ     |
| 6.75   | 53.56 | 0.0173     | 0.0153     | 0.0001           | 0.0000             | 88.4    | BORK     |
| 35.39  | 31.59 | 0.0229     | 0.0200     | 0.0001           | 0.0001             | 68.4    | DRAG     |
| 11.34  | 46.50 | 0.0194     | 0.0154     | 0.0001           | 0.0001             | 89.3    | BZRG     |
| 5.60   | 59.02 | 0.0147     | 0.0157     | 0.0001           | 0.0000             | 86.3    | STAS     |
| 10.37  | 59.74 | 0.0154     | 0.0151     | 0.0001           | 0.0001             | 90.0    | OSLS     |
| 31.03  | 70.34 | 0.0173     | 0.0126     | 0.0001           | 0.0001             | 98.9    | VARS     |
| -3.80  | 43.47 | 0.0171     | 0.0174     | 0.0001           | 0.0001             | 96.0    | CANT     |
| -2.46  | 36.85 | 0.0179     | 0.0157     | 0.0001           | 0.0001             | 103.4   | ALME     |
| 2.62   | 39.55 | 0.0174     | 0.0163     | 0.0001           | 0.0001             | 92.5    | MALL     |
| -25.66 | 37.75 | 0.0119     | 0.0165     | 0.0001           | 0.0001             | 165.5   | PDEL     |
| -8.59  | 41.11 | 0.0176     | 0.0168     | 0.0001           | 0.0001             | 97.9    | GAIA     |
| -8.67  | 37.10 | 0.0167     | 0.0176     | 0.0001           | 0.0001             | 153.9   | LAGO     |
| -0.34  | 39.48 | 0.0200     | 0.0153     | 0.0001           | 0.0001             | 99.3    | VALE     |
| -0.34  | 51.42 | 0.0165     | 0.0163     | 0.0001           | 0.0001             | 88.9    | NPLD     |
| -6.85  | 34.00 | 0.0152     | 0.0179     | 0.0001           | 0.0001             | 109.7   | RABT     |
| 14.54  | 46.05 | 0.0209     | 0.0174     | 0.0001           | 0.0001             | 87.3    | GSR1     |
| 9.78   | 47.52 | 0.0202     | 0.0159     | 0.0000           | 0.0000             | 90.2    | PFAN     |
| 1.48   | 43.56 | 0.0189     | 0.0158     | 0.0001           | 0.0001             | 91.8    | TLSE     |
| 3.32   | 42.32 | 0.0214     | 0.0177     | 0.0001           | 0.0001             | 92.8    | CREU     |
| 8.41   | 49.01 | 0.0190     | 0.0159     | 0.0001           | 0.0000             | 89.8    | KARL     |
| 8.73   | 50.22 | 0.0184     | 0.0153     | 0.0001           | 0.0000             | 89.3    | KLOP     |
| 6.76   | 50.67 | 0.0181     | 0.0163     | 0.0001           | 0.0000             | 90.5    | EUSK     |
| -6.34  | 39.48 | 0.0178     | 0.0169     | 0.0001           | 0.0001             | 97.1    | CACE     |
| 14.28  | 48.31 | 0.0200     | 0.0154     | 0.0002           | 0.0001             | 87.6    | LINZ     |
| 34.54  | 49.60 | 0.0223     | 0.0124     | 0.0001           | 0.0001             | 88.5    | POLV     |
| 11.28  | 48.09 | 0.0198     | 0.0155     | 0.0001           | 0.0001             | 88.4    | OBE2     |
| -15.20 | 64.27 | 0.0125     | 0.0146     | 0.0000           | 0.0000             | 85.4    | HOFN     |
| 16.59  | 49.21 | 0.0202     | 0.0147     | 0.0001           | 0.0001             | 86.6    | TUBO     |
| -50.94 | 66.99 | -0.0176    | 0.0118     | 0.0000           | 0.0000             | 82.9    | KELY     |
| 13.35  | 42.37 | 0.0218     | 0.0178     | 0.0001           | 0.0001             | 88.7    | AQUI     |
| 10.21  | 42.75 | 0.0201     | 0.0161     | 0.0001           | 0.0001             | 86.2    | ELBA     |
| 24.01  | 49.84 | 0.0215     | 0.0139     | 0.0001           | 0.0001             | 87.1    | SULP     |
| 4.59   | 50.09 | 0.0162     | 0.0154     | 0.0000           | 0.0000             | 91.8    | DOUR     |
| 11.90  | 45.41 | 0.0207     | 0.0156     | 0.0002           | 0.0001             | 88.5    | PADO     |
| -5.31  | 35.90 | 0.0149     | 0.0172     | 0.0002           | 0.0002             | 101.8   | CEUT     |

| Lon    | Lat   | V <sub>n</sub> (mm/yr) | V <sub>e</sub> (mm/yr) | Semiassse minore | Semiassse maggiore | Azimuth | Stazione |
|--------|-------|------------------------|------------------------|------------------|--------------------|---------|----------|
| 20.67  | 46.56 | 0.0224                 | 0.0140                 | 0.0002           | 0.0001             | 86.7    | OROS     |
| -6.21  | 36.46 | 0.0149                 | 0.0172                 | 0.0000           | 0.0000             | 106.4   | SFER     |
| -17.89 | 28.76 | 0.0154                 | 0.0172                 | 0.0002           | 0.0002             | 124.0   | LPAL     |
| -1.22  | 46.16 | 0.0176                 | 0.0160                 | 0.0002           | 0.0001             | 94.8    | LROC     |
| 12.36  | 43.12 | 0.0201                 | 0.0164                 | 0.0001           | 0.0001             | 90.2    | UNPG     |
| 8.73   | 50.22 | 0.0184                 | 0.0153                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.3    | KLOP     |
| 8.41   | 49.01 | 0.0190                 | 0.0159                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.8    | KARL     |
| 12.89  | 57.71 | 0.0170                 | 0.0144                 | 0.0002           | 0.0001             | 90.2    | SPT0     |
| -46.05 | 60.72 | -0.0183                | 0.0144                 | 0.0002           | 0.0002             | 92.4    | QAQ1     |
| 21.04  | 52.47 | 0.0201                 | 0.0142                 | 0.0002           | 0.0002             | 89.5    | BOGI     |
| -1.69  | 55.21 | 0.0154                 | 0.0156                 | 0.0002           | 0.0001             | 89.6    | MORP     |
| 31.97  | 46.97 | 0.0230                 | 0.0118                 | 0.0002           | 0.0001             | 86.8    | MIKL     |
| 22.14  | 47.84 | 0.0221                 | 0.0129                 | 0.0002           | 0.0002             | 87.5    | NYIR     |
| -68.83 | 76.54 | -0.0231                | 0.0049                 | 0.0002           | 0.0002             | 110.2   | THU3     |
| 12.50  | 55.74 | 0.0177                 | 0.0149                 | 0.0001           | 0.0001             | 90.9    | BUDP     |
| 13.73  | 51.03 | 0.0195                 | 0.0156                 | 0.0001           | 0.0000             | 89.8    | DRES     |
| 5.25   | 50.69 | 0.0181                 | 0.0158                 | 0.0000           | 0.0000             | 92.4    | WARE     |
| 19.92  | 50.07 | 0.0206                 | 0.0147                 | 0.0002           | 0.0001             | 88.0    | KRAW     |
| 19.28  | 47.79 | 0.0213                 | 0.0143                 | 0.0000           | 0.0000             | 88.9    | PENC     |
| -6.21  | 36.46 | 0.0149                 | 0.0172                 | 0.0000           | 0.0000             | 106.4   | SFER     |
| -21.96 | 64.14 | -0.0106                | 0.0204                 | 0.0000           | 0.0000             | 83.9    | REYK     |
| 5.14   | 50.00 | 0.0182                 | 0.0158                 | 0.0003           | 0.0002             | 90.4    | REDU     |
| 9.56   | 55.64 | 0.0165                 | 0.0153                 | 0.0002           | 0.0001             | 90.3    | SMID     |
| 9.74   | 56.84 | 0.0167                 | 0.0150                 | 0.0002           | 0.0001             | 90.2    | SULD     |
| -4.22  | 57.49 | 0.0133                 | 0.0167                 | 0.0003           | 0.0002             | 89.5    | INVE     |
| 11.10  | 43.89 | 0.0210                 | 0.0173                 | 0.0002           | 0.0002             | 92.1    | PRAT     |
| -2.64  | 53.34 | 0.0154                 | 0.0161                 | 0.0003           | 0.0002             | 90.9    | DARE     |
| 3.32   | 42.32 | 0.0214                 | 0.0177                 | 0.0001           | 0.0001             | 92.8    | CREU     |
| 2.62   | 39.55 | 0.0174                 | 0.0163                 | 0.0001           | 0.0001             | 92.5    | MALL     |
| 19.04  | 50.25 | 0.0217                 | 0.0100                 | 0.0003           | 0.0002             | 87.7    | KATO     |
| 19.21  | 49.69 | 0.0208                 | 0.0146                 | 0.0003           | 0.0002             | 87.9    | ZYWI     |
| 0.33   | 50.87 | 0.0155                 | 0.0162                 | 0.0002           | 0.0002             | 88.5    | HERT     |
| 13.64  | 54.51 | 0.0178                 | 0.0148                 | 0.0002           | 0.0001             | 89.6    | SASS     |
| 21.03  | 52.10 | 0.0204                 | 0.0137                 | 0.0003           | 0.0002             | 86.7    | JOZ2     |
| 8.97   | 39.14 | 0.0214                 | 0.0160                 | 0.0003           | 0.0003             | 90.4    | CAGZ     |
| 21.05  | 64.88 | 0.0170                 | 0.0150                 | 0.0002           | 0.0002             | 89.9    | SKE0     |
| 12.10  | 54.17 | 0.0179                 | 0.0151                 | 0.0002           | 0.0001             | 90.3    | WARN     |
| 20.32  | 49.03 | 0.0195                 | 0.0148                 | 0.0003           | 0.0002             | 87.9    | GANP     |
| 12.97  | 46.56 | 0.0207                 | 0.0161                 | 0.0003           | 0.0002             | 93.4    | ZOUF     |

| Lon    | Lat   | Vn (mm/yr) | Ve (mm/yr) | Semiassse minore | Semiassse maggiore | Azimuth | Stazione |
|--------|-------|------------|------------|------------------|--------------------|---------|----------|
| 7.64   | 45.02 | 0.0198     | 0.0154     | 0.0003           | 0.0002             | 93.1    | IENG     |
| 34.76  | 30.60 | 0.0223     | 0.0211     | 0.0001           | 0.0001             | 72.0    | RAMO     |
| 9.10   | 45.80 | 0.0209     | 0.0130     | 0.0004           | 0.0003             | 91.9    | COMO     |
| -5.54  | 50.10 | 0.0152     | 0.0164     | 0.0004           | 0.0002             | 92.9    | NEWL     |
| -0.34  | 51.42 | 0.0165     | 0.0163     | 0.0001           | 0.0001             | 88.9    | NPLD     |
| 11.65  | 44.52 | 0.0221     | 0.0181     | 0.0004           | 0.0003             | 92.1    | MSEL     |
| 6.92   | 43.75 | 0.0194     | 0.0155     | 0.0000           | 0.0000             | 94.8    | GRAS     |
| 24.06  | 56.95 | 0.0196     | 0.0129     | 0.0001           | 0.0000             | 91.9    | RIGA     |
| -5.31  | 35.90 | 0.0149     | 0.0172     | 0.0002           | 0.0002             | 101.8   | CEUT     |
| 36.24  | 50.01 | 0.0238     | 0.0077     | 0.0006           | 0.0004             | 90.2    | KHAR     |
| -50.94 | 66.99 | -0.0176    | 0.0118     | 0.0000           | 0.0000             | 82.9    | KELY     |
| 12.36  | 43.12 | 0.0201     | 0.0164     | 0.0001           | 0.0001             | 90.2    | UNPG     |

Il campo di velocità è rappresentato nella figura (8.13). Come ci si aspettava, l'orientamento dei vettori che rappresentano le velocità dei siti è compatibile con quello relativo alla descrizione di un moto rigido. Se immaginiamo che la placca europea sia rigida, possiamo descriverne il moto per mezzo di un vettore velocità angolare. Sia  $\boldsymbol{\omega}$  la velocità angolare, e  $\mathbf{r}_{sito}$  la posizione cartesiana del sito (nel sistema ITRF2000), allora la velocità sarà:

$$\mathbf{v}_{sito} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{sito} \quad (8.3)$$

Per indagare le deformazioni della placca è necessario rimuovere la componente del campo di velocità dovuta al moto rigido. Sottraendo il campo di velocità calcolato con l'eq. (8.3) otteniamo i valori riportati nelle seguenti tabelle:

| Lat   | lon   | Vn     | Ve      | Sito |
|-------|-------|--------|---------|------|
| 8.97  | 39.14 | 0.0013 | -0.0007 | CAGL |
| -3.95 | 40.44 | 0.0007 | -0.0008 | VILL |
| 16.70 | 40.65 | 0.0063 | 0.0004  | MATE |
| 14.99 | 36.88 | 0.0053 | -0.0029 | NOTO |
| 17.07 | 52.28 | 0.0017 | -0.0016 | BOR1 |
| 5.81  | 52.18 | 0.0016 | -0.0015 | KOSG |
| 4.36  | 50.80 | 0.0004 | -0.0018 | BRUS |
| 21.04 | 52.48 | 0.0022 | -0.0010 | BOGO |
| 24.40 | 60.22 | 0.0012 | -0.0007 | METS |
| 7.47  | 46.88 | 0.0016 | -0.0009 | ZIMM |

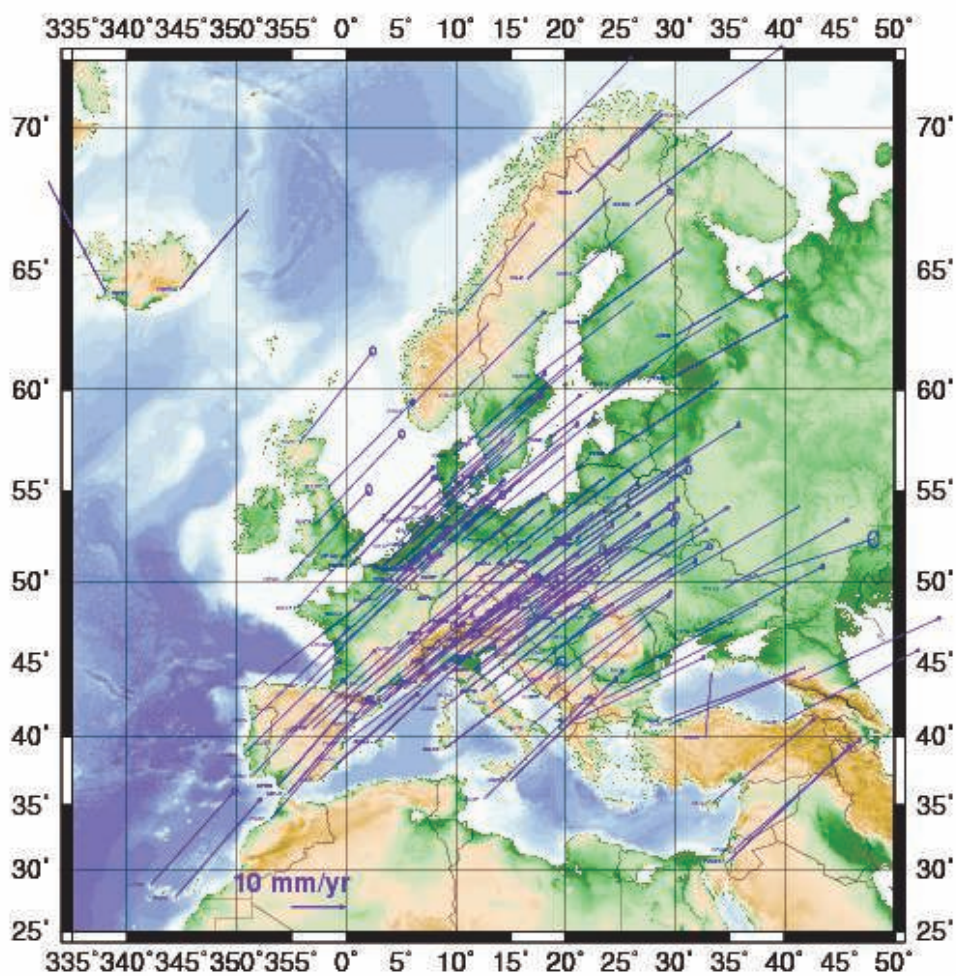


Figura 8.13: Campo di velocità della placca eurpoea, espresso nel sistema di riferimento ITRF2000.



|        |       |         |         |       |
|--------|-------|---------|---------|-------|
| 14.79  | 49.91 | 0.0016  | -0.0007 | GOPE  |
| 15.49  | 47.07 | 0.0024  | -0.0002 | GRAZ  |
| 0.34   | 50.87 | 0.0015  | -0.0013 | HERS  |
| 21.03  | 52.10 | 0.0022  | -0.0010 | JOZE  |
| 20.97  | 67.86 | 0.0032  | -0.0024 | KIRU  |
| 11.65  | 44.52 | 0.0035  | 0.0016  | MEDI  |
| 11.93  | 57.40 | 0.0010  | -0.0020 | ONSA  |
| 13.07  | 52.38 | 0.0015  | -0.0015 | POTS  |
| -21.96 | 64.14 | 0.0039  | -0.0195 | REYK  |
| 12.88  | 49.14 | 0.0018  | -0.0009 | WTZR  |
| 20.67  | 53.89 | 0.0022  | -0.0017 | LAMA  |
| -68.79 | 76.54 | -0.0060 | -0.0159 | THU1  |
| 19.28  | 47.79 | 0.0020  | -0.0003 | PENC  |
| -50.94 | 66.99 | -0.0027 | -0.0182 | KELY  |
| -6.21  | 36.46 | 0.0013  | -0.0040 | SFER  |
| 11.39  | 47.31 | 0.0024  | -0.0004 | HFLK  |
| 11.88  | 45.41 | 0.0039  | 0.0001  | UPAD  |
| 4.59   | 50.09 | 0.0007  | -0.0024 | DOUR  |
| 4.39   | 51.99 | 0.0011  | -0.0015 | DEL F |
| 5.25   | 50.69 | 0.0012  | -0.0005 | WARE  |
| 3.40   | 50.93 | 0.0013  | -0.0016 | DENT  |
| 32.76  | 39.89 | 0.0026  | -0.0229 | ANKR  |
| 6.92   | 43.75 | 0.0011  | -0.0007 | GRAS  |
| 0.49   | 40.82 | 0.0004  | -0.0002 | EBRE  |
| 21.77  | 62.96 | 0.0013  | -0.0015 | VAAS  |
| 30.10  | 62.39 | 0.0016  | -0.0009 | JOEN  |
| 21.06  | 67.88 | 0.0024  | -0.0023 | KIRO  |
| 17.26  | 60.60 | 0.0010  | -0.0011 | MAR6  |
| 16.56  | 64.70 | 0.0019  | -0.0028 | VIL0  |
| 24.06  | 56.95 | 0.0015  | -0.0014 | RIGA  |
| 18.37  | 57.65 | 0.0010  | -0.0014 | VIS0  |
| 29.78  | 60.53 | 0.0011  | -0.0006 | SVTL  |
| 17.27  | 48.37 | 0.0024  | -0.0006 | MOPI  |
| 17.06  | 51.11 | 0.0017  | -0.0017 | WROC  |
| 26.39  | 67.42 | 0.0022  | -0.0017 | SODA  |
| 17.06  | 51.11 | 0.0017  | -0.0017 | WROC  |
| 21.04  | 52.48 | 0.0022  | -0.0010 | BOGO  |
| 17.27  | 48.37 | 0.0024  | -0.0006 | MOPI  |
| 17.06  | 51.11 | 0.0017  | -0.0017 | WROC  |
| 18.37  | 57.65 | 0.0010  | -0.0014 | VIS0  |

| Lat    | lon   | Vn      | Ve      | Sito |
|--------|-------|---------|---------|------|
| 21.06  | 67.88 | 0.0024  | -0.0023 | KIRO |
| 16.56  | 64.70 | 0.0019  | -0.0028 | VIL0 |
| 30.10  | 62.39 | 0.0016  | -0.0009 | JOEN |
| 24.06  | 56.95 | 0.0015  | -0.0014 | RIGA |
| 29.78  | 60.53 | 0.0011  | -0.0006 | SVTL |
| 21.77  | 62.96 | 0.0013  | -0.0015 | VAAS |
| 9.78   | 47.52 | 0.0019  | 0.0002  | PFAN |
| 26.39  | 67.42 | 0.0022  | -0.0017 | SODA |
| 23.39  | 42.56 | 0.0003  | 0.0006  | SOFI |
| 33.40  | 35.14 | 0.0060  | -0.0057 | NICO |
| 6.60   | 52.91 | 0.0017  | -0.0015 | WSRT |
| 41.57  | 43.79 | 0.0041  | 0.0003  | ZECK |
| -15.20 | 64.27 | -0.0018 | 0.0019  | HOFN |
| 5.25   | 50.69 | 0.0012  | -0.0005 | WARE |
| 30.50  | 50.36 | 0.0025  | -0.0012 | GLSV |
| 4.68   | 45.88 | 0.0009  | -0.0006 | SJDV |
| 6.76   | 50.67 | 0.0019  | -0.0008 | EUSK |
| 5.35   | 43.28 | 0.0020  | -0.0003 | MARS |
| 8.41   | 49.01 | 0.0017  | -0.0005 | KARL |
| -9.42  | 38.69 | 0.0010  | -0.0004 | CASC |
| 34.76  | 30.60 | 0.0016  | -0.0026 | RAMO |
| 7.47   | 46.88 | 0.0016  | -0.0009 | ZIMM |
| 11.34  | 46.50 | 0.0017  | -0.0011 | BZRG |
| 8.92   | 44.42 | 0.0013  | -0.0003 | GENO |
| -4.50  | 48.38 | 0.0012  | -0.0012 | BRST |
| 12.36  | 43.12 | 0.0028  | -0.0010 | UNPG |
| 1.40   | 41.60 | 0.0011  | -0.0008 | BELL |
| 7.66   | 45.06 | 0.0015  | -0.0005 | TORI |
| 3.32   | 42.32 | 0.0028  | 0.0017  | CREU |
| 13.11  | 47.80 | 0.0018  | 0.0000  | SBGZ |
| 25.30  | 54.65 | 0.0022  | -0.0006 | VLNS |
| 26.13  | 44.46 | 0.0011  | -0.0004 | BUCU |
| 12.61  | 35.50 | 0.0051  | -0.0028 | LAMP |
| 1.97   | 42.48 | 0.0007  | -0.0005 | LLIV |
| 5.22   | 53.36 | 0.0002  | -0.0001 | TERS |
| 5.68   | 50.76 | 0.0015  | -0.0014 | EIJS |
| 11.87  | 78.93 | 0.0011  | -0.0027 | NYA1 |
| 18.94  | 69.66 | 0.0022  | -0.0031 | TRO1 |
| 0.16   | 48.02 | 0.0004  | -0.0000 | MANS |
| 22.30  | 48.63 | 0.0018  | -0.0009 | UZHL |
| 29.45  | 40.79 | -0.0007 | -0.0007 | TUBI |

| Lat    | lon   | Vn      | Ve      | Sito |
|--------|-------|---------|---------|------|
| -15.63 | 27.76 | 0.0015  | -0.0032 | MAS1 |
| -8.40  | 43.36 | 0.0003  | 0.0037  | ACOR |
| -0.48  | 38.34 | 0.0015  | -0.0005 | ALAC |
| 0.98   | 42.69 | 0.0011  | -0.0005 | ESCO |
| 13.73  | 51.03 | 0.0023  | -0.0007 | DRES |
| 8.73   | 50.22 | 0.0012  | -0.0010 | KLOP |
| 18.41  | 43.87 | 0.0035  | 0.0004  | SRJV |
| 7.89   | 54.17 | 0.0017  | -0.0016 | HELG |
| 29.02  | 41.10 | -0.0008 | 0.0019  | ISTA |
| 39.78  | 40.99 | 0.0054  | 0.0001  | TRAB |
| 8.76   | 41.93 | 0.0018  | -0.0003 | AJAC |
| 10.46  | 52.30 | 0.0015  | -0.0007 | PTBB |
| 10.48  | 53.05 | 0.0014  | -0.0011 | HOBU |
| 20.79  | 41.13 | -0.0007 | 0.0010  | ORID |
| 14.99  | 36.88 | 0.0067  | -0.0017 | NOT1 |
| 18.11  | 42.65 | 0.0059  | 0.0007  | DUBR |
| 18.68  | 45.56 | 0.0027  | -0.0000 | OSJE |
| -3.09  | 40.52 | 0.0007  | -0.0007 | YEBE |
| 2.59   | 48.84 | 0.0008  | -0.0012 | MLVL |
| 10.32  | 63.37 | 0.0022  | -0.0034 | TRDS |
| -0.41  | 46.13 | 0.0011  | -0.0003 | CHIZ |
| 6.75   | 53.56 | 0.0009  | -0.0011 | BORK |
| 35.39  | 31.59 | 0.0006  | -0.0020 | DRAG |
| 11.34  | 46.50 | 0.0017  | -0.0011 | BZRG |
| 5.60   | 59.02 | 0.0011  | -0.0023 | STAS |
| 10.37  | 59.74 | 0.0012  | -0.0024 | OSLS |
| 31.03  | 70.34 | 0.0027  | -0.0019 | VAR5 |
| -3.80  | 43.47 | 0.0017  | -0.0011 | CANT |
| -2.46  | 36.85 | 0.0002  | -0.0015 | ALME |
| 2.62   | 39.55 | 0.0013  | -0.0025 | MALL |
| -25.66 | 37.75 | 0.0000  | -0.0034 | PDEL |
| -8.59  | 41.11 | 0.0008  | -0.0001 | GAIA |
| -8.67  | 37.10 | 0.0016  | -0.0017 | LAGO |
| -0.34  | 39.48 | -0.0000 | 0.0006  | VALE |
| -0.34  | 51.42 | 0.0010  | -0.0009 | NPLD |
| -6.85  | 34.00 | 0.0020  | -0.0039 | RABT |
| 14.54  | 46.05 | 0.0042  | -0.0002 | GSR1 |
| 9.78   | 47.52 | 0.0019  | 0.0002  | PFAN |
| 1.48   | 43.56 | 0.0007  | -0.0003 | TLSE |
| 3.32   | 42.32 | 0.0028  | 0.0017  | CREU |
| 8.41   | 49.01 | 0.0017  | -0.0005 | KARL |

| Lat    | lon   | Vn      | Ve      | Sito |
|--------|-------|---------|---------|------|
| 8.73   | 50.22 | 0.0012  | -0.0010 | KLOP |
| 6.76   | 50.67 | 0.0019  | -0.0008 | EUSK |
| -6.34  | 39.48 | 0.0010  | -0.0006 | CACE |
| 14.28  | 48.31 | 0.0021  | -0.0007 | LINZ |
| 34.54  | 49.60 | 0.0034  | -0.0013 | POLV |
| 11.28  | 48.09 | 0.0017  | -0.0004 | OBE2 |
| -15.20 | 64.27 | -0.0018 | 0.0019  | HOFN |
| 16.59  | 49.21 | 0.0019  | -0.0008 | TUBO |
| -50.94 | 66.99 | -0.0027 | -0.0182 | KELY |
| 13.35  | 42.37 | 0.0044  | 0.0005  | AQUI |
| 10.21  | 42.75 | 0.0022  | -0.0007 | ELBA |
| 24.01  | 49.84 | 0.0025  | -0.0006 | SULP |
| 4.59   | 50.09 | 0.0007  | -0.0024 | DOUR |
| 11.90  | 45.41 | 0.0019  | -0.0000 | PADO |
| -5.31  | 35.90 | 0.0014  | -0.0042 | CEUT |
| 20.67  | 46.56 | 0.0019  | 0.0004  | OROS |
| -6.21  | 36.46 | 0.0013  | -0.0040 | SFER |
| -17.89 | 28.76 | 0.0007  | -0.0028 | LPAL |
| -1.22  | 46.16 | 0.0006  | -0.0006 | LROC |
| 12.36  | 43.12 | 0.0028  | -0.0010 | UNPG |
| 8.73   | 50.22 | 0.0012  | -0.0010 | KLOP |
| 8.41   | 49.01 | 0.0017  | -0.0005 | KARL |
| 12.89  | 57.71 | 0.0009  | -0.0018 | SPT0 |
| -46.05 | 60.72 | -0.0007 | -0.0223 | QAQ1 |
| 21.04  | 52.47 | 0.0022  | -0.0011 | BOGI |
| -1.69  | 55.21 | 0.0002  | -0.0008 | MORP |
| 31.97  | 46.97 | 0.0022  | -0.0005 | MIKL |
| 22.14  | 47.84 | 0.0011  | 0.0000  | NYIR |
| -68.83 | 76.54 | -0.0064 | -0.0161 | THU3 |
| 12.50  | 55.74 | 0.0013  | -0.0014 | BUDP |
| 13.73  | 51.03 | 0.0023  | -0.0007 | DRES |
| 5.25   | 50.69 | 0.0012  | -0.0005 | WARE |
| 19.92  | 50.07 | 0.0025  | -0.0008 | KRAW |
| 19.28  | 47.79 | 0.0020  | -0.0003 | PENC |
| -6.21  | 36.46 | 0.0013  | -0.0040 | SFER |
| -21.96 | 64.14 | 0.0039  | -0.0195 | REYK |
| 5.14   | 50.00 | 0.0012  | -0.0005 | REDU |
| 9.56   | 55.64 | 0.0013  | -0.0020 | SMID |
| 9.74   | 56.84 | 0.0010  | -0.0016 | SULD |
| -4.22  | 57.49 | 0.0010  | -0.0018 | INVE |

| Lat    | lon   | Vn      | Ve      | Sito |
|--------|-------|---------|---------|------|
| 11.10  | 43.89 | 0.0035  | 0.0002  | PRAT |
| -2.64  | 53.34 | 0.0006  | -0.0011 | DARE |
| 3.32   | 42.32 | 0.0028  | 0.0017  | CREU |
| 2.62   | 39.55 | 0.0013  | -0.0025 | MALL |
| 19.04  | 50.25 | -0.0024 | 0.0005  | KATO |
| 19.21  | 49.69 | 0.0022  | -0.0005 | ZYWI |
| 0.33   | 50.87 | 0.0010  | -0.0021 | HERT |
| 13.64  | 54.51 | 0.0014  | -0.0018 | SASS |
| 21.03  | 52.10 | 0.0017  | -0.0009 | JOZ2 |
| 8.97   | 39.14 | 0.0019  | 0.0004  | CAGZ |
| 21.05  | 64.88 | 0.0030  | -0.0018 | SKE0 |
| 12.10  | 54.17 | 0.0015  | -0.0014 | WARN |
| 20.32  | 49.03 | 0.0027  | -0.0021 | GANP |
| 12.97  | 46.56 | 0.0026  | -0.0000 | ZOUF |
| 7.64   | 45.02 | 0.0011  | -0.0002 | IENG |
| 34.76  | 30.60 | 0.0016  | -0.0026 | RAMO |
| 9.10   | 45.80 | -0.0011 | 0.0007  | COMO |
| -5.54  | 50.10 | 0.0006  | -0.0013 | NEWL |
| -0.34  | 51.42 | 0.0010  | -0.0009 | NPLD |
| 11.65  | 44.52 | 0.0044  | 0.0013  | MSEL |
| 6.92   | 43.75 | 0.0011  | -0.0007 | GRAS |
| 24.06  | 56.95 | 0.0015  | -0.0014 | RIGA |
| -5.31  | 35.90 | 0.0014  | -0.0042 | CEUT |
| 36.24  | 50.01 | -0.0009 | 0.0001  | KHAR |
| -50.94 | 66.99 | -0.0027 | -0.0182 | KELY |
| 12.36  | 43.12 | 0.0028  | -0.0010 | UNPG |

Come si può vedere in fig. (8.14) il campo determinato è in accordo con i valori forniti dal modello nella regione centrale dell'europa: questa è la parte più interna, e quindi più rigida, della placca europea. Si vede che le velocità stimate differiscono notevolmente da quelle dedotte dall'eq. 8.3 nelle regioni periferiche, che corrispondono alle zone di interazione tra la placca europea e le placche vicine.

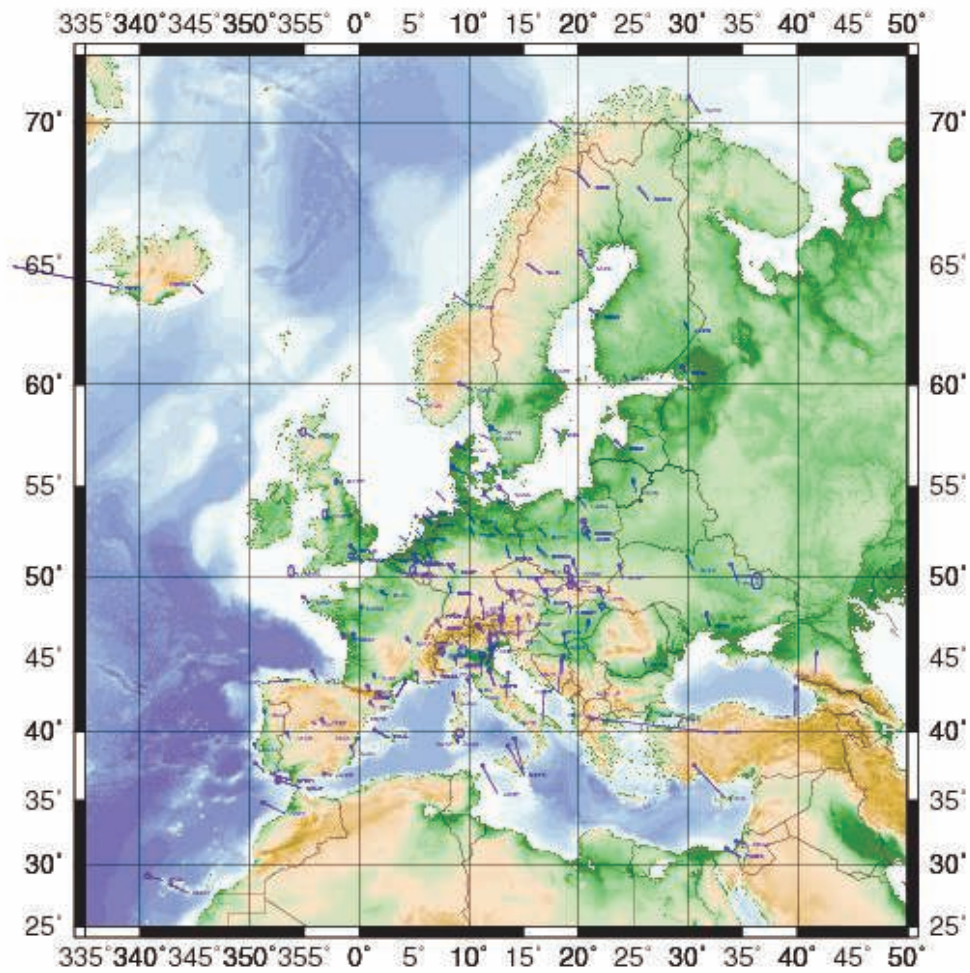


Figura 8.14: Campo di velocità intraplacca.

# Capitolo 9

## Infittimento del campo di velocità

### 9.1 Introduzione

Nel capitolo precedente abbiamo determinato il campo di velocità a partire dalle equazioni normali della rete EUREF; tali dati non sono però sufficienti a caratterizzare il campo di deformazione in quanto la distanza media tra i siti della rete EUREF, essendo questa una rete nata per scopi cartografici, è troppo elevata per prestarsi ad applicazioni geofisiche. Tuttavia le equazioni normali EUREF sono necessarie perchè definiscono ed infittiscono il sistema di riferimento ITRF nella regione europea. Il principio di combinazione delle equazioni normali permette di infittire la rete EUREF per mezzo di soluzioni locali. Il nostro gruppo di ricerca esegue da molto tempo il calcolo, su base settimanale, delle coordinate di una rete di stazioni GPS in territorio italiano ed austriaco (rete UPA) sulla base delle stesse procedure e dello stesso software utilizzato. Inoltre abbiamo a disposizione lo stesso tipo di soluzioni settimanali per una rete molto fitta disposta su territorio austriaco (rete GP). Le soluzioni settimanali UPA e GP condividono un limitato (e variabile) numero di siti con le corrispondenti soluzioni settimanali EUREF. Questo fatto consente di allineare ogni soluzione settimanale UPA e GP alla rete EUREF. Per ottenere un campo di velocità combinato correttamente allineato al sistema di riferimento ITRF (in questo caso scegliamo il riferimento ITRF05, definito dal file<sup>1</sup> `itr05_trf.snx`) è necessario definire una strategia di combinazione rigorosa. Tale strategia è costituita da 4 punti principali:

1. Soluzione preliminare multianno settimanale per EUREF, UPA e GP, separatamente.
2. Introduzione offsets e rimozione outliers.
3. Combinazione delle soluzioni settimanali EUREF, UPA, GP.
4. Combinazione multianno delle soluzioni settimanali combinate.

---

<sup>1</sup>[ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/itr2005/ITRF2005\\_TRF.SNX.gz](ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/itr2005/ITRF2005_TRF.SNX.gz)

## 9.2 Descrizione della strategia di combinazione

### 9.2.1 La definizione del sistema di riferimento

Abbiamo visto che i sistemi di equazioni normali ottenuti dall'elaborazione di dati GPS sono singolari, a causa del fatto che l'osservabile permette di determinare la posizione di un sito a meno di una traslazione, una rotazione ed un fattore di scala. Quando si intende stimare anche le velocità il sistema delle equazioni normali rimane ancora singolare. Per invertire tali sistemi è necessario vincolare il sistema di riferimento inserendo 14 nuove equazioni (7 per eliminare la singolarità per le coordinate e 7 per eliminare la singolarità per le velocità). Operativamente si ha a disposizione un insieme di valori a priori per coordinate e velocità che servono a vincolare il sistema di equazioni normali. Tuttavia, nel caso delle soluzioni UPA e GP, il numero di siti di cui si dispone coordinate e velocità a priori nel sistema di riferimento ITRF05 è esiguo e non efficacemente distribuito su tutta la rete. Questo fatto comporta problemi di allineamento e di singolarità dei sistemi di equazioni normali settimanali, non permettendo di comprendere se i drift che si presentano nelle serie storiche di alcuni siti siano da imputarsi a presenza di outliers, presenza di offsets non risolti o a scarsità di siti che definiscono il sistema di riferimento. In sostanza non si comprende se i drift nelle serie storiche dipendano dalla qualità del sito o dall'inadeguatezza del sistema di riferimento.

### 9.2.2 Software di combinazione

Nel capitolo precedente è proceduto alla combinazione delle eq. normali tramite il software ADDNEQ2. il software in questione non è risultato totalmente idoneo per svolgere tale mansione, infatti durante i ripetuti run si sono verificati comportamenti anomali e difficilmente riproducibili (errori di allocazione degli arrays, errori di associazione tra siti e coordinate e velocità, lentezza nell'elaborazione) che ci hanno portato ad utilizzare un altro software di combinazione. Abbiamo perciò deciso di utilizzare il software CATREF (Combination and Analysis of Terrestrial Reference Frames), sviluppato da Z. Altamimi e utilizzato da anni per la definizione delle varie realizzazioni dell'ITRF. Il modello di osservabile su cui si basa CATREF è costituito da una trasformazione di similitudine come quella definita dalle eq. (5.106).

### 9.2.3 Classificazione dei vincoli.

Seguendo Altamimi, i vincoli che vengono applicati ai sistemi di equazioni normali contenuti nei files SINEX possono essere suddivisi in 4 categorie:

1. *Tight constraints*:  $\sigma \geq 10^{-10}m$ .
2. *Removable constraints*:  $\sigma \approx 10^{-5}m$ .
3. *Loose constraints*:  $\sigma \geq 1m$ .



4. *Minimum Constraints.*

I vincoli di tipo 1) sono praticamente equivalenti a fissare la posizione dei siti scelti per definire il riferimento. Questo tipo di vincoli comporta dei problemi di natura numerica che ne impediscono la rimozione. I vincoli di tipo 2) possono essere rimossi, dalla singola soluzione  $s$ , per mezzo dell'equazione:

$$(\boldsymbol{\Sigma}_s^{unc})^{-1} = (\boldsymbol{\Sigma}_s^{est})^{-1} - (\boldsymbol{\Sigma}_s^{const})^{-1}. \quad (9.1)$$

I vincoli di tipo 3) non sono sufficienti a stabilizzare il sistema di riferimento, nel senso che, nel caso di una combinazione multianno, i parametri di Helmert delle soluzioni individuali, rispetto alla soluzione combinata, mostrano valori molto elevati, dell'ordine del metro.

**9.2.4 Rimozione e imposizione di nuovi vincoli.**

CATREF richiede che da ciascuna soluzione individuale  $s$  vengano rimossi i vincoli esistenti e vengano imposti i vincoli di tipo 3). I sistemi di eq. normali che abbiamo a disposizione contengono i vincoli di tipo 2) e 3). Nel caso di vincoli di tipo 2) è necessario utilizzare l'eq. (9.1) per rimuoverli, e imporre i minimi vincoli tramite l'eq.:

$$(\boldsymbol{\Sigma}_s^{mc})^{-1} = (\boldsymbol{\Sigma}_s^{unc})^{-1} + \mathbf{B}^T \boldsymbol{\Sigma}^{\Theta-1} \mathbf{B} \quad (9.2)$$

dove  $\mathbf{B}$  è la matrice:

$$\mathbf{B} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \quad (9.3)$$

ed  $\mathbf{A}$  è la matrice disegno della trasformazione di similitudine (5.119). Nel caso di vincoli di tipo 3) possiamo applicare direttamente i minimi vincoli, utilizzando l'equazione:

$$\boldsymbol{\Sigma}_s^{mc} = \boldsymbol{\Sigma}_s^{est} - \boldsymbol{\Sigma}_s^{est} \mathbf{B}^T (\mathbf{B} \boldsymbol{\Sigma}_s^{est} \mathbf{B}^T + \boldsymbol{\Sigma}^{\Theta})^{-1} \mathbf{B} \boldsymbol{\Sigma}_s^{est}. \quad (9.4)$$

L'eq. (9.4) deriva dall'eq. (9.2) attraverso l'identità matriciale:

$$[\boldsymbol{\Lambda}_1 - \boldsymbol{\Lambda}_{12} \boldsymbol{\Lambda}_2^{-1} \boldsymbol{\Lambda}_{21}]^{-1} = \boldsymbol{\Lambda}_1 + \boldsymbol{\Lambda}_1^{-1} \boldsymbol{\Lambda}_{12} [\boldsymbol{\Lambda}_2 - \boldsymbol{\Lambda}_{21} \boldsymbol{\Lambda}_1^{-1} \boldsymbol{\Lambda}_{12}]^{-1} \boldsymbol{\Lambda}_{21} \boldsymbol{\Lambda}_1^{-1} \quad (9.5)$$

dove  $\boldsymbol{\Lambda}_1$ ,  $\boldsymbol{\Lambda}_{12}$ ,  $\boldsymbol{\Lambda}_{21}$ ,  $\boldsymbol{\Lambda}_2$  sono le submatrici che costituiscono la seguente matrice invertibile:

$$\begin{pmatrix} \boldsymbol{\Lambda}_1 & \boldsymbol{\Lambda}_{12} \\ \boldsymbol{\Lambda}_{21} & \boldsymbol{\Lambda}_2 \end{pmatrix}. \quad (9.6)$$

Il secondo termine di destra dell'eq. (9.4):

$$\boldsymbol{\Sigma}_s^{est} \mathbf{B}^T (\mathbf{B} \boldsymbol{\Sigma}_s^{est} \mathbf{B}^T + \boldsymbol{\Sigma}^{\Theta})^{-1} \mathbf{B} \boldsymbol{\Sigma}_s^{est} \quad (9.7)$$

viene detto proiettore, e descrive l'effetto del sistema di riferimento sulla matrice di covarianza  $\boldsymbol{\Sigma}_s^{mc}$ .

### 9.2.5 Vincoli relativi tra le velocità

Come abbiamo visto nei capitoli precedenti, salti nelle serie storiche degradano la stima delle velocità di un sito. E' necessario vincolare quindi le diverse realizzazioni dello stesso sito. Per vincolare la terna delle componenti della velocità  $(x_i, y_i, z_i)$  alla terna di valori  $(x_j, y_j, z_j)$  ad un livello specificato da  $(\dot{\sigma}_x, \dot{\sigma}_y, \dot{\sigma}_z)$  si devono gli elementi della matrice di covarianza nel seguente modo (vedi [10]):

$$N_{6k-2,6k-2} = N_{6k-2,6k-2} + \frac{1}{\sigma_x^2} \quad (9.8)$$

$$N_{6k-1,6k-1} = N_{6k-1,6k-1} + \frac{1}{\sigma_y^2} \quad (9.9)$$

$$N_{6k,6k} = N_{6k,6k} + \frac{1}{\sigma_z^2}. \quad (9.10)$$

I termini di covarianza sono:

$$N_{6i-2,6j-2} = N_{6i-2,6j-2} + \frac{1}{\sigma_x^2} \quad (9.11)$$

$$N_{6i-1,6j-i} = N_{6i-1,6j-1} + \frac{1}{\sigma_y^2} \quad (9.12)$$

$$N_{6i,6j} = N_{6i,6j} + \frac{1}{\sigma_z^2} \quad (9.13)$$

ed essendo la matrice normale simmetrica:

$$N_{6j-2,6i-2} = N_{6j-2,6i-2} + \frac{1}{\sigma_x^2} \quad (9.14)$$

$$N_{6j-1,6i-i} = N_{6j-1,6i-1} + \frac{1}{\sigma_y^2} \quad (9.15)$$

$$N_{6j,6i} = N_{6j,6i} + \frac{1}{\sigma_z^2}. \quad (9.16)$$

### 9.2.6 Stima dei pesi relativi alle soluzioni individuali

La qualità dei risultati derivati da un processo di stima ai minimi quadrati viene effettuata attraverso un confronto tra i residui postfit e la varianza a priori delle osservazioni. Il livello di accordo è indicato dalla varianza di peso unitario (variance factor) calcolata a posteriori. Generalizzando possiamo utilizzare la varianza di peso unitario per determinare i pesi relativi alle soluzioni individuali:

$$\sigma_s = \frac{v_s^T \Sigma_s^{-1} v_s}{f_s} \quad (9.17)$$

dove  $v_s$  è il vettore dei residui postfit associato ad una soluzione individuale,  $\Sigma_s$  è la matrice di covarianza e  $f_s$  un fattore di rindondanza definito come:

$$f_s = 6n_s - tr(A_s \Sigma_{comb}^{-1} A_s^T \Sigma_s^{-1}) \quad (9.18)$$

dove  $n_s$  è il numero di siti contenuti nella soluzione individuale,  $\Sigma_{comb}$  la matrice di covarianza della soluzione combinata,  $A_s$  la design matrix della soluzione individuale e  $\Sigma_s$  ma matrice di covarianza relativa. Con questa definizione le varianze delle soluzioni vengono aumentate o ridotte di un fattore  $\sigma_s$ , che dipende essenzialmente dai residui di ciascuna soluzione.

### 9.2.7 Stima statistica della qualità della combinazione

Per ogni soluzione individuale si può calcolare il WRMS come:

$$WRMS = \sqrt{\frac{v_s^T D(\Sigma_s)^{-1} v_s}{\frac{tr(D(\Sigma_s^{-1}))}{3n_s} (f_s - 1)}} \quad (9.19)$$

dove  $v_s$  è il vettore dei residui relativi alla posizione,  $D(\Sigma_s)$  è la diagonale della matrice di covarianza associata alla soluzione individuale. Analogamente il WRMS può essere calcolato anche per le velocità.

### 9.2.8 Sull'utilizzo dei vincoli interni

Abbiamo visto che un sistema di eq. normali singolare, come quelli che spesso si trovano in geodesia, può essere invertito senza la definizione di un sistema di riferimento interno, attraverso i vincoli interni. Il software CATREF permette di calcolare una soluzione combinata utilizzando i vincoli interni. La soluzione combinata ottenuta non sarà, in generale, allineata ad un sistema di riferimento terrestre, ma conserverà la propria consistenza interna, i residui delle coordinate delle soluzioni individuali rispetto alla soluzione combinata saranno uguali a quelli calcolati rispetto ad una soluzione vincolata tramite i minimi vincoli. Ne segue che le serie storiche dei siti saranno identiche. Le due soluzioni combinate differiranno per una trasformazione di similitudine. La possibilità di effettuare lo stacking delle eq. normali e lo screening dei residui senza doversi preoccupare di definire un sistema di riferimento esterno velocizza molto il processo di analisi e permette di separare, nella serie storica di un particolare sito, l'effetto della qualità intrinseca del sito da quello dovuto alla definizione del sistema di riferimento.

## 9.3 Pre-processamento delle equazioni normali

Le matrici di covarianza settimanali vengono immagazzinate in file SINEX, in questo tipo di file ogni sito è individuato da 3 codici:

1. Site name: codice alfanumerico di 4 caratteri.
2. Domes code: codice alfanumerico di 9 caratteri.

3. Solution number: codice numerico di 2 caratteri.

Nei sinex della rete EUREF Site name e Domes code vengono sempre specificati, e vengono ogni giorno controllati automaticamente da un software attraverso un confronto con i relativi log files. Il solution number permette di definire le varie realizzazioni dello stesso sito; generalmente serve per indicare un cambiamento di hardware per un particolare sito (nella maggior parte dei casi un cambiamento di antenna a cui è associato un offset).

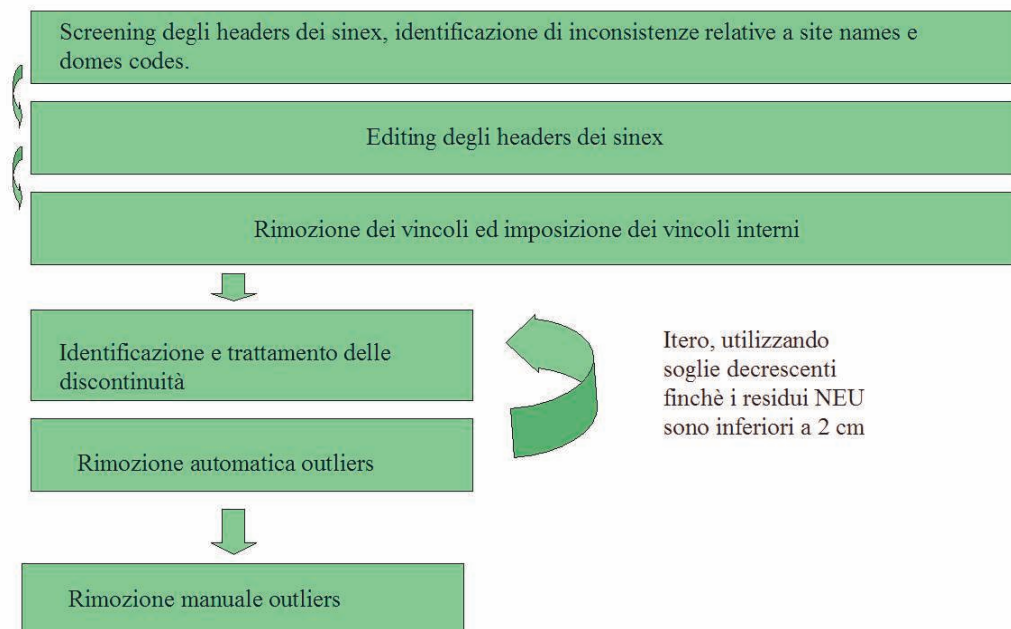
La situazione è più complicata per i files SINEX della rete UPA e GP; per tali files il controllo automatico della correttezza dei codici identificativi non viene eseguito, e quindi può accadere che lo stesso sito abbia codici identificativi diversi in diversi SINEX della stessa rete, oppure, caso più grave, può accadere che siti diversi abbiano gli stessi codici identificativi. In quest'ultimo caso informazioni di siti differenti concorrono a stimare coordinate e velocità di un unico sito, risultando, nella maggior parte dei casi, nello stop del processo di combinazione, senza alcuna possibilità di risalire al sito che ha causato tale problema.

La soluzione adottata è consistita nello screening della sezione SITE/ID di ogni SINEX. In questa sezione sono riportate le coordinate geodetiche approssimate di ogni sito presente nel file. Un semplice script matlab calcola la distanza approssimata, in coordinate locali, tra le posizioni occupate dal sito considerato in due settimane contigue. Il risultato è un grafico nel quale le discontinuità vengono rilevate da picchi improvvisi. Questa tecnica permette di determinare discontinuità dell'ordine di 3 metri. Un secondo script permette di editare in modo interattivo site name e domes code; in caso di discontinuità dell'ordine di metri si è proceduto modificando il domes code del sito dopo la discontinuità.

### 9.3.1 Soluzioni preliminari multianno

Da ogni soluzioni settimanale sono stati rimossi i vincoli e poi è stata effettuata una combinazione utilizzando vincoli interni. Dal momento che i vincoli interni non permettono di fissare il sistema di riferimento, le soluzioni così ottenute non permettono di stimare un campo di velocità realistico, tuttavia consentono di individuare outliers e discontinuità presenti nelle serie storiche, inoltre tali serie storiche non risentono di effetti dovuti alla scelta del sottoinsieme di siti che realizza effettivamente il riferimento. Alla luce di queste considerazioni si comprende bene l'importanza che l'utilizzo dei vincoli interni riveste per un corretto preprocessing delle equazioni normali. Il processo di preprocessing è iterativo: all'iterazione 0 sono stati introdotte le discontinuità mentre nelle iterazioni successive sono stati eliminati gli outliers. Nelle prime iterazioni la rimozione degli outliers viene effettuata in maniera automatica: si è partiti dal valore di soglia di 1 metro e ad ogni iterazione tale valore è stato ridotto di 10 cm. Una volta raggiunto il valore di 10 cm si è proceduto con decrementi di 1 cm fino a raggiungere la soglia di 2 cm. Empiricamente, a partire dalla soglia di 2 cm si osserva un brusco decremento del variance factor, che raggiunge valori vicini

all'unità. Dalla soglia di 2 cm in giù gli outliers vengono eliminati manualmente a seguito dell'ispezione visuale di ciascuna serie storica.



Schema di combinazione per le soluzioni preliminari.

### 9.3.2 Combinazione preliminare EUREF

#### Informazioni generali

Una corretta combinazione delle equazioni normali settimanali EUREF è di fondamentale importanza, poichè consentono di allineare ogni altra soluzione locale al sistema di riferimento ITRF. Nel corso degli anni il numero di siti è andato aumentando: come si vede dalla figura (9.1), nell'intervallo di tempo considerato, il numero di siti è quasi quadruplicato. Anche la qualità delle soluzioni settimanali, dipendendo dalla qualità delle orbite IGS utilizzate, è variabile. Infine le diverse realizzazioni dei sistemi di riferimento ITRF che si sono avvicinate nel corso degli anni concorrono a diminuire la consistenza delle soluzioni. In effetti, da anni è nota alla comunità scientifica di riprocessare tutti i dati grezzi, assicurando la massima omogeneità per quanto riguarda le orbite IGS e le strategie di elaborazione.

#### Rimozione ed imposizione di nuovi vincoli

Dal punto di vista dei vincoli, l'insieme delle soluzioni settimanali viene delimitato dalla settimana GPS 1302: infatti a partire da tale epoca le soluzioni settimanali sono vincolate tramite minimi vincoli. Per epoche antecedenti sono stati utilizzati i

vincoli di tipo 2). Perciò abbiamo ritenuto opportuno utilizzare le eq. (9.1) e (9.2) per le equazioni normali riferite ad un'epoca precedente alla settimana 1302, e l'eq. (9.4) per le soluzioni successive a tale epoca. La soluzione combinata è stata infine vincolata per mezzo dei vincoli interni.

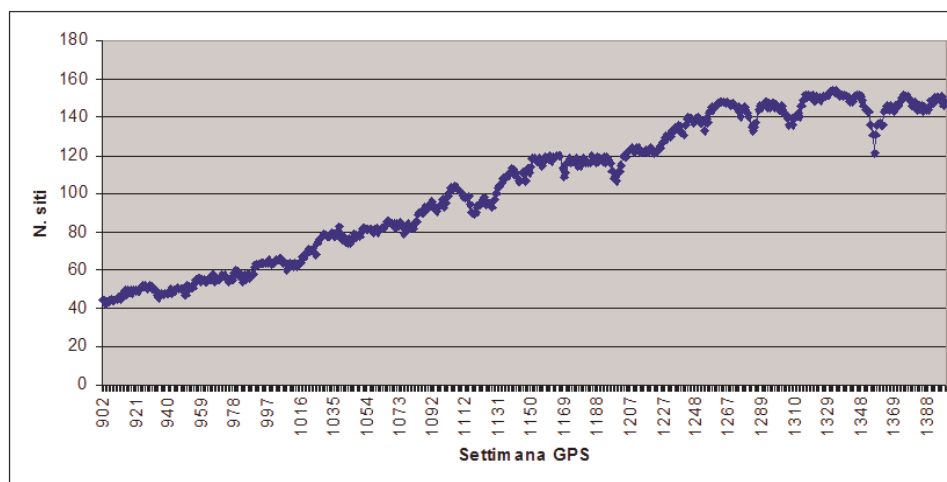


Figura 9.1: Numero di siti presenti in ogni soluzione settimanale EUREF.

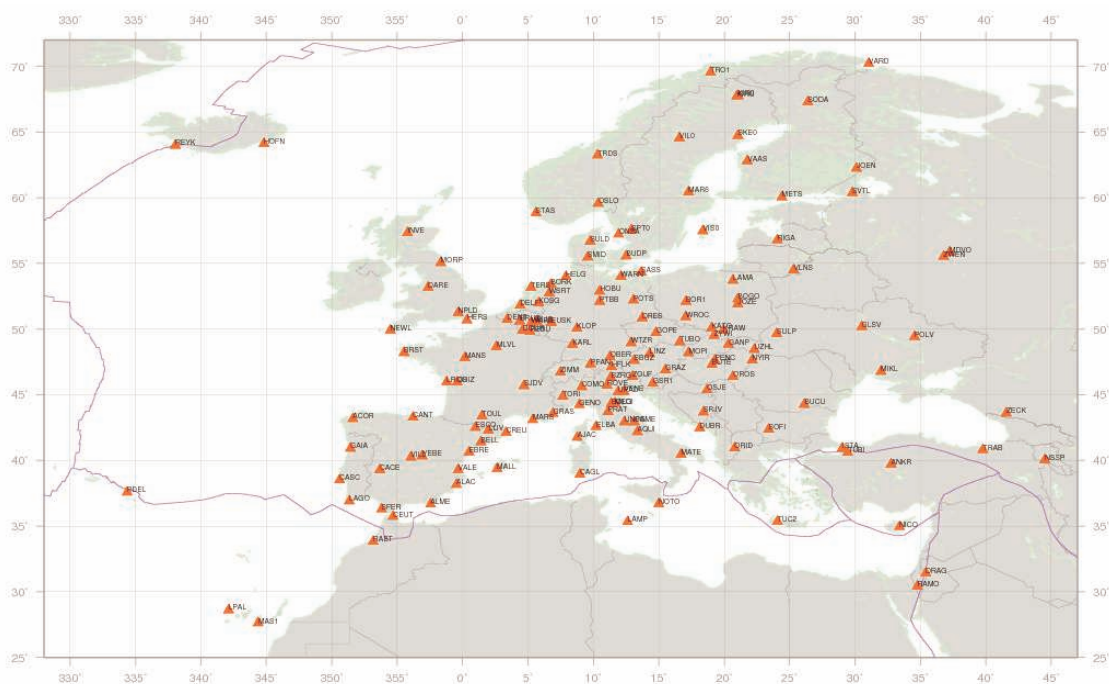


Figura 9.2: Posizione delle stazioni EUREF considerate.

**Discontinuità e intervallo temporale**

Lo screening manuale dei residui post-fit delle coordinate dei siti ha permesso di determinare le epoche in cui si verificano le discontinuità. Sono state determinate circa 230 discontinuità. Riportiamo in tabella il numero di discontinuità. Le velocità dei siti affetti da tali discontinuità sono stati vincolate per mezzo delle eq. (9.8), (9.11) e (9.14). Tra le coordinate non sono stati imposti vincoli relativi.

| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| ACOR | 13434M001  | 1    | 252     | 00:023 | 06:308 | 6.78 |
| AJAC | 10077M005  | 1    | 299     | 00:051 | 06:308 | 6.7  |
| ALAC | 13433M001  | 1    | 324     | 99:248 | 06:089 | 6.56 |
| ALAC | 13433M001  | 2    | 22      | 06:155 | 06:308 | 0.42 |
| ALME | 13437M001  | 1    | 276     | 01:021 | 06:308 | 5.79 |
| ANKR | 20805M002  | 1    | 68      | 97:110 | 98:269 | 1.44 |
| ANKR | 20805M002  | 2    | 29      | 98:270 | 99:149 | 0.67 |
| ANKR | 20805M002  | 3    | 304     | 99:325 | 06:308 | 6.95 |
| AQUI | 12757M001  | 1    | 249     | 01:287 | 06:308 | 5.06 |
| BELL | 13431M001  | 1    | 387     | 99:031 | 06:308 | 7.76 |
| BOGI | 12207M003  | 1    | 185     | 02:265 | 06:308 | 4.12 |
| BOGO | 12207M002  | 1    | 214     | 97:110 | 01:174 | 4.18 |
| BOGO | 12207M002  | 2    | 257     | 01:238 | 06:308 | 5.19 |
| BOLG | 12771M001  | 1    | 80      | 05:086 | 06:308 | 1.61 |
| BOR1 | 12205M002  | 1    | 99      | 97:110 | 99:079 | 1.92 |
| BOR1 | 12205M002  | 2    | 358     | 99:157 | 06:308 | 7.41 |
| BORK | 14268M001  | 1    | 284     | 00:324 | 06:308 | 5.96 |
| BRST | 10004M004  | 1    | 270     | 98:361 | 05:064 | 6.19 |
| BRST | 10004M004  | 2    | 41      | 05:107 | 06:032 | 0.79 |
| BRUS | 13101M004  | 1    | 156     | 97:110 | 00:106 | 2.99 |
| BRUS | 13101M004  | 2    | 320     | 00:128 | 06:308 | 6.49 |
| BUCU | 11401M001  | 1    | 361     | 99:255 | 06:308 | 7.15 |
| BUDP | 10101M003  | 1    | 172     | 03:019 | 06:308 | 3.79 |
| BUTE | 11209M001  | 1    | 101     | 04:305 | 06:308 | 2.01 |
| BZRG | 12751M001  | 1    | 97      | 98:361 | 00:309 | 1.86 |
| BZRG | 12751M001  | 3    | 210     | 02:223 | 06:308 | 4.23 |
| CACE | 13447M001  | 1    | 246     | 01:273 | 06:308 | 5.1  |
| CAGL | 12725M003  | 1    | 219     | 97:110 | 01:202 | 4.25 |
| CAGL | 12725M003  | 2    | 225     | 01:203 | 06:308 | 5.29 |
| CAGZ | 12725M004  | 1    | 149     | 03:264 | 06:308 | 3.12 |
| CAME | 12754M001  | 1    | 124     | 01:035 | 03:277 | 2.66 |
| CAME | 12754M001  | 2    | 67      | 03:355 | 06:308 | 2.87 |
| CANT | 13438M001  | 1    | 282     | 01:021 | 06:308 | 5.79 |

| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| CASC | 13909S001  | 1    | 357     | 99:276 | 06:308 | 7.09 |
| CEUT | 13449M001  | 1    | 128     | 02:146 | 05:001 | 2.6  |
| CEUT | 13449M001  | 2    | 64      | 05:093 | 06:231 | 1.38 |
| CHIZ | 10020M001  | 1    | 294     | 00:317 | 06:308 | 5.98 |
| COMO | 12761M001  | 1    | 83      | 04:102 | 05:351 | 1.68 |
| COMO | 12761M001  | 2    | 44      | 05:353 | 06:308 | 0.88 |
| CREU | 13432M001  | 1    | 86      | 99:199 | 01:090 | 1.7  |
| CREU | 13432M001  | 2    | 20      | 01:119 | 01:258 | 0.38 |
| CREU | 13432M001  | 3    | 154     | 03:250 | 06:305 | 3.15 |
| DARE | 13208S001  | 1    | 153     | 03:208 | 06:308 | 3.27 |
| DELF | 13502M004  | 1    | 170     | 97:110 | 00:211 | 3.28 |
| DELF | 13502M004  | 2    | 317     | 00:212 | 06:308 | 6.26 |
| DENT | 13112M001  | 1    | 144     | 97:110 | 00:029 | 2.78 |
| DENT | 13112M001  | 2    | 110     | 00:030 | 02:075 | 2.12 |
| DENT | 13112M001  | 3    | 180     | 02:076 | 05:295 | 3.6  |
| DENT | 13112M001  | 4    | 53      | 05:296 | 06:308 | 1.03 |
| DOUR | 13113M001  | 1    | 207     | 97:110 | 01:110 | 4    |
| DOUR | 13113M001  | 2    | 252     | 01:294 | 06:308 | 5.04 |
| DRAG | 20710S001  | 1    | 219     | 00:331 | 06:308 | 5.94 |
| DRES | 14108M001  | 1    | 167     | 99:304 | 03:018 | 3.22 |
| DRES | 14108M001  | 2    | 184     | 03:026 | 06:308 | 3.77 |
| DUBR | 11901M001  | 1    | 193     | 00:289 | 05:238 | 4.86 |
| DUBR | 11901M001  | 2    | 15      | 05:241 | 05:348 | 0.29 |
| EBRE | 13410M001  | 1    | 476     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| EIJS | 13533M001  | 1    | 45      | 99:171 | 00:120 | 0.86 |
| EIJS | 13533M001  | 2    | 317     | 00:163 | 06:308 | 6.4  |
| ELBA | 12721M002  | 1    | 237     | 01:287 | 06:308 | 5.06 |
| ESCO | 13435M001  | 1    | 259     | 99:248 | 06:308 | 7.16 |
| EUSK | 14258M003  | 1    | 135     | 98:242 | 01:125 | 2.68 |
| EUSK | 14258M003  | 2    | 268     | 01:133 | 06:308 | 5.48 |
| GAIA | 13902M001  | 1    | 273     | 01:042 | 06:308 | 5.73 |
| GANP | 11515M001  | 1    | 139     | 03:320 | 06:245 | 2.79 |
| GANP | 11515M001  | 2    | 9       | 06:246 | 06:308 | 0.17 |
| GENO | 12712M002  | 1    | 392     | 98:361 | 06:308 | 7.85 |
| GLSV | 12356M001  | 1    | 408     | 98:130 | 06:308 | 8.49 |
| GOPE | 11502M002  | 1    | 133     | 97:110 | 02:005 | 4.71 |
| GOPE | 11502M002  | 2    | 228     | 02:006 | 06:203 | 4.54 |
| GOPE | 11502M002  | 3    | 15      | 06:204 | 06:308 | 0.28 |
| GRAS | 10002M006  | 1    | 358     | 97:110 | 04:290 | 7.49 |
| GRAS | 10002M006  | 2    | 102     | 04:298 | 06:308 | 2.03 |
| GRAZ | 11001M002  | 1    | 207     | 97:110 | 01:111 | 4    |
| GRAZ | 11001M002  | 2    | 187     | 01:168 | 05:085 | 3.77 |



| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| GRAZ | 11001M002  | 3    | 32      | 05:086 | 05:309 | 0.61 |
| GRAZ | 11001M002  | 4    | 43      | 05:310 | 06:308 | 0.99 |
| GSR1 | 14501M001  | 2    | 239     | 02:006 | 06:308 | 4.83 |
| HELG | 14264M001  | 1    | 337     | 99:332 | 06:308 | 6.93 |
| HERS | 13212M007  | 1    | 25      | 97:110 | 98:192 | 1.22 |
| HERS | 13212M007  | 2    | 35      | 98:193 | 99:072 | 0.67 |
| HERS | 13212M007  | 3    | 260     | 01:245 | 06:308 | 5.17 |
| HERT | 13212M010  | 1    | 154     | 03:243 | 06:308 | 3.18 |
| HFLK | 11006S003  | 1    | 268     | 97:110 | 05:302 | 8.53 |
| HFLK | 11006S003  | 2    | 52      | 05:303 | 06:308 | 1.01 |
| HOBU | 14202M003  | 1    | 99      | 00:163 | 02:145 | 1.95 |
| HOBU | 14202M003  | 2    | 213     | 02:181 | 06:308 | 4.35 |
| HOFN | 10204M002  | 1    | 173     | 97:334 | 01:160 | 3.52 |
| HOFN | 10204M002  | 2    | 249     | 01:308 | 06:308 | 5    |
| IENG | 12724S001  | 1    | 131     | 04:032 | 06:308 | 2.76 |
| INVE | 13221S001  | 1    | 153     | 03:187 | 06:308 | 3.33 |
| ISTA | 20807M001  | 1    | 91      | 00:030 | 02:026 | 1.99 |
| ISTA | 20807M001  | 2    | 239     | 02:027 | 06:308 | 4.77 |
| JOEN | 10512M001  | 1    | 406     | 97:243 | 06:308 | 9.18 |
| JOZ2 | 12204M002  | 1    | 154     | 03:257 | 06:307 | 3.14 |
| JOZE | 12204M001  | 1    | 389     | 97:110 | 04:346 | 7.65 |
| JOZE | 12204M001  | 2    | 88      | 04:347 | 06:308 | 1.89 |
| KARL | 14216M001  | 1    | 129     | 98:277 | 01:125 | 2.58 |
| KARL | 14216M001  | 2    | 56      | 01:133 | 02:194 | 1.17 |
| KARL | 14216M001  | 3    | 216     | 02:195 | 06:308 | 4.31 |
| KATO | 12219S001  | 1    | 143     | 03:222 | 06:308 | 3.24 |
| KIRO | 10422M001  | 1    | 435     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| KIRU | 10403M002  | 1    | 388     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| KLOP | 14214M002  | 1    | 78      | 99:304 | 01:125 | 1.51 |
| KLOP | 14214M002  | 2    | 51      | 01:133 | 02:187 | 1.15 |
| KLOP | 14214M002  | 3    | 213     | 02:188 | 06:308 | 4.33 |
| KOSG | 13504M003  | 1    | 302     | 97:110 | 03:067 | 5.88 |
| KOSG | 13504M003  | 2    | 143     | 03:117 | 06:308 | 3.52 |
| KRAW | 12218M001  | 1    | 174     | 03:026 | 06:308 | 3.77 |
| LAGO | 13903M001  | 1    | 265     | 01:042 | 06:308 | 5.73 |
| LAMA | 12209M001  | 1    | 146     | 97:110 | 00:036 | 2.8  |
| LAMA | 12209M001  | 2    | 298     | 00:289 | 06:308 | 6.05 |
| LAMP | 12706M002  | 1    | 327     | 99:171 | 06:308 | 7.38 |
| LINZ | 11033S001  | 1    | 60      | 01:231 | 02:348 | 1.32 |
| LINZ | 11033S001  | 2    | 52      | 05:268 | 06:308 | 1.11 |
| LLIV | 13436M001  | 1    | 356     | 99:171 | 06:308 | 7.38 |
| LPAL | 81701M001  | 1    | 222     | 02:132 | 06:308 | 4.48 |

| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| LROC | 10023M001  | 1    | 223     | 02:132 | 06:308 | 4.48 |
| MALL | 13444M001  | 1    | 95      | 01:280 | 03:221 | 1.84 |
| MALL | 13444M001  | 2    | 156     | 03:264 | 06:308 | 3.12 |
| MANS | 10091M001  | 1    | 86      | 99:199 | 01:202 | 2.01 |
| MANS | 10091M001  | 2    | 247     | 01:336 | 06:308 | 4.92 |
| MAR6 | 10405M002  | 1    | 93      | 97:110 | 99:030 | 1.78 |
| MAR6 | 10405M002  | 2    | 389     | 99:038 | 06:308 | 7.74 |
| MARS | 10073M008  | 1    | 225     | 98:277 | 03:095 | 4.5  |
| MARS | 10073M008  | 2    | 55      | 03:096 | 04:129 | 1.09 |
| MARS | 10073M008  | 3    | 114     | 04:207 | 06:308 | 2.28 |
| MAS1 | 31303M002  | 1    | 447     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| MATE | 12734M008  | 1    | 112     | 97:110 | 99:170 | 2.16 |
| MATE | 12734M008  | 2    | 359     | 99:171 | 06:308 | 7.38 |
| MDVO | 12309M002  | 1    | 228     | 97:110 | 01:321 | 4.58 |
| MDVO | 12309M002  | 2    | 51      | 01:322 | 02:306 | 0.96 |
| MEDI | 12711M003  | 1    | 190     | 97:110 | 01:097 | 3.96 |
| MEDI | 12711M003  | 2    | 266     | 01:098 | 06:308 | 5.58 |
| METS | 10503S011  | 1    | 442     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| MIKL | 12335M001  | 1    | 178     | 02:314 | 06:308 | 3.98 |
| MLVL | 10092M001  | 1    | 272     | 00:331 | 06:308 | 5.94 |
| MOPI | 11507M001  | 1    | 34      | 97:173 | 98:073 | 0.73 |
| MOPI | 11507M001  | 2    | 406     | 98:200 | 06:308 | 8.3  |
| MORP | 13299S001  | 1    | 158     | 02:307 | 06:308 | 4    |
| MSEL | 12711M008  | 1    | 102     | 04:284 | 06:308 | 2.07 |
| NEWL | 13273M103  | 1    | 114     | 04:179 | 06:307 | 2.35 |
| NICO | 14302M001  | 1    | 78      | 97:173 | 99:030 | 1.61 |
| NICO | 14302M001  | 2    | 315     | 99:255 | 06:166 | 6.76 |
| NOT1 | 12717M004  | 1    | 311     | 00:247 | 06:308 | 6.17 |
| NOTO | 12717M003  | 1    | 65      | 97:110 | 98:199 | 1.24 |
| NOTO | 12717M003  | 2    | 95      | 98:319 | 00:253 | 1.82 |
| NPLD | 13234M003  | 1    | 133     | 01:049 | 04:220 | 3.47 |
| NPLD | 13234M003  | 2    | 107     | 04:256 | 06:298 | 2.12 |
| NSSP | 12312M001  | 2    | 116     | 03:075 | 06:308 | 3.64 |
| NYA1 | 10317M003  | 1    | 375     | 98:123 | 06:308 | 8.51 |
| NYIR | 11208M001  | 1    | 98      | 02:342 | 05:015 | 2.1  |
| NYIR | 11208M001  | 2    | 87      | 05:051 | 06:308 | 1.7  |
| OBE2 | 14208M003  | 1    | 247     | 01:322 | 06:308 | 4.96 |
| OBER | 14208M001  | 1    | 206     | 97:110 | 01:146 | 4.1  |
| OBET | 14208M004  | 1    | 90      | 03:187 | 05:129 | 1.84 |
| ONSA | 10402M004  | 1    | 93      | 97:110 | 99:037 | 1.8  |
| ONSA | 10402M004  | 2    | 385     | 99:038 | 06:308 | 7.74 |
| ORID | 15601M001  | 1    | 279     | 00:212 | 06:294 | 6.22 |

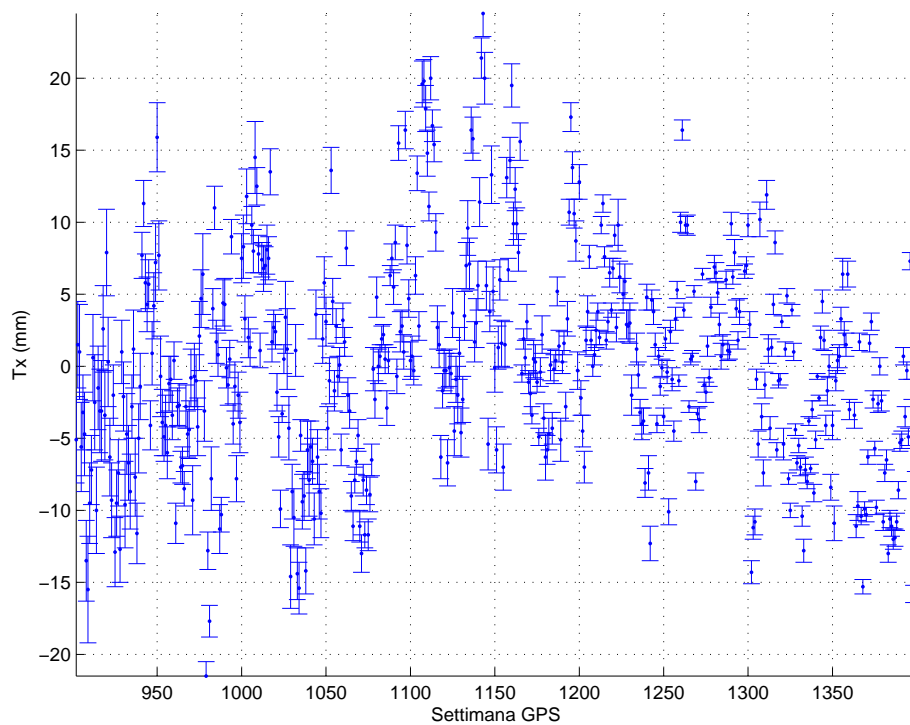
| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| OROS | 11207M001  | 1    | 18      | 01:343 | 02:103 | 0.34 |
| OROS | 11207M001  | 2    | 227     | 02:111 | 06:308 | 4.54 |
| OSJE | 11902M001  | 1    | 245     | 00:289 | 05:273 | 4.96 |
| OSLO | 10307M001  | 4    | 275     | 01:056 | 06:308 | 5.69 |
| PADO | 12750S001  | 1    | 237     | 01:329 | 06:308 | 4.94 |
| PDEL | 31906M004  | 1    | 83      | 01:042 | 02:355 | 1.86 |
| PDEL | 31906M004  | 2    | 190     | 02:356 | 06:308 | 3.87 |
| PENC | 11206M006  | 1    | 317     | 97:110 | 03:144 | 6.09 |
| PENC | 11206M006  | 2    | 170     | 03:145 | 06:308 | 3.45 |
| PFAN | 11005S002  | 1    | 126     | 97:110 | 99:310 | 2.55 |
| PFAN | 11005S002  | 2    | 66      | 99:311 | 01:076 | 1.36 |
| PFAN | 11005S002  | 3    | 268     | 01:084 | 06:308 | 5.61 |
| POLV | 12336M001  | 1    | 248     | 01:252 | 06:308 | 5.15 |
| POTS | 14106M003  | 1    | 487     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| PRAT | 12760M001  | 1    | 161     | 03:194 | 06:308 | 3.31 |
| PTBB | 14234M001  | 1    | 98      | 00:114 | 02:075 | 1.89 |
| PTBB | 14234M001  | 2    | 57      | 02:083 | 03:123 | 1.11 |
| PTBB | 14234M001  | 3    | 19      | 03:124 | 03:277 | 0.42 |
| PTBB | 14234M001  | 4    | 154     | 03:278 | 06:308 | 3.08 |
| QAQ1 | 43007M001  | 1    | 164     | 03:012 | 06:308 | 3.81 |
| RABT | 35001M002  | 1    | 282     | 01:056 | 06:308 | 5.69 |
| RAMO | 20703S001  | 1    | 84      | 98:305 | 00:190 | 1.68 |
| RAMO | 20703S001  | 2    | 153     | 00:240 | 04:066 | 3.52 |
| RAMO | 20703S001  | 4    | 129     | 04:088 | 06:308 | 2.6  |
| REDU | 13102M001  | 1    | 161     | 03:173 | 06:308 | 3.37 |
| REYK | 10202M001  | 1    | 135     | 97:110 | 00:015 | 2.74 |
| REYK | 10202M001  | 2    | 139     | 00:282 | 03:165 | 2.68 |
| REYK | 10202M001  | 3    | 162     | 03:166 | 06:308 | 3.39 |
| RIGA | 12302M002  | 1    | 378     | 97:110 | 04:346 | 7.65 |
| RIGA | 12302M002  | 2    | 61      | 05:072 | 06:147 | 1.21 |
| RIGA | 12302M002  | 3    | 23      | 06:148 | 06:308 | 0.44 |
| ROVE | 12774M001  | 1    | 30      | 06:099 | 06:308 | 0.57 |
| SASS | 14281M001  | 1    | 47      | 03:250 | 04:241 | 0.98 |
| SASS | 14281M001  | 2    | 109     | 04:249 | 06:308 | 2.16 |
| SBGZ | 11031S001  | 1    | 213     | 99:318 | 06:187 | 6.64 |
| SBGZ | 11031S001  | 2    | 15      | 06:204 | 06:308 | 0.28 |
| SFER | 13402M004  | 1    | 170     | 98:284 | 02:061 | 3.39 |
| SFER | 13402M004  | 2    | 64      | 02:069 | 03:165 | 1.26 |
| SFER | 13402M004  | 3    | 168     | 03:166 | 06:308 | 3.39 |
| SJDV | 10090M001  | 1    | 118     | 99:080 | 01:251 | 2.47 |
| SJDV | 10090M001  | 2    | 248     | 01:252 | 06:308 | 5.15 |
| SKE0 | 10426M001  | 1    | 127     | 03:278 | 06:308 | 3.08 |

| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| SMID | 10114M001  | 1    | 160     | 03:222 | 06:308 | 3.24 |
| SODA | 10513M001  | 1    | 377     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| SOFI | 11101M002  | 1    | 164     | 97:173 | 00:330 | 3.43 |
| SOFI | 11101M002  | 2    | 268     | 01:084 | 06:308 | 5.61 |
| SPT0 | 10425M001  | 1    | 198     | 02:230 | 06:308 | 4.21 |
| SRJV | 11801S001  | 1    | 201     | 99:325 | 06:234 | 6.75 |
| STAS | 10330M001  | 1    | 297     | 00:345 | 06:308 | 5.9  |
| SULD | 10113M001  | 1    | 87      | 03:187 | 05:162 | 1.93 |
| SULD | 10113M001  | 2    | 71      | 05:166 | 06:308 | 1.39 |
| SULP | 12366M001  | 1    | 250     | 01:294 | 06:308 | 5.04 |
| SVTL | 12350M001  | 1    | 340     | 97:110 | 04:332 | 7.61 |
| SVTL | 12350M001  | 2    | 95      | 04:361 | 06:308 | 1.85 |
| TERS | 13534M001  | 1    | 45      | 99:171 | 00:127 | 0.88 |
| TERS | 13534M001  | 2    | 67      | 00:142 | 01:251 | 1.3  |
| TERS | 13534M001  | 3    | 260     | 01:252 | 06:308 | 5.15 |
| THU1 | 43001M001  | 1    | 214     | 97:110 | 03:011 | 5.73 |
| THU3 | 43001M002  | 1    | 186     | 03:012 | 06:308 | 3.81 |
| TLSE | 10003M009  | 1    | 259     | 01:252 | 06:308 | 5.15 |
| TORI | 12724M002  | 1    | 386     | 99:031 | 06:308 | 7.76 |
| TOUL | 10003M004  | 1    | 159     | 97:194 | 00:351 | 3.43 |
| TRAB | 20808M001  | 1    | 332     | 00:030 | 06:308 | 6.76 |
| TRDS | 10331M001  | 1    | 294     | 00:317 | 06:308 | 5.98 |
| TRO1 | 10302M006  | 1    | 32      | 98:123 | 98:353 | 0.63 |
| TRO1 | 10302M006  | 2    | 69      | 99:010 | 00:176 | 1.45 |
| TRO1 | 10302M006  | 3    | 201     | 00:177 | 04:164 | 3.96 |
| TRO1 | 10302M006  | 4    | 110     | 04:235 | 06:308 | 2.2  |
| TUBI | 20806M001  | 1    | 123     | 99:241 | 02:026 | 2.41 |
| TUBI | 20806M001  | 2    | 240     | 02:027 | 06:308 | 4.77 |
| TUBO | 11503M001  | 1    | 202     | 01:266 | 05:358 | 4.25 |
| TUBO | 11503M001  | 2    | 43      | 05:359 | 06:308 | 0.86 |
| TUC2 | 12617M003  | 1    | 102     | 04:298 | 06:308 | 2.03 |
| UNPG | 12752M001  | 1    | 164     | 99:031 | 02:145 | 3.31 |
| UNPG | 12752M001  | 2    | 188     | 02:146 | 06:105 | 3.89 |
| UNPG | 12752M001  | 3    | 27      | 06:120 | 06:308 | 0.52 |
| UPAD | 12750M002  | 1    | 35      | 97:110 | 97:354 | 0.67 |
| UPAD | 12750M002  | 2    | 194     | 98:004 | 01:328 | 3.89 |
| UZHL | 12301M001  | 1    | 336     | 99:206 | 06:290 | 7.23 |
| VAAS | 10511M001  | 1    | 440     | 97:313 | 06:308 | 8.99 |
| VALE | 13439M001  | 1    | 145     | 01:042 | 04:157 | 3.32 |
| VALE | 13439M001  | 2    | 92      | 04:200 | 06:289 | 2.24 |
| VARD | 10322M002  | 3    | 294     | 00:366 | 06:308 | 5.84 |
| VEVE | 12741M001  | 1    | 155     | 97:222 | 01:027 | 3.47 |

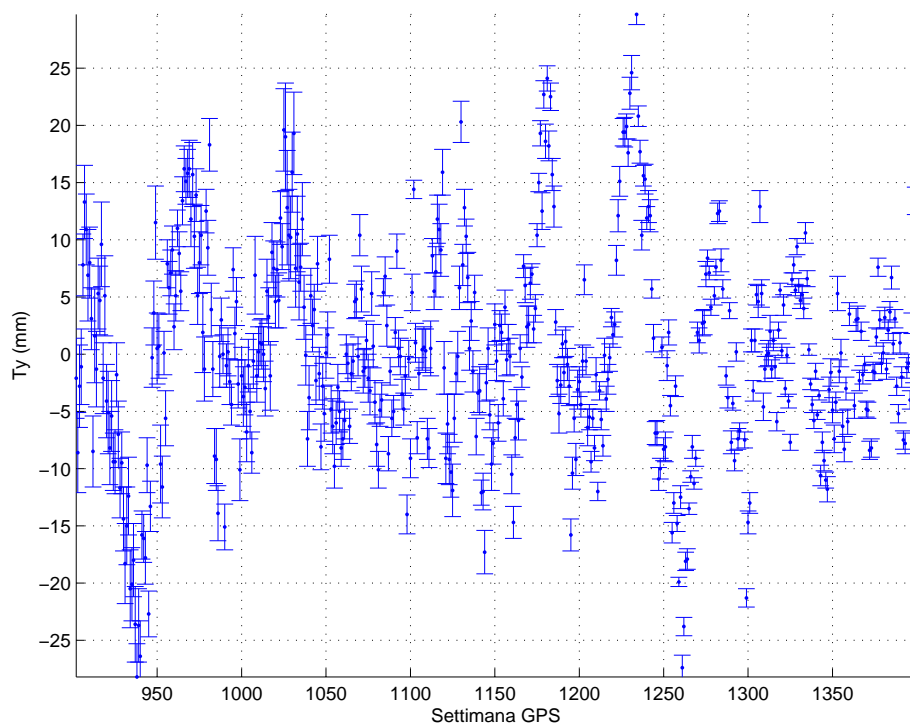
| Sito  | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|-------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| VE NE | 12741M001  | 2    | 224     | 01:042 | 05:302 | 4.71 |
| VE NE | 12741M001  | 3    | 52      | 05:303 | 06:308 | 1.01 |
| VIL0  | 10424M001  | 1    | 454     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| VILL  | 13406M001  | 1    | 466     | 97:110 | 06:294 | 9.5  |
| VISO  | 10423M001  | 1    | 475     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| VLNS  | 10801M001  | 1    | 189     | 02:314 | 06:308 | 3.98 |
| WARE  | 13114M001  | 1    | 38      | 97:110 | 98:017 | 0.75 |
| WARE  | 13114M001  | 2    | 245     | 98:018 | 03:025 | 5.02 |
| WARE  | 13114M001  | 3    | 188     | 03:026 | 06:308 | 3.77 |
| WARN  | 14277M002  | 1    | 150     | 03:299 | 06:308 | 3.02 |
| WROC  | 12217M001  | 1    | 116     | 97:110 | 99:191 | 2.22 |
| WROC  | 12217M001  | 2    | 311     | 00:149 | 06:224 | 6.21 |
| WROC  | 12217M001  | 3    | 9       | 06:246 | 06:308 | 0.17 |
| WSRT  | 13506M005  | 1    | 433     | 98:088 | 06:308 | 8.6  |
| WTZR  | 14201M010  | 1    | 470     | 97:110 | 06:308 | 9.54 |
| YE BE | 13420M001  | 1    | 299     | 00:296 | 06:308 | 6.03 |
| ZECK  | 12351M001  | 1    | 183     | 97:271 | 01:146 | 3.66 |
| ZECK  | 12351M001  | 2    | 165     | 01:203 | 04:353 | 3.41 |
| ZECK  | 12351M001  | 3    | 50      | 04:354 | 06:308 | 1.87 |
| ZIMM  | 14001M004  | 1    | 80      | 97:110 | 98:304 | 1.53 |
| ZIMM  | 14001M004  | 2    | 405     | 98:312 | 06:308 | 7.99 |
| ZOUF  | 12763M001  | 1    | 127     | 04:011 | 06:308 | 2.81 |
| ZWEN  | 12330M001  | 1    | 238     | 97:117 | 03:074 | 5.88 |
| ZYWI  | 12220S001  | 1    | 139     | 03:222 | 06:308 | 3.24 |

### Parametri di Helmert e WRMS

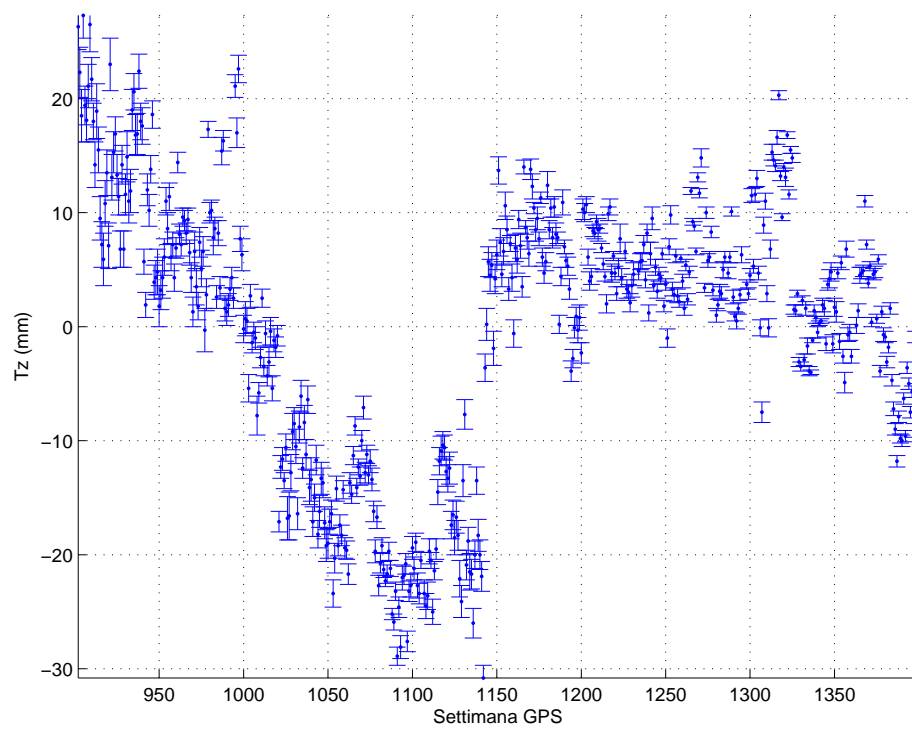
La consistenza delle soluzioni settimanali, in termini di sistema di riferimento, viene descritta dai grafici dei parametri di Helmert. L'analisi dei grafici evidenzia che le soluzioni hanno un livello di consistenza dell'ordine di 2 cm. La serie storica della componente  $z$  delle traslazioni rivela una discontinuità alla settimana GPS 1150, dovuta al passaggio da ITRF97 a ITRF00. L'oscillazione del fattore di scala è imputabile ad un bug presente nella subroutine di correzione mareale del software bernese.



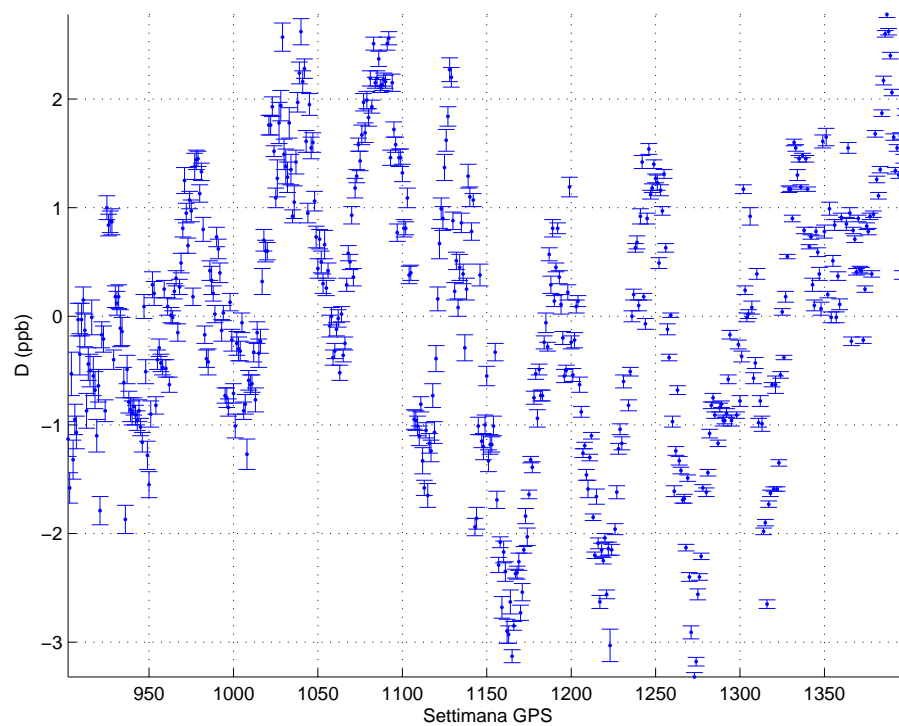
Traslazione lungo la direzione X



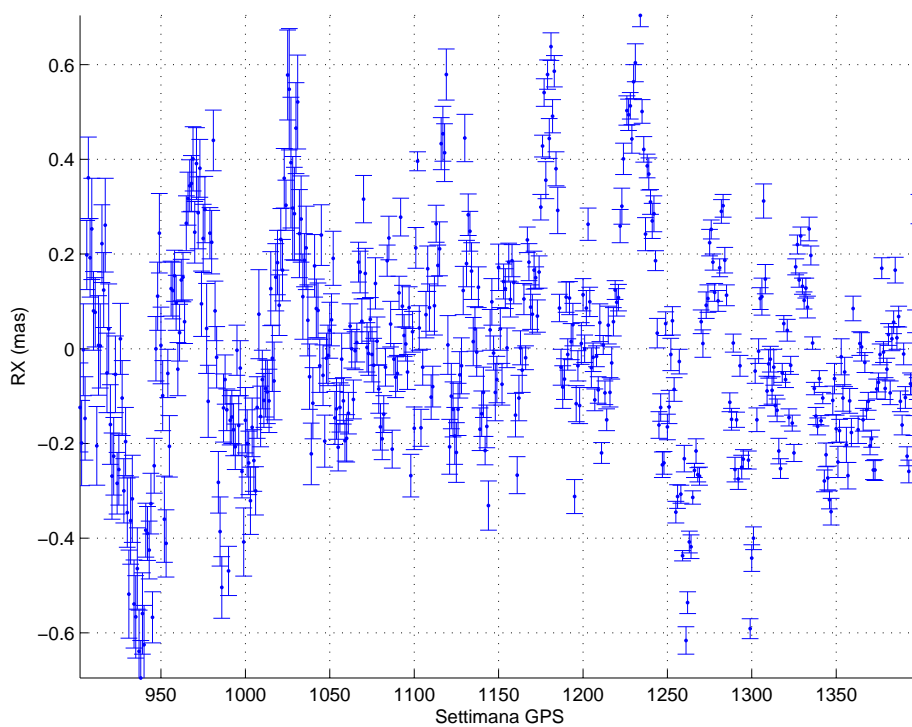
Traslazione lungo la componente Y



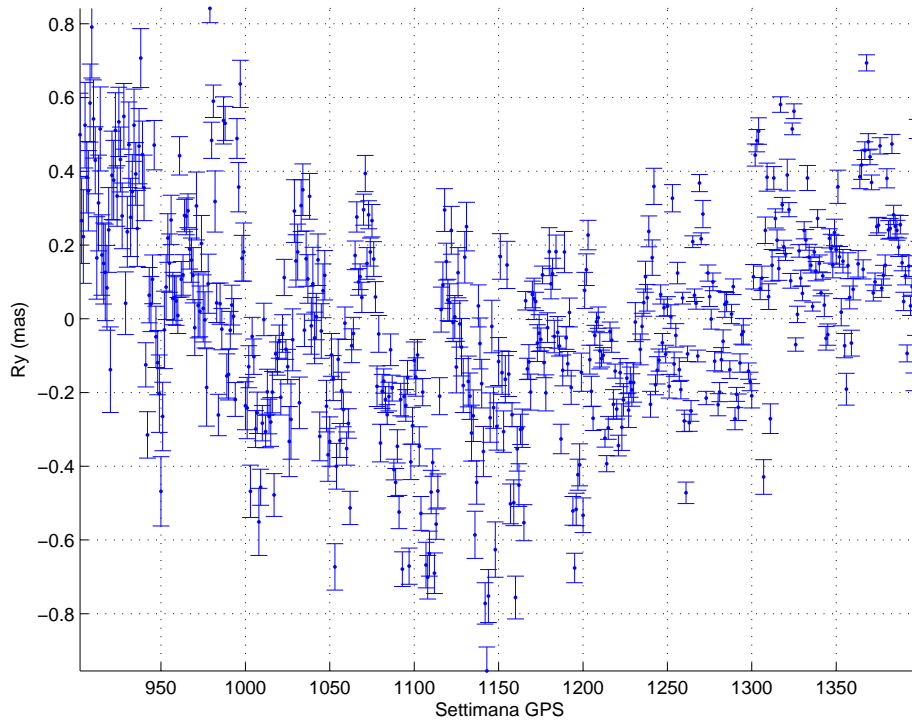
Traslazione lungo la componente Z



Fattore di scala

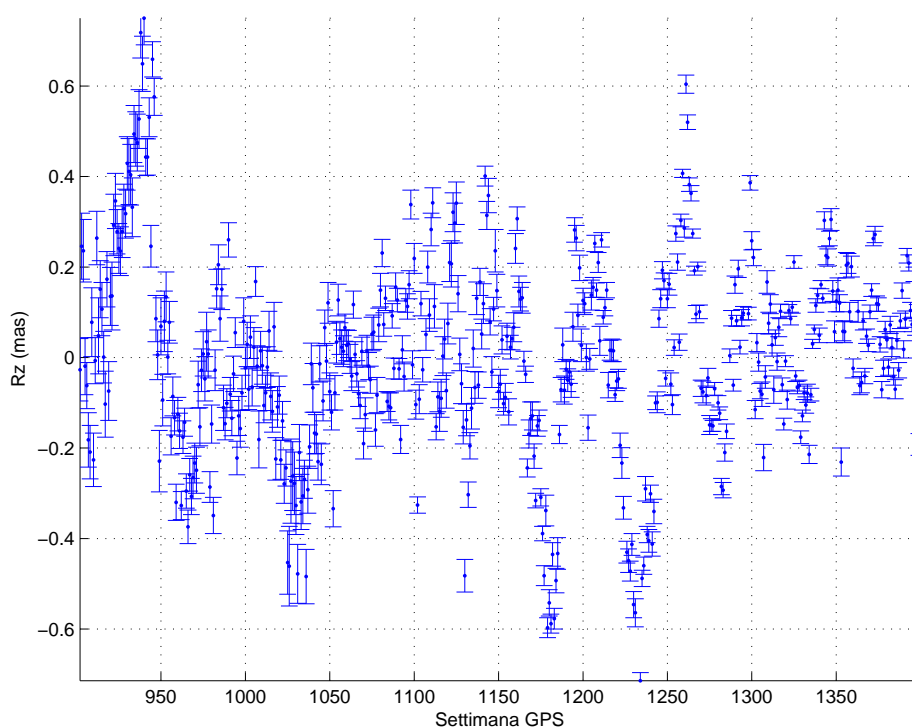


Rotazione lungo la direzione X



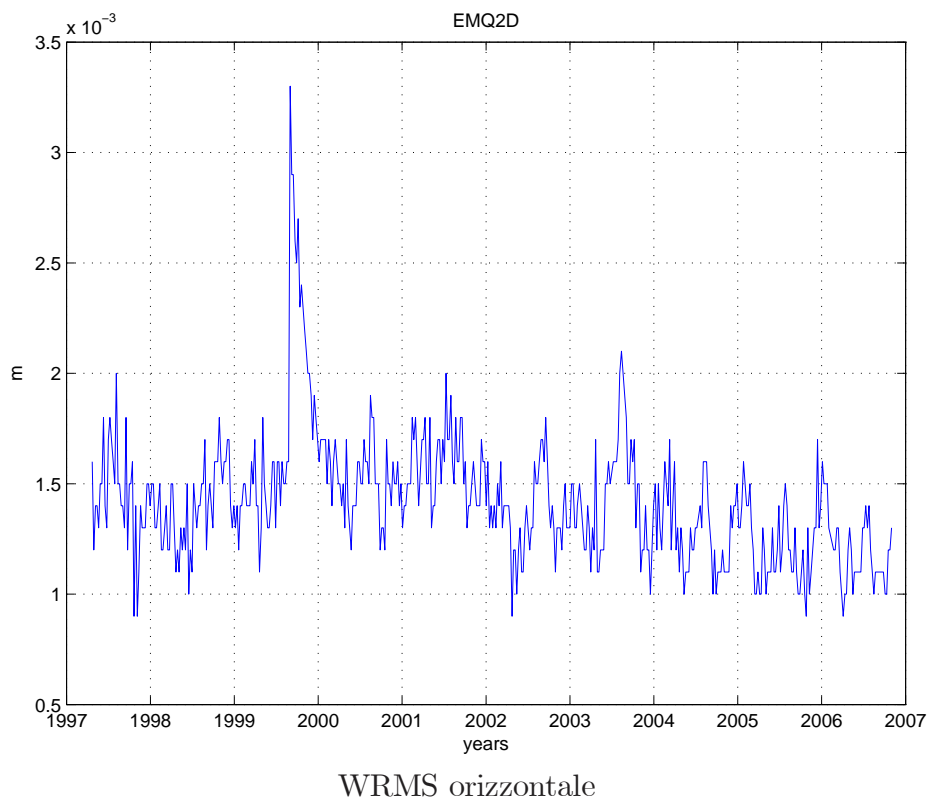
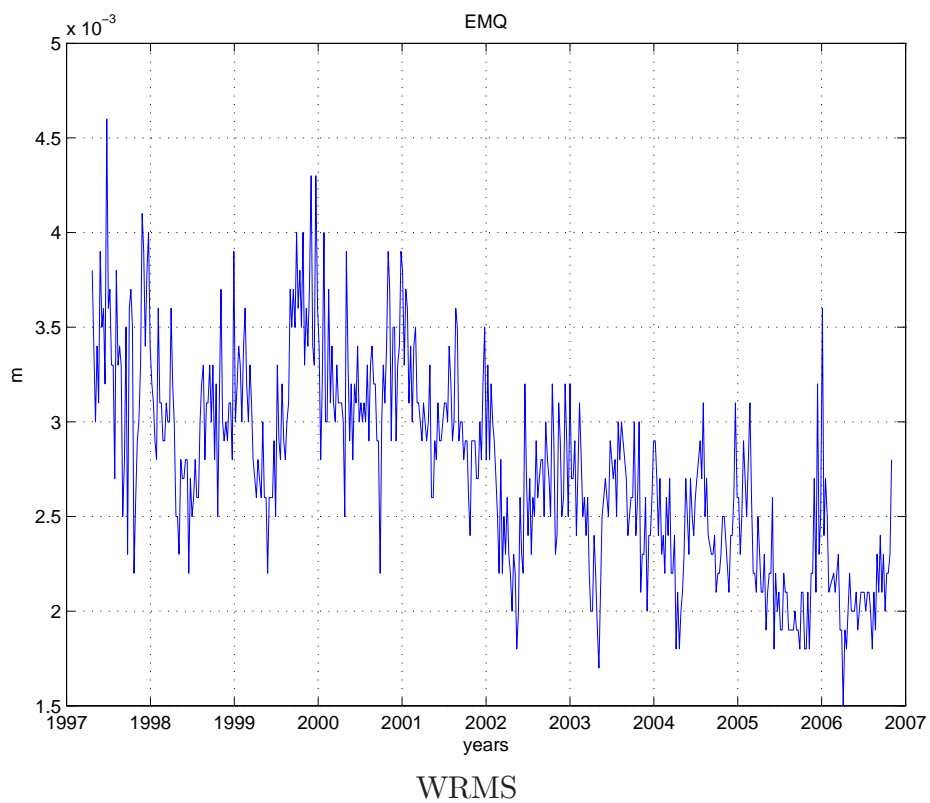
Rotazione lungo la direzione Y

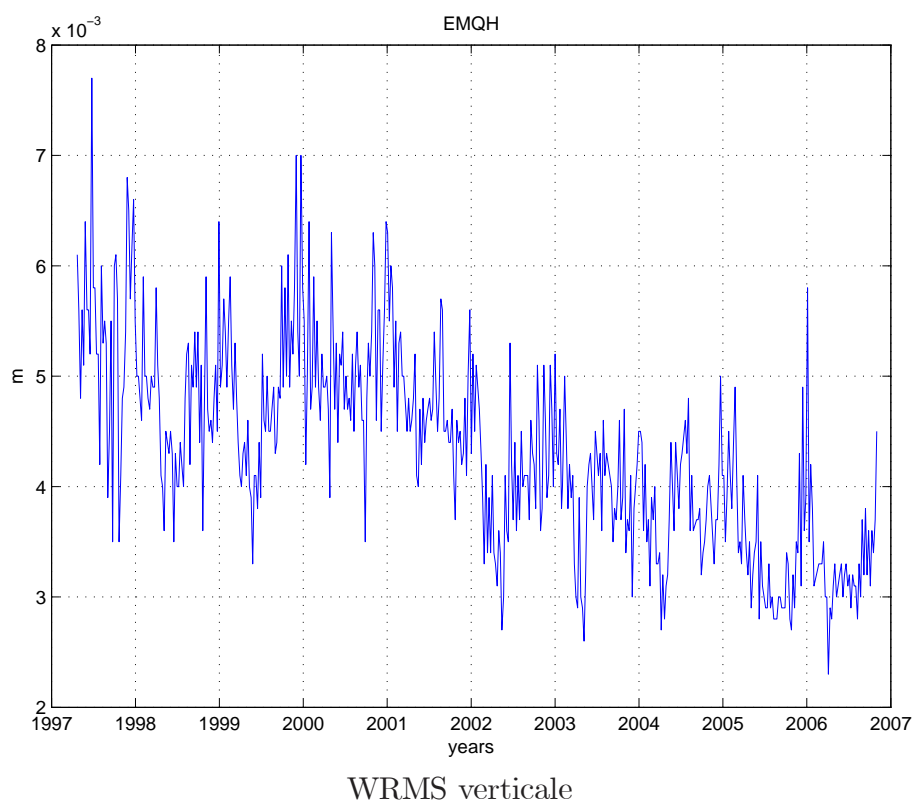




Rotazione lungo la direzione Z

Il WRMS orizzontale post-fit fornisce una misura della presenza di outliers e della correttezza del processo di rimozione dei vincoli. Empiricamente, secondo [48], valori molto bassi del WRMS, al di sotto di 1 cm, sono indicativi del fallimento della rimozione dei vincoli. Nel caso della combinazione preliminare EUREF il WRMS tridimensionale varia tra 3.5 mm e 2 mm. Il WRMS verticale varia tra 5 mm e 3 mm ed è indicativo del fatto che le tecniche GPS forniscono una misura della coordinata verticale meno accurata rispetto a quella delle coordinate orizzontali.





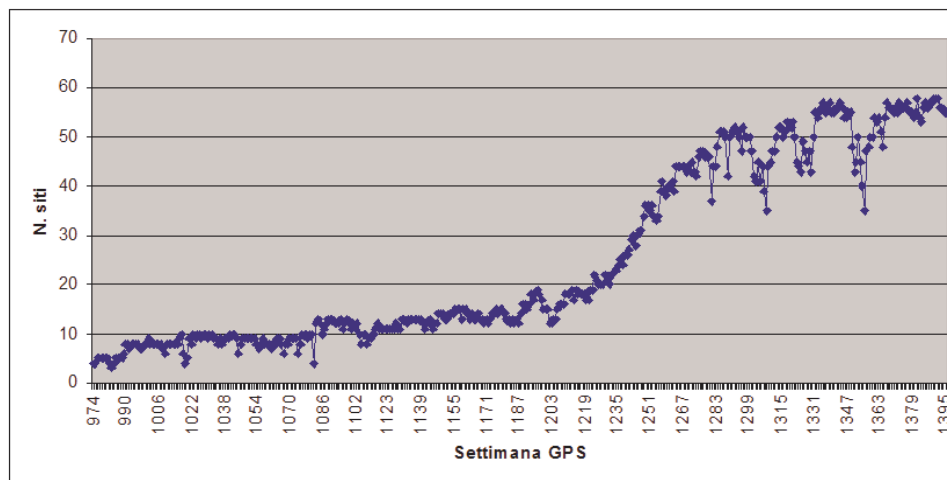
### 9.3.3 Combinazione preliminare GP

#### Descrizione generale

La rete GP è disposta su tutto il territorio austriaco. Attualmente è composta a più di 50 siti. L'intervallo temporale su cui si estende è di circa 10 anni, sebbene un incremento del numero di siti si sia verificato solamente dopo la settimana GPS 1235.

#### Rimozione ed imposizione di nuovi vincoli

I vincoli presenti nelle soluzioni settimanali GP sono di tipo 2), per tutto l'intervallo temporale considerato. I vincoli sono stati rimossi mediante l'eq. (9.1) e sono stati introdotti i minimi vincoli mediante l'eq. (9.2). La soluzione combinata è stata vincolata mediante vincoli interni.



Numero di siti presenti in ogni soluzione settimanale GP

### Tabella delle discontinuità e intervalli temporali

Come per la soluzione EUREF, diamo le tabelle che riportano le epoche di discontinuità e numero di soluzioni. il numero di discontinuità rilevate è di circa 110.

| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| AMST | 88001S001  | 1    | 77      | 05:103 | 06:287 | 1.5  |
| ARDE | 88002M002  | 1    | 117     | 04:039 | 06:287 | 2.68 |
| ASCH | 88003S003  | 1    | 121     | 04:088 | 06:287 | 2.55 |
| BADT | 88004S004  | 1    | 115     | 04:088 | 06:259 | 2.47 |
| BLE1 | 88005M005  | 1    | 96      | 03:208 | 05:183 | 1.93 |
| BLE2 | 88006S006  | 1    | 61      | 05:184 | 06:287 | 1.28 |
| BOVE | 88008S008  | 1    | 69      | 05:156 | 06:287 | 1.36 |
| DAVO | 88010M010  | 1    | 67      | 03:348 | 05:190 | 1.57 |
| DAVO | 88010M010  | 2    | 64      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| DLBG | 88012S012  | 1    | 85      | 03:257 | 05:127 | 1.64 |
| DLBG | 88012S012  | 2    | 56      | 05:198 | 06:287 | 1.24 |
| FLDB | 88014S014  | 1    | 59      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| FLDK | 88015S015  | 1    | 78      | 03:282 | 05:127 | 1.58 |
| FLDK | 88015S015  | 2    | 71      | 05:156 | 06:287 | 1.36 |

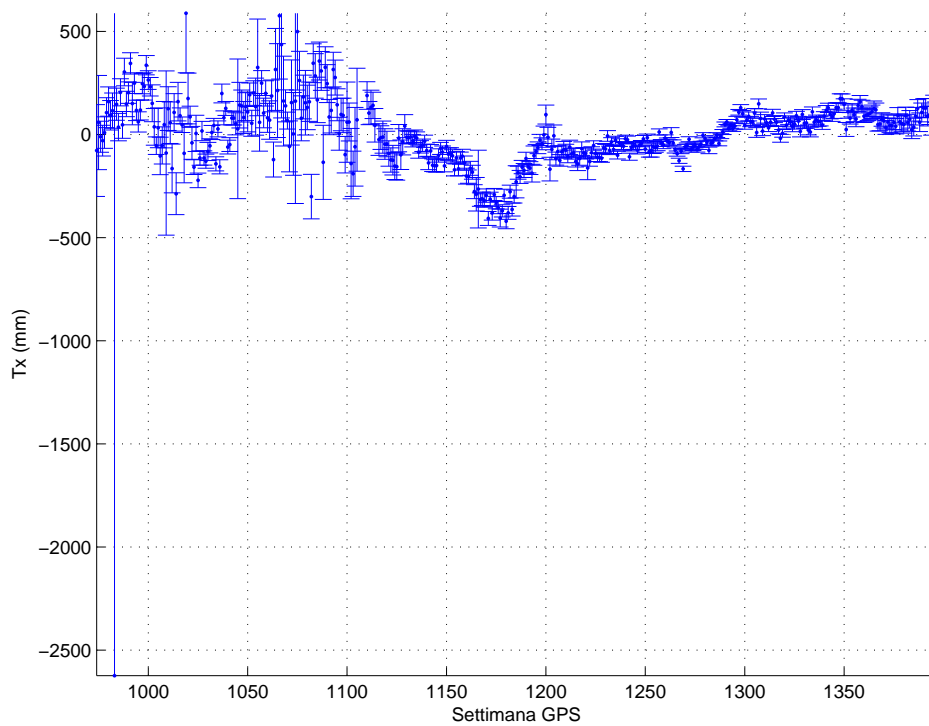
| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| FNST | 88016S016  | 1    | 31      | 04:291 | 05:190 | 0.72 |
| FNST | 88016S016  | 2    | 54      | 05:192 | 06:287 | 1.26 |
| FRLG | 88017S017  | 1    | 74      | 04:032 | 05:190 | 1.43 |
| FRLG | 88017S017  | 2    | 65      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| FRST | 88018S018  | 1    | 71      | 05:156 | 06:287 | 1.36 |
| GMND | 88019M019  | 1    | 109     | 03:075 | 05:134 | 2.16 |
| GMND | 88019M019  | 2    | 61      | 05:205 | 06:287 | 1.22 |
| GRAA | 88020M020  | 1    | 62      | 98:364 | 01:059 | 2.16 |
| GRAB | 88021M021  | 1    | 309     | 98:364 | 05:190 | 6.52 |
| GRAB | 88021M021  | 2    | 31      | 05:192 | 06:279 | 1.24 |
| GRAZ | 11001M002  | 1    | 118     | 98:252 | 01:118 | 2.63 |
| GRAZ | 11001M002  | 2    | 191     | 01:154 | 05:085 | 3.81 |
| GRAZ | 11001M002  | 3    | 31      | 05:086 | 05:295 | 0.57 |
| GRAZ | 11001M002  | 4    | 43      | 05:317 | 06:287 | 0.92 |
| GRMP | 88023S023  | 1    | 46      | 04:060 | 05:022 | 0.9  |
| GRMP | 88023S023  | 2    | 85      | 05:044 | 06:287 | 1.67 |
| GUES | 11045M001  | 1    | 114     | 03:090 | 05:190 | 2.27 |
| GUES | 11045M001  | 2    | 63      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| HFLK | 11006S003  | 1    | 265     | 98:252 | 05:302 | 7.14 |
| HFLK | 11006S003  | 2    | 51      | 05:303 | 06:287 | 0.96 |
| HKBL | 11039S001  | 1    | 141     | 02:195 | 05:134 | 2.83 |
| HKBL | 11039S001  | 2    | 65      | 05:198 | 06:287 | 1.24 |
| KKB1 | 88076M076  | 1    | 78      | 00:285 | 02:194 | 1.75 |
| KLAG | 88025S025  | 1    | 54      | 03:208 | 04:297 | 1.24 |
| KLAG | 88025S025  | 2    | 32      | 04:319 | 05:183 | 0.63 |
| KLAG | 88025S025  | 3    | 58      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| KOE1 | 88077M077  | 1    | 35      | 02:286 | 03:193 | 0.75 |
| KOE2 | 88078M078  | 1    | 36      | 03:194 | 04:150 | 0.88 |
| KOE2 | 88078M078  | 2    | 46      | 04:179 | 05:183 | 1.01 |
| KOE3 | 88079M079  | 1    | 64      | 05:184 | 06:287 | 1.28 |
| KOP1 | 88027M027  | 1    | 25      | 04:319 | 05:127 | 0.47 |
| KOP1 | 88027M027  | 2    | 65      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| KOP2 | 88028S028  | 1    | 53      | 03:300 | 04:301 | 1    |
| KRBG | 11043S001  | 1    | 164     | 02:045 | 05:134 | 3.24 |
| KRBG | 11043S001  | 2    | 51      | 05:275 | 06:287 | 1.03 |
| KTZB | 11038S001  | 1    | 35      | 02:266 | 04:255 | 1.97 |
| KTZB | 11038S001  | 2    | 80      | 04:277 | 06:125 | 1.58 |
| LANK | 88030S030  | 1    | 22      | 04:004 | 04:157 | 0.42 |
| LANK | 88030S030  | 2    | 51      | 04:165 | 05:183 | 1.05 |
| LANK | 88030S030  | 3    | 58      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| LECH | 88031S031  | 1    | 82      | 03:281 | 05:134 | 1.6  |
| LECH | 88031S031  | 2    | 58      | 05:198 | 06:287 | 1.24 |

| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| LEON | 88033S033  | 1    | 72      | 03:320 | 05:183 | 1.62 |
| LEON | 88033S033  | 2    | 44      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| LIES | 88035S035  | 1    | 71      | 04:011 | 05:176 | 1.45 |
| LIES | 88035S035  | 2    | 62      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| LIN1 | 88075M075  | 1    | 18      | 00:292 | 01:059 | 0.36 |
| LIND | 88036S036  | 1    | 140     | 03:327 | 06:287 | 2.89 |
| LINZ | 11033S001  | 1    | 55      | 01:245 | 02:345 | 1.27 |
| LINZ | 11033S001  | 2    | 65      | 05:179 | 06:272 | 1.25 |
| MARI | 88040S040  | 1    | 44      | 04:236 | 05:190 | 0.87 |
| MARI | 88040S040  | 2    | 62      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| MTBG | 11030M001  | 1    | 141     | 02:286 | 05:190 | 2.74 |
| MTBG | 11030M001  | 2    | 61      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| MUEN | 88041S041  | 1    | 41      | 04:263 | 05:183 | 0.78 |
| MUEN | 88041S041  | 2    | 58      | 05:219 | 06:287 | 1.19 |
| PASS | 88044S044  | 1    | 84      | 03:327 | 05:190 | 1.62 |
| PASS | 88044S044  | 2    | 63      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| PATK | 11029S001  | 1    | 328     | 99:069 | 06:286 | 7.59 |
| PENC | 11206M006  | 1    | 24      | 02:294 | 03:116 | 0.51 |
| PENC | 11206M006  | 2    | 102     | 03:152 | 05:190 | 2.1  |
| PENC | 11206M006  | 3    | 57      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| PFAN | 11005S002  | 1    | 57      | 98:252 | 99:300 | 1.13 |
| PFAN | 11005S002  | 2    | 43      | 99:307 | 01:066 | 1.34 |
| PFAN | 11005S002  | 3    | 262     | 01:161 | 06:287 | 5.35 |
| PFRK | 88045S045  | 1    | 77      | 03:348 | 05:190 | 1.57 |
| PFRK | 88045S045  | 2    | 62      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| RIED | 88048M048  | 1    | 170     | 03:173 | 06:287 | 3.31 |
| ROHR | 88049M049  | 1    | 111     | 03:075 | 05:127 | 2.14 |
| ROHR | 88049M049  | 2    | 62      | 05:198 | 06:287 | 1.24 |
| ROSE | 88050S050  | 1    | 126     | 04:088 | 06:287 | 2.55 |
| RTMN | 99050M050  | 1    | 299     | 99:356 | 06:287 | 6.81 |
| SARG | 88051M051  | 1    | 150     | 03:243 | 06:287 | 3.12 |
| SBGZ | 11031S001  | 1    | 294     | 98:357 | 06:187 | 7.53 |
| SBGZ | 11031S001  | 2    | 12      | 06:204 | 06:287 | 0.23 |
| SONN | 88064S064  | 1    | 75      | 04:004 | 05:183 | 1.49 |
| SONN | 88064S064  | 2    | 64      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| STGA | 88065M065  | 1    | 144     | 03:327 | 06:287 | 2.89 |
| STPO | 11041S001  | 1    | 167     | 99:139 | 02:313 | 3.48 |
| STPO | 11041S001  | 2    | 205     | 02:314 | 06:287 | 3.93 |
| TRE1 | 88067S067  | 1    | 76      | 04:004 | 05:183 | 1.49 |
| TRE2 | 88068S068  | 1    | 61      | 05:184 | 06:287 | 1.28 |
| TRFB | 11047M001  | 1    | 106     | 04:109 | 06:287 | 2.49 |
| VIL1 | 88080M080  | 1    | 99      | 98:266 | 00:362 | 2.26 |

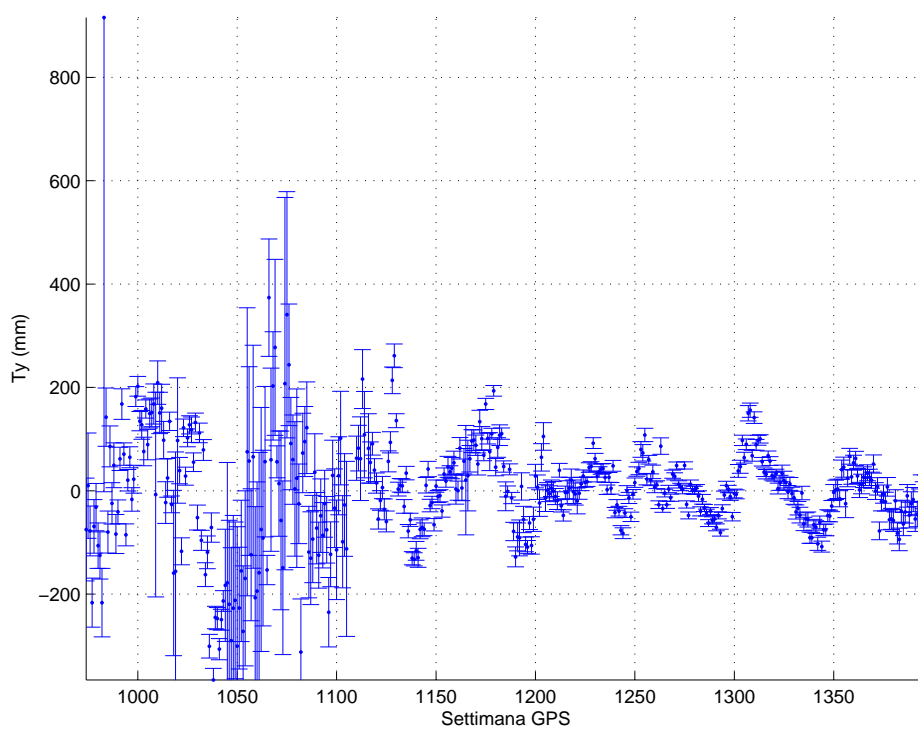
| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| VLCH | 11036S001  | 1    | 202     | 01:003 | 05:190 | 4.51 |
| VLCH | 11036S001  | 2    | 66      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| VLKM | 11040S001  | 1    | 228     | 01:105 | 05:281 | 4.48 |
| VLKM | 11040S001  | 2    | 36      | 06:036 | 06:287 | 0.69 |
| WELS | 11044S001  | 1    | 245     | 02:006 | 06:287 | 4.77 |
| WIEB | 88069M069  | 1    | 55      | 05:100 | 06:287 | 1.51 |
| WIEN | 11035S001  | 1    | 195     | 98:252 | 02:292 | 4.11 |
| WIEN | 11035S001  | 2    | 205     | 02:300 | 06:287 | 3.96 |
| WIND | 88070S070  | 1    | 47      | 04:228 | 05:190 | 0.9  |
| WIND | 88070S070  | 2    | 66      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| WRTH | 88071S071  | 1    | 112     | 04:032 | 06:154 | 2.33 |
| WRTH | 88071S071  | 2    | 15      | 06:183 | 06:287 | 0.28 |
| WTZR | 14201M010  | 1    | 134     | 02:293 | 05:190 | 2.72 |
| WTZR | 14201M010  | 2    | 56      | 05:191 | 06:287 | 1.26 |
| ZIMM | 14001M004  | 3    | 197     | 02:293 | 06:287 | 3.98 |

### Parametri di Helmert e wrms

L'analisi dei parametri di Helmert dimostra la scarsa consistenza delle soluzioni individuali. Soprattutto per le settimane antecedenti alla settimana 1100. Non è stato possibile individuare le ragioni di questo comportamento, anche se le poche stazioni processate suggeriscono che le equazioni normali settimanali siano state vincolate utilizzando pochi siti.

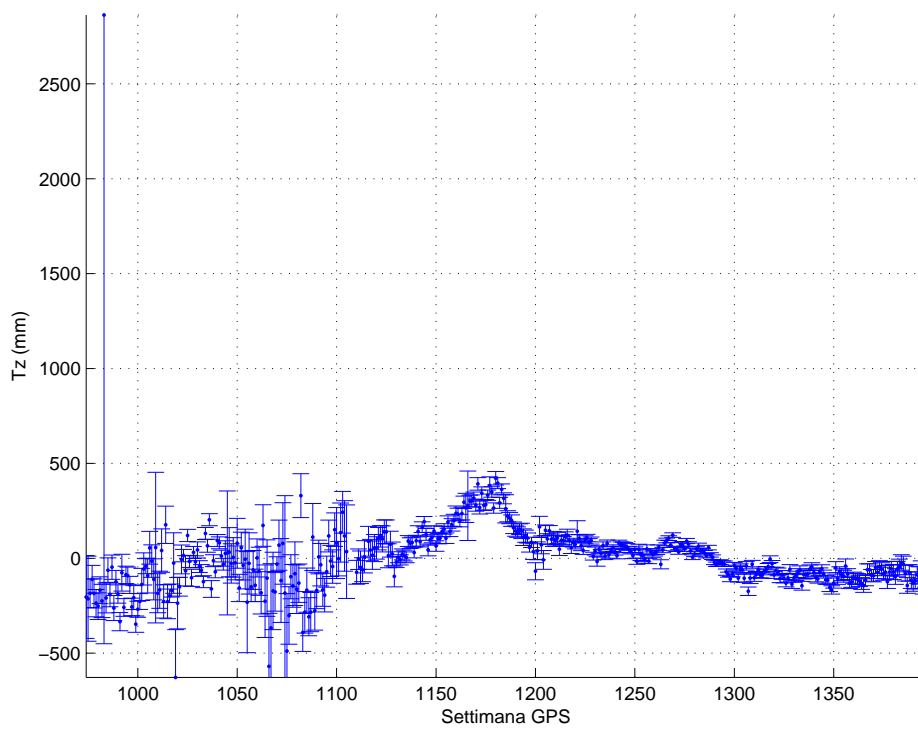


Traslazione lungo la direzione X

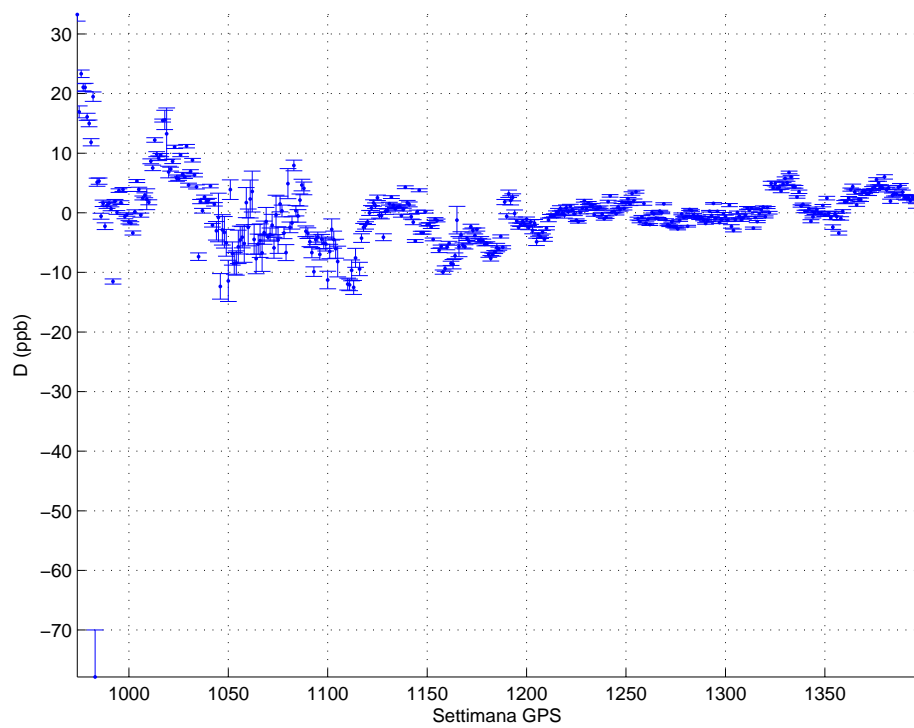


Traslazione lungo la direzione Y

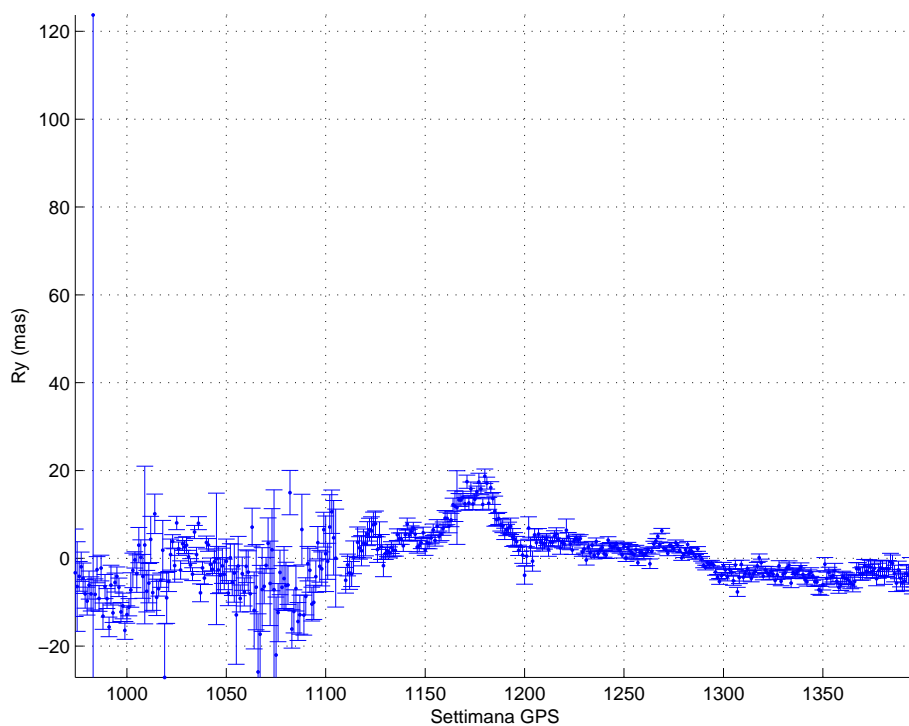




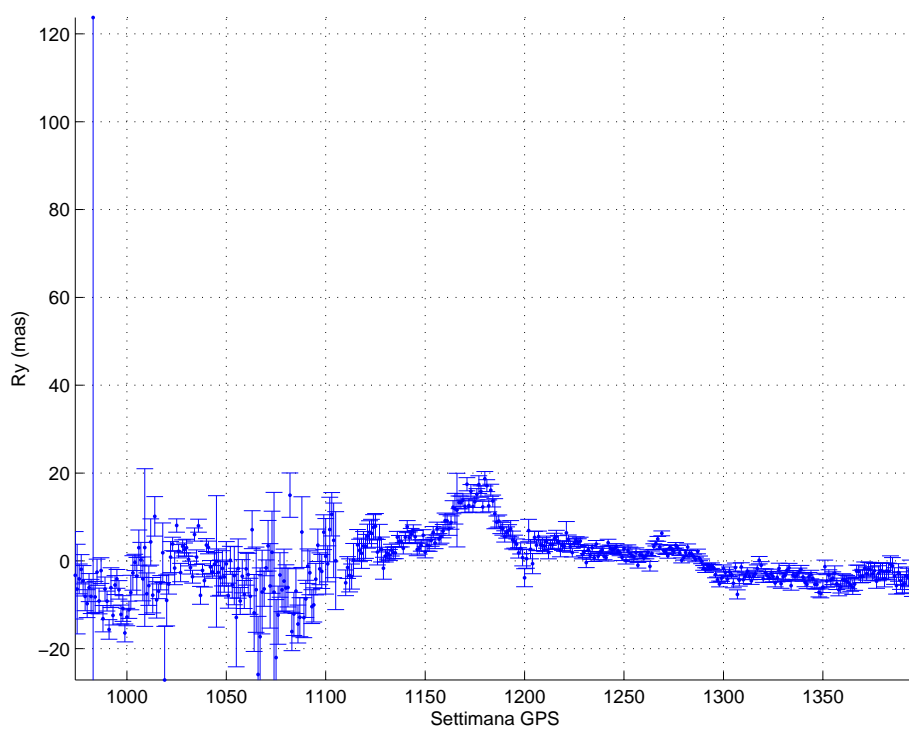
Traslazione lungo la direzione Z



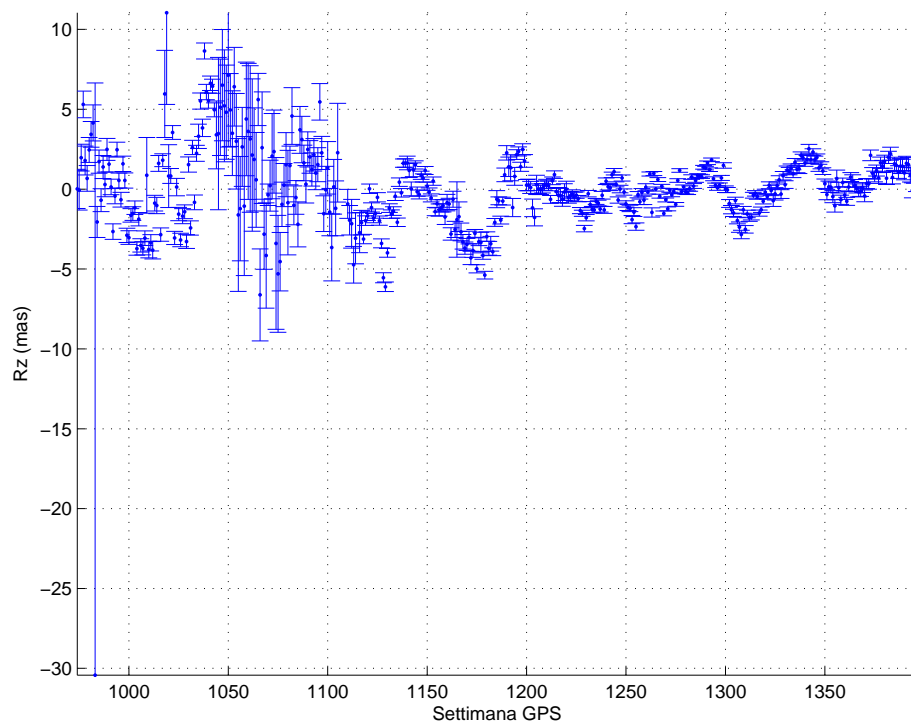
Fattore di scala



Rotazione lungo la direzione X

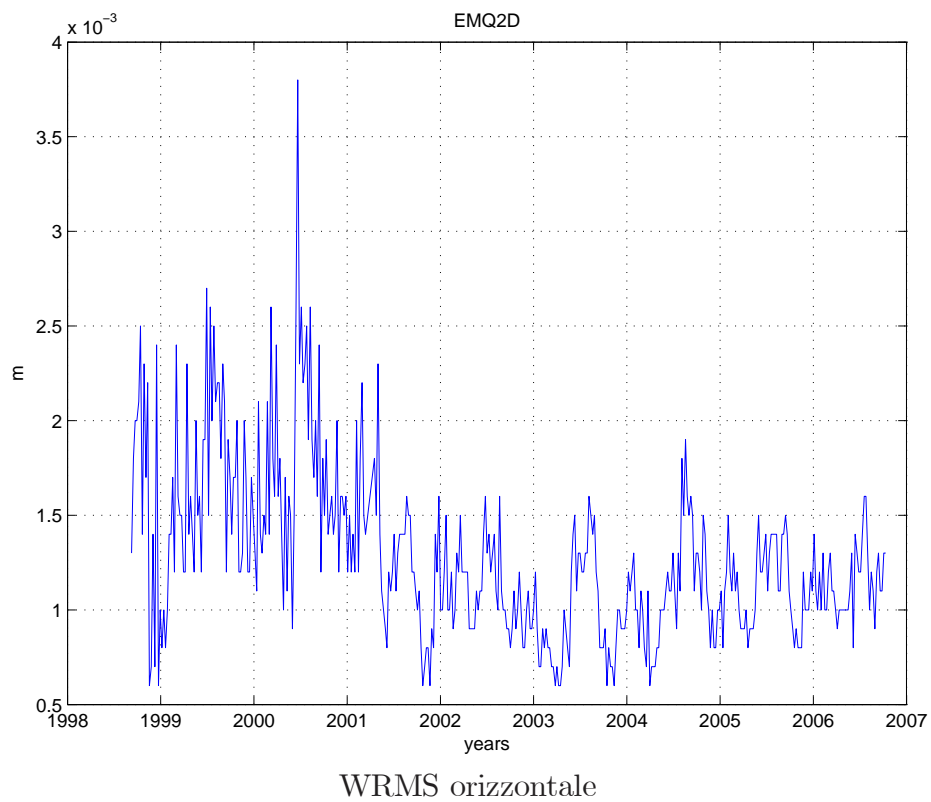
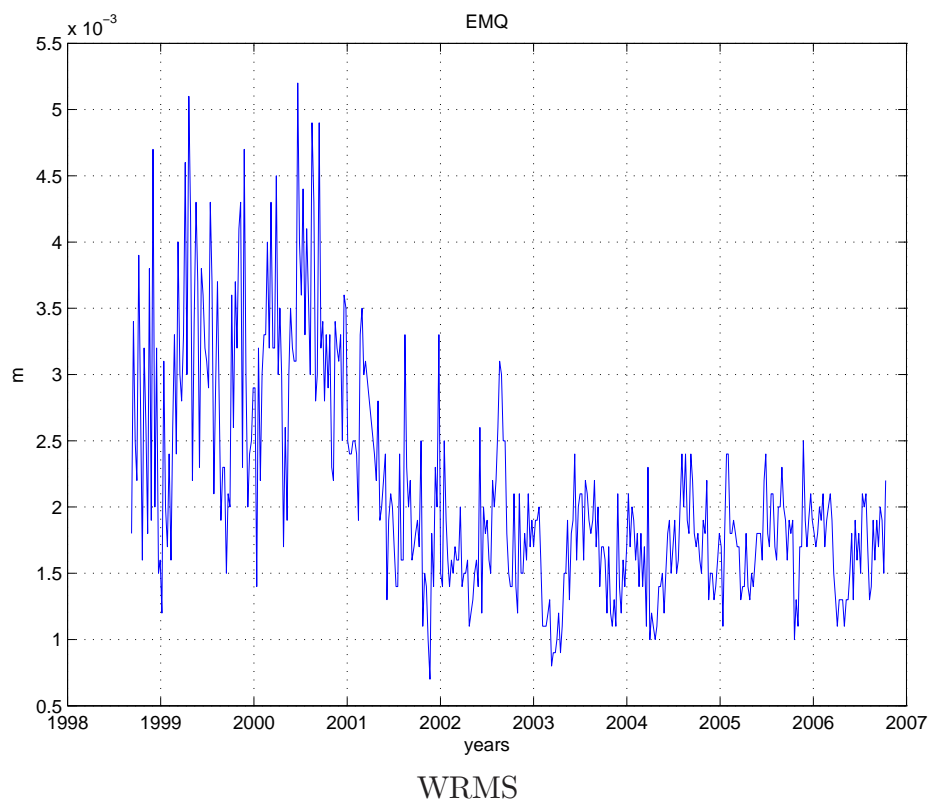


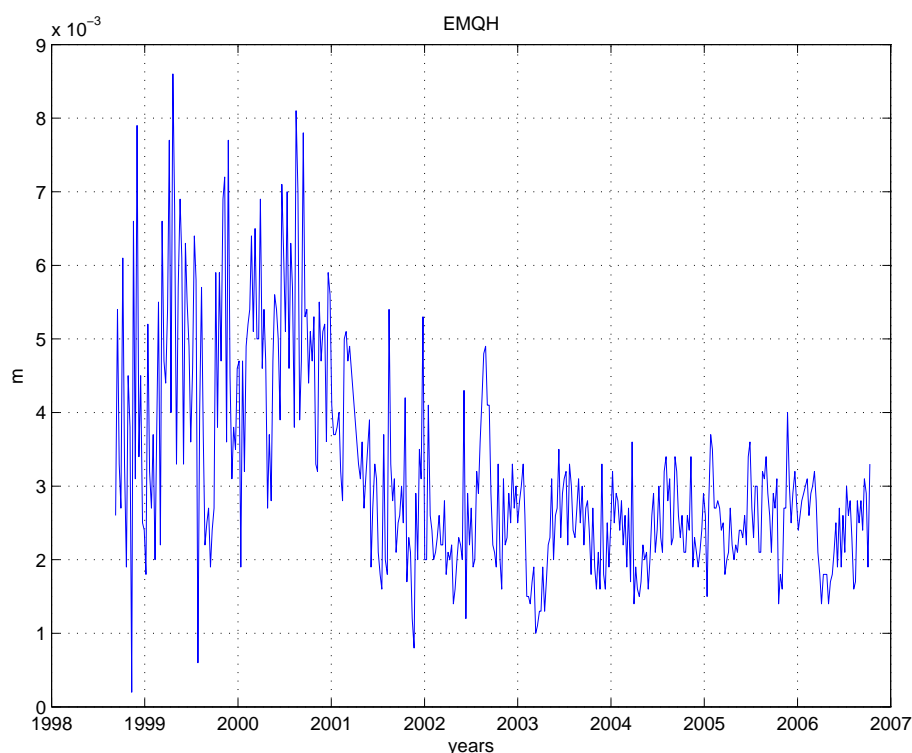
Rotazione lungo la direzione Y



Rotazione lungo la direzione Z

Il WRMS è in linea con i risultati ottenuti per lo stacking preliminare delle equazioni EUREF. La rimozione dei vincoli è stata eseguita correttamente, e tutti gli outliers presenti all'interno dei sistemi di eq. normali sono stati eliminati, in linea con la procedura descritta in precedenza.





WRMS verticale

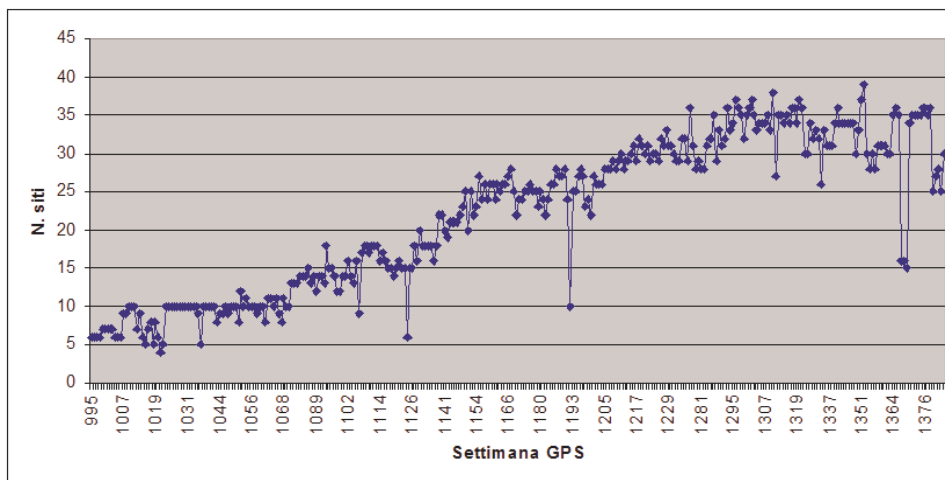
### 9.3.4 Combinazione preliminare UPA

#### Descrizione generale

Le soluzioni UPA descrivono una rete disposta sul territorio italiano, con una maggior densità di stazioni nelle regioni settentrionali. Nell'intervallo temporale considerato in numero delle siti è aumentato fino a 35. Il numero di siti tra soluzioni vicine varia molto, e questo fatto porta a supporre che le soluzioni settimanali siano caratterizzate da una scarsa consistenza, in termini di sistema di riferimento comune. E' plausibile supporre che, soprattutto nella prima metà dell'intervallo temporale di interesse, pochi siti siano stati usati per vincolare i sistemi di equazioni normali.

#### Rimozione ed imposizione di nuovi vincoli

La strategia di processing di UPA è identica a quella di EUREF, ne segue che i sistemi di eq. normali antecedenti alla settimana. L'epoca alla quale è cambiato il tipo di vincoli (dal tipo 2) ai minimi vincoli) è la settimana 1328. La strategia di rimozione dei vincoli e di imposizione dei minimi vincoli è identica a quella descritta per le eq. normali EUREF.



Numero di siti per ogni soluzione settimanale UPA

### Discontinuità e intervallo temporale

Anche per la soluzione UPA riportiamo in tabella le epoche corrispondenti alle discontinuità e l'intervallo temporale. Il numero di discontinuità individuate è circa 70.

| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| ACOM | 12767M001  | 1    | 79      | 03:306 | 06:308 | 3.01 |
| AFAL | 12766M001  | 1    | 73      | 03:306 | 06:308 | 3.01 |
| AQUI | 12757M001  | 1    | 107     | 00:352 | 03:256 | 2.74 |
| AQUI | 12757M001  | 2    | 92      | 03:257 | 06:308 | 3.14 |
| BRAS | 99004M004  | 1    | 118     | 03:047 | 06:308 | 3.72 |
| BRIX | 12762M001  | 1    | 98      | 03:040 | 06:140 | 3.27 |
| BZRG | 12751M001  | 1    | 15      | 99:115 | 00:337 | 1.61 |
| BZRG | 12751M001  | 2    | 167     | 00:338 | 06:308 | 5.92 |
| CAGL | 12725M003  | 1    | 101     | 99:115 | 01:202 | 2.24 |
| CAGL | 12725M003  | 2    | 190     | 01:210 | 06:161 | 4.87 |
| CAME | 12754M001  | 1    | 26      | 00:135 | 01:020 | 0.68 |
| CAME | 12754M001  | 2    | 163     | 01:070 | 06:308 | 5.65 |
| CAVA | 99009M009  | 1    | 19      | 02:034 | 02:187 | 0.42 |
| CAVA | 99009M009  | 2    | 103     | 02:188 | 05:248 | 3.16 |
| COMO | 12761M001  | 1    | 63      | 02:132 | 03:256 | 1.34 |
| COMO | 12761M001  | 2    | 51      | 04:293 | 05:345 | 1.14 |
| COMO | 12761M001  | 3    | 11      | 06:078 | 06:308 | 0.63 |

| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| COSE | 99011M011  | 1    | 56      | 99:059 | 02:096 | 3.1  |
| ELBA | 12721M002  | 1    | 107     | 00:352 | 03:095 | 2.3  |
| ELBA | 12721M002  | 2    | 110     | 03:097 | 06:308 | 3.58 |
| GENO | 12712M002  | 1    | 306     | 99:031 | 06:156 | 7.34 |
| HFLK | 11006S003  | 1    | 69      | 99:031 | 05:302 | 6.74 |
| HFLK | 11006S003  | 2    | 35      | 05:303 | 06:308 | 1.01 |
| INGR | 99025M025  | 1    | 132     | 02:034 | 06:161 | 4.35 |
| LAMP | 12706M002  | 1    | 284     | 99:115 | 06:308 | 7.53 |
| LEC1 | 12768M001  | 1    | 78      | 03:201 | 06:308 | 3.29 |
| LINZ | 11033S001  | 1    | 37      | 01:210 | 06:308 | 5.27 |
| MATE | 12734M008  | 1    | 19      | 99:031 | 99:163 | 0.36 |
| MATE | 12734M008  | 2    | 233     | 99:164 | 06:308 | 7.39 |
| MDEA | 12765M001  | 1    | 53      | 03:306 | 06:308 | 3.01 |
| MEDI | 12711M003  | 1    | 81      | 99:122 | 01:069 | 1.85 |
| MEDI | 12711M003  | 2    | 199     | 01:070 | 06:308 | 5.65 |
| MERA | 99033M033  | 1    | 21      | 00:177 | 01:132 | 0.88 |
| MERA | 99033M033  | 2    | 66      | 01:308 | 05:179 | 3.65 |
| MILO | 12758M001  | 1    | 130     | 02:321 | 06:308 | 3.96 |
| MOCA | 12753M001  | 1    | 146     | 99:227 | 04:314 | 5.24 |
| MPRA | 12764M001  | 1    | 13      | 03:306 | 04:311 | 1.01 |
| MPRA | 12764M001  | 2    | 23      | 04:312 | 05:113 | 0.45 |
| MPRA | 12764M001  | 3    | 28      | 05:135 | 06:308 | 1.47 |
| NOT1 | 12717M004  | 1    | 49      | 02:363 | 06:308 | 3.85 |
| NOVA | 12759M001  | 1    | 207     | 00:177 | 06:308 | 6.36 |
| PADO | 12750S001  | 1    | 42      | 01:336 | 03:011 | 1.11 |
| PADO | 12750S001  | 2    | 125     | 03:012 | 06:308 | 3.81 |
| PATK | 11029S001  | 1    | 59      | 01:252 | 03:109 | 1.61 |
| PATK | 11029S001  | 2    | 76      | 03:112 | 06:308 | 3.54 |
| PAVI | 99045M045  | 1    | 59      | 01:196 | 03:118 | 1.79 |
| PAVI | 99045M045  | 2    | 54      | 03:208 | 05:256 | 2.13 |
| PAVI | 99045M045  | 3    | 24      | 05:331 | 06:302 | 0.92 |
| PRAT | 12760M001  | 1    | 263     | 99:346 | 06:307 | 6.89 |
| RTMN | 99050M050  | 1    | 123     | 01:245 | 06:308 | 5.17 |
| SBGZ | 11031S001  | 1    | 100     | 99:031 | 06:160 | 7.35 |
| SFEL | 99053M053  | 1    | 19      | 02:034 | 02:187 | 0.42 |
| SFEL | 99053M053  | 2    | 100     | 02:195 | 05:189 | 2.98 |
| STPO | 11041S001  | 1    | 39      | 01:245 | 02:172 | 0.8  |
| STPO | 11041S001  | 2    | 151     | 02:174 | 06:308 | 4.37 |
| TGRC | 99061M061  | 1    | 47      | 00:261 | 01:265 | 1.01 |
| TGRC | 99061M061  | 2    | 146     | 01:273 | 06:055 | 4.4  |
| TITO | 99062M062  | 1    | 120     | 02:083 | 06:161 | 4.21 |

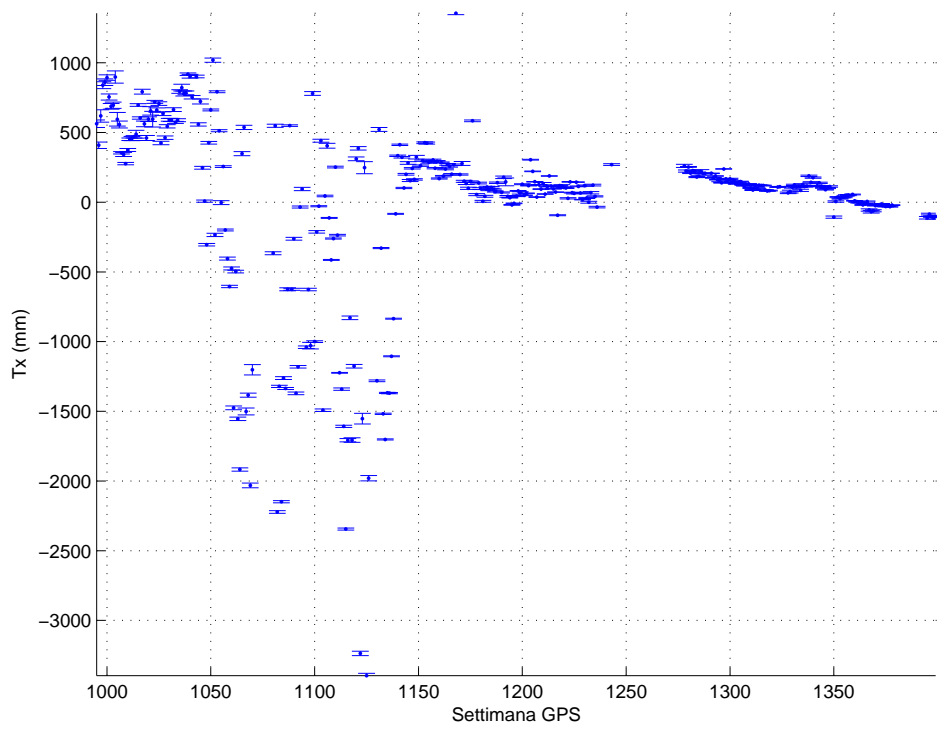
| Sito | Domes Code | Sol. | N. sol. | Inizio | Fine   | Int. |
|------|------------|------|---------|--------|--------|------|
| TORI | 12724M002  | 1    | 306     | 99:031 | 06:308 | 7.76 |
| TRIE | 12718M003  | 1    | 77      | 03:306 | 06:308 | 3.01 |
| UNPG | 12752M001  | 1    | 47      | 00:016 | 02:138 | 2.33 |
| UNPG | 12752M001  | 2    | 141     | 02:139 | 06:091 | 3.87 |
| UPAD | 12750M002  | 1    | 67      | 99:031 | 00:162 | 1.36 |
| UPAD | 12750M002  | 2    | 60      | 00:163 | 01:328 | 1.45 |
| VEVE | 12741M001  | 1    | 35      | 01:042 | 01:349 | 0.84 |
| VEVE | 12741M001  | 2    | 77      | 01:350 | 06:161 | 4.48 |
| VILH | 99069M069  | 1    | 248     | 99:115 | 06:308 | 7.53 |
| VLUC | 99070M070  | 1    | 58      | 02:013 | 04:338 | 2.89 |
| VLUC | 99070M070  | 2    | 37      | 05:087 | 06:307 | 1.6  |
| VOLT | 99071M071  | 1    | 16      | 02:034 | 02:187 | 0.42 |
| VOLT | 99071M071  | 2    | 55      | 02:188 | 03:256 | 1.19 |
| VOLT | 99071M071  | 3    | 45      | 03:257 | 05:189 | 1.81 |
| WIEN | 11035S001  | 1    | 40      | 01:245 | 02:313 | 1.19 |
| WIEN | 11035S001  | 2    | 128     | 02:328 | 06:308 | 3.95 |
| ZOUF | 12763M001  | 1    | 105     | 03:075 | 06:161 | 3.24 |

### Parametri di Helmert e WRMS

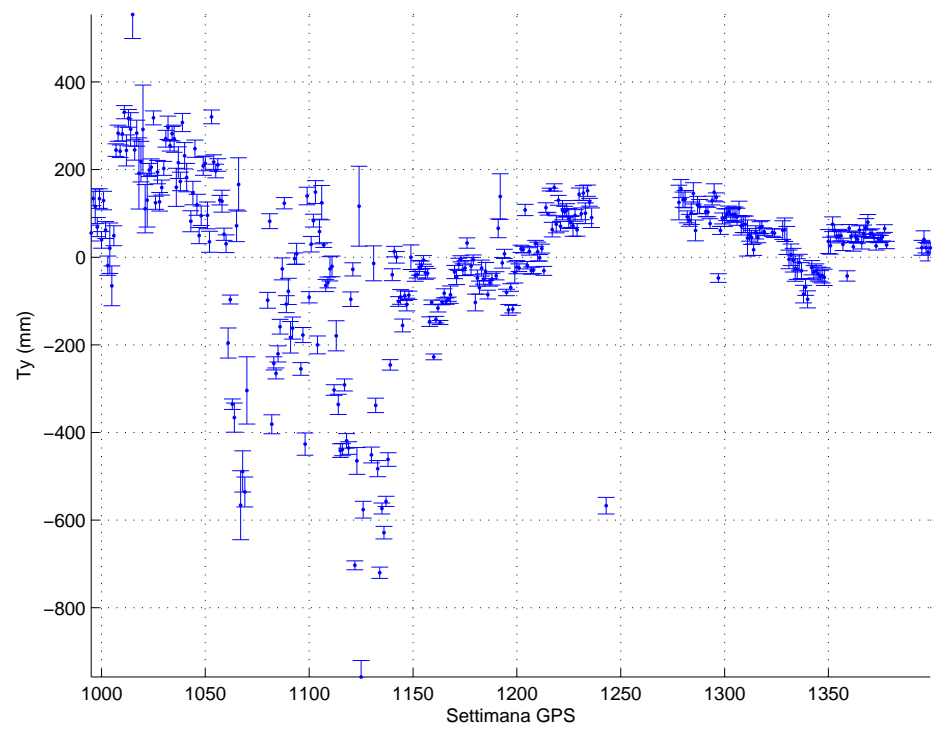
L'analisi delle serie storiche dei parametri di Helmert rivela la scarsa consistenza delle soluzioni settimanali. Osserviamo che i risultati peggiori si ottengono tra le settimane 1040 e le settimane 1050. Osserviamo anche la presenza di un gap nei dati, dovuto a due cause:

1. Perdita di dati dovuta a rottura del supporto di memorizzazione.
2. Eliminazione di alcuni sinex che mandavano in crash il software di elaborazione.

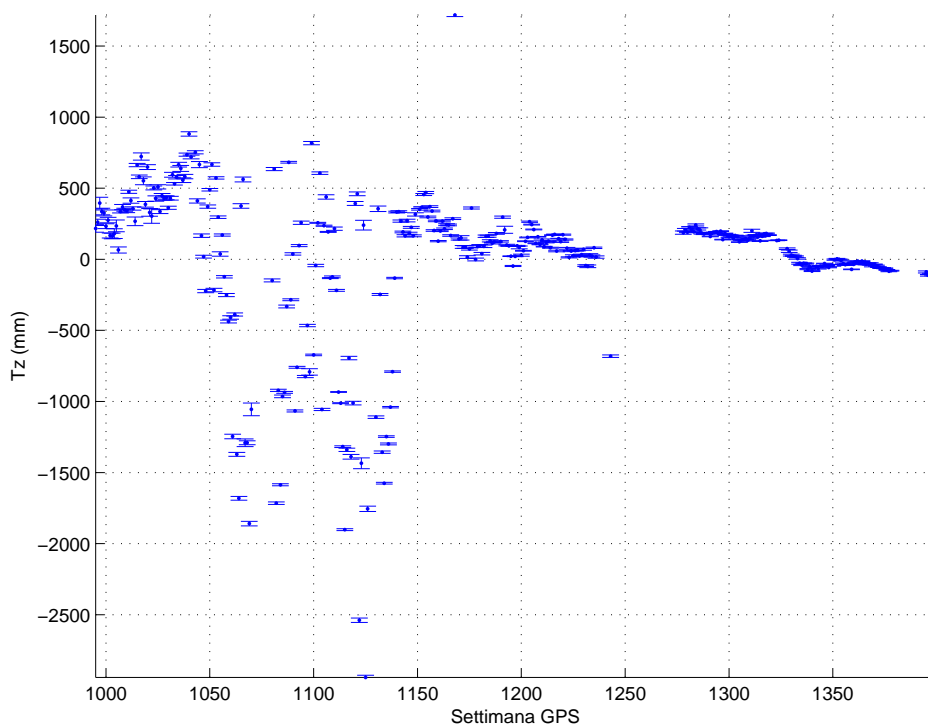




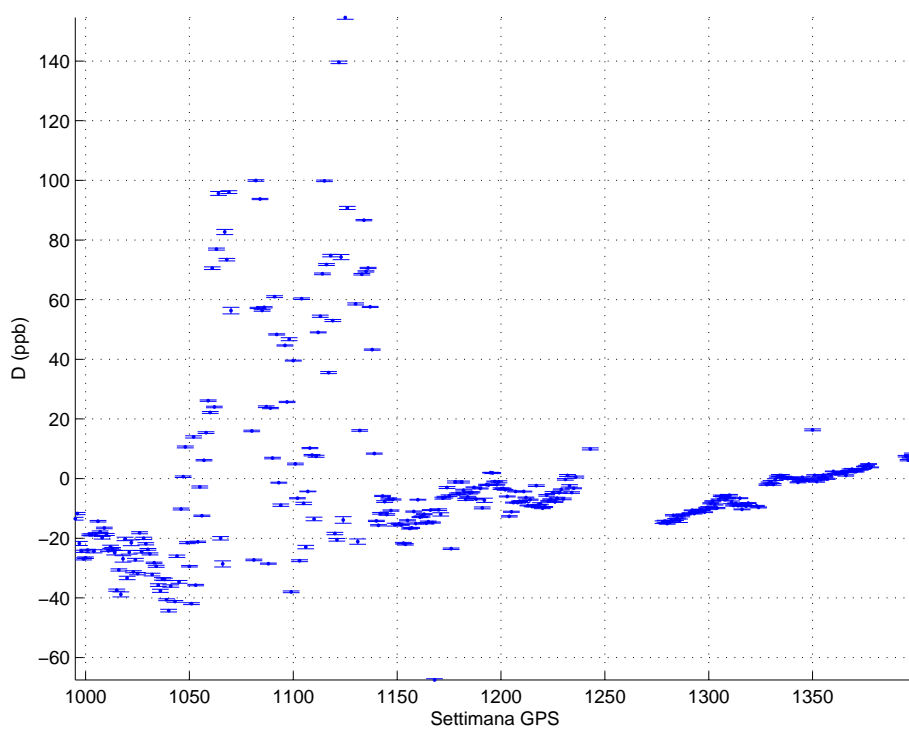
Traslazione lungo la direzione X



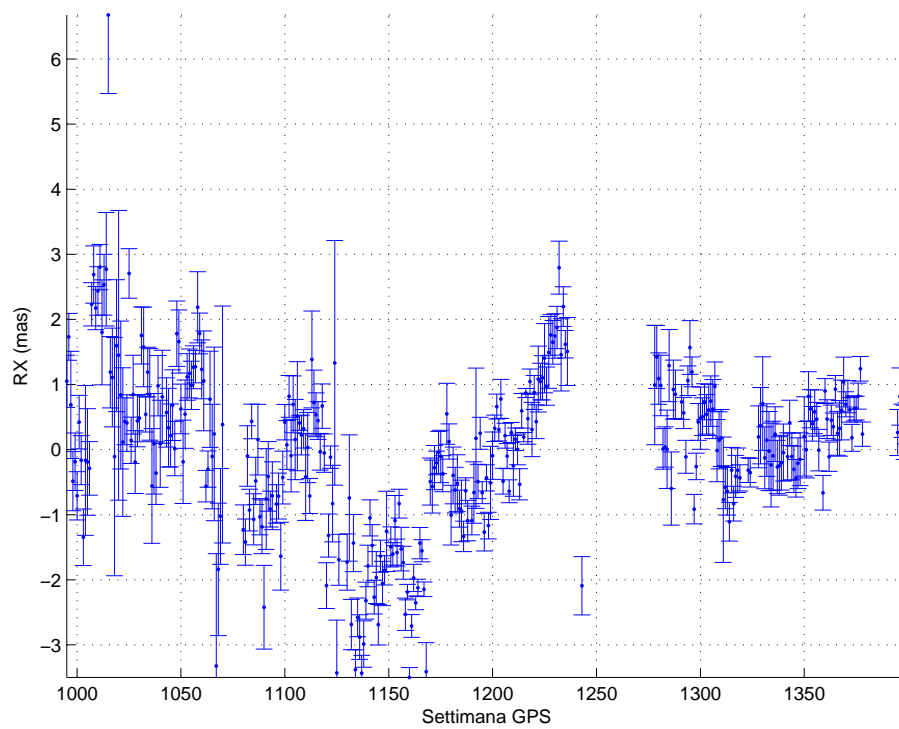
Traslazione lungo la direzione Y



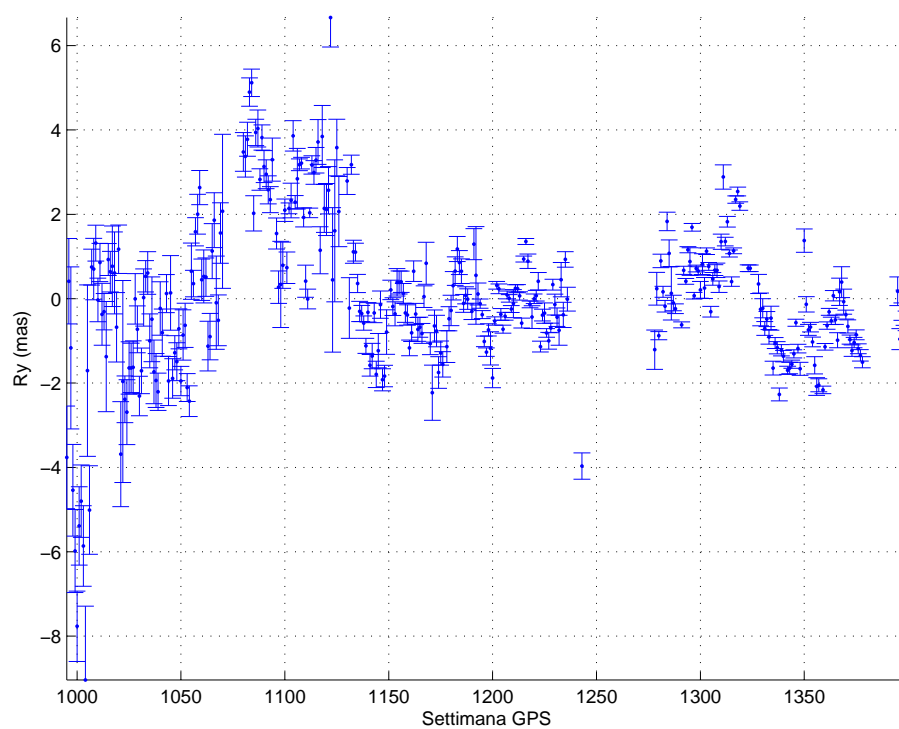
Traslazione lungo la direzione Z



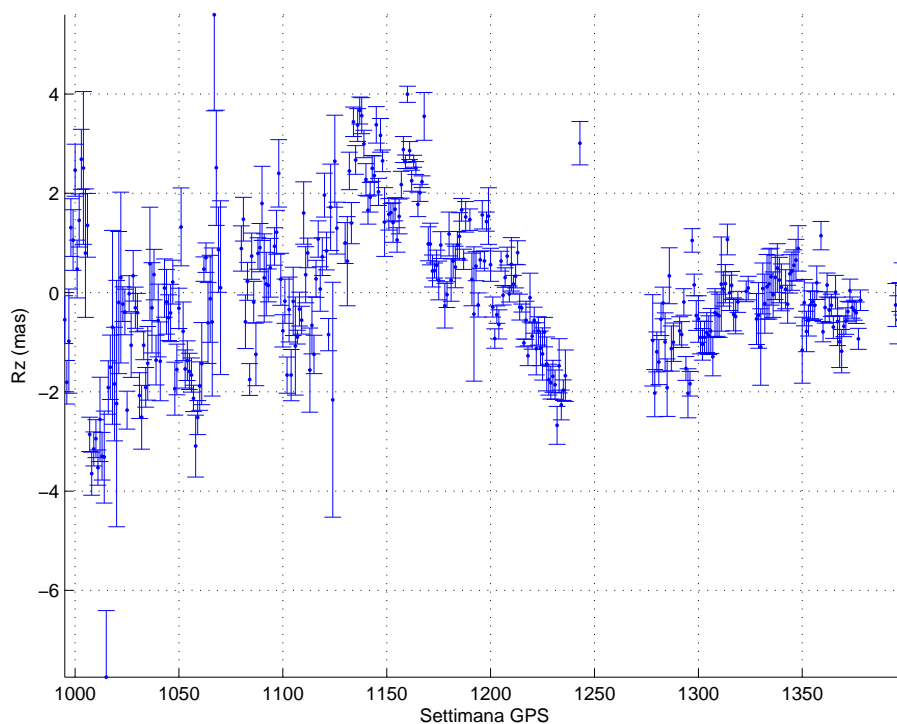
Fattore di scala



Rotazione lungo la direzione X

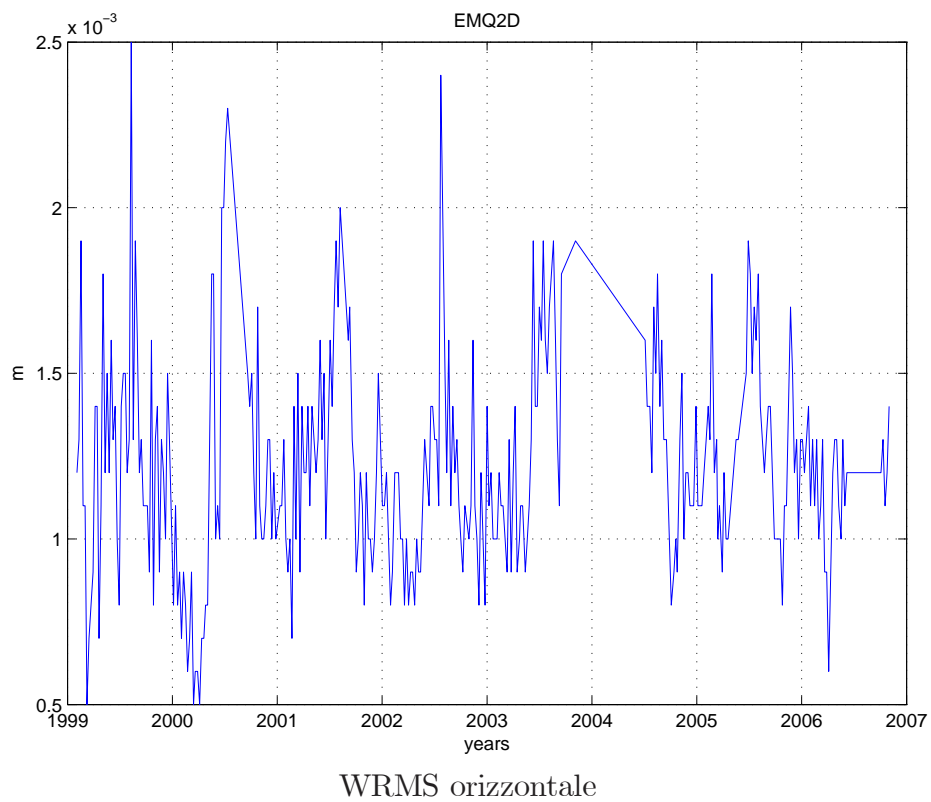
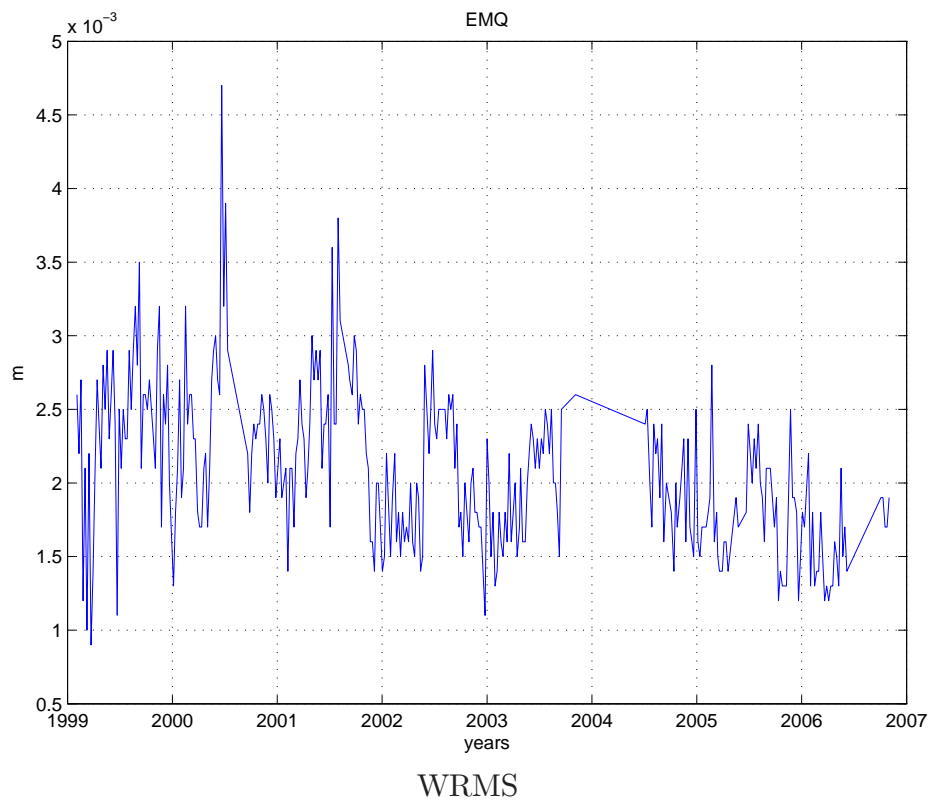


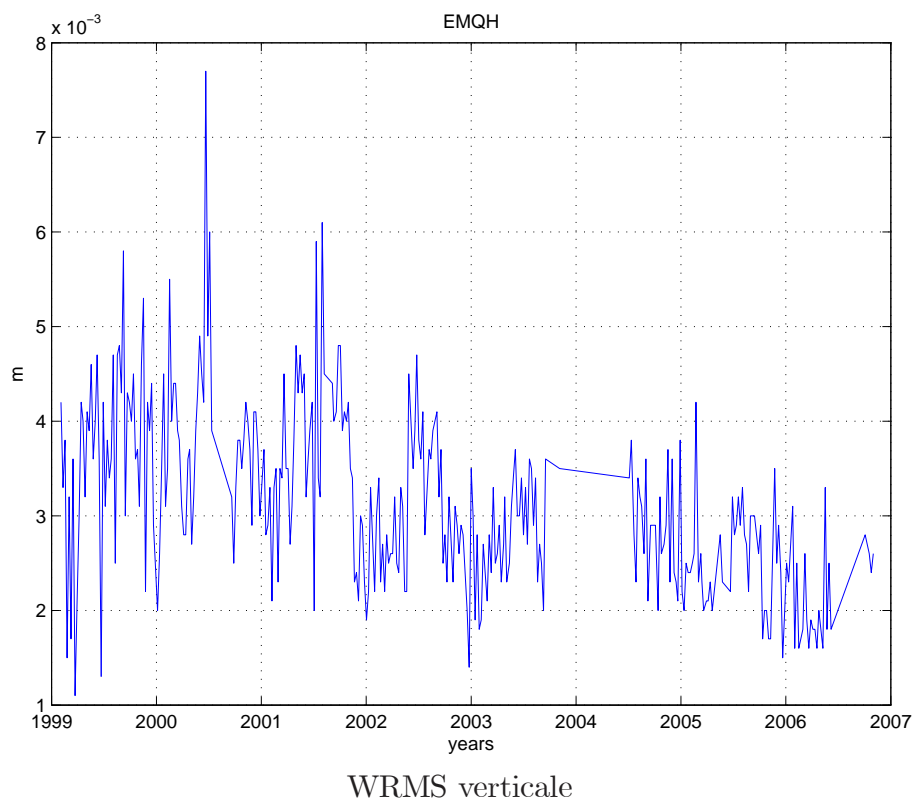
Rotazione lungo la direzione Y



Rotazione lungo la direzione Z

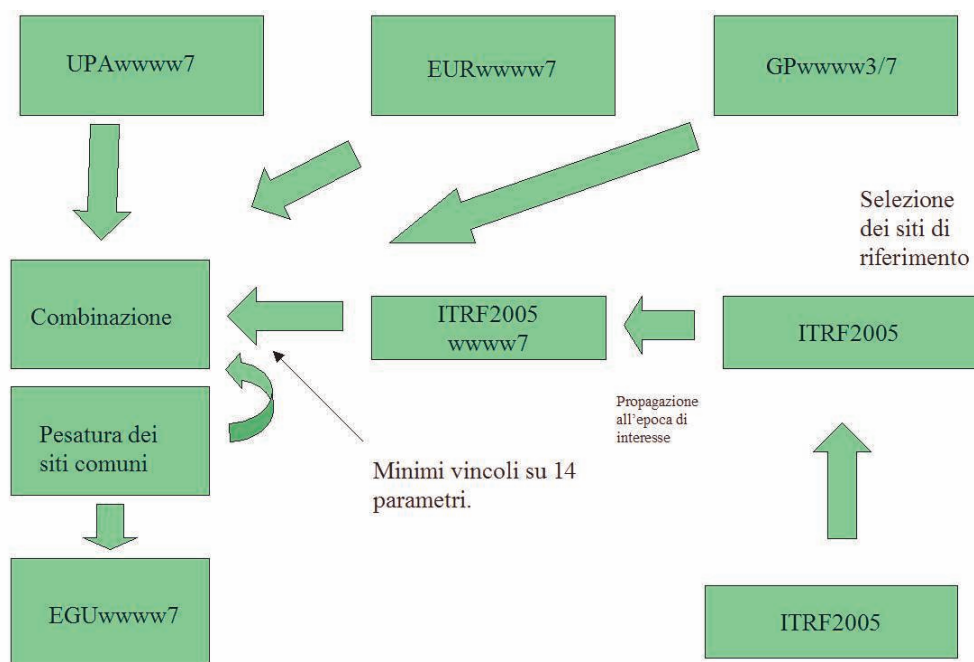
Osserviamo che i WRMS delle soluzioni UPA sono confrontabili con quelli delle soluzioni precedenti. Questo rafforza il sospetto che, nella prima metà dell'intervallo temporale di interesse, pochi siti siano stati utilizzati per definire il sistema di riferimento.





### 9.3.5 Soluzioni settimanali combinate

Per ogni settimana i sistemi di equazioni normali EUREF, UPA e GP vengono vincolati ai valori delle stazioni IGS presenti nel file ITRF05\_TRF.SNX, propagati all'epoca di interesse. I siti che vengono vincolati corrispondono all'intersezione tra l'insieme dei siti IGS e l'insieme unione degli insiemi dei siti EUREF, UPA e GP. Il risultato sono le soluzioni settimanali EGU.



Schema per la combinazione delle soluzioni settimanali EUREF, GP e UPA

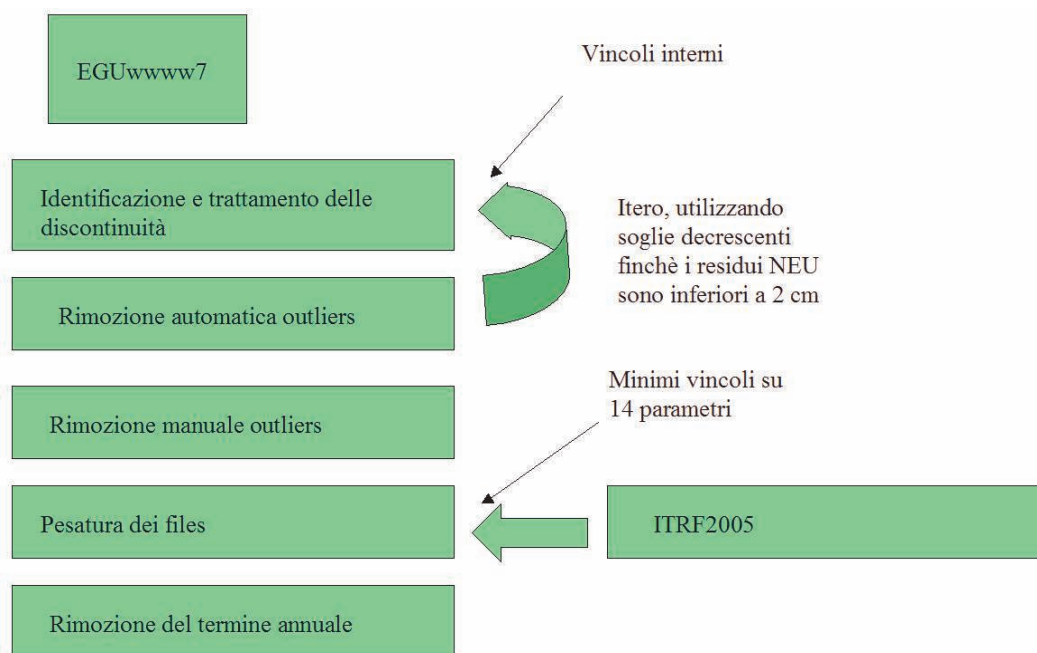
## 9.4 Soluzione multianno definitiva

### 9.4.1 Realizzazione del sistema di riferimento

Infine le soluzioni settimanali EGU sono state combinando utilizzando applicando i minimi vincoli (14 parametri) sul seguente insieme di siti:

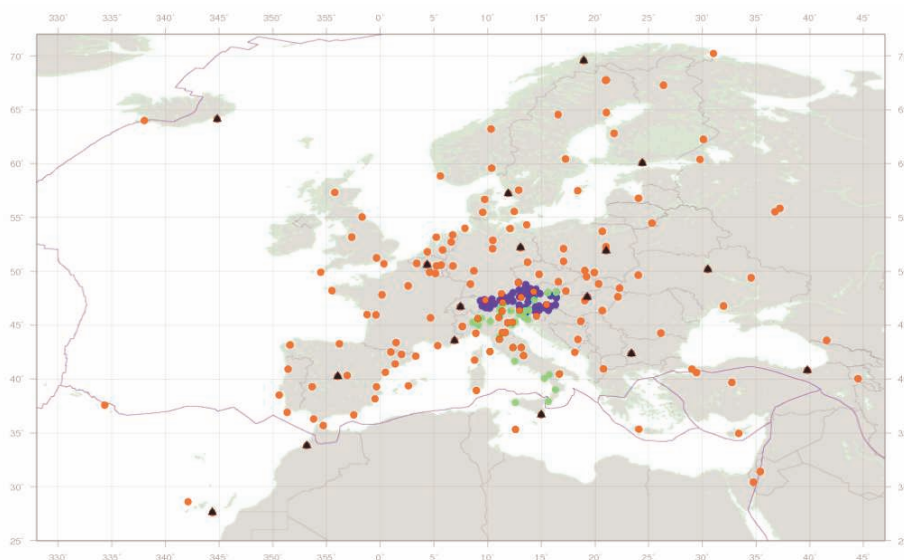
|                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| BRUS A 13101M004 | JOZE A 12204M001 | POTS A 14106M003 | TRAB A 20808M001 |
| GLSV A 12356M001 | MAS1 A 31303M002 | ZIMM A 14001M004 | TRO1 A 10302M006 |
| GRAS A 10002M006 | METS A 10503S011 | RABT A 35001M002 | VILL A 13406M001 |
| HOFN A 10204M002 | NOT1 A 12717M004 |                  |                  |

I siti corrispondono alle stazioni utilizzate per definire il sistema di riferimento nella soluzione EPN (vedi [48]). All'iterazione 0 sono stati introdotte le discontinuità, nelle iterazioni successive sono stati eliminati automaticamente gli outliers. Come per le singole soluzioni preliminari multianno si è partiti dal valore di soglia di 1 metro e ad ogni iterazione tale valore è stato ridotto di 10 cm. Una volta raggiunto il valore di 10 cm si è proceduto con decrementi di 1 cm fino a raggiungere la soglia di 2 cm. Infine si sono rimossi gli outliers manualmente.



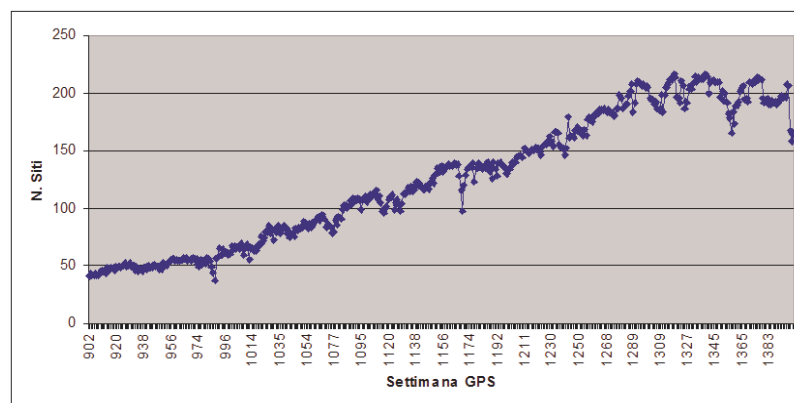
Schema per la combinazione multianno definitiva

La figura seguente descrive la disposizione delle tre reti combinate, in rosso sono state evidenziate le stazioni EUREF, un verde quelle UPA e in blu quelle GP. Il triangolo nero indica le stazioni EUREF utilizzate per definire il sistema di riferimento.



Disposizione dei siti appartenenti alle tre reti considerate, rosso = euref, verde, UPA, blu = GP. I triangoli neri indicano le stazioni che realizzano il sistema di riferimento.





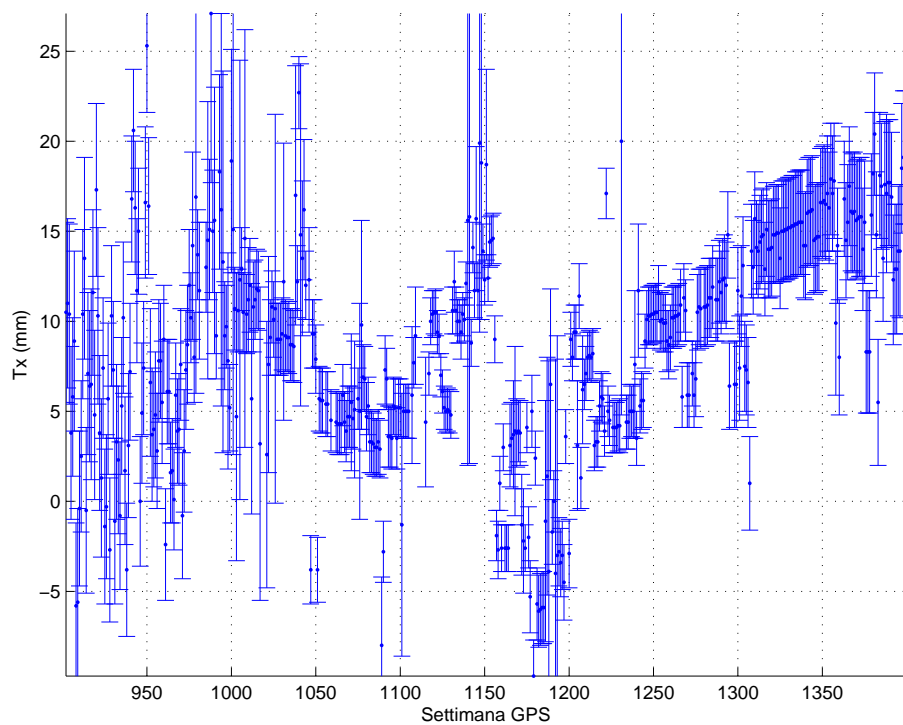
Numero dei siti presenti in ogni soluzione settimanale combinata.

### 9.4.2 Campo di velocità combinato in ITRF2005.

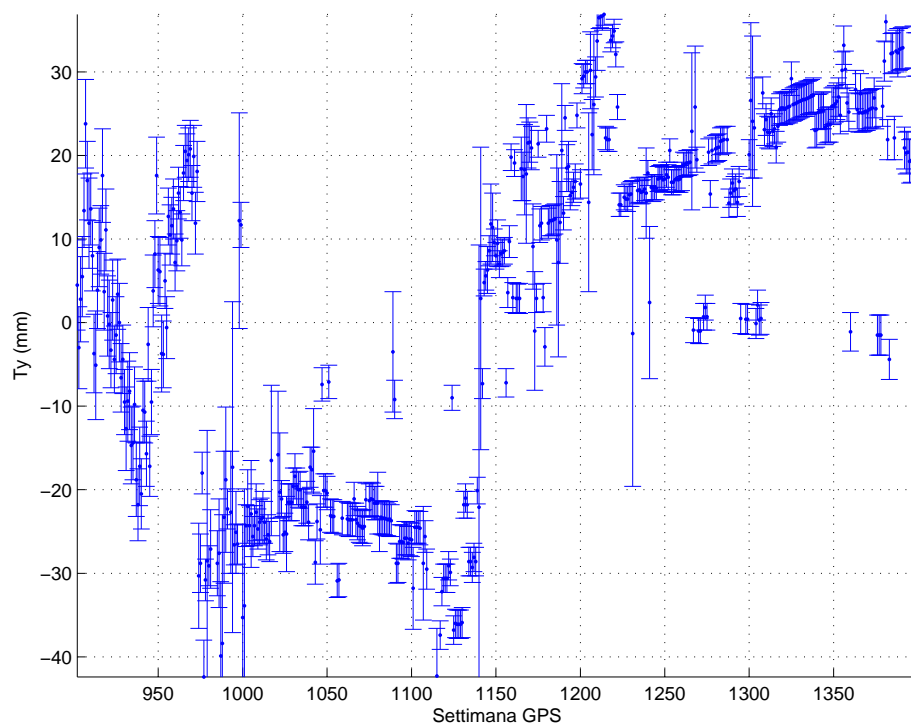
In questo paragrafo presentiamo la soluzione multianno definitiva EGU. Anche in questo caso, per verificarne la consistenza, riportiamo i grafici dei parametri di Helmer e dei WRMS. Intendiamo soprattutto verificare se la combinazione con le eq. normali EUREF ha permesso di allineare efficacemente le soluzioni UPA e GP al sistema di riferimento terrestre definito dalle eq. normali EUREF..

#### Parametri di Helmert e wrms

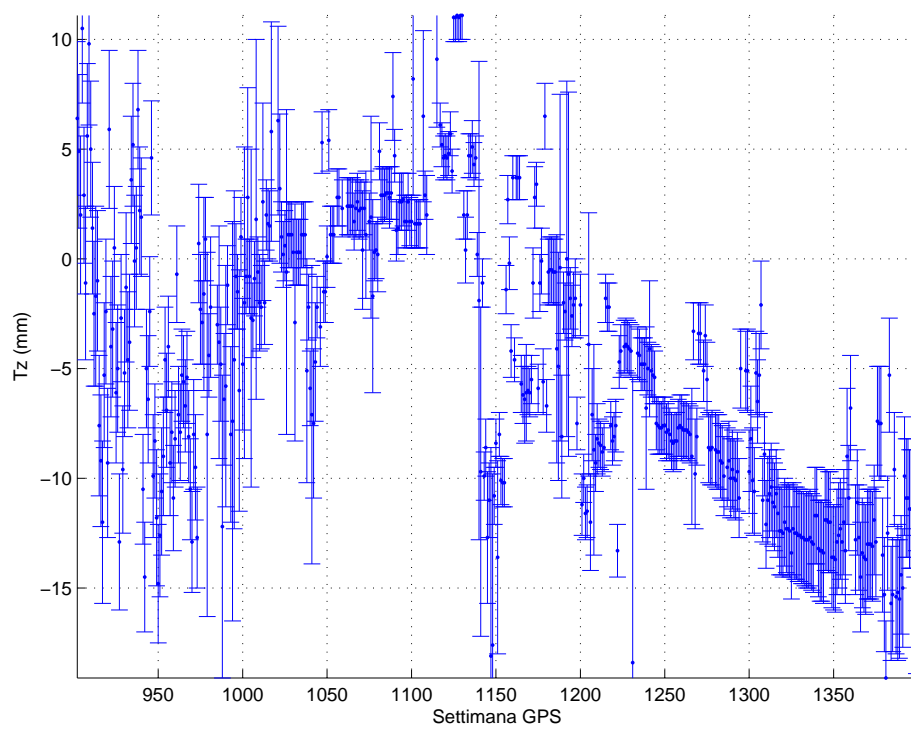
Osserviamo che la combinazione delle eq. normali UPA e EGU con le soluzioni EUREF ha migliorato notevolmente la consistenza tra le soluzioni individuali. Ora i parametri della soluzione EGU risulta paragonabile a quella delle soluzione EUREF. In particolare la banda di variazione dei parametri di traslazione è inferiore a 40 mm, mentre quella della soluzione EUREF è di circa 30 mm.



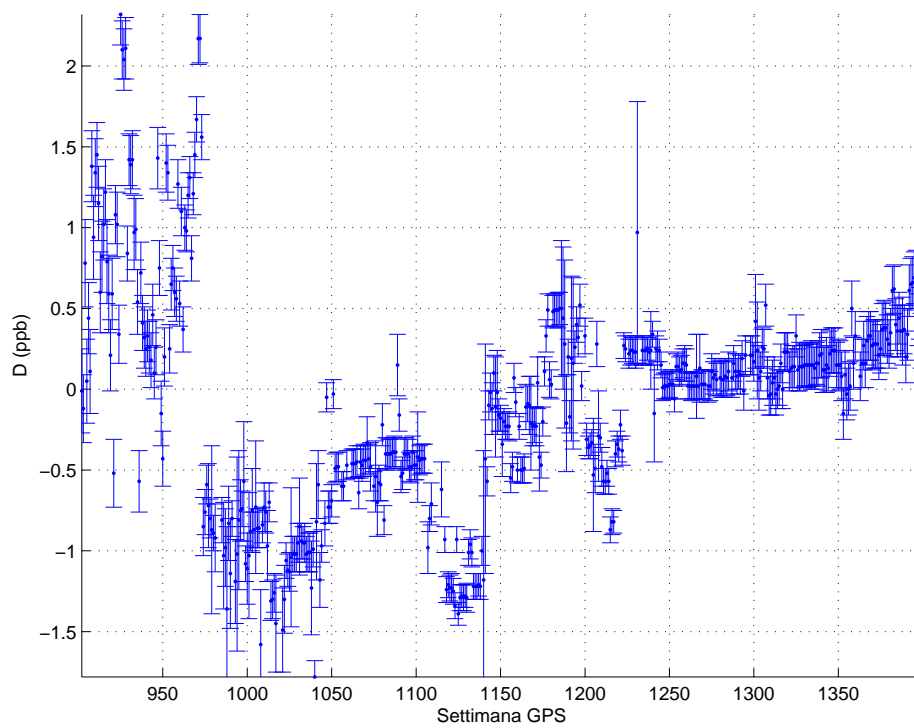
Traslazione lungo la direzione X



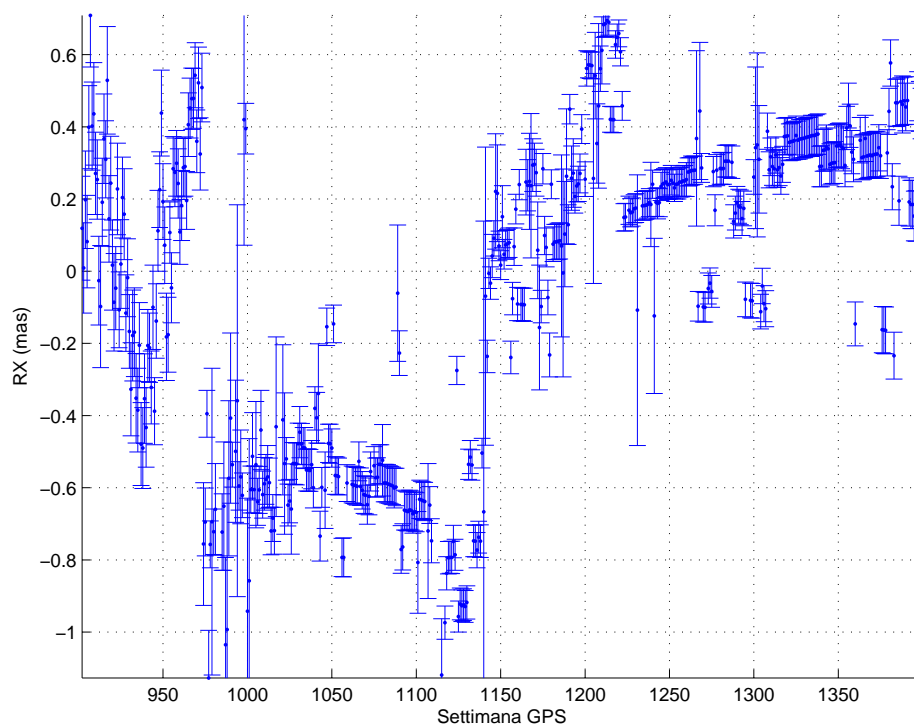
Traslazione lungo la direzione Y



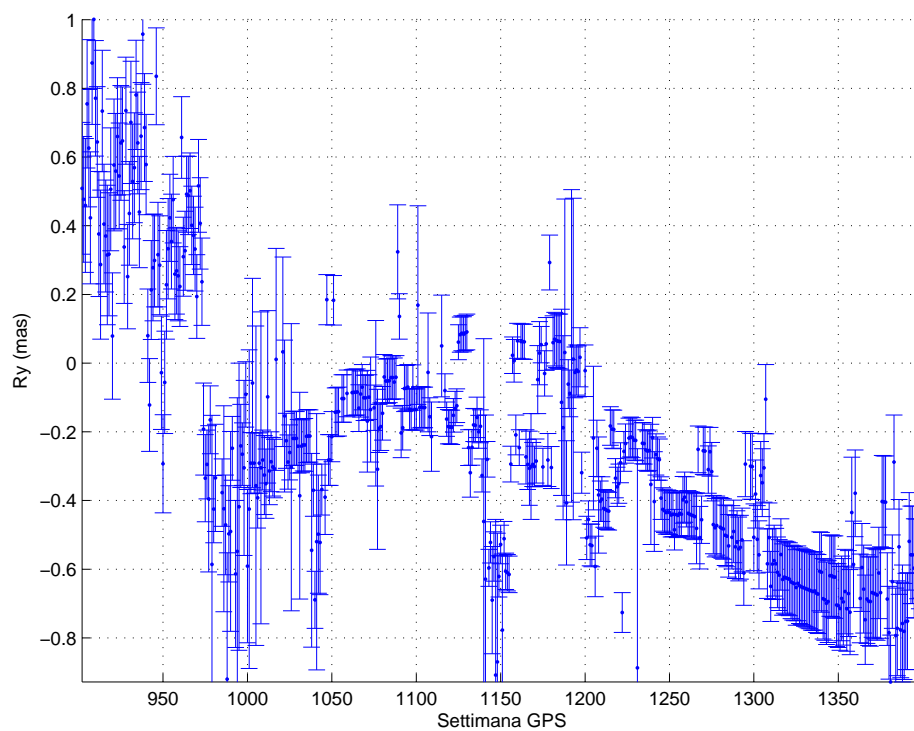
Traslazione lungo la direzione Z



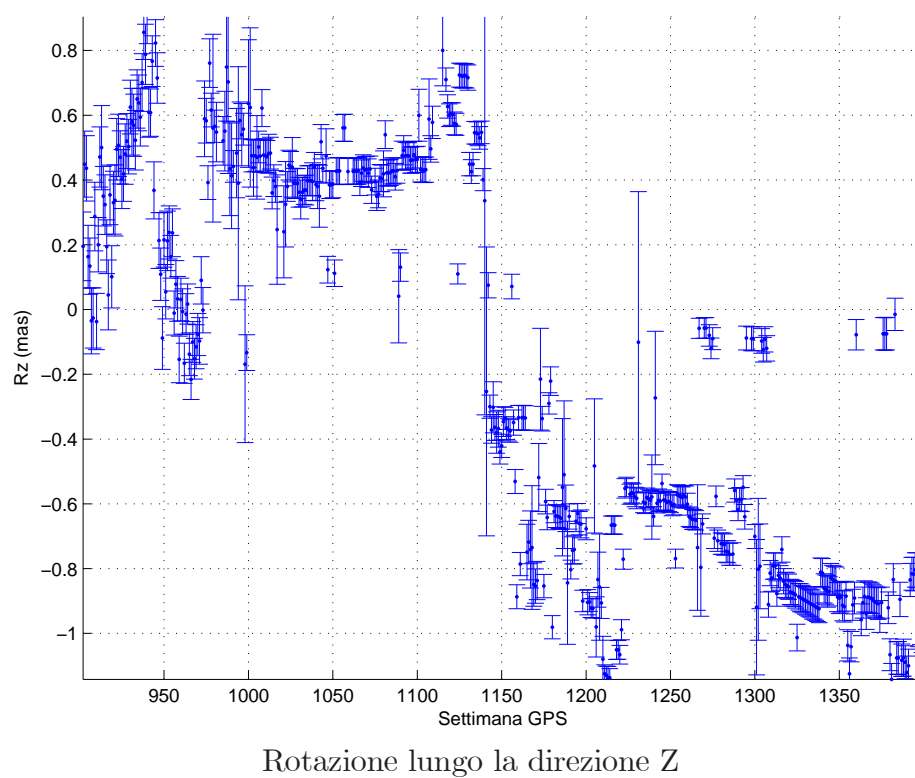
Fattore di scala



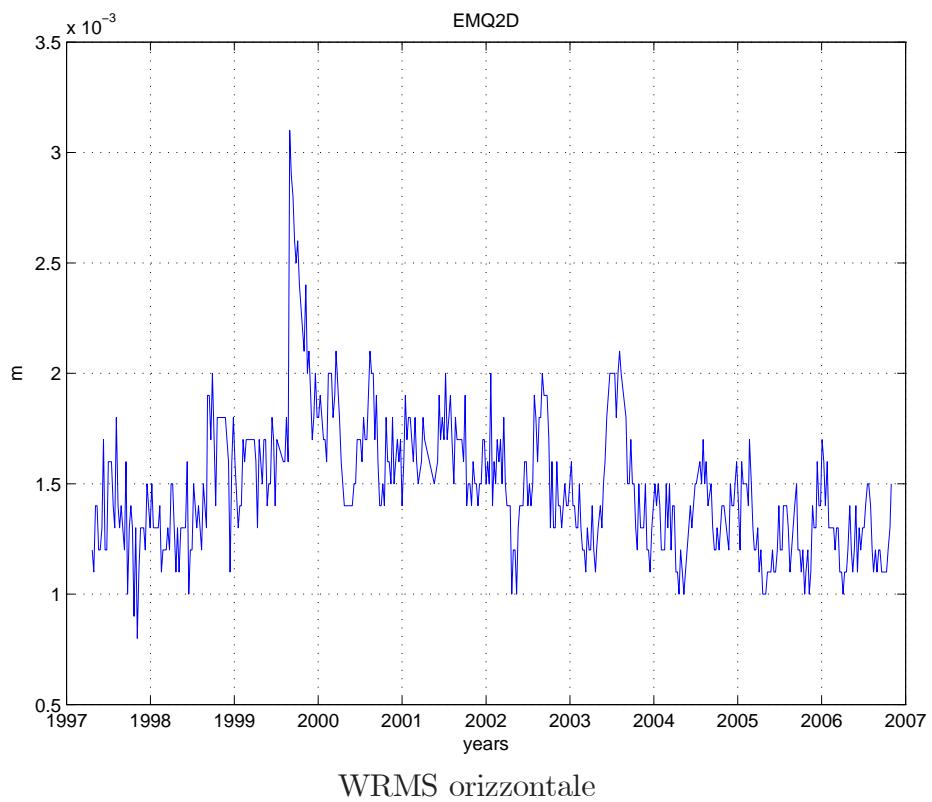
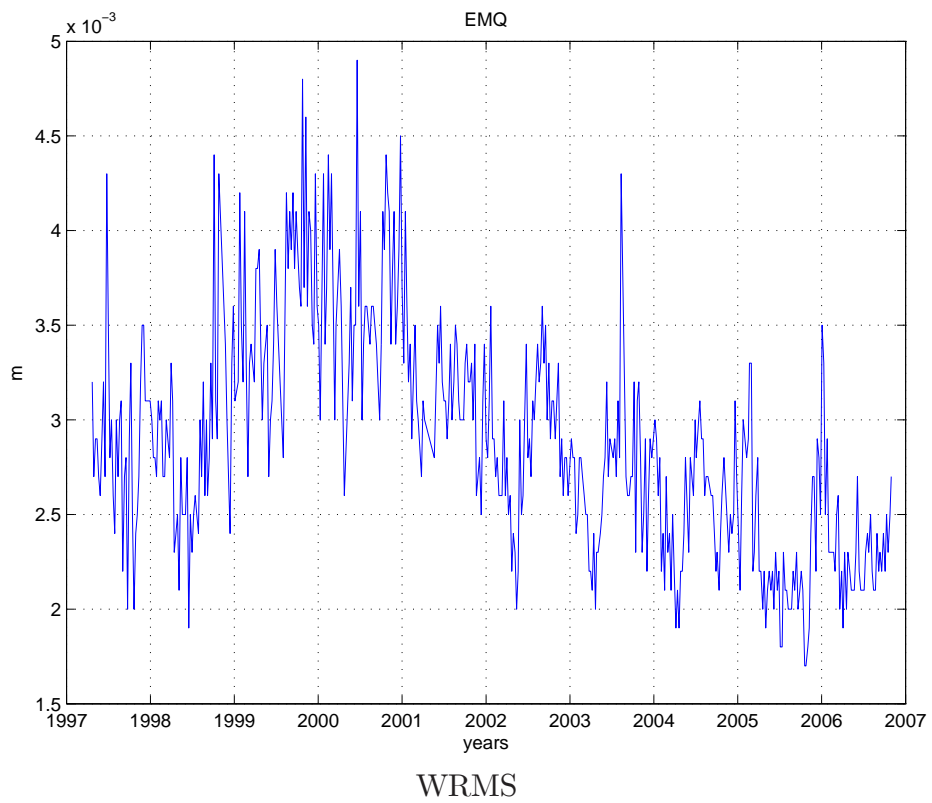
Rotazione lungo la direzione X

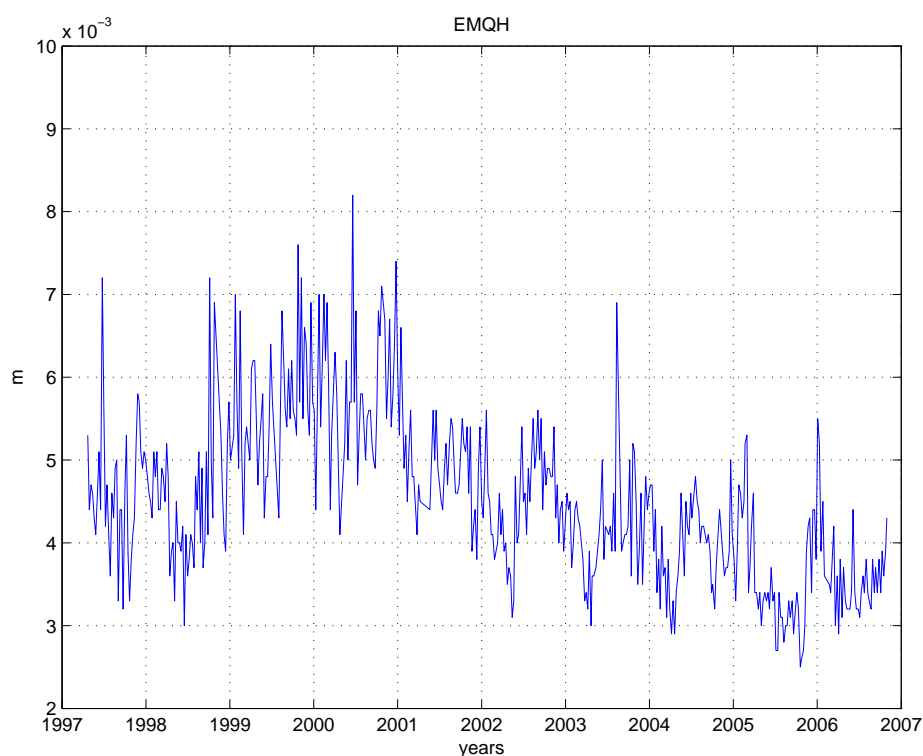


Rotazione lungo la direzione Y



I grafici seguenti dimostrano che i valori dei WRMS sono paragonabili a quelli della soluzione EUREF.





### Campo di velocità ITRF2005

Nelle seguenti tabelle riportiamo i valori di velocità orizzontale del campo, espressi in coordinate locali:

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 13.515    | 46.548 | 20.6  | 16.34 | 0.08       | 0.1        | 0             | ACOM 12767M001 | 1       |
| 351.601   | 43.364 | 21.57 | 15.95 | 0.06       | 0.07       | 0.02          | ACOR 13434M001 | 1       |
| 12.175    | 46.527 | 20.51 | 16.62 | 0.08       | 0.1        | 0.03          | AFAL 12766M001 | 1       |
| 8.763     | 41.927 | 20.73 | 16.08 | 0.06       | 0.07       | -0.02         | AJAC 10077M005 | 1       |
| 359.519   | 38.339 | 19.75 | 16.84 | 0.07       | 0.08       | 0.08          | ALAC 13433M001 | 1       |
| 359.519   | 38.339 | 19.75 | 16.84 | 0.07       | 0.08       | 0.08          | ALAC 13433M001 | 2       |
| 357.541   | 36.853 | 18.69 | 15.77 | 0.07       | 0.08       | 0.13          | ALME 13437M001 | 1       |
| 14.871    | 48.122 | 20.37 | 15.6  | 0.09       | 0.12       | 0.01          | AMST 88001S001 | 1       |
| 32.758    | 39.887 | 0.1   | 12.64 | 0.09       | 0.08       | 0.08          | ANKR 20805M002 | 1       |
| 32.758    | 39.887 | 0.1   | 12.64 | 0.09       | 0.08       | 0.08          | ANKR 20805M002 | 2       |
| 32.758    | 39.887 | 0.1   | 12.64 | 0.09       | 0.07       | 0.08          | ANKR 20805M002 | 3       |
| 13.350    | 42.368 | 21.94 | 18.13 | 0.03       | 0.03       | -0.11         | AQUI 12757M001 | 1       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 10.205    | 46.776 | 19.99 | 16    | 0.05       | 0.06       | -0.01         | ARDE 88002M002 | 1       |
| 12.350    | 48.195 | 20.11 | 15.67 | 0.05       | 0.06       | 0.03          | ASCH 88003S003 | 1       |
| 11.568    | 47.761 | 20.02 | 15.44 | 0.05       | 0.07       | 0.01          | BADT 88004S004 | 1       |
| 1.401     | 41.600 | 19.14 | 16.27 | 0.07       | 0.08       | 0             | BELL 13431M001 | 1       |
| 14.794    | 46.590 | 19.92 | 17.09 | 0.06       | 0.07       | 0             | BLE1 88005M005 | 1       |
| 14.794    | 46.590 | 19.93 | 17.09 | 0.06       | 0.07       | 0             | BLE2 88006S006 | 1       |
| 21.035    | 52.475 | 20.31 | 14.45 | 0.05       | 0.07       | 0.06          | BOGI 12207M003 | 1       |
| 21.035    | 52.476 | 20.32 | 14.45 | 0.05       | 0.07       | 0.06          | BOGO 12207M002 | 1       |
| 21.035    | 52.476 | 20.31 | 14.45 | 0.05       | 0.07       | 0.06          | BOGO 12207M002 | 2       |
| 11.357    | 44.500 | 19.99 | 19.25 | 0.52       | 0.65       | 0.02          | BOLG 12771M001 | 1       |
| 17.073    | 52.277 | 19.32 | 14.74 | 0.05       | 0.07       | 0.05          | BOR1 12205M002 | 1       |
| 17.073    | 52.277 | 19.32 | 14.74 | 0.05       | 0.07       | 0.05          | BOR1 12205M002 | 2       |
| 6.747     | 53.564 | 17.18 | 15.21 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | BORK 14268M001 | 1       |
| 13.542    | 46.333 | 19.64 | 15.64 | 0.12       | 0.16       | -0.01         | BOVE 88008S008 | 1       |
| 11.113    | 44.122 | 20.96 | 17.48 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | BRAS 99004M004 | 1       |
| 10.233    | 45.565 | 20.04 | 16.08 | 0.05       | 0.06       | 0.01          | BRIX 12762M001 | 1       |
| 355.503   | 48.380 | 16.6  | 16.33 | 0.08       | 0.1        | 0             | BRST 10004M004 | 1       |
| 355.503   | 48.380 | 16.61 | 16.33 | 0.08       | 0.1        | 0             | BRST 10004M004 | 2       |
| 4.359     | 50.798 | 16.8  | 15.62 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | BRUS 13101M004 | 1       |
| 4.359     | 50.798 | 16.79 | 15.62 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | BRUS 13101M004 | 2       |
| 26.126    | 44.464 | 22.73 | 12.68 | 0.06       | 0.06       | 0.11          | BUCU 11401M001 | 1       |
| 12.500    | 55.739 | 17.44 | 14.94 | 0.09       | 0.14       | 0.02          | BUDP 10101M003 | 1       |
| 19.057    | 47.481 | 22.17 | 15.16 | 0.29       | 0.4        | -0.02         | BUTE 11209M001 | 1       |
| 11.337    | 46.499 | 19.71 | 16.1  | 0.03       | 0.04       | 0             | BZRG 12751M001 | 1       |
| 11.337    | 46.499 | 19.71 | 16.1  | 0.03       | 0.03       | 0             | BZRG 12751M001 | 3       |
| 353.658   | 39.479 | 18.31 | 16.77 | 0.13       | 0.15       | 0.06          | CACE 13447M001 | 1       |
| 8.973     | 39.136 | 21.38 | 16.29 | 0.03       | 0.04       | -0.1          | CAGL 12725M003 | 1       |
| 8.973     | 39.136 | 21.38 | 16.33 | 0.03       | 0.04       | -0.11         | CAGL 12725M003 | 2       |
| 8.973     | 39.136 | 21.38 | 16.33 | 0.04       | 0.04       | -0.1          | CAGZ 12725M004 | 1       |
| 13.124    | 43.112 | 22.86 | 19.66 | 0.04       | 0.05       | -0.03         | CAME 12754M001 | 1       |
| 13.124    | 43.112 | 22.85 | 19.66 | 0.04       | 0.05       | -0.03         | CAME 12754M001 | 2       |
| 356.202   | 43.472 | 17.64 | 17.23 | 0.08       | 0.09       | 0.04          | CANT 13438M001 | 1       |
| 350.581   | 38.693 | 18.32 | 16.83 | 0.07       | 0.07       | 0.08          | CASC 13909S001 | 1       |
| 12.583    | 45.479 | 20.71 | 18.04 | 0.05       | 0.06       | 0.01          | CAVA 99009M009 | 1       |
| 12.583    | 45.479 | 20.71 | 18.04 | 0.05       | 0.06       | 0.01          | CAVA 99009M009 | 2       |
| 354.689   | 35.896 | 15.46 | 17.29 | 0.33       | 0.38       | 0.06          | CEUT 13449M001 | 1       |
| 354.689   | 35.896 | 15.46 | 17.29 | 0.33       | 0.38       | 0.06          | CEUT 13449M001 | 2       |
| 359.592   | 46.133 | 18.52 | 16.34 | 0.06       | 0.08       | 0.03          | CHIZ 10020M001 | 1       |
| 9.096     | 45.802 | 20    | 15.14 | 0.04       | 0.05       | 0             | COMO 12761M001 | 1       |
| 9.096     | 45.802 | 20    | 15.14 | 0.04       | 0.05       | 0             | COMO 12761M001 | 2       |
| 16.310    | 39.201 | 22.41 | 17.8  | 0.07       | 0.08       | -0.1          | COSE 99011M011 | 1       |
| 3.316     | 42.319 | 20.95 | 16.14 | 0.16       | 0.2        | 0.02          | CREU 13432M001 | 1       |



| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 3.316     | 42.319 | 20.95 | 16.14 | 0.16       | 0.2        | 0.03          | CREU 13432M001 | 2       |
| 3.316     | 42.319 | 20.95 | 16.14 | 0.16       | 0.2        | 0.03          | CREU 13432M001 | 3       |
| 357.360   | 53.345 | 15.66 | 15.88 | 0.19       | 0.28       | 0.01          | DARE 13208S001 | 1       |
| 9.844     | 46.813 | 19.65 | 16    | 0.08       | 0.1        | -0.03         | DAVO 88010M010 | 1       |
| 9.844     | 46.813 | 19.65 | 16    | 0.08       | 0.1        | -0.03         | DAVO 88010M010 | 2       |
| 4.388     | 51.986 | 17.02 | 15.63 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | DELF 13502M004 | 1       |
| 4.388     | 51.986 | 17.02 | 15.63 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | DELF 13502M004 | 3       |
| 3.400     | 50.934 | 17.55 | 16.21 | 0.09       | 0.12       | 0             | DENT 13112M001 | 1       |
| 3.400     | 50.934 | 17.55 | 16.21 | 0.09       | 0.12       | 0             | DENT 13112M001 | 3       |
| 3.400     | 50.934 | 17.55 | 16.21 | 0.09       | 0.12       | 0             | DENT 13112M001 | 4       |
| 3.400     | 50.934 | 17.55 | 16.21 | 0.09       | 0.12       | 0             | DENT 13112M001 | 5       |
| 15.213    | 46.814 | 20.62 | 16.32 | 0.06       | 0.08       | 0             | DLBG 88012S012 | 1       |
| 15.213    | 46.814 | 20.61 | 16.33 | 0.06       | 0.08       | 0             | DLBG 88012S012 | 2       |
| 4.595     | 50.095 | 16.84 | 15.09 | 0.05       | 0.07       | -0.01         | DOUR 13113M001 | 1       |
| 4.595     | 50.095 | 16.85 | 15.1  | 0.05       | 0.07       | -0.01         | DOUR 13113M001 | 2       |
| 35.392    | 31.593 | 23.15 | 20.91 | 0.16       | 0.13       | -0.1          | DRAG 20710S001 | 1       |
| 13.730    | 51.030 | 19.65 | 15.99 | 0.09       | 0.12       | 0.01          | DRES 14108M001 | 1       |
| 13.730    | 51.030 | 19.65 | 16    | 0.09       | 0.12       | 0.01          | DRES 14108M001 | 2       |
| 18.110    | 42.650 | 22.5  | 18.45 | 0.08       | 0.1        | -0.05         | DUBR 11901M001 | 1       |
| 18.110    | 42.650 | 22.5  | 18.45 | 0.08       | 0.1        | -0.05         | DUBR 11901M001 | 2       |
| 0.492     | 40.821 | 19.63 | 16.1  | 0.04       | 0.04       | 0.09          | EBRE 13410M001 | 1       |
| 5.684     | 50.758 | 17.45 | 16.01 | 0.05       | 0.07       | 0             | EIJS 13533M001 | 1       |
| 5.684     | 50.758 | 17.45 | 16.01 | 0.05       | 0.07       | 0             | EIJS 13533M001 | 2       |
| 10.211    | 42.753 | 20.18 | 16.55 | 0.03       | 0.03       | -0.08         | ELBA 12721M002 | 1       |
| 0.976     | 42.694 | 19.15 | 16.24 | 0.06       | 0.07       | 0.04          | ESCO 13435M001 | 1       |
| 6.764     | 50.674 | 17.98 | 16.31 | 0.06       | 0.08       | 0             | EUSK 14258M003 | 1       |
| 6.764     | 50.674 | 17.97 | 16.31 | 0.06       | 0.08       | 0             | EUSK 14258M003 | 2       |
| 15.883    | 46.953 | 22.99 | 17.27 | 0.14       | 0.18       | 0.01          | FLDB 88014S014 | 1       |
| 9.581     | 47.231 | 18.8  | 16.61 | 0.06       | 0.09       | 0             | FLDK 88015S015 | 1       |
| 9.581     | 47.231 | 18.8  | 16.61 | 0.07       | 0.09       | 0             | FLDK 88015S015 | 2       |
| 13.564    | 48.936 | 20.29 | 15.06 | 0.12       | 0.17       | 0.01          | FNST 88016S016 | 1       |
| 13.564    | 48.936 | 20.29 | 15.06 | 0.12       | 0.17       | 0.01          | FNST 88016S016 | 2       |
| 12.978    | 47.839 | 19.99 | 16.17 | 0.07       | 0.1        | 0.01          | FRLG 88017S017 | 1       |
| 12.978    | 47.839 | 19.98 | 16.17 | 0.07       | 0.1        | 0.01          | FRLG 88017S017 | 2       |
| 14.503    | 48.509 | 20.38 | 15.22 | 0.12       | 0.16       | 0             | FRST 88018S018 | 1       |
| 351.411   | 41.106 | 18.16 | 16.59 | 0.11       | 0.12       | 0.04          | GAIA 13902M001 | 1       |
| 20.323    | 49.035 | 18.81 | 14.87 | 0.21       | 0.29       | -0.02         | GANP 11515M001 | 1       |
| 20.323    | 49.035 | 18.81 | 14.87 | 0.21       | 0.29       | -0.02         | GANP 11515M001 | 2       |
| 8.921     | 44.419 | 20.16 | 15.88 | 0.03       | 0.03       | -0.04         | GENO 12712M002 | 1       |
| 30.497    | 50.364 | 21.39 | 12.9  | 0.05       | 0.05       | 0.27          | GLSV 12356M001 | 1       |
| 13.801    | 47.921 | 20.44 | 15.91 | 0.05       | 0.06       | 0.01          | GMND 88019M019 | 1       |
| 13.801    | 47.921 | 20.44 | 15.91 | 0.05       | 0.07       | 0.01          | GMND 88019M019 | 2       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 14.786    | 49.914 | 19.81 | 15.36 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | GOPE 11502M002 | 1       |
| 14.786    | 49.914 | 19.81 | 15.36 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | GOPE 11502M002 | 2       |
| 14.786    | 49.914 | 19.81 | 15.36 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | GOPE 11502M002 | 3       |
| 15.493    | 47.067 | 20.68 | 15.27 | 0.08       | 0.1        | 0             | GRAA 88020M020 | 1       |
| 15.493    | 47.067 | 21.05 | 15.74 | 0.03       | 0.03       | 0.09          | GRAB 88021M021 | 1       |
| 15.493    | 47.067 | 21.05 | 15.74 | 0.03       | 0.03       | 0.08          | GRAB 88021M021 | 2       |
| 6.921     | 43.755 | 20.25 | 16.01 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | GRAS 10002M006 | 1       |
| 6.921     | 43.755 | 20.25 | 16.01 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | GRAS 10002M006 | 2       |
| 15.493    | 47.067 | 21.26 | 15.71 | 0.03       | 0.04       | 0.07          | GRAZ 11001M002 | 1       |
| 15.493    | 47.067 | 21.29 | 15.7  | 0.03       | 0.04       | 0.07          | GRAZ 11001M002 | 2       |
| 15.493    | 47.067 | 21.29 | 15.7  | 0.03       | 0.04       | 0.07          | GRAZ 11001M002 | 3       |
| 15.493    | 47.067 | 21.29 | 15.7  | 0.04       | 0.04       | 0.06          | GRAZ 11001M002 | 4       |
| 11.143    | 47.509 | 20.25 | 16.06 | 0.08       | 0.1        | 0.01          | GRMP 88023S023 | 1       |
| 11.143    | 47.509 | 20.24 | 16.06 | 0.08       | 0.1        | 0.01          | GRMP 88023S023 | 2       |
| 14.544    | 46.048 | 20.93 | 17.78 | 0.11       | 0.14       | -0.02         | GSR1 14501M001 | 2       |
| 16.319    | 47.074 | 21.36 | 15.63 | 0.05       | 0.06       | 0.02          | GUES 11045M001 | 1       |
| 16.319    | 47.074 | 21.37 | 15.63 | 0.05       | 0.06       | 0.02          | GUES 11045M001 | 2       |
| 7.893     | 54.174 | 16.8  | 15.86 | 0.04       | 0.05       | 0.01          | HELG 14264M001 | 1       |
| 0.336     | 50.867 | 16.34 | 16.22 | 0.06       | 0.09       | 0             | HERS 13212M007 | 1       |
| 0.336     | 50.867 | 16.34 | 16.22 | 0.06       | 0.09       | 0             | HERS 13212M007 | 2       |
| 0.336     | 50.867 | 16.34 | 16.22 | 0.06       | 0.09       | 0             | HERS 13212M007 | 3       |
| 0.334     | 50.867 | 16.33 | 16.22 | 0.06       | 0.09       | 0             | HERT 13212M010 | 1       |
| 11.386    | 47.313 | 20.29 | 16.32 | 0.03       | 0.03       | 0.04          | HFLK 11006S003 | 1       |
| 11.386    | 47.313 | 20.28 | 16.31 | 0.03       | 0.03       | 0.04          | HFLK 11006S003 | 2       |
| 13.771    | 47.377 | 20.42 | 16.59 | 0.04       | 0.05       | 0.02          | HKBL 11039S001 | 1       |
| 13.771    | 47.377 | 20.42 | 16.59 | 0.04       | 0.05       | 0.02          | HKBL 11039S001 | 2       |
| 10.476    | 53.051 | 17.95 | 15.31 | 0.08       | 0.12       | 0             | HOBU 14202M003 | 1       |
| 10.476    | 53.051 | 17.95 | 15.31 | 0.08       | 0.12       | 0             | HOBU 14202M003 | 2       |
| 344.802   | 64.267 | 12.6  | 14.58 | 0.07       | 0.07       | 0             | HOFN 10204M002 | 1       |
| 344.802   | 64.267 | 12.61 | 14.57 | 0.07       | 0.07       | 0             | HOFN 10204M002 | 2       |
| 7.639     | 45.015 | 19.66 | 16.13 | 0.03       | 0.03       | -0.02         | IENG 12724S001 | 1       |
| 12.515    | 41.828 | 20.56 | 17.66 | 0.04       | 0.04       | -0.1          | INGR 99025M025 | 1       |
| 355.781   | 57.486 | 13.55 | 16.34 | 0.2        | 0.29       | -0.01         | INVE 13221S001 | 1       |
| 29.019    | 41.104 | 24.97 | 10.24 | 0.1        | 0.1        | 0             | ISTA 20807M001 | 1       |
| 29.019    | 41.104 | 24.97 | 10.24 | 0.1        | 0.1        | 0             | ISTA 20807M001 | 2       |
| 30.096    | 62.391 | 19.38 | 11.96 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | JOEN 10512M001 | 1       |
| 21.032    | 52.098 | 20.52 | 14.19 | 0.04       | 0.05       | 0.13          | JOZ2 12204M002 | 1       |
| 21.032    | 52.097 | 20.52 | 14.19 | 0.04       | 0.05       | 0.14          | JOZE 12204M001 | 1       |
| 21.032    | 52.097 | 20.52 | 14.19 | 0.04       | 0.05       | 0.13          | JOZE 12204M001 | 2       |
| 8.411     | 49.011 | 19.05 | 15.9  | 0.09       | 0.13       | 0             | KARL 14216M001 | 1       |
| 8.411     | 49.011 | 19.05 | 15.9  | 0.09       | 0.13       | 0             | KARL 14216M001 | 2       |
| 8.411     | 49.011 | 19.05 | 15.9  | 0.09       | 0.13       | 0             | KARL 14216M001 | 3       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 19.036    | 50.253 | 21.62 | 10.29 | 0.18       | 0.25       | -0.02         | KATO 12219S001 | 1       |
| 21.060    | 67.878 | 14.99 | 14.46 | 0.05       | 0.05       | 0.02          | KIR0 10422M001 | 1       |
| 20.968    | 67.857 | 14.71 | 15    | 0.05       | 0.06       | 0.03          | KIRU 10403M002 | 1       |
| 13.771    | 47.377 | 20.19 | 16.55 | 0.1        | 0.14       | -0.06         | KKB1 88076M076 | 1       |
| 14.319    | 46.607 | 20.55 | 16.98 | 0.09       | 0.11       | 0             | KLAG 88025S025 | 1       |
| 14.319    | 46.607 | 20.55 | 16.98 | 0.09       | 0.11       | 0             | KLAG 88025S025 | 2       |
| 14.319    | 46.607 | 20.56 | 16.98 | 0.09       | 0.11       | 0             | KLAG 88025S025 | 3       |
| 8.730     | 50.220 | 18.15 | 15.97 | 0.08       | 0.12       | 0             | KLOP 14214M002 | 1       |
| 8.730     | 50.220 | 18.15 | 15.97 | 0.08       | 0.12       | 0             | KLOP 14214M002 | 2       |
| 8.730     | 50.220 | 18.15 | 15.97 | 0.08       | 0.11       | 0             | KLOP 14214M002 | 3       |
| 13.009    | 46.674 | 17.6  | 16.41 | 0.09       | 0.12       | 0.01          | KOE1 88077M077 | 1       |
| 13.009    | 46.674 | 17.62 | 16.42 | 0.09       | 0.12       | 0.01          | KOE2 88078M078 | 1       |
| 13.009    | 46.674 | 17.63 | 16.42 | 0.09       | 0.11       | 0.01          | KOE2 88078M078 | 2       |
| 13.009    | 46.674 | 17.64 | 16.41 | 0.09       | 0.11       | 0.01          | KOE3 88079M079 | 1       |
| 10.115    | 46.974 | 19.41 | 19.94 | 0.13       | 0.17       | 0.02          | KOP1 88027M027 | 1       |
| 10.115    | 46.974 | 19.4  | 19.94 | 0.13       | 0.17       | 0.02          | KOP1 88027M027 | 2       |
| 10.116    | 46.974 | 19.84 | 15.9  | 0.14       | 0.19       | -0.01         | KOP2 88028S028 | 1       |
| 5.810     | 52.178 | 17.52 | 16.21 | 0.04       | 0.05       | -0.02         | KOSG 13504M003 | 1       |
| 5.810     | 52.178 | 17.52 | 16.21 | 0.04       | 0.05       | -0.02         | KOSG 13504M003 | 2       |
| 19.920    | 50.066 | 20.54 | 15.24 | 0.13       | 0.18       | -0.01         | KRAW 12218M001 | 1       |
| 10.627    | 47.146 | 18.72 | 16.82 | 0.04       | 0.04       | 0             | KRBG 11043S001 | 1       |
| 10.627    | 47.146 | 18.73 | 16.82 | 0.04       | 0.04       | 0             | KRBG 11043S001 | 2       |
| 12.359    | 47.418 | 21.23 | 15.23 | 0.07       | 0.1        | -0.01         | KTZB 11038S001 | 1       |
| 12.359    | 47.418 | 21.23 | 15.23 | 0.07       | 0.1        | -0.01         | KTZB 11038S001 | 2       |
| 351.332   | 37.099 | 17.53 | 17.49 | 0.13       | 0.13       | 0.09          | LAGO 13903M001 | 1       |
| 20.670    | 53.892 | 19.29 | 14.39 | 0.06       | 0.08       | 0.03          | LAMA 12209M001 | 1       |
| 20.670    | 53.892 | 19.3  | 14.38 | 0.06       | 0.08       | 0.03          | LAMA 12209M001 | 2       |
| 12.606    | 35.500 | 19.68 | 19.06 | 0.04       | 0.05       | -0.27         | LAMP 12706M002 | 1       |
| 13.893    | 46.631 | 21.96 | 15.06 | 0.1        | 0.13       | 0             | LANK 88030S030 | 1       |
| 13.893    | 46.631 | 21.96 | 15.06 | 0.1        | 0.13       | 0             | LANK 88030S030 | 2       |
| 13.893    | 46.631 | 21.96 | 15.06 | 0.1        | 0.13       | 0             | LANK 88030S030 | 3       |
| 9.407     | 45.857 | 19.74 | 16.34 | 0.09       | 0.12       | 0.02          | LEC1 12768M001 | 1       |
| 10.139    | 47.224 | 19.49 | 16.49 | 0.06       | 0.08       | 0             | LECH 88031S031 | 1       |
| 10.139    | 47.224 | 19.49 | 16.49 | 0.06       | 0.08       | 0             | LECH 88031S031 | 2       |
| 14.786    | 46.971 | 21.96 | 15.48 | 0.07       | 0.08       | 0.01          | LEON 88033S033 | 1       |
| 14.786    | 46.971 | 21.97 | 15.48 | 0.07       | 0.09       | 0.01          | LEON 88033S033 | 2       |
| 13.477    | 46.830 | 20.25 | 14.7  | 0.07       | 0.09       | 0.01          | LIES 88035S035 | 1       |
| 13.477    | 46.830 | 20.24 | 14.7  | 0.07       | 0.09       | 0.01          | LIES 88035S035 | 2       |
| 14.291    | 48.292 | 22.17 | 11.6  | 1.68       | 2.24       | -0.08         | LIN1 88075M075 | 1       |
| 9.708     | 47.559 | 19.39 | 15.74 | 0.04       | 0.05       | 0.01          | LIND 88036S036 | 1       |
| 14.283    | 48.310 | 20.43 | 15.03 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | LINZ 11033S001 | 1       |
| 14.283    | 48.310 | 20.43 | 15.03 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | LINZ 11033S001 | 2       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 1.973     | 42.478 | 19.32 | 15.87 | 0.06       | 0.07       | 0.04          | LLIV 13436M001 | 1       |
| 342.106   | 28.764 | 16.95 | 17.17 | 0.22       | 0.21       | 0.12          | LPAL 81701M001 | 1       |
| 358.781   | 46.159 | 17.78 | 16    | 0.12       | 0.16       | 0.05          | LROC 10023M001 | 1       |
| 2.625     | 39.553 | 17.62 | 16.87 | 0.14       | 0.17       | 0.03          | MALL 13444M001 | 1       |
| 2.625     | 39.553 | 17.61 | 16.87 | 0.14       | 0.17       | 0.03          | MALL 13444M001 | 2       |
| 0.155     | 48.019 | 17.5  | 16.67 | 0.09       | 0.12       | 0.01          | MANS 10091M001 | 1       |
| 0.155     | 48.019 | 17.5  | 16.67 | 0.09       | 0.12       | 0.01          | MANS 10091M001 | 2       |
| 17.259    | 60.595 | 16.86 | 13.87 | 0.04       | 0.05       | 0.01          | MAR6 10405M002 | 1       |
| 17.259    | 60.595 | 16.86 | 13.86 | 0.04       | 0.05       | 0.01          | MAR6 10405M002 | 2       |
| 15.649    | 46.562 | 20.16 | 15.13 | 0.12       | 0.16       | 0             | MARI 88040S040 | 1       |
| 15.649    | 46.562 | 20.16 | 15.13 | 0.12       | 0.16       | 0             | MARI 88040S040 | 2       |
| 5.354     | 43.279 | 19.4  | 15.8  | 0.1        | 0.13       | 0             | MARS 10073M008 | 1       |
| 5.354     | 43.279 | 19.4  | 15.8  | 0.1        | 0.13       | 0             | MARS 10073M008 | 2       |
| 5.354     | 43.279 | 19.4  | 15.8  | 0.1        | 0.13       | 0             | MARS 10073M008 | 3       |
| 344.367   | 27.764 | 16.98 | 17.49 | 0.12       | 0.09       | 0.31          | MAS1 31303M002 | 1       |
| 16.704    | 40.649 | 23.18 | 19.45 | 0.04       | 0.04       | -0.18         | MATE 12734M008 | 1       |
| 16.704    | 40.649 | 23.18 | 19.45 | 0.04       | 0.04       | -0.19         | MATE 12734M008 | 2       |
| 13.436    | 45.924 | 19.82 | 17.64 | 0.09       | 0.12       | -0.02         | MDEA 12765M001 | 1       |
| 37.224    | 56.027 | 21.67 | 11.67 | 0.08       | 0.1        | 0.08          | MDVO 12309M002 | 1       |
| 37.224    | 56.027 | 21.67 | 11.67 | 0.08       | 0.1        | 0.08          | MDVO 12309M002 | 2       |
| 11.647    | 44.520 | 22.1  | 17.4  | 0.03       | 0.03       | -0.03         | MEDI 12711M003 | 1       |
| 11.647    | 44.520 | 22.12 | 17.37 | 0.03       | 0.03       | -0.03         | MEDI 12711M003 | 2       |
| 11.157    | 46.669 | 20.05 | 15.2  | 0.05       | 0.06       | -0.01         | MERA 99033M033 | 1       |
| 11.157    | 46.669 | 20.06 | 15.2  | 0.05       | 0.06       | -0.01         | MERA 99033M033 | 2       |
| 24.395    | 60.217 | 19.03 | 12.75 | 0.03       | 0.04       | 0.04          | METS 10503S011 | 1       |
| 31.973    | 46.973 | 22.66 | 12.41 | 0.15       | 0.2        | 0             | MIKL 12335M001 | 1       |
| 12.584    | 38.008 | 20.95 | 18.77 | 0.05       | 0.05       | -0.17         | MILO 12758M001 | 1       |
| 2.587     | 48.841 | 17.52 | 15.77 | 0.06       | 0.08       | 0.01          | MLVL 10092M001 | 1       |
| 11.122    | 46.072 | 19.69 | 16.34 | 0.04       | 0.04       | 0.01          | MOCA 12753M001 | 1       |
| 17.274    | 48.373 | 20.55 | 15.35 | 0.05       | 0.06       | 0.05          | MOPI 11507M001 | 1       |
| 17.274    | 48.373 | 20.55 | 15.36 | 0.05       | 0.06       | 0.05          | MOPI 11507M001 | 2       |
| 358.315   | 55.213 | 15.43 | 16.04 | 0.12       | 0.18       | -0.01         | MORP 13299S001 | 1       |
| 12.988    | 46.241 | 20.47 | 17.27 | 0.08       | 0.1        | -0.02         | MPRA 12764M001 | 1       |
| 11.646    | 44.520 | 22.12 | 17.37 | 0.03       | 0.03       | -0.03         | MSEL 12711M008 | 1       |
| 16.404    | 47.738 | 20.77 | 16.54 | 0.04       | 0.05       | 0.04          | MTBG 11030M001 | 1       |
| 16.404    | 47.738 | 20.77 | 16.55 | 0.04       | 0.05       | 0.04          | MTBG 11030M001 | 2       |
| 11.832    | 47.421 | 22.18 | 16.53 | 0.12       | 0.16       | -0.02         | MUEN 88041S041 | 1       |
| 11.832    | 47.421 | 22.18 | 16.53 | 0.12       | 0.16       | -0.02         | MUEN 88041S041 | 2       |
| 354.457   | 50.103 | 15.58 | 16.07 | 0.28       | 0.4        | 0.03          | NEWL 13273M103 | 1       |
| 33.396    | 35.141 | 18.99 | 16.23 | 0.11       | 0.09       | -0.04         | NICO 14302M001 | 1       |
| 33.396    | 35.141 | 18.99 | 16.23 | 0.11       | 0.09       | -0.04         | NICO 14302M001 | 2       |
| 14.990    | 36.876 | 21.06 | 20.21 | 0.06       | 0.06       | -0.21         | NOT1 12717M004 | 1       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 14.990    | 36.876 | 21.06 | 20.21 | 0.06       | 0.06       | -0.2          | NOTO 12717M003 | 1       |
| 14.990    | 36.876 | 21.06 | 20.21 | 0.06       | 0.06       | -0.21         | NOTO 12717M003 | 2       |
| 8.614     | 45.447 | 19.44 | 16.21 | 0.03       | 0.03       | -0.02         | NOVA 12759M001 | 1       |
| 359.660   | 51.421 | 16.58 | 16.02 | 0.13       | 0.17       | 0.01          | NPLD 13234M003 | 1       |
| 359.660   | 51.421 | 16.58 | 16.02 | 0.13       | 0.17       | 0.01          | NPLD 13234M003 | 2       |
| 44.503    | 40.226 | 27.77 | 17.89 | 0.29       | 0.35       | 0.01          | NSSP 12312M001 | 2       |
| 11.865    | 78.930 | 9.06  | 14.47 | 0.08       | 0.1        | 0.04          | NYA1 10317M003 | 1       |
| 22.136    | 47.835 | 21.78 | 13.79 | 0.35       | 0.49       | -0.03         | NYIR 11208M001 | 1       |
| 22.136    | 47.835 | 21.78 | 13.79 | 0.35       | 0.49       | -0.03         | NYIR 11208M001 | 2       |
| 11.280    | 48.086 | 19.63 | 15.66 | 0.05       | 0.06       | 0             | OBE2 14208M003 | 1       |
| 11.280    | 48.086 | 19.62 | 15.66 | 0.05       | 0.06       | 0             | OBER 14208M001 | 1       |
| 11.278    | 48.084 | 19.61 | 16.04 | 0.63       | 0.85       | 0             | OBET 14208M004 | 1       |
| 11.926    | 57.395 | 16.32 | 14.38 | 0.03       | 0.05       | 0.02          | ONSA 10402M004 | 1       |
| 11.926    | 57.395 | 16.32 | 14.37 | 0.03       | 0.04       | 0.02          | ONSA 10402M004 | 2       |
| 20.794    | 41.127 | 23.97 | 11.92 | 0.07       | 0.07       | -0.08         | ORID 15601M001 | 1       |
| 20.671    | 46.555 | 21.45 | 15.72 | 0.12       | 0.16       | -0.02         | OROS 11207M001 | 1       |
| 20.671    | 46.555 | 21.45 | 15.72 | 0.12       | 0.16       | -0.02         | OROS 11207M001 | 2       |
| 18.680    | 45.561 | 21.85 | 15.49 | 0.07       | 0.09       | -0.01         | OSJE 11902M001 | 1       |
| 10.368    | 59.737 | 14.92 | 15.01 | 0.06       | 0.08       | 0             | OSLO 10307M001 | 4       |
| 11.896    | 45.411 | 20.57 | 16.82 | 0.03       | 0.04       | 0             | PADO 12750S001 | 1       |
| 13.443    | 48.568 | 19.67 | 15.19 | 0.06       | 0.08       | 0.01          | PASS 88044S044 | 1       |
| 13.443    | 48.568 | 19.67 | 15.19 | 0.06       | 0.08       | 0.01          | PASS 88044S044 | 2       |
| 11.460    | 47.208 | 19.46 | 16.78 | 0.03       | 0.03       | 0.03          | PATK 11029S001 | 1       |
| 11.460    | 47.208 | 19.46 | 16.82 | 0.03       | 0.03       | 0.03          | PATK 11029S001 | 2       |
| 9.136     | 45.203 | 20.65 | 16.2  | 0.08       | 0.1        | -0.01         | PAVI 99045M045 | 1       |
| 9.136     | 45.203 | 20.65 | 16.2  | 0.08       | 0.1        | 0             | PAVI 99045M045 | 2       |
| 9.136     | 45.203 | 20.64 | 16.2  | 0.08       | 0.1        | 0             | PAVI 99045M045 | 3       |
| 334.337   | 37.748 | 13.94 | 15.81 | 0.22       | 0.22       | -0.04         | PDEL 31906M004 | 1       |
| 334.337   | 37.748 | 13.94 | 15.81 | 0.22       | 0.22       | -0.04         | PDEL 31906M004 | 2       |
| 19.282    | 47.790 | 21.6  | 14.65 | 0.03       | 0.03       | 0.17          | PENC 11206M006 | 1       |
| 19.282    | 47.790 | 21.58 | 14.66 | 0.03       | 0.04       | 0.17          | PENC 11206M006 | 2       |
| 9.785     | 47.515 | 19.81 | 15.73 | 0.03       | 0.03       | 0.02          | PFAN 11005S002 | 1       |
| 9.785     | 47.515 | 19.81 | 15.73 | 0.03       | 0.03       | 0.02          | PFAN 11005S002 | 2       |
| 9.785     | 47.515 | 19.8  | 15.72 | 0.03       | 0.03       | 0.03          | PFAN 11005S002 | 3       |
| 12.933    | 48.429 | 19.95 | 15.66 | 0.07       | 0.09       | 0             | PFRK 88045S045 | 1       |
| 12.933    | 48.429 | 19.94 | 15.66 | 0.07       | 0.09       | 0             | PFRK 88045S045 | 2       |
| 34.543    | 49.603 | 21.9  | 12.97 | 0.1        | 0.13       | 0.07          | POLV 12336M001 | 1       |
| 13.066    | 52.379 | 18.42 | 15.08 | 0.03       | 0.03       | 0.1           | POTS 14106M003 | 1       |
| 11.099    | 43.886 | 21.08 | 17.47 | 0.03       | 0.03       | -0.05         | PRAT 12760M001 | 1       |
| 10.460    | 52.296 | 18.25 | 15.55 | 0.1        | 0.15       | -0.01         | PTBB 14234M001 | 1       |
| 10.460    | 52.296 | 18.24 | 15.55 | 0.1        | 0.15       | -0.01         | PTBB 14234M001 | 2       |
| 10.460    | 52.296 | 18.24 | 15.55 | 0.1        | 0.15       | -0.01         | PTBB 14234M001 | 3       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$  | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|--------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 10.460    | 52.296 | 18.24  | 15.55 | 0.1        | 0.15       | -0.01         | PTBB 14234M001 | 4       |
| 313.952   | 60.715 | -17.56 | 13.32 | 0.19       | 0.25       | 0.05          | QAQ1 43007M001 | 1       |
| 353.146   | 33.998 | 16.23  | 17.89 | 0.09       | 0.09       | 0.19          | RABT 35001M002 | 1       |
| 34.763    | 30.598 | 21.36  | 21.32 | 0.18       | 0.17       | -0.11         | RAMO 20703S001 | 1       |
| 34.763    | 30.598 | 21.36  | 21.32 | 0.18       | 0.17       | -0.11         | RAMO 20703S001 | 2       |
| 34.763    | 30.598 | 21.37  | 21.32 | 0.18       | 0.17       | -0.11         | RAMO 20703S001 | 4       |
| 5.145     | 50.002 | 18.03  | 15.83 | 0.17       | 0.23       | 0.01          | REDU 13102M001 | 1       |
| 338.045   | 64.139 | -10.58 | 19.05 | 0.11       | 0.13       | 0             | REYK 10202M001 | 1       |
| 338.045   | 64.139 | -10.58 | 19.05 | 0.11       | 0.13       | 0.01          | REYK 10202M001 | 2       |
| 338.045   | 64.139 | -10.59 | 19.05 | 0.11       | 0.13       | 0.01          | REYK 10202M001 | 3       |
| 13.486    | 48.203 | 21.59  | 16.04 | 0.04       | 0.04       | 0.04          | RIED 88048M048 | 1       |
| 24.059    | 56.949 | 19.41  | 13.29 | 0.04       | 0.06       | 0.07          | RIGA 12302M002 | 1       |
| 24.059    | 56.949 | 19.41  | 13.29 | 0.04       | 0.06       | 0.07          | RIGA 12302M002 | 2       |
| 24.059    | 56.949 | 19.41  | 13.29 | 0.05       | 0.06       | 0.07          | RIGA 12302M002 | 3       |
| 13.995    | 48.570 | 19.83  | 15.53 | 0.05       | 0.06       | 0.01          | ROHR 88049M049 | 1       |
| 13.995    | 48.570 | 19.83  | 15.53 | 0.05       | 0.07       | 0.01          | ROHR 88049M049 | 2       |
| 12.107    | 47.868 | 20.17  | 15.25 | 0.05       | 0.06       | 0.02          | ROSE 88050S050 | 1       |
| 11.042    | 45.894 | 21.47  | 16.09 | 2.26       | 2.98       | 0.02          | ROVE 12774M001 | 1       |
| 14.343    | 47.525 | 20.22  | 15.28 | 0.03       | 0.03       | 0.08          | RTMN 99050M050 | 1       |
| 9.507     | 46.983 | 19.76  | 15.21 | 0.04       | 0.05       | 0             | SARG 88051M051 | 1       |
| 13.643    | 54.514 | 17.91  | 14.67 | 0.2        | 0.3        | 0             | SASS 14281M001 | 1       |
| 13.643    | 54.514 | 17.91  | 14.67 | 0.2        | 0.3        | 0             | SASS 14281M001 | 2       |
| 13.110    | 47.803 | 20.59  | 15.57 | 0.03       | 0.03       | 0.08          | SBGZ 11031S001 | 1       |
| 13.110    | 47.803 | 20.59  | 15.57 | 0.03       | 0.03       | 0.07          | SBGZ 11031S001 | 2       |
| 12.291    | 45.230 | 19.25  | 16.94 | 0.05       | 0.06       | 0             | SFEL 99053M053 | 1       |
| 12.291    | 45.230 | 19.25  | 16.94 | 0.05       | 0.06       | 0.01          | SFEL 99053M053 | 2       |
| 353.794   | 36.464 | 15.32  | 17.22 | 0.14       | 0.15       | 0.07          | SFER 13402M004 | 1       |
| 353.794   | 36.464 | 15.31  | 17.21 | 0.14       | 0.15       | 0.07          | SFER 13402M004 | 2       |
| 353.794   | 36.464 | 15.3   | 17.21 | 0.14       | 0.15       | 0.07          | SFER 13402M004 | 3       |
| 4.677     | 45.879 | 19.01  | 15.87 | 0.09       | 0.12       | 0             | SJDV 10090M001 | 1       |
| 4.677     | 45.879 | 19.01  | 15.87 | 0.09       | 0.12       | 0             | SJDV 10090M001 | 2       |
| 21.048    | 64.879 | 16.31  | 14.65 | 0.15       | 0.22       | -0.01         | SKE0 10426M001 | 1       |
| 9.559     | 55.641 | 16.43  | 15.33 | 0.12       | 0.17       | 0             | SMID 10114M001 | 1       |
| 26.389    | 67.421 | 16.79  | 13.31 | 0.05       | 0.06       | 0.01          | SODA 10513M001 | 1       |
| 23.395    | 42.556 | 23.66  | 12.23 | 0.07       | 0.07       | -0.01         | SOFI 11101M002 | 1       |
| 23.395    | 42.556 | 23.66  | 12.24 | 0.07       | 0.07       | -0.01         | SOFI 11101M002 | 2       |
| 12.958    | 47.054 | 23.43  | 17.77 | 0.07       | 0.09       | 0             | SONN 88064S064 | 1       |
| 12.958    | 47.054 | 23.42  | 17.77 | 0.07       | 0.09       | 0             | SONN 88064S064 | 2       |
| 12.891    | 57.715 | 16.58  | 14.32 | 0.1        | 0.15       | 0.01          | SPT0 10425M001 | 1       |
| 18.414    | 43.868 | 22.74  | 16.5  | 0.11       | 0.13       | -0.03         | SRJV 11801S001 | 1       |
| 5.599     | 59.018 | 14.34  | 15.44 | 0.05       | 0.06       | -0.03         | STAS 10330M001 | 1       |
| 9.346     | 47.442 | 19.96  | 16.21 | 0.04       | 0.05       | 0.01          | STGA 88065M065 | 1       |

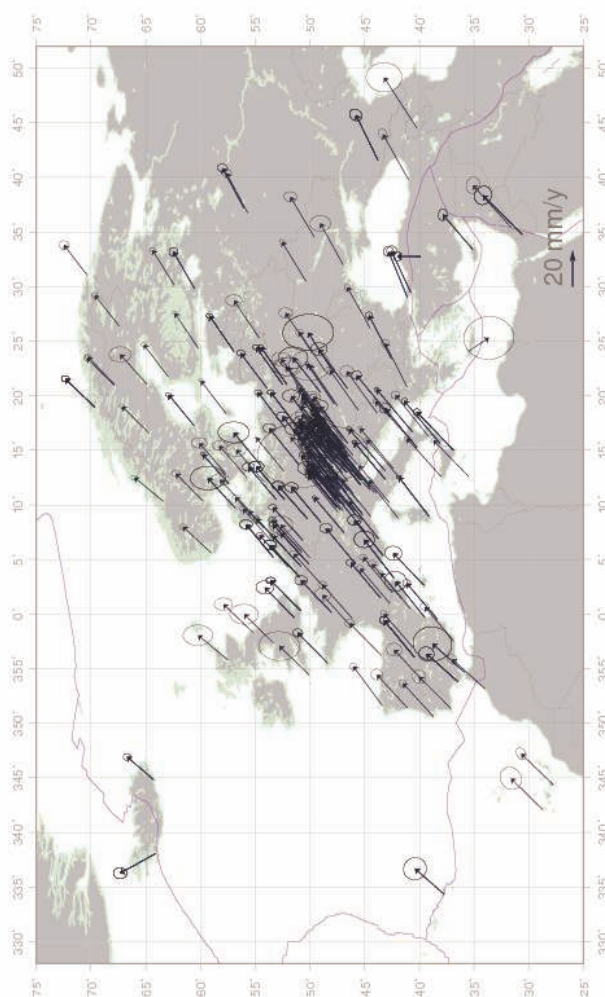
| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$  | $V_n$  | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|--------|--------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 15.633    | 48.203 | 20.7   | 15.41  | 0.03       | 0.03       | 0.09          | STPO 11041S001 | 1       |
| 15.633    | 48.203 | 20.68  | 15.43  | 0.03       | 0.03       | 0.1           | STPO 11041S001 | 2       |
| 9.742     | 56.842 | 16.16  | 14.88  | 0.23       | 0.34       | 0             | SULD 10113M001 | 1       |
| 9.742     | 56.842 | 16.16  | 14.88  | 0.23       | 0.34       | 0             | SULD 10113M001 | 2       |
| 24.014    | 49.836 | 21.24  | 14.24  | 0.1        | 0.13       | 0             | SULP 12366M001 | 1       |
| 29.781    | 60.533 | 20.25  | 11.57  | 0.08       | 0.08       | -0.02         | SVTL 12350M001 | 1       |
| 29.781    | 60.533 | 20.25  | 11.57  | 0.08       | 0.09       | -0.02         | SVTL 12350M001 | 2       |
| 5.219     | 53.363 | 17.87  | 14.69  | 0.09       | 0.13       | -0.01         | TERS 13534M001 | 1       |
| 5.219     | 53.363 | 17.86  | 14.69  | 0.09       | 0.12       | -0.01         | TERS 13534M001 | 3       |
| 5.219     | 53.363 | 17.86  | 14.69  | 0.09       | 0.12       | -0.01         | TERS 13534M001 | 4       |
| 15.651    | 38.108 | 23.13  | 19.53  | 0.05       | 0.06       | -0.2          | TGRC 99061M061 | 1       |
| 15.651    | 38.108 | 23.14  | 19.53  | 0.05       | 0.05       | -0.21         | TGRC 99061M061 | 2       |
| 291.212   | 76.537 | -21.28 | 3.93   | 0.19       | 0.17       | 0.17          | THU1 43001M001 | 1       |
| 291.175   | 76.537 | -22.73 | 3.31   | 0.22       | 0.23       | 0.16          | THU3 43001M002 | 1       |
| 15.724    | 40.601 | 22.46  | 20.47  | 0.05       | 0.05       | -0.14         | TITO 99062M062 | 1       |
| 1.481     | 43.561 | 19.25  | 16.25  | 0.07       | 0.09       | 0.01          | TLSE 10003M009 | 1       |
| 7.661     | 45.063 | 19.66  | 16.13  | 0.03       | 0.03       | -0.03         | TORI 12724M002 | 1       |
| 1.481     | 43.561 | 19.25  | 16.25  | 0.07       | 0.09       | 0.01          | TOUL 10003M004 | 1       |
| 39.776    | 40.995 | 24.86  | 13.92  | 0.1        | 0.08       | 0.24          | TRAB 20808M001 | 1       |
| 10.319    | 63.371 | 12.99  | 15.88  | 0.05       | 0.06       | -0.03         | TRDS 10331M001 | 1       |
| 14.464    | 46.861 | 20.63  | 16.9   | 0.07       | 0.09       | 0             | TRE1 88067S067 | 1       |
| 14.464    | 46.861 | 20.63  | 16.9   | 0.07       | 0.09       | 0             | TRE2 88068S068 | 1       |
| 15.859    | 47.928 | 21.74  | 15.77  | 0.05       | 0.07       | 0.03          | TRFB 11047M001 | 1       |
| 13.764    | 45.710 | 20.33  | 17.75  | 0.08       | 0.1        | 0             | TRIE 12718M003 | 1       |
| 18.940    | 69.663 | 15.59  | 16.02  | 0.06       | 0.08       | 0.07          | TRO1 10302M006 | 1       |
| 18.940    | 69.663 | 15.59  | 16.02  | 0.06       | 0.08       | 0.07          | TRO1 10302M006 | 2       |
| 18.940    | 69.663 | 15.59  | 16.02  | 0.06       | 0.08       | 0.07          | TRO1 10302M006 | 3       |
| 18.940    | 69.663 | 15.58  | 16.02  | 0.06       | 0.08       | 0.07          | TRO1 10302M006 | 4       |
| 29.451    | 40.787 | 22.74  | 10.42  | 0.1        | 0.1        | 0.01          | TUBI 20806M001 | 1       |
| 29.451    | 40.787 | 22.72  | 10.43  | 0.1        | 0.1        | 0.01          | TUBI 20806M001 | 2       |
| 16.593    | 49.206 | 20.32  | 15.03  | 0.12       | 0.17       | -0.03         | TUBO 11503M001 | 1       |
| 16.593    | 49.206 | 20.32  | 15.03  | 0.12       | 0.17       | -0.03         | TUBO 11503M001 | 2       |
| 24.071    | 35.533 | 7.3    | -11.18 | 0.42       | 0.48       | -0.03         | TUC2 12617M003 | 1       |
| 12.356    | 43.119 | 20.19  | 16.85  | 0.04       | 0.04       | -0.05         | UNPG 12752M001 | 1       |
| 12.356    | 43.119 | 20.18  | 16.85  | 0.04       | 0.04       | -0.05         | UNPG 12752M001 | 2       |
| 12.356    | 43.119 | 20.18  | 16.85  | 0.04       | 0.04       | -0.05         | UNPG 12752M001 | 3       |
| 11.878    | 45.407 | 20.58  | 16.87  | 0.03       | 0.04       | 0             | UPAD 12750M002 | 1       |
| 11.878    | 45.407 | 20.58  | 16.87  | 0.03       | 0.04       | 0             | UPAD 12750M002 | 2       |
| 22.298    | 48.632 | 21.09  | 14.01  | 0.06       | 0.07       | 0.06          | UZHL 12301M001 | 1       |
| 21.771    | 62.961 | 17.36  | 13.32  | 0.04       | 0.05       | 0             | VAAS 10511M001 | 1       |
| 359.662   | 39.481 | 19.91  | 16.02  | 0.19       | 0.22       | 0.04          | VALE 13439M001 | 1       |
| 359.662   | 39.481 | 19.91  | 16.02  | 0.19       | 0.22       | 0.04          | VALE 13439M001 | 2       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 31.031    | 70.336 | 16.48 | 12.66 | 0.08       | 0.1        | 0.05          | VARD 10322M002 | 3       |
| 12.332    | 45.437 | 21.27 | 16.53 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | VEVE 12741M001 | 1       |
| 12.332    | 45.437 | 21.28 | 16.53 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | VEVE 12741M001 | 2       |
| 12.332    | 45.437 | 21.28 | 16.52 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | VEVE 12741M001 | 3       |
| 16.560    | 64.698 | 14.68 | 14.85 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | VIL0 10424M001 | 1       |
| 13.850    | 46.607 | 21.17 | 16.15 | 0.03       | 0.03       | 0.06          | VIL1 88080M080 | 1       |
| 13.850    | 46.607 | 21.14 | 16.2  | 0.03       | 0.03       | 0.06          | VILH 99069M069 | 1       |
| 356.048   | 40.444 | 20.23 | 16.57 | 0.08       | 0.08       | 0.04          | VILL 13406M001 | 1       |
| 356.048   | 40.444 | 20.23 | 16.57 | 0.08       | 0.08       | 0.04          | VILL 13406M001 | 2       |
| 356.048   | 40.444 | 20.22 | 16.57 | 0.08       | 0.08       | 0.04          | VILL 13406M001 | 3       |
| 356.048   | 40.444 | 20.22 | 16.57 | 0.08       | 0.08       | 0.04          | VILL 13406M001 | 4       |
| 18.367    | 57.654 | 18.01 | 13.7  | 0.03       | 0.04       | 0.06          | VIS0 10423M001 | 1       |
| 13.850    | 46.607 | 21.14 | 16.12 | 0.03       | 0.03       | 0.05          | VLCH 11036S001 | 1       |
| 13.850    | 46.607 | 21.16 | 16.14 | 0.03       | 0.03       | 0.05          | VLCH 11036S001 | 2       |
| 14.626    | 46.661 | 21.51 | 16.1  | 0.03       | 0.04       | 0.05          | VLKM 11040S001 | 1       |
| 14.626    | 46.661 | 21.5  | 16.1  | 0.03       | 0.04       | 0.05          | VLKM 11040S001 | 2       |
| 25.299    | 54.653 | 20.45 | 13.6  | 0.11       | 0.16       | -0.01         | VLNS 10801M001 | 1       |
| 15.266    | 40.231 | 21.45 | 17.43 | 0.09       | 0.11       | -0.05         | VLUC 99070M070 | 1       |
| 15.266    | 40.231 | 21.44 | 17.43 | 0.09       | 0.11       | -0.05         | VLUC 99070M070 | 2       |
| 11.911    | 45.385 | 20.46 | 17.41 | 0.12       | 0.15       | 0             | VOLT 99071M071 | 1       |
| 11.911    | 45.385 | 20.46 | 17.41 | 0.12       | 0.15       | 0             | VOLT 99071M071 | 2       |
| 11.911    | 45.385 | 20.46 | 17.41 | 0.12       | 0.15       | 0             | VOLT 99071M071 | 3       |
| 5.245     | 50.690 | 17.85 | 15.92 | 0.06       | 0.08       | 0.01          | WARE 13114M001 | 1       |
| 5.245     | 50.690 | 17.85 | 15.92 | 0.06       | 0.08       | 0.01          | WARE 13114M001 | 2       |
| 5.245     | 50.690 | 17.85 | 15.92 | 0.06       | 0.08       | 0.01          | WARE 13114M001 | 3       |
| 12.101    | 54.170 | 17.58 | 15.33 | 0.13       | 0.19       | 0.01          | WARN 14277M002 | 1       |
| 14.021    | 48.158 | 20.28 | 16.09 | 0.03       | 0.03       | 0.07          | WELS 11044S001 | 1       |
| 16.373    | 48.219 | 20.84 | 15.1  | 0.11       | 0.15       | 0             | WIEB 88069M069 | 1       |
| 16.373    | 48.219 | 22.89 | 14.69 | 0.03       | 0.04       | 0.1           | WIEN 11035S001 | 1       |
| 16.373    | 48.219 | 22.88 | 14.64 | 0.03       | 0.04       | 0.11          | WIEN 11035S001 | 2       |
| 14.302    | 47.723 | 19.12 | 14.84 | 0.11       | 0.15       | 0             | WIND 88070S070 | 1       |
| 14.302    | 47.723 | 19.13 | 14.84 | 0.11       | 0.15       | 0             | WIND 88070S070 | 2       |
| 17.062    | 51.113 | 19.45 | 14.75 | 0.05       | 0.07       | 0.02          | WROC 12217M001 | 1       |
| 17.062    | 51.113 | 19.45 | 14.75 | 0.05       | 0.06       | 0.02          | WROC 12217M001 | 2       |
| 17.062    | 51.113 | 19.45 | 14.75 | 0.05       | 0.07       | 0.02          | WROC 12217M001 | 3       |
| 10.416    | 47.602 | 19.9  | 15.77 | 0.05       | 0.07       | 0.02          | WRTH 88071S071 | 1       |
| 10.416    | 47.602 | 19.9  | 15.77 | 0.05       | 0.07       | 0.02          | WRTH 88071S071 | 2       |
| 6.605     | 52.915 | 17.05 | 16.1  | 0.03       | 0.04       | 0.02          | WSRT 13506M005 | 1       |
| 12.879    | 49.144 | 19.64 | 15.47 | 0.03       | 0.03       | 0.1           | WTZR 14201M010 | 1       |
| 356.911   | 40.525 | 18.65 | 16.26 | 0.05       | 0.06       | 0.09          | YEVE 13420M001 | 1       |
| 41.565    | 43.788 | 24.74 | 12.04 | 0.12       | 0.12       | 0.18          | ZECK 12351M001 | 1       |

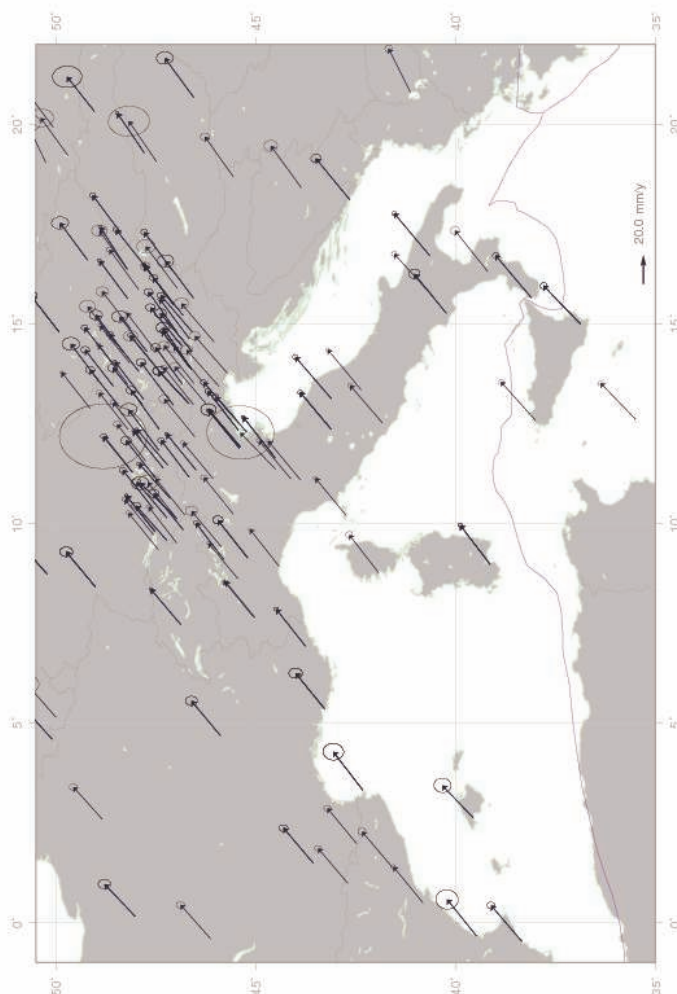


| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 41.565    | 43.788 | 24.74 | 12.04 | 0.12       | 0.12       | 0.18          | ZECK 12351M001 | 2       |
| 41.565    | 43.788 | 24.74 | 12.04 | 0.12       | 0.12       | 0.18          | ZECK 12351M001 | 3       |
| 7.465     | 46.877 | 19.27 | 16.32 | 0.03       | 0.04       | -0.02         | ZIMM 14001M004 | 1       |
| 7.465     | 46.877 | 19.27 | 16.32 | 0.03       | 0.04       | -0.02         | ZIMM 14001M004 | 2       |
| 12.974    | 46.557 | 20.39 | 16.31 | 0.04       | 0.05       | 0.02          | ZOUF 12763M001 | 1       |
| 36.759    | 55.699 | 21.76 | 11.48 | 0.07       | 0.1        | 0.08          | ZWEN 12330M001 | 1       |
| 19.206    | 49.687 | 20.67 | 14.95 | 0.18       | 0.24       | -0.02         | ZYWI 12220S001 | 1       |

### Visualizzazione del campo di velocità ITRF2005



Campo di velocità ITRF2005



Campo di velocità ITRF2005, regione mediterranea.

### Allineamento del campo con ITRF2005

Una misura dell'allineamento del sistema di riferimento combinato è fornito dai residui delle velocità relativi ai siti comuni alla soluzione multianno EGU e alla soluzione ITRF2005. Il numero di siti comuni alle due soluzioni è 29. Osserviamo che 14 di essi sono stati usati nella definizione del sistema di riferimento, e quindi i residui non sono pienamente indicativi del livello di allineamento delle due soluzioni. la seguente tabella riassume i risultati:

| Sito           | $\Delta V_e mm/yr$ | $\Delta V_n mm/yr$ | Sito fiduciario |
|----------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| MATE 12734M008 | 0.09               | 0.04               | NO              |
| NYA1 10317M003 | -1.14              | 0.23               | NO              |
| GLSV 12356M001 | -0.63              | 0.21               | SI              |
| PDEL 31906M004 | 1.23               | -0.30              | NO              |
| QAQ1 43007M001 | -0.93              | -0.73              | NO              |
| NICO 14302M001 | -0.20              | 0.57               | NO              |
| REYK 10202M001 | 0.13               | -0.52              | NO              |
| WTZR 14201M010 | -0.51              | -0.20              | NO              |
| TRAB 20808M001 | -0.38              | 0.11               | SI              |
| SFER 13402M004 | 1.79               | -0.09              | NO              |
| GRAS 10002M006 | 0.25               | -0.42              | SI              |
| THU3 43001M002 | -1.05              | -1.56              | NO              |
| WSRT 13506M005 | -0.33              | -0.21              | NO              |
| VILL 13406M001 | 0.53               | -0.10              | NO              |
| POLV 12336M001 | -0.78              | 0.31               | NO              |
| CAGL 12725M003 | -0.04              | 0.20               | NO              |
| RABT 35001M002 | 0.13               | -0.20              | SI              |
| BRUS 13101M004 | -0.09              | -0.20              | SI              |
| RAMO 20703S001 | -0.30              | 0.96               | NO              |
| TRO1 10302M006 | 1.19               | 0.53               | SI              |
| POTS 14106M003 | -0.42              | -0.07              | SI              |
| METS 10503S011 | -0.68              | -0.09              | SI              |
| NOT1 12717M004 | -0.09              | 0.50               | SI              |
| BOR1 12205M002 | -0.41              | -0.15              | NO              |
| ZIMM 14001M004 | -0.34              | 0.20               | SI              |
| ONSA 10402M004 | -0.51              | -0.18              | NO              |
| JOZE 12204M001 | -0.21              | -0.01              | SI              |
| MAS1 31303M002 | 0.64               | -0.44              | SI              |
| HOFN 10204M002 | -0.21              | -0.42              | SI              |

I valori medi dei residui delle componenti est e nord per l'insieme dei siti presenti nella precedente tabella sono:

| Est (mm/yr) | Nord (mm/yr) |
|-------------|--------------|
| -0.11       | -0.07        |

Possiamo perciò affermare che, dal punto di vista delle velocità, il sistema di riferimento combinato è consistente con ITRF a livello di  $0.1 \text{ mm/yr}$ .

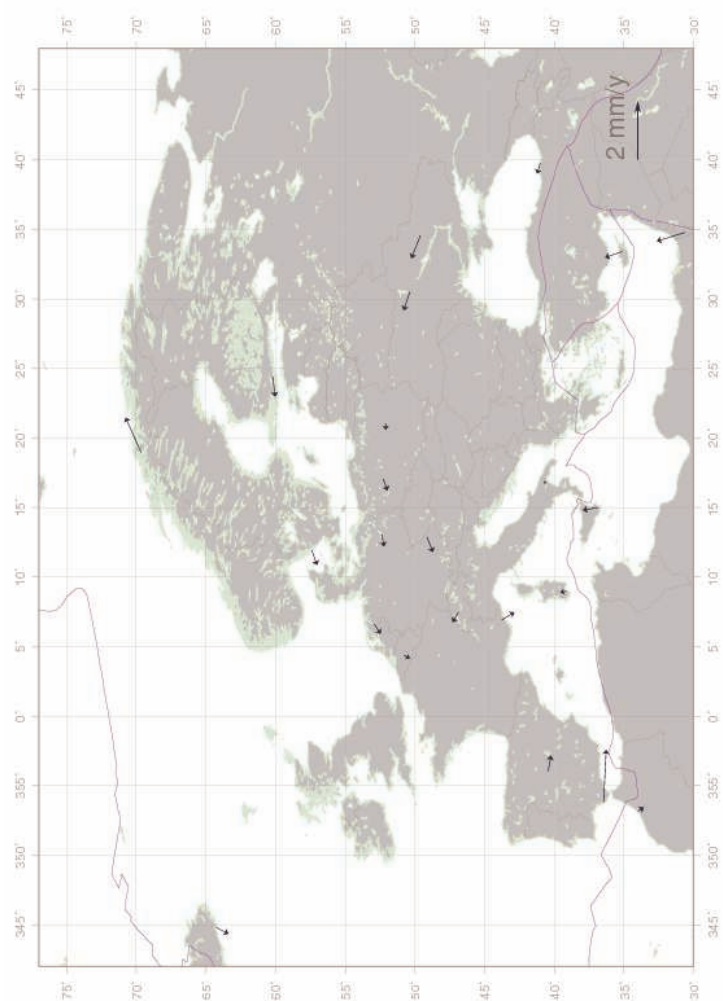


Figura 9.3: Velocità residue per i siti comuni alle soluzioni EGU e ITRF2005

### 9.4.3 Effetto del termine annuale.

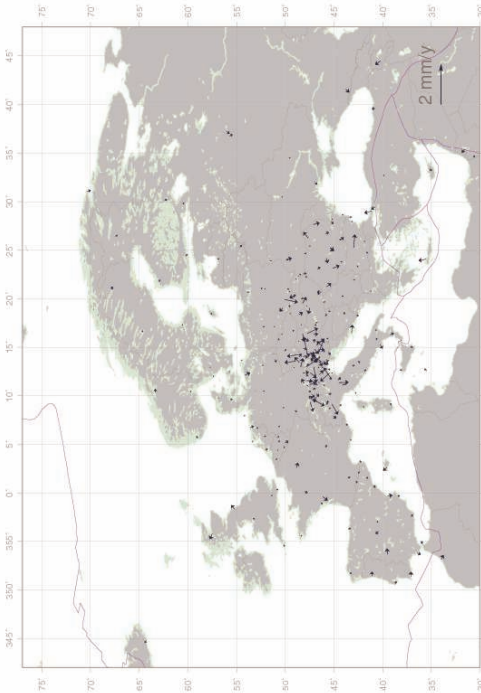
Le serie storiche dei residui di alcuni siti possono presentare un termine annuale, la cui origine è sconosciuta, che viene talvolta imputato ad errori presenti nelle orbite IGS oppure ad effetti atmosferici annuali. CATREF permette di correggere l'effetto di questo termine annuale sulla stima della velocità dei siti. L'equazione che modella questo effetto è una senoide. Per ciascuna componente topocentrica, quindi, la correzione da apportare ha la forma:

$$de = A_e \cos(2\pi f(t - t_0) + \phi_e) \quad (9.20)$$

$$dn = A_n \cos(2\pi f(t - t_0) + \phi_n) \quad (9.21)$$

$$dh = A_h \cos(2\pi f(t - t_0) + \phi_h) \quad (9.22)$$

dove  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{365.25}$  e i parametri  $A_{e,n,h}$  e  $\phi_{e,n,h}$  vengono stimate tramite un fit dei residui. L'effetto del termine annuale dipende dall'intervallo temporale su cui si estende la serie storica: per intervalli di tempo superiori a 2.5 anni ([47]), l'errore dovuto al termine annuale è trascurabile. Possiamo stimarlo empiricamente calcolando le velocità residue di una soluzione ottenuta applicando le correzioni date dalle eq. (9.20) con una soluzione ottenuta senza applicare tali correzioni. Il campo di velocità residuo è visualizzato dalla figura seguente.



Confronto tra due soluzioni che differiscono per la correzione del termine annuale. L'intervallo temporale minimo considerato è sufficiente perchè l'effetto sinusoidale sia reso trascurabile

La media delle velocità residue è di 0.01 mm/yr per la componente est e di -0.06

mm/yr per la componente nord. Riportiamo i valori stimati dell'ampiezza e della fase del termine annuale:

| Domes code | $A_e$ mm | $\phi_e$ grad | $A_n$ mm | $\phi_n$ grad | $A_h$ mm | $\phi_h$ grad |
|------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 12767M001  | 0.63     | 127.09        | 0.47     | 235.10        | 0.91     | 322.75        |
| 13434M001  | 0.61     | 33.96         | 1.16     | 127.68        | 1.86     | 220.34        |
| 12766M001  | 2.32     | 234.47        | 0.36     | 189.73        | 0.86     | 270.52        |
| 10077M005  | 0.24     | 83.26         | 0.61     | 307.03        | 1.54     | 289.65        |
| 13433M001  | 0.24     | 36.71         | 0.63     | 49.09         | 1.36     | 261.44        |
| 13437M001  | 0.22     | 8.72          | 0.58     | 20.27         | 1.42     | 295.61        |
| 88001S001  | 0.30     | 178.10        | 0.88     | 195.13        | 1.79     | 356.38        |
| 20805M002  | 0.51     | 117.77        | 1.81     | 269.05        | 0.75     | 360.00        |
| 12757M001  | 0.30     | 247.33        | 0.44     | 264.38        | 0.64     | 99.67         |
| 88002M002  | 0.14     | 105.17        | 0.46     | 181.77        | 3.46     | 13.74         |
| 88003S003  | 0.55     | 175.34        | 0.24     | 111.03        | 1.09     | 10.80         |
| 88004S004  | 0.36     | 344.44        | 1.36     | 177.58        | 1.78     | 342.30        |
| 13431M001  | 0.52     | 56.38         | 1.08     | 128.15        | 3.06     | 235.66        |
| 88005M005  | 1.28     | 155.28        | 1.16     | 201.80        | 2.90     | 63.85         |
| 88006S006  | 0.97     | 160.37        | 0.79     | 210.03        | 2.65     | 156.66        |
| 12207M003  | 0.38     | 337.84        | 0.23     | 167.01        | 1.32     | 266.82        |
| 12207M002  | 0.08     | 138.01        | 0.19     | 3.05          | 1.87     | 23.33         |
| 12771M001  | 2.66     | 329.22        | 0.78     | 121.48        | 3.75     | 219.02        |
| 12205M002  | 0.45     | 95.93         | 0.22     | 102.05        | 0.63     | 61.47         |
| 14268M001  | 0.51     | 263.70        | 1.45     | 172.03        | 1.15     | 307.55        |
| 88008S008  | 1.04     | 11.06         | 1.62     | 311.04        | 1.28     | 185.05        |
| 99004M004  | 0.21     | 77.77         | 0.32     | 138.32        | 1.15     | 154.30        |
| 12762M001  | 0.93     | 20.32         | 1.84     | 174.66        | 0.83     | 329.94        |
| 10004M004  | 0.47     | 332.75        | 0.37     | 170.47        | 1.24     | 240.92        |
| 13101M004  | 0.65     | 357.35        | 0.41     | 97.66         | 1.65     | 353.43        |
| 11401M001  | 0.11     | 97.41         | 0.59     | 168.94        | 1.29     | 91.63         |
| 10101M003  | 0.20     | 353.58        | 0.33     | 62.73         | 0.96     | 318.38        |
| 11209M001  | 2.12     | 159.00        | 0.37     | 270.21        | 2.18     | 133.68        |
| 12751M001  | 0.43     | 31.03         | 1.21     | 346.99        | 2.21     | 189.44        |
| 13447M001  | 1.17     | 8.60          | 0.37     | 133.42        | 1.52     | 174.77        |
| 12725M003  | 0.83     | 136.50        | 0.75     | 147.21        | 1.14     | 286.68        |
| 12725M004  | 1.13     | 133.20        | 0.96     | 184.35        | 1.88     | 319.39        |
| 12754M001  | 0.19     | 53.04         | 0.39     | 239.60        | 1.02     | 31.60         |
| 13438M001  | 0.30     | 17.15         | 1.04     | 144.43        | 1.15     | 241.52        |
| 13909S001  | 0.37     | 47.55         | 0.76     | 125.90        | 0.90     | 209.00        |
| 99009M009  | 0.69     | 128.76        | 0.04     | 242.67        | 2.71     | 279.62        |
| 13449M001  | 0.91     | 82.29         | 1.34     | 120.36        | 0.59     | 20.02         |
| 10020M001  | 2.16     | 161.75        | 2.21     | 159.78        | 1.84     | 317.95        |
| 12761M001  | 2.06     | 139.16        | 0.66     | 189.68        | 1.13     | 161.35        |

| Domes code | $A_e$ mm | $\phi_e$ grad | $A_n$ mm | $\phi_n$ grad | $A_h$ mm | $\phi_h$ grad |
|------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 99011M011  | 0.43     | 236.50        | 1.17     | 331.55        | 4.86     | 239.04        |
| 13432M001  | 0.28     | 170.74        | 0.81     | 196.98        | 1.42     | 267.89        |
| 13208S001  | 0.58     | 231.50        | 0.60     | 81.11         | 2.58     | 301.11        |
| 88010M010  | 0.20     | 84.25         | 0.41     | 194.47        | 1.48     | 38.70         |
| 13502M004  | 0.08     | 296.42        | 1.45     | 149.38        | 1.33     | 226.84        |
| 13112M001  | 0.93     | 330.96        | 0.50     | 103.74        | 0.83     | 291.58        |
| 88012S012  | 0.56     | 75.07         | 1.38     | 206.93        | 1.98     | 22.85         |
| 13113M001  | 0.07     | 282.27        | 0.58     | 93.53         | 1.13     | 30.21         |
| 20710S001  | 0.66     | 223.65        | 1.84     | 316.43        | 1.83     | 267.15        |
| 14108M001  | 2.09     | 163.59        | 0.71     | 132.22        | 1.89     | 77.36         |
| 11901M001  | 0.96     | 295.87        | 0.98     | 136.53        | 0.52     | 107.16        |
| 13410M001  | 2.28     | 149.91        | 1.03     | 169.75        | 1.98     | 295.34        |
| 13533M001  | 0.07     | 94.86         | 0.96     | 154.95        | 1.39     | 32.46         |
| 12721M002  | 0.11     | 116.82        | 0.31     | 309.01        | 0.41     | 104.51        |
| 13435M001  | 1.44     | 304.08        | 0.58     | 202.19        | 2.81     | 147.13        |
| 14258M003  | 0.59     | 246.69        | 0.41     | 170.96        | 1.50     | 70.60         |
| 88014S014  | 0.33     | 155.43        | 2.51     | 179.60        | 0.93     | 263.09        |
| 88015S015  | 0.67     | 350.37        | 1.77     | 173.72        | 0.95     | 21.48         |
| 88016S016  | 0.46     | 74.79         | 0.30     | 189.45        | 0.83     | 173.43        |
| 88017S017  | 1.42     | 360.00        | 2.66     | 168.42        | 0.40     | 40.98         |
| 88018S018  | 0.47     | 84.48         | 0.81     | 182.03        | 0.76     | 306.82        |
| 13902M001  | 0.79     | 321.62        | 0.29     | 129.05        | 2.07     | 194.18        |
| 11515M001  | 0.40     | 156.69        | 0.75     | 37.82         | 1.54     | 9.32          |
| 12712M002  | 0.56     | 346.12        | 0.72     | 331.19        | 0.74     | 190.25        |
| 12356M001  | 1.15     | 140.19        | 1.31     | 195.00        | 2.29     | 107.39        |
| 88019M019  | 0.44     | 44.58         | 1.92     | 184.99        | 1.35     | 7.81          |
| 11502M002  | 0.49     | 56.46         | 0.34     | 205.14        | 0.75     | 333.43        |
| 88020M020  | 0.51     | 157.74        | 1.27     | 200.09        | 0.63     | 158.63        |
| 88021M021  | 0.18     | 209.92        | 0.33     | 212.36        | 1.55     | 117.18        |
| 10002M006  | 0.10     | 313.57        | 0.40     | 283.13        | 0.94     | 302.30        |
| 11001M002  | 0.28     | 171.89        | 0.19     | 237.14        | 0.97     | 88.31         |
| 88023S023  | 1.60     | 357.44        | 0.92     | 176.06        | 1.77     | 71.37         |
| 14501M001  | 0.38     | 89.20         | 0.65     | 223.16        | 0.43     | 190.85        |
| 11045M001  | 1.24     | 151.38        | 3.08     | 189.61        | 3.34     | 354.35        |
| 14264M001  | 0.64     | 271.58        | 0.52     | 347.51        | 1.37     | 246.75        |
| 13212M007  | 0.94     | 184.64        | 0.44     | 133.18        | 1.15     | 313.65        |
| 13212M010  | 0.84     | 307.26        | 0.81     | 139.65        | 0.28     | 54.82         |
| 11006S003  | 1.30     | 297.11        | 3.88     | 292.46        | 3.05     | 28.05         |
| 11039S001  | 0.55     | 70.71         | 0.90     | 233.40        | 3.27     | 351.71        |
| 14202M003  | 0.70     | 208.66        | 0.50     | 34.83         | 1.18     | 17.56         |
| 10204M002  | 0.96     | 101.24        | 1.20     | 318.59        | 3.51     | 7.71          |
| 12724S001  | 1.01     | 4.19          | 0.23     | 355.87        | 0.48     | 70.28         |

| Domes code | $A_e$ mm | $\phi_e$ grad | $A_n$ mm | $\phi_n$ grad | $A_h$ mm | $\phi_h$ grad |
|------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 99025M025  | 3.06     | 336.82        | 0.96     | 353.74        | 0.78     | 331.77        |
| 13221S001  | 1.33     | 181.71        | 0.80     | 8.74          | 2.73     | 281.90        |
| 20807M001  | 0.14     | 97.51         | 2.09     | 297.78        | 2.19     | 106.29        |
| 10512M001  | 0.40     | 336.51        | 0.56     | 91.56         | 1.86     | 59.93         |
| 12204M002  | 0.11     | 39.47         | 0.68     | 193.41        | 1.21     | 215.42        |
| 12204M001  | 0.58     | 347.99        | 0.57     | 178.72        | 1.54     | 5.89          |
| 14216M001  | 1.34     | 167.59        | 1.45     | 163.91        | 1.20     | 48.02         |
| 12219S001  | 0.57     | 149.70        | 0.70     | 299.04        | 1.08     | 89.41         |
| 10422M001  | 0.84     | 341.70        | 0.65     | 92.93         | 1.46     | 179.31        |
| 10403M002  | 1.14     | 322.34        | 0.58     | 50.27         | 1.65     | 3.33          |
| 88076M076  | 0.37     | 109.66        | 0.82     | 219.23        | 2.21     | 308.97        |
| 88025S025  | 0.56     | 74.59         | 0.85     | 240.27        | 2.30     | 42.91         |
| 14214M002  | 0.36     | 239.55        | 0.29     | 126.64        | 1.73     | 14.42         |
| 88077M077  | 2.19     | 23.05         | 0.88     | 0.00          | 3.98     | 0.08          |
| 88078M078  | 2.78     | 355.31        | 0.96     | 226.18        | 0.86     | 293.44        |
| 88079M079  | 2.66     | 353.05        | 1.12     | 239.62        | 0.82     | 90.33         |
| 88027M027  | 0.45     | 312.89        | 0.90     | 329.15        | 1.91     | 356.37        |
| 88028S028  | 0.21     | 209.25        | 0.57     | 167.83        | 4.58     | 23.97         |
| 13504M003  | 0.74     | 321.08        | 0.50     | 79.75         | 0.92     | 68.40         |
| 12218M001  | 0.75     | 176.48        | 2.63     | 174.37        | 0.55     | 142.76        |
| 11043S001  | 0.27     | 15.92         | 0.17     | 286.76        | 1.77     | 342.50        |
| 11038S001  | 0.74     | 95.36         | 0.88     | 219.42        | 2.05     | 337.75        |
| 13903M001  | 0.63     | 8.54          | 0.39     | 121.91        | 0.93     | 265.52        |
| 12209M001  | 0.30     | 173.84        | 0.04     | 44.81         | 0.79     | 157.75        |
| 12706M002  | 0.11     | 206.33        | 0.31     | 228.17        | 1.90     | 309.74        |
| 88030S030  | 0.58     | 150.32        | 0.99     | 316.90        | 1.84     | 27.36         |
| 12768M001  | 0.28     | 47.37         | 0.35     | 196.00        | 2.58     | 195.28        |
| 88031S031  | 0.28     | 323.69        | 1.04     | 177.31        | 2.04     | 23.63         |
| 88033S033  | 0.63     | 131.47        | 1.00     | 208.13        | 1.73     | 6.05          |
| 88035S035  | 0.62     | 37.08         | 0.45     | 283.48        | 1.81     | 330.97        |
| 88075M075  | 0.48     | 313.87        | 2.79     | 203.26        | 6.67     | 4.76          |
| 88036S036  | 0.68     | 360.00        | 0.96     | 165.54        | 1.43     | 360.00        |
| 11033S001  | 0.71     | 130.18        | 0.18     | 335.49        | 0.73     | 162.20        |
| 13436M001  | 0.44     | 86.39         | 0.23     | 284.35        | 1.84     | 332.53        |
| 81701M001  | 1.27     | 122.99        | 1.98     | 127.79        | 1.80     | 123.95        |
| 10023M001  | 0.38     | 245.35        | 0.51     | 6.60          | 1.47     | 313.59        |
| 13444M001  | 0.83     | 181.01        | 0.63     | 27.69         | 2.38     | 323.97        |
| 10091M001  | 1.07     | 162.79        | 1.16     | 102.32        | 0.87     | 262.18        |
| 10405M002  | 0.11     | 298.04        | 0.41     | 30.09         | 0.67     | 113.35        |
| 88040S040  | 0.88     | 31.99         | 0.73     | 237.49        | 1.31     | 126.15        |
| 10073M008  | 0.21     | 192.97        | 0.17     | 8.37          | 1.14     | 187.77        |
| 31303M002  | 0.59     | 50.74         | 1.70     | 124.42        | 1.17     | 346.75        |



| Domes code | $A_e$ mm | $\phi_e$ grad | $A_n$ mm | $\phi_n$ grad | $A_h$ mm | $\phi_h$ grad |
|------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 12734M008  | 0.55     | 5.49          | 0.45     | 327.87        | 1.01     | 243.62        |
| 12765M001  | 0.20     | 104.84        | 0.14     | 173.37        | 0.44     | 183.18        |
| 12309M002  | 0.10     | 184.24        | 0.68     | 346.91        | 3.35     | 150.59        |
| 12711M003  | 0.96     | 270.95        | 0.91     | 82.55         | 1.37     | 180.79        |
| 99033M033  | 0.69     | 91.26         | 0.84     | 25.47         | 4.33     | 354.40        |
| 10503S011  | 0.38     | 229.90        | 0.10     | 179.63        | 1.19     | 117.10        |
| 12335M001  | 0.42     | 185.48        | 0.41     | 260.50        | 0.65     | 225.75        |
| 12758M001  | 0.77     | 187.74        | 0.56     | 240.57        | 1.55     | 293.62        |
| 10092M001  | 0.91     | 5.10          | 0.64     | 127.49        | 0.84     | 20.96         |
| 11507M001  | 0.39     | 175.97        | 0.29     | 238.14        | 3.08     | 40.25         |
| 13299S001  | 0.63     | 269.31        | 1.07     | 24.19         | 1.83     | 307.15        |
| 12764M001  | 0.17     | 89.95         | 0.72     | 271.14        | 2.16     | 234.42        |
| 12711M008  | 0.08     | 353.98        | 0.88     | 125.55        | 1.65     | 122.19        |
| 11030M001  | 0.84     | 1.36          | 2.46     | 178.53        | 0.37     | 110.41        |
| 88041S041  | 2.00     | 153.84        | 0.84     | 197.51        | 1.23     | 154.02        |
| 13273M103  | 0.45     | 151.39        | 0.26     | 59.90         | 2.07     | 330.81        |
| 14302M001  | 0.65     | 182.24        | 2.72     | 309.01        | 2.33     | 256.02        |
| 12717M004  | 0.88     | 205.05        | 1.56     | 313.34        | 2.40     | 305.68        |
| 12717M003  | 0.34     | 217.52        | 1.89     | 307.75        | 2.22     | 284.06        |
| 12759M001  | 0.54     | 37.58         | 1.56     | 347.37        | 0.32     | 38.40         |
| 13234M003  | 0.49     | 173.32        | 0.20     | 7.80          | 1.32     | 317.39        |
| 12312M001  | 0.85     | 106.85        | 0.78     | 319.43        | 0.38     | 229.16        |
| 10317M003  | 1.27     | 308.86        | 1.35     | 59.05         | 1.57     | 216.29        |
| 11208M001  | 0.76     | 189.76        | 1.36     | 340.87        | 1.44     | 352.54        |
| 14208M003  | 0.91     | 163.34        | 0.59     | 149.43        | 1.37     | 68.18         |
| 14208M001  | 0.33     | 193.40        | 0.63     | 176.28        | 0.83     | 139.82        |
| 14208M004  | 0.20     | 88.81         | 0.45     | 348.17        | 4.56     | 6.02          |
| 10402M004  | 0.59     | 284.65        | 0.32     | 329.94        | 1.63     | 328.87        |
| 15601M001  | 0.48     | 95.13         | 0.58     | 321.74        | 3.08     | 25.79         |
| 11207M001  | 0.68     | 156.51        | 0.31     | 305.70        | 0.79     | 53.76         |
| 11902M001  | 0.38     | 163.19        | 1.07     | 206.96        | 1.21     | 20.34         |
| 10307M001  | 0.60     | 315.54        | 0.87     | 8.81          | 0.29     | 133.33        |
| 12750S001  | 1.67     | 138.56        | 2.93     | 344.84        | 1.27     | 356.18        |
| 88044S044  | 0.71     | 28.27         | 0.52     | 195.61        | 0.92     | 149.68        |
| 11029S001  | 0.20     | 36.87         | 0.60     | 177.67        | 7.51     | 343.60        |
| 99045M045  | 1.67     | 360.00        | 0.75     | 210.17        | 2.44     | 231.49        |
| 31906M004  | 1.65     | 154.00        | 1.58     | 149.09        | 4.70     | 201.00        |
| 11206M006  | 0.23     | 312.55        | 0.51     | 232.24        | 0.87     | 94.11         |
| 11005S002  | 0.63     | 357.27        | 0.57     | 154.45        | 0.39     | 71.57         |
| 88045S045  | 1.04     | 5.65          | 1.00     | 167.12        | 0.64     | 299.87        |
| 12336M001  | 0.14     | 178.77        | 0.58     | 226.38        | 0.31     | 31.45         |
| 14106M003  | 0.17     | 247.85        | 0.21     | 112.90        | 1.41     | 77.50         |

| Domes code | $A_e$ mm | $\phi_e$ grad | $A_n$ mm | $\phi_n$ grad | $A_h$ mm | $\phi_h$ grad |
|------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 12760M001  | 0.53     | 339.51        | 0.32     | 130.50        | 1.04     | 40.69         |
| 14234M001  | 0.39     | 350.40        | 1.04     | 155.43        | 2.48     | 352.63        |
| 43007M001  | 3.60     | 180.37        | 0.92     | 218.32        | 1.01     | 126.24        |
| 35001M002  | 0.62     | 350.93        | 1.76     | 136.31        | 1.03     | 160.29        |
| 20703S001  | 1.57     | 287.60        | 3.37     | 310.90        | 4.73     | 229.77        |
| 13102M001  | 0.56     | 265.73        | 0.94     | 111.83        | 2.11     | 355.47        |
| 10202M001  | 1.05     | 237.82        | 1.28     | 344.27        | 3.56     | 324.71        |
| 88048M048  | 1.68     | 350.00        | 0.20     | 223.70        | 0.41     | 326.60        |
| 12302M002  | 0.50     | 308.26        | 0.37     | 107.71        | 1.51     | 164.80        |
| 88049M049  | 0.33     | 97.52         | 1.18     | 191.77        | 0.08     | 262.30        |
| 88050S050  | 0.14     | 165.79        | 1.79     | 187.77        | 0.53     | 46.72         |
| 12774M001  | 0.53     | 140.46        | 0.34     | 184.62        | 1.39     | 331.05        |
| 99050M050  | 0.38     | 360.00        | 1.22     | 211.64        | 0.43     | 210.21        |
| 88051M051  | 0.47     | 150.53        | 2.07     | 177.73        | 2.45     | 8.17          |
| 14281M001  | 0.76     | 332.90        | 0.72     | 151.48        | 1.19     | 117.93        |
| 11031S001  | 0.49     | 30.95         | 0.77     | 173.06        | 2.06     | 359.93        |
| 99053M053  | 0.81     | 150.11        | 0.42     | 348.15        | 1.78     | 282.58        |
| 13402M004  | 0.92     | 28.13         | 1.13     | 144.50        | 1.41     | 161.21        |
| 10090M001  | 0.27     | 315.62        | 0.78     | 142.09        | 1.27     | 191.97        |
| 10426M001  | 0.43     | 344.93        | 0.56     | 43.59         | 1.70     | 175.60        |
| 10114M001  | 0.61     | 254.11        | 0.41     | 107.97        | 0.84     | 306.73        |
| 10513M001  | 0.85     | 333.43        | 0.76     | 66.80         | 1.53     | 181.11        |
| 11101M002  | 0.62     | 169.77        | 1.11     | 242.24        | 0.65     | 121.86        |
| 88064S064  | 5.00     | 97.04         | 3.74     | 87.94         | 3.15     | 51.36         |
| 10425M001  | 0.41     | 290.69        | 0.32     | 37.46         | 1.02     | 315.14        |
| 11801S001  | 0.94     | 327.79        | 1.29     | 305.77        | 1.38     | 128.59        |
| 10330M001  | 0.82     | 298.34        | 0.57     | 337.56        | 0.77     | 275.44        |
| 88065M065  | 1.06     | 160.51        | 0.70     | 168.29        | 0.88     | 357.66        |
| 11041S001  | 0.86     | 316.88        | 0.51     | 230.15        | 0.85     | 46.34         |
| 10113M001  | 0.54     | 283.29        | 0.29     | 110.73        | 1.42     | 300.40        |
| 12366M001  | 0.27     | 132.41        | 1.16     | 185.97        | 1.16     | 93.78         |
| 12350M001  | 0.51     | 236.78        | 0.25     | 168.13        | 1.14     | 93.51         |
| 13534M001  | 0.94     | 265.83        | 0.52     | 68.37         | 0.89     | 230.41        |
| 99061M061  | 0.25     | 345.69        | 1.00     | 59.07         | 1.62     | 295.36        |
| 43001M001  | 1.02     | 185.78        | 2.24     | 295.12        | 2.81     | 229.46        |
| 43001M002  | 2.75     | 187.56        | 0.85     | 310.95        | 4.39     | 186.76        |
| 99062M062  | 0.50     | 156.45        | 0.73     | 281.24        | 1.78     | 245.56        |
| 10003M009  | 0.33     | 92.78         | 1.80     | 161.58        | 1.07     | 333.23        |
| 12724M002  | 1.55     | 359.56        | 0.90     | 173.37        | 1.45     | 159.41        |
| 10003M004  | 0.08     | 124.64        | 0.60     | 147.46        | 0.70     | 128.42        |
| 20808M001  | 0.77     | 166.75        | 1.37     | 248.49        | 2.86     | 51.20         |
| 88067S067  | 0.53     | 127.66        | 0.72     | 257.29        | 0.33     | 188.92        |
| 88068S068  | 0.28     | 89.64         | 0.41     | 266.00        | 1.84     | 164.13        |

| Domes code | $A_e$ mm | $\phi_e$ grad | $A_n$ mm | $\phi_n$ grad | $A_h$ mm | $\phi_h$ grad |
|------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 12753M001  | 0.37     | 149.97        | 0.21     | 76.42         | 2.22     | 187.35        |
| 11047M001  | 0.45     | 121.21        | 1.16     | 189.16        | 3.38     | 199.64        |
| 12718M003  | 0.94     | 86.37         | 0.60     | 332.76        | 1.45     | 293.12        |
| 10302M006  | 1.24     | 311.93        | 1.19     | 66.76         | 0.98     | 129.65        |
| 10331M001  | 1.27     | 299.86        | 0.89     | 33.02         | 0.89     | 4.60          |
| 20806M001  | 0.92     | 231.95        | 1.06     | 341.40        | 1.74     | 31.99         |
| 11503M001  | 0.21     | 211.19        | 0.71     | 287.29        | 2.00     | 90.23         |
| 12617M003  | 1.29     | 187.75        | 1.09     | 296.00        | 0.72     | 17.49         |
| 12752M001  | 1.02     | 11.55         | 0.28     | 111.07        | 1.18     | 350.95        |
| 12750M002  | 1.48     | 143.22        | 0.61     | 23.05         | 2.33     | 218.11        |
| 12301M001  | 0.09     | 84.75         | 0.44     | 317.76        | 0.70     | 35.24         |
| 10511M001  | 0.35     | 316.76        | 0.59     | 64.82         | 0.97     | 253.47        |
| 10322M002  | 1.96     | 10.53         | 1.70     | 85.14         | 5.15     | 182.86        |
| 13439M001  | 1.25     | 129.92        | 0.83     | 110.66        | 1.87     | 298.85        |
| 12741M001  | 2.12     | 130.52        | 2.32     | 347.15        | 4.56     | 212.75        |
| 10424M001  | 0.43     | 340.98        | 0.65     | 29.15         | 0.67     | 341.70        |
| 88080M080  | 0.84     | 100.40        | 0.94     | 223.82        | 4.78     | 265.03        |
| 99069M069  | 1.01     | 82.46         | 1.37     | 154.05        | 0.74     | 164.06        |
| 13406M001  | 0.55     | 332.98        | 1.13     | 138.43        | 1.66     | 240.06        |
| 10423M001  | 0.23     | 341.72        | 0.24     | 57.16         | 0.89     | 242.72        |
| 11036S001  | 1.00     | 82.85         | 1.40     | 165.62        | 2.13     | 42.49         |
| 11040S001  | 1.42     | 334.46        | 0.92     | 187.04        | 1.78     | 16.00         |
| 10801M001  | 0.42     | 320.79        | 0.28     | 171.45        | 2.13     | 124.33        |
| 99070M070  | 0.44     | 74.78         | 0.04     | 347.84        | 0.43     | 271.39        |
| 99071M071  | 0.68     | 126.60        | 0.14     | 123.35        | 3.22     | 311.74        |
| 13114M001  | 0.18     | 216.10        | 1.01     | 131.68        | 0.86     | 129.31        |
| 14277M002  | 0.72     | 331.29        | 1.01     | 145.13        | 0.85     | 79.20         |
| 11044S001  | 1.44     | 9.57          | 3.24     | 180.23        | 1.12     | 160.49        |
| 88069M069  | 1.68     | 132.21        | 1.40     | 241.30        | 8.46     | 135.25        |
| 11035S001  | 1.97     | 156.70        | 0.97     | 228.65        | 2.60     | 143.03        |
| 88070S070  | 0.93     | 61.03         | 0.52     | 213.24        | 3.30     | 304.58        |
| 12217M001  | 0.57     | 348.06        | 0.20     | 219.19        | 0.86     | 141.43        |
| 88071S071  | 0.41     | 331.95        | 1.04     | 172.42        | 1.52     | 357.69        |
| 13506M005  | 0.32     | 262.05        | 0.29     | 64.63         | 2.26     | 312.13        |
| 14201M010  | 0.65     | 357.82        | 0.64     | 171.04        | 0.69     | 227.59        |
| 13420M001  | 0.22     | 137.55        | 0.39     | 128.86        | 1.13     | 343.62        |
| 12351M001  | 1.22     | 127.68        | 1.25     | 301.05        | 1.45     | 50.02         |
| 14001M004  | 0.38     | 353.89        | 0.78     | 163.46        | 1.45     | 8.21          |
| 12763M001  | 1.12     | 115.06        | 0.69     | 272.17        | 0.76     | 301.21        |
| 12330M001  | 0.85     | 178.73        | 0.08     | 163.58        | 3.25     | 68.40         |
| 12220S001  | 0.10     | 191.33        | 0.68     | 242.36        | 1.46     | 36.75         |

### 9.4.4 Trasformazione ITRF2005 - ETRF

La trasformazione delle velocità da ITRF2005 a ETRS consente di evidenziare quella parte del moto dei siti che non dipende dal movimento rigido della placca europea. La formula di trasformazione è basata sulla composizione di una traslazione e di una rotazione:

$$\begin{pmatrix} \dot{X}^{etrs} \\ \dot{Y}^{etrs} \\ \dot{Z}^{etrs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{X}^{itrs} \\ \dot{Y}^{itrs} \\ \dot{Z}^{itrs} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{T}_x \\ \dot{T}_y \\ \dot{T}_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{R}_3 & \dot{R}_2 \\ \dot{R}_3 & 0 & -\dot{R}_1 \\ -\dot{R}_2 & \dot{R}_1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X^{itrs} \\ Y^{itrs} \\ Z^{itrs} \end{pmatrix} \quad (9.23)$$

dove per le derivate dei parametri di traslazione e rotazione sono stati usati i seguenti valori:

|                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| $\dot{T}_x$ cm/yr  | $\dot{T}_y$ cm/yr  | $\dot{T}_z$ cm/yr  |
| -0.02              | -0.05              | -0.032             |
| $\dot{R}_1$ mas/yr | $\dot{R}_2$ mas/yr | $\dot{R}_3$ mas/yr |
| 0.054              | 0.518              | -0.781             |

I valori sono stati presi da ([37]).

### 9.4.5 Campo di velocità ETRF

Riportiamo i valori del campo di velocità combinato EGU, espressi nel sistema di riferimento ETRF. Il campo di velocità spresso in ITRF è caratterizzato dal fatto che il modo rigido della placca è stato sottratto. Vederemo nei capitoli successivi che tale campo potrà essere utilizzato per lo studio delle deformazioni crostali.

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$  | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|--------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 13.515    | 46.548 | 0.08   | 1.18  | 0.08       | 0.1        | 0             | ACOM 12767M001 | 1       |
| 351.601   | 43.364 | 4.46   | -0.12 | 0.06       | 0.07       | 0.02          | ACOR 13434M001 | 1       |
| 12.175    | 46.527 | 0.24   | 1.34  | 0.08       | 0.1        | 0.03          | AFAL 12766M001 | 1       |
| 8.763     | 41.927 | 0.02   | 0.52  | 0.06       | 0.07       | -0.02         | AJAC 10077M005 | 1       |
| 359.519   | 38.339 | -0.16  | 0.83  | 0.07       | 0.08       | 0.08          | ALAC 13433M001 | 1       |
| 359.519   | 38.339 | -0.16  | 0.83  | 0.07       | 0.08       | 0.08          | ALAC 13433M001 | 2       |
| 357.541   | 36.853 | -1.24  | -0.29 | 0.07       | 0.08       | 0.13          | ALME 13437M001 | 1       |
| 14.871    | 48.122 | -0.02  | 0.57  | 0.09       | 0.12       | 0.01          | AMST 88001S001 | 1       |
| 32.758    | 39.887 | -24.88 | 0.09  | 0.09       | 0.08       | 0.08          | ANKR 20805M002 | 1       |
| 32.758    | 39.887 | -24.88 | 0.09  | 0.09       | 0.08       | 0.08          | ANKR 20805M002 | 2       |
| 32.758    | 39.887 | -24.88 | 0.09  | 0.09       | 0.07       | 0.08          | ANKR 20805M002 | 3       |
| 13.35     | 42.368 | 0.5    | 2.95  | 0.03       | 0.03       | -0.11         | AQUI 12757M001 | 1       |
| 10.205    | 46.776 | 0.17   | 0.56  | 0.05       | 0.06       | -0.01         | ARDE 88002M002 | 1       |
| 12.35     | 48.195 | 0.23   | 0.41  | 0.05       | 0.06       | 0.03          | ASCH 88003S003 | 1       |
| 11.568    | 47.761 | 0.19   | 0.11  | 0.05       | 0.07       | 0.01          | BADT 88004S004 | 1       |
| 1.401     | 41.6   | -0.31  | 0.32  | 0.07       | 0.08       | 0             | BELL 13431M001 | 1       |
| 14.794    | 46.59  | -0.83  | 2.06  | 0.06       | 0.07       | 0             | BLE1 88005M005 | 1       |
| 14.794    | 46.59  | -0.82  | 2.05  | 0.06       | 0.07       | 0             | BLE2 88006S006 | 1       |
| 21.035    | 52.475 | -0.2   | 0.13  | 0.05       | 0.07       | 0.06          | BOGI 12207M003 | 1       |
| 21.035    | 52.476 | -0.19  | 0.13  | 0.05       | 0.07       | 0.06          | BOGO 12207M002 | 1       |
| 21.035    | 52.476 | -0.2   | 0.13  | 0.05       | 0.07       | 0.06          | BOGO 12207M002 | 2       |
| 11.357    | 44.5   | -0.6   | 3.9   | 0.52       | 0.65       | 0.02          | BOLG 12771M001 | 1       |
| 17.073    | 52.277 | -0.45  | -0.05 | 0.05       | 0.07       | 0.05          | BOR1 12205M002 | 1       |
| 17.073    | 52.277 | -0.44  | -0.05 | 0.05       | 0.07       | 0.05          | BOR1 12205M002 | 2       |
| 6.747     | 53.564 | -0.03  | -0.46 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | BORK 14268M001 | 1       |
| 13.542    | 46.333 | -0.93  | 0.49  | 0.12       | 0.16       | -0.01         | BOVE 88008S008 | 1       |
| 11.113    | 44.122 | 0.32   | 2.11  | 0.04       | 0.05       | -0.01         | BRAS 99004M004 | 1       |
| 10.233    | 45.565 | -0.08  | 0.64  | 0.05       | 0.06       | 0.01          | BRIX 12762M001 | 1       |
| 355.503   | 48.38  | 0.23   | 0.26  | 0.08       | 0.1        | 0             | BRST 10004M004 | 1       |
| 355.503   | 48.38  | 0.23   | 0.26  | 0.08       | 0.1        | 0             | BRST 10004M004 | 2       |
| 4.359     | 50.798 | -0.72  | -0.19 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | BRUS 13101M004 | 1       |
| 4.359     | 50.798 | -0.72  | -0.19 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | BRUS 13101M004 | 2       |
| 26.126    | 44.464 | -0.5   | -0.94 | 0.06       | 0.06       | 0.11          | BUCU 11401M001 | 1       |
| 12.5      | 55.739 | -0.38  | -0.3  | 0.09       | 0.14       | 0.02          | BUDP 10101M003 | 1       |
| 19.057    | 47.481 | 0.82   | 0.6   | 0.29       | 0.4        | -0.02         | BUTE 11209M001 | 1       |
| 11.337    | 46.499 | -0.4   | 0.75  | 0.03       | 0.04       | 0             | BZRG 12751M001 | 1       |
| 11.337    | 46.499 | -0.4   | 0.75  | 0.03       | 0.03       | 0             | BZRG 12751M001 | 3       |
| 353.658   | 39.479 | -0.29  | 0.69  | 0.13       | 0.15       | 0.06          | CACE 13447M001 | 1       |
| 8.973     | 39.136 | 0.02   | 0.75  | 0.03       | 0.04       | -0.1          | CAGL 12725M003 | 1       |
| 8.973     | 39.136 | 0.01   | 0.78  | 0.03       | 0.04       | -0.11         | CAGL 12725M003 | 2       |
| 8.973     | 39.136 | 0.01   | 0.79  | 0.04       | 0.04       | -0.1          | CAGZ 12725M004 | 1       |
| 13.124    | 43.112 | 1.62   | 4.46  | 0.04       | 0.05       | -0.03         | CAME 12754M001 | 1       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito            | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|-----------------|---------|
| 13.124    | 43.112 | 1.62  | 4.46  | 0.04       | 0.05       | -0.03         | CAME 12754M001  | 2       |
| 356.202   | 43.472 | -0.32 | 1.17  | 0.08       | 0.09       | 0.04          | CANT 13438M001  | 1       |
| 350.581   | 38.693 | 0.05  | 0.78  | 0.07       | 0.07       | 0.08          | CASC 13909S001  | 1       |
| 12.583    | 45.479 | 0.12  | 2.8   | 0.05       | 0.06       | 0.01          | CAVA 99009M009  | 1       |
| 12.583    | 45.479 | 0.12  | 2.8   | 0.05       | 0.06       | 0.01          | CAVA 99009M009  | 2       |
| 354.689   | 35.896 | -4.23 | 1.21  | 0.33       | 0.38       | 0.06          | CEUT 13449M001  | 1       |
| 354.689   | 35.896 | -4.23 | 1.21  | 0.33       | 0.38       | 0.06          | CEUT 13449M001  | 2       |
| 359.592   | 46.133 | 0.64  | 0.34  | 0.06       | 0.08       | 0.03          | CHIZ 10020M001  | 1       |
| 9.096     | 45.802 | 0.15  | -0.39 | 0.04       | 0.05       | 0             | COMO 12761M001  | 1       |
| 9.096     | 45.802 | 0.16  | -0.39 | 0.04       | 0.05       | 0             | COMO 12761M001  | 2       |
| 16.31     | 39.201 | -0.17 | 2.91  | 0.07       | 0.08       | -0.1          | COSE 99011M011  | 1       |
| 3.316     | 42.319 | 1.33  | 0.27  | 0.16       | 0.2        | 0.02          | CREU 13432M001  | 1       |
| 3.316     | 42.319 | 1.33  | 0.27  | 0.16       | 0.2        | 0.03          | CREU 13432M001  | 2       |
| 3.316     | 42.319 | 1.33  | 0.27  | 0.16       | 0.2        | 0.03          | CREU 13432M001  | 3       |
| 357.36    | 53.345 | 0.47  | -0.17 | 0.19       | 0.28       | 0.01          | DARE 13208S001  | 1       |
| 9.844     | 46.813 | -0.09 | 0.52  | 0.08       | 0.1        | -0.03         | DAVO 88010M010  | 1       |
| 9.844     | 46.813 | -0.09 | 0.52  | 0.08       | 0.1        | -0.03         | DAVO 88010M010  | 2       |
| 4.388     | 51.986 | -0.15 | -0.18 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | DELFI 13502M004 | 1       |
| 4.388     | 51.986 | -0.15 | -0.18 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | DELFI 13502M004 | 3       |
| 3.4       | 50.934 | 0.28  | 0.35  | 0.09       | 0.12       | 0             | DENT 13112M001  | 1       |
| 3.4       | 50.934 | 0.28  | 0.35  | 0.09       | 0.12       | 0             | DENT 13112M001  | 3       |
| 3.4       | 50.934 | 0.28  | 0.35  | 0.09       | 0.12       | 0             | DENT 13112M001  | 4       |
| 3.4       | 50.934 | 0.28  | 0.35  | 0.09       | 0.12       | 0             | DENT 13112M001  | 5       |
| 15.213    | 46.814 | -0.16 | 1.33  | 0.06       | 0.08       | 0             | DLBG 88012S012  | 1       |
| 15.213    | 46.814 | -0.17 | 1.34  | 0.06       | 0.08       | 0             | DLBG 88012S012  | 2       |
| 4.595     | 50.095 | -0.94 | -0.71 | 0.05       | 0.07       | -0.01         | DOUR 13113M001  | 1       |
| 4.595     | 50.095 | -0.92 | -0.71 | 0.05       | 0.07       | -0.01         | DOUR 13113M001  | 2       |
| 35.392    | 31.593 | -2.98 | 8.83  | 0.16       | 0.13       | -0.1          | DRAG 20710S001  | 1       |
| 13.73     | 51.03  | 0.23  | 0.86  | 0.09       | 0.12       | 0.01          | DRES 14108M001  | 1       |
| 13.73     | 51.03  | 0.24  | 0.86  | 0.09       | 0.12       | 0.01          | DRES 14108M001  | 2       |
| 18.11     | 42.65  | 0.29  | 3.76  | 0.08       | 0.1        | -0.05         | DUBR 11901M001  | 1       |
| 18.11     | 42.65  | 0.29  | 3.76  | 0.08       | 0.1        | -0.05         | DUBR 11901M001  | 2       |
| 0.492     | 40.821 | 0.16  | 0.12  | 0.04       | 0.04       | 0.09          | EBRE 13410M001  | 1       |
| 5.684     | 50.758 | -0.36 | 0.26  | 0.05       | 0.07       | 0             | EIJS 13533M001  | 1       |
| 5.684     | 50.758 | -0.36 | 0.26  | 0.05       | 0.07       | 0             | EIJS 13533M001  | 2       |
| 10.211    | 42.753 | -0.61 | 1.11  | 0.03       | 0.03       | -0.08         | ELBA 12721M002  | 1       |
| 0.976     | 42.694 | 0.06  | 0.27  | 0.06       | 0.07       | 0.04          | ESCO 13435M001  | 1       |
| 6.764     | 50.674 | -0.09 | 0.64  | 0.06       | 0.08       | 0             | EUSK 14258M003  | 1       |
| 6.764     | 50.674 | -0.1  | 0.63  | 0.06       | 0.08       | 0             | EUSK 14258M003  | 2       |
| 15.883    | 46.953 | 2.12  | 2.35  | 0.14       | 0.18       | 0.01          | FLDB 88014S014  | 1       |
| 9.581     | 47.231 | -0.78 | 1.12  | 0.06       | 0.09       | 0             | FLDK 88015S015  | 1       |
| 9.581     | 47.231 | -0.78 | 1.12  | 0.07       | 0.09       | 0             | FLDK 88015S015  | 2       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 13.564    | 48.936 | 0.35  | -0.09 | 0.12       | 0.17       | 0.01          | FNST 88016S016 | 1       |
| 13.564    | 48.936 | 0.35  | -0.09 | 0.12       | 0.17       | 0.01          | FNST 88016S016 | 2       |
| 12.978    | 47.839 | -0.11 | 0.96  | 0.07       | 0.1        | 0.01          | FRLG 88017S017 | 1       |
| 12.978    | 47.839 | -0.11 | 0.97  | 0.07       | 0.1        | 0.01          | FRLG 88017S017 | 2       |
| 14.503    | 48.509 | 0.16  | 0.16  | 0.12       | 0.16       | 0             | FRST 88018S018 | 1       |
| 351.411   | 41.106 | 0.42  | 0.53  | 0.11       | 0.12       | 0.04          | GAIA 13902M001 | 1       |
| 20.323    | 49.035 | -2.41 | 0.45  | 0.21       | 0.29       | -0.02         | GANP 11515M001 | 1       |
| 20.323    | 49.035 | -2.41 | 0.45  | 0.21       | 0.29       | -0.02         | GANP 11515M001 | 2       |
| 8.921     | 44.419 | 0     | 0.34  | 0.03       | 0.03       | -0.04         | GENO 12712M002 | 1       |
| 30.497    | 50.364 | -1.38 | -0.03 | 0.05       | 0.05       | 0.27          | GLSV 12356M001 | 1       |
| 13.801    | 47.921 | 0.2   | 0.78  | 0.05       | 0.06       | 0.01          | GMND 88019M019 | 1       |
| 13.801    | 47.921 | 0.2   | 0.78  | 0.05       | 0.07       | 0.01          | GMND 88019M019 | 2       |
| 14.786    | 49.914 | -0.12 | 0.33  | 0.09       | 0.12       | -0.01         | GOPE 11502M002 | 1       |
| 14.786    | 49.914 | -0.12 | 0.33  | 0.09       | 0.12       | -0.01         | GOPE 11502M002 | 2       |
| 14.786    | 49.914 | -0.12 | 0.33  | 0.09       | 0.12       | -0.01         | GOPE 11502M002 | 3       |
| 15.493    | 47.067 | -0.09 | 0.3   | 0.08       | 0.1        | 0             | GRAA 88020M020 | 1       |
| 15.493    | 47.067 | 0.28  | 0.78  | 0.03       | 0.03       | 0.09          | GRAB 88021M021 | 1       |
| 15.493    | 47.067 | 0.28  | 0.77  | 0.03       | 0.03       | 0.08          | GRAB 88021M021 | 2       |
| 6.921     | 43.755 | 0.31  | 0.33  | 0.04       | 0.05       | -0.01         | GRAS 10002M006 | 1       |
| 6.921     | 43.755 | 0.31  | 0.33  | 0.04       | 0.05       | -0.01         | GRAS 10002M006 | 2       |
| 15.493    | 47.067 | 0.49  | 0.74  | 0.03       | 0.04       | 0.07          | GRAZ 11001M002 | 1       |
| 15.493    | 47.067 | 0.52  | 0.74  | 0.03       | 0.04       | 0.07          | GRAZ 11001M002 | 2       |
| 15.493    | 47.067 | 0.52  | 0.74  | 0.03       | 0.04       | 0.07          | GRAZ 11001M002 | 3       |
| 15.493    | 47.067 | 0.52  | 0.73  | 0.04       | 0.04       | 0.06          | GRAZ 11001M002 | 4       |
| 11.143    | 47.509 | 0.42  | 0.69  | 0.08       | 0.1        | 0.01          | GRMP 88023S023 | 1       |
| 11.143    | 47.509 | 0.42  | 0.69  | 0.08       | 0.1        | 0.01          | GRMP 88023S023 | 2       |
| 14.544    | 46.048 | 0.1   | 2.72  | 0.11       | 0.14       | -0.02         | GSR1 14501M001 | 2       |
| 16.319    | 47.074 | 0.44  | 0.75  | 0.05       | 0.06       | 0.02          | GUES 11045M001 | 1       |
| 16.319    | 47.074 | 0.45  | 0.76  | 0.05       | 0.06       | 0.02          | GUES 11045M001 | 2       |
| 7.893     | 54.174 | -0.48 | 0.26  | 0.04       | 0.05       | 0.01          | HELG 14264M001 | 1       |
| 0.336     | 50.867 | -0.3  | 0.24  | 0.06       | 0.09       | 0             | HERS 13212M007 | 1       |
| 0.336     | 50.867 | -0.3  | 0.24  | 0.06       | 0.09       | 0             | HERS 13212M007 | 2       |
| 0.336     | 50.867 | -0.3  | 0.24  | 0.06       | 0.09       | 0             | HERS 13212M007 | 3       |
| 0.334     | 50.867 | -0.3  | 0.24  | 0.06       | 0.09       | 0             | HERT 13212M010 | 1       |
| 11.386    | 47.313 | 0.37  | 0.97  | 0.03       | 0.03       | 0.04          | HFLK 11006S003 | 1       |
| 11.386    | 47.313 | 0.36  | 0.96  | 0.03       | 0.03       | 0.04          | HFLK 11006S003 | 2       |
| 13.771    | 47.377 | 0.06  | 1.46  | 0.04       | 0.05       | 0.02          | HKBL 11039S001 | 1       |
| 13.771    | 47.377 | 0.05  | 1.46  | 0.04       | 0.05       | 0.02          | HKBL 11039S001 | 2       |
| 10.476    | 53.051 | -0.22 | -0.11 | 0.08       | 0.12       | 0             | HOBU 14202M003 | 1       |
| 10.476    | 53.051 | -0.22 | -0.11 | 0.08       | 0.12       | 0             | HOBU 14202M003 | 2       |
| 344.802   | 64.267 | 4.41  | -1.28 | 0.07       | 0.07       | 0             | HOFN 10204M002 | 1       |
| 344.802   | 64.267 | 4.41  | -1.28 | 0.07       | 0.07       | 0             | HOFN 10204M002 | 2       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 7.639     | 45.015 | -0.11 | 0.5   | 0.03       | 0.03       | -0.02         | IENG 12724S001 | 1       |
| 12.515    | 41.828 | -0.85 | 2.4   | 0.04       | 0.04       | -0.1          | INGR 99025M025 | 1       |
| 355.781   | 57.486 | 0.13  | 0.28  | 0.2        | 0.29       | -0.01         | INVE 13221S001 | 1       |
| 29.019    | 41.104 | 0.71  | -2.94 | 0.1        | 0.1        | 0             | ISTA 20807M001 | 1       |
| 29.019    | 41.104 | 0.71  | -2.93 | 0.1        | 0.1        | 0             | ISTA 20807M001 | 2       |
| 30.096    | 62.391 | -0.21 | -1.03 | 0.04       | 0.05       | -0.01         | JOEN 10512M001 | 1       |
| 21.032    | 52.098 | -0.09 | -0.13 | 0.04       | 0.05       | 0.13          | JOZ2 12204M002 | 1       |
| 21.032    | 52.097 | -0.09 | -0.13 | 0.04       | 0.05       | 0.14          | JOZE 12204M001 | 1       |
| 21.032    | 52.097 | -0.09 | -0.13 | 0.04       | 0.05       | 0.13          | JOZE 12204M001 | 2       |
| 8.411     | 49.011 | 0.18  | 0.32  | 0.09       | 0.13       | 0             | KARL 14216M001 | 1       |
| 8.411     | 49.011 | 0.18  | 0.32  | 0.09       | 0.13       | 0             | KARL 14216M001 | 2       |
| 8.411     | 49.011 | 0.18  | 0.32  | 0.09       | 0.13       | 0             | KARL 14216M001 | 3       |
| 19.036    | 50.253 | 0.94  | -4.28 | 0.18       | 0.25       | -0.02         | KATO 12219S001 | 1       |
| 21.06     | 67.878 | -0.88 | 0.15  | 0.05       | 0.05       | 0.02          | KIRO 10422M001 | 1       |
| 20.968    | 67.857 | -1.15 | 0.68  | 0.05       | 0.06       | 0.03          | KIRU 10403M002 | 1       |
| 13.771    | 47.377 | -0.18 | 1.41  | 0.1        | 0.14       | -0.06         | KKB1 88076M076 | 1       |
| 14.319    | 46.607 | -0.1  | 1.9   | 0.09       | 0.11       | 0             | KLAG 88025S025 | 1       |
| 14.319    | 46.607 | -0.1  | 1.9   | 0.09       | 0.11       | 0             | KLAG 88025S025 | 2       |
| 14.319    | 46.607 | -0.1  | 1.9   | 0.09       | 0.11       | 0             | KLAG 88025S025 | 3       |
| 8.73      | 50.22  | -0.45 | 0.42  | 0.08       | 0.12       | 0             | KLOP 14214M002 | 1       |
| 8.73      | 50.22  | -0.45 | 0.42  | 0.08       | 0.12       | 0             | KLOP 14214M002 | 2       |
| 8.73      | 50.22  | -0.45 | 0.42  | 0.08       | 0.11       | 0             | KLOP 14214M002 | 3       |
| 13.009    | 46.674 | -2.79 | 1.21  | 0.09       | 0.12       | 0.01          | KOE1 88077M077 | 1       |
| 13.009    | 46.674 | -2.77 | 1.21  | 0.09       | 0.12       | 0.01          | KOE2 88078M078 | 1       |
| 13.009    | 46.674 | -2.76 | 1.21  | 0.09       | 0.11       | 0.01          | KOE2 88078M078 | 2       |
| 13.009    | 46.674 | -2.75 | 1.21  | 0.09       | 0.11       | 0.01          | KOE3 88079M079 | 1       |
| 10.115    | 46.974 | -0.35 | 4.49  | 0.13       | 0.17       | 0.02          | KOP1 88027M027 | 1       |
| 10.115    | 46.974 | -0.35 | 4.49  | 0.13       | 0.17       | 0.02          | KOP1 88027M027 | 2       |
| 10.116    | 46.974 | 0.08  | 0.45  | 0.14       | 0.19       | -0.01         | KOP2 88028S028 | 1       |
| 5.81      | 52.178 | 0.1   | 0.47  | 0.04       | 0.05       | -0.02         | KOSG 13504M003 | 1       |
| 5.81      | 52.178 | 0.1   | 0.47  | 0.04       | 0.05       | -0.02         | KOSG 13504M003 | 2       |
| 19.92     | 50.066 | -0.35 | 0.78  | 0.13       | 0.18       | -0.01         | KRAW 12218M001 | 1       |
| 10.627    | 47.146 | -1.09 | 1.41  | 0.04       | 0.04       | 0             | KRBG 11043S001 | 1       |
| 10.627    | 47.146 | -1.08 | 1.41  | 0.04       | 0.04       | 0             | KRBG 11043S001 | 2       |
| 12.359    | 47.418 | 1.15  | -0.03 | 0.07       | 0.1        | -0.01         | KTZB 11038S001 | 1       |
| 12.359    | 47.418 | 1.14  | -0.03 | 0.07       | 0.1        | -0.01         | KTZB 11038S001 | 2       |
| 351.332   | 37.099 | -1.3  | 1.43  | 0.13       | 0.13       | 0.09          | LAGO 13903M001 | 1       |
| 20.67     | 53.892 | -0.78 | 0.02  | 0.06       | 0.08       | 0.03          | LAMA 12209M001 | 1       |
| 20.67     | 53.892 | -0.77 | 0.02  | 0.06       | 0.08       | 0.03          | LAMA 12209M001 | 2       |
| 12.606    | 35.5   | -2.96 | 3.81  | 0.04       | 0.05       | -0.27         | LAMP 12706M002 | 1       |
| 13.893    | 46.631 | 1.39  | -0.06 | 0.1        | 0.13       | 0             | LANK 88030S030 | 1       |
| 13.893    | 46.631 | 1.39  | -0.06 | 0.1        | 0.13       | 0             | LANK 88030S030 | 2       |



| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 13.893    | 46.631 | 1.39  | -0.06 | 0.1        | 0.13       | 0             | LANK 88030S030 | 3       |
| 9.407     | 45.857 | -0.15 | 0.84  | 0.09       | 0.12       | 0.02          | LEC1 12768M001 | 1       |
| 10.139    | 47.224 | -0.21 | 1.04  | 0.06       | 0.08       | 0             | LECH 88031S031 | 1       |
| 10.139    | 47.224 | -0.21 | 1.04  | 0.06       | 0.08       | 0             | LECH 88031S031 | 2       |
| 14.786    | 46.971 | 1.3   | 0.45  | 0.07       | 0.08       | 0.01          | LEON 88033S033 | 1       |
| 14.786    | 46.971 | 1.31  | 0.45  | 0.07       | 0.09       | 0.01          | LEON 88033S033 | 2       |
| 13.477    | 46.83  | -0.2  | -0.46 | 0.07       | 0.09       | 0.01          | LIES 88035S035 | 1       |
| 13.477    | 46.83  | -0.2  | -0.46 | 0.07       | 0.09       | 0.01          | LIES 88035S035 | 2       |
| 14.291    | 48.292 | 1.93  | -3.48 | 1.68       | 2.24       | -0.08         | LIN1 88075M075 | 1       |
| 9.708     | 47.559 | -0.13 | 0.26  | 0.04       | 0.05       | 0.01          | LIND 88036S036 | 1       |
| 14.283    | 48.31  | 0.19  | -0.05 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | LINZ 11033S001 | 1       |
| 14.283    | 48.31  | 0.19  | -0.05 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | LINZ 11033S001 | 2       |
| 1.973     | 42.478 | -0.01 | -0.06 | 0.06       | 0.07       | 0.04          | LLIV 13436M001 | 1       |
| 342.106   | 28.764 | -2.65 | 1.42  | 0.22       | 0.21       | 0.12          | LPAL 81701M001 | 1       |
| 358.781   | 46.159 | 0.07  | -0.03 | 0.12       | 0.16       | 0.05          | LROC 10023M001 | 1       |
| 2.625     | 39.553 | -2.55 | 0.96  | 0.14       | 0.17       | 0.03          | MALL 13444M001 | 1       |
| 2.625     | 39.553 | -2.55 | 0.96  | 0.14       | 0.17       | 0.03          | MALL 13444M001 | 2       |
| 0.155     | 48.019 | 0.05  | 0.69  | 0.09       | 0.12       | 0.01          | MANS 10091M001 | 1       |
| 0.155     | 48.019 | 0.05  | 0.69  | 0.09       | 0.12       | 0.01          | MANS 10091M001 | 2       |
| 17.259    | 60.595 | -0.53 | -0.9  | 0.04       | 0.05       | 0.01          | MAR6 10405M002 | 1       |
| 17.259    | 60.595 | -0.53 | -0.9  | 0.04       | 0.05       | 0.01          | MAR6 10405M002 | 2       |
| 15.649    | 46.562 | -0.76 | 0.18  | 0.12       | 0.16       | 0             | MARI 88040S040 | 1       |
| 15.649    | 46.562 | -0.76 | 0.18  | 0.12       | 0.16       | 0             | MARI 88040S040 | 2       |
| 5.354     | 43.279 | -0.36 | 0.03  | 0.1        | 0.13       | 0             | MARS 10073M008 | 1       |
| 5.354     | 43.279 | -0.36 | 0.03  | 0.1        | 0.13       | 0             | MARS 10073M008 | 2       |
| 5.354     | 43.279 | -0.36 | 0.03  | 0.1        | 0.13       | 0             | MARS 10073M008 | 3       |
| 344.367   | 27.764 | -3.15 | 1.63  | 0.12       | 0.09       | 0.31          | MAS1 31303M002 | 1       |
| 16.704    | 40.649 | 0.81  | 4.61  | 0.04       | 0.04       | -0.18         | MATE 12734M008 | 1       |
| 16.704    | 40.649 | 0.81  | 4.61  | 0.04       | 0.04       | -0.19         | MATE 12734M008 | 2       |
| 13.436    | 45.924 | -0.83 | 2.47  | 0.09       | 0.12       | -0.02         | MDEA 12765M001 | 1       |
| 37.224    | 56.027 | -0.96 | -0.05 | 0.08       | 0.1        | 0.08          | MDVO 12309M002 | 1       |
| 37.224    | 56.027 | -0.96 | -0.05 | 0.08       | 0.1        | 0.08          | MDVO 12309M002 | 2       |
| 11.647    | 44.52  | 1.46  | 2.07  | 0.03       | 0.03       | -0.03         | MEDI 12711M003 | 1       |
| 11.647    | 44.52  | 1.47  | 2.04  | 0.03       | 0.03       | -0.03         | MEDI 12711M003 | 2       |
| 11.157    | 46.669 | 0.02  | -0.17 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | MERA 99033M033 | 1       |
| 11.157    | 46.669 | 0.02  | -0.17 | 0.05       | 0.06       | -0.01         | MERA 99033M033 | 2       |
| 24.395    | 60.217 | -0.03 | -1.12 | 0.03       | 0.04       | 0.04          | METS 10503S011 | 1       |
| 31.973    | 46.973 | -1.05 | -0.27 | 0.15       | 0.2        | 0             | MIKL 12335M001 | 1       |
| 12.584    | 38.008 | -1.23 | 3.52  | 0.05       | 0.05       | -0.17         | MILO 12758M001 | 1       |
| 2.587     | 48.841 | -0.2  | -0.12 | 0.06       | 0.08       | 0.01          | MLVL 10092M001 | 1       |
| 11.122    | 46.072 | -0.49 | 0.97  | 0.04       | 0.04       | 0.01          | MOCA 12753M001 | 1       |
| 17.274    | 48.373 | -0.25 | 0.58  | 0.05       | 0.06       | 0.05          | MOPI 11507M001 | 1       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 17.274    | 48.373 | -0.25 | 0.58  | 0.05       | 0.06       | 0.05          | MOPI 11507M001 | 2       |
| 358.315   | 55.213 | 0.64  | 0.02  | 0.12       | 0.18       | -0.01         | MORP 13299S001 | 1       |
| 12.988    | 46.241 | -0.02 | 2.07  | 0.08       | 0.1        | -0.02         | MPRA 12764M001 | 1       |
| 11.646    | 44.52  | 1.47  | 2.04  | 0.03       | 0.03       | -0.03         | MSEL 12711M008 | 1       |
| 16.404    | 47.738 | -0.01 | 1.67  | 0.04       | 0.05       | 0.04          | MTBG 11030M001 | 1       |
| 16.404    | 47.738 | -0.01 | 1.68  | 0.04       | 0.05       | 0.04          | MTBG 11030M001 | 2       |
| 11.832    | 47.421 | 2.2   | 1.22  | 0.12       | 0.16       | -0.02         | MUEN 88041S041 | 1       |
| 11.832    | 47.421 | 2.2   | 1.22  | 0.12       | 0.16       | -0.02         | MUEN 88041S041 | 2       |
| 354.457   | 50.103 | -0.03 | 0     | 0.28       | 0.4        | 0.03          | NEWL 13273M103 | 1       |
| 33.396    | 35.141 | -6.63 | 3.79  | 0.11       | 0.09       | -0.04         | NICO 14302M001 | 1       |
| 33.396    | 35.141 | -6.63 | 3.79  | 0.11       | 0.09       | -0.04         | NICO 14302M001 | 2       |
| 14.99     | 36.876 | -1.72 | 5.19  | 0.06       | 0.06       | -0.21         | NOT1 12717M004 | 1       |
| 14.99     | 36.876 | -1.72 | 5.19  | 0.06       | 0.06       | -0.2          | NOTO 12717M003 | 1       |
| 14.99     | 36.876 | -1.72 | 5.19  | 0.06       | 0.06       | -0.21         | NOTO 12717M003 | 2       |
| 8.614     | 45.447 | -0.4  | 0.65  | 0.03       | 0.03       | -0.02         | NOVA 12759M001 | 1       |
| 359.66    | 51.421 | 0.26  | 0.02  | 0.13       | 0.17       | 0.01          | NPLD 13234M003 | 1       |
| 359.66    | 51.421 | 0.26  | 0.02  | 0.13       | 0.17       | 0.01          | NPLD 13234M003 | 2       |
| 44.503    | 40.226 | 1.32  | 7.65  | 0.29       | 0.35       | 0.01          | NSSP 12312M001 | 2       |
| 11.865    | 78.93  | -0.41 | -0.81 | 0.08       | 0.1        | 0.04          | NYA1 10317M003 | 1       |
| 22.136    | 47.835 | -0.06 | -0.39 | 0.35       | 0.49       | -0.03         | NYIR 11208M001 | 1       |
| 22.136    | 47.835 | -0.06 | -0.39 | 0.35       | 0.49       | -0.03         | NYIR 11208M001 | 2       |
| 11.28     | 48.086 | -0.07 | 0.31  | 0.05       | 0.06       | 0             | OBE2 14208M003 | 1       |
| 11.28     | 48.086 | -0.07 | 0.31  | 0.05       | 0.06       | 0             | OBER 14208M001 | 1       |
| 11.278    | 48.084 | -0.09 | 0.69  | 0.63       | 0.85       | 0             | OBET 14208M004 | 1       |
| 11.926    | 57.395 | -0.87 | -0.91 | 0.03       | 0.05       | 0.02          | ONSA 10402M004 | 1       |
| 11.926    | 57.395 | -0.87 | -0.92 | 0.03       | 0.04       | 0.02          | ONSA 10402M004 | 2       |
| 20.794    | 41.127 | 1.01  | -2.44 | 0.07       | 0.07       | -0.08         | ORID 15601M001 | 1       |
| 20.671    | 46.555 | -0.4  | 1.35  | 0.12       | 0.16       | -0.02         | OROS 11207M001 | 1       |
| 20.671    | 46.555 | -0.4  | 1.35  | 0.12       | 0.16       | -0.02         | OROS 11207M001 | 2       |
| 18.68     | 45.561 | 0.14  | 0.88  | 0.07       | 0.09       | -0.01         | OSJE 11902M001 | 1       |
| 10.368    | 59.737 | -1.17 | -0.41 | 0.06       | 0.08       | 0             | OSLO 10307M001 | 4       |
| 11.896    | 45.411 | 0.09  | 1.52  | 0.03       | 0.04       | 0             | PADO 12750S001 | 1       |
| 13.443    | 48.568 | -0.33 | 0.03  | 0.06       | 0.08       | 0.01          | PASS 88044S044 | 1       |
| 13.443    | 48.568 | -0.33 | 0.03  | 0.06       | 0.08       | 0.01          | PASS 88044S044 | 2       |
| 11.46     | 47.208 | -0.5  | 1.44  | 0.03       | 0.03       | 0.03          | PATK 11029S001 | 1       |
| 11.46     | 47.208 | -0.5  | 1.48  | 0.03       | 0.03       | 0.03          | PATK 11029S001 | 2       |
| 9.136     | 45.203 | 0.65  | 0.67  | 0.08       | 0.1        | -0.01         | PAVI 99045M045 | 1       |
| 9.136     | 45.203 | 0.64  | 0.68  | 0.08       | 0.1        | 0             | PAVI 99045M045 | 2       |
| 9.136     | 45.203 | 0.64  | 0.68  | 0.08       | 0.1        | 0             | PAVI 99045M045 | 3       |
| 334.337   | 37.748 | -1.87 | 0.67  | 0.22       | 0.22       | -0.04         | PDEL 31906M004 | 1       |
| 334.337   | 37.748 | -1.87 | 0.67  | 0.22       | 0.22       | -0.04         | PDEL 31906M004 | 2       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$  | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|--------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 19.282    | 47.79  | 0.29   | 0.11  | 0.03       | 0.03       | 0.17          | PENC 11206M006 | 1       |
| 19.282    | 47.79  | 0.26   | 0.12  | 0.03       | 0.04       | 0.17          | PENC 11206M006 | 2       |
| 9.785     | 47.515 | 0.26   | 0.26  | 0.03       | 0.03       | 0.02          | PFAN 11005S002 | 1       |
| 9.785     | 47.515 | 0.26   | 0.25  | 0.03       | 0.03       | 0.02          | PFAN 11005S002 | 2       |
| 9.785     | 47.515 | 0.25   | 0.25  | 0.03       | 0.03       | 0.03          | PFAN 11005S002 | 3       |
| 12.933    | 48.429 | 0.01   | 0.45  | 0.07       | 0.09       | 0             | PFRK 88045S045 | 1       |
| 12.933    | 48.429 | 0.01   | 0.45  | 0.07       | 0.09       | 0             | PFRK 88045S045 | 2       |
| 34.543    | 49.603 | -1.71  | 0.75  | 0.1        | 0.13       | 0.07          | POLV 12336M001 | 1       |
| 13.066    | 52.379 | -0.49  | -0.12 | 0.03       | 0.03       | 0.1           | POTS 14106M003 | 1       |
| 11.099    | 43.886 | 0.39   | 2.1   | 0.03       | 0.03       | -0.05         | PRAT 12760M001 | 1       |
| 10.46     | 52.296 | -0.14  | 0.14  | 0.1        | 0.15       | -0.01         | PTBB 14234M001 | 1       |
| 10.46     | 52.296 | -0.14  | 0.14  | 0.1        | 0.15       | -0.01         | PTBB 14234M001 | 2       |
| 10.46     | 52.296 | -0.14  | 0.14  | 0.1        | 0.15       | -0.01         | PTBB 14234M001 | 3       |
| 10.46     | 52.296 | -0.14  | 0.14  | 0.1        | 0.15       | -0.01         | PTBB 14234M001 | 4       |
| 313.952   | 60.715 | -20.39 | 1.03  | 0.19       | 0.25       | 0.05          | QAQ1 43007M001 | 1       |
| 353.146   | 33.998 | -3.67  | 1.8   | 0.09       | 0.09       | 0.19          | RABT 35001M002 | 1       |
| 34.763    | 30.598 | -4.76  | 9.13  | 0.18       | 0.17       | -0.11         | RAMO 20703S001 | 1       |
| 34.763    | 30.598 | -4.76  | 9.13  | 0.18       | 0.17       | -0.11         | RAMO 20703S001 | 2       |
| 34.763    | 30.598 | -4.76  | 9.13  | 0.18       | 0.17       | -0.11         | RAMO 20703S001 | 4       |
| 5.145     | 50.001 | 0.11   | 0.06  | 0.17       | 0.23       | 0.01          | REDU 13102M001 | 1       |
| 338.045   | 64.139 | -17.16 | 3.61  | 0.11       | 0.13       | 0             | REYK 10202M001 | 1       |
| 338.045   | 64.139 | -17.17 | 3.61  | 0.11       | 0.13       | 0.01          | REYK 10202M001 | 2       |
| 338.045   | 64.139 | -17.17 | 3.61  | 0.11       | 0.13       | 0.01          | REYK 10202M001 | 3       |
| 13.486    | 48.203 | 1.48   | 0.88  | 0.04       | 0.04       | 0.04          | RIED 88048M048 | 1       |
| 24.059    | 56.949 | -0.51  | -0.62 | 0.04       | 0.06       | 0.07          | RIGA 12302M002 | 1       |
| 24.059    | 56.949 | -0.51  | -0.62 | 0.04       | 0.06       | 0.07          | RIGA 12302M002 | 2       |
| 24.059    | 56.949 | -0.51  | -0.62 | 0.05       | 0.06       | 0.07          | RIGA 12302M002 | 3       |
| 13.995    | 48.57  | -0.28  | 0.42  | 0.05       | 0.06       | 0.01          | ROHR 88049M049 | 1       |
| 13.995    | 48.57  | -0.28  | 0.42  | 0.05       | 0.07       | 0.01          | ROHR 88049M049 | 2       |
| 12.107    | 47.868 | 0.26   | -0.03 | 0.05       | 0.06       | 0.02          | ROSE 88050S050 | 1       |
| 11.042    | 45.894 | 1.27   | 0.72  | 2.26       | 2.98       | 0.02          | ROVE 12774M001 | 1       |
| 14.343    | 47.525 | -0.22  | 0.2   | 0.03       | 0.03       | 0.08          | RTMN 99050M050 | 1       |
| 9.507     | 46.983 | 0.13   | -0.29 | 0.04       | 0.05       | 0             | SARG 88051M051 | 1       |
| 13.643    | 54.514 | -0.52  | -0.47 | 0.2        | 0.3        | 0             | SASS 14281M001 | 1       |
| 13.643    | 54.514 | -0.52  | -0.47 | 0.2        | 0.3        | 0             | SASS 14281M001 | 2       |
| 13.11     | 47.803 | 0.46   | 0.38  | 0.03       | 0.03       | 0.08          | SBGZ 11031S001 | 1       |
| 13.11     | 47.803 | 0.46   | 0.37  | 0.03       | 0.03       | 0.07          | SBGZ 11031S001 | 2       |
| 12.291    | 45.23  | -1.35  | 1.67  | 0.05       | 0.06       | 0             | SFEL 99053M053 | 1       |
| 12.291    | 45.23  | -1.35  | 1.67  | 0.05       | 0.06       | 0.01          | SFEL 99053M053 | 2       |
| 353.794   | 36.464 | -4.09  | 1.13  | 0.14       | 0.15       | 0.07          | SFER 13402M004 | 1       |
| 353.794   | 36.464 | -4.09  | 1.13  | 0.14       | 0.15       | 0.07          | SFER 13402M004 | 2       |
| 353.794   | 36.464 | -4.1   | 1.13  | 0.14       | 0.15       | 0.07          | SFER 13402M004 | 3       |

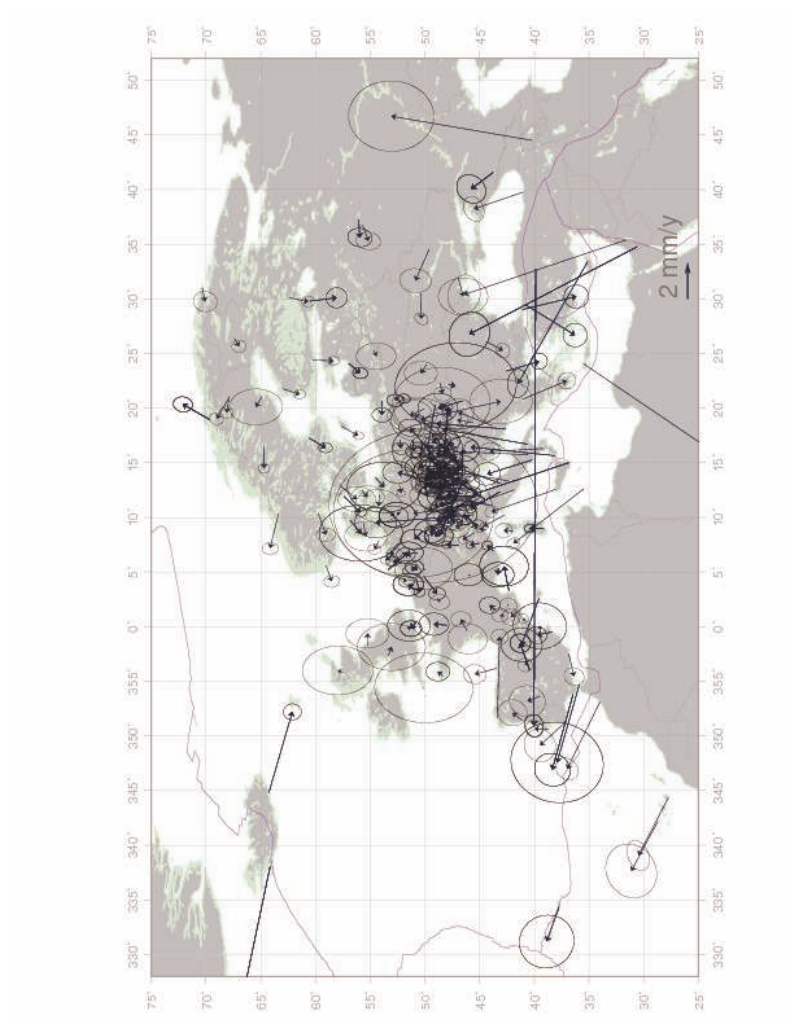
| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$  | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|--------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 4.677     | 45.879 | 0.04   | 0.07  | 0.09       | 0.12       | 0             | SJDV 10090M001 | 1       |
| 4.677     | 45.879 | 0.05   | 0.07  | 0.09       | 0.12       | 0             | SJDV 10090M001 | 2       |
| 21.048    | 64.879 | -0.56  | 0.34  | 0.15       | 0.22       | -0.01         | SKE0 10426M001 | 1       |
| 9.559     | 55.641 | -0.77  | -0.15 | 0.12       | 0.17       | 0             | SMID 10114M001 | 1       |
| 26.389    | 67.421 | -0.43  | -0.26 | 0.05       | 0.06       | 0.01          | SODA 10513M001 | 1       |
| 23.395    | 42.556 | 0.53   | -1.79 | 0.07       | 0.07       | -0.01         | SOFI 11101M002 | 1       |
| 23.395    | 42.556 | 0.53   | -1.78 | 0.07       | 0.07       | -0.01         | SOFI 11101M002 | 2       |
| 12.958    | 47.054 | 3.13   | 2.56  | 0.07       | 0.09       | 0             | SONN 88064S064 | 1       |
| 12.958    | 47.054 | 3.13   | 2.55  | 0.07       | 0.09       | 0             | SONN 88064S064 | 2       |
| 12.891    | 57.715 | -0.73  | -0.89 | 0.1        | 0.15       | 0.01          | SPT0 10425M001 | 1       |
| 18.414    | 43.868 | 0.72   | 1.85  | 0.11       | 0.13       | -0.03         | SRJV 11801S001 | 1       |
| 5.599     | 59.018 | -0.87  | -0.3  | 0.05       | 0.06       | -0.03         | STAS 10330M001 | 1       |
| 9.346     | 47.442 | 0.48   | 0.7   | 0.04       | 0.05       | 0.01          | STGA 88065M065 | 1       |
| 15.633    | 48.203 | 0.18   | 0.46  | 0.03       | 0.03       | 0.09          | STPO 11041S001 | 1       |
| 15.633    | 48.203 | 0.16   | 0.48  | 0.03       | 0.03       | 0.1           | STPO 11041S001 | 2       |
| 9.742     | 56.842 | -0.71  | -0.59 | 0.23       | 0.34       | 0             | SULD 10113M001 | 1       |
| 9.742     | 56.842 | -0.71  | -0.59 | 0.23       | 0.34       | 0             | SULD 10113M001 | 2       |
| 24.014    | 49.836 | -0.49  | 0.32  | 0.1        | 0.13       | 0             | SULP 12366M001 | 1       |
| 29.781    | 60.533 | 0.19   | -1.47 | 0.08       | 0.08       | -0.02         | SVTL 12350M001 | 1       |
| 29.781    | 60.533 | 0.18   | -1.47 | 0.08       | 0.09       | -0.02         | SVTL 12350M001 | 2       |
| 5.219     | 53.363 | 0.93   | -1.08 | 0.09       | 0.13       | -0.01         | TERS 13534M001 | 1       |
| 5.219     | 53.363 | 0.93   | -1.08 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | TERS 13534M001 | 3       |
| 5.219     | 53.363 | 0.93   | -1.08 | 0.09       | 0.12       | -0.01         | TERS 13534M001 | 4       |
| 15.651    | 38.108 | 0.47   | 4.58  | 0.05       | 0.06       | -0.2          | TGRC 99061M061 | 1       |
| 15.651    | 38.108 | 0.47   | 4.58  | 0.05       | 0.05       | -0.21         | TGRC 99061M061 | 2       |
| 291.212   | 76.537 | -13.04 | -3.4  | 0.19       | 0.17       | 0.17          | THU1 43001M001 | 1       |
| 291.175   | 76.537 | -14.48 | -4.01 | 0.22       | 0.23       | 0.16          | THU3 43001M002 | 1       |
| 15.724    | 40.601 | 0.25   | 5.52  | 0.05       | 0.05       | -0.14         | TITO 99062M062 | 1       |
| 1.481     | 43.561 | 0.29   | 0.31  | 0.07       | 0.09       | 0.01          | TLSE 10003M009 | 1       |
| 7.661     | 45.063 | -0.1   | 0.5   | 0.03       | 0.03       | -0.03         | TORI 12724M002 | 1       |
| 1.481     | 43.561 | 0.29   | 0.31  | 0.07       | 0.09       | 0.01          | TOUL 10003M004 | 1       |
| 39.776    | 40.995 | -0.92  | 2.7   | 0.1        | 0.08       | 0.24          | TRAB 20808M001 | 1       |
| 10.319    | 63.371 | -1.88  | 0.46  | 0.05       | 0.06       | -0.03         | TRDS 10331M001 | 1       |
| 14.464    | 46.861 | 0      | 1.84  | 0.07       | 0.09       | 0             | TRE1 88067S067 | 1       |
| 14.464    | 46.861 | 0.01   | 1.83  | 0.07       | 0.09       | 0             | TRE2 88068S068 | 1       |
| 15.859    | 47.928 | 1.1    | 0.85  | 0.05       | 0.07       | 0.03          | TRFB 11047M001 | 1       |
| 13.764    | 45.71  | -0.44  | 2.62  | 0.08       | 0.1        | 0             | TRIE 12718M003 | 1       |
| 18.94     | 69.663 | 0.84   | 1.46  | 0.06       | 0.08       | 0.07          | TRO1 10302M006 | 1       |
| 18.94     | 69.663 | 0.84   | 1.46  | 0.06       | 0.08       | 0.07          | TRO1 10302M006 | 2       |
| 18.94     | 69.663 | 0.84   | 1.46  | 0.06       | 0.08       | 0.07          | TRO1 10302M006 | 3       |
| 18.94     | 69.663 | 0.83   | 1.46  | 0.06       | 0.08       | 0.07          | TRO1 10302M006 | 4       |

| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$  | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|--------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 29.451    | 40.787 | -1.64  | -2.69 | 0.1        | 0.1        | 0.01          | TUBI 20806M001 | 1       |
| 29.451    | 40.787 | -1.66  | -2.68 | 0.1        | 0.1        | 0.01          | TUBI 20806M001 | 2       |
| 16.593    | 49.206 | -0.14  | 0.19  | 0.12       | 0.17       | -0.03         | TUBO 11503M001 | 1       |
| 16.593    | 49.206 | -0.14  | 0.19  | 0.12       | 0.17       | -0.03         | TUBO 11503M001 | 2       |
| 24.071    | 35.533 | -17.03 | -25.1 | 0.42       | 0.48       | -0.03         | TUC2 12617M003 | 1       |
| 12.356    | 43.119 | -0.9   | 1.59  | 0.04       | 0.04       | -0.05         | UNPG 12752M001 | 1       |
| 12.356    | 43.119 | -0.91  | 1.59  | 0.04       | 0.04       | -0.05         | UNPG 12752M001 | 2       |
| 12.356    | 43.119 | -0.91  | 1.59  | 0.04       | 0.04       | -0.05         | UNPG 12752M001 | 3       |
| 11.878    | 45.407 | 0.1    | 1.57  | 0.03       | 0.04       | 0             | UPAD 12750M002 | 1       |
| 11.878    | 45.407 | 0.1    | 1.57  | 0.03       | 0.04       | 0             | UPAD 12750M002 | 2       |
| 22.298    | 48.632 | -0.59  | -0.15 | 0.06       | 0.07       | 0.06          | UZHL 12301M001 | 1       |
| 21.771    | 62.961 | -0.3   | -0.9  | 0.04       | 0.05       | 0             | VAAS 10511M001 | 1       |
| 359.662   | 39.481 | 0.25   | 0.01  | 0.19       | 0.22       | 0.04          | VALE 13439M001 | 1       |
| 359.662   | 39.481 | 0.25   | 0.01  | 0.19       | 0.22       | 0.04          | VALE 13439M001 | 2       |
| 31.031    | 70.336 | -0.76  | -0.16 | 0.08       | 0.1        | 0.05          | VARD 10322M002 | 3       |
| 12.332    | 45.437 | 0.71   | 1.27  | 0.05       | 0.06       | -0.01         | VENE 12741M001 | 1       |
| 12.332    | 45.437 | 0.72   | 1.26  | 0.05       | 0.06       | -0.01         | VENE 12741M001 | 2       |
| 12.332    | 45.437 | 0.72   | 1.26  | 0.05       | 0.06       | -0.01         | VENE 12741M001 | 3       |
| 16.56     | 64.698 | -1.23  | 0.01  | 0.04       | 0.05       | -0.01         | VIL0 10424M001 | 1       |
| 13.85     | 46.607 | 0.61   | 1.03  | 0.03       | 0.03       | 0.06          | VIL1 88080M080 | 1       |
| 13.85     | 46.607 | 0.57   | 1.08  | 0.03       | 0.03       | 0.06          | VILH 99069M069 | 1       |
| 356.048   | 40.444 | 1.46   | 0.5   | 0.08       | 0.08       | 0.04          | VILL 13406M001 | 1       |
| 356.048   | 40.444 | 1.46   | 0.5   | 0.08       | 0.08       | 0.04          | VILL 13406M001 | 2       |
| 356.048   | 40.444 | 1.45   | 0.5   | 0.08       | 0.08       | 0.04          | VILL 13406M001 | 3       |
| 356.048   | 40.444 | 1.45   | 0.5   | 0.08       | 0.08       | 0.04          | VILL 13406M001 | 4       |
| 18.367    | 57.654 | -0.52  | -0.94 | 0.03       | 0.04       | 0.06          | VISO 10423M001 | 1       |
| 13.85     | 46.607 | 0.58   | 1     | 0.03       | 0.03       | 0.05          | VLCH 11036S001 | 1       |
| 13.85     | 46.607 | 0.59   | 1.01  | 0.03       | 0.03       | 0.05          | VLCH 11036S001 | 2       |
| 14.626    | 46.661 | 0.8    | 1.05  | 0.03       | 0.04       | 0.05          | VLKM 11040S001 | 1       |
| 14.626    | 46.661 | 0.8    | 1.05  | 0.03       | 0.04       | 0.05          | VLKM 11040S001 | 2       |
| 25.299    | 54.653 | -0.33  | -0.13 | 0.11       | 0.16       | -0.01         | VLNS 10801M001 | 1       |
| 15.266    | 40.231 | -0.76  | 2.44  | 0.09       | 0.11       | -0.05         | VLUC 99070M070 | 1       |
| 15.266    | 40.231 | -0.77  | 2.44  | 0.09       | 0.11       | -0.05         | VLUC 99070M070 | 2       |
| 11.911    | 45.385 | -0.03  | 2.11  | 0.12       | 0.15       | 0             | VOLT 99071M071 | 1       |
| 11.911    | 45.385 | -0.03  | 2.11  | 0.12       | 0.15       | 0             | VOLT 99071M071 | 2       |
| 11.911    | 45.385 | -0.03  | 2.11  | 0.12       | 0.15       | 0             | VOLT 99071M071 | 3       |
| 5.245     | 50.69  | 0.11   | 0.16  | 0.06       | 0.08       | 0.01          | WARE 13114M001 | 1       |
| 5.245     | 50.69  | 0.11   | 0.16  | 0.06       | 0.08       | 0.01          | WARE 13114M001 | 2       |
| 5.245     | 50.69  | 0.11   | 0.16  | 0.06       | 0.08       | 0.01          | WARE 13114M001 | 3       |
| 12.101    | 54.17  | -0.62  | 0.05  | 0.13       | 0.19       | 0.01          | WARN 14277M002 | 1       |
| 14.021    | 48.158 | 0.06   | 0.99  | 0.03       | 0.03       | 0.07          | WELS 11044S001 | 1       |
| 16.373    | 48.219 | 0.18   | 0.23  | 0.11       | 0.15       | 0             | WIEB 88069M069 | 1       |

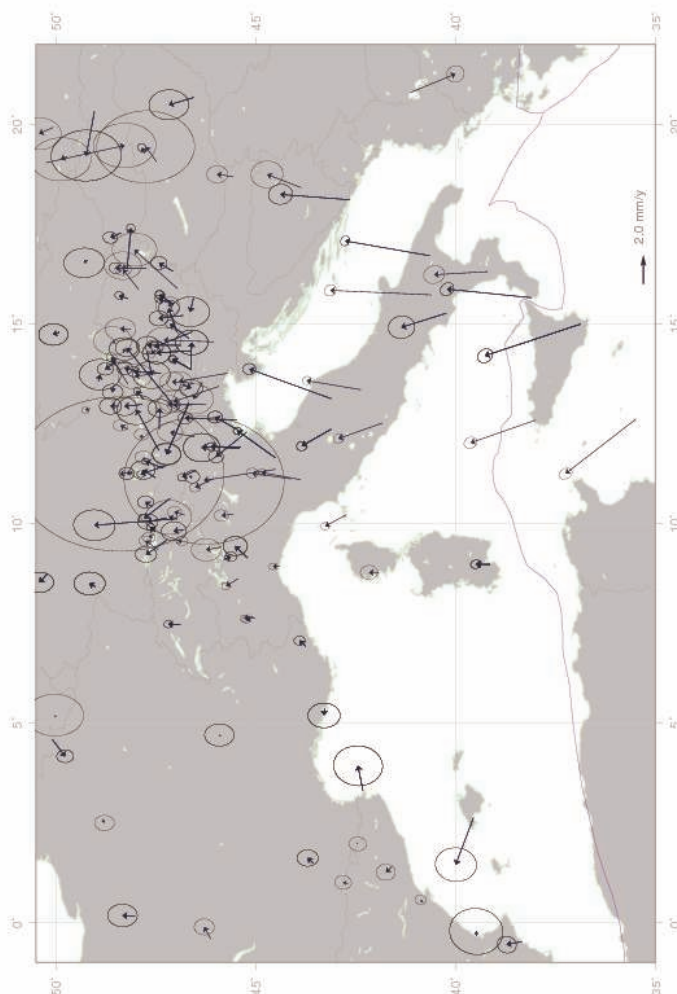
| $\lambda$ | $\Phi$ | $V_e$ | $V_n$ | $\sigma_e$ | $\sigma_n$ | $\sigma_{en}$ | Sito           | N. sol. |
|-----------|--------|-------|-------|------------|------------|---------------|----------------|---------|
| 16.373    | 48.219 | 2.23  | -0.18 | 0.03       | 0.04       | 0.1           | WIEN 11035S001 | 1       |
| 16.373    | 48.219 | 2.22  | -0.23 | 0.03       | 0.04       | 0.11          | WIEN 11035S001 | 2       |
| 14.302    | 47.723 | -1.26 | -0.25 | 0.11       | 0.15       | 0             | WIND 88070S070 | 1       |
| 14.302    | 47.723 | -1.26 | -0.25 | 0.11       | 0.15       | 0             | WIND 88070S070 | 2       |
| 17.062    | 51.113 | -0.62 | -0.04 | 0.05       | 0.07       | 0.02          | WROC 12217M001 | 1       |
| 17.062    | 51.113 | -0.62 | -0.04 | 0.05       | 0.06       | 0.02          | WROC 12217M001 | 2       |
| 17.062    | 51.113 | -0.62 | -0.04 | 0.05       | 0.07       | 0.02          | WROC 12217M001 | 3       |
| 10.416    | 47.602 | 0.25  | 0.34  | 0.05       | 0.07       | 0.02          | WRTH 88071S071 | 1       |
| 10.416    | 47.602 | 0.25  | 0.34  | 0.05       | 0.07       | 0.02          | WRTH 88071S071 | 2       |
| 6.605     | 52.915 | -0.32 | 0.41  | 0.03       | 0.04       | 0.02          | WSRT 13506M005 | 1       |
| 12.879    | 49.144 | -0.1  | 0.26  | 0.03       | 0.03       | 0.1           | WTZR 14201M010 | 1       |
| 356.911   | 40.525 | -0.25 | 0.19  | 0.05       | 0.06       | 0.09          | YEBE 13420M001 | 1       |
| 41.565    | 43.788 | -0.9  | 1.18  | 0.12       | 0.12       | 0.18          | ZECK 12351M001 | 1       |
| 41.565    | 43.788 | -0.9  | 1.18  | 0.12       | 0.12       | 0.18          | ZECK 12351M001 | 2       |
| 41.565    | 43.788 | -0.9  | 1.18  | 0.12       | 0.12       | 0.18          | ZECK 12351M001 | 3       |
| 7.465     | 46.877 | 0.02  | 0.68  | 0.03       | 0.04       | -0.02         | ZIMM 14001M004 | 1       |
| 7.465     | 46.877 | 0.02  | 0.68  | 0.03       | 0.04       | -0.02         | ZIMM 14001M004 | 2       |
| 12.974    | 46.557 | -0.03 | 1.09  | 0.04       | 0.05       | 0.02          | ZOUF 12763M001 | 1       |
| 36.759    | 55.699 | -0.87 | -0.32 | 0.07       | 0.1        | 0.08          | ZWEN 12330M001 | 1       |
| 19.206    | 49.687 | -0.18 | 0.4   | 0.18       | 0.24       | -0.02         | ZYWI 12220S001 | 1       |

### Visualizzazione del campo di velocità

Diamo infine una visualizzazione del campo di velocità EGU, espresso nel sistema di riferimento ETRF.



Campo di velocità ETRF



Campo di velocità ETRF, regione mediterranea.

## 9.5 Conclusioni

E' stato determinato un campo di velocità valido per la regione europea combinando soluzioni settimanali provenienti da tre reti GPS (EUREF, UPA, GP, per un totale di 237 siti). Dai sistemi di equazioni normali sono stati rimossi i vincoli pre esistenti e sono stati imposti i minimi vincoli, rispetto alla soluzione ITRF mappata all'epoca di interesse. Per ciascun network è stata eseguita una combinazione multi-anno preliminare, imponendo vincoli interni, allo scopo di determinare le discontinuità e rimuovere gli outliers presenti nelle serie storiche di ogni sito. In questa fase dell'elaborazione si è notata la scarsa consistenza, in termini di sistema di riferimento, delle soluzioni settimanali UPA e GP. Tale problema non degrada la qualità intrinseca



delle soluzioni settimanali in questione, come dimostrato dai valori del WRMS, che sono risultati paragonabili a quelli relativi alla soluzione EUREF. La combinazione dei sistemi di equazioni normali delle tre reti, effettuata settimana per settimana, da cui sono state ottenute le soluzioni settimanali EGU, ha consentito di migliorare la consistenza, raggiungendo un livello paragonabile alla soluzione EUREF. In termini di velocità abbiamo verificato che il campo così ottenuto è allineato a quello ITRF2005 a livello di 0.11 mm/yr per la componente est e di 0.07 mm/yr per la componente nord. Abbiamo infine verificato che l'intervallo minimo di tempo considerato è sufficiente a mediare gli effetti del termine annuale presente nelle serie storiche di molti siti. L'effetto del termine annuale è di 0.01 mm/yr per la componente est, e di 0.06 mm/yr per la componente nord.



# Capitolo 10

## Campo di velocità CEGRN

### 10.1 Introduzione.

Nel capitolo 9 abbiamo descritto la strategia di riprocessamento della campagna CEGRN, e abbiamo determinato un campo di velocità per mezzo della combinazione delle equazioni normali di campagna. Tale combinazione era tuttavia finalizzata allo studio della consistenza delle soluzioni di campagna e alla determinazione della qualità dei siti considerati. Le equazioni normali di ogni singola campagna prodotte dai gruppi di ricerca che hanno partecipato al progetto sono state poi combinate tra di loro, ed infine è stata effettuata una combinazione multianno con ADDNEQ2.

In questo capitolo descriviamo la realizzazione di una soluzione multianno combinata delle equazioni normali EGU e CEGRN.

### 10.2 Descrizione della strategia di combinazione

I sinex delle campagne CEGRN utilizzati sono i seguenti

|   | Nome           | Epoca  | N. siti. |
|---|----------------|--------|----------|
| 1 | AN94+Grd_A.SNX | 94:124 | 47       |
| 2 | AN95+Grd_A.SNX | 95:151 | 36       |
| 3 | AN96+Grd_A.SNX | 96:164 | 40       |
| 4 | AN97+Grd_A.SNX | 97:158 | 41       |
| 5 | AN99+Grd_A.SNX | 99:167 | 56       |
| 6 | AN01+Grd_A.SNX | 1:171  | 54       |
| 7 | AN03+Grd_A.SNX | 3:169  | 67       |
| 8 | AN05+Grd_A.SNX | 5:173  | 85       |
| 9 | AN07+Grd_A.SNX | 7:171  | 82       |

I sistemi di eq. normali corrispondenti a questi sinex sono vincolati mediante i minimi vincoli. Per imporre nuovi vincoli è sufficiente utilizzare l'equazione (9.4). Come nel capitolo precedente abbiamo prima prodotto una soluzione multianno preliminare

applicando vincoli interni, allo scopo di rimuovere eventuali outliers, e poi abbiamo combinato le eq. normali di campagna con le eq. normali EGU, allo scopo di ottenere un sistema di riferimento combinato che fosse allineato a quello definito dalla soluzione multianno EGU.

### 10.2.1 Consistenza della soluzione CEGRN

Utilizziamo i parametri di Helmert di ciascuna soluzione di campagna rispetto alla soluzione combinata per studiare la consistenza interna delle soluzioni, in termini di sistema di riferimento. Ricordiamo che nell'elaborazione sono state utilizzate orbite riprocessate in un sistema di riferimento comune. Ci aspettiamo, quindi, un elevato livello di consistenza tra le soluzioni: Dal momento che le soluzioni considerate sono solo 9, possiamo rappresentare i risultati in una tabella:

| Id. sol | $T_1[mm]$ | $T_2[mm]$ | $T_3[mm]$ | $D[10^{-9}]$ | $R_1[mas]$ | $R_2[mas]$ | $R_3[mas]$ |
|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|------------|------------|
| 1       | -4.7      | 33.8      | 5.0       | -1.06        | 0.861      | 0.228      | -0.650     |
| 2       | -23.6     | 9.3       | 4.8       | 1.44         | 0.214      | 0.694      | -0.305     |
| 3       | 11.5      | -8.6      | -14.0     | 0.82         | -0.152     | -0.572     | 0.206      |
| 4       | 5.5       | -45.6     | 3.2       | 0.29         | -1.199     | -0.084     | 0.898      |
| 5       | 17.5      | -10.3     | -1.0      | -1.29        | -0.281     | -0.467     | 0.270      |
| 6       | 5.8       | 11.2      | 1.8       | -1.08        | 0.267      | -0.112     | -0.193     |
| 7       | 2.7       | 11.5      | -5.8      | 0.15         | 0.372      | -0.174     | -0.156     |
| 8       | -10.4     | -17.5     | 9.3       | 0.32         | -0.508     | 0.443      | 0.275      |
| 9       | -4.3      | 16.2      | -3.4      | 0.39         | 0.426      | 0.042      | -0.344     |

come si vede la consistenza delle soluzioni individuali è superiore a quello delle soluzioni EGU, fatta eccezione per la soluzione 4, che presenta il valore massimo per i parametri di traslazione (4.5 cm lungo la direzione y). I parametri di rotazione sono dell'ordine di 1 mas. Riportiamo anche i valori di WRMS 3d e WRMS verticale:

| Id. sol | $WRMS_{3d}[m]$ | $WRMS_{vert}[m]$ |
|---------|----------------|------------------|
| 1       | 0.00500        | 0.00760          |
| 2       | 0.00480        | 0.00740          |
| 3       | 0.00750        | 0.01250          |
| 4       | 0.00630        | 0.01030          |
| 5       | 0.00520        | 0.00820          |
| 6       | 0.00380        | 0.00550          |
| 7       | 0.00450        | 0.00690          |
| 8       | 0.00300        | 0.00420          |
| 9       | 0.00390        | 0.00580          |

Le soluzioni di campagna CEGRN dimostrano di possedere una elevata consistenza.

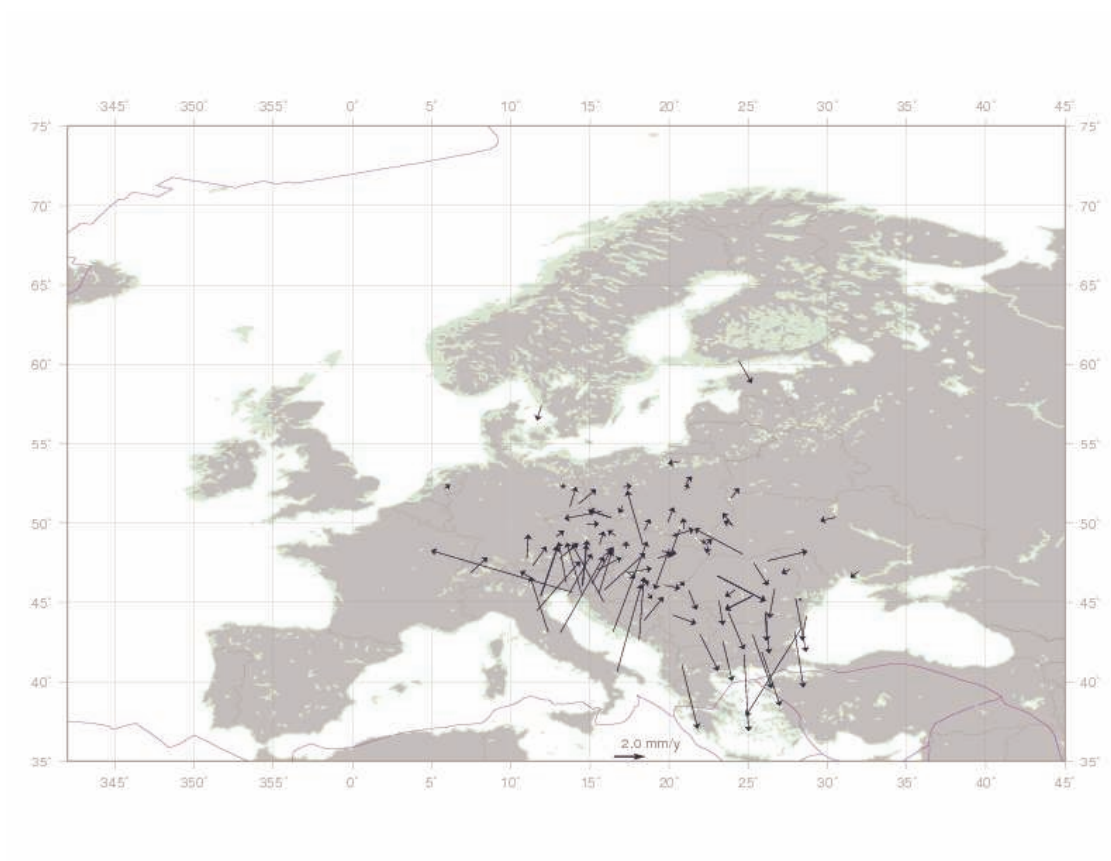


Figura 10.1: Campo di velocità ETRF desunto dalla combinazione preliminare CEGRN

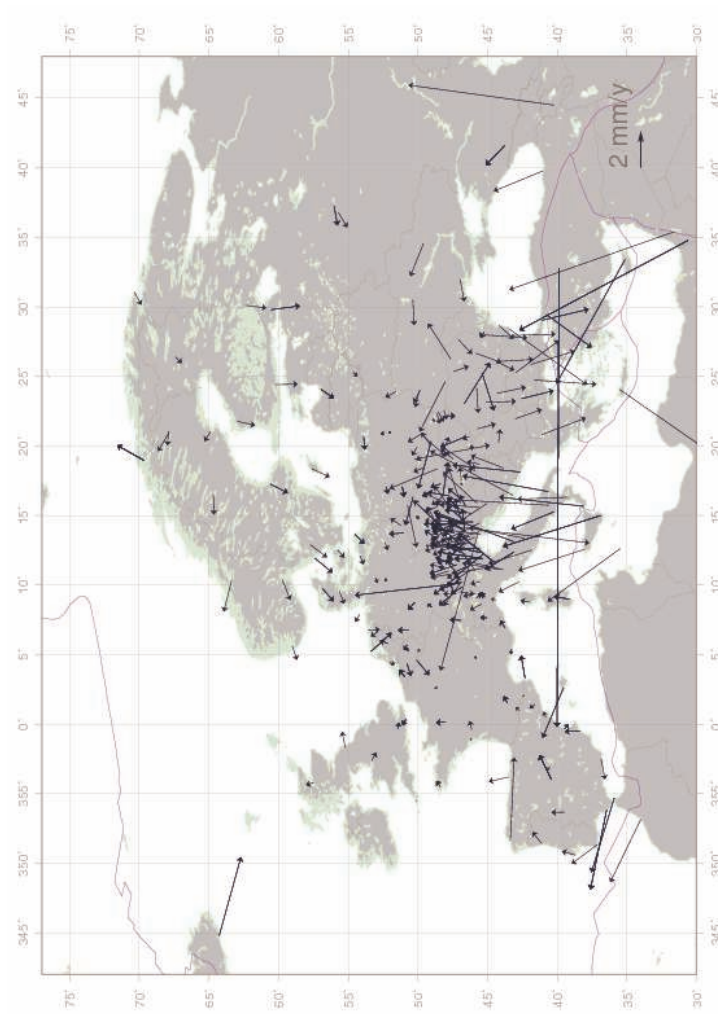


Figura 10.2: Campo di velocità ETRF definitivo, ottenuto dalla combinazione multianno EUREF, GP, UPA e CEGRN.

### 10.3 Campo di velocità combinato

Osserviamo che le soluzioni 1, 2 e 3 sono antecedenti alla prima soluzione settimanale EUREF, e pertanto non possono essere allineate attraverso lo stacking con la corrispondente soluzione settimanale EUREF. Le soluzioni di campagna CEGRN, tuttavia, possiedono già intrinsecamente un buon allineamento con il sistema ITRF05. Siamo quindi portati ad utilizzare nella combinazione multianno anche quelle soluzioni CEGRN che non hanno un corrispettivo nelle soluzioni settimanali EUREF. Il risultato, nel sistema ETRF, è rappresentato dalla figura (10.2). Per motivi di spazio non riportiamo in tabella tutti i valori del campo tabulati. Il numero di siti presenti in questa soluzione è 296.

# Capitolo 11

## Interpolazione del campo di velocità.

### 11.1 Introduzione.

La combinazione multianno descritta nei capitoli precedenti consente di determinare i valori del campo di velocità su un insieme limitato di punti. In questo capitolo descriviamo un algoritmo che permette di utilizzare l'informazione statistica derivante dalle misure del campo per ottenere una rappresentazione analitica: Tale rappresentazione consente di predire i valori che il campo su tutta la regione di interesse. Inoltre, avendo a disposizione una approssimazione analitica del campo, è possibile ottenere, per derivazione, le componenti del tensore del tasso di deformazione. La descrizione dell'algoritmo di minima varianza è presa da [5].

### 11.2 Algoritmo di interpolazione

#### 11.2.1 Descrizione dell'algoritmo

Consideriamo due insiemi di quantità casuali. Il primo è un insieme di valori misurati, rappresentati dal vettore di dimensione  $q$ :

$$l = [l_1, l_2 \dots l_q]^T \quad (11.1)$$

il secondo insieme viene definito segnale, ed è rappresentato dal vettore di dimensione  $m$ :

$$s = [s_1, s_2 \dots s_m]^T. \quad (11.2)$$

Assumiamo che entrambi i vettori abbiano valori di aspettazione nulli:

$$E[l] = 0, \quad E[s] = 0 \quad (11.3)$$

in tal caso le quantità  $l$  e  $s$  vengono dette centrate. Con i vettori  $l$  ed  $s$  possiamo costruire le seguenti matrici di covarianza:

$$C_{ll} = \text{cov}(l, l) \quad \text{autocovarianza di } l \quad (11.4)$$

$$C_{sl} = \text{cov}(s, l) \quad \text{crosscovarianza di } s \text{ e } l \quad (11.5)$$

$$C_{ss} = \text{cov}(s, s) \quad \text{autocovarianza di } s \quad (11.6)$$

Gli elementi delle matrici di covarianza sono i valori medi dei seguenti prodotti:

$$E[l_i l_j] \quad i, j = 1, 2, \dots, q \quad (11.7)$$

$$E[s_k l_i] \quad k = 1, 2, \dots, m \quad i = 1, 2, \dots, q \quad (11.8)$$

$$E[s_k s_h] \quad k, h = 1, 2, \dots, m \quad (11.9)$$

Ed in notazione matriciale si ha:

$$C_{ll} = E[l l^T] \quad (11.10)$$

$$C_{sl} = E[s l^T] \quad (11.11)$$

$$C_{ss} = E[s s^T]. \quad (11.12)$$

Osserviamo che le definizioni precedenti sono valide solo se le quantità  $l$  e  $s$  sono centrate. Supponiamo che le matrici (11.10), (11.11) e (11.12), e tutte le altre matrici che incontreremo nel resto della trattazione, abbiano rango pieno. Assumiamo che il vettore delle misure  $l$  sia conosciuto, mentre il vettore dei segnali  $s$  sia sconosciuto, E' lecito chiedersi quale sia la miglior approssimazione del vettore  $s$  sulla base, date le misure  $l$ . Cerchiamo una stima che non sia data da una relazione funzionale tra  $l$  ed  $s$ , ma che sia basata sull'informazione contenuta nelle matrici di covarianza. Cerchiamo una funzione lineare tale che:

$$\hat{s} = H l \quad (11.13)$$

dove  $H$  è una matrice  $m \times q$  da determinare. In tal caso ciascuna componente del vettore  $s$  è approssimata da una combinazione lineare dei dati  $l$ . Se  $s$  è il valore vero del segnale, allora l'errore è dato da

$$\varepsilon = \hat{s} - s \quad (11.14)$$

Possiamo calcolare la matrice di covarianza del vettore (11.14) come:

$$C_{\varepsilon\varepsilon} = \text{cov}(\varepsilon, \varepsilon) = E[\varepsilon\varepsilon^T] = E[(\hat{s} - s)(\hat{s} - s)^T] \quad (11.15)$$

I termini diagonali della matrice  $C_{\varepsilon\varepsilon}$  sono le varianze  $\sigma_k^2$  della stima  $\hat{s}_k$

$$\sigma_k^2 = E[\varepsilon_k^2] = E[(\hat{s}_k - s_k)^2] \quad (11.16)$$



Calcolando la media della stima del segnale si dimostra che essa è priva di bias:

$$E[\hat{s}] = HE[l] = 0. \quad (11.17)$$

Cerchiamo ora una stima lineare del segnale  $s$ , priva di bias e tale che, e tale che le varianze  $\sigma_k^2$  (eq. 11.16) siano minime. La matrice di covarianza dell'errore, per una arbitraria matrice  $H$ , è data dal valore di aspettazione della matrice:

$$\varepsilon\varepsilon^T = (Hl - s)(Hl - s)^T = HlH^T - sl^T H^T - Hls^T + ss^T. \quad (11.18)$$

Calcolando il valore di aspettative degli elementi di matrice abbiamo:

$$E[\varepsilon\varepsilon^T] = HE[lH^T] - E[sl^T]H^T - HE[ls^T] + E[ss^T] \quad (11.19)$$

e utilizzando le definizioni (11.10), (11.11) e (11.12), otteniamo :

$$C_{\varepsilon\varepsilon} = HC_{ll}H^T - C_{sl}H^T - HC_{ls} + C_{ss} \quad (11.20)$$

avendo posto:

$$C_{ls} = C_{sl}^T = E[ls^T] \quad (11.21)$$

La matrice di covarianza (11.20) si può scrivere anche come

$$C_{\varepsilon\varepsilon} = C_{ss} - C_{sl}C_{ll}^{-1}C_{ls} + (H - C_{sl}C_{ll}^{-1})C_{ll}(H - C_{sl}C_{ll}^{-1})^T \quad (11.22)$$

eseguendo le moltiplicazioni matriciali e ricordando che la matrice  $C_{ll}^{-1}$  esiste perchè si è supposto che  $C_{ll}$  abbia rango pieno. In tal caso:

$$C_{ll}^{-1}C_{ll} = I. \quad (11.23)$$

Osserviamo che la matrice di covarianza dell'errore è uguale alla somma delle seguenti matrici:

$$A = C_{ss} - C_{sl}C_{ll}^{-1}C_{ls} \quad (11.24)$$

$$B = (H - C_{sl}C_{ll}^{-1})C_{ll}(H - C_{sl}C_{ll}^{-1})^T \quad (11.25)$$

Ora si vede che la matrice  $A$  non dipende da  $H$ , e quindi è uguale in tutte le stime lineari del segnale; La matrice  $B$  è nulla se  $H$  viene scelta in modo tale che

$$H = C_{sl}C_{ll}^{-1}. \quad (11.26)$$

Inoltre se  $B$  non è nulla, allora tutti gli elementi della sua diagonale sono maggiori di 0, infatti sia  $\gamma$  la  $k$ -esima riga della matrice  $H - C_{sl}C_{ll}^{-1}$  (è un vettore riga di  $m$  componenti); il  $k$ -esimo elemento della diagonale della matrice si scrive:

$$\gamma C_{ll} \gamma^T \quad (11.27)$$

Dal momento che  $C_{ll}$  è una matrice di covarianza di rango pieno, essa è anche definita positiva, e quindi

$$\gamma C_{ll} \gamma^T \geq 0 \quad (11.28)$$

$$\gamma C_{ll} \gamma^T = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \gamma = 0 \quad (11.29)$$

Questo significa che la stima di minima varianza è data dall'equazione

$$B = 0 \quad (11.30)$$

equivalente a

$$H = C_{sl} C_{ll}^{-1} \quad (11.31)$$

e che la stima di minima varianza è data da

$$\hat{s} = C_{sl} C_{ll}^{-1} l \quad (11.32)$$

e la stima dell'errore è dato da:

$$C_{\varepsilon\varepsilon} = C_{ss} - C_{sl} C_{ll}^{-1} C_{ls}. \quad (11.33)$$

### 11.2.2 Collocazione con errori casuali

Supponiamo che il vettore di osservazioni  $l$  sia affetto da errori di misura, secondo una distribuzione normale. Allora possiamo rappresentare le componenti del vettore  $l$  con la seguente notazione:

$$l_i = t_i + n_i. \quad (11.34)$$

Tale notazione indica che l'osservazione  $l_i$  è stata decomposta nel segnale  $t_i$  e nel rumore  $n_i$ . Per  $t$  e  $n$  possiamo definire le matrici di covarianza:

$$C_{tt} = E[tt^T] \quad (11.35)$$

$$C_{nn} = E[nn^T] \quad (11.36)$$

$$C_{nt} = E[tn^T]. \quad (11.37)$$

Calcoliamo ora le matrici  $C_{ll}$  e  $C_{sl}$ . Si ha che:

$$C_{ll} = E[l l^T] = E[(t + n)(t^T + n^T)] \quad (11.38)$$

$$= E[tt^T] + E[tn^T] + E[nt^T] + E[nn^T] \quad (11.39)$$

$$= C_{tt} + C_{tn} + C_{nt} + C_{nn} \quad (11.40)$$

imponiamo ora che il rumore  $n$  e il segnale  $t$  siano scorrelati,:

$$C_{nt} = 0 \quad (11.41)$$

in tal caso si ha:

$$C_{ll} = C_{tt} + C_{nn} \quad (11.42)$$

e la matrice di covarianza cercata è data dalla somma delle matrici di covarianza del segnale  $l$  e del rumore  $n$ . La matrice  $C_{sl}$  è data da:

$$C_{sl} = E[s(t^T + n^T)] \quad (11.43)$$

$$= E[st^T] + E[sn^T] \quad (11.44)$$

$$= C_{st} + C_{sn} = C_{st}. \quad (11.45)$$

Ne segue che nel caso di osservazioni affette da errori normalmente distribuiti, le eq. (11.32) e (11.33) sono ancora valide, con le matrici  $C_{ll}$  e  $C_{sl}$  definite dalle eq. (11.42) e (11.43).

### 11.2.3 Applicazione dell'algoritmo al campo di velocità

Applichiamo l'algoritmo di interpolazione al caso di un campo di velocità bidimensionale. Il vettore delle osservazioni è definito nel seguente modo:

$$l = [V_1^n, V_2^n, \dots, V_q^n, V_1^e, V_2^e, \dots, V_q^e]^T = \begin{pmatrix} V_i^n \\ V_i^e \end{pmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, q \quad (11.46)$$

dove  $V_i^n$  e  $V_i^e$  si riferiscono alla componente nord e alla componente est del vettore velocità, relativo all' $i$ -esimo sito. Analogamente possiamo definire il vettore dei segnali:

$$s = [v_1^n, v_2^n, \dots, v_m^n, v_1^e, v_2^e, \dots, v_m^e]^T = \begin{pmatrix} v_k^n \\ v_k^e \end{pmatrix} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (11.47)$$

ipotizziamo, inoltre, che le grandezze  $l$  ed  $s$  siano centrate. Perché questo fatto sia verificato è sufficiente sottrarre al vettore delle osservazioni  $l$  il suo valore medio. La matrice di covarianza del campo di velocità assume allora la seguente forma:

$$C_{ll} = \begin{pmatrix} C_{ij}^{nn} & C_{ij}^{ne} \\ C_{ij}^{en} & C_{ij}^{ee} \end{pmatrix} \quad i, j = 1, 2, \dots, q \quad (11.48)$$

ed, in modo simile, la matrice di cross-covarianza  $C_{sl}$  si scrive come:

$$C_{sl} = \begin{pmatrix} C_{ki}^{nn} & C_{ki}^{ne} \\ C_{ki}^{en} & C_{ki}^{ee} \end{pmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, q \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (11.49)$$

dove le sottomatrici sono definite da:

$$C_{ij}^{nn} = \begin{pmatrix} C_{11}^{nn} & C_{12}^{nn} & \dots & C_{1q}^{nn} \\ C_{21}^{nn} & & & \\ \dots & & & \\ C_{q1}^{nn} & \dots & \dots & C_{qq}^{nn} \end{pmatrix} \quad (11.50)$$

$$C_{ij}^{ee} = \begin{pmatrix} C_{11}^{ee} & C_{12}^{ee} & \dots & C_{1q}^{ee} \\ C_{21}^{ee} & & & \\ \dots & & & \\ C_{q1}^{ee} & \dots & \dots & C_{qq}^{ee} \end{pmatrix} \quad (11.51)$$

$$C_{ki}^{mn} = \begin{pmatrix} C_{11}^{nn} & C_{12}^{nn} & \dots & C_{1q}^{nn} \\ C_{21}^{mn} & & & \\ \dots & & & \\ C_{m1}^{mn} & \dots & \dots & C_{mq}^{nn} \end{pmatrix} \quad (11.52)$$

$$C_{ki}^{ee} = \begin{pmatrix} C_{11}^{ee} & C_{12}^{ee} & \dots & C_{1q}^{ee} \\ C_{21}^{ee} & & & \\ \dots & & & \\ C_{m1}^{ee} & \dots & \dots & C_{mq}^{ee} \end{pmatrix}. \quad (11.53)$$

Per semplificare il problema, imponiamo che le componenti nord ed est della velocità di ciascun sito siano scorrelate. Questo fatto implica che:

$$C_{ij}^{me} = C_{ij}^{en} = 0 \quad (11.54)$$

$$C_{ki}^{me} = C_{ki}^{en} = 0 \quad (11.55)$$

l'eq. (11.32) diviene allora:

$$\begin{pmatrix} \hat{v}_k^n \\ \hat{v}_k^e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{ki}^{mn} & 0 \\ 0 & C_{ki}^{ee} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{ll}^{mn} & 0 \\ 0 & C_{ll}^{ee} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_i^n \\ V_i^e \end{pmatrix}. \quad (11.56)$$

#### 11.2.4 Matrice di covarianza del noise per un campo di velocità orizzontale.

Abbiamo visto che, in presenza di errori di misura, la stima di minima varianza è data dall'equazione:

$$\hat{s} = C_{st} (C_{tt} + C_{nn})^{-1} l. \quad (11.57)$$

Dal momento che abbiamo supposto l'assenza di correlazione tra le componenti nord ed est della velocità, la matrice di covarianza del noise sarà diagonale ed avrà la seguente forma:

$$C_{noise} = \begin{pmatrix} \sigma_{11}^{n2} & 0 & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{22}^{n2} & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & \sigma_{q-1,q-1}^{e2} & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \sigma_{q,q}^{e2} \end{pmatrix}. \quad (11.58)$$

#### 11.2.5 Scalatura della matrice di covarianza del noise

Le varianze che costituiscono gli elementi della matrice (11.58) corrispondono agli elementi diagonali della matrice di covarianza ottenuta dallo stacking delle equazioni normali settimanali. Secondo i lavori [26], [24], [12] e [19], è noto che nelle serie

storiche dei residui delle coordinate è presente, oltre al white noise, anche il random e/o flicker noise (con contributi variabili in funzione del sito). L'effetto del random e del flicker noise è quello di sottostimare le incertezze relative alla velocità. La stima della velocità dei siti ottenuta tramite il fit, basato su algoritmi di massima verosimiglianza, delle serie storiche dei residui con un modello del tipo:

$$x(t) = vt + \sum_{i=1}^3 A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \quad (11.59)$$

(dove  $v$  è la velocità del sito) rivela che l'incertezza ottenuta utilizzando un algoritmo MLE è superiore all'incertezza determinata con i minimi quadrati di un fattore che va da 4 a 10. Conveniamo perciò di scalare la matrice (11.58) di un fattore 10.

### 11.2.6 Funzione di covarianza

Abbiamo visto che l'informazione contenuta nelle matrici di covarianza relative al campo di velocità, permette di ottenere una rappresentazione analitica del campo stesso. Osserviamo che fino a questo punto non è determinata la forma analitica degli elementi che compongono tali matrici; La forma analitica deve essere scelta formulando alcune ipotesi sulle caratteristiche del campo di velocità.

### 11.2.7 Caratteristiche del campo di velocità

Supponiamo che il campo di velocità goda delle seguenti proprietà:

1. Le componenti nord ed est del campo siano scorrelate.
2. Il campo sia omogeneo ed isotropo.

Sotto queste ipotesi possiamo individuare alcune caratteristiche che la matrice di covarianza  $C_u$  deve possedere. L'ipotesi 1) è già stata utilizzata nell'eq. (11.56) e porta a considerare una matrice diagonale a blocchi. L'ipotesi 2) consente di affermare che gli elementi di matrice devono essere delle funzioni che dipendono unicamente dalla distanza tra i siti fra cui si desidera calcolare la covarianza. In formula:

$$C_{ij} = f(d_{ij}). \quad (11.60)$$

Inoltre se pensiamo che è plausibile pensare che la correlazione tra le velocità di due siti diminuisca all'aumentare della distanza tra i siti, l'elemento di matrice deve avere la forma:

$$C_{ij} = f\left(\frac{1}{d_{ij}}\right). \quad (11.61)$$

Non tutte le funzioni che dipendono dalla distanza  $d_{ij}$  secondo la relazione (11.61) sono adatte a costituire gli elementi di una matrice di covarianza. Infatti ogni matrice

di covarianza deve risultare definita positiva. Fortunatamente l'insieme di funzioni elementari che permettono di costruire una matrice definita positiva è ristretto; la più comune tra esse è la gaussiana, in tal caso:

$$C_{ij} = \sigma^2 e^{-\left(\frac{d_{ij}}{d_0}\right)^2} \quad (11.62)$$

tale funzione dipende da due parametri:  $\sigma^2$  rappresenta la varianza del campo, mentre  $d_0$  è la lunghezza di correlazione. Sviluppando al primo ordine la gaussiana rispetto al parametro  $d_0$  si ottiene la funzione di Cauchy. Anche tale funzione, se usata per rappresentare gli elementi della matrice di covarianza, permette di costruire una matrice definita positiva:

$$C_{ij} = \frac{\sigma^2}{1 + \left(\frac{d_{ij}}{d_0}\right)^2}. \quad (11.63)$$

Osserviamo infine che, nel caso il campo non sia omogeneo ed isotropo, la funzione di covarianza non dipende più dalla distanza tra il punto  $i$  e il punto  $j$ . Si potrebbe allora pensare di utilizzare una funzione del tipo:

$$d_{ij}^A = f_{ij} d_{ij} \quad (11.64)$$

dove  $f_{ij}$  è una funzione scalare che dipende dal gradiente del campo di velocità calcolato lungo la direzione  $i \rightarrow j$  e  $d_{ij}$  è la distanza sulla sfera (vedi [35]).

### 11.2.8 Varianza e covarianza empiriche

Le funzioni di covarianza individuate dipendono da due parametri che devono essere stimati attraverso un fit dei dati. Osserviamo che uno stimatore per la varianza  $\sigma^{n2}$  e  $\sigma^{e2}$  è dato dalle seguenti varianze empiriche:

$$\sigma_{emp}^{n2} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i^{n2}}{N} \quad \sigma_{emp}^{e2} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i^{e2}}{N} \quad (11.65)$$

dove  $N$  è il numero dei siti e si è tenuto conto del fatto che i vettori  $V^n$  e  $V^e$  devono essere grandezze centrate. Uno stimatore per la covarianza è dato dalla covarianza empirica:

$$C^{nn}(d) = \frac{\sum_{i=1, i \neq j}^{N_d} V_i^n V_j^n}{N_d} \quad C^{ee}(d) = \frac{\sum_{i=1, i \neq j}^{N_d} V_i^e V_j^e}{N_d} \quad (11.66)$$

dove  $N_d$  rappresenta il numero di coppie di siti  $(i, j)$  tali che  $d_{ij} = d$ . Se dividiamo le covarianze empiriche per le rispettive varianze empiriche, otteniamo le correlazioni empiriche:

$$Corr(d)_{nn} = \frac{C^{nn}(d)}{\sigma_{emp}^{n2}} \quad Corr(d)_{ee} = \frac{C^{ee}(d)}{\sigma_{emp}^{e2}}. \quad (11.67)$$

### 11.2.9 Determinazione della funzione di covarianza

Scegliamo come funzione di covarianza la funzione di Cauchy (11.63). Nel nostro caso dovremo fittare alle covarianze empiriche (11.66) le seguenti funzioni:

$$C_{ij}^{mn} = \frac{w^{nn}}{1 + \left(\frac{d_{ij}}{d_{n0}}\right)^2} \quad C_{ij}^{ee} = \frac{w^{ee}}{1 + \left(\frac{d_{ij}}{d_{e0}}\right)^2} \quad (11.68)$$

dove  $d_{ij}$  corrisponde alla distanza sferica tra due siti. Ricordiamo che la distanza angolare tra due punti sulla sfera si esprime come:

$$\cos(a_{ij}) = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi_i\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi_j\right) - \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi_i\right) \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi_j\right) \cos(\lambda_i - \lambda_j) \quad (11.69)$$

dove  $\phi_i, \phi_j$  rappresentano le latitudini dei due siti,  $\lambda_i$  e  $\lambda_j$  rappresentano le longitudini e  $a_{ij}$  la separazione angolare. La distanza sferica si può calcolare come:

$$d_{ij} = a_{ij} \times r \quad (11.70)$$

dove  $r = 6378$  Km è il raggio medio terrestre. Possiamo diminuire il numero di parametri da stimare utilizzando le eq. (11.65) per determinare  $w^{nn}$  e  $w^{ee}$ , e le correlazioni empiriche (11.67) per determinare le lunghezze di correlazione per mezzo di un fit delle funzioni:

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{d_{ij}}{d_{n0}}\right)^2} \quad \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{ij}}{d_{e0}}\right)^2}. \quad (11.71)$$

Osserviamo che gli stimatori (11.66) e (11.67) non sono robusti. Per poter essere utilizzati è necessario suddividere l'insieme costituito dalle coppie dei siti in sottoinsiemi in funzione della distanza, specificando una tolleranza. Se  $d$  è la distanza e  $\Delta_d$  è la tolleranza, allora le eq. (11.66) e (11.67) devono essere applicate a tutte le coppie di siti le cui mutue distanze  $d_{ij}$  siano tali che:

$$d - \Delta_d \leq d_{ij} \leq d + \Delta_d \quad (11.72)$$

la presenza di outliers all'interno dell'insieme di coppie corrispondente alla distanza  $d$  ha l'effetto di diminuire il valore assunto dagli stimatori, rendendo difficoltoso il fit delle funzioni (11.71). Il grafico dello stimatore (11.66), detto covariogramma, permette di apprezzare immediatamente le difficoltà che insorgono quando si affronta questo tipo di problemi. Il covariogramma risulta dipendere molto dalla tolleranza  $\Delta_d$ . Per effettuare un buon fit della funzione di covarianza si vorrebbe aver a disposizione molti punti, ma questo comporta la diminuzione del valore  $\Delta_d$ , che diminuisce il numero di coppie comprese nell'intervallo  $[\Delta_d - d, d + \Delta_d]$ , e questo fatto diminuisce l'utilità degli stimatori (11.66) e (11.67).

### Varianze del campo e correlogrammi

La varianze delle componenti est e nord del campo di velocità costituito dalle soluzioni combinate EUREF, UPA, GP e CEGRN, calcolata secondo le eq. (11.65) sono pari a:

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| $\sigma_e^2 [mm/yr]^2$ | $\sigma_n^2 [mm/yr]^2$ |
| 0.7660                 | 1.1082                 |

Nelle figure seguenti vengono riportati i correlogrammi delle componenti nord ed est del campo di velocità. Per realizzare i correlogrammi sono state effettuate diversi tentativi, variando la tolleranza  $\Delta_d$  al fine di ottenere il miglior compromesso tra numero di punti su cui fittare la funzione e numero di punti presenti all'interno di ciascun *bin*: il valore più idoneo è risultato essere 60 Km. Per migliorare il fit i valori del correlogramma sono stati poi lisciati per mezzo della media mobile, a 3 e 5 punti. Le tabelle seguenti riassumono i risultati:

|              | $d_{n0} [km]$ | lim. inf. [km] | lim.sup. [km] |
|--------------|---------------|----------------|---------------|
| raw          | 90.6          | 49.4           | 131.9         |
| M.A. 3 punti | 96.0          | 54.7           | 137.4         |
| M.A.5 punti  | 92.4          | 55.3           | 129.5         |

|              | $d_{e0} [km]$ | lim. inf. [km] | lim.sup. [km] |
|--------------|---------------|----------------|---------------|
| raw          | 81.8          | 67.9           | 95.7          |
| M.A. 3 punti | 114.5         | 105.7          | 123.2         |
| M.A.5 punti  | 104.8         | 94.7           | 114.9         |

possiamo osservare che i valori della lunghezza di correlazione per entrambe le componenti sono compatibili. Osserviamo inoltre che il correlogramma delle componenti nord non è monotono decrescente: questo effetto è tipico di molti correlogrammi empirici relativi a misure di campi non omogeneamente distribuite su tutta la superficie di interesse. L'effetto del massimo locale attorno al valore  $d = 500$  Km è quello di aumentare l'incertezza associata alla stima di  $d_{n0}$ , diminuendo in particolare l'estremo inferiore dell'intervallo di incertezza. Assumiamo che i valori di riferimento siano dati dai fit eseguiti sui valori lisciati tramite media mobile a 3 punti, allora, euristica-mente, definiamo la stima della lunghezza di correlazione come la media tra i valori relativi alla componente est e quelli relativi alla componente nord. Perciò in seguito utilizzeremo per la lunghezza di correlazione il seguente valore:

$$d_0 = 105 \quad \text{Km.} \quad (11.73)$$

Il valore così ottenuto è inferiore di  $\frac{1}{3}$  rispetto al valore di 150 Km determinato da [49], per il solo campo di velocità EUREF. I lavori [31], [33], [36], ?? fa riferimento allo stesso valore di [49] nello studio di diversi campi di velocità indipendenti dalle soluzioni EUREF, ma in essi il valore della lunghezza di correlazione non viene stimato. Nelle seguenti figure rappresentiamo il campo interpolato, relativamente alla regione europea e alla regione mediterranea.



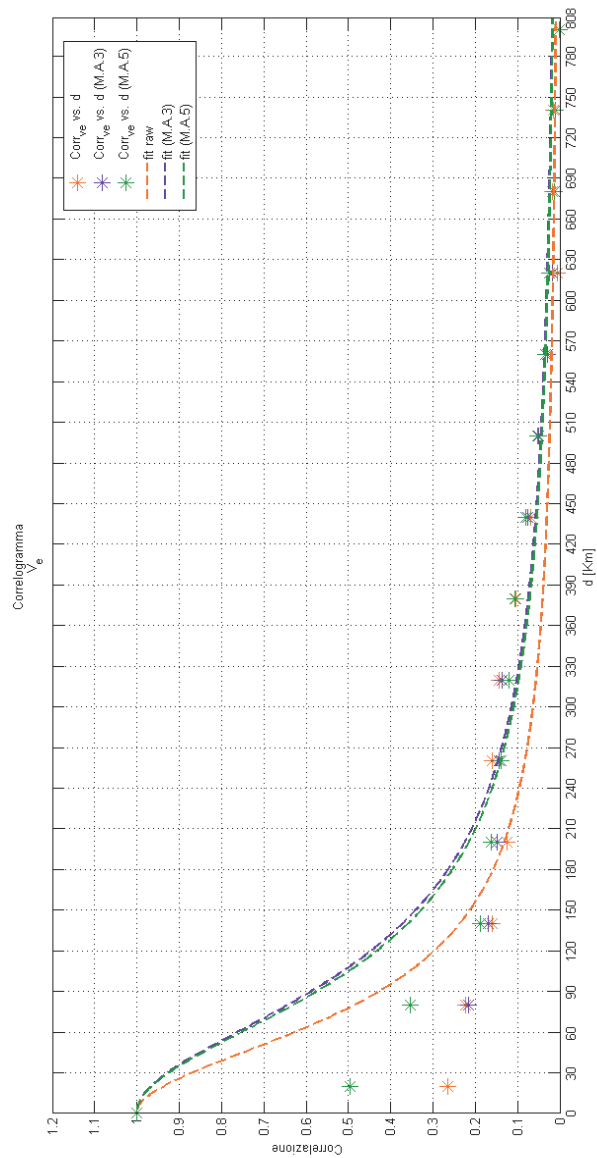


Figura 11.1: Correlogramma  $V_e$ : rosso=dati raw, blu = dati lisciati (media mobile a 3 punti), verde = dati lisciati (media mobile a 5 punti).

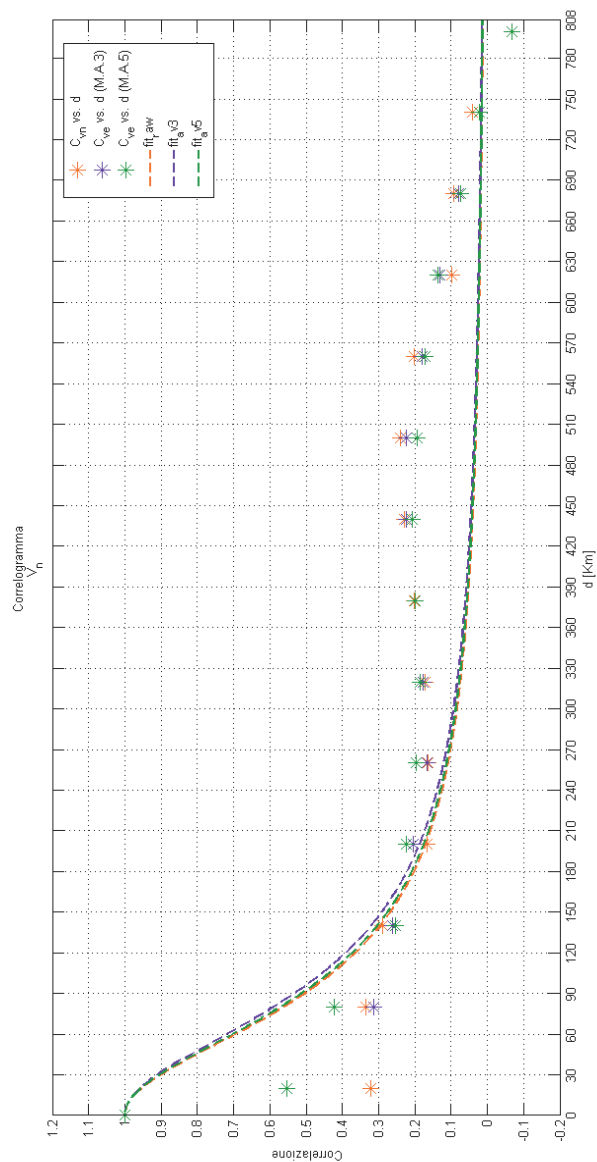
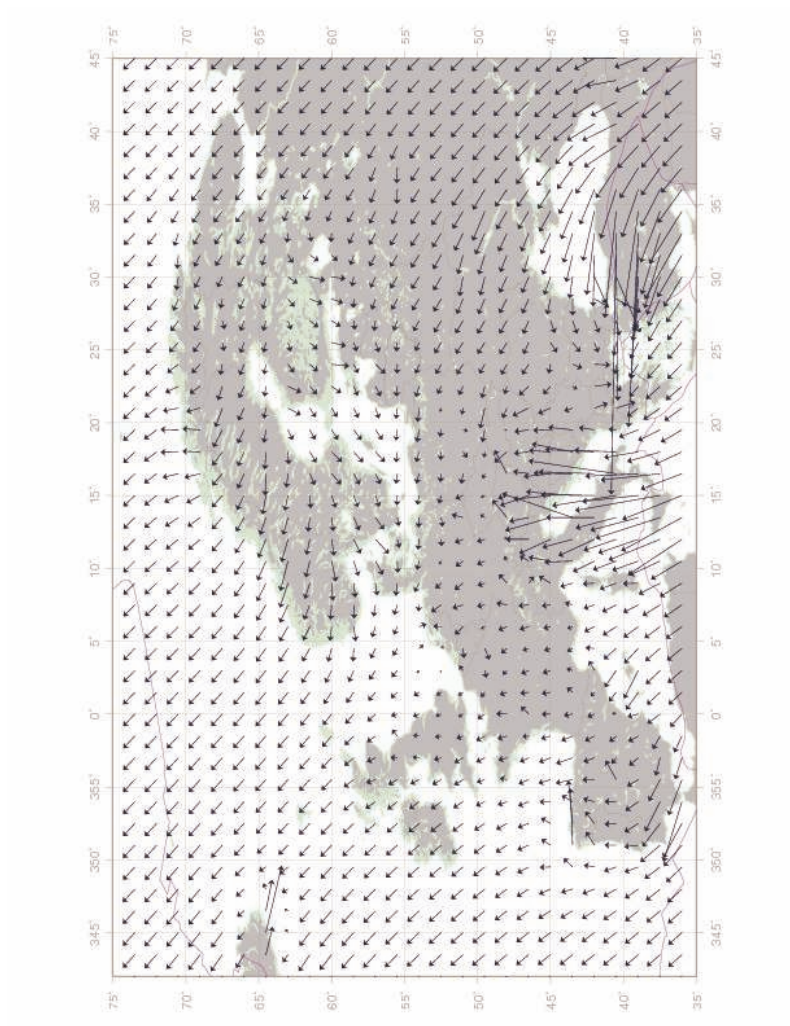
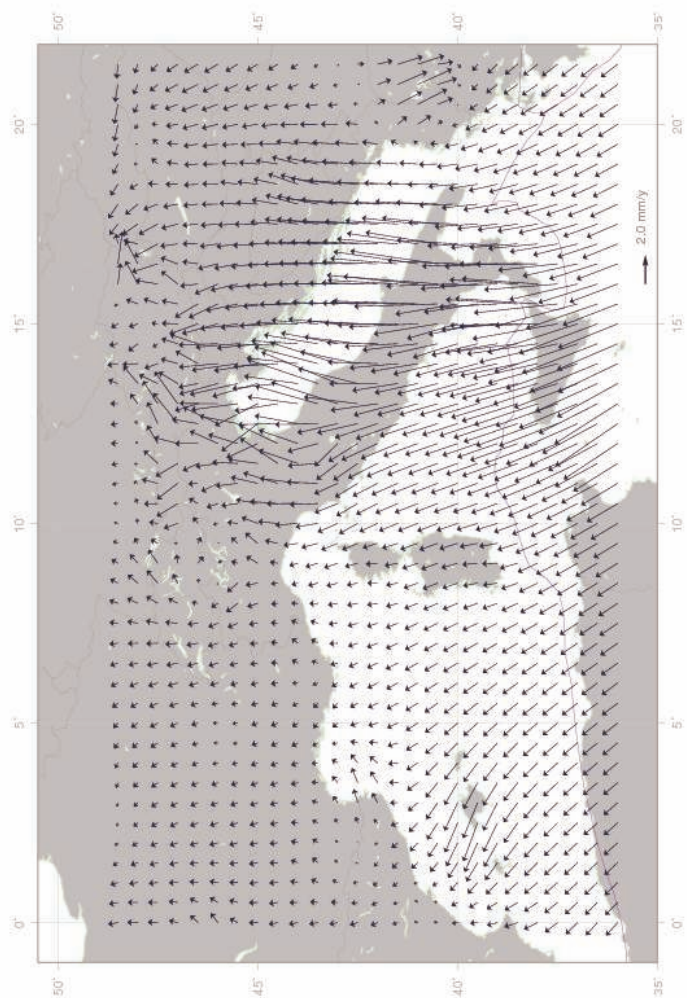


Figura 11.2: Correlogramma  $V_n$ : rosso=dati raw, blu = dati lisciati (media mobile a 3 punti), verde = dati lisciati (media mobile a 5 punti).



Campo ETRF interpolato.



Campo ETRF interpolato, regione mediterranea.

# Capitolo 12

## Calcolo del tasso di deformazione

### 12.1 Introduzione

In questo capitolo mostriamo la connessione tra la derivata temporale del tensore di deformazione e il campo di velocità, descriviamo un algoritmo per il calcolo del tasso di deformazione orizzontale in un punto qualunque della superficie di interesse ed applichiamo i risultati al campo di velocità determinato nei capitoli precedenti.

### 12.2 Il tasso di deformazione

Il tensore di deformazione descrive come un continuo si deforma in seguito ad una forza applicata. Per un continuo tridimensionale il tensore è definito da una matrice quadrata di dimensione 3:

$$\epsilon_{3d} = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix}. \quad (12.1)$$

Consideriamo ora un punto sulla superficie terrestre, siamo interessati ad indagare la deformazione orizzontale in un punto qualsiasi giacente su di essa. A tal scopo introduciamo un sistema di riferimento topocentrico bidimensionale, che avrà gli assi coordinati diretti verso est e nord. In tal caso il tensore di deformazione sarà una matrice di dimensione 2:

$$\epsilon_{2d} = \begin{pmatrix} \epsilon_{ee} & \epsilon_{en} \\ \epsilon_{ne} & \epsilon_{nn} \end{pmatrix}. \quad (12.2)$$

Supponiamo, dunque, che la deformazione sia descritta dal tensore (12.2), e che le componenti di tale tensore siano funzioni, oltre che delle coordinate spaziali, anche del tempo. Siamo interessati a descrivere quanto si dilata, o si comprime, la superficie terrestre in un punto qualsiasi, nell'unità di tempo, cioè siamo interessati a descrivere il tasso di deformazione. Il tensore che descrive tale tasso si definisce come la derivata

temporale del tensore (12.2):

$$\dot{\epsilon}_{2d} = \begin{pmatrix} \dot{\epsilon}_{ee} & \dot{\epsilon}_{en} \\ \dot{\epsilon}_{ne} & \dot{\epsilon}_{nn} \end{pmatrix}. \quad (12.3)$$

Tra il tensore di deformazione, e il suo derivato, hanno la proprietà di essere simmetrici. Inoltre, sia  $\mathbf{V} = (v^e, v^n)$  una funzione vettoriale che descrive il campo di velocità sulla superficie di interesse, si ha che, in ogni punto, le componenti del tensore del tasso di deformazione sono legate alle derivate parziali del campo  $\mathbf{V}$  tramite le seguenti relazioni:

$$\dot{\epsilon}_{ee} = \frac{\partial v^e}{\partial e} \quad (12.4)$$

$$\dot{\epsilon}_{en} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v^n}{\partial e} + \frac{\partial v^e}{\partial n} \right) \quad (12.5)$$

$$\dot{\epsilon}_{nn} = \frac{\partial v^n}{\partial n}. \quad (12.6)$$

Infine il tensore di deformazione, come il suo derivato, possono essere diagonalizzati in base alle seguenti equazioni (vedi [2]):

$$\tan 2\theta = \frac{2\epsilon_{en}}{\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn}} \quad (12.7)$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{2} (\epsilon_{ee} + \epsilon_{nn}) + \sqrt{\epsilon_{en}^2 + \frac{1}{4} (\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn})^2} \quad (12.8)$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{2} (\epsilon_{ee} + \epsilon_{nn}) - \sqrt{\epsilon_{en}^2 + \frac{1}{4} (\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn})^2} \quad (12.9)$$

dove l'angolo  $\theta$  definisce la direzione degli assi principali, e  $\epsilon_1$  e  $\epsilon_2$  rappresentano gli elementi diagonali del tensore diagonalizzato.

### 12.3 Calcolo del tensore del tasso di deformazione: approccio discreto

Per completezza, descriviamo brevemente l'algoritmo utilizzato per calcolare il tensore del tasso di deformazione in un punto, tramite un approccio discreto (vedi [30] e [28]). Consideriamo un triangolo che ha per vertici le posizioni di 3 siti le cui velocità sono conosciute. Se le dimensioni del triangolo sono piccole, in relazione al raggio terrestre, allora può essere considerato piano. Inoltre ipotizziamo che il tasso di deformazione sia omogeneo all'interno del triangolo considerato. Supponiamo che l'origine del sistema di riferimento sia il baricentro del triangolo. Le velocità dei vertici siano rappresentate

dal vettore

$$\mathbf{V} = \begin{pmatrix} v_1^e \\ v_2^e \\ v_3^e \\ v_1^n \\ v_2^n \\ v_3^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_i^e \\ v_i^n \end{pmatrix}_{i=1,2,3} \quad (12.10)$$

allora, al primo ordine, per ogni vertice  $i$ , vale l'equazione:

$$\begin{pmatrix} v_i^e \\ v_i^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_B^e \\ v_B^n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\partial V_e}{\partial e} & \frac{\partial V_e}{\partial n} \\ \frac{\partial V_n}{\partial e} & \frac{\partial V_n}{\partial n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta E_i \\ \Delta N_i \end{pmatrix} \quad (12.11)$$

la precedente eq. contiene 6 incognite: le 2 componenti della velocità del baricentro e le 4 componenti del gradiente del campo di velocità. Per ogni triangolo si possono perciò scrivere le 6 equazioni:

$$\begin{pmatrix} v_1^e \\ v_2^e \\ v_3^e \\ v_1^n \\ v_2^n \\ v_3^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta E_1 & \Delta N_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta E_1 & \Delta N_1 \\ 1 & 0 & \Delta E_2 & \Delta N_2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta E_2 & \Delta N_2 \\ 1 & 0 & \Delta E_3 & \Delta N_3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta E_3 & \Delta N_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_B^e \\ v_B^n \\ \frac{\partial V_e}{\partial e} \\ \frac{\partial V_e}{\partial n} \\ \frac{\partial V_n}{\partial e} \\ \frac{\partial V_n}{\partial n} \end{pmatrix} \quad (12.12)$$

che permettono di interpolare il campo di velocità nel baricentro del triangolo e di calcolare le derivate parziali che, in combinazione con le eq. (12.4), (12.5) e (12.6), permettono il calcolo del tensore del t. di deformazione. Osserviamo che il triangolo scelto per effettuare il calcolo è assolutamente arbitrario, ne segue che per una data rete possono essere definiti diversi insiemi di triangoli per coprire la superficie di interesse (triangolazione di Delaunay), e che a insiemi di triangoli diversi corrisponderanno valori di deformazione differenti, per uno stesso punto. Siamo interessati ad eliminare questa ambiguità ed a fondare il calcolo sulle caratteristiche statistiche del campo di velocità. Quanto descritto nel capitolo precedente ci viene in aiuto.

## 12.4 Calcolo del gradiente del campo

### 12.4.1 Legame tra tensore di deformazione e gradiente del campo

Ricordiamo che in base a quanto detto nel capitolo precedente, il campo di velocità orizzontale viene approssimato per mezzo della seguente equazione:

$$\begin{pmatrix} \hat{v}_k^n \\ \hat{v}_k^e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{ki}^{nn} & 0 \\ 0 & C_{ki}^{ee} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{ij}^{nn} & 0 \\ 0 & C_{ij}^{ee} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_i^n \\ V_i^e \end{pmatrix} \quad (12.13)$$

dove gli elementi di matrice  $C_{ij}$  assumono la forma di una funzione di Cauchy dipendente dalla distanza tra i siti  $i$  e  $j$ , e  $k$  indical il  $k$ -esimo nodo della griglia di interpolazione. In tale equazione le coordinate del punto su cui si desidera intepolare il campo figurano unicamente nella matrice di cross-covarianza:

$$\begin{pmatrix} C_{ki}^{nn} & 0 \\ 0 & C_{ki}^{ee} \end{pmatrix}. \quad (12.14)$$

Dato che siamo interessati a calcolare il gradiente delle funzione (12.13) nel punto di interpolazione, scriviamo le derivate parziali rispetto alle direzioni est e nord. La derivata rispetto alla direzione est è:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial \hat{v}_k^n}{\partial e} \\ \frac{\partial \hat{v}_k^e}{\partial e} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial C_{ki}^{nn}}{\partial e} & 0 \\ 0 & \frac{\partial C_{ki}^{ee}}{\partial e} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{ij}^{nn} & 0 \\ 0 & C_{ij}^{ee} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_i^n \\ V_i^e \end{pmatrix} \quad (12.15)$$

e la derivata rispetto alla direzione nord è:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial \hat{v}_k^n}{\partial n} \\ \frac{\partial \hat{v}_k^e}{\partial n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial C_{ki}^{nn}}{\partial n} & 0 \\ 0 & \frac{\partial C_{ki}^{ee}}{\partial n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{ij}^{nn} & 0 \\ 0 & C_{ij}^{ee} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_i^n \\ V_i^e \end{pmatrix}. \quad (12.16)$$

Tra il tensore del tasso di deformazione e le derivate parziali del campo di velocità orizzontale esistono le seguenti relazioni: Il tensore del tasso di deformazione può essere diagonalizzato, la direzione degli assi principali essendo data dalla seguente equazione:

### 12.4.2 Calcolo delle derivate parziali della matrice di covarianza

Descriviamo esplicitamente il calcolo delle derivate parziali della funzione di covarianza, rispetto alle direzioni est e nord. Il calcolo viene eseguito presupponendo che la funzione di covarianza sia rappresentata dalla funzione di Cauchy: Per la regola di derivazione delle funzioni composte la derivata rispetto alla direzione est si scrive come:

$$\frac{\partial C_{ki}^{ee}}{\partial e} = \frac{-2d_{ij}\sigma_e^2}{d_0^2 \left[ 1 + \left( \frac{d_{ij}}{d_0} \right)^2 \right]^2} \frac{\partial d_{ij}}{\partial e} \quad (12.17)$$

mentre la derivata rispetto alla direzione nord è data da:

$$\frac{\partial C_{ki}^{ee}}{\partial n} = \frac{-2d_{ij}\sigma_n^2}{d_0^2 \left[ 1 + \left( \frac{d_{ij}}{d_0} \right)^2 \right]^2} \frac{\partial d_{ij}}{\partial n} \quad (12.18)$$

Dove  $d_{ij}$  è la distanza sulla superficie tra il sito  $i$  e il sito  $j$ . Supponiamo ora che la superficie terrestre sia rappresentata da una sfera di raggio  $r_0 = 6378$  Km. In tal caso, la separazione angolare  $a_{ij}$  tra i siti è legata alla distanza sulla sfera attraverso la relazione:



$$d_{i,j} = r_0 a_{ij}. \quad (12.19)$$

Si ha perciò che:

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial e} = r_0 \frac{\partial a_{ij}}{\partial e} \quad (12.20)$$

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial n} = r_0 \frac{\partial a_{ij}}{\partial n} \quad (12.21)$$

Sulla sfera i differenziali rispetto alle direzioni est e nord si possono esprimere come funzioni dei differenziali di  $\lambda$  e  $\theta$ , e dalla :

$$de = r_o \cos \theta d\lambda \quad (12.22)$$

$$dn = r_0 d\theta \quad (12.23)$$

da cui si ottiene che:

$$\frac{1}{r_o \cos \theta} = \frac{d\lambda}{de} \quad (12.24)$$

$$\frac{1}{r_o} = \frac{d\theta}{dn}. \quad (12.25)$$

La regola di derivazione delle funzioni composte permette di scrivere che la derivata parziale della distanza sferica rispetto alla direzione est è:

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial e} = r_0 \frac{\partial a_{ij}}{\partial e} = r_0 \frac{\partial a_{ij}}{\partial \lambda_i} \frac{\partial \lambda_i}{\partial e} = \frac{1}{\cos \theta} \frac{\partial a_{ij}}{\partial \lambda_i} \quad (12.26)$$

e quella rispetto alla direzione nord è:

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial n} = r_0 \frac{\partial a_{ij}}{\partial n} = r_0 \frac{\partial a_{ij}}{\partial \theta_i} \frac{\partial \theta_i}{\partial n} = \frac{\partial a_{ij}}{\partial \theta_i}. \quad (12.27)$$

Si tratta ora di calcolare le derivate parziali della distanza angolare tra la coppia di siti  $i$  e  $j$ , rispetto a  $\lambda$  e  $\theta$ . Partiamo dalla relazione:

$$\cos(a_{ij}) = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi_i\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi_j\right) - \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi_i\right) \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi_j\right) \cos(\lambda_i - \lambda_j) \quad (12.28)$$

derivando rispetto a  $\lambda_i$  otteniamo:

$$-\sin a_{ij} \frac{\partial a_{ij}}{\partial \lambda_i} = -\cos \theta_i \cos \theta_j \sin(\lambda_i - \lambda_j) \quad (12.29)$$

mentre la derivata rispetto a  $\theta_i$  è:

$$-\sin a_{ij} \frac{\partial a_{ij}}{\partial \theta_i} = \cos \theta_i \sin \theta_j - \sin \theta_i \cos \theta_j \cos(\lambda_i - \lambda_j) \quad (12.30)$$

Le derivate della separazione angolare  $a_{ij}$  sono perciò:

$$\frac{\partial a_{ij}}{\partial \lambda_i} = \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j \sin(\lambda_i - \lambda_j)}{\sin a_{ij}} \quad (12.31)$$

$$\frac{\partial a_{ij}}{\partial \theta_i} = \frac{\sin \theta_i \cos \theta_j \cos(\lambda_i - \lambda_j) - \cos \theta_i \sin \theta_j}{\sin a_{ij}} \quad (12.32)$$

e sostituendo le precedenti derivate nelle eq. (12.26) e (12.27) otteniamo finalmente:

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial e} = \frac{1}{\cos \theta_i} \frac{\partial a_{ij}}{\partial \lambda_i} = \frac{1}{\cos \theta_i} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j \sin(\lambda_i - \lambda_j)}{\sin a_{ij}} \quad (12.33)$$

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial n} = \frac{\sin \theta_i \cos \theta_j \cos(\lambda_i - \lambda_j) - \cos \theta_i \sin \theta_j}{\sin a_{ij}}. \quad (12.34)$$

### 12.4.3 Calcolo dell'errore associato alle componenti del tensore del tasso di deformazione

L'approssimazione del campo data dall'eq. (12.13) permette di ricavare il gradiente del campo tramite le eq. (12.15) e (12.16). Osserviamo che, come funzioni di  $(V_e, V_n)$ , tali relazioni sono lineari. Ricordiamo inoltre che, se vale la relazione vettoriale:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x} \quad (12.35)$$

dove  $\mathbf{A}$  è una matrice che rappresenta una funzione lineare, e  $\mathbf{C}_x, \mathbf{C}_y$  rappresentano le matrici di covarianza associate ai vettori  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{y}$ , allora vale anche la seguente equazione:

$$\mathbf{C}_y = \mathbf{A}\mathbf{C}_x\mathbf{A}^T. \quad (12.36)$$

L'eq (12.36) determina come trasforma la matrice di covarianza a seguito di una trasformazione lineare. Nel caso delle derivate parziali del campo di velocità orizzontale, identifichiamo le trasformazioni lineari con le seguenti matrici:

$$\mathbf{A}_{de} = \begin{pmatrix} \frac{\partial C_{ki}^{nn}}{\partial e} & 0 \\ 0 & \frac{\partial C_{ki}^{ee}}{\partial e} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{ij}^{nn} & 0 \\ 0 & C_{ij}^{ee} \end{pmatrix}^{-1} \quad (12.37)$$

$$\mathbf{A}_{dn} = \begin{pmatrix} \frac{\partial C_{ki}^{nn}}{\partial n} & 0 \\ 0 & \frac{\partial C_{ki}^{ee}}{\partial n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{ij}^{nn} & 0 \\ 0 & C_{ij}^{ee} \end{pmatrix}^{-1} \quad (12.38)$$

e la matrice di covarianza  $\mathbf{C}_x$  con la matrice:

$$\mathbf{C}_x = \begin{pmatrix} \sigma_{11}^{n2} & 0 & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{22}^{n2} & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & \sigma_{q-1,q-1}^{e2} & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \sigma_{q,q}^{e2} \end{pmatrix} \quad (12.39)$$

che corrisponde alla matrice del noise descritta nel capitolo precedente, opportunamente scalata per un fattore 10. Tramite la relazione (12.36) possiamo mappare le incertezze della stima delle velocità nelle incertezze delle derivate parziali delle componenti delle velocità, calcolate in un punto qualunque della superficie di interesse. Le varianze delle componenti diagonali (12.4) e (12.6) del tensore del tasso di deformazione si scrivono perciò come:

$$\sigma_{ee}^2 = \sigma_{\frac{\partial v_k^e}{\partial e}}^2 \quad (12.40)$$

$$\sigma_{nn}^2 = \sigma_{\frac{\partial v_k^n}{\partial n}}^2 \quad (12.41)$$

mentre la varianza associata al termine diagonale è data da:

$$\sigma_{en} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{\frac{\partial v_k^n}{\partial e}}^2 + \sigma_{\frac{\partial v_k^e}{\partial n}}^2} \quad (12.42)$$

#### 12.4.4 Calcolo degli errori associati al tensore del tasso di deformazione diagonalizzato

Il tensore del tasso di deformazione diagonalizzato consente di individuare le direzioni di maggiore espansione e compressione in ogni punto della superficie di interesse. Come abbiamo visto il tensore del t. di deformazione può essere sempre diagonalizzato per mezzo delle relazioni (12.7), (12.8) e (12.9). Siamo interessati perciò a ricavare le incertezze per le componenti diagonali del suddetto tensore. Osserviamo che le eq. che legano le componenti del tensore non diagonalizzato a quelle del tensore diagonalizzato non sono lineari. Potremo perciò ottenere solo una approssimazione al primo ordine delle incertezze. Indicando le incertezze relative alle componenti  $\epsilon_{ee}$ ,  $\epsilon_{nn}$  e  $\epsilon_{en}$  con  $d\epsilon_{ee}$ ,  $d\epsilon_{nn}$  e  $d\epsilon_{en}$ , rispettivamente, e sviluppando al primo ordine le relazioni (12.8) e (12.9), otteniamo:

$$d\epsilon_1 = \frac{1}{2}(d\epsilon_{ee} + d\epsilon_{nn}) + \frac{\frac{1}{2}(d\epsilon_{ee} - d\epsilon_{nn})(\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn}) + 2d\epsilon_{en}\epsilon_{en}}{2\sqrt{\epsilon_{en}^2 + \frac{1}{4}(\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn})^2}} \quad (12.43)$$

$$d\epsilon_2 = \frac{1}{2}(d\epsilon_{ee} + d\epsilon_{nn}) - \frac{\frac{1}{2}(d\epsilon_{ee} - d\epsilon_{nn})(\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn}) + 2d\epsilon_{en}\epsilon_{en}}{2\sqrt{\epsilon_{en}^2 + \frac{1}{4}(\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn})^2}} \quad (12.44)$$

Per l'angolo di azimuth si ha:

$$d\theta = \cos^2 2\theta \left[ \frac{d\epsilon_{en}}{\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn}} - \epsilon_{en} \frac{d\epsilon_{ee} + d\epsilon_{nn}}{(\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn})^2} \right] \quad (12.45)$$

## 12.5 Applicazione al campo di velocità combinato.

In questo paragrafo utilizziamo il campo di velocità orizzontale ETRF determinato in precedenza per inferire il tensore del tasso di deformazione.

### 12.5.1 Regione considerata

La regione caratterizzata dalla maggior densità di siti è quella compresa, approssimativamente, tra  $36^\circ$  e  $49^\circ$  di latitudine, e  $0^\circ$  e  $22^\circ$  di longitudine. Tale regione è sufficientemente ampia da comprendere le principali strutture geologiche che caratterizzano l'area mediterranea e l'arco alpino.

### 12.5.2 Caratteristiche del campo approssimato

Il campo di velocità viene approssimato per mezzo della stima di minima varianza descritta nei capitoli precedenti. La funzione di covarianza è una funzione di Cauchy con i valori di varianze e distanza di correlazione desunti al capitolo 13. L'interpolazione viene effettuata su una griglia di  $0.5^\circ$ , e all'interpolazione concorrono tutti i valori osservati del campo di velocità combinato.

### 12.5.3 Tasso di deformazione nella regione mediterranea.

La figura seguente rappresenta una visualizzazione del tasso di deformazione relativamente alla regione considerata. Vengono rappresentate le componenti principali del tensore del tasso di deformazione. In rosso è indicata la direzione di massima estensione, e in blu quella di massima compressione. I triangoli neri, infine, indicano la distribuzione dei siti (EUREF, GP ed UPA). La figura (12.1) rappresenta i valori degli assi principali del tensore del tasso di deformazione interpolati su una griglia di punti equidistanti  $0.5^\circ$ . Qualitativamente la figura consente di individuare le zone di maggior estensione e compressione. Possiamo notare che la regione apenninica centro-settentrionale è caratterizzata da un forte movimento espansivo, con valori del tasso di espansione dell'ordine dei 20 nanostrain/anno. Altre zone di deformazione si individuano in corrispondenza delle alpi, della basilicata, dello stretto di Sicilia e dei monti abanidi. Osserviamo infine che il blocco costituito dalla Sardegna e dalla Corsica non presenta tassi di deformazione significativi.

Confrontiamo ora i risultati ottenuti dal campo velocità con gli studi precedenti. Tra gli studi che si occupano dell'area esaminata in precedenza troviamo i lavori [13], [16]. Il primo lavoro si basa su una combinazione delle eq. normali EUREF ed UPA, relativa a 45 distribuiti sull'area considerata, con un intervallo temporale massimo di osservazione di 6 anni. In tal caso il software di elaborazione è bernese 4.2, quello di stacking è ADDNEQ, e il calcolo del tensore del tasso di deformazione è eseguito per mezzo di un algoritmo di minima varianza analogo a quello descritto nei parametri precedenti. Il secondo lavoro si basa su una combinazione di varie reti GPS a carattere locale, regionale e globale, il software di elaborazione è GAMIT/GLOBK e quello di stacking è QOCA. L'algoritmo di calcolo del tensore del tasso di deformazione è basato su un approccio discreto e sulla triangolazione di Delunay. Infine, la combinazione si basa su dati raccolti tra il 1991 e il 2002, Confrontiamo i risultati da noi ottenuti del secondo lavoro, per 3 motivi:

1. Il numero di siti considerati e l'intervallo temporale sono confrontabili con il nostro lavori.
2. I softwares di elaborazione, di stacking e di calcolo del tasso di deformazione sono diversi da quelli che noi abbiamo utilizzato.
3. Le reti GPS considerate sono differenti.

Un accordo tra i nostri risultati e quelli del secondo lavoro citato costituirebbe, pertanto, una conferma più rigorosa del lavoro svolto. Per confrontare i risultati abbiamo scelto di calcolare il tasso di deformazione in corrispondenza dei 37 distretti sismotettonici individuati da [16], e rappresentati dalla figura (12.2). Il tasso di deformazione relativo a tali distretti è rappresentato dalla figura (12.3).

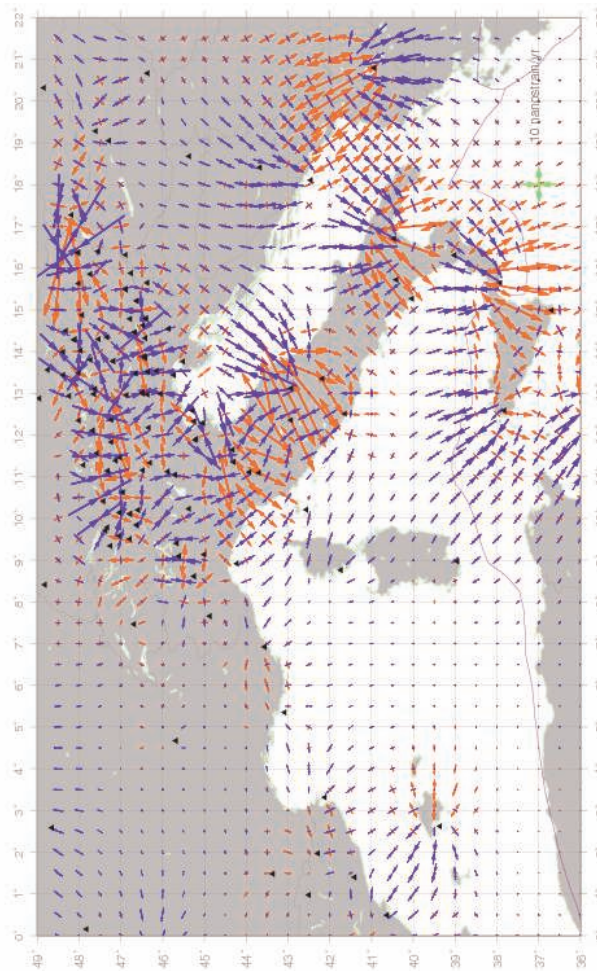


Figura 12.1: Campo di deformazione interpolato su una griglia di punti equispaziati ( $0.5^\circ$ ).



Figura 12.2: Posizione dei principali distretti sismici nella regione mediterranea.

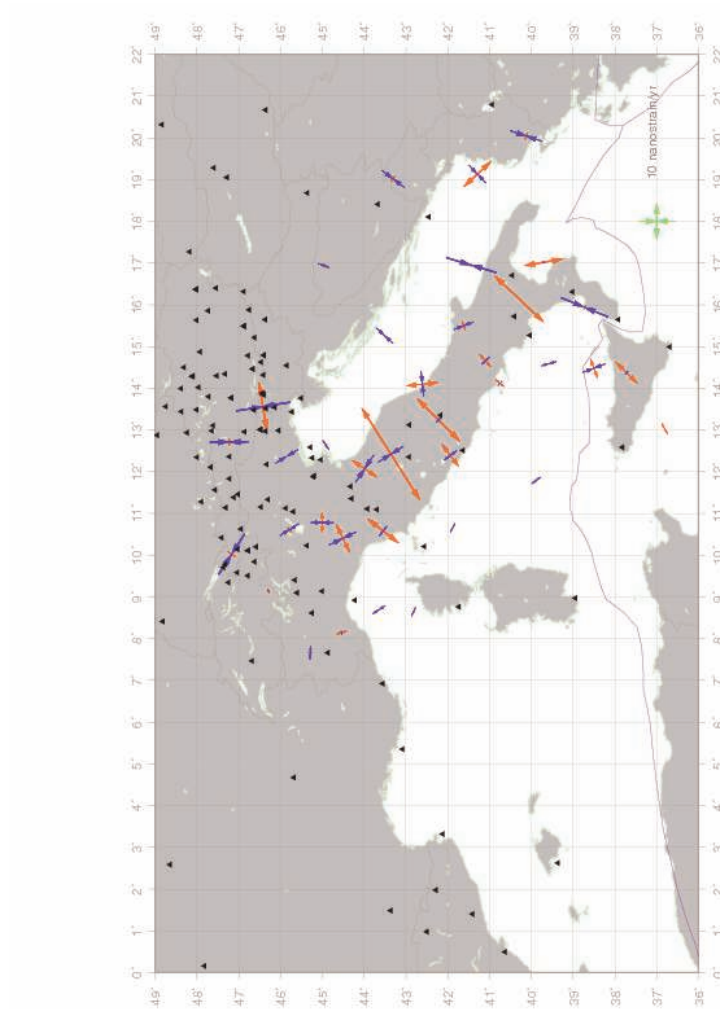


Figura 12.3: Tasso di deformazione relativo ai principali distretti sismici.

La tabella seguente rappresenta i valori del tasso della figura (12.3). I distretti che mostrano in maggior accordo sono evidenziati nella figura (12.4).

| $\lambda[^\circ]$ | $\phi[^\circ]$ | $\epsilon_{\max}[\frac{10^{-9}}{yr}]$ | $\sigma_{\epsilon_{\max}}$ | $\epsilon_{\min}[\frac{10^{-9}}{yr}]$ | $\sigma_{\epsilon_{\min}}$ | $\theta[^\circ]$ | $\sigma_\theta$ | Distretto |
|-------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|-----------|
| 13.03             | 36.81          | 3.39                                  | 1.58                       | -0.08                                 | 1.04                       | -28.58           | 19.13           | 1         |
| 14.37             | 37.72          | 8.34                                  | 2.51                       | 1.33                                  | 0.13                       | -45.54           | -4.67           | 2         |
| 14.48             | 38.5           | 5.62                                  | 2.68                       | -6.49                                 | 0.85                       | -19.98           | 4.22            | 3         |
| 15.94             | 38.73          | 1.39                                  | 1.01                       | -13.62                                | 7.03                       | 22.34            | 4.24            | 4         |
| 14.59             | 39.58          | 0.46                                  | 2.84                       | -4.14                                 | 2.03                       | -16.49           | 21.31           | 5         |
| 17.02             | 39.71          | 10.78                                 | 2.9                        | 0.49                                  | 2.9                        | 79.96            | -11.61          | 6         |
| 16.14             | 40.29          | 18.51                                 | 7.4                        | -0.02                                 | 1.18                       | -46.68           | -2.79           | 7         |
| 14.12             | 40.75          | 2.97                                  | 3.19                       | -1.57                                 | 0.48                       | -49.44           | -4.28           | 8         |
| 14.66             | 41.1           | 4.49                                  | 3.16                       | -2.93                                 | 0.78                       | -41.51           | 7.23            | 9         |
| 15.5              | 41.62          | 2.76                                  | 1.67                       | -5.71                                 | 0.99                       | -20.9            | 6.33            | 10        |
| 11.79             | 39.89          | 0.93                                  | 0.97                       | -2.97                                 | 0.28                       | -36.87           | 4.75            | 11        |
| 10.66             | 41.88          | 0.3                                   | 2.71                       | -2.6                                  | 0.49                       | -60.48           | -10.67          | 12        |
| 12.39             | 41.94          | 7.69                                  | 3.6                        | -4.21                                 | 0.83                       | -36.88           | 4.97            | 13        |
| 13.24             | 42.22          | 16.43                                 | 5.63                       | 1.94                                  | 0.95                       | -45.02           | 0.2             | 14        |
| 14.1              | 42.61          | 8.7                                   | 3.03                       | -6.94                                 | 2.27                       | 84.06            | -6.16           | 15        |
| 8.64              | 42.82          | 0.62                                  | 3.94                       | -2.61                                 | 0.41                       | -66.13           | -4.94           | 16        |
| 8.69              | 43.65          | -0.13                                 | 2.89                       | -4.2                                  | 0.72                       | -33.77           | 13.59           | 17        |
| 10.58             | 43.55          | 10.87                                 | 4.89                       | -3.27                                 | 1.08                       | -52.05           | -1.56           | 18        |
| 12.42             | 43.36          | 29.81                                 | 6.64                       | -7.95                                 | 0.46                       | -32.26           | 0.52            | 19        |
| 8.14              | 44.54          | 2.95                                  | 1.84                       | -0.93                                 | 4.41                       | 74.64            | -25.69          | 20        |
| 10.4              | 44.51          | 8.46                                  | 4.41                       | -8.16                                 | 1.66                       | -25.55           | 4.89            | 21        |
| 12.07             | 43.99          | 8.35                                  | 5.2                        | -8.91                                 | 0.65                       | -56.04           | -0.21           | 22        |
| 10.78             | 45.01          | 5.53                                  | 3.2                        | -6.25                                 | 3.74                       | -0.31            | 12.33           | 23        |
| 12.64             | 44.92          | 0.98                                  | 1.08                       | -2.95                                 | 5.6                        | 53.8             | -11.54          | 24        |
| 7.66              | 45.29          | 1.13                                  | 3.28                       | -3.52                                 | 2.83                       | -88.07           | -27.62          | 25        |
| 9.14              | 46.29          | 1.57                                  | 6.05                       | -0.11                                 | 2.24                       | -27.04           | 78.71           | 26        |
| 10.61             | 45.79          | -1.48                                 | 8.35                       | -6.04                                 | 1.75                       | -33.07           | 16.17           | 27        |
| 10.02             | 47.17          | 2.64                                  | 9.26                       | -13.03                                | 2.11                       | -57.49           | -6.08           | 28        |
| 12.37             | 45.85          | -0.05                                 | 7.78                       | -7.09                                 | 1.65                       | -31.54           | 13.37           | 29        |
| 12.71             | 47.23          | 1.97                                  | 5.56                       | -10.5                                 | 4.76                       | -1.17            | 16              | 30        |
| 13.56             | 46.42          | 13.34                                 | 7.08                       | -14.82                                | 4.88                       | -9.12            | 8.41            | 31        |
| 16.94             | 44.97          | 1.2                                   | 0.67                       | -3.16                                 | 2.33                       | 19.76            | 10.13           | 32        |
| 15.26             | 43.51          | 0.52                                  | 0.08                       | -6.25                                 | 1.43                       | 42.87            | 0.96            | 33        |
| 19.02             | 43.31          | 1.93                                  | 0.9                        | -7.63                                 | 5.72                       | 37.68            | -2.28           | 34        |
| 19.13             | 41.29          | 10.3                                  | 0.33                       | -6.62                                 | 2.67                       | 47.16            | 0.09            | 35        |
| 16.95             | 41.44          | 0.99                                  | 0.35                       | -14.14                                | 3.31                       | 16.85            | 2.33            | 36        |
| 20.04             | 40.12          | 1.99                                  | 0.42                       | -9.08                                 | 2.24                       | 18.58            | 2.38            | 37        |



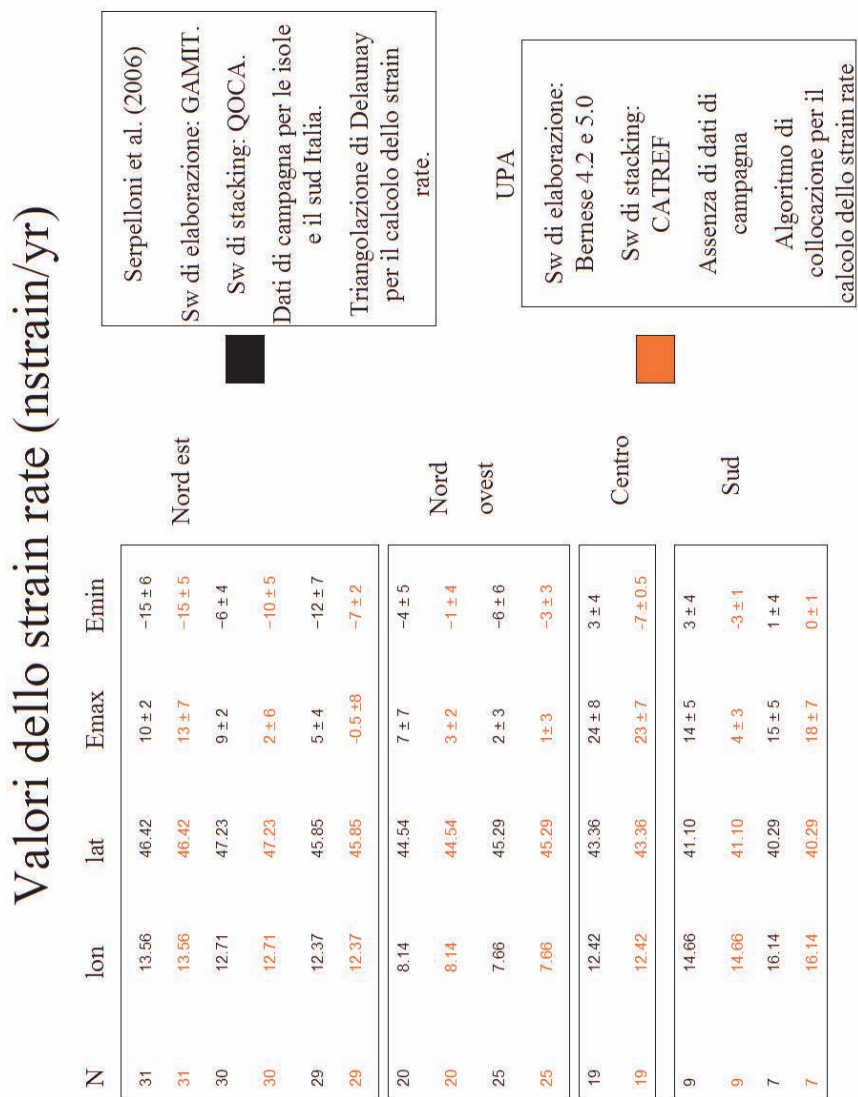


Figura 12.4: Distretti sismotettonici che mostrano il miglior accordo.



# Conclusioni

E' stato determinato un campo di velocità valido per la regione europea combinando soluzioni settimanali provenienti da tre reti GPS (EUREF, UPA, GP, per un totale di 247 siti). Dai sistemi di equazioni normali sono stati rimossi i vincoli preesistenti e sono stati imposti i minimi vincoli, rispetto alla soluzione ITRF mappata all'epoca di interesse. Per ciascun network è stata eseguita una combinazione multi-anno preliminare, imponendo vincoli interni, allo scopo di determinare le discontinuità e rimuovere gli outliers presenti nelle serie storiche di ogni sito. In questa fase dell'elaborazione si è notata la scarsa consistenza, in termini di sistema di riferimento, delle soluzioni settimanali UPA e GP. Tale problema non degrada la qualità intrinseca delle soluzioni settimanali in questione, come dimostrato dai valori del WRMS, che sono risultati paragonabili a quelli relativi alla soluzione EUREF. La combinazione dei sistemi di equazioni normali delle tre reti, effettuata settimana per settimana, da cui sono state ottenute le soluzioni settimanali EGU, ha consentito di migliorare la consistenza, raggiungendo un livello paragonabile alla soluzione EUREF. In termini di velocità abbiamo verificato che il campo così ottenuto è allineato a quello ITRF2005 a livello di 0.11 mm/yr per la componente est e di 0.07 mm/yr per la componente nord. Abbiamo infine verificato che l'intervallo minimo di tempo considerato è sufficiente a mediare gli effetti del termine annuale presente nelle serie storiche di molti siti. L'effetto del termine annuale è di 0.01 mm/yr per la componente est, e di 0.06 mm/yr per la componente nord.

In un secondo tempo abbiamo effettuato l'elaborazione di 9 campagne, a cadenza annuale e di 2 anni, relative alla rete GPS CEGRN (intervallo temporale 1994–2007), utilizzando orbite ed EOPs riprocessati [50], distribuita nell'Europa centro-orientale. Le equazioni normali di campagna, combinate con le corrispondenti prodotte da altri centri di analisi, sono state combinate con le rispettive soluzioni settimanali EGU, allo scopo di ottenere una nuova soluzione che rappresentasse un campo di velocità densificato adatto a descrivere la cinematica della crosta terrestre nella regione europea mediterranea e centro-orientale. Il numero di siti la cui velocità è stata determinata è di 296.

Le proprietà statistiche di tale campo sono state indagate: sotto le ipotesi di isotropia ed omogeneità sono state determinate le varianze delle componenti nord ed est e i parametri delle funzioni di covarianza. La funzione di covarianza è rappresentata da una funzione di Cauchy con lunghezza di correlazione stimata pari a  $d_0 = 105$  Km. L'informazione statistica è stata usata per approssimare il

campo di velocità per mezzo di un algoritmo di minima varianza. Il tensore del tasso di deformazione è stato calcolato derivando rispetto alle direzioni nord ed est l'approssimazione analitica sopra citata. I valori del tensore del tasso di deformazione così calcolato sono risultati essere in accordo con quelli determinati da [16]. Le alpi sudorientali mostrano un tasso di deformazione di  $10 \div 15$  nstrain/yr, l'Italia centrale è caratterizzata da un tasso di estensione di circa 25 nstrain/yr, in direzione ortogonale alla catena apenninica. La Sardegna e la Corsica non rivelano tassi di deformazione apprezzabili. In generale l'accordo tra i valori del tasso di deformazione calcolati da noi e [16] è migliore nelle zone di maggior densità di siti. Riteniamo che tale risultato rappresenta una conferma indipendente dei valori che il tasso di deformazione della crosta assume nell'area studiata. Considerando che i due campi di velocità differiscono per siti, software di elaborazione e di stacking, e per algoritmo di calcolo del tasso di deformazione, possiamo affermare, inoltre, che tale accordo rappresenta anche una conferma della stima della lunghezza di correlazione. Infine, il campo di velocità combinato si presta facilmente ad ulteriori densificazioni, necessarie soprattutto per esaminare le deformazioni nell'Italia centro-meridionale.

# Appendice A

## Scripts

### A.1 Driver per il download dei dati e il pre-processing dei files

```
#!/usr/bin/perl
use diagnostics;
use strict;
use lib $ENV{BPE};
use startBPE;
use bpe_util;
use Gps_Date;
use Bernutil;
my $server;
my $datadir = "C:/GPSDATA";
my $gpsdata = 'GPSDATA'; #don't forget to use backslash!!! otherwise teqc does not work...
my $gpsweek = $ARGV[0]; #set GPS week
my @gpsday = (0..6);
my $year2 = &gps_date("-wd $gpsweek 0 -o %y");
my $year4 = '20'.$year2;
#set month the day of the week belongs to.
my @month;
$month[0] = &gps_date("-wd $gpsweek 0 -o %m");
$month[1] = &gps_date("-wd $gpsweek 1 -o %m");
$month[2] = &gps_date("-wd $gpsweek 2 -o %m");
$month[3] = &gps_date("-wd $gpsweek 3 -o %m");
$month[4] = &gps_date("-wd $gpsweek 4 -o %m");
$month[5] = &gps_date("-wd $gpsweek 5 -o %m");
$month[6] = &gps_date("-wd $gpsweek 6 -o %m");
my @doy;
my @day;
```

```

my @campdir;
#update satellit and sat_2005 files
my $url = 'http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/GEN/SATELLIT.';
my $ld = 'C:\BERN50\GPS\GEN';
my $lf = 'SATELLIT';
&downloadfromberne($url,$ld,$lf);
$url = 'http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/GEN/SAT_.$year4.CRX';
$lf = 'SAT_.$year4.'.CRX';
&downloadfromberne($url,$ld,$lf);
# set doy, day of the month and campaing names (YY_DDD)
for (my $i=0; $i<=6; ) {
$doy[$i] = &gps_date("-wd $gpsweek $i -o %j");
$day[$i] = &gps_date("-wd $gpsweek $i -o %d");
$campdir[$i] = $year2."_".$doy[$i];
$i++;
}
print "@gpsday\n";
print "@doy\n";
print "@day\n";
print "@campdir\n";
# set days of the week whose data we want to download
my $first = 0;
my $last = 6;
print "Downloading from DOW $first to DOW $last\n";
# create YY_DDD directory and download compressed data (RINEX, orbits, clock, pole etc.)
# use makecamp for EUREF stations and makecampu for NON EUREF ones.
# REMEMBER to set $datadir accordingly.
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
&makecamp ($doy[$i],$gpsday[$i],$year2,$year4,$datadir,$campdir[$i],$gpsweek);
$i++;
}
# create wk(GPSweek) directory and download compressed data.
print "\nCreating.... : wk$gpsweek\n";
#&maketree($datadir.'/wk'.$gpsweek);
my $from = "C:/GPSUSER/BERNEZ/STA";
my $to = $datadir.'/wk'.$gpsweek.'/STA';
#&copyfromto($from,$to);
# download pole
#my $hostname = "igs2.ifag.de";
my $hostname = "igscb.jpl.nasa.gov";
my $username = "anonymous";
my $password = "none";
#my $remotedir = "/IGS/products/orbits/$gpsweek";

```

## A.1. DRIVER PER IL DOWNLOAD DEI DATI E IL PRE-PROCESSING DEI FILES 281

```
my $remotedir = "/pub/product/$gpsweek";
my $localdir = $datadir.'/wk'.$gpsweek.'/ORB';
#my $remotefile = "IGS".$gpsweek."7.ERP";
my $remotefile = "igs".$gpsweek."7.erp.Z";
my $mode = 'binary';
#my $localfile = "IGS".$gpsweek."7.IEP";
my $localfile = "igs".$gpsweek."7.erp.Z";
#&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);
chdir $datadir.'/wk'.$gpsweek.'/ORB';
system "gunzip -f *.erp.Z";
system "copy *.ERP *.IEP";
# decompress Gzipped data using Gzip 1.3.5
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
&decomp ($datadir,$campdir[$i]);
$i++;
}
# decompress crinex files using crz2rnx
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
&crztorrx ($datadir,$campdir[$i],$year2);
$i++;
}
# trim RINEX files and redefine their headers, accordingly to .CFG files
# (contained in bernez directory)
$server = 'C:\GPSUSER\BERNEZ\perlscripts\ASI';
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
&qualitycheck ($doy[$i],$month[$i],$day[$i],$year2,$server,$gpsdata);
$i++;
}
$server = 'C:\GPSUSER\BERNEZ\perlscripts\BKG';
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
&qualitycheck ($doy[$i],$month[$i],$day[$i],$year2,$server,$gpsdata);
$i++;
}
$server = 'C:\GPSUSER\BERNEZ\perlscripts\OLG';
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
&qualitycheck ($doy[$i],$month[$i],$day[$i],$year2,$server,$gpsdata);
$i++;
}
# $server = 'C:\GPSUSER\BERNEZ\perlscripts\IGN';
#for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
#&qualitycheck ($doy[$i],$month[$i],$day[$i],$year2,$server,$gpsdata);
# $i++;
#}
```

```

$server = 'C:\GPSUSER\BERNEZ\perlscripts\CDDIS.txt';
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
&qualitycheck ($doy[$i],$month[$i],$day[$i],$year2,$server,$gpsdata);
$i++;
}
# RUN BERNESE!!!
#chdir 'C:\GPSUSER\BERNEZ\perlscripts';
#system ("perl prcd.pl $gpsweek all");
#
#chdir 'C:\GPSUSER\BERNEZ\perlscripts';
#system ("perl downloadu.pl $gpsweek");
#system ("perl prcd_int.pl $gpsweek all");

```

## A.2 Modulo chiamato dal driver

```

#!/usr/bin/perl
package Bernutil;
require Exporter;
use strict;
use warnings;
use Gps_Date;
our @ISA = qw(Exporter);
our @EXPORT = qw(makecamp
makecampu
maketree
downloadfrom
downloadfromberne
copyfromto
decomp
crztornx
qualitycheck
sendto
uploadtoigs);
sub makecamp {

    # Create tree structure and download (compressed) data
    # from ASI, BKG, IGN and OLG.
    # List of stations must be provided trough ASI, BKG,
    # IGN and OLG text files.

    my $doy = $_[0];
    my $gpsday = $_[1];

```



```

my $year2 = $_[2];
my $year4 = $_[3];
my $datadir = $_[4];
my $campdir = $_[5];
my $gpsweek = $_[6];

my $hostname;
my $username;
my $password;
my $remotedir;
my $remotefile;
my $localdir;
my $localfile;
my $mode;

# Clear FTPLOG file
if (-e "ftplog") {unlink "ftplog"};

# Create campaign directory and subdirectories structure
if (&maketree($datadir."/". $campdir)) {
print "\n Campaign dir created\n";
} else {
print "\nERROR! Campaign dir NOT created\n";
}

#####
# download orbit, clock, pole and ionosphere from IGS
# -----
$hostname = "igs2.ifag.de";
$hostname = "igscb.jpl.nasa.gov";
$username = "anonymous";
$password = "wsftp605@";

#$remotedir = "/IGS/products/orbits/$gpsweek";
$remotedir = "/pub/product/$gpsweek";
$localdir = $datadir."/". $campdir."/ORB";

# download precise orbit
#$remotefile = "IGS". $gpsweek.$gpsday.".SP3";
#$localfile = "IGS". $gpsweek.$gpsday.".PRE";
$remotefile = "igs". $gpsweek.$gpsday.".sp3.Z";

```

```

$localfile = "igs".$gpsweek.$gpsday.".sp3.Z";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

# download rapid orbit
#$remotefile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".SP3";
#$localfile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".PRE";
$remotefile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".sp3.Z";
$localfile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".sp3.Z";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

# download precise pole
#$remotefile = "IGS".$gpsweek."7.ERP";
#$localfile = "IGS".$gpsweek."7.IEP";
$remotefile = "igs".$gpsweek."7.erp.Z";
$localfile = "igs".$gpsweek."7.erp.Z";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

# download rapid pole
#$remotefile = "IGS".$gpsweek."7.ERP";
#$localfile = "IGS".$gpsweek."7.IEP";
$remotefile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".erp.Z";
$localfile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".erp.Z";
$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
print "rapid pole..... $remotefile";
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

# download precise clock
#$remotefile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".CLK";
#$localdir = $datadir."/".$campdir."/OUT";
$remotefile = "igs".$gpsweek.$gpsday.".clk.Z";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/OUT";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);

```

```

# download rapid clock
#$remotefile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".CLK";
#$localdir = $datadir."/".$campdir."/OUT";
$remotefile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".clk.Z";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/OUT";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);

# download ionosphere
#$hostname = 'igs2.ifag.de';
#$remotedir = "/IGS/products/orbits/YEAR_20".$year2."/".$gpsweek;
$hostname = 'igs.ifag.de';
$username = "anonymous";
$password = "wsftp605@";
$remotedir = "/IGS/products/orbits/".$gpsweek;
print "$remotedir\n";
$remotefile = "cod".$gpsweek.$gpsday.".ion.Z";
print "$remotefile\n";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ATM";
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
#=====
# copy files from BERNEZ into STA subdirectory
#-----
my $from = "C:/GPSUSER/BERNEZ/STA";
my $to = $datadir."/".$campdir."/STA";
&copyfromto($from,$to);

#=====
# download data from Berne
#-----
my $url = 'http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/ORB/P1P2.DCB';
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORB";
$localfile = 'P1P2.DCB';
&downloadfromberne($url,$localdir,$localfile);

$url = 'http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/ORB/P1C1.DCB';
$localfile = 'P1C1.DCB';
&downloadfromberne($url,$localdir,$localfile);

#=====
# RINEX files download

```

```

# -----
my @stations;

# # download from ASI
open(ASI, "ASI_R") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <ASI>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "geodaf.mt.asi.it";
$username = "anonymous";
$password = "none";
$remotedir = "/GEOD/GPSD/RAW/" . $year4 . "/" . $doy;
$localdir = $datadir . "/" . $campdir . "/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
$remotefile = $line . $doy . "0." . $year2 . "d.Z";
print "\n$remotefile";
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
}
close(ASI);

# download from BKG
open(BKG, "BKG_R") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <BKG>;
chomp(@stations);
print @stations;

#$hostname = "igs2.ifag.de";
$hostname = "igs.ifag.de";
$username = "anonymous";
$password = 'andrea.nardo@unipd.it';
$localdir = $datadir . "/" . $campdir . "/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
#$remotedir = "/gpsdata/" . $line;
$remotedir = "/EUREF/obs/" . $year4 . "/" . $doy;
$remotefile = $line . $doy . "0." . $year2 . "d.Z";
print "\n$remotefile";
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
  #$remotedir = "/IGS/obs/" . $year4 . "/" . $doy;
  #&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
}

```

```

close(BKG);

# # download from IGN
# open(IGN, "IGN") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
# @stations = <IGN>;
# chomp(@stations);
# print @stations;

# $hostname = "igs.ensg.ign.fr";
# $username = "anonymous";
# $password = "wsftp605@";
# $localdir = $datadir."/".$scampdir."/ORX";
# $remotedir = "/pub/igs/data/"$year4."/".$doy;
# $mode = 'binary';
# foreach my $line (@stations) {
#     $remotefile = $line.$doy."0."$year2."d.Z";
#     print "\n$remotefile";
#     &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
# }
# close(IGN);
# download from CDDIS
# open(CDDIS, "CDDIS.txt") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
# @stations = <CDDIS>;
# chomp(@stations);
# print @stations;
#
# $hostname = "cddis.gsfc.nasa.gov";
# $username = "anonymous";
# $password = "wsftp605@";
# $localdir = $datadir."/".$scampdir."/ORX";
# $remotedir = "/pub/gps/data/daily/"$year4."/".$doy."/".$year2."d";
# $mode = 'binary';
# foreach my $line (@stations) {
#     $remotefile = $line.$doy."0."$year2."d.Z";
#     $localfile = $line.$doy."0."$year2."d.Z";
#     print "\n$remotefile";
#     &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);
# }
# close(CDDIS);

# download from OLG
# open(OLG, "OLG") or die "\nERROR! Can't open file: $!";

```

```

# @stations = <OLG>;
# chomp(@stations);
# print @stations;
#
# $hostname = "olggps.oeaw.ac.at";
# $username = "anonymous";
# $password = "wsftp605@";
# $localdir = $datadir."/".$campdir."/ORX";
# $mode = 'binary';
# foreach my $line (@stations) {
#     $remotedir = "/pub/outdata/" . $line;
#     $remotefile = $line.$doy."0." . $year2."d.Z";
#     print "\n$remotefile";
#     &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
# }
# close(OLG);

## download from UPA
open(UPA, "UPAU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <UPA>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "ux1.unipd.it";
$username = "gps-upad";
$password = "kslhhsng";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORX";
$mode = 'binary';

## Attenzione alla particolare struttura della
## directory di GPS-UPAD!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
foreach my $line (@stations) {
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/" . $line;
    $remotefile = $line.$doy."0." . $year2."d.Z";
    print "\n$remotefile";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
    $remotefile = $line.$doy."0." . $year2."e";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/trento/" . $line;
    $remotefile = $line.$doy."0." . $year2."e";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
}
close(UPA);
}

```

```

sub makecampu {

    # Create tree structure and download (compressed) data
    # from ASI, BKG, OLG, SOP and UPA, UPAFREDNET
    # List of stations must be provided trough ASIU, BKGU,
    # OLGU, SOPU, UPAU and UPAUFRED text files.
    my $doy = $_[0];
my $gpsday = $_[1];
my $year2 = $_[2];
my $year4 = $_[3];
my $datadir = $_[4];
my $campdir = $_[5];
my $gpsweek = $_[6];

my $hostname;
my $username;
my $password;
my $remotedir;
my $remotefile;
my $localdir;
my $localfile;
my $mode;

    # Clear FTPLOG file
if (-e "ftplog") {unlink "ftplog"};

    # Create campaign directory and subdirectories structure
if (&maketree($datadir."/". $campdir)) {
print "\n Campaign dir created\n";
} else {
print "\nERROR! Campaign dir NOT created\n";
}

#=====
# download orbit, pole, clock and ionosphere from IGS
# -----
#$hostname = "igs2.ifag.de";
$hostname = "igscb.jpl.nasa.gov";
$username = "anonymous";
$password = 'andrea.nardo@unipd.it';

```

```

#$remotedir = "/IGS/products/orbits/$gpsweek";
$remotedir = "/pub/product/$gpsweek";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORB";

# download precise orbit
#$remotefile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".SP3";
#$localfile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".PRE";
$remotefile = "igs".$gpsweek.$gpsday.".sp3.Z";
$localfile = "igs".$gpsweek.$gpsday.".sp3.Z";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

# download rapid orbit
#$remotefile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".SP3";
#$localfile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".PRE";
$remotefile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".sp3.Z";
$localfile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".sp3.Z";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

# download pole
#$remotefile = "IGS".$gpsweek."7.ERP";
#$localfile = "IGS".$gpsweek."7.IEP";
$remotefile = "igs".$gpsweek."7.erp.Z";
$localfile = "igs".$gpsweek."7.erp.Z";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

# download rapid pole
#$remotefile = "IGS".$gpsweek."7.ERP";
#$localfile = "IGS".$gpsweek."7.IEP";
$remotefile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".erp.Z";
$localfile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".erp.Z";
$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
print "rapid pole..... $remotefile";
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

# download clock
#$remotefile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".CLK";
#$localdir = $datadir."/".$campdir."/OUT";

```



```

$remotefile = "igs".$gpsweek.$gpsday.".clk.Z";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/OUT";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);

# download rapid clock
#$remotefile = "IGS".$gpsweek.$gpsday.".CLK";
#$localdir = $datadir."/".$campdir."/OUT";
$remotefile = "igr".$gpsweek.$gpsday.".clk.Z";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/OUT";
#$mode = 'ascii';
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);

# download ionosphere
#$hostname = 'igs2.ifag.de';
#$remotedir = "/IGS/products/orbits/YEAR_20".$year2."/".$gpsweek;
$hostname = 'igs.ifag.de';
$remotedir = "/IGS/products/orbits/".$gpsweek;
print "$remotedir\n";
$remotefile = "cod".$gpsweek.$gpsday.".ion.Z";
print "$remotefile\n";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ATM";
$mode = 'binary';
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
#=====
# copy files from BERNEZ into STA subdirectory
# -----
my $from = "C:/GPSUSER/BERNEZ/STAITA";
my $to = $datadir."/".$campdir."/STA";
&copyfromto($from,$to);

#=====
# download data from Berne
# -----
my $url = 'http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/ORB/P1P2.DCB';
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORB";
$localfile = 'P1P2.DCB';

```

```

&downloadfromberne($url,$localdir,$localfile);

$url = 'http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/ORB/P1C1.DCB';
$localfile = 'P1C1.DCB';
&downloadfromberne($url,$localdir,$localfile);

#=====
# RINEX files download
#-----
my @stations;

## download from ASI
open(ASI, "ASIU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <ASI>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "geodaf.mt.asi.it";
$username = "anonymous";
$password = "wsftp605@";
$remotedir = "/GEOD/GPSD/RAW/" . $year4 . "/" . $doy;
$localdir = $datadir . "/" . $campdir . "/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."d.Z";
    print "\n$remotefile";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
}
close(ASI);

## download from BKG
open(BKG, "ALLBKGU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <BKG>;
chomp(@stations);
print @stations;

#$hostname = "igs2.ifag.de";
$hostname = "igs.ifag.de";
$username = "anonymous";
$password = "wsftp605@";
$localdir = $datadir . "/" . $campdir . "/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {

```

```

#$remotedir = "/gpsdata/"$line;
$remotedir = "/EUREF/obs/"$year4."/"$doy;
$remotefile = $line.$doy."0."$year2."d.Z";
print "\n$remotefile";
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
$remotedir = "/IGS/obs/"$year4."/"$doy;
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
    }
close(BKG);

### download from OLG
open(OLG, "OLGU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <OLG>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "olggps.oeaw.ac.at";
$username = "anonymous";
$password = "wsftp605@";
$localdir = $datadir."/"$campdir."/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
    $remotedir = "/pub/outdata/"$line;
    $remotefile = $line.$doy."0."$year2."d.Z";
    print "\n$remotefile";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
    }
close(OLG);

### download from SOP
open(SOP, "SOPU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <SOP>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "lox.ucsd.edu";
$username = "anonymous";
$password = "wsftp605@";
$localdir = $datadir."/"$campdir."/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
    $remotedir = "/pub/rinex/"$year4."/"$doy;
    $remotefile = $line.$doy."0."$year2."d.Z";

```

```

print "\n$remotefile";
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
    }
close(SOP);
## download from UMBRIA
open(UMB, "UMBU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <UMB>;
chomp(@stations);
print @stations;

#$hostname = "lox.ucsd.edu";
#$username = "anonymous";
#$password = "wsftp605@";
#$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORX";
#$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
    #$remotedir = "/pub/rinex/"$year4."/".$doy;
    #$remotefile = $line.$doy."0."$year2."d.Z";
    print "gpsweek $gpsweek";
    print "doy $doy";
    my $month = &gps_date("-yd $year4 $doy -o %m");
    my $doym = &gps_date("-yd $year4 $doy -o %d");
    $localfile = $line.$doy."0."$year2."d.Z";
    $remotefile = "http://labtopo.ing.unipg.it/labtopo/dati/"$line."/rinex/30sec/$year4/$month/$doym/"$localfile;
    print "\n$remotefile";
    &downloadfromubria($remotefile,$localdir,$localfile);
    }
close(UMB);

## download from UPA
open(UPA, "UPAU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <UPA>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "ux1.unipd.it";
$username = "gps-upad";
$password = "kslhhsng";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORX";
$mode = 'binary';

```

```

## Attenzione alla particolare struttura della
## directory di GPS-UPAD!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
foreach my $line (@stations) {
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/" . $line;
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."d.Z";
    print "\n$remotefile";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."e";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
    # ROVE
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/ROVE/";
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."d.Z";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);

    # FDOS
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/FDOS/";
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."d";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);

    # Trento
    #$remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/trento/";
    #$remotefile = $line.$doy."0.".$year2."e";
    #&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
    #$remotefile = $line.$doy."0.zip";
    #$localfile = $line.$doy."0.".$year2."D.Z";
    #&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$localfile,$mode);

    #VEAR, venezia arsenale
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/VEAR/";
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."D.Z";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode);
}
close(UPA);

# download from UPA (FREDNET)
open(UPA, "UPAUFRED") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <UPA>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "ux1.unipd.it";
$username = "gps-upad";

```

```

$password = "kslhhsng";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/frednet/" . $line;
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."e";
    print "\ndownloading $remotefile";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode) or
    warn "\n$remotefile NOT DOWNLOADED!";
}
close(UPA);
# download from UPA (FVG)
open(UPA, "FVGU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <UPA>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "ux1.unipd.it";
$username = "gps-upad";
$password = "kslhhsng";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/FVG/" . $line;
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."d.Z";
    print "\ndownloading $remotefile";
    &downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode) or
    warn "\n$remotefile NOT DOWNLOADED!";
}
close(UPA);
# download from UPA (ITCG)
open(UPA, "ITCGU") or die "\nERROR! Can't open file: $!";
@stations = <UPA>;
chomp(@stations);
print @stations;

$hostname = "ux1.unipd.it";
$username = "gps-upad";
$password = "kslhhsng";
$localdir = $datadir."/".$campdir."/ORX";
$mode = 'binary';
foreach my $line (@stations) {
    $remotedir = "/utenti/user1/ftp/pub/incoming/GPS-UPAD/ROVE";

```

```

    # $remotefile = $line.$doy.'a.zip';
    $remotefile = $line.$doy."0.".$year2."d.Z";
    $localfile = $line.$doy."0.".$year2."d.Z";
print "\n$remotefile";
&downloadfrom($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,$localdir,$remotefile,$mode) or
warn "\n$remotefile NOT DOWNLOADED!";
    }
close(UPA);
}
sub maketree {
    my $campname;
    ($campname) = $_[0];
# Purpose: creating campaign directory and tree structure
# Usage: "maketree [dir]"      where dir is the absolute path
# of the campaign directory to be created
    print "\ncreating... $campname\n";

    mkdir $campname;
    mkdir "$campname/ATM";
    mkdir "$campname/BPE";
    mkdir "$campname/GEN";
    mkdir "$campname/OBS";
    mkdir "$campname/ORB";
    mkdir "$campname/ORX";
    mkdir "$campname/OUT";
    mkdir "$campname/RAW";
    mkdir "$campname/SOL";
    mkdir "$campname/STA";
    mkdir "$campname/TXT";
}
sub downloadfrom {
    use Net::FTP;
# Purpose: downloading data via ftp
# Usage: "downloadfrom [arguments]"
    #my $this = shift;
my $hostname;
    ($hostname) = $_[0];
my $username;
    ($username) = $_[1];
my $password;
    ($password) = $_[2];
my $remotedir;
    ($remotedir) = $_[3];

```

```

my $remotefile;
($remotefile) = $_[4];
my $localdir;
($localdir) = $_[5];
my $localfile;
($localfile) = $_[6];
my $mode;
($mode) = $_[7];

open (LOG, ">>ftplog");
print LOG "\nhostname.... $hostname\n
username.... $username
password.... $password
nremotedir.. $remotedir
remotefile.. $remotefile
localdir.... $localdir\n";

my $index = 0;
my $ftpobj;
while ($index<3) {
last if ($ftpobj = Net::FTP -> new ($hostname,Timeout=>20,Passive=>1))
or warn "\nERROR! Not connected to: $hostname\n";
$index++;
}

$index = 0;
while ($index<3) {
last if ($ftpobj -> login($username,$password)) or
print LOG "Invalid user name or password HOST: $hostname\n ";
$index++;
}

$ftpobj -> cwd (" $remotedir") or
print "\nCannot access this directory: $remotedir HOST: $hostname\n";

if ($mode eq 'ascii') {
$ftpobj -> ascii();
print "\nascii mode\n";
};
if ($mode eq 'binary') {
$ftpobj -> binary();
print "\nbinary mode\n";
}

```



```

};

my @listdir = $ftpobj -> ls();

print "\n\n";
print "Hostname... $hostname. Accessing directory $remotedir\n";
print "-----\n";
#foreach my $file (@listdir) {
# print "$file\n";
# }

$ftpobj -> get($remotedir."/".$remotefile,$localdir."/".$localfile)
or print LOG "Can't find $remotefile on directory $remotedir HOST: $hostname\n";
close (LOG);

# delete empty files
if ( -z $localdir."/".$localfile) {
    warn "$localfile IS EMPTY!!!!\n";
    unlink $localdir."/".$localfile;
}

$ftpobj -> quit();
}
sub downloadfromberne {

    # download data from Berne via HTTP in order
    # to bypass our (silly) firewall
    my $url;
    ($url) = $_[0];
    my $localdir;
    ($localdir) = $_[1];
    my $localfile;
    ($localfile) = $_[2];

    my $file = $localdir."/".$localfile;

    # this is a perl script contained in the activestate perl distribution
    system "lwp-download -a $url $file ";
}

```

```

    }

sub downloadfromubria {

    # download data from Umbria via HTTP because
    # they haven't a FTP server
my $url;
($url) = $_[0];
my $localdir;
($localdir) = $_[1];
my $localfile;
($localfile) = $_[2];

my $file = $localdir."/".$localfile;

# this is a perl script contained in the activestate perl distribution
system "lwp-download $url $file ";

}

sub copyfromto {
    use File::Copy;

    #my $this = shift;
my $from;
($from) = $_[0];
my $to;
($to) = $_[1];

copy($from."/EURF00.ABB",$to."/EURF00.ABB");
copy($from."/EURF00.BLQ",$to."/EURF00.BLQ");
copy($from."/EURF00.CRD",$to."/EURF00.CRD");
copy($from."/EURF00.FIX",$to."/EURF00.FIX");
copy($from."/EURF00.PLD",$to."/EURF00.PLD");
copy($from."/EURF00.STA",$to."/EURF00.STA");
copy($from."/EURF00.VEL",$to."/EURF00.VEL");
copy($from."/EURF00.FIX",$to."/EURF00.FIX");
copy($from."/SESSIONS.SES",$to."/SESSIONS.SES");

```

```

    }

sub decomp {

    # decompress compressed data (raw rinex data and ionosphere)
    # don't forget to set path to gzip in the environment variables
    # (gzip 1.3.5 is needed).
    my $datadir = $_[0];
    my $campdir = $_[1];

    # decompress .ion files
    chdir $datadir.'/'.$campdir.'/ATM';
    system "gunzip -f *.ion.Z";

    # decompress .Z files
    chdir $datadir.'/'.$campdir.'/ORX';
    system "gunzip -f *.Z";

    # decompress orbit and pole files
    chdir $datadir.'/'.$campdir.'/ORB';
    system "gunzip -f *.sp3.Z";
    system "gunzip -f *.erp.Z";

    # change extension of .SP3 and .ERP files
    system "copy *.SP3 *.PRE";
    system "copy *.ERP *.IEP";
    # decompress satellite clock files
    chdir $datadir.'/'.$campdir.'/OUT';
    system "gunzip -f *.clk.Z";
}

sub crztorrx {

    use Cwd;
    # Purpose: decompress compressed RINEX files using crz2rxn
    # Remember to set path to bernez directory!!!!
    # teqc and crz2rxn must be contained in bernez directory.
    my $datadir = $_[0];
    my $campdir = $_[1];
    my $year2 = $_[2];
    my $orx = $datadir.'/'.$campdir.'/ORX';
    my $oldpat = $year2.'d';
    my $newpat = $year2.'e';

```

```

opendir (ORX,$orx) or die "Cannot open $orx";
my @oldraw = readdir ORX;
close (ORX);
chomp (@oldraw);
print @oldraw;

#rename extension .??d -> .??e
#my $oldname;
#foreach (@oldraw) {
    # $oldname = $_;
    # s/$oldpat/$newpat/i;
    # rename ($datadir.'/'.$scampdir.'/ORX/'.$oldname,$datadir.'/'.$scampdir.'/ORX/'.$_)
    # or warn "cannot rename";
# print "\n$_";
# }

print "\n" ;
chdir "$orx";
print cwd;
system 'call crz2rxn ????????.??d';
system 'call crz2rxn ????????.??e';
print "\nRINEX decompressed";

}
sub qualitycheck {

    # Purpose: trim a RINEX file and redefine its header using teqc.
    # This sub calls a batch file (qc.bat, in bernez)
    my $doy = $_[0];
    my $month = $_[1];
    my $day = $_[2];
    my $year2 = $_[3];
    my $server = $_[4];
    my $gpsdata = $_[5];

    print "\nGPSDATA:::$gpsdata\n";
    open(SERVER, $server) or die "\nERROR! Can't open file: $!";
    my @stations = <SERVER>;
    close (SERVER);
    chomp(@stations);

    foreach my $line (@stations) {
system ("call qc $doy $month $day $year2 $line $gpsdata");

```

```
}
}
sub sendto {

    # Purpose: send an e-mail
    my ($to,$from,$subject,@body) = @_ ;
    use Net::SMTP;

    my $relay = "mail.unipd.it";
    my $smtp = Net::SMTP->new($relay) or die "Can't open connection: $!";

    $smtp->mail($from);
    $smtp->to($to);

    $smtp->data();
    $smtp->datasend("To: $to\n");
    $smtp->datasend("From: $from\n");
    $smtp->datasend("Subject: $subject\n");
    $smtp->datasend("\n");

    foreach (@body) {
        $smtp->datasend("$_\n");
    }
    $smtp->dataend();
    $smtp->quit();
}

sub uploadtoigs {

    use Net::FTP;

    #Purpose: upload a file
    my $hostname;
    ($hostname) = $_[0];
    my $username;
    ($username) = $_[1];
    my $password;
    ($password) = $_[2];
    my $localdir;
    ($localdir) = $_[3];
    my $localfile;
    ($localfile) = $_[4];
    my $mode;
    ($mode) = $_[5];
```

```

my $ftpobj = Net::FTP -> new ($hostname,Timeout=>60,Passive=>1)
or warn "\nERROR! Not connected to: $hostname\n";

$ftpobj -> login($username,$password) or
print LOG "Invalid user name or password HOST: $hostname\n ";

if ($mode eq 'ascii') {
$ftpobj -> ascii();
print "\nascii mode\n";
};
if ($mode eq 'binary') {
$ftpobj -> binary();
print "\nbinary mode\n";
};

$ftpobj -> put($localdir."/".$localfile)
or print LOG "can't put $localfile on remote server, HOST: $hostname\n";
}
1;

```

### A.3 Script di comando per il quality checking dei files RINEX

```

set doy=%1
set mm=%2
set dd=%3
set yy=%4
set stat=%5
set GPSDATA=%6
REM if EXIST c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat%%doy%0.%yy%e call c:\GPSUSER\bernez\crz2rnx
c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat%%doy%0.%yy%e
REM if EXIST c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat%%doy%0.%yy%d call c:\GPSUSER\bernez\crz2rnx
c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat%%doy%0.%yy%d
REM check that observation rinex file exists; if not, exit from batch
if NOT EXIST c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat%%doy%0.%yy%o GOTO END
REM trim rinex files from 00h 00m 30s to 23h 59m 30s
echo Trimming..... %stat%

```

```

cd c:\gpsuser\bernez
c:\GPSUSER\bernez\teqc -st %yy%%mm%%dd%000030 -e %yy%%mm%%dd%235930 c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat
> c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\temp.tmp
echo %stat%-----TRIMMED!
echo
copy c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\temp.tmp c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat%%doy%0.%yy%o
>nul
del c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\temp.tmp>nul
REM edit rinex files according to .cfg files
cd c:\gpsuser\bernez
if NOT EXIST %stat%.cfg GOTO END
echo Editing..... %stat% according to %stat%.cfg
c:\GPSUSER\bernez\teqc -config %stat%.cfg c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat%%doy%0.%yy%o>c:\%GPSDATA%\%y
copy c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\temp.tmp c:\%GPSDATA%\%yy%_%doy%\orx\%stat%%doy%0.%yy%o
echo %stat%-----EDITED!
:END

```

## A.4 Script perl l'interrogazione del server ftp igscb

```

#!/usr/bin/perl
# Purpose: check orbits on igs.ifag.de
# Usage: perl chkrb.pl [gpsweek]
use diagnostics;
use strict;
use lib $ENV{BPE};
use startBPE;
use bpe_util;
use Gps_Date;
use Bernutil;
use Net::FTP;
# gpsweek
my $gpsweek = $ARGV[0];
my $seconds = $ARGV[1];
my $flag = 'notok';
while ($flag eq 'notok') {
    $flag = &pool($gpsweek);
    if ($flag eq 'notok') {
        print "I'm going to sleep for $seconds seconds\n";
        sleep ($seconds);
        print "...Yawnn! Retrying.....\n";
    }
}
}

```

```

sub pool {
  my $gpsweek = $_[0];
  my $hostname = "igsch.jpl.nasa.gov";
  my $username = "anonymous";
  my $password = "none";
  my $remotedir = "/pub/product/$gpsweek";
  # Create ftp object
  my $ftpobj = Net::FTP -> new ($hostname,Timeout=>60,Passive=>1) or
  warn "\nERROR! Not connected to: $hostname\n";
  $ftpobj -> login($username,$password) or
  warn "Invalid user name or password HOST: $hostname\n ";
  $ftpobj -> cwd ("$remotedir") or
  warn "Cannot access this directory: $remotedir\n";
  my @flag = (0,0,0,0,0,0);
  my @curdir = $ftpobj -> ls();
  chomp (@curdir);
  foreach (@curdir) {
    #print "$_\n";
    if ($_ eq 'igs'. $gpsweek. '0.sp3.Z') {$flag[0] = 1}
    if ($_ eq 'igs'. $gpsweek. '1.sp3.Z') {$flag[1] = 1}
    if ($_ eq 'igs'. $gpsweek. '2.sp3.Z') {$flag[2] = 1}
    if ($_ eq 'igs'. $gpsweek. '3.sp3.Z') {$flag[3] = 1}
    if ($_ eq 'igs'. $gpsweek. '4.sp3.Z') {$flag[4] = 1}
    if ($_ eq 'igs'. $gpsweek. '5.sp3.Z') {$flag[5] = 1}
    if ($_ eq 'igs'. $gpsweek. '6.sp3.Z') {$flag[6] = 1}
  }
  if ( $flag[0] == '1' &&
  $flag[1] == '1' &&
  $flag[2] == '1' &&
  $flag[3] == '1' &&
  $flag[4] == '1' &&
  $flag[5] == '1' &&
  $flag[6] == '1' ) {
    print "Orbits found for gpsweek $gpsweek on $hostname\n";
    return ('ok');
  } else {
    print "Orbits NOT found for gpsweek $gpsweek on $hostname\n";
    return ('notok');
  }
  $ftpobj->quit();
}

```



## A.5 Script per l'elaborazione automatica settimanale

```
#!/usr/bin/perl
# prcd.pl
# Perl script to process weekly GPS data
# Author: Andrea Nardo 12/05/2005 17:55
# usage: perl prcd.pl [GPSweek] [Option]
# [GPSweek]..... : gps week to be processed.
# [option].... ppp: run ppp only.
# [option].... rx2snx: run rnx2snx only.
# [option].... comb: run combine only.
# [option].... tropo: run tropo_p only
# [option].... all: run all the PCF.
use diagnostics;
use strict;
use lib $ENV{BPE};
use startBPE;
use bpe_util;
use Gps_Date;
use File::Copy;
# GPS week
my $gpsweek = $ARGV[0];
my $flag = $ARGV[1];
# days of the week
my @dow = ("0","1","2","3","4","5","6");
# call gps_date
my $year2 = &gps_date("-wd $gpsweek 0 -o %y");
# days of the year contained in current GPS week
my @doy = ();
$doy[0] = &gps_date("-wd $gpsweek 0 -o %j");
$doy[1] = &gps_date("-wd $gpsweek 1 -o %j");
$doy[2] = &gps_date("-wd $gpsweek 2 -o %j");
$doy[3] = &gps_date("-wd $gpsweek 3 -o %j");
$doy[4] = &gps_date("-wd $gpsweek 4 -o %j");
$doy[5] = &gps_date("-wd $gpsweek 5 -o %j");
$doy[6] = &gps_date("-wd $gpsweek 6 -o %j");
# set campaign names
my @campnam = ();
$campnam[0] = $year2."_".$doy[0];
$campnam[1] = $year2."_".$doy[1];
$campnam[2] = $year2."_".$doy[2];
$campnam[3] = $year2."_".$doy[3];
$campnam[4] = $year2."_".$doy[4];
```

```

$campnam[5] = $year2." _ ".$doy[5];
$campnam[6] = $year2." _ ".$doy[6];
printf "\noption..... $flag\n";
printf "year..... $year2\n";
printf "days of the year.... @doy\n";
printf "campaign names..... @campnam\n";
# set days of the week to be processed (from $first to $last)
my $first = 0;
my $last = 6;
#STEP 1: running PPP on each day of current gps week
#=====
# hash table
my %newVar = ("V_MIX" => "YES", "V_MAXLEN" => 2500,);
# create a new adapted BPE server object:
my $BPE1 = new startBPE(%newVar);
if ($flag eq "ppp" || $flag eq "all") {
    my $indice = "0";
    for ($indice=$first; $indice<=$last; ) {
# set mandatory variables
# -----
$$BPE1{BPE_CAMPAIGN} = '${P}.'/$campnam[$indice]";
$$BPE1{PCF_FILE} = "PPPM";
$$BPE1{SESSION} = $doy[$indice]."0";
$$BPE1{YEAR} = "20".$year2;
# Also the values for the other keywords may be changed:
# -----
$$BPE1{TASKID} = "P1";
$$BPE1{SYSOUT} = "P1_BPE";
$$BPE1{STATUS} = "PPP_BPE.SUM";
$$BPE1{CPU_FILE} = "USER";
$BPE1->resetCPU();
$BPE1->cleanTemp();
# finally start the processing
$BPE1->run();
if ($$BPE1{ERROR_STATUS} == 1) {
    die"ERROR: PPP, session $doy[$indice]"
}

$indice++;
}
}
#STEP 2: running RNX2SNX on each day of current gps week
#=====

```

```

if ($flag eq "rx2sx" || $flag eq "all") {

    my $indice = "0";
    for ($indice=$first; $indice<=$last; ) {

        $$BPE1{BPE_CAMPAIGN} = "${P}'./$campnam[$indice]";
        $$BPE1{PCF_FILE} = 'RNX2SNX';
        $$BPE1{SESSION} = $doy[$indice]."0";
        $$BPE1{YEAR} = "20".$year2;

        $$BPE1{TASKID} = "R2";
        $$BPE1{SYSOUT} = "R2S_BPE";
        $$BPE1{STATUS} = "R2S_BPE.SUM";
        $$BPE1{CPU_FILE} = "USER";
        $BPE1->resetCPU();
        $BPE1->cleanTemp();
        $BPE1->run();
        if ($$BPE1{ERROR_STATUS} == 1) {
            die"ERROR: RNX2SNX, session $doy[$indice]"
        }
    }

    $indice++;
}
}

#STEP 3: combining daily solutions through COMBINE
#=====
if ($flag eq "comb" || $flag eq "all") {
    printf "\nCombining daily solutions through COMBINE\n\n";

    my $indice = "0";
    for ($indice=$first; $indice<=$last; ) {
        my $filetobecopied = "C:\\GPSDATA"./$campnam[$indice]".\\SOL\\R1_".$year2.$doy[$indice]."0.NQ0";
        my $newfile = "C:\\GPSDATA"./wk".$gpsweek."\\SOL\\R1_".$year2.$doy[$indice]."0.NQ0";

        (-e $filetobecopied) or die"\nERROR: file $filetobecopied does not exist";

        printf "copying $filetobecopied into\n";
        printf " $newfile\n";
        copy($filetobecopied, $newfile) or die "File cannot be copied.";
        printf " copied!\n\n";

        $indice++;
    }
}

```

```

$$BPE1{BPE_CAMPAIGN} = '${P}'."/wk".$gpsweek;
$$BPE1{PCF_FILE} = 'combine';
$$BPE1{SESSION} = $doy[0]."0";
$$BPE1{YEAR} = "20".$year2;

$$BPE1{TASKID} = "aw";
$$BPE1{SYSOUT} = "AWK_BPE";
$$BPE1{STATUS} = "AWK_BPE.SUM";
$$BPE1{CPU_FILE} = "USER";
$BPE1->resetCPU();
$BPE1->cleanTemp();
$BPE1->run();
if ($$BPE1{ERROR_STATUS} == 1) {
    die"ERROR: COMBINE"
}
}
#STEP 4: estimating tropospheric parameters (fixed mean coordinates)
#=====
if ($flag eq "tropo" || $flag eq "all") {
    printf "\nestimating tropospheric parameters (fixed mean coordinates)\n\n";

    my $indice = "0";
    for ($indice=$first; $indice<=$last; ) {
        my $newfile = "C:\\GPSDATA"."/".$campnam[$indice]."\\STA\\UPA".$gpsweek."7.CRD";
        my $filetobecopied = "C:\\GPSDATA"."/wk".$gpsweek."\\STA\\UPA".$gpsweek."7.CRD";
        (-e $filetobecopied) or die"\nERROR: file $filetobecopied does not exist";

        printf "copying $filetobecopied into\n";
        printf " $newfile\n";
        copy($filetobecopied, $newfile) or die "File cannot be copied.";
        printf " copied!\n\n";

        $$BPE1{BPE_CAMPAIGN} = '${P}'./".$campnam[$indice]";
        $$BPE1{PCF_FILE} = 'TROPO_P';
        $$BPE1{SESSION} = $doy[$indice]."0";
        $$BPE1{YEAR} = "20".$year2;

        $$BPE1{TASKID} = "TR";
        $$BPE1{SYSOUT} = "TRO_BPE";
        $$BPE1{STATUS} = "TRO_BPE.SUM";
        $$BPE1{CPU_FILE} = "USER";
        $BPE1->resetCPU();
    }
}

```

## A.6. SCRIPT PER IL TRASFERIMENTO DEI FILES SINEX AL SERVER FTP DEL BKG311

```
$BPE1->cleanTemp();
$BPE1->run();

if ($$BPE1{ERROR_STATUS} == 1) {
    die"ERROR: TROPO_P, session $doy[$sindice]"
}
$sindice++;
}
}
```

## A.6 Script per il trasferimento dei files SINEX al server FTP del BKG

```
#!/usr/bin/perl
use diagnostics;
use strict;
use lib $ENV{BPE};
use startBPE;
use bpe_util;
use Gps_Date;
use Bernutil;
# Purpose: upload data to IGS
# Usage: perl upld2igs [gpsweek];
my $gpsweek = $ARGV[0];
# call gps_date
my $year2 = &gps_date("-wd $gpsweek 0 -o %y");
# days of the year contained in current GPS week
my @doy = ();
$doy[0] = &gps_date("-wd $gpsweek 0 -o %j");
$doy[1] = &gps_date("-wd $gpsweek 1 -o %j");
$doy[2] = &gps_date("-wd $gpsweek 2 -o %j");
$doy[3] = &gps_date("-wd $gpsweek 3 -o %j");
$doy[4] = &gps_date("-wd $gpsweek 4 -o %j");
$doy[5] = &gps_date("-wd $gpsweek 5 -o %j");
$doy[6] = &gps_date("-wd $gpsweek 6 -o %j");
my @dow;
@dow = (0..6);
my $hostname = 'igs.ifag.de';
my $username = 'eurefput';
my $password = 'euref-bkg';
my $mode = 'ascii';
```

```

my $localdir;
my $localfile;
my $i;
for ($i=0;$i<=6; ) {
    my $campdir = $year2.'_'.$doy[$i];
    my $localdir = "C:/GPSDATA/$campdir/ATM";
    my $localfile = 'UPA'.$gpsweek.$dow[$i].'.TRO';
    &uploadtoigs($hostname,$username,$password,$localdir,$localfile,$mode);
    $i++;
}
$localdir = 'C:/GPSDATA/wk'.$gpsweek.'/SOL';
$localfile = 'UPA'.$gpsweek.'.7.SNX';
&uploadtoigs($hostname,$username,$password,$localdir,$localfile,$mode);
$localdir = 'C:/GPSDATA/wk'.$gpsweek.'/OUT';
$localfile = 'UPA'.$gpsweek.'.7.SUM';
&uploadtoigs($hostname,$username,$password,$localdir,$localfile,$mode);

```

## A.7 Script per l'estrazione del bollettino settimanale

```

#!/usr/bin/perl
use strict;
use warnings;
# usage: perl xtract.pl [gpsweek]
my $gpsweek = $ARGV[0];
my $campdir = 'wk'.$gpsweek;
my $datadir = 'C:/GPSDATA/U';
my $addout = 'ADDNEQ2.OUT';
my $fixedfile = 'EURF00.FIX';
my $out = $datadir.'/'.$campdir.'/OUT/'.$addout;
my $fix = $datadir.'/'.$campdir.'/STA/'.$fixedfile;
print "\n$out";
open (BOL,">bol$campdir");
print BOL ' Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica
*****
Sommaro della analisi settimanale dati GPS
*****
Serie storiche, coordinate e statistiche sono alla pagina http://cisas.unipd.it/gps/project.html
*****';
my $line = "===== ";
my $line2 = "----- ";

```

```

open (ADD2,$out) or die "Cannot find $out";
my @file = <ADD2>;
print BOL "\n$line\n";
print BOL "ORBIT FILES:\n";
print BOL 'IGS'. $gpsweek."0.SP3\n";
print BOL 'IGS'. $gpsweek."1.SP3\n";
print BOL 'IGS'. $gpsweek."2.SP3\n";
print BOL 'IGS'. $gpsweek."3.SP3\n";
print BOL 'IGS'. $gpsweek."4.SP3\n";
print BOL 'IGS'. $gpsweek."5.SP3\n";
print BOL 'IGS'. $gpsweek."6.SP3\n";
print BOL "\n$line2\n";
foreach my $r (@file) {

    my $stringa = 'Program :';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL $r;

    $stringa = 'Purpose :';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL $r;

    $stringa = 'Campaign:.';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL $r;

    $stringa = 'Earth rotation parameters :';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL $r;
    $stringa = 'Phase center variations :';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL $r;
    $stringa = 'Resulting normal equations :';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL $r;

}
print BOL "$line\n";
foreach my $r (@file) {
    my $stringa = 'INPUT NORMAL EQUATION FILES';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL $r;

    $stringa = 'R1_[0123456789]+.NQ0';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL $r;

    $stringa = 'Main characteristics of normal equation files:.';
    $r = ~/$stringa/ && print BOL "\n$r$line2\n";

    $stringa = 'File From';

```

```

$r =~/$stringa/ && print BOL $r;

$stringa = '\s{4}[1-7]\s{2}200';
$r =~/$stringa/ && print BOL $r;

$stringa = ' Total 20';
$r =~/$stringa/ && print BOL "$line2\n$r";

}
print BOL "\n$line2";
print BOL "\n$line";
print BOL "\n COMPARISON OF STATION COORDINATES WITH RESPECT TO THE COMBINED
SOLUTION IN MM

- UNWEIGHTED RMS OF INDIVIDUAL COORDINATE RESIDUALS\n";
print BOL "\n$line2";
print BOL "\n RMS 1 2 3 4 5 6 7 ";
print BOL "\n$line2\n";
foreach my $r (@file) {
    my $stringa = '\s{4}\s[NEU]\s{2}';
    $r =~/$stringa/ && print BOL $r;
}
print BOL $line;
print BOL "\nFixed stations (minimum constraints): $fix\n";
open (FIX,$fix) or die "Cannot find $fix";
my @station = <FIX>;
print BOL "@station";
close (FIX);
print BOL "\n$line\n\n";

print BOL 'Prof. Alessandro Caporali
Università di Padova
Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica
Via Matteotti 32
I-35137 Padova Italy
tel. +39 049 827 2052
fax +39 049 827 2070
cell.0039 328 8180575
';
close (ADD2);
close (BOL);

```



## A.8 Modulo per l'int. del campo e il calcolo del t. di def.

```

# Field_analysis
#
# 1) Read gmt file.
# 2) Compute empirical covariance.
# 3) Fit covariance function
# 4) Interpolate 2d velocity
# field trough least square
# collocation.
# 5) Compute strain rate.
# 6) Create map
# Import modules:
from plotmatrix import *
from math import *
from scipy import *
from numpy import *
# import fortran format
#from Scientific.IO.FortranFormat import *
# import linear algebra module
from numpy.linalg import inv, pinv, lstsq
# import mapping module
from matplotlib.toolkits.basemap import Basemap, shiftgrid
# import string functions:
from string import split, join
# import numerical functions:
from matplotlib.mlab import movavg
from scipy.optimize import leastsq
#from LinearAlgebra import linear_least_squares
# import graphical functions:
from pylab import hist, plot, subplot, grid, title, xlabel, ylabel, show, close, clf, \
    arange, meshgrid, cm, figure, axes, gca, reshape, quiver, quiverkey, \
    load, scatter, axis, text, errorbar
# import GUI module:
# from Tkinter import *
def string2float(stringlist):
    "Convert strings into floats"
    # define float list
    floatlist = []
    for element in stringlist:
        floatlist.append(float(element))
    return floatlist

```

```

def rad2deg(rad):
    "Convert radians to degrees.
    Return float radians."
    #from math import pi
    return rad * 180.0 / pi
def deg2rad(deg):
    "Convert degrees to radians.
    Return float degrees"
    #from math import pi
    return deg * pi / 180.0
def distance(lat1, lon1, lat2, lon2):
    "Calculate spherical distance between two lat/lon pairs.
    Return float distance in Km."
    #from math import sin, cos, acos
    lat1 = deg2rad(lat1)
    lon1 = deg2rad(lon1)
    lat2 = deg2rad(lat2)
    lon2 = deg2rad(lon2)
    theta = lon1 - lon2
    dist = sin(lat1) * sin(lat2) \
    + cos(lat1) * cos(lat2) * cos(theta)
    if dist > 1.0:
        print Numerical error... cos(dist) > 1.0
        dist = 1.0
    elif dist < -1.0:
        print Numerical error... cos(dist) < -1.0
        dist = -1.0

    dist = acos(dist)
    dist = rad2deg(dist)
    meters = dist * 60.0 * 1852.0
    # output in km
    return meters/1000.0
def readField(path):
    "Read field from a file"
    # open file
    f = open(path,r)
    # read file
    data = f.readlines()
    # close file
    f.close()
    return data

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 317

```

def writeField(field,path):
    "Write field into a file"
    # open file
    f = open(path,w)
    # write file
    for key in field:
        # build formatted line
        formline = ' %7.3f %7.3f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %s\n' % (field[key][0], field[key][1], field[key][2], \
        field[key][3], field[key][4], field[key][5], \
        field[key][6], key)
        f.write(formline)
    # close file
    f.close()
def showField(field):
    "Print field on the screen"
    for key in field.keys():
        formline = '%7.3f %7.3f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %s' % (field[key][0], field[key][1], field[key][2], \
        field[key][3], field[key][4], field[key][5], \
        field[key][6], key)
        print formline
def writeStrain(strain_rate,path,path_ext,path_com):
    "Write field into a file"
    # open file
    f = open(path,w)
    f_ext = open(path_ext,w)
    f_com = open(path_com,w)
    # write file
    for key in strain_rate.keys():
        # build formatted line
        formline = '%7.3f %7.3f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %s\n' % (strain_rate[key][0], strain_rate[key][1],
strain_rate[key][2], \
        strain_rate[key][3], strain_rate[key][4], \
        strain_rate[key][5], strain_rate[key][6], \
        strain_rate[key][7], key)
        formline_ext = '%7.3f %7.3f %7.2f %7.2f %7.2f %s\n' % (strain_rate[key][0], strain_rate[key][1], strain_rate[key][2],
\
        0.0, strain_rate[key][6], key)
        formline_com = '%7.3f %7.3f %7.2f %7.2f %7.2f %s\n' % (strain_rate[key][0], strain_rate[key][1], 0.0, \
        strain_rate[key][4], strain_rate[key][6], key)
        f.write(formline)
        f_ext.write(formline_ext)
        f_com.write(formline_com)
    # close file

```

```

f.close()
f_ext.close()
f_com.close()
def showStrain(strain_rate):
    "Print field on the screen"
    for key in strain_rate.keys():
        formline = '%7.3f %7.3f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %7.2f %s' % (strain_rate[key][0], strain_rate[key][1],
strain_rate[key][2], \
    strain_rate[key][3], strain_rate[key][4], strain_rate[key][5], \
    strain_rate[key][6], strain_rate[key][7], key)
        print formline
def buildData_horiz(data):
    "Build data structure (horizontal components)"
    # from string import split, join
    # define field data structure
    field = {}
    # convert data list into field data structure
    for line in data:
        splittedline = split(line)
        site = join(splittedline[7:10])
        field[site] = string2float(splittedline[0:7])
    return field
def buildData_vert(data):
    "Build data structure (vertical components)"
    # from string import split, join
    # define field data structure
    field = {}
    # convert data list into field data structure
    for line in data:
        splittedline = split(line)
        site = join(splittedline[5:8])
        val = string2float(splittedline[0:5])
        field[site] = [val[0], \
val[1], \
val[2], \
val[3], \
0.0, \
val[4], \
0.0]
    return field
def diffFields(field1,field2):
    "Compute difference between two fields"
    difference = {}

```

```

for key in field1.keys():
if field2.has_key(key):
difference[key] = [field1[key][0], field1[key][1], \
field1[key][2] - field2[key][2], \
field1[key][3] - field2[key][3], \
field1[key][4], field1[key][5], \
field1[key][6]]
return difference
def addFields(field1,field2):
“add two fields“
added = {}
for key in field1.keys():
if field2.has_key(key):
added[key] = [field1[key][0], field1[key][1], \
field1[key][2] + field2[key][2], \
field1[key][3] + field2[key][3], \
field1[key][4], field1[key][5], \
field1[key][6]]
return added
def uniqField(field):
“Remove duplicated data“
key = field.keys()
for site1 in key:
for site2 in key:
# check that the keys exist
if field.has_key(site1) and field.has_key(site2):
# check that the sites are different
if site1 != site2:
# check that the coordinates of different
# sites are the same, if true, remove
# the related entry
if field[site1][0:1] == field[site2][0:1]:
del field[site2]
return field
def uniqFieldTol(field, tol):
“Remove duplicated data, using“
key = field.keys()
for site1 in key:
for site2 in key:
# check that the keys exist
if field.has_key(site1) and field.has_key(site2):
# check that the sites are different
if site1 != site2:

```

```

# check that the coordinates of different
# sites are the same (within a tolerance), if true, remove
# the related entry
if (fabs(field[site1][0] - field[site2][0]) <= tol and fabs(field[site1][1] - field[site2][1]) <= tol):
del field[site2]
return field
def geod2cart(lon, lat, h):
    "Convert from geodetic to cartesian coordinates (lon, lat, height -> x, y, z)
    (translated from matlab G2C function, by Kay Borre)"

# semi-major axis (WGS-84)
a = 6378137.000
# flattening (WGS-84)
f = 1.0/298.2572236
ex2 = (2.0-f)*f/((1.0-f)**2)
c = a*sqrt(1.0+ex2)
N = c/sqrt(1.0+ex2*cos(lat)**2)
x = (N+h)*cos(lat)*cos(lon)
y = (N+h)*cos(lat)*sin(lon)
z = ((1.0-f)**2*N+h)*sin(lat)
return x, y, z
def cart2geod(x, y, z):
    "Convert from cartesian to geodetic coordinates (x,y,z -> lon, lat, height), using iterative method
    (translated from matlab togeod function, by Kay Borre)"
# semi-major axis (WGS-84)
a = 6378137.000
# inverse of flattening (WGS-84)
finv = 298.2572236
# counter
i = 0

h = 0.0
tolsq = 1.0e-10
maxit = 10
# square of the eccentricity
if finv < 1.0e-20:
esq = 0.0
else:
esq = (2.0-1.0/finv)/finv
onesq = 1.0-esq
#print ok1\n

# first guess

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 321

```

# p is distance from spin axis
p = sqrt(x**2+y**2)
# direct calculation of longitude
if p > 1.0e-20:
    dlambd = atan2(y,x)
    dlambd = rad2deg(dlambd)
else:
    dlambd = 0.0

if (dlambd < 0.0):
    dlambd = dlambd + 360.0
#print OK2\n

# r is distance from origin (0,0,0)
r = sqrt(p**2+z**2)
if r > 1.0e-20:
    sinphi = z/r
else:
    sinphi = 0.0

dphi = asin(sinphi)
# initial value of height = distance from origin minus
# approximate distance from origin to surface of ellipsoid
if r < 1.0e-20:
    h = 0.0
print Doh!

h = r-a*(1-sinphi*sinphi/finv)
#print OK3\n

# iterate
for i in range(1,maxit+1):
    sinphi = sin(dphi)
    cosphi = cos(dphi)
    # compute radius of curvature in prime vertical direction
    N_phi = a/sqrt(1-esq*sinphi*sinphi)
    # compute residuals in p and z
    dP = p - (N_phi + h) * cosphi
    dZ = z - (N_phi*onesq + h) * sinphi
    # update height and latitude
    h = h + (sinphi*dZ+cosphi*dP)
    dphi = dphi+(cosphi*dZ-sinphi*dP)/(N_phi + h)
    # test for convergence

```

```

if (dP*dP + dZ*dZ < tolsq):
    break
# Not Converged-Warn user
if i == maxit:
    print Not converged

dphi = float(rad2deg(dphi))

return dlambd, dphi, h

def spherDistance(field):
    "Compute spherical distance
    between sites"
    spherdist = {}
    sites = field.keys()
    for site1 in sites:
        for site2 in sites:
            lon1 = field[site1][0]
            lat1 = field[site1][1]
            lon2 = field[site2][0]
            lat2 = field[site2][1]
            # check that the distance between
            # site1 and site2 has not been already computed
            if spherdist.has_key((site2,site1)):
                continue
            # compute spherical distance
            # print site1, site2
            elif site1 != site2:
                spherdist[site1,site2] = distance(lat1, lon1, lat2, lon2)
            if spherdist[site1,site2] == 0.0:
                print Warning, check, site1, site2
            elif site1 == site2:
                spherdist[site1,site2] = 0.0

    return spherdist

def averageDistance(spherdist):
    "Compute average distance between sites"
    n = len(spherdist)
    averagedist = 0.0
    for key in spherdist.keys():
        averagedist = averagedist + spherdist[key]
    return averagedist/float(n)

```



## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 323

```
def writeSpherDistance(spherdist,path):
    "Write spherical distance
    into a file"
    f = open(path,w)
    for site in spherdist.keys():
        formline = %.4f %s %s\n % (spherdist[site],site[0],site[1])
    f.write(formline)
    f.close()
def binSites(spherdist,lower,upper):
    "Classify sites using spherical distance"
    binnedsites = []
    for couple in spherdist.keys():
        if lower < spherdist[couple] <= upper:
            binnedsites.append(couple)
    return binnedsites
def meanField(field):
    "Given a field, compute the average field"
    mfield = {}
    mean1 = 0.0
    mean2 = 0.0
    for key in field.keys():
        mean1 = mean1 + field[key][2]
        mean2 = mean2 + field[key][3]
    n = float(len(field))
    mean1 = mean1 / n
    mean2 = mean2 / n

    for key in field.keys():
        mfield[key] = [field[key][0], field[key][1], mean1, mean2, 0.0, 0.0, 0.0]
    return mfield
def averageField(field):
    "Given a field, compute the average"
    n = len(field)

    v1 = zeros( n )
    v2 = zeros( n )
    i = 0
    for key in field.keys():
        v1[i] = field[key][2]
        v2[i] = field[key][3]
        i = i + 1

    mean1 = mean(v1)
```

```

mean2 = mean(v2)

return mean1, mean2
def wAverageField(field):
    "Given a field, compute the weighted average"
    n = len(field)

    v1 = zeros( n )
    v2 = zeros( n )
    w1 = zeros( n )
    w2 = zeros( n )

    i = 0
    for key in field.keys():
        v1[i] = field[key][2]
        v2[i] = field[key][3]
        w1[i] = 1.0/(field[key][4]**2)
        w2[i] = 1.0/(field[key][5]**2)

    i = i + 1
    # normalize weights
    w1 = w1/sum(w1)
    w2 = w2/sum(w2)

    mean1 = sum(w1*v1)/sum(w1)
    mean2 = sum(w2*v2)/sum(w2)

    return mean1, mean2
def addConstantField(field,c1,c2):
    "Add a 2D costant field"
    addfield = {}
    for key in field.keys():
        addfield[key] = [field[key][0], field[key][1], field[key][2]+c1, field[key][3]+c2, field[key][4], field[key][5], field[key][6]
]

    return addfield
def selectArea(field,lon_centre,lat_centre,radius):
    "Select field values contained in the circle
    centered in lat_centre,lon_centre"
    selected = {}
    for key in field.keys():
        lat = field[key][1]

```

```

lon = field[key][0]
d = distance(lat, lon, lat_centre, lon_centre)
if d <= radius:
selected[key] = field[key]
n = float(len(selected))
area = pi * (radius**2)
mdist = sqrt(area/n)

return selected, mdist
def rSelectArea(field,lon1,lat1,lon2,lat2):
    "Select field values contained in the circle
    centered in lat_centre,lon_centre"
    selected = {}
    for key in field.keys():
        lat = field[key][1]
        lon = field[key][0]
        if lon1 <= lon <= lon2 and lat1 <= lat <= lat2:
            selected[key] = field[key]
    n = float(len(selected))
    area = fabs(lon1-lon2)*fabs(lat1-lat2)*(111.0**2)
    mdist = sqrt(area/n)

    return selected, mdist
def findOutliers(field, tresh1, tresh2):
    "Find outliers"
    # from math import fabs
    outliers = []
    for key in field.keys():
        if fabs(field[key][2]) > tresh1 or fabs(field[key][3]) > tresh2:
            outliers.append(key)

    return outliers
def findOutliersSep(field, tresh1, tresh2):
    "Find outliers"
    # from math import fabs
    outliers = []
    outliers1 = []
    outliers2 = []
    for key in field.keys():
        if fabs(field[key][2]) > tresh1 or fabs(field[key][3]) > tresh2:
            outliers.append(key)
        if fabs(field[key][2]) > tresh1:
            outliers1.append(key)

```

```

if fabs(field[key][3]) > tresh2:
    outliers2.append(key)

return outliers, outliers1, outliers2
def sFindOutliers(field, sigma_tresh1, sigma_tresh2):
    "Find outliers screening the sigma values"
    # from math import fabs
    outliers = []
    for key in field.keys():
        if fabs(field[key][4]) > sigma_tresh1 or fabs(field[key][5]) > sigma_tresh2:
            outliers.append(key)
    return outliers
def rejectOutliers(field, outliers):
    "Remove outliers from the field"
    cleaned = {}
    sites = field.keys()
    for key in outliers:
        sites.remove(key)

    for key in sites:
        cleaned[key] = field[key]

    return cleaned

def expWeight(a, b):
    "Compute exponential weight"
    if a != 0.0:
        ratio = fabs(a-b)/fabs(a)
    elif b != 0.0:
        ratio = fabs(a-b)/fabs(b)
    w = exp(-ratio)
    print w
    return w
def covaField(field, pairs1, pairs2):
    "Compute empirical covariance"
    cov = [0.0, 0.0]
    # compute the means of the head and the tail
    mh1 = 0.0
    mt1 = 0.0
    mh2 = 0.0
    mt2 = 0.0
    i = 0
    for key in pairs1:

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 327

```

mh1 = mh1 + field[key[0]][2]
mt1 = mt1 + field[key[1]][2]
i = i + 1
mh1 = mh1/float(i)
mt1 = mt1/float(i)

i = 0
for key in pairs2:
    mh2 = mh2 + field[key[0]][3]
    mt2 = mt2 + field[key[1]][3]
    i = i + 1
mh2 = mh2/float(i)
mt2 = mt2/float(i)

for key in pairs1:
    cov[0] = cov[0] + (field[key[0]][2]) * (field[key[1]][2])
for key in pairs2:
    cov[1] = cov[1] + (field[key[0]][3]) * (field[key[1]][3])

n1 = float(len(pairs1))
n2 = float(len(pairs2))
cov[0] = cov[0]/n1
cov[1] = cov[1]/n2
return cov
def wCovaField(field, pairs1, pairs2):
    "Compute weighted empirical covariance"
    cov = [0.0, 0.0, 0.0, 0.0]
    n1 = len(pairs1)
    n2 = len(pairs2)
    err1 = zeros( n1 )
    err2 = zeros( n2 )
    w1 = zeros( n1 )
    w2 = zeros( n2 )
    c1 = zeros( n1 )
    c2 = zeros( n2 )
    d1 = zeros( n1 )
    d2 = zeros( n2 )
    m1 = 0.0
    m2 = 0.0

    # compute mean
    i = 0
    for key in pairs1:

```

```

m1 = m1 + field[key[0]][2] + field[key[1]][2]
i = i + 1
m1 = m1/(2.0*float(i))

i = 0
for key in pairs2:
m2 = m2 + field[key[0]][3] + field[key[1]][3]
i = i + 1
m2 = m2/(2.0*float(i))

i = 0
for key in pairs1:
d1[i] = distance( field[key[0]][1], field[key[0]][0], field[key[1]][1], field[key[1]][0] )
err1[i] = 1.0/(fabs(field[key[0]][4]) + fabs(field[key[1]][4]))
#err1[i] = 1.0/sqrt(field[key[0]][4]**2 + field[key[1]][4]**2)
c1[i] = (field[key[0]][2] ) * (field[key[1]][2])
i = i + 1
i = 0
for key in pairs2:
d2[i] = distance( field[key[0]][1], field[key[0]][0], field[key[1]][1], field[key[1]][0] )
err2[i] = 1.0/(fabs(field[key[0]][5]) + fabs(field[key[1]][5]))
#err2[i] = 1.0/sqrt(field[key[0]][5]**2 + field[key[1]][5]**2)
c2[i] = (field[key[0]][3]) * (field[key[1]][3])
i = i + 1

n1p = 2.0*float(n1)
n2p = 2.0*float(n2)
d1max = max(d1)
d2max = max(d2)
# weights modulated by distanc between sites
#w1 = exp(-d1/(d1max*1.0))*err1
#w2 = exp(-d2/(d2max*1.0))*err2
# raw weights
w1 = err1
w2 = err2
# normalize weights
w1 = w1/sum(w1)
w2 = w2/sum(w2)
# compute covariance
cov[0] = sum(w1*c1) / (1.0 - sum(w1**2))
cov[1] = sum(w2*c2) / (1.0 - sum(w2**2))
# compute errors
cov[2] = sum(1.0/err1)/float(len(pairs1))

```

```

cov[3] = sum(1.0/err2)/float(len(pairs2))

return cov

def mvarField(field,binnedsites):
    "Compute empirical semi-variogram for a defined bin"
    mvar = [0.0, 0.0]
    for key in binnedsites:
        mvar[0] = mvar[0] + ( field[key[0]][2] - field[key[1]][2] )**2
        mvar[1] = mvar[1] + ( field[key[0]][3] - field[key[1]][3] )**2
    n = 2.0*float(len(binnedsites))
    mvar[0] = mvar[0]/(2.0*n)
    mvar[1] = mvar[1]/(2.0*n)
    return mvar

def varField(field):
    "Compute empirical variance"
    var = [0.0, 0.0, 0.0]
    for key in field.keys():
        var[0] = var[0] + field[key][2] * field[key][2]
        var[1] = var[1] + field[key][3] * field[key][3]
        var[2] = var[2] + field[key][2] * field[key][3]
    n = float(len(field))
    var[0] = var[0]/n
    var[1] = var[1]/n
    var[2] = var[2]/n
    return var

def wVarField(field):
    "Compute weighted empirical covariance"
    var = [0.0, 0.0, 0.0]
    v1 = zeros(len(field))
    v2 = zeros(len(field))
    w1 = zeros(len(field))
    w2 = zeros(len(field))
    i = 0

    for key in field.keys():
        v1[i] = field[key][2] * field[key][2]
        v2[i] = field[key][3] * field[key][3]
        w1[i] = 1.0/(field[key][4]**2)
        w2[i] = 1.0/(field[key][5]**2)
        i = i + 1

```

```

# normalize weights
w1 = w1/sum(w1)
w2 = w2/sum(w2)
var[0] = sum(v1*w1)/sum(w1)
var[1] = sum(v2*w1)/sum(w2)
var[2] = 0.0
return var

def scatterPlot(field, lower, upper, lflag):
    "Scatterplot of the data (for a given bin)"
    # compute spherical distances
    sd = spherDistance(field)
    # bin the sites
    binnedsites = binSites(sd, lower, upper)

    v1i = zeros(len(binnedsites))
    v1j = zeros(len(binnedsites))
    v2i = zeros(len(binnedsites))
    v2j = zeros(len(binnedsites))
    cp = []

    i = 0
    for pairs in binnedsites:
        v1i[i] = field[pairs[0]][2]
        v1j[i] = field[pairs[1]][2]
        v2i[i] = field[pairs[0]][3]
        v2j[i] = field[pairs[1]][3]
        cp.append(pairs)
    i = i + 1
    couples = array(cp)
    figure(1)
    scatter(v1i, v1j)
    if lflag == 'y':
        for i in range(len(v1j)):
            text(v1i[i], v1j[i], join(couples[i]), fontsize=4 )

    v1 = axis()
    plot(arange(v1[0],v1[1]), arange(v1[0],v1[1]),'r')

    grid(True)
    title('East direction scatterplot')
    figure(2)
    scatter(v2i, v2j)

```



## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 331

```

if lflag == 'y':
    for i in range(len(v1j)):
        text(v2i[i], v2j[i], join(couples[i]), fontsize=4 )

v2 = axis()
plot(arange(v2[0],v2[1]), arange(v2[0],v2[1]),'r')
grid(True)
title('North direction scatterplot')
show()

## line1 = arange(min(v1i),max(v1i))
##
## figure(211)
## clf
## plot(v1i,v1j,'o',line1,line1,'r')
## ylabel('East direction velocity scatterplot (mm/yr)')
## grid(True)
##
## line2 = arange(min(v2i),max(v2i))
##
## figure(212)
## clf
## plot(v2i,v2j,'o',line2,line2,'r')
## ylabel('North direction velocity scatterplot (mm/yr)')
## grid(True)
##
## show()
def CleanScatterPlot(field, binnedsites, treshold1, treshold2):
    "Remove pairs whose values are greater than treshold from binned sites list"
    # find the pairs whose difference is smaller than treshold
    pairs1 = []
    pairs2 = []
    for i in range(len(binnedsites)):
        delta1 = fabs(field[binnedsites[i][0]][2] - field[binnedsites[i][1]][2])
        delta2 = fabs(field[binnedsites[i][0]][3] - field[binnedsites[i][1]][3])
        if delta1 <= treshold1:
            #print delta1
            pairs1.append(binnedsites[i])
        if delta2 <= treshold2:
            #print delta2
            pairs2.append(binnedsites[i])

```

```

return pairs1, pairs2

def covariogram(field,lag,upperbound,flag, tresh1, tresh2, l):
    "Compute covariogram "
    covar = []
    n = float(len(field))
    # compute variance
    variance = wVarField(field)
    # Variance is the first element
    covar.append([0.0, variance[0], variance[1], n, n, 0.0, 0.0])
    # compute spherical distances between couples
    spherdist = spherDistance(field)
    bin = 0.0
    while bin <= upperbound:
        lower = bin
        bin = bin + lag
        middle = (lower + bin) / 2.0
        binnedsites = binSites(spherdist,lower,bin)
        tresh1 = tresh1/1*middle
        tresh2 = tresh2/1*middle
        pairs1, pairs2 = CleanScatterPlot(field, binnedsites, tresh1, tresh2)
        nc1 = 2.0*float(len(pairs1))
        nc2 = 2.0*float(len(pairs2))
        if flag == 'w':
            cov = wCovaField(field, pairs1, pairs2)
        elif flag == 'n':
            cov = covaField(field, pairs1, pairs2)

        covar.append([middle, cov[0], cov[1], nc1, nc2, cov[2], cov[3]])

    return covar

def mvariogram(field,lag,upperbound):
    "Compute Matheron classical variogram "
    mvario = []
    n = float(len(field))
    # compute spherical distances between couples
    spherdist = spherDistance(field)
    bin = 0.0
    while bin <= upperbound:
        lower = bin
        bin = bin + lag
        middle = (lower + bin) / 2.0

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 333

```
    binnedsites = binSites(spherdist,lower,bin)
    nc = 2.0*float(len(binnedsites))
    mvar = mvarField(field, binnedsites)
    mvario.append([middle, mvar[0], mvar[1], nc])
    return mvario

def averageVariogram(vario,npoints):
    "Compute moving average of the covariogram"
    # from matplotlib.mlab import movavg

    distance = []
    var1 = []
    var2 = []
    avvar = []

    for index in range(len(vario)):
        distance.append(vario[index][0])
        var1.append(vario[index][1])
        var2.append(vario[index][2])
    if npoints > 0:
        var1avg = movavg(var1, npoints)
        var2avg = movavg(var2, npoints)
        distanceavg = movavg(distance, npoints)
    elif npoints == 0:
        var1avg = var1
        var2avg = var2
        distanceavg = distance

    for index in range(len(distanceavg)):
        avvar.append([var1avg[index], var2avg[index], distanceavg[index], 0])

    return avvar

def averageCovariogram(covar,npoints):
    "Compute moving average of the covariogram"
    # from matplotlib.mlab import movavg

    distance = []
    err1 = []
    err2 = []
    cov1 = []
    cov2 = []
    #cov3 = []
    avcovar = []
```

```

for index in range(len(covar)):
    distance.append(covar[index][0])
    cov1.append(covar[index][1])
    cov2.append(covar[index][2])
    #cov3.append(covar[index][3])
    err1.append(covar[index][5])
    err2.append(covar[index][6])

if npoints > 0:
    cov1avg = movavg(cov1, npoints)
    cov2avg = movavg(cov2, npoints)
    #cov3avg = movavg(cov3, npoints)
    distanceavg = movavg(distance, npoints)
elif npoints == 0:
    cov1avg = cov1
    cov2avg = cov2
    #cov3avg = cov3
    distanceavg = distance
    erravg1 = err1
    erravg2 = err2

for index in range(len(distanceavg)):
    avcovar.append([cov1avg[index], cov2avg[index], distanceavg[index], 0, erravg1[index], erravg2[index]])

return avcovar

def showCovariogram(covar):
    "Print covariogram on the screen"
    for index in range(len(covar)):
        print %4f %4f %4f %4f %4f\n % (covar[index][0], covar[index][1], covar[index][2], covar[index][3])
def writeCovariogram(covar,path):
    "Write covariogram into a file"
    # open file
    f = open(path,w)
    # writing loop
    for index in range(len(covar)):
        # build formatted string
        formline = %4f %4f %4f %4f %4f\n % (covar[index][0], covar[index][1], covar[index][2], covar[index][3])
        # write string into file
        f.write(formline)

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 335

```
# close file
f.close
def plotCovariogram(covar, p1, p2):
    "Plot covariogram, "
    # from pylab import plot, subplot, grid, title, xlabel, ylabel, show
    clf

    cov1 = []
    cov2 = []
    err1 = []
    err2 = []
    #cov3 = []
    distance = []
    f1 = []
    f2 = []

    for index in range(len(covar)):
        cov1.append(covar[index][0])
        cov2.append(covar[index][1])
        #cov3.append(covar[index][2])
        distance.append(covar[index][2])
        err1.append(covar[index][4])
        err2.append(covar[index][5])
        d = arange(0.0, max(distance), 1.0)
        f1 = peval(d, p1)
        f2 = peval(d, p2)

    subplot(211)
    plot(distance, cov1, 'bo', d, f1, 'r')
    #errorbar(distance, cov1, err1)
    grid(True)
    title('2D field covariogram')
    ylabel('East cov.')
    subplot(212)
    plot(distance, cov2, 'bo', d, f2, 'r')
    #errorbar(distance, cov2, err2)
    grid(True)
    xlabel('Distance (Km)')
    ylabel('North cov.')
    #subplot(313)
```

```

#plot(distance, cov3, 'bo')
#grid(True)
#xlabel('Distance (Km)')
#ylabel('East-North cov.')
show()
def plotVariogram(vario):
    "Plot variogram "
# from pylab import plot, subplot, grid, title, xlabel, ylabel, show
    clf

    var1 = []
    var2 = []
    distance = []

    for index in range(len(vario)):
        var1.append(vario[index][0])
        var2.append(vario[index][1])
        distance.append(vario[index][2])

    subplot(211)
    plot(distance, var1, 'bo')
    grid(True)
    title('2D field variogram')
    ylabel('East cov.')
    subplot(212)
    plot(distance, var2, 'bo')
    grid(True)
    xlabel('Distance (Km)')
    ylabel('North cov.')
    show()
def fieldHistogram(field,bin):
    "Plot the histogram of the velocities"
# from pylab import hist, xlabel, ylabel, title, show, grid, subplot
    clf

    v1 = []
    v2 = []
    for key in field.keys():
        v1.append(field[key][2])
        v2.append(field[key][3])

# compute and plot histograms

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 337

```
clf
subplot(211)
n1, bins1, patches1 = hist(v1, bin, normed=0, align='center')
grid(True)
title('Histogram of velocity components')
xlabel('East direction (cm/year)')
ylabel('Number of sites')

subplot(212)
n2, bins2, patches2 = hist(v2, bin, normed=0, align='center')
grid(True)
xlabel('North direction (cm/year)')
ylabel('Number of sites')

show()
def peval(x, p):
    "Define covariance function"
    # from math import exp
    a = p[0]
    b = p[1]

    #print len(x)
    #print x
    # exponential function
    #f = a*exp( -( x/b ) )
    # gaussian function
    #f = a*exp( -( x/b )**2 )
    # Cauchy function
    f = a/( 1.0 + (x/b)**2 )

    return f
def check_partials_de(mygrid,p):
    "Check the partial of the covariance function respect to east direction"
    lon0 = mygrid[0,0]
    lat0 = mygrid[0,1]
    f = []
    dfde = []
    d = []
    sigma_squared = p[0]
    d0 = p[1]
```

```

# evaluate covariance function
for i in range(len(mygrid)):
lon1 = mygrid[i,0]
lat1 = mygrid[i,1]
d10 = distance(lat1, lon1, lat0, lon0)
d.append(d10)
f.append(peval(d10,p))
dfde.append(dCss_de(lon0, lon1, lat0, lat1, sigma_squared, d0))

return f, dfde, d

def check_partials_dn(mygrid,p):
    "Check the partial of the covariance function respect to North direction"
lon0 = mygrid[0,0]
lat0 = mygrid[0,1]
f = []
dfdn = []
d = []
sigma_squared = p[0]
d0 = p[1]

# evaluate covariance function
for i in range(len(mygrid)):
lon1 = mygrid[i,0]
lat1 = mygrid[i,1]
d10 = distance(lat1, lon1, lat0, lon0)
d.append(d10)
f.append(peval(d10,p))
dfdn.append(dCss_dn(lon0, lon1, lat0, lat1, sigma_squared, d0))

return f, dfdn, d

def residuals(p, y, x):
    "Compute residuals between empirical covariogram covariance function"
err = y-peval(x,p)

return err

def fitCovar(covar,initval1,initval2):
    "Fit the covariance function using LM algorithm"
# import scipy
# from scipy.optimize import leastsq
y1list = []

```



## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 339

```
y2list = []
#y3list = []
xlist = []

for index in range(len(covar)):
    y1list.append(covar[index][0])
    y2list.append(covar[index][1])
    #y3list.append(covar[index][2])
    xlist.append(covar[index][3])
    # convert to array
    y1 = array(y1list)
    y2 = array(y2list)
    #y3 = array(y3list)
    x = array(xlist)

    plsq1 = leastsq(residuals, array(initval1), args=(y1, x), maxfev=2000)
    plsq2 = leastsq(residuals, array(initval2), args=(y2, x), maxfev=2000)
    #plsq3 = leastsq(residuals, array(initval3), args=(y3, x), maxfev=2000)
    return plsq1, plsq2#, plsq3
def plotField(field, etopo, lons, lats):
    "Plot field"

    # define the region of interest
    lon = []
    lat = []
    ve = []
    vn = []

    for key in field.keys():
        lon.append(field[key][0])
        lat.append(field[key][1])
        ve.append(field[key][2])
        vn.append(field[key][3])

    for index in range(len(lon)):
        if lon[index] > 180.0:
            lon[index] = -(360.0 - lon[index])

    delta = 5.0
    maxlon = max(lon)
    minlon = min(lon)
    maxlat = max(lat)
```

```

minlat = min(lat)

maxlon = maxlon + delta
minlon = minlon - delta
maxlat = maxlat + delta
minlat = minlat - delta

print maxlon, maxlat
print minlon + 360.0, minlat

fig=figure()
# setup mercator map projection (-80 to +80).

m = Basemap(llcrnrlon=minlon,llcrnrlat=minlat,urcrnrlon=maxlon,urcrnrlat=maxlat,\
resolution='h',area_thresh=10000.0,projection='merc', lat_0 = 0.0, \
lon_0=0.5*(maxlon + minlon),lat_ts=0.0)

# transform to nx x ny regularly spaced native projection grid
nx = len(lons); ny = int(80.0*len(lats)/90.0)
#topodat = m.transform_scalar(topoin,lons,lats,nx,ny)
fig.add_axes([0.1,0.1,0.75,0.75])
# plot image over map.
#im = m.imshow(topodat,cm.jet)
# plot vector field
verot,vnrot,x,y = m.rotate_vector(array(ve),array(vn),array(lon),array(lat),returnxy=True)
q = m.quiver(x,y,verot,vnrot, color = 'r')
qk = quiverkey(q, 0.95, 1.05, 2.0, '2 mm/yr', labelpos='W')
title('Mercator',y=1.1)

m.drawcoastlines()
# m.drawcountries()
#m.fillcontinents(color='coral',lake_color='aqua')
# m.drawstates()
# m.fillcontinents()
# draw parallels
delat = 5.0
circles = arange(0.0,90.0+delat,delat).tolist()+\
arange(-delat,-90.0-delat,-delat).tolist()
m.drawparallels(circles,labels=[1,0,0,1])
# draw meridians
delon = 5.0
meridians = arange(-180,180,delon)

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 341

```
m.drawmeridians(meridians,labels=[1,0,0,1])
```

```
show()
```

```
def plotFields(field, field1, etopo, lons, lats):
```

```
    "Plot 2 fields on the same map"
```

```
    # define the region of interest
```

```
    lon = []
```

```
    lat = []
```

```
    ve = []
```

```
    vn = []
```

```
    for key in field.keys():
```

```
        lon.append(field[key][0])
```

```
        lat.append(field[key][1])
```

```
        ve.append(field[key][2])
```

```
        vn.append(field[key][3])
```

```
    lon1 = []
```

```
    lat1 = []
```

```
    ve1 = []
```

```
    vn1 = []
```

```
    for key in field1.keys():
```

```
        lon1.append(field1[key][0])
```

```
        lat1.append(field1[key][1])
```

```
        ve1.append(field1[key][2])
```

```
        vn1.append(field1[key][3])
```

```
    for index in range(len(lon)):
```

```
        if lon[index] > 180.0:
```

```
            lon[index] = -(360.0 - lon[index])
```

```
    for index in range(len(lon1)):
```

```
        if lon1[index] > 180.0:
```

```
            lon1[index] = -(360.0 - lon1[index])
```

```
    delta = 1.0
```

```
    maxlon = max(lon)
```

```
    minlon = min(lon)
```

```
    maxlat = max(lat)
```

```
    minlat = min(lat)
```

```
    maxlon = maxlon + delta
```

```

minlon = minlon - delta
maxlat = maxlat + delta
minlat = minlat - delta

print maxlon, maxlat
print minlon + 360.0, minlat

fig=figure()
# setup mercator map projection (-80 to +80).

m = Basemap(llcrnrlon=minlon,llcrnrlat=minlat,urcrnrlon=maxlon,urcrnrlat=maxlat,\
resolution='h',area_thresh=10000.0,projection='merc', lat_0 = 0.0, \
lon_0=0.5*(maxlon + minlon),lat_ts=0.0)

# transform to nx x ny regularly spaced native projection grid
nx = len(lons); ny = int(80.0*len(lats)/90.0)
#topodat = m.transform_scalar(topoin,lons,lats,nx,ny)
fig.add_axes([0.1,0.1,0.75,0.75])
# plot image over map.
#im = m.imshow(topodat,cm.jet)
# plot vector field
verot,vnrot,x,y = m.rotate_vector(array(ve),array(vn),array(lon),array(lat),returnxy=True)
verot1,vnrot1,x1,y1 = m.rotate_vector(array(ve1),array(vn1),array(lon1),array(lat1),returnxy=True)
q = m.quiver(x,y,verot,vnrot, color = 'r')
q1 = m.quiver(x1,y1,verot1,vnrot1, color = 'k')
qk = quiverkey(q, 0.95, 1.05, 2.0, '2 mm/yr', labelpos='W')
title('Mercator',y=1.1)

m.drawcoastlines()
# m.drawcountries()
#m.fillcontinents(color='coral',lake_color='aqua')
# m.drawstates()
# m.fillcontinents()
# draw parallels
delat = 5.0
circles = arange(0.0,90.0+delat,delat).tolist()+\
arange(-delat,-90.0-delat,-delat).tolist()
m.drawparallels(circles,labels=[1,0,0,1])
# draw meridians
delon = 5.0
meridians = arange(-180,180,delon)
m.drawmeridians(meridians,labels=[1,0,0,1])

```

```

show()
def setGrid(minlon, minlat, maxlon, maxlat, steplon, steplat):
    "Define the interpolation grid"
    nlon = int(fabs(minlon - maxlon)/steplon)
    nlat = int(fabs(minlat - maxlat)/steplat)
    nodes_num = nlon*nlat
    grid = zeros( (nodes_num, 2) )
    i = 0
    for k in range(nlon):
        for l in range(nlat):
            grid[i,0] = minlon + float(k*steplon)
            grid[i,1] = minlat + float(l*steplat)
            i = i + 1
    return grid
def matrixInterp(grid,field,p1,p2,p3,scale_fact):
    "Compute all the var-covar matrices needed for least squares collocation interpolation"
    # number of nodes
    m = len(grid)
    # number of data points
    n = len(field)
    field_list = []

    # transform dictionary into list
    for key in field.keys():
        field_list.append(field[key])

    # transform list into array
    field_array = array(field_list)
    # free memory
    del field, field_list

    # compute Cll matrix, build noise covariance matrix W
    # and velocity vector V.
    # Cll matrix is the var-covar matrix between
    # sites
    Cll = zeros( (n+n,n+n) )
    W = zeros( (n+n,n+n) )
    V = zeros( (n+n) )
    C11 = zeros( (n,n) )
    C22 = zeros( (n,n) )
    C12 = zeros( (n,n) )

```

```

for i in range(n):
for j in range(n):
if i < j:
#distance(lat1, lon1, lat2, lon2)
dij = distance(field_array[i,1], field_array[i,0], field_array[j,1], field_array[j,0])
C11[i,j] = peval(dij, p1)
C22[i,j] = peval(dij, p2)
#C12[i,j] = peval(dij, p3)
elif i == j:
W[i,j] = (field_array[i,4]*scale_fact)**2
W[i+n,j+n] = (field_array[i,5]*scale_fact)**2
#W[i+n,j] = field_array[i,6]
#W[i,j+n] = W[i+n,j+n]
V[i] = field_array[i,2]
V[i+n] = field_array[i,3]
print Dimension of var-covar matrix between sites... , shape(C11[n:n+n,n:n+n])
print shape(C22)
print shape(transpose(C22))
print shape(p2[0]*eye(n))
C11[0:n,0:n] = C11 + transpose(C11) + p1[0]*eye(n)
C11[n:n+n,n:n+n] = C22 + transpose(C22) + p2[0]*eye(n)
#C11[0:n,n:n+n] = p3[0]*eye(n)
#C11[n:n+n,0:n] = p3[0]*eye(n)
# free memory
del C11, C22

# compute Csl matrix
# Csl is the coss-covar matrix between
# the sites and the interpolation grid points
Csl = zeros( (m+m,n+n) )
for s in range(m):
for l in range(n):
dsl = distance(grid[s,1], grid[s,0], field_array[l,1], field_array[l,0])
Csl[s,l] = peval(dsl, p1)
Csl[s+m,l+n] = peval(dsl, p2)
#Csl[s,l+n] = peval(dsl, p3)
#Csl[s+m,l] = Csl[s,l+n]
# compute Css matrix
# Css is the var-covar matrix
# between the interpolation grid points
C11 = zeros( (m,m) )
C22 = zeros( (m,m) )

```

```

Css = zeros( (m+m,m+m) )
for i in range(m):
for j in range(m):
if i < j:
dss = distance(grid[i,1], grid[i,0], grid[j,1], grid[j,0])
C11[i,j] = peval(dss, p1)
C22[i,j] = peval(dss, p2)
#C12[i,j] = peval(dij, p3)
Css[0:m,0:m] = C11 + transpose(C11) + p1[0]*eye(m)
Css[m:m+m,m:m+m] = C22 + transpose(C22) + p2[0]*eye(m)
#Css[0:m,m:m+m] = p3[0]*eye(m)
#Css[m:m+m,0:m] = Css[0:m,m:m+m]
# Matrix of partials of Csl matrix respect to East and North direction.
# This matrix is needed for strain-rate computation.
#dCsl = zeros( (m+m,n+n+n+n) )
dCsl_de = zeros( (m+m,n+n) )
dCsl_dn = zeros( (m+m,n+n) )
#dCsl_e_de = zeros( (m,n) )
#dCsl_e_dn = zeros( (m,n) )
#dCsl_n_de = zeros( (m,n) )
#dCsl_n_dn = zeros( (m,n) )
for s in range(m):
for l in range(n):
#print s, l
dCsl_e_de = dCss_de(grid[s,0], field_array[l,0], grid[s,1], field_array[l,1], p1[0], p1[1])
dCsl_e_dn = dCss_dn(grid[s,0], field_array[l,0], grid[s,1], field_array[l,1], p1[0], p1[1])
dCsl_n_de = dCss_de(grid[s,0], field_array[l,0], grid[s,1], field_array[l,1], p2[0], p2[1])
dCsl_n_dn = dCss_dn(grid[s,0], field_array[l,0], grid[s,1], field_array[l,1], p2[0], p2[1])
#print dCsl_e_dn, dCsl_n_de

dCsl_de[s,l] = dCsl_e_de
dCsl_de[s+m,l+n] = dCsl_n_de
dCsl_dn[s,l] = dCsl_e_dn
dCsl_dn[s+m,l+n] = dCsl_n_dn
#dCsl_de = append(dCsl_e_de, dCsl_n_de,axis=0)
#dCsl_dn = append(dCsl_e_dn, dCsl_n_dn,axis=0)
return Cll, Csl, Css, W , V, dCsl_de, dCsl_dn
def fieldInterp(mygrid,Cll,Csl,Css,W, V, dCsl_de, dCsl_dn):
"Compute interpolated field and strain rate matrix"
# Collocation formula
# for the interpolated values
Cll_noise = Cll + W
inv_Cll = inv(Cll_noise)

```

```

#print shape(Csl)
#print shape(inv_Cll)
#print shape(V)
# prediction of the velocities
U = dot(dot(Csl, inv_Cll), V)
# free memory
del Cll, Cll_noise

# Collocation formula for the errors
Ess = Cssl - dot(Csl,dot(inv_Cll,transpose(Csl) ) )
# collocation formula for the partials of the velocities respect to
# east and north directions
A_de = dot(dCsl_de, inv_Cll)
A_dn = dot(dCsl_dn, inv_Cll)
strain_de = dot(A_de, V)
strain_dn = dot(A_dn, V)
# compute the covariances matrices of the partials
# y = Ax + b => D(y) = AD(x)A'
cov_strain_de = dot( dot(A_de,W),transpose(A_de) )
cov_strain_dn = dot( dot(A_dn,W),transpose(A_dn) )

# store the interpolated values into a
# field object and into a strain rate object
infield = {}
strain_rate = {}
n = len(mygrid)
for i in range(n):
key = join([INT,str(i)])
infield[key] = [ mygrid[i,0], mygrid[i,1], U[i], U[i+n], sqrt(Ess[i,i]), sqrt(Ess[i+n,i+n]), Ess[i,i+n] ]
# build symmetric part of the strain rate tensor
ee_dot = strain_de[i]
en_dot = 0.5*(strain_dn[i] + strain_de[i+n])
ne_dot = 0.5*(strain_de[i+n] + strain_dn[i])
nn_dot = strain_dn[i+n]
# compute eigenvalues analytically
e1 = 0.5*(ee_dot+nn_dot) + sqrt( 0.25*(ee_dot-nn_dot)**2 + en_dot**2 )
e2 = 0.5*(ee_dot+nn_dot) - sqrt( 0.25*(ee_dot-nn_dot)**2 + en_dot**2 )
# angle between east and e1 (in radians)
theta = 0.5 * atan2(2.0*en_dot,ee_dot - nn_dot) #* 180.0/pi
# compute the errors related to e1, e2 and theta
dee_dot = sqrt(cov_strain_de[i,i])
den_dot = 0.5*(sqrt(cov_strain_dn[i,i]+cov_strain_de[i+n,i+n]))
dne_dot = 0.5*(sqrt(cov_strain_de[i+n,i+n]+cov_strain_dn[i,i]))

```



## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 347

```

dnn_dot = sqrt(cov_strain_dn[i+n,i+n])
# error propagation
de1 = 0.5*(dee_dot+dnn_dot) + ( 0.5*(ee_dot-nn_dot)*(dee_dot-dnn_dot)+2.0*en_dot*den_dot ) / (
2.0*sqrt( 0.25*(ee_dot-nn_dot)**2+en_dot**2))
de2 = 0.5*(dee_dot+dnn_dot) - ( 0.5*(ee_dot-nn_dot)*(dee_dot-dnn_dot)+2.0*en_dot*den_dot ) / ( 2.0*sqrt(
0.25*(ee_dot-nn_dot)**2+en_dot**2))
dtheta = cos(2.0*theta)**2 * ( (den_dot/(ee_dot-nn_dot)) - en_dot * (dee_dot-dnn_dot)/((ee_dot-nn_dot)**2)
)
#dtheta = (1.0+4.0*theta**2) * ( (den_dot/(dee_dot-dnn_dot)) - en_dot * (dee_dot-dnn_dot)/((ee_dot-
nn_dot)**2) )
# convert theta and dtheta into degrees
#print theta, dtheta
theta = float(theta) * 180.0/pi
dtheta = float(dtheta) * 180.0/pi

# find the most compressional and the most extensional eigevector
emax = max(e1,e2)
emin = min(e1,e2)

#print e1, e2
#print emax, emin
# GMT needs the azimuth (clockwise) of the most compressional eigenvector, that is emin
# theta is the angle between e1 and east, so...
if e1 == emax:
print e1 = emax
demax = de1
demin = de2
if theta >= 0.0 and theta <= 90.0:
theta = -theta
elif theta < 0.0 and theta >= -90.0:
theta = -theta
elif theta < -90.0 and theta >= -180.0:
theta = theta + 90.0 + 90.0
elif theta <= 180.0 and theta > 90.0:
theta = 360 - (theta - 90.0 + 90.0)
if e1 == emin:
print e1 = emin
demin = de1
demax = de2
if theta >= 0.0 and theta <= 90.0:
theta = 90.0 - theta
elif theta < 0.0 and theta >= -90.0:
theta = 90.0 - theta

```

```

elif theta < -90.0 and theta >= -180.0:
theta = 90.0 - theta
elif theta <= 180.0 and theta > 90.0:
theta = -(theta - 90.0)

#strain_rate[key] = [ mygrid[i,0], mygrid[i,1], array( [[strain_de[i],strain_dn[i]], [strain_de[i+n],strain_dn[i+n]
]] ) ]
strain_rate[key] = [ mygrid[i,0], mygrid[i,1], emax, demax, emin, demin, theta, dtheta ]
# 0 1 2 3 4 5 6 7

return infield, strain_rate

def compareFields(field1,field2):
“Compute the rms of two fields“

squared_res = 0.0
n = 0
for key1 in field1.keys():
for key2 in field2.keys():
if field1[key1][0] == field2[key2][0] and field1[key1][1] == field2[key2][1]:
n = n + 1
squared_res = squared_res + (field1[key1][2] - field2[key2][2])**2 + (field1[key1][3] - field2[key2][3])**2
return 0.5*squared_res/float(n)

def extractGrid(field):
“Extract a grid of coordinates from a field“
n = len(field)
mygrid = zeros( (n,2) )

i = 0
for key in field.keys():
mygrid[i,0] = field[key][0]
mygrid[i,1] = field[key][1]
i = i + 1
return mygrid

def linearFitField(field):
“Fit a linear trend to the field, return polynomial coefficients
for each component“
m = len(field)
x = zeros( (m,3) )
y1 = zeros( m )

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 349

```
y2 = zeros( m )

i = 0
for key in field.keys():
    x[i, 0] = field[key][0]
    x[i, 1] = field[key][1]
    x[i, 2] = 1.0
    y1[i] = field[key][2]
    y2[i] = field[key][3]
    i = i + 1
# using normal equations because numpy.linalg.lstsq does not work
xtx = dot(transpose(x), x)
inv_xtx = inv(xtx)
inv_xtx_xt = dot(inv_xtx, transpose(x))
c1 = dot(inv_xtx_xt, y1)
c2 = dot(inv_xtx_xt, y2)

return c1, c2
def quadraticFitField(field):
    "Fit a quadratic trend to the field, return polynomial coefficients
    for each component"
    m = len(field)
    x = zeros( (m,6) )
    y1 = zeros( m )
    y2 = zeros( m )

    i = 0
    for key in field.keys():
        x[i, 0] = field[key][0] * field[key][0]
        x[i, 1] = field[key][1] * field[key][1]
        x[i, 2] = field[key][0] * field[key][1]
        x[i, 3] = field[key][0]
        x[i, 4] = field[key][1]
        x[i, 5] = 1.0
        y1[i] = field[key][2]
        y2[i] = field[key][3]
        i = i + 1
# using normal equations because numpy.linalg.lstsq does not work
xtx = dot(transpose(x), x)
inv_xtx = inv(xtx)
```

```

inv_xtx_xt = dot(inv_xtx, transpose(x))
c1 = dot(inv_xtx_xt, y1)
c2 = dot(inv_xtx_xt, y2)

return c1, c2

def detrendField(field, c1, c2):
    "Remove linear trend from the field"
    field1 = {}
    for key in field.keys():
        del1 = field[key][2] - c1[0]*field[key][0] - c1[1]*field[key][1] - c1[2]
        del2 = field[key][3] - c2[0]*field[key][0] - c2[1]*field[key][1] - c2[2]
        field1[key] = [field[key][0], field[key][1], del1, del2, field[key][4], field[key][5], field[key][6] ]

    return field1

def qDetrendField(field, c1, c2):
    "Remove quadratic trend from the field"
    field1 = {}
    for key in field.keys():
        del1 = field[key][2] - c1[0]*field[key][0]*field[key][0] - c1[1]*field[key][1]*field[key][1] - c1[2]*field[key][0]*field[key][1]
        \
        - c1[3]*field[key][0] - c1[4]*field[key][1] - c1[5]
        del2 = field[key][2] - c2[0]*field[key][0]*field[key][0] - c2[1]*field[key][1]*field[key][1] - c2[2]*field[key][0]*field[key][1]
        \
        - c2[3]*field[key][0] - c2[4]*field[key][1] - c2[5]

        field1[key] = [field[key][0], field[key][1], del1, del2, field[key][4], field[key][5], field[key][6] ]

    return field1

def spherical2cart(lon, lat):
    " Convert from spherical coordinates into cartesian coordinates"
    # set earth mean radius (Km)
    r = 6378.0
    # convert degress into radiantes

    x = r*cos(lat)*cos(lon)
    y = r*cos(lat)*sin(lon)
    z = r*sin(lat)
    return x, y, z

def geo2topo(lon, lat):
    " Compute the rotation matrix to convert vectors from topocentric into geocentric frame"
    " The order is: x, y, z -> E, N, U"

```

```

a = zeros( (3,3) )
a[0,0] = -sin(lon)
a[0,1] = cos(lon)
a[0,2] = 0.0
a[1,0] = -sin(lat)*cos(lon)
a[1,1] = -sin(lat)*sin(lon)
a[1,2] = cos(lat)
a[2,0] = cos(lat)*cos(lon)
a[2,1] = cos(lat)*sin(lon)
a[2,2] = sin(lat)
return a
def designMatrix(x, y, z):
    "Build the design matrix for the rigid motion fitting"
    design = zeros( (3,3) )
    design[0,0] = 0.0
    design[0,1] = z
    design[0,2] = -y
    design[1,0] = -z
    design[1,1] = 0.0
    design[1,2] = x
    design[2,0] = y
    design[2,1] = -x
    design[2,2] = 0.0
    return design

def poleEst(field):
    "Estimate angular rigid motion of the field"
    n = len(field)
    v_cart = zeros( 3 )
    v_topo = zeros( 3 )
    dmat = zeros( (n+n+n,3) ) # design matrix
    obs = zeros( (n+n+n,1) ) # observation vector (ve, vn, vu)
    c = zeros( (n+n+n,n+n+n) ) # covariance matrix
    w = zeros( (n+n+n,n+n+n) ) # weight matrix
    ci = zeros( (3,3) ) # covariance matrix for the i-site

    i = 0
    for key in field.keys():
        # convert spherical coordinates into cartesian ones
        lon_r = deg2rad(field[key][0])
        lat_r = deg2rad(field[key][1])
        x, y, z = geod2cart(lon_r, lat_r, 0.0)

```

```

# compute design matrix
design = designMatrix(x, y, z)
# velocity in topocentric frame
v_topo = [field[key][2], field[key][3], 0.0]
# compute rotation matrix
a = geo2topo(lon_r, lat_r)
# rotate velocity vector from topocentric to geocentric
# remember that A is the rotation matrix geocentric -> topocentric
v_cart = dot(transpose(a), v_topo)
# compute covariance matrix for the i-site, in topocentric frame
ci[0,0] = field[key][4]**2
ci[1,1] = field[key][5]**2
ci[2,2] = 0.0 # up velocity is constrained to 0.0
# rotate covariance matrix for the i-site from topocentric to geocentric
ci = dot( transpose(a), dot(ci,a) ) # if y = Ax then D(y) = AD(x)A'
# the diagonal is needed, only.
ci[0,1] = 0.0
ci[0,2] = 0.0
ci[1,2] = 0.0
ci[1,0] = 0.0
ci[2,0] = 0.0
ci[2,1] = 0.0
# fill observation vector
obs[i] = v_cart[0]
obs[i+1] = v_cart[1]
obs[i+2] = v_cart[2]
# fill design matrix
dmat[i,:] = design[0,:]
dmat[i+1,:] = design[1,:]
dmat[i+2,:] = design[2,:]
# fill covariance matrix
c[i:i+3,i:i+3] = ci

i = i + 3
# weight matrix
w = inv(c)
# normalization
w = w/sum(diag(w))
# compute normal equations
hTh = dot( transpose(dmat), dot(w,dmat) )
hTh_inv = inv(hTh)
# estimate omega
omega = dot( dot( hTh_inv, transpose(dmat) ), dot(w,obs) )

```

```

return omega
def poleTransEst(field_horiz, field_vert):
    "Estimate angular and translational rigid motion of the field"
    n = len(field_horiz)
    v_cart = zeros( 3 )
    v_topo = zeros( 3 )
    dmat = zeros( (n+n+n,3+3) )
    obs = zeros( (n+n+n,1) )
    c = zeros( (n+n+n,n+n+n) ) # covariance matrix
    w = zeros( (n+n+n,n+n+n) ) # weight matrix
    ci = zeros( (3,3) ) # covariance matrix for the i-site

    i = 0
    for key in field_horiz.keys():
        # convert spherical coordinates into cartesian ones
        lon_r = deg2rad(field_horiz[key][0])
        lat_r = deg2rad(field_horiz[key][1])
        x, y, z = geod2cart(lon_r, lat_r)
        # compute design matrix
        design = designMatrix(x, y, z)
        # rotate velocity
        v_topo = [field_horiz[key][2], field_horiz[key][3], field_vert[key][3]]
        # compute rotation matrix
        a = geo2topo(lon_r, lat_r)
        v_cart = dot(transpose(a),v_topo)
        # compute covariance matrix for the i-site, in topocentric frame
        ci[0,0] = field_horiz[key][4]**2
        ci[1,1] = field_horiz[key][5]**2
        ci[2,2] = field_vert[key][4]**2
        # rotate covariance matrix for the i-site from topocentric to geocentric
        ci = dot( transpose(a), dot(ci,a) ) # if y = Ax then D(y) = AD(x)A'
        # the diagonal is needed, only.
        ci[0,1] = 0.0
        ci[0,2] = 0.0
        ci[1,2] = 0.0
        ci[1,0] = 0.0
        ci[2,0] = 0.0
        ci[2,1] = 0.0
        # observation vector
        obs[i] = v_cart[0]
        obs[i+1] = v_cart[1]
        obs[i+2] = v_cart[2]

```

```

# fill design matrix (rotational motion)
dmat[i,:3] = design[0,:]
dmat[i+1,:3] = design[1,:]
dmat[i+2,:3] = design[2,:]
# fill design matrix (translational motion)
dmat[i,3] = 1.0
dmat[i+1,4] = 1.0
dmat[i+2,5] = 1.0
# fill covariance matrix
c[i:i+3,i:i+3] = ci

i = i + 3
# weight matrix is the inverse of the covariance matrix
w = inv(c)
# normalize weights
w = w/sum(diag(w))
# compute normal equations
hTh = dot(transpose(dmat), dot(w,dmat))
hTh_inv = inv(hTh)
# estimate omega
omega = dot( dot( hTh_inv, transpose(dmat) ), dot(w, obs) )
return omega
def rigidFieldP(field, omega):
    "Compute field related to angular rigid motion"
    rfield = {}
    v_cart = zeros( 3 )
    v_topo = zeros( 3 )
    for key in field.keys():
        # convert spherical coordinates into cartesian ones
        lon_r = deg2rad(field[key][0])
        lat_r = deg2rad(field[key][1])
        x, y, z = geod2cart(lon_r, lat_r, 0.0)
        # compute cross product matrix
        cross = designMatrix(x, y, z)
        # compute rigid motion
        v_cart = dot(cross, omega)
    print v_cart
    # transform geocentric velocity vector into topocentric frame.
    a = geo2topo(lon_r, lat_r)
    v_topo = dot(a, v_cart)
    # build rigid motion field
    rfield[key] = [field[key][0], field[key][1], float(v_topo[0]), float(v_topo[1]), 0.0, 0.0, 0.0]
    return rfield

```



```

def rigidFieldPT(field, omega):
    "Compute field related to angular and translational rigid motion"
    rfield = {}
    v_cart = zeros( 3 )
    v_topo = zeros( 3 )
    for key in field.keys():
        # convert spherical coordinates into cartesian ones
        lon_r = deg2rad(field[key][0])
        lat_r = deg2rad(field[key][1])
        x, y, z = geod2cart(lon_r, lat_r, 0.0)
        # compute cross product matrix
        cross = designMatrix(x, y, z)
        # compute rigid motion
        v_cart = dot(cross, omega[0:3]) + omega[3:6]
        #print v_cart
        # transform geocentric velocity vector into topocentric frame.
        a = geo2topo(lon_r, lat_r)
        v_topo = dot(a, v_cart)
        # build rigim motion field
        rfield[key] = [field[key][0], field[key][1], float(v_topo[0]), float(v_topo[1]), 0.0, 0.0, 0.0]
    return rfield

def dCss_de(lon1, lon2, lat1, lat2, sigma_squared, d0):
    "Compute partials of Css respect to east direction"
    # earth mean radius (mm)
    r = 6378.0e+6
    # compute spherical distance
    d12 = distance(lat1, lon1, lat2, lon2)
    print d12
    print lat1, lon1, lat2, lon2
    # compute angular distance
    d12 = d12*1.0e+6
    d0 = d0*1.0e+6
    a12 = d12/r
    #p = [sigma, d0]
    # convert degrees into radianties
    lon1_r = deg2rad(lon1)
    lat1_r = deg2rad(lat1)
    lon2_r = deg2rad(lon2)
    lat2_r = deg2rad(lat2)

    # partial of the cauchy function respect to the spherical distance d12

```

```

dC12_d12 = -2.0*d12*sigma_squared/( (d0**2)*(1.0+(d12/d0)**2)**2)
# partial of the angular distance a12 respect to lon1
da12_dlon1 = ( cos(lat1_r)*cos(lat2_r)*sin(lon1_r-lon2_r) ) / sin(a12)
#da12_dlon1 = r*(lon1-lon2)*cos(lat2)

# compute partial
dDs1s2_de = 1.0/cos(lat1_r) * dC12_d12 * da12_dlon1 * 1.0e+9
#dDs1s2_de = dC12_d12 * d12/(r*cos(lon1-lon2)) / 1.0e+6 * 1.0e+9
# partial respect to de
# Gaussian function
#dDs1s2_de = -2.0 * d12_1 * (sigma**2) / ( sin(d12_r) * (d0*radius*cos(lat1))**2 ) * (sin(lat1)*sin(lat2)*sin(lon2-
lon1)) * exp(-(d12_1/d0)**2)
# Cauchy function
#dDs1s2_de = -2.0 * d12_1 * (sigma**2) / ( sin(d12_r) * (d0*radius*cos(lat1))**2 ) * (sin(lat1)*sin(lat2)*sin(lon2-
lon1)) / ( d0**2 *(1.0+(d12_1/d0)**2)**2)

return dDs1s2_de

def dCss_dn(lon1, lon2, lat1, lat2, sigma_squared, d0):
    "Compute partials of Css respect to north direction"
    # earth mean radius (Km)
    r = 6378.0e+6
    # compute spherical distance
    d12 = distance(lat1, lon1, lat2, lon2)
    print d12
    print lat1, lon1, lat2, lon2
    # compute angular distance
    d12 = d12*1.0e+6
    d0 = d0*1.0e+6
    a12 = d12/r
    #p = [sigma, d0]
    # convert degrees into radianes
    lon1_r = deg2rad(lon1)
    lat1_r = deg2rad(lat1)
    lon2_r = deg2rad(lon2)
    lat2_r = deg2rad(lat2)

    # partial of the cauchy function respect to the spherical distance d12
    dC12_d12 = -2.0*d12*sigma_squared/( (d0**2)*(1.0+(d12/d0)**2)**2)
    # partial of the angular distance a12 respect to lat1
    da12_dlat1 = ( sin(lat1_r)*cos(lat2_r)*cos(lon1_r-lon2_r)-cos(lat1_r)*sin(lat2_r) ) / sin(a12)
    #da12_dlat1 = r*(lat1-lat2)
    # compute partial

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 357

```

dDs1s2_dn = dC12_d12 * da12_dlat1 * 1.0e+9
#dDs1s2_dn = dC12_d12 * d12/(lat1-lat2) / 1.0e+6 * 1.0e+9
# partial respect to dn
# Gaussian function
#dDs1s2_dn = -2.0 * d12_1 * (sigma**2) / ( sin(d12_r) * (d0*radius)**2 ) * (sin(lat1)*cos(lat2)-cos(lat1)*cos(lat2)*cos(lon2-
lon1)) * exp(-(d12_1/d0)**2)
# Cauchy function
#dDs1s2_dn = -2.0 * d12_1 * (sigma**2) / ( sin(d12_r) * (d0*radius)**2 ) * (sin(lat1)*cos(lat2)-cos(lat1)*cos(lat2)*cos(lon2-
lon1)) / ( d0**2 *(1.0+(d12_1/d0)**2)**2)

return dDs1s2_dn

def readSolution(path):
    " Read sinex solution/estimate block "
    # store solution into a dictionary
    site_id_block = {}
    #solution_epochs_block = {}
    solution_estimate_block_x = {}
    solution_estimate_block_y = {}
    solution_estimate_block_z = {}
    solution_estimate_block_vx = {}
    solution_estimate_block_vy = {}
    solution_estimate_block_vz = {}
    solution_estimate_block = {}
    # define comment character
    comment = *
    # open file
    f = open(path,r)
    # read file line by line
    for s_outer in f:
        key_outer = split(s_outer)
        # jump over comment lines
        if key_outer[0][0] == comment:
            continue
        # define key
        key_block_start = +SITE/ID
        key_block_end = -SITE/ID
        # scan for keyword
        if key_outer[0] == key_block_start:
            # keyword found, start inner loop
            for s_inner in f:
                line = split(s_inner)
                if line[0][0] == comment:

```

```

continue
elif line[0] == key_block_end:
break
#site = join[line[0],line[2]]
site_id_block[line[0]] = join([ line[0],line[2] ])

### # define key
## key_block_start = +SOLUTION/EPOCHS
## key_block_end = -SOLUTION/EPOCHS
##
##
### # scan for keyword
## if key_outer[0] == key_block_start:
## # keyword found, start inner loop
## for s_inner in f:
## line = split(s_inner)
##
## if line[0][0] == comment:
## continue
## elif line[0] == key_block_end:
## break

# define key
key_block_start = +SOLUTION/ESTIMATE
key_block_end = -SOLUTION/ESTIMATE

# scan for keyword
if key_outer[0] == key_block_start:
# keyword found, start inner loop
for s_inner in f:
line = split(s_inner)
if line[0][0] == comment:
continue
elif line[0] == key_block_end:
break
if line[1] == STAX:
solution_estimate_block_x[ join([site_id_block[line[2]],line[4]]) ] = [float(line[8]),float(line[9])]

if line[1] == STAY:
solution_estimate_block_y[ join([site_id_block[line[2]],line[4]]) ] = [float(line[8]),float(line[9])]
if line[1] == STAZ:

```

```

solution_estimate_block_z[ join([site_id_block[line[2]],line[4]]) ] = [float(line[8]),float(line[9])]

if line[1] == VELX:
solution_estimate_block_vx[ join([site_id_block[line[2]],line[4]]) ] = [float(line[8]),float(line[9])]

if line[1] == VELY:
solution_estimate_block_vy[ join([site_id_block[line[2]],line[4]]) ] = [float(line[8]),float(line[9])]
if line[1] == VELZ:
solution_estimate_block_vz[ join([site_id_block[line[2]],line[4]]) ] = [float(line[8]),float(line[9])]

# close file
f.close()

# do the output
for key in solution_estimate_block_x.keys():
solution_estimate_block[key] = [solution_estimate_block_x[key][0], solution_estimate_block_y[key][0], solution_estimate_block_z[key][0], \
solution_estimate_block_x[key][1], solution_estimate_block_y[key][1], solution_estimate_block_z[key][1], \
solution_estimate_block_vx[key][0], solution_estimate_block_vy[key][0], solution_estimate_block_vz[key][0], \
\
solution_estimate_block_vx[key][1], solution_estimate_block_vy[key][1], solution_estimate_block_vz[key][1]
]

return solution_estimate_block

def poleTransEstSnx(solution_estimate_block):
“Estimate angular and translational rigid motion of the field using cartesian coordinates
and velocities extracted from sinex“
n = len(solution_estimate_block)
dmat = zeros( (n+n+n,3+3) )
obs = zeros( (n+n+n,1) )
c = zeros( (n+n+n,n+n+n) ) # covariance matrix
w = zeros( (n+n+n,n+n+n) ) # weight matrix
ci = zeros( (3,3) ) # covariance matrix for the i-site

i = 0
for key in solution_estimate_block.keys():

x = solution_estimate_block[key][0]
y = solution_estimate_block[key][1]
z = solution_estimate_block[key][2]
# compute design matrix

```

```

design = designMatrix(x, y, z)
# compute covariance matrix for the i-site
ci[0,0] = solution_estimate_block[key][9]
ci[1,1] = solution_estimate_block[key][10]
ci[2,2] = solution_estimate_block[key][11]

# observation vector
obs[i] = solution_estimate_block[key][6]
obs[i+1] = solution_estimate_block[key][7]
obs[i+2] = solution_estimate_block[key][8]
# fill design matrix (rotational motion)
dmat[i,:3] = design[0,:]
dmat[i+1,:3] = design[1,:]
dmat[i+2,:3] = design[2,:]
# fill design matrix (translational motion)
dmat[i,3] = 1.0
dmat[i+1,4] = 1.0
dmat[i+2,5] = 1.0
# fill covariance matrix
c[i:i+3,i:i+3] = ci

i = i + 3
# weight matrix is the inverse of the covariance matrix
w = inv(c)
# normalize weights
w = w/sum(diag(w))
# compute normal equations
hTh = dot(transpose(dmat), dot(w,dmat))
hTh_inv = inv(hTh)
# estimate omega
omega = dot( dot( hTh_inv, transpose(dmat) ), dot(w, obs) )
return omega

def poleEstSnx(solution_estimate_block):
    "Estimate angular rigid motion of the field using cartesian coordinates
    and velocities extracted from sinex"
    n = len(solution_estimate_block)
    dmat = zeros( (n+n+n,3) )
    obs = zeros( (n+n+n,1) )
    c = zeros( (n+n+n,n+n+n) ) # covariance matrix
    w = zeros( (n+n+n,n+n+n) ) # weight matrix
    ci = zeros( (3,3) ) # covariance matrix for the i-site

```

## A.8. MODULO PER L'INT. DEL CAMPO E IL CALCOLO DEL T. DI DEF. 361

```

i = 0
for key in solution_estimate_block.keys():

    x = solution_estimate_block[key][0]
    y = solution_estimate_block[key][1]
    z = solution_estimate_block[key][2]
    # compute design matrix
    design = designMatrix(x, y, z)
    # compute covariance matrix for the i-site
    ci[0,0] = solution_estimate_block[key][9]
    ci[1,1] = solution_estimate_block[key][10]
    ci[2,2] = solution_estimate_block[key][11]

    # compute geodetic coordinates
    lon_d, lat_d, h = cart2geod(x,y,x)
    # convert to radiantes
    lon_r = deg2rad(lon_d)
    lat_r = deg2rad(lat_d)

    # compute rotation matrix
    a = geo2topo(lon_r, lat_r)
    # rotate velocity vector into topocentric
    v = array([solution_estimate_block[key][6],solution_estimate_block[key][7],solution_estimate_block[key][8]])
    v_enu = dot(a,v)
    # constrain up component to zero
    v_enu[2] = 0.0
    # rotate constrained velocity vector into cartesian
    v_constrained = dot(transpose(a),v_enu)

    # define observation vector
    obs[i] = v_constrained[0]
    obs[i+1] = v_constrained[1]
    obs[i+2] = v_constrained[2]
    # fill design matrix (rotational motion)
    dmat[i,:3] = design[0,:]
    dmat[i+1,:3] = design[1,:]
    dmat[i+2,:3] = design[2,:]
    # fill covariance matrix
    c[i:i+3,i:i+3] = ci

    i = i + 3
    # weight matrix is the inverse of the covariance matrix
    w = inv(c)

```

```

# normalize weights
w = w/sum(diag(w))
# compute normal equations
hTh = dot(transpose(dmat), dot(w,dmat))
hTh_inv = inv(hTh)
# estimate omega
omega = dot( dot( hTh_inv, transpose(dmat) ), dot(w, obs) )
return omega
def projectField(cart_field):
    “Transform a field from cartesian to topocentric frame (vx, vy, vz -> east, north, up)“
    # to convert from m/yr to mm/yr
    scfact = 1000.0
    field_horiz = {}
    field_vert = {}

    v_cart = zeros(3)
    v_topo = zeros(3)
    c_cart = zeros( (3,3) )
    c_topo = zeros( (3,3) )
    a = zeros( (3,3) )
    for key in cart_field.keys():
        x = cart_field[key][0]
        y = cart_field[key][1]
        z = cart_field[key][2]

        v_cart[0] = cart_field[key][6]*scfact
        v_cart[1] = cart_field[key][7]*scfact
        v_cart[2] = cart_field[key][8]*scfact
        c_cart[0,0] = (cart_field[key][9]*scfact)**2
        c_cart[1,1] = (cart_field[key][10]*scfact)**2
        c_cart[2,2] = (cart_field[key][11]*scfact)**2
        # transform from cartesian to geodetic
        lon, lat, h = cart2geod(x, y, z)
        # rotation matrix (geocentric to topocentric)
        a = geo2topo(deg2rad(lon), deg2rad(lat))
        # rotate velocities from cartesian to topocentric frame (vx, vy, vz -> ve, vn, vu)
        v_topo = dot(a, v_cart)
        # rotate var-covar matrix from cartesian to topocentric frame (vx, vy, vz -> ve, vn, vu)
        c_topo = dot(a, dot(c_cart,transpose(a)))
        field_horiz[key] = [lon, lat, v_topo[0], v_topo[1], sqrt(c_topo[0,0]), sqrt(c_topo[1,1]), c_topo[0,1]]
        field_vert[key] = [lon, lat, 0.0, v_topo[2], 0.0, sqrt(c_topo[2,2]), 0.0]

    return field_horiz, field_vert

```



```

def rigidFieldPTsnx(cart_field, omega):
    "Compute field related to angular and translational rigid motion, using cartesian coordinates"
    rfield = {}
    v_cart = zeros( 3 )

    for key in cart_field.keys():
        # convert spherical coordinates into cartesian ones
        x = cart_field[key][0]
        y = cart_field[key][1]
        z = cart_field[key][2]

        # compute cross product matrix
        cross = designMatrix(x, y, z)
        # compute rigid motion
        v_cart = dot(cross, omega[0:3]) + omega[3:6]
        # build cartesian rigid motion field
        rfield[key] = [x, y, z, 0.0, 0.0, 0.0, float(v_cart[0]), float(v_cart[1]), float(v_cart[2]), 0.0, 0.0, 0.0]
    return rfield

def rigidFieldPsnx(cart_field, omega):
    "Compute field related to angular rigid motion, using cartesian coordinates"
    rfield = {}
    v_cart = zeros( 3 )

    for key in cart_field.keys():
        # convert spherical coordinates into cartesian ones
        x = cart_field[key][0]
        y = cart_field[key][1]
        z = cart_field[key][2]

        # compute cross product matrix
        cross = designMatrix(x, y, z)
        # compute rigid motion
        v_cart = dot(cross, omega)
        # build cartesian rigid motion field
        rfield[key] = [x, y, z, 0.0, 0.0, 0.0, float(v_cart[0]), float(v_cart[1]), float(v_cart[2]), 0.0, 0.0, 0.0]
    return rfield

def iterationPT(cart_field, tresh1, tresh2):
    " Estimate rigid field motion (rotation+translation) and find outliers, thresholds are in mm/yr"
    # estimate parameters
    omega = poleTransEstSnx(cart_field)
    # compute rigid motion
    rigid_field = rigidFieldPTsnx(cart_field, omega)

```

```

# convert field into topocentric frame
field_h, field_v = projectField(cart_field)
# convert rigid field into topocentric frame
rigid_field_h, rigid_field_v = projectField(rigid_field)
# subtract horizontal fields
res_field_h = diffFields(field_h, rigid_field_h)
# find outliers
outliers = findOutliers(res_field_h, tresh1, tresh2)
# remove outliers from the input cartesian field
cart_field_cleaned = rejectOutliers(cart_field, outliers)
return cart_field_cleaned, omega, outliers

def iterationP(cart_field, tresh1, tresh2):
    " Estimate rigid field motion (only rotation) and find outliers, thresholds are in mm/yr "
    # estimate parameters
    omega = poleEstSnx(cart_field)
    # compute rigid motion
    rigid_field = rigidFieldPsnx(cart_field, omega)
    # convert field into topocentric frame
    field_h, field_v = projectField(cart_field)
    # convert rigid field into topocentric frame
    rigid_field_h, rigid_field_v = projectField(rigid_field)
    # subtract horizontal fields
    res_field_h = diffFields(field_h, rigid_field_h)
    # find outliers
    outliers = findOutliers(res_field_h, tresh1, tresh2)
    # remove outliers from the input cartesian field
    cart_field_cleaned = rejectOutliers(cart_field, outliers)
    return cart_field_cleaned, omega, outliers

```

# Appendice B

## Process Control Files

### B.1 PPP

```
# =====
# PPP.PCF
# =====
#
# Description:  Computes coordinates for a set of stations on the basis of
#              a precise-point-positioning (PPP) analysis. In fact, a
#              multitude of additional tasks is performed in the course of
#              this easy-to-use BPE process:
#              - computation of station coordinates (on the cm-accuracy
#                level), to get corresponding a priori information for
#                interferometric analysis (see RNX2SNX PCF),
#              - estimation of station-specific troposphere parameters,
#              - determination of phase-consistent receiver clock offsets
#                at 5-minute intervals (for time transfer),
#              - evaluation of the receiver tracking technology with
#                respect to each involved receiver (on the basis of
#                estimated P1-C1 DCB multipliers),
#              - extraction of TEC information (in the form of station-
#                specific models as well as a regional model),
#              - estimation of receiver P1-P2 DCB values,
#              - computation of a common translation vector related to
#                the PPP-based station coordinate results.
#              The following features make this PCF particularly well
#              suited as preparatory BPE processing step:
#              - (optional) computation of a priori velocities for new
#                points,
#              - (optional) detection of missing station entries in ocean
#                loading correction (BLQ) files,
#              - update of station name abbreviation (ABB) files,
#              - (optional) conversion of station coordinate results to a
#                predefined epoch,
#              - generation of a merged coordinate (CRD/VEL) file.
#              More details are provided below.
#
#              PPP BPE processing summary file name: PPPyyssss.PRC
#
# Comments   :  (0) There is just one basic requirement: all processed
#               receiver and antenna names must be contained in
#               (a) the RECEIVER. file and
#               (b) the PHAS_IGS.REL file, respectively.
#
#               (1) V_STAINF (optional): If this PCF variable is blank, the
#               relevant station information is directly gathered from
#               the RINEX observation data (and thus remains
#               unverified). The current program setup allows station
#               names conform to 'xxxx yyyyyyyy' (or alternatively
#               'xxxx'). The 'APPROX POSITION XYZ' RINEX header record
#               is not really required for initialization.
#
#               (2) V_PLDINF (optional): To take into account a priori
#               (NNR-NUVEL1-A) velocities, a plate definition file has
#               to be prepared beforehand. The corresponding file name
#               may be specified using the V_PLDINF variable. In this
#               case, station coordinate results are generally referred
#               to epoch 2000.0.
```

```

#
# (3) V_BLQINF (optional): If a BLQ file name is specified,
# (station-specific) ocean loading corrections are
# applied. Missing station entries are reported in the
# processing summary file.
#
# (4) V_ABBINF (mandatory): New 4- and 2-character station
# name abbreviations will be added automatically to the
# ABB file specified by this PCF variable.
#
# (5) The diverse analysis products are output in the
# following data formats:
# - station coordinates in Bernese CRD and SINEX,
# - troposphere results in Bernese TRP and ZPD
#   values in tropospheric SINEX (TRO),
# - station clock information in clock RINEX,
# - ionosphere information in Bernese ION and IONEX,
# - P1-P2 DCB results in Bernese DCB,
# - station velocities in Bernese VEL format.
# In addition, coordinate and troposphere results are
# available in Bernese NEQ (NQO) format.
#
# (6) Ionosphere determination (IONDET PCF) is an integral
# part of the PPP PCF. Deactivation is possible by
# setting V_F blank.
# Note: Regional ionosphere maps are output in IONEX
# format. Please be aware that there are geographic range
# parameters in the controlling IONEX.PPP file which are
# specific to the station coverage.
#
# (7) PID 431 is reserved for demonstration purposes and
# therefore deactivated by default. Activation of this
# PID does not make sense until data of one or more
# fiducial stations is considered.
#
# (8) If the delete (DEL) script (see PID 902) is executed
# with a parameter set to 'ALL', result files referring
# to the current session get all removed (with the
# exception of some essential protocol files).
#
# Author      : M. Meindl, S. Schaer
# Created     : 23-Jul-2003                Last modified: 01-Mar-2004
#
# Changes    : 07-Mar-2004: Prepared for release V5.0
#
# =====
#
# PID SCRIPT  OPT_DIR  CAMPAIGN CPU      P WAIT FOR...
# 3** 8***** 8***** 8***** 8***** 1 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3**
#
# Copy required files
# -----
# 001 PPP_COP  PPP_GEN          ANY      1
#
# Prepare pole, orbit, and clock information
# -----
# 101 POLUPD  PPP_GEN          ANY      1 001
# 111 PRETAB  PPP_GEN          ANY      1 101
# 112 ORBGEN  PPP_GEN          ANY      1 111
# 121 CCRNXC  PPP_GEN          ANY      1 001
#
# Preprocess, convert, and synchronize observation data
# -----
# 201 RNXGRA  PPP_GEN          ANY      1 001
# 211 RNXSMTAP PPP_GEN          ANY      1 001
# 212 RNXSMT_P PPP_GEN          ANY      1 211
# 221 SMTBV3  PPP_GEN          ANY      1 212
# 222 CRDMERGE PPP_GEN          ANY      1 221
# 231 CODSPAP PPP_GEN          ANY      1 112 121 222
# 232 CODSP_P PPP_GEN          ANY      1 231
# 233 CODXTR  PPP_GEN          ANY      1 232
#
# Compute PPP solutions station by station (including data screening)
# -----
# 301 PPPEDTAP PPP_GEN          ANY      1 233
# 302 PPPEDT_P PPP_GEN          ANY      1 301
# 303 GPSXTR  PPP_GEN          ANY      1 302
# 311 PPPCHK  PPP_AUX          ANY      1 303
# 321 CRDMERGE PPP_AUX          ANY      1 311
# 322 ADDNEQ2 PPP_AUX          ANY      1 321
# 331 CCRNXC  PPP_AUX          ANY      1 311
#
# Take into account NNR-NUVEL1-A velocities (if desired)
# -----
# 401 PPP_PLD  PPP_GEN          ANY      1 321
# 402 NUVELO  PPP_GEN          ANY      1 401

```

```

403 COOVEL PPP_GEN ANY 1 402
411 CRDMERGE PPP_VEL ANY 1 403
421 CRDMERGE PPP_CRD ANY 1 411
431 ADDNEQ2 PPP_GCC ANY 1 322 421
#
# Generate ionosphere models and derive receiver DCB values (if desired)
# -----
501 PPP_ION PPP_ION ANY 1 321
502 PPPESTAP PPP_ION ANY 1 501
503 PPPEST_P PPP_ION ANY 1 502
504 GPSXTR PPP_ION ANY 1 503
511 ADDNEQ2 PPP_ION ANY 1 504
521 GPSEST PPP_RIM ANY 1 501
522 GPSXTR PPP_RIM ANY 1 521
#
# Create summary file and delete files
# -----
901 PPP_SUM PPP_GEN ANY 1 322 331 421 431 511 522
902 PPP_DEL PPP_GEN ANY 1 901
903 BPE_CLN PPP_GEN ANY 1 902
#
# End of BPE
# -----
999 DUMMY NO_OPT ANY 1 903
#
#
PID USER PASSWORD PARAM1 PARAM2 PARAM3 PARAM4 PARAM5 PARAM6 PARAM7 PARAM8 PARAM9
3** 12***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8*****
211 $211
212 PARALLEL $211
231 $231
232 PARALLEL $231
301 $301
302 PARALLEL $301
401 NEXTJOB 421
431 SKIP
501 NEXTJOB 901
502 $502
503 PARALLEL $502
#902 ALL
#
#
VARIABLE DESCRIPTION DEFAULT
8***** 40***** 16*****
V_A A priori information APR
V_B Orbit/ERP, DCB, CLK information IGS
V_C CRD/TRP/TRO/SNX and CLK results PPP
V_E CRD results referred to epoch 2000.0 REF
V_F Station-specific ION/DCB results ION
V_G Regional ION/INX/DCB results RIM
V_STAINF Station information file name EXAMPLE
V_PLDINF Tectonic plate definition file name EXAMPLE
V_BLQINF Ocean loading correction file name
V_ABBINF Station name abbreviation file name EXAMPLE
V_CRDREF Master/reference CRD/VEL file name IGS_00_R
V_CRDMRG Merged CRD/VEL file name IGS_00
#
# DO NOT USE V_D, V_J, V_M, V_Y VARIABLES!
#
#

```

## B.2 RNX2SNX

```

# =====
# RNX2SNX.PCF
# =====
#
# Description: Computes station coordinates and troposphere parameters
# based on RINEX observation data from a regional GNSS
# network; generates corresponding normal equation (NEQ)
# information for later multi-session combination (and
# estimation of station velocities). Station coordinate as
# well as troposphere results are output in SINEX (SNX/TRO)
# format for (external) further processing, or combination.
#
# RNX2SNX BPE processing summary file name: R2Syyssss.PRC
#
# Comments : (0) To execute this PCF, the following three files are
# specifically required:
# (a) CRD file (IGS_00.CRD),
# (b) VEL file (IGS_00.VEL),
# (c) station name abbreviation file (EXAMPLE.ABB).
# The use of the PPP PCF to create these three files is

```

```

# explicitly foreseen. The main purpose of that
# preparatory BPE processing step is computation of
# approximate station coordinates for all new points of
# the GNSS network to be analyzed. That processing step
# includes creation of a complete CRD file.
#
# (1) Observation files with significant gaps or unexpectedly
# big residuals are automatically rejected.
#
# (2) Ambiguity fixing is attempted for baselines up to
# 2000 km length using the quasi-ionosphere-free (QIF)
# resolution strategy. Ambiguity resolution is performed
# exclusively for GPS observations.
#
# (3) The network solution finally computed is a minimum-
# constraint solution, realized by 3 no-net-translation
# conditions imposed on a given set of ITRF2000
# (concretely IGS00) reference coordinates. The
# coordinates of all involved fiducial stations are
# subsequently verified by means of a 3-parameter Helmert
# transformation (see PID 514). In case of discrepancies,
# the final network solution gets recomputed for
# consistent datum definition (based on a reduced set of
# fiducial stations).
# Note: Datum definition is considered successful as long
# as at least two reference stations are accepted. If you
# wish to rely just on one reference station, PID 514
# might be skipped.
#
# (4) SINEX (SNX) output file generation is restricted here
# to station coordinate results (since inclusion of
# tropospheric information in SNX files is uncommon).
# Note: Resulting SINEX data should allow for both
# reconstruction of the unconstrained, free network
# solution and for straightforward extraction of station
# coordinate values of the originally computed minimum-
# constraint solution.
#
# (5) Zenith path delay (ZPD) estimates, including horizontal
# gradient parameters, are exported through a Bernese TRP
# file; the tropospheric SINEX (TRO) file contains only
# ZPD values (in consequence of the TRO data format).
#
# (6) To prepare this PCF for operational use, R2S_COP and
# R2S_SAV must be adjusted. In principle, a script for
# data download (R2S_FTP) might be integrated. Activation
# of PID 513, a sliding 7-session comparison, would make
# sense for analysis of permanent network data.
#
# (7) If the delete (DEL) script (see PID 903) is executed
# with a parameter set to 'ALL', result files referring
# to the current session get all removed (with the
# exception of some essential protocol files).
#
#
# Author      : M. Meindl, S. Schaer
# Created     : 17-Oct-2003           Last modified: 23-Feb-2004
#
# Changes    : 23-Feb-2004: Prepared for release V5.0
#
# =====
#
# PID SCRIPT  OPT_DIR  CAMPAIGN CPU      P WAIT FOR...
# 3** 8***** 8***** 8***** 8***** 1 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3**
#
# Copy required files and create a priori CRD file
# -----
# 001 R2S_COP  R2S_GEN          ANY      1
# 002 COOVEL  R2S_GEN          ANY      1 001
#
# Prepare pole, orbit, and clock information
# -----
# 101 POLUPD  R2S_GEN          ANY      1 001
# 111 PRETAB  R2S_GEN          ANY      1 101
# 112 ORBGEN  R2S_GEN          ANY      1 111
#
# Convert and synchronize observation data
# -----
# 201 RNXGRA  R2S_GEN          ANY      1 001
# 211 RXOBV3AP R2S_GEN          ANY      1 201
# 212 RXOBV3_P R2S_GEN          ANY      1 211
# 221 CODSPFAP R2S_GEN          ANY      1 002 112 212
# 222 CODSPF_P R2S_GEN          ANY      1 221
# 223 CODXTR  R2S_GEN          ANY      1 222
#
# Form baselines, preprocess and screen phase data, save cluster NEQ files

```

```

# -----
301 SNGDIF R2S_GEN ANY 1 223
311 MAUPRPAP R2S_GEN ANY 1 301
312 MAUPRP_P R2S_GEN ANY 1 311
313 MPRXTR R2S_GEN ANY 1 312
321 GPSED_TAP R2S_GEN ANY 1 313
322 GPSED_T_P R2S_EDT ANY 1 321
331 GPSCHK R2S_GEN ANY 1 322
#
# Compute ambiguity-float network solution, resolve phase ambiguities
# -----
401 ADDNEQ2 R2S_GEN ANY 1 331
402 GPSXTR R2S_GEN ANY 1 401
411 GPSQIFAP R2S_QIF ANY 1 402
412 GPSQIF_P R2S_QIF ANY 1 411
413 GPSXTR R2S_QIF ANY 1 412
#
# Compute ambiguity-fixed network solution, create final NEQ/SNX/TRO files
# -----
501 GPSEST R2S_FIN ANY 1 413
511 ADDNEQ2 R2S_FIN ANY 1 501
512 GPSXTR R2S_FIN ANY 1 511
513 COMPAR R2S_FIN ANY 1 512
514 HELMR1 R2S_FIN ANY 1 513
521 ADDNEQ2 R2S_RED ANY 1 514
522 GPSXTR R2S_RED ANY 1 521
#
# Create summary file, save results, and delete files
# -----
901 R2S_SUM R2S_GEN ANY 1 522
902 R2S_SAV R2S_GEN ANY 1 901
903 R2S_DEL R2S_GEN ANY 1 902
904 BPE_CLN R2S_GEN ANY 1 903
#
# End of BPE
# -----
999 DUMMY NO_OPT ANY 1 904
#
#
PID USER PASSWORD PARAM1 PARAM2 PARAM3 PARAM4 PARAM5 PARAM6 PARAM7 PARAM8 PARAM9
3** 12***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8*****
211 $211
212 PARALLEL $211
221 $221
222 PARALLEL $221
311 $311
312 PARALLEL $311
321 $321
322 PARALLEL $321
331 NEXTJOB 301
411 $411
412 PARALLEL $411
513 SKIP
514 NEXTJOB 511
902 SKIP
#903 ALL
#
#
VARIABLE DESCRIPTION DEFAULT
8***** 40***** 16*****
V_A A priori information APR
V_B Orbit/ERP, DCB, ION information IGS
V_C Preliminary (ambiguity-float) results P1_
V_E Final (ambiguity-fixed) results F1_
V_F Size-reduced NEQ information R1_
V_MINUS Session range begin (for COMPAR) -6
V_PLUS Session range end +0
V_CLU Maximum number of files per cluster 3
#
# DO NOT USE V_D, V_J, V_M, V_Y VARIABLES!
#
#

```





# Appendice C

## Elenco delle discontinuità e degli outliers

E2 .sta file

08-OCT-06 13:45

-----  
 TYPE 001: RENAMING OF STATIONS  
 -----

| STATION NAME    | FLG | FROM                | TO                  | OLD STATION NAME  | REMARK         |
|-----------------|-----|---------------------|---------------------|-------------------|----------------|
| *****           | *** | YYYY MM DD HH MM SS | YYYY MM DD HH MM SS | *****             | *****          |
| ANKR 20805M002A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 1999 08 16 23 59 59 | ANKR 20805M002_OK | AN_??          |
| ANKR 20805M002B | 001 | 1999 08 17 00 00 00 |                     | ANKR 20805M002_OK | AN_??          |
| BOGO 12207M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | BOGO -----        | BAD DOMES CODE |
| BOR1 12205M002A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 1999 05 30 23 59 30 | BOR1 12205M002    | AN_OK          |
| BOR1 12205M002B | 001 | 1999 05 31 00 00 00 |                     | BOR1 12205M002    | AN_OK          |
| BRUS 13101M004A | 001 | 1997 04 06 00 00 00 | 2000 04 26 23 59 30 | BRUS 13101M004_OK | AN_OK          |
| BRUS 13101M004B | 001 | 2000 04 27 00 00 00 |                     | BRUS 13101M004_OK | AN_OK          |
| BZRG 12751M001A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2000 11 28 23 59 59 | BZRG 12751M001_OK | AN_??          |
| BZRG 12751M001B | 001 | 2000 11 29 00 00 00 |                     | BZRG 12751M001_OK | AN_??          |
| CEUT 13449M001A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2005 01 15 23 59 59 | CEUT 13449M001    | AN_??          |
| CEUT 13449M001B | 001 | 2005 01 16 00 00 00 |                     | CEUT 13449M001    | AN_??          |
| CREU 13432M001A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2001 04 07 23 59 59 | CREU 13432M001_OK | AN_??          |
| CREU 13432M001B | 001 | 2001 04 08 00 00 00 | 2003 08 02 23 59 59 | CREU 13432M001_OK | AN_??          |
| CREU 13432M001C | 001 | 2003 08 03 00 00 00 |                     | CREU 13432M001_OK | AN_??          |
| DRES 14108M001A | 001 | 1990 01 01 00 00 00 | 2003 01 18 23 59 59 | DRES 14108M001_OK | AN_??          |
| DRES 14108M001B | 001 | 2003 01 19 00 00 00 |                     | DRES 14108M001_OK | AN_??          |
| DOUR 13113M001A | 001 | 1990 01 01 00 00 00 | 2001 10 06 23 59 59 | DOUR 13113M001_OK | AN_??          |
| DOUR 13113M001B | 001 | 2001 10 07 00 00 00 |                     | DOUR 13113M001_OK | AN_??          |
| EUSK 14258M003A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2001 05 05 23:59:59 | EUSK 14258M003_OK | AN_??          |
| EUSK 14258M003B | 001 | 2001 05 06 00 00 00 |                     | EUSK 14258M003_OK | AN_??          |
| GRAS 10002M006A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2004 10 20 23 59 30 | GRAS 10002M006_OK | AN_OK_?????    |
| GRAS 10002M006B | 001 | 2004 10 21 00 00 00 |                     | GRAS 10002M006_OK | AN_OK_?????    |
| GRAZ 11001M002A | 001 | 1997 04 06 00 00 00 | 2001 05 31 23 59 30 | GRAZ 11001M002_OK | AN_OK          |
| GRAZ 11001M002B | 001 | 2001 06 01 00 00 00 | 2005 03 19 23 59 30 | GRAZ 11001M002_OK | AN_OK          |
| GRAZ 11001M002C | 001 | 2005 03 20 00 00 00 | 2005 10 29 23 59 30 | GRAZ 11001M002_OK | AN_OK          |
| GRAZ 11001M002D | 001 | 2005 10 30 00 00 00 |                     | GRAZ 11001M002_OK | AN_OK          |
| HOFN 10204M002A | 001 | 1997 09 28 00 00 00 | 2001 09 20 23 59 30 | HOFN 10204M002_OK | AN_OK          |
| HOFN 10204M002B | 001 | 2001 09 21 00 00 00 |                     | HOFN 10204M002_OK | AN_OK          |
| JOZE 12204M001  | 001 | 1997 04 06 00 00 00 |                     | JOZE*             | EO.SNX         |
| KARL 14216M001A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2001 05 05 23 59 30 | KARL 14216M001_OK | AN_??          |
| KARL 14216M001B | 001 | 2001 05 06 00 00 00 | 2002 07 06 23 59 30 | KARL 14216M001_OK | AN_??          |
| KARL 14216M001C | 001 | 2002 07 07 00 00 00 |                     | KARL 14216M001_OK | AN_??          |
| KELY 43005M001A | 001 | 1997 04 06 00 00 00 | 2001 09 13 23 59 30 | KELY 43005M001_OK | AN_OK          |
| KELY 43005M001B | 001 | 2001 09 14 00 00 00 |                     | KELY 43005M001_OK | AN_OK          |
| KIRO 10422M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | KIRO -----        | BAD DOMES CODE |
| KLOP 14214M002A | 001 | 1990 01 01 00 00 00 | 2001 05 05 23 59 59 | KLOP 14214M002_OK | AN_??          |
| KLOP 14214M002B | 001 | 2001 05 06 00 00 00 | 2002 06 29 23 59 59 | KLOP 14214M002_OK | AN_??          |
| KLOP 14214M002C | 001 | 2002 06 30 00 00 00 |                     | KLOP 14214M002_OK | AN_??          |
| KOSG 13504M003A | 001 | 1997 04 06 00 00 00 | 2003 04 19 23 59 30 | KOSG 13504M003_OK | AN_OK          |
| KOSG 13504M003B | 001 | 2003 04 20 00 00 00 |                     | KOSG 13504M003_OK | AN_OK          |
| JOEN 10512M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | JOEN -----        | BAD DOMES CODE |
| LAMA 12209M001A | 001 | 1997 04 06 00 00 00 | 2000 10 05 23 59 30 | LAMA 12209M001_OK | AN_OK          |
| LAMA 12209M001B | 001 | 2000 10 06 00 00 00 |                     | LAMA 12209M001_OK | AN_OK          |
| MALL 13444M001A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2003 08 09 23 59 59 | MALL 13444M001_OK | AN_??          |
| MALL 13444M001B | 001 | 2003 08 10 00 00 00 |                     | MALL 13444M001_OK | AN_??          |
| MATE 12734M008A | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 1999 06 14 23 59 59 | MATE 12734M008    | AN_??          |
| MATE 12734M008B | 001 | 1999 06 15 00 00 00 |                     | MATE 12734M008    | AN_??          |
| MAR6 10405M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2020 01 01 00 00 00 | MAR6 -----        | BAD DOMES CODE |
| METS 10503S011  | 001 | 1997 04 06 00 00 00 |                     | METS*             | EO.SNX         |
| MOPI 11507M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 | 2020 01 01 00 00 00 | MOPI -----        | BAD DOMES CODE |
| NICO 14302M001A | 001 | 1997 06 22 00 00 00 | 1999 08 20 23 59 30 | NICO 14302M001_OK | AN_??          |

372 APPENDICE C. ELENCO DELLE DISCONTINUITÀ E DEGLI OUTLIERS

|      |            |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |      |              |       |              |                |
|------|------------|-----|------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|------|--------------|-------|--------------|----------------|
| NICO | 14302M001B | 001 | 1999 | 08 | 21 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    | NICO | 14302M001_OK | AN_?? |              |                |
| NPLD | 13234M003A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 08 | 21 | 23 | 59   | 30           | NPLD  | 13234M003_OK | AN_??          |
| NPLD | 13234M003B | 001 | 2004 | 08 | 22 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | NPLD  | 13234M003_OK | AN_??          |
| ONSA | 10402M004A | 001 | 1997 | 04 | 06 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 02 | 02 | 23 | 59   | 30           | ONSA  | 10402M004_OK | AN_OK          |
| ONSA | 10402M004B | 001 | 1999 | 02 | 02 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | ONSA  | 10402M004_OK | AN_OK          |
| OSLO | 10307M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2020 | 01 | 01 | 00 | 00   | 00           | OSLO  | -----        | BAD DOMES CODE |
| PENC | 11206M006A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 05 | 21 | 23 | 59   | 30           | PENC  | 11206M006_OK | AN_??          |
| PENC | 11206M006B | 001 | 2003 | 05 | 22 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | PENC  | 11206M006_OK | AN_??          |
| PFAN | 11005S002A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 10 | 30 | 23 | 59   | 30           | PFAN  | 11005S002_OK | AN_??          |
| PFAN | 11005S002B | 001 | 1999 | 10 | 31 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 11 | 23 | 59   | 30           | PFAN  | 11005S002_OK | AN_??          |
| PFAN | 11005S002C | 001 | 2001 | 03 | 11 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | PFAN  | 11005S002_OK | AN_??          |
| POTS | 14106M003  | 001 | 1997 | 04 | 06 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | POTS* | -----        | EO.SNX         |
| RAMO | 20703S001A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 07 | 16 | 23 | 59   | 30           | RAMO  | 20703S001_OK | AN_??          |
| RAMO | 20703S001B | 001 | 2000 | 07 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 03 | 16 | 23 | 59   | 30           | RAMO  | 20703S001_OK | AN_??          |
| RAMO | 20703S001C | 001 | 2004 | 03 | 17 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | RAMO  | 20703S001_OK | AN_??          |
| REYK | 10202M001A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 07 | 15 | 23 | 59   | 30           | REYK  | 10202M001_OK | AN_??          |
| REYK | 10202M001B | 001 | 2000 | 07 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 06 | 12 | 23 | 59   | 30           | REYK  | 10202M001_OK | AN_??          |
| REYK | 10202M001C | 001 | 2003 | 06 | 13 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | REYK  | 10202M001_OK | AN_??          |
| RIGA | 12302M002  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | RIGA  | -----        | BAD DOMES CODE |
| RIGA | 12302M002A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 12 | 25 | 23 | 59   | 59           | RIGA  | 12302M002_OK | AN_??          |
| RIGA | 12302M002B | 001 | 2004 | 12 | 26 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | RIGA  | 12302M002_OK | AN_??          |
| SFER | 13402M004A | 001 | 1997 | 04 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 09 | 20 | 23 | 59   | 59           | SFER  | 13402M004_OK | AN_??          |
| SFER | 13402M004B | 001 | 2002 | 09 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 06 | 07 | 23 | 59   | 59           | SFER  | 13402M004_OK | AN_??          |
| SFER | 13402M004C | 001 | 2003 | 06 | 08 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | SFER  | 13402M004_OK | AN_??          |
| SODA | 10513M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | SODA  | -----        | BAD DOMES CODE |
| STAV | 10330M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | STAV  | -----        | BAD DOMES CODE |
| SVTL | 12350M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | SVTL  | -----        | BAD DOMES CODE |
| SVTL | 12350M001A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 11 | 27 | 23 | 59   | 59           | SVTL  | 12350M001_OK | AN_??          |
| SVTL | 12350M001B | 001 | 2004 | 11 | 28 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | SVTL  | 12350M001_OK | AN_??          |
| TRO1 | 10302M006A | 001 | 1997 | 04 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 06 | 18 | 23 | 59   | 59           | TRO1  | 10302M006_OK | AN_??          |
| TRO1 | 10302M006B | 001 | 2000 | 06 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 07 | 12 | 23 | 59   | 59           | TRO1  | 10302M006_OK | AN_??          |
| TRO1 | 10302M006C | 001 | 2004 | 07 | 13 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | TRO1  | 10302M006_OK | AN_??          |
| TRON | 10331M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | TRON  | -----        | BAD DOMES CODE |
| UNPG | 12752M001A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 05 | 18 | 23 | 59   | 59           | UNPG  | 12752M001_OK | AN_??          |
| UNPG | 12752M001B | 001 | 2002 | 05 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 04 | 22 | 23 | 59   | 59           | UNPG  | 12752M001_OK | AN_??          |
| UNPG | 12752M001C | 001 | 2006 | 04 | 23 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | UNPG  | 12752M001_OK | AN_??          |
| VARD | 10322M002  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VARD  | -----        | BAD DOMES CODE |
| VAAS | 10511M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VAAS  | -----        | BAD DOMES CODE |
| VEVE | 12741M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VEVE  | -----        | BAD DOMES CODE |
| VEVE | 12741M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VEVE  | -----        | BAD DOMES CODE |
| VEVE | 12741M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VEVE  | -----B       | BAD DOMES CODE |
| VEVE | 12741M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VEVE  | -----M---B   | BAD DOMES CODE |
| VEVE | 12741M001A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 10 | 22 | 23 | 59   | 59           | VEVE  | 12741M001_OK | AN_??          |
| VEVE | 12741M001B | 001 | 2005 | 10 | 23 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VEVE  | 12741M001_OK | AN_??          |
| VILL | 13406M001  | 001 | 1997 | 04 | 06 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VILL* | -----        | EO.SNX         |
| VILO | 10424M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VILO  | -----        | BAD DOMES CODE |
| VISO | 10423M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | VISO  | -----        | BAD DOMES CODE |
| WARE | 13114M001A | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 01 | 10 | 23 | 59   | 59           | WARE  | 13114M001    | AN_??          |
| WARE | 13114M001B | 001 | 1998 | 01 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 18 | 23 | 59   | 59           | WARE  | 13114M001    | AN_??          |
| WARE | 13114M001C | 001 | 2003 | 01 | 19 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | WARE  | 13114M001    | AN_??          |
| WROC | 12217M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | WROC  | -----        | BAD DOMES CODE |
| WROC | 12217M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | WROC  | 000000000    | BAD DOMES CODE |
| WROC | 12217M001  | 001 | 1992 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | WROC  | -----B       | BAD DOMES CODE |
| WSRT | 13506M005  | 001 | 1997 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | WSRT* | -----        | EO.SNX         |
| WTZR | 14201M010  | 001 | 1997 | 04 | 06 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | WTZR* | -----        | EO.SNX         |
| ZIMM | 14001M004A | 001 | 1997 | 04 | 06 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 11 | 05 | 23 | 59   | 30           | ZIMM  | 14001M004_OK | AN_OK          |
| ZIMM | 14001M004B | 001 | 1998 | 11 | 06 | 00 | 00 | 00 |      |    |    |    |      |              | ZIMM  | 14001M004_OK | AN_OK          |

TYPE 002: STATION INFORMATION

| STATION NAME | FLG        | FROM                    | TO                  | NORTH    | EAST     | UP      |
|--------------|------------|-------------------------|---------------------|----------|----------|---------|
| *****        | ***        | YYYY MM DD HH MM SS     | YYYY MM DD HH MM SS | ***.***  | ***.***  | ***.*** |
| ANKR         | 020805M002 | 001 1992 01 01 00 00 00 | 1999 08 16 23 59 59 | 0.0006   | 0.0040   | 0.0443  |
| ANKR         | 020805M002 | 001 1999 08 17 00 00 00 |                     | 0.0091   | -0.0080  | 0.0590  |
| BLEI         | 00000S002  | 001 1990 01 01 00 00 00 | 2010 12 31 23 59 59 | 999.9999 | 999.9999 | 0.1240  |
| BOGO         | 12207M002C | 001 1990 01 01 00 00 00 | 2001 08 17 23 59 59 | -0.0025  | -0.0011  | 0.0103  |
| BOR1         | 12205M002  | 001 1997 04 06 00 00 00 | 1999 05 30 23 59 30 | -0.0006  | 0.0015   | 0.0621  |
| BOR1         | 12205M002  | 001 1999 05 31 00 00 00 |                     | 0.0004   | 0.0050   | 0.0643  |
| BRUS         | 13101M004  | 001 1997 04 06 00 00 00 | 2000 04 26 23 59 30 | -0.0027  | 0.0005   | 3.9685  |
| BRUS         | 13101M004  | 001 2000 04 27 00 00 00 |                     | -0.0057  | 0.0012   | 3.9717  |
| BZRG         | 12751M001  | 001 1990 01 01 00 00 00 | 2000 11 28 23 59 59 | 0.0039   | 0.0042   | 0.2179  |
| BZRG         | 12751M001  | 001 1990 01 01 00 00 00 |                     | 0.0036   | 0.0043   | 0.2179  |
| DOUR         | 13113M001  | 001 1990 01 01 00 00 00 | 2001 10 06 23 59 59 | -0.0012  | 0.0006   | 0.7551  |
| DOUR         | 13113M001  | 001 2001 10 07 00 00 00 |                     | 0.0003   | 0.0038   | 0.7554  |
| CAME         | 12754M001  | 001 1990 01 01 00 00 00 | 2003 12 14 23 59 59 | -0.0003  | -0.0025  | -0.0102 |
| CEUT         | 13449M001A | 001 1992 01 01 00 00 00 | 2005 01 15 23 59 59 | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000  |
| CEUT         | 13449M001B | 001 2005 01 16 00 00 00 |                     | 0.0079   | -0.0017  | -0.0068 |
| CREU         | 13432M001  | 001 1992 01 01 00 00 00 | 2001 04 07 23 59 59 | 0.0146   | -0.0118  | 0.0768  |
| CREU         | 13432M001  | 001 2001 04 08 00 00 00 | 2003 08 02 23 59 59 | 0.0160   | -0.0180  | 0.0717  |
| CREU         | 13432M001  | 001 2003 08 03 00 00 00 |                     | -0.0026  | -0.0216  | 0.0443  |
| EUSK         | 14258M003  | 001 1992 01 01 00 00 00 | 2001 05 05 23 59:59 | 0.0003   | 0.0012   | 0.0465  |
| EUSK         | 14258M003  | 001 2001 05 06 00 00 00 |                     | -0.0011  | 0.0023   | 0.0797  |
| DRES         | 14108M001  | 001 1990 01 01 00 00 00 | 2003 01 18 23 59 59 | -0.1348  | -0.1743  | 0.5547  |
| DRES         | 14108M001  | 001 2003 01 19 00 00 00 |                     | -0.1305  | -0.1774  | 0.5827  |
| GOPE         | 11502M002  | 001 1990 01 01 00 00 00 | 2001 12 30 23 59 59 | -0.0004  | 0.0004   | -0.0084 |
| GOPE         | 11502M002  | 001 2001 12 31 00 00 00 | 2002 12 30 23 59 59 | -0.0004  | 0.0004   | -0.0130 |
| GRAS         | 10002M006  | 001 1997 04 06 00 00 00 | 2004 10 20 23 59 30 | -0.0052  | -0.0009  | 0.0267  |



### 374 APPENDICE C. ELENCO DELLE DISCONTINUITÀ E DEGLI OUTLIERS

TYPE 003: HANDLING OF STATION PROBLEMS

| STATION NAME    | FLG | FROM                | TO                  | REMARK               |
|-----------------|-----|---------------------|---------------------|----------------------|
| *****           | *** | YYYY MM DD HH MM SS | YYYY MM DD HH MM SS | *****                |
| GRAS 10002M006B | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | WRONG OFFSET         |
| KELY 43005M002B | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | WRONG OFFSET         |
| KIRU 10403M002B | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | WRONG OFFSET         |
| MATE 12734M008A | 001 | 1996 06 30 00 00 00 | 1996 07 06 23 59 29 | WRONG ANTENNA HEIGHT |
| AMMN 22201M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| CAME 12754M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| HOER 14284M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| MADR 13407S012  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| MADR 13407S012B | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| MASP 31303M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| MDVO 12309M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| NYAL 10317M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| NYAL 10317M003  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| NOTO 12717M003  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| OBER 14208M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| OBET 14208M004  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| OSLO 10307M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| PLYM 13229S001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| PULA 11903S001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| SNEC 11519M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| STAV 10330M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| TARS 12773S001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| TOUL 10003M004  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| TROM 10302M003  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| TROM 10302M006  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| TRON 10331M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| UPAD 12750M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| VARD 10322M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| WETT 14201M009  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | DISMISSED            |
| AUT1 12619M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| AUTN 10080M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| AUT1 12619M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| BACA 11405M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| BADH 14288M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| BATA 11406M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| BISK 11520M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| BOLG 12771M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| BSCN 10028M007  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| BUTE 11209M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| COBA 13453M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| COST 11407M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| DEVA 11408M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| EGLT 10032M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| ENTZ 10014M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| EVPA 12344M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| FATA 12773M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| GUIP 10004M501  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| HOE2 14284M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| IGD1 12605M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| KELY 43005M002  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| LILL 10051M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| MALA 13443M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| MARJ 11517M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| MILO 12758M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| NOA1 12620M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| POUS 11518M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| PUYV 10065M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| RIOJ 13448M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| ROVE 12774M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| SNEC 11519M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| TRFB 11047M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| TUC2 12617M003  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| VACO 11516M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| VFCH 10046M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| VIGO 13450M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| ZARA 13462M001  | 001 | 1992 01 01 00 00 00 |                     | TOO FEW DATA         |
| ACOR 13434M001  | 001 | 1999 09 29 00 00 00 | 2000 01 05 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ACOR 13434M001  | 001 | 2002 07 31 00 00 00 | 2004 01 28 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| AJAC 10077M005  | 001 | 2001 08 01 00 00 00 | 2001 08 29 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ALAC 13433M001  | 001 | 2004 10 13 00 00 00 | 2004 10 13 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ALME 13437M001  | 001 | 2001 02 21 00 00 00 | 2001 02 28 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ALME 13437M001  | 001 | 2001 05 30 00 00 00 | 2001 07 04 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ALME 13437M001  | 001 | 2001 10 17 00 00 00 | 2001 10 17 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ANKR 20805M002  | 001 | 1996 08 07 00 00 00 | 1996 08 07 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ANKR 20805M002  | 001 | 1998 11 25 00 00 00 | 1998 11 25 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ANKR 20805M002  | 001 | 1999 08 18 00 00 00 | 1999 12 15 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ANKR 20805M002  | 001 | 2000 03 22 00 00 00 | 2000 03 22 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| ANKR 20805M002  | 001 | 2004 04 14 00 00 00 | 2004 07 28 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| BOGO 12207M002  | 001 | 1996 07 03 00 00 00 | 1997 03 26 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| BOGO 12207M002  | 001 | 2001 07 18 00 00 00 | 2001 08 01 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| BOR1 12205M002  | 001 | 1998 02 04 00 00 00 | 1998 02 11 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| BOR1 12205M002  | 001 | 2005 01 26 00 00 00 | 2005 01 26 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| BORK 14268M001  | 001 | 2003 04 12 00 00 00 | 2003 06 25 23 59 59 | EPN_KENYERES         |
| BRUS 13101M004  | 001 | 2000 04 26 00 00 00 | 2000 04 26 23 59 59 | EPN_KENYERES         |

|      |            |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |              |
|------|------------|-----|------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|--------------|
| BUCU | 11401M001  | 001 | 1999 | 03 | 24 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 08 | 04 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| BZRG | 12751M001  | 001 | 2001 | 07 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 07 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| CASC | 13909S001  | 001 | 1998 | 11 | 11 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 10 | 20 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| CEUT | 13449M001  | 001 | 2001 | 12 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 05 | 08 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| CEUT | 13449M001  | 001 | 2005 | 01 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 03 | 02 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| CREU | 13432M001  | 001 | 1999 | 02 | 10 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 06 | 30 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| CREU | 13432M001  | 001 | 2002 | 12 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 07 | 30 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DENT | 13112M001  | 001 | 1996 | 07 | 03 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 05 | 28 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DOUR | 13113M001  | 001 | 1996 | 07 | 03 | 00 | 00 | 00 | 1996 | 12 | 18 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DOUR | 13113M001  | 001 | 2001 | 05 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 10 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DRAG | 20710S001  | 001 | 2001 | 10 | 24 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 10 | 24 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DRAG | 20710S001  | 001 | 2002 | 04 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 05 | 01 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DRAG | 20710S001  | 001 | 2002 | 09 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 09 | 25 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DRAG | 20710S001  | 001 | 2002 | 11 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 11 | 27 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DRAG | 20710S001  | 001 | 2003 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 01 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DRAG | 20710S001  | 001 | 2003 | 03 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 03 | 19 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DRAG | 20710S001  | 001 | 2003 | 05 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 05 | 14 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| DRES | 14108M001  | 001 | 2003 | 01 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 22 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| EIJS | 13533M001  | 001 | 1999 | 06 | 30 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ELBA | 12721M002  | 001 | 2004 | 11 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 11 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ESCO | 13435M001  | 001 | 2003 | 05 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 05 | 07 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GATA | 13902M001  | 001 | 2002 | 10 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 10 | 16 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GATA | 13902M001  | 001 | 2003 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 01 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GLSV | 12356M001  | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 03 | 09 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GOPE | 11502M002  | 001 | 1999 | 11 | 10 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 26 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GRAZ | 11001M002N | 001 | 1996 | 07 | 03 | 00 | 00 | 00 | 1996 | 08 | 28 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GRAZ | 11001M002N | 001 | 1996 | 12 | 25 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GRAZ | 11001M002N | 001 | 2001 | 05 | 09 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 05 | 23 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GRAZ | 11001M002N | 001 | 2005 | 02 | 09 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 02 | 09 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GSR1 | 14501M001  | 001 | 2001 | 03 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 26 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| GSR1 | 14501M001  | 001 | 2002 | 05 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 05 | 29 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| HERS | 13212M007  | 001 | 1996 | 07 | 03 | 00 | 00 | 00 | 1996 | 11 | 06 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| HERS | 13212M007  | 001 | 1999 | 04 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 06 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| HFLK | 11006S003  | 001 | 2002 | 10 | 23 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 12 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| HFLK | 11006S003  | 001 | 2003 | 10 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 12 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| HOBU | 14202M003  | 001 | 2002 | 06 | 05 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 06 | 19 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| JOEN | 10512M001  | 001 | 1996 | 11 | 13 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 09 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| JOEN | 10512M001  | 001 | 2002 | 12 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| JOZE | 12204M001  | 001 | 2006 | 01 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 01 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRO | 10422M001  | 001 | 1996 | 11 | 13 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 04 | 23 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 1998 | 01 | 28 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 02 | 25 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 1998 | 03 | 18 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 03 | 18 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 1999 | 11 | 24 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 2000 | 03 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 03 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 2000 | 12 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 10 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 2001 | 02 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 28 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 2001 | 11 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 05 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 2002 | 02 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 03 | 13 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 2004 | 01 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 02 | 11 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 2004 | 12 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 02 | 23 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KIRU | 10403M002  | 001 | 2005 | 12 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 01 | 11 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KOSG | 13504M003N | 001 | 1996 | 07 | 03 | 00 | 00 | 00 | 1996 | 10 | 30 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| KOSG | 13504M003N | 001 | 2003 | 03 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 04 | 16 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| LAGO | 13903M001  | 001 | 2003 | 03 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 03 | 19 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| LAMA | 12209M001  | 001 | 2000 | 03 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 10 | 04 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| LAMA | 12209M001  | 001 | 2001 | 01 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| LAMA | 12209M001  | 001 | 2006 | 01 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 08 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| LAMP | 12706M002  | 001 | 2005 | 03 | 09 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 03 | 09 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| LLIV | 13436M001  | 001 | 2001 | 04 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 04 | 18 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| LLIV | 13436M001  | 001 | 2004 | 09 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 09 | 29 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MALL | 13444M001  | 001 | 1999 | 05 | 05 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 05 | 05 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MARS | 10073M008  | 001 | 1999 | 05 | 05 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 05 | 05 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MEDI | 12711M003  | 001 | 1998 | 11 | 25 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 12 | 09 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MEDI | 12711M003  | 001 | 2002 | 11 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 08 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| METS | 10503S011  | 001 | 1998 | 11 | 04 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 11 | 18 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MLVL | 10092M001  | 001 | 2000 | 10 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 11 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 1996 | 11 | 27 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 05 | 13 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 1998 | 12 | 09 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 12 | 09 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 1998 | 12 | 23 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 12 | 23 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 1999 | 10 | 13 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 10 | 20 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 2000 | 01 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 2002 | 12 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 12 | 25 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 2003 | 11 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 12 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 2003 | 12 | 31 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 12 | 31 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 2004 | 01 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 07 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 2004 | 01 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 28 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MOPI | 11507M001  | 001 | 2004 | 03 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 03 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MORP | 13299S001  | 001 | 2004 | 10 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 10 | 27 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MORP | 13299S001  | 001 | 2005 | 10 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 11 | 30 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| MORP | 13299S001  | 001 | 2006 | 01 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 03 | 29 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| NSSP | 12312M001  | 001 | 2001 | 05 | 23 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 05 | 23 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| NSSP | 12312M001  | 001 | 2002 | 01 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 01 | 30 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| NSSP | 12312M001  | 001 | 2003 | 02 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 12 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| NYA1 | 10317M003  | 001 | 1998 | 12 | 30 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 12 | 30 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| NYA1 | 10317M003  | 001 | 2004 | 01 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 14 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| NYIR | 11208M001  | 001 | 2003 | 02 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 12 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| NYIR | 11208M001  | 001 | 2005 | 01 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 02 | 09 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| OBE2 | 14208M003  | 001 | 2001 | 09 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 10 | 24 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ORID | 15601M001  | 001 | 2003 | 12 | 31 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 12 | 31 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |

376 APPENDICE C. ELENCO DELLE DISCONTINUITÀ E DEGLI OUTLIERS

|       |           |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |              |
|-------|-----------|-----|------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|--------------|
| ORID  | 15601M001 | 001 | 2004 | 03 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 03 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ORID  | 15601M001 | 001 | 2004 | 10 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 10 | 20 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| OROS  | 11207M001 | 001 | 2001 | 12 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 04 | 10 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| OSLS  | 10307M001 | 001 | 2001 | 01 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 24 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| OSLS  | 10307M001 | 001 | 2002 | 12 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| OSLS  | 10307M001 | 001 | 2004 | 01 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 21 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| PADD  | 12750S001 | 001 | 2001 | 11 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 08 | 07 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| PDEL  | 31906M004 | 001 | 2001 | 09 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 10 | 10 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| PENC  | 11206M006 | 001 | 1997 | 01 | 15 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| PFAN  | 11005S002 | 001 | 2004 | 01 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 28 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| PFAN  | 11005S002 | 001 | 2005 | 12 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 12 | 28 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| QAQ1  | 43007M001 | 001 | 2002 | 09 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 01 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| QAQ1  | 43007M001 | 001 | 2003 | 09 | 10 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 12 | 03 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| QAQ1  | 43007M001 | 001 | 2005 | 06 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 06 | 01 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| RAMO  | 20703S001 | 001 | 2001 | 06 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 11 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| RIGA  | 12302M002 | 001 | 1997 | 01 | 08 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 01 | 29 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| RIGA  | 12302M002 | 001 | 2003 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 08 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| RIGA  | 12302M002 | 001 | 2003 | 10 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 10 | 08 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SBGZ  | 11031S001 | 001 | 1999 | 02 | 10 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 10 | 27 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SBGZ  | 11031S001 | 001 | 2001 | 11 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 26 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SFER  | 13402M004 | 001 | 1996 | 07 | 03 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 12 | 24 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SFER  | 13402M004 | 001 | 2001 | 03 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 21 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SJDV  | 10090M001 | 001 | 1998 | 08 | 12 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 03 | 10 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SJDV  | 10090M001 | 001 | 2001 | 07 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 08 | 29 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SJDV  | 10090M001 | 001 | 2003 | 05 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 05 | 14 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 1997 | 02 | 26 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 03 | 25 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 1998 | 11 | 18 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 11 | 18 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 1999 | 01 | 06 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 03 | 24 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 2000 | 02 | 23 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 03 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 2000 | 12 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 10 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 2001 | 01 | 31 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 31 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 2001 | 11 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 01 | 09 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 2002 | 12 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 03 | 05 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 2004 | 02 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 02 | 18 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 2004 | 12 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 03 | 23 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SODA  | 10513M001 | 001 | 2005 | 12 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 03 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SOFI  | 11101M002 | 001 | 2001 | 12 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 01 | 02 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SOFI  | 11101M002 | 001 | 2003 | 10 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 10 | 22 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SRJV  | 11801S001 | 001 | 2000 | 04 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 09 | 27 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SRJV  | 11801S001 | 001 | 2003 | 01 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SVTL  | 12350M001 | 001 | 1996 | 11 | 27 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 06 | 04 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SVTL  | 12350M001 | 001 | 2001 | 01 | 10 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 07 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SVTL  | 12350M001 | 001 | 2002 | 11 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 11 | 20 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SVTL  | 12350M001 | 001 | 2002 | 12 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| SVTL  | 12350M001 | 001 | 2004 | 01 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 28 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| THU3  | 43001M002 | 001 | 2005 | 06 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 06 | 01 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| TUEI  | 20806M001 | 001 | 1999 | 08 | 11 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 08 | 11 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| UZHL  | 12301M001 | 001 | 2003 | 01 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VAAS  | 10511M001 | 001 | 1996 | 11 | 13 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 04 | 23 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VAAS  | 10511M001 | 001 | 1998 | 11 | 11 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 11 | 11 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VAAS  | 10511M001 | 001 | 1999 | 12 | 01 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 12 | 22 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VAAS  | 10511M001 | 001 | 2000 | 12 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 10 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VAAS  | 10511M001 | 001 | 2001 | 02 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 07 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VAAS  | 10511M001 | 001 | 2002 | 11 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 12 | 11 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VAAS  | 10511M001 | 001 | 2003 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VAAS  | 10511M001 | 001 | 2005 | 11 | 30 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 01 | 11 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VALE  | 13439M001 | 001 | 2002 | 05 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 06 | 05 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VALE  | 13439M001 | 001 | 2003 | 05 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 05 | 14 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VALE  | 13439M001 | 001 | 2003 | 06 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 06 | 18 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VALE  | 13439M001 | 001 | 2004 | 05 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 05 | 19 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VALE  | 13439M001 | 001 | 2005 | 05 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 05 | 04 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VE NE | 12741M001 | 001 | 1996 | 08 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 12 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VLNS  | 10801M001 | 001 | 1999 | 03 | 24 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 04 | 28 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VLNS  | 10801M001 | 001 | 2002 | 09 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 09 | 25 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| VLNS  | 10801M001 | 001 | 2005 | 02 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 02 | 09 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| WARE  | 13114M001 | 001 | 1996 | 07 | 03 | 00 | 00 | 00 | 1996 | 11 | 06 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| WSRT  | 13506M005 | 001 | 1997 | 08 | 27 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 03 | 11 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ZECK  | 12351M001 | 001 | 1997 | 11 | 26 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 11 | 26 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ZECK  | 12351M001 | 001 | 1997 | 12 | 10 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 12 | 10 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ZIMM  | 14001M004 | 001 | 1997 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 01 | 01 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ZOUF  | 12763M001 | 001 | 2004 | 12 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 12 | 15 | 23 | 59 | 59 | EPN_KENYERES |
| ACOR  | 13434M001 | 001 | 2000 | 03 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 03 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1053 > 3*SIG |
| AJAC  | 10077M005 | 001 | 2001 | 07 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1122 > 3*SIG |
| AJAC  | 10077M005 | 001 | 2001 | 07 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1124 > 3*SIG |
| AJAC  | 10077M005 | 001 | 2005 | 11 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 11 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1349 > 3*SIG |
| AJAC  | 10077M005 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 > 3*SIG |
| ALME  | 13437M001 | 001 | 2001 | 03 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1107 > 3*SIG |
| ALME  | 13437M001 | 001 | 2001 | 04 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 04 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1108 > 3*SIG |
| ALME  | 13437M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 > 3*SIG |
| ANKR  | 20805M002 | 001 | 1999 | 08 | 11 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 08 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1022 > 3*SIG |
| AQUI  | 12757M001 | 001 | 2003 | 01 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1200 > 3*SIG |
| BELL  | 13431M001 | 001 | 1999 | 02 | 10 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 02 | 10 | 23 | 59 | 59 | 0996 > 3*SIG |
| BELL  | 13431M001 | 001 | 2004 | 03 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 03 | 03 | 23 | 59 | 59 | 1260 > 3*SIG |
| BOGI  | 12207M003 | 001 | 2003 | 07 | 30 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 07 | 30 | 23 | 59 | 59 | 1229 > 3*SIG |
| BOGI  | 12207M003 | 001 | 2005 | 12 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 12 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1354 > 3*SIG |
| BOR1  | 12205M002 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 > 3*SIG |
| BORK  | 14268M001 | 001 | 2002 | 04 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 04 | 03 | 23 | 59 | 59 | 1160 > 3*SIG |
| BORK  | 14268M001 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 > 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 04 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 04 | 20 | 23 | 59 | 59 | 1319 > 3*SIG |

|       |           |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |      |   |       |
|-------|-----------|-----|------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|------|---|-------|
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 04 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 04 | 27 | 23 | 59 | 59 | 1320 | > | 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 05 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 05 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1321 | > | 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 05 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 05 | 18 | 23 | 59 | 59 | 1323 | > | 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 05 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 05 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1324 | > | 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 06 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 06 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1326 | > | 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 07 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 07 | 27 | 23 | 59 | 59 | 1333 | > | 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 10 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 10 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1345 | > | 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 11 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 11 | 02 | 23 | 59 | 59 | 1347 | > | 3*SIG |
| BRST  | 10004M004 | 001 | 2005 | 11 | 30 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 11 | 30 | 23 | 59 | 59 | 1351 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 1997 | 08 | 06 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 08 | 06 | 23 | 59 | 59 | 0917 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 1997 | 10 | 08 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 10 | 08 | 23 | 59 | 59 | 0926 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 1998 | 10 | 28 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 10 | 28 | 23 | 59 | 59 | 0981 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2003 | 01 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1200 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2003 | 01 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1201 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2003 | 01 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 29 | 23 | 59 | 59 | 1203 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2003 | 02 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 02 | 23 | 59 | 59 | 1204 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2003 | 02 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1205 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2003 | 02 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1206 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2003 | 02 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1207 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2003 | 04 | 09 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 04 | 09 | 23 | 59 | 59 | 1213 | > | 3*SIG |
| BRUS  | 13101M004 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| BUCU  | 11401M001 | 001 | 1999 | 03 | 17 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 03 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1001 | > | 3*SIG |
| BUCU  | 11401M001 | 001 | 2000 | 08 | 30 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 08 | 30 | 23 | 59 | 59 | 1077 | > | 3*SIG |
| BUCU  | 11401M001 | 001 | 2001 | 01 | 24 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 24 | 23 | 59 | 59 | 1098 | > | 3*SIG |
| BUCU  | 11401M001 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| BUDP  | 10101M003 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| BUDP  | 10101M003 | 001 | 2006 | 01 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 01 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1359 | > | 3*SIG |
| CACE  | 13447M001 | 001 | 2002 | 08 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 08 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1178 | > | 3*SIG |
| CACE  | 13447M001 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| CACE  | 13447M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| CAGZ  | 12725M004 | 001 | 2004 | 08 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 08 | 18 | 23 | 59 | 59 | 1284 | > | 3*SIG |
| CANT  | 13438M001 | 001 | 2001 | 07 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1122 | > | 3*SIG |
| CASC  | 13909S001 | 001 | 1999 | 11 | 10 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 11 | 10 | 23 | 59 | 59 | 1035 | > | 3*SIG |
| CASC  | 13909S001 | 001 | 2002 | 08 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 08 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1180 | > | 3*SIG |
| CASC  | 13909S001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| CEUT  | 13449M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| COMO  | 12761M001 | 001 | 2006 | 07 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1384 | > | 3*SIG |
| DARE  | 13208S001 | 001 | 2005 | 12 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 12 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1353 | > | 3*SIG |
| DELFI | 13502M004 | 001 | 2000 | 08 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 08 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1075 | > | 3*SIG |
| DELFI | 13502M004 | 001 | 2003 | 08 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 08 | 06 | 23 | 59 | 59 | 1230 | > | 3*SIG |
| DELFI | 13502M004 | 001 | 2003 | 08 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 08 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1231 | > | 3*SIG |
| DELFI | 13502M004 | 001 | 2004 | 05 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 05 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1270 | > | 3*SIG |
| DRAG  | 20710S001 | 001 | 2003 | 02 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1206 | > | 3*SIG |
| DRES  | 14108M001 | 001 | 2003 | 09 | 24 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 09 | 24 | 23 | 59 | 59 | 1237 | > | 3*SIG |
| DUBR  | 11901M001 | 001 | 2004 | 02 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 02 | 18 | 23 | 59 | 59 | 1258 | > | 3*SIG |
| DUBR  | 11901M001 | 001 | 2005 | 09 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 09 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1339 | > | 3*SIG |
| DUBR  | 11901M001 | 001 | 2005 | 11 | 23 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 11 | 23 | 23 | 59 | 59 | 1350 | > | 3*SIG |
| EIJS  | 13533M001 | 001 | 2000 | 12 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 12 | 20 | 23 | 59 | 59 | 1093 | > | 3*SIG |
| ELBA  | 12721M002 | 001 | 2002 | 06 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 06 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1172 | > | 3*SIG |
| ELBA  | 12721M002 | 001 | 2004 | 01 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1253 | > | 3*SIG |
| ESCO  | 13435M001 | 001 | 2005 | 05 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 05 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1321 | > | 3*SIG |
| ESCO  | 13435M001 | 001 | 2005 | 05 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 05 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1322 | > | 3*SIG |
| ESCO  | 13435M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| EUSK  | 14258M003 | 001 | 1998 | 09 | 09 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 09 | 09 | 23 | 59 | 59 | 0974 | > | 3*SIG |
| EUSK  | 14258M003 | 001 | 2000 | 05 | 10 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 10 | 23 | 59 | 59 | 1061 | > | 3*SIG |
| EUSK  | 14258M003 | 001 | 2001 | 08 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 08 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1128 | > | 3*SIG |
| GATA  | 13902M001 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| GATA  | 13902M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| GANP  | 11515M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| GENO  | 12712M002 | 001 | 1999 | 01 | 27 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 01 | 27 | 23 | 59 | 59 | 0994 | > | 3*SIG |
| GENO  | 12712M002 | 001 | 2002 | 05 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 05 | 29 | 23 | 59 | 59 | 1168 | > | 3*SIG |
| GENO  | 12712M002 | 001 | 2004 | 12 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 12 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1301 | > | 3*SIG |
| GENO  | 12712M002 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| GLSV  | 12356M001 | 001 | 2001 | 07 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 18 | 23 | 59 | 59 | 1123 | > | 3*SIG |
| GLSV  | 12356M001 | 001 | 2001 | 08 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 08 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1125 | > | 3*SIG |
| GLSV  | 12356M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| GOPE  | 11502M002 | 001 | 1999 | 05 | 05 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 05 | 05 | 23 | 59 | 59 | 1008 | > | 3*SIG |
| GOPE  | 11502M002 | 001 | 2006 | 07 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1383 | > | 3*SIG |
| GOPE  | 11502M002 | 001 | 2006 | 07 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1384 | > | 3*SIG |
| GRAS  | 10002M006 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| GSR1  | 14501M001 | 001 | 2001 | 02 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 02 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1103 | > | 3*SIG |
| HELG  | 14264M001 | 001 | 2000 | 09 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 09 | 20 | 23 | 59 | 59 | 1080 | > | 3*SIG |
| HFLK  | 11006S003 | 001 | 1998 | 03 | 18 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 03 | 18 | 23 | 59 | 59 | 0949 | > | 3*SIG |
| HFLK  | 11006S003 | 001 | 2005 | 12 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 12 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1355 | > | 3*SIG |
| HFLK  | 11006S003 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| HOBU  | 14202M003 | 001 | 2002 | 08 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 08 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1180 | > | 3*SIG |
| HOFN  | 10204M002 | 001 | 1997 | 10 | 22 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 10 | 22 | 23 | 59 | 59 | 0928 | > | 3*SIG |
| HOFN  | 10204M002 | 001 | 1997 | 10 | 29 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 10 | 29 | 23 | 59 | 59 | 0929 | > | 3*SIG |
| HOFN  | 10204M002 | 001 | 1997 | 11 | 05 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 11 | 05 | 23 | 59 | 59 | 0930 | > | 3*SIG |
| IENG  | 12724S001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| INVE  | 13221S001 | 001 | 2005 | 01 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1306 | > | 3*SIG |
| INVE  | 13221S001 | 001 | 2006 | 06 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 06 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1379 | > | 3*SIG |
| ISTA  | 20807M001 | 001 | 2001 | 08 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 08 | 29 | 23 | 59 | 59 | 1129 | > | 3*SIG |
| ISTA  | 20807M001 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| JOEN  | 10512M001 | 001 | 2002 | 01 | 23 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 01 | 23 | 23 | 59 | 59 | 1150 | > | 3*SIG |
|       |           |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |      |   |       |

378 APPENDICE C. ELENCO DELLE DISCONTINUITÀ E DEGLI OUTLIERS

|      |           |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |      |   |       |
|------|-----------|-----|------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|------|---|-------|
| JOZE | 12204M001 | 001 | 1998 | 07 | 29 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 07 | 29 | 23 | 59 | 59 | 0968 | > | 3*SIG |
| JOZE | 12204M001 | 001 | 1998 | 08 | 05 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 08 | 05 | 23 | 59 | 59 | 0969 | > | 3*SIG |
| JOZE | 12204M001 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| JOZE | 12204M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| KARL | 14216M001 | 001 | 1999 | 12 | 22 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 12 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1041 | > | 3*SIG |
| KARL | 14216M001 | 001 | 2003 | 08 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 08 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1231 | > | 3*SIG |
| KATO | 12219S001 | 001 | 2003 | 08 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 08 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1231 | > | 3*SIG |
| KATO | 12219S001 | 001 | 2004 | 11 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 11 | 03 | 23 | 59 | 59 | 1295 | > | 3*SIG |
| KATO | 12219S001 | 001 | 2005 | 07 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 07 | 06 | 23 | 59 | 59 | 1330 | > | 3*SIG |
| KATO | 12219S001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| KATO | 12219S001 | 001 | 2006 | 07 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1383 | > | 3*SIG |
| KELY | 43005M001 | 001 | 2001 | 10 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 10 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1136 | > | 3*SIG |
| KIRO | 10422M001 | 001 | 1999 | 12 | 01 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 12 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1038 | > | 3*SIG |
| KIRO | 10422M001 | 001 | 1999 | 12 | 15 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 12 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1040 | > | 3*SIG |
| KIRO | 10422M001 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| KIRO | 10422M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| KIRU | 10403M002 | 001 | 1997 | 01 | 29 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 01 | 29 | 23 | 59 | 59 | 0890 | > | 3*SIG |
| KIRU | 10403M002 | 001 | 1999 | 03 | 17 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 03 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1001 | > | 3*SIG |
| KIRU | 10403M002 | 001 | 1999 | 04 | 21 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 04 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1006 | > | 3*SIG |
| KLOP | 14214M002 | 001 | 2000 | 02 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 02 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1049 | > | 3*SIG |
| KLOP | 14214M002 | 001 | 2001 | 10 | 24 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 10 | 24 | 23 | 59 | 59 | 1137 | > | 3*SIG |
| KLOP | 14214M002 | 001 | 2004 | 08 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 08 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1282 | > | 3*SIG |
| KRAW | 12218M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| KRAW | 12218M001 | 001 | 2006 | 07 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1383 | > | 3*SIG |
| LAGO | 13903M001 | 001 | 2001 | 04 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 04 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1109 | > | 3*SIG |
| LAGO | 13903M001 | 001 | 2003 | 10 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 10 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1239 | > | 3*SIG |
| LAGO | 13903M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| LAMA | 12209M001 | 001 | 1998 | 12 | 02 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 12 | 02 | 23 | 59 | 59 | 0986 | > | 3*SIG |
| LAMA | 12209M001 | 001 | 2000 | 02 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 02 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1049 | > | 3*SIG |
| LAMA | 12209M001 | 001 | 2000 | 03 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 03 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1051 | > | 3*SIG |
| LAMA | 12209M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| LAMP | 12706M002 | 001 | 2000 | 11 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 11 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1087 | > | 3*SIG |
| LAMP | 12706M002 | 001 | 2001 | 04 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 04 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1108 | > | 3*SIG |
| LAMP | 12706M002 | 001 | 2001 | 05 | 09 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 05 | 09 | 23 | 59 | 59 | 1113 | > | 3*SIG |
| LAMP | 12706M002 | 001 | 2001 | 05 | 30 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 05 | 30 | 23 | 59 | 59 | 1116 | > | 3*SIG |
| LAMP | 12706M002 | 001 | 2001 | 06 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 06 | 23 | 59 | 59 | 1117 | > | 3*SIG |
| LAMP | 12706M002 | 001 | 2001 | 06 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1118 | > | 3*SIG |
| LAMP | 12706M002 | 001 | 2001 | 06 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 20 | 23 | 59 | 59 | 1119 | > | 3*SIG |
| LINZ | 11033S001 | 001 | 2002 | 08 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 08 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1180 | > | 3*SIG |
| LINZ | 11033S001 | 001 | 2002 | 10 | 30 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 10 | 30 | 23 | 59 | 59 | 1190 | > | 3*SIG |
| LINZ | 11033S001 | 001 | 2006 | 01 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 01 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1356 | > | 3*SIG |
| LLIV | 13436M001 | 001 | 2001 | 04 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 04 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1109 | > | 3*SIG |
| LPAL | 81701M001 | 001 | 2002 | 08 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 08 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1181 | > | 3*SIG |
| LPAL | 81701M001 | 001 | 2002 | 09 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 09 | 18 | 23 | 59 | 59 | 1184 | > | 3*SIG |
| LPAL | 81701M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| LROC | 10023M001 | 001 | 2002 | 10 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 10 | 02 | 23 | 59 | 59 | 1186 | > | 3*SIG |
| LROC | 10023M001 | 001 | 2002 | 12 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 12 | 18 | 23 | 59 | 59 | 1197 | > | 3*SIG |
| MALL | 13444M001 | 001 | 2001 | 04 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 04 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1108 | > | 3*SIG |
| MALL | 13444M001 | 001 | 2003 | 08 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 08 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1231 | > | 3*SIG |
| MALL | 13444M001 | 001 | 2003 | 08 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 08 | 20 | 23 | 59 | 59 | 1232 | > | 3*SIG |
| MALL | 13444M001 | 001 | 2003 | 08 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 08 | 27 | 23 | 59 | 59 | 1233 | > | 3*SIG |
| MALL | 13444M001 | 001 | 2003 | 10 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 10 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1241 | > | 3*SIG |
| MANS | 10091M001 | 001 | 2005 | 10 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 10 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1344 | > | 3*SIG |
| MAR6 | 10405M002 | 001 | 2000 | 10 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 10 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1085 | > | 3*SIG |
| MARS | 10073M008 | 001 | 2003 | 10 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 10 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1241 | > | 3*SIG |
| MARS | 10073M008 | 001 | 2003 | 10 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 10 | 29 | 23 | 59 | 59 | 1242 | > | 3*SIG |
| MARS | 10073M008 | 001 | 2003 | 12 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 12 | 03 | 23 | 59 | 59 | 1247 | > | 3*SIG |
| MAS1 | 31303M002 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| MATE | 12734M008 | 001 | 2000 | 11 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 11 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1087 | > | 3*SIG |
| MATE | 12734M008 | 001 | 2003 | 03 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 03 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1211 | > | 3*SIG |
| MATE | 12734M008 | 001 | 2004 | 03 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 03 | 03 | 23 | 59 | 59 | 1260 | > | 3*SIG |
| MATE | 12734M008 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| MEDI | 12711M003 | 001 | 1997 | 04 | 23 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 04 | 23 | 23 | 59 | 59 | 0902 | > | 3*SIG |
| METS | 10503S011 | 001 | 1997 | 01 | 01 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 01 | 01 | 23 | 59 | 59 | 0886 | > | 3*SIG |
| METS | 10503S011 | 001 | 2001 | 02 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 02 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1103 | > | 3*SIG |
| METS | 10503S011 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| MLVL | 10092M001 | 001 | 2001 | 06 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 20 | 23 | 59 | 59 | 1119 | > | 3*SIG |
| MLVL | 10092M001 | 001 | 2001 | 07 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1121 | > | 3*SIG |
| MLVL | 10092M001 | 001 | 2001 | 07 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1122 | > | 3*SIG |
| MLVL | 10092M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| MOPI | 11507M001 | 001 | 2006 | 07 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1383 | > | 3*SIG |
| MORP | 13299S001 | 001 | 2004 | 12 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 12 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1301 | > | 3*SIG |
| MORP | 13299S001 | 001 | 2005 | 01 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1305 | > | 3*SIG |
| MORP | 13299S001 | 001 | 2005 | 05 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 05 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1321 | > | 3*SIG |
| MSEL | 12711M008 | 001 | 2006 | 07 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1384 | > | 3*SIG |
| NEWL | 13273M103 | 001 | 2004 | 10 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 10 | 27 | 23 | 59 | 59 | 1294 | > | 3*SIG |
| NICO | 14302M001 | 001 | 1998 | 04 | 08 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 04 | 08 | 23 | 59 | 59 | 0952 | > | 3*SIG |
| NICO | 14302M001 | 001 | 2005 | 09 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 09 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1339 | > | 3*SIG |
| NOT1 | 12717M004 | 001 | 2003 | 06 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 06 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1222 | > | 3*SIG |
| NPLD | 13234M003 | 001 | 2001 | 06 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1118 | > | 3*SIG |
| NPLD | 13234M003 | 001 | 2001 | 06 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 27 | 23 | 59 | 59 | 1120 | > | 3*SIG |
| NPLD | 13234M003 | 001 | 2001 | 12 | 05 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 05 | 23 | 59 | 59 | 1143 | > | 3*SIG |
| NPLD | 13234M003 | 001 | 2002 | 04 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 04 | 03 | 23 | 59 | 59 | 1160 | > | 3*SIG |
| NPLD | 13234M003 | 001 | 2004 | 08 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 08 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1285 | > | 3*SIG |
| NPLD | 13234M003 | 001 | 2004 | 09 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 09 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1286 | > | 3*SIG |
| N    |           |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |      |   |       |



|      |           |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |      |   |       |
|------|-----------|-----|------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|------|---|-------|
| NYIR | 11208M001 | 001 | 2005 | 01 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1306 | > | 3*SIG |
| OBE2 | 14208M003 | 001 | 2003 | 12 | 31 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 12 | 31 | 23 | 59 | 59 | 1251 | > | 3*SIG |
| ONSA | 10402M004 | 001 | 2000 | 09 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 09 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1079 | > | 3*SIG |
| ONSA | 10402M004 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| ONSA | 10402M004 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| ONSA | 10402M004 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| ONSA | 10402M004 | 001 | 2006 | 03 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 03 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1367 | > | 3*SIG |
| ORID | 15601M001 | 001 | 2000 | 08 | 30 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 08 | 30 | 23 | 59 | 59 | 1077 | > | 3*SIG |
| ORID | 15601M001 | 001 | 2000 | 12 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 12 | 06 | 23 | 59 | 59 | 1091 | > | 3*SIG |
| ORID | 15601M001 | 001 | 2004 | 01 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1255 | > | 3*SIG |
| OROS | 11207M001 | 001 | 2001 | 12 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1144 | > | 3*SIG |
| OROS | 11207M001 | 001 | 2002 | 07 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 07 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1175 | > | 3*SIG |
| OSJE | 11902M001 | 001 | 2001 | 05 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 05 | 02 | 23 | 59 | 59 | 1112 | > | 3*SIG |
| OSJE | 11902M001 | 001 | 2001 | 07 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1121 | > | 3*SIG |
| OSJE | 11902M001 | 001 | 2004 | 12 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 12 | 29 | 23 | 59 | 59 | 1303 | > | 3*SIG |
| OSJE | 11902M001 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| OSJE | 11902M001 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| OSJE | 11902M001 | 001 | 2005 | 09 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 09 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1340 | > | 3*SIG |
| OSLS | 10307M001 | 001 | 2002 | 01 | 23 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 01 | 23 | 23 | 59 | 59 | 1150 | > | 3*SIG |
| OSLS | 10307M001 | 001 | 2002 | 02 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 02 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1153 | > | 3*SIG |
| OSLS | 10307M001 | 001 | 2003 | 02 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 02 | 02 | 23 | 59 | 59 | 1204 | > | 3*SIG |
| OSLS | 10307M001 | 001 | 2005 | 12 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 12 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1352 | > | 3*SIG |
| OSLS | 10307M001 | 001 | 2006 | 01 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 01 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1359 | > | 3*SIG |
| PADO | 12750S001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| PDEL | 31906M004 | 001 | 2001 | 09 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 09 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1131 | > | 3*SIG |
| PDEL | 31906M004 | 001 | 2001 | 12 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1144 | > | 3*SIG |
| PDEL | 31906M004 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| PFAN | 11005S002 | 001 | 1997 | 10 | 15 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 10 | 15 | 23 | 59 | 59 | 0927 | > | 3*SIG |
| PFAN | 11005S002 | 001 | 1997 | 12 | 03 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 12 | 03 | 23 | 59 | 59 | 0934 | > | 3*SIG |
| PFAN | 11005S002 | 001 | 1997 | 12 | 17 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 12 | 17 | 23 | 59 | 59 | 0936 | > | 3*SIG |
| PFAN | 11005S002 | 001 | 1999 | 12 | 08 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 12 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1039 | > | 3*SIG |
| PFAN | 11005S002 | 001 | 2001 | 03 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1105 | > | 3*SIG |
| PFAN | 11005S002 | 001 | 2001 | 08 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 08 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1128 | > | 3*SIG |
| POLV | 12336M001 | 001 | 2004 | 01 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1254 | > | 3*SIG |
| POLV | 12336M001 | 001 | 2004 | 01 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1255 | > | 3*SIG |
| POTS | 14106M003 | 001 | 2000 | 05 | 24 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 24 | 23 | 59 | 59 | 1063 | > | 3*SIG |
| POTS | 14106M003 | 001 | 2000 | 08 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 08 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1075 | > | 3*SIG |
| POTS | 14106M003 | 001 | 2000 | 12 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 12 | 27 | 23 | 59 | 59 | 1094 | > | 3*SIG |
| POTS | 14106M003 | 001 | 2002 | 09 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 09 | 18 | 23 | 59 | 59 | 1184 | > | 3*SIG |
| POTS | 14106M003 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| PTBB | 14234M001 | 001 | 2006 | 07 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1383 | > | 3*SIG |
| RABT | 35001M002 | 001 | 2001 | 03 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1104 | > | 3*SIG |
| RABT | 35001M002 | 001 | 2001 | 03 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1105 | > | 3*SIG |
| RABT | 35001M002 | 001 | 2001 | 03 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1107 | > | 3*SIG |
| RABT | 35001M002 | 001 | 2001 | 04 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 04 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1108 | > | 3*SIG |
| RABT | 35001M002 | 001 | 2001 | 06 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 06 | 23 | 59 | 59 | 1117 | > | 3*SIG |
| RABT | 35001M002 | 001 | 2003 | 09 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 09 | 03 | 23 | 59 | 59 | 1234 | > | 3*SIG |
| REDU | 13102M001 | 001 | 2005 | 02 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 02 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1310 | > | 3*SIG |
| REDU | 13102M001 | 001 | 2005 | 12 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 12 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1354 | > | 3*SIG |
| REDU | 13102M001 | 001 | 2006 | 01 | 18 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 01 | 18 | 23 | 59 | 59 | 1358 | > | 3*SIG |
| REDU | 13102M001 | 001 | 2006 | 02 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1361 | > | 3*SIG |
| REDU | 13102M001 | 001 | 2006 | 02 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1362 | > | 3*SIG |
| REDU | 13102M001 | 001 | 2006 | 03 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 03 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1365 | > | 3*SIG |
| REYK | 10202M001 | 001 | 2000 | 03 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 03 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1051 | > | 3*SIG |
| REYK | 10202M001 | 001 | 2000 | 03 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 03 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1052 | > | 3*SIG |
| REYK | 10202M001 | 001 | 2000 | 06 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 06 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1065 | > | 3*SIG |
| REYK | 10202M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| RIGA | 12302M002 | 001 | 1998 | 11 | 11 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 11 | 11 | 23 | 59 | 59 | 0983 | > | 3*SIG |
| RIGA | 12302M002 | 001 | 2001 | 07 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1124 | > | 3*SIG |
| RIGA | 12302M002 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| RIGA | 12302M002 | 001 | 2005 | 11 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 11 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1349 | > | 3*SIG |
| SBGZ | 11031S001 | 001 | 2000 | 01 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 01 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1045 | > | 3*SIG |
| SBGZ | 11031S001 | 001 | 2000 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1046 | > | 3*SIG |
| SBGZ | 11031S001 | 001 | 2005 | 02 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 02 | 02 | 23 | 59 | 59 | 1308 | > | 3*SIG |
| SBGZ | 11031S001 | 001 | 2005 | 12 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 12 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1354 | > | 3*SIG |
| SBGZ | 11031S001 | 001 | 2005 | 12 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 12 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1355 | > | 3*SIG |
| SBGZ | 11031S001 | 001 | 2006 | 07 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 07 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1384 | > | 3*SIG |
| SJDV | 10090M001 | 001 | 2000 | 05 | 31 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 31 | 23 | 59 | 59 | 1064 | > | 3*SIG |
| SJDV | 10090M001 | 001 | 2001 | 07 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1121 | > | 3*SIG |
| SJDV | 10090M001 | 001 | 2003 | 01 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1200 | > | 3*SIG |
| SJDV | 10090M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| SKEO | 10426M001 | 001 | 2004 | 12 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 12 | 29 | 23 | 59 | 59 | 1303 | > | 3*SIG |
| SKEO | 10426M001 | 001 | 2006 | 01 | 11 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 01 | 11 | 23 | 59 | 59 | 1357 | > | 3*SIG |
| SMID | 10114M001 | 001 | 2003 | 07 | 09 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 07 | 09 | 23 | 59 | 59 | 1226 | > | 3*SIG |
| SMID | 10114M001 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| SODA | 10513M001 | 001 | 2000 | 02 | 09 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 02 | 09 | 23 | 59 | 59 | 1048 | > | 3*SIG |
| SODA | 10513M001 | 001 | 2000 | 02 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 02 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1049 | > | 3*SIG |
| SODA | 10513M001 | 001 | 2002 | 02 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 02 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1153 | > | 3*SIG |
| SOFI | 11101M002 | 001 | 1998 | 01 | 28 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 01 | 28 | 23 | 59 | 59 | 0942 | > | 3*SIG |
| SOFI | 11101M002 | 001 | 1998 | 04 | 08 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 04 | 08 | 23 | 59 | 59 | 0952 | > | 3*SIG |
| SOFI | 11101M002 | 001 | 2000 | 05 | 10 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 10 | 23 | 59 | 59 | 1061 | > | 3*SIG |
| SOFI | 11101M002 | 001 | 2003 | 01 | 29 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 01 | 29 | 23 | 59 | 59 | 1203 | > | 3*SIG |
| SPTO | 10425M001 | 001 | 2004 | 01 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1255 | > | 3*SIG |
| STAS | 10330M001 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| SVTL | 12350M001 | 001 | 1997 | 11 | 26 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 11 | 26 | 23 | 59 | 59 | 0933 | > |       |

## 380 APPENDICE C. ELENCO DELLE DISCONTINUITÀ E DEGLI OUTLIERS

|      |           |     |      |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |      |   |       |
|------|-----------|-----|------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|------|---|-------|
| THU1 | 43001M001 | 001 | 2002 | 04 | 10 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 04 | 10 | 23 | 59 | 59 | 1161 | > | 3*SIG |
| THU1 | 43001M001 | 001 | 2002 | 06 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 06 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1171 | > | 3*SIG |
| TLSE | 10003M009 | 001 | 2001 | 06 | 27 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 27 | 23 | 59 | 59 | 1120 | > | 3*SIG |
| TLSE | 10003M009 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| TLSE | 10003M009 | 001 | 2006 | 06 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 06 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1379 | > | 3*SIG |
| TRAB | 20808M001 | 001 | 2002 | 06 | 12 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 06 | 12 | 23 | 59 | 59 | 1170 | > | 3*SIG |
| TRDS | 10331M001 | 001 | 2004 | 12 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 12 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1302 | > | 3*SIG |
| TRO1 | 10302M006 | 001 | 2005 | 02 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 02 | 02 | 23 | 59 | 59 | 1308 | > | 3*SIG |
| TRO1 | 10302M006 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| TUBI | 20806M001 | 001 | 1999 | 08 | 25 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 08 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1024 | > | 3*SIG |
| TUBI | 20806M001 | 001 | 1999 | 09 | 01 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 09 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1025 | > | 3*SIG |
| TUBI | 20806M001 | 001 | 1999 | 09 | 15 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 09 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1027 | > | 3*SIG |
| TUBI | 20806M001 | 001 | 1999 | 09 | 22 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 09 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1028 | > | 3*SIG |
| TUBI | 20806M001 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| TUBO | 11503M001 | 001 | 2002 | 08 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 08 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1179 | > | 3*SIG |
| TUBO | 11503M001 | 001 | 2002 | 12 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 12 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1198 | > | 3*SIG |
| UNPG | 12752M001 | 001 | 2001 | 06 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1118 | > | 3*SIG |
| UNPG | 12752M001 | 001 | 2006 | 03 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 03 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1364 | > | 3*SIG |
| UZHL | 12301M001 | 001 | 1999 | 11 | 17 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 11 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1036 | > | 3*SIG |
| UZHL | 12301M001 | 001 | 2000 | 02 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 02 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1049 | > | 3*SIG |
| UZHL | 12301M001 | 001 | 2000 | 09 | 20 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 09 | 20 | 23 | 59 | 59 | 1080 | > | 3*SIG |
| UZHL | 12301M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| UZHL | 12301M001 | 001 | 2006 | 06 | 21 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 06 | 21 | 23 | 59 | 59 | 1380 | > | 3*SIG |
| VAAS | 10511M001 | 001 | 1998 | 12 | 30 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 12 | 30 | 23 | 59 | 59 | 0990 | > | 3*SIG |
| VAAS | 10511M001 | 001 | 1999 | 09 | 15 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 09 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1027 | > | 3*SIG |
| VAAS | 10511M001 | 001 | 1999 | 09 | 22 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 09 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1028 | > | 3*SIG |
| VARS | 10322M002 | 001 | 2001 | 01 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1097 | > | 3*SIG |
| VEVE | 12741M001 | 001 | 2006 | 06 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 06 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1381 | > | 3*SIG |
| VILL | 13406M001 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| VILL | 13406M001 | 001 | 2006 | 02 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1361 | > | 3*SIG |
| VILL | 13406M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| VISO | 10423M001 | 001 | 1997 | 04 | 09 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 04 | 09 | 23 | 59 | 59 | 0900 | > | 3*SIG |
| VISO | 10423M001 | 001 | 1998 | 05 | 27 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 05 | 27 | 23 | 59 | 59 | 0959 | > | 3*SIG |
| VISO | 10423M001 | 001 | 1999 | 07 | 07 | 00 | 00 | 00 | 1999 | 07 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1017 | > | 3*SIG |
| VLNS | 10801M001 | 001 | 2004 | 01 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 01 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1252 | > | 3*SIG |
| VLNS | 10801M001 | 001 | 2004 | 06 | 16 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 06 | 16 | 23 | 59 | 59 | 1275 | > | 3*SIG |
| VLNS | 10801M001 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| WARE | 13114M001 | 001 | 1996 | 08 | 21 | 00 | 00 | 00 | 1996 | 08 | 21 | 23 | 59 | 59 | 0867 | > | 3*SIG |
| WARE | 13114M001 | 001 | 1996 | 09 | 25 | 00 | 00 | 00 | 1996 | 09 | 25 | 23 | 59 | 59 | 0872 | > | 3*SIG |
| WARE | 13114M001 | 001 | 1997 | 08 | 06 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 08 | 06 | 23 | 59 | 59 | 0917 | > | 3*SIG |
| WARE | 13114M001 | 001 | 2001 | 07 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 07 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1124 | > | 3*SIG |
| WARE | 13114M001 | 001 | 2001 | 08 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 08 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1128 | > | 3*SIG |
| WARE | 13114M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| WROC | 12217M001 | 001 | 2000 | 05 | 24 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 24 | 23 | 59 | 59 | 1063 | > | 3*SIG |
| WROC | 12217M001 | 001 | 2000 | 06 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 06 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1066 | > | 3*SIG |
| WROC | 12217M001 | 001 | 2000 | 08 | 02 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 08 | 02 | 23 | 59 | 59 | 1073 | > | 3*SIG |
| WROC | 12217M001 | 001 | 2002 | 10 | 09 | 00 | 00 | 00 | 2002 | 10 | 09 | 23 | 59 | 59 | 1187 | > | 3*SIG |
| WSRT | 13506M005 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| WSRT | 13506M005 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 1997 | 01 | 08 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 01 | 08 | 23 | 59 | 59 | 0887 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2001 | 08 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 08 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1126 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2001 | 12 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1145 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2001 | 12 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 12 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1146 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2003 | 05 | 14 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 05 | 14 | 23 | 59 | 59 | 1218 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2003 | 06 | 25 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 06 | 25 | 23 | 59 | 59 | 1224 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2003 | 08 | 13 | 00 | 00 | 00 | 2003 | 08 | 13 | 23 | 59 | 59 | 1231 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2005 | 06 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 06 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1325 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2005 | 08 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 08 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1336 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| WTZR | 14201M010 | 001 | 2006 | 03 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 03 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1365 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2000 | 11 | 01 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 11 | 01 | 23 | 59 | 59 | 1086 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2000 | 11 | 15 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 11 | 15 | 23 | 59 | 59 | 1088 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2000 | 12 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 12 | 06 | 23 | 59 | 59 | 1091 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2001 | 01 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 01 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1097 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2001 | 02 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 02 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1103 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2001 | 03 | 07 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 07 | 23 | 59 | 59 | 1104 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2001 | 03 | 28 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 03 | 28 | 23 | 59 | 59 | 1107 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2001 | 06 | 06 | 00 | 00 | 00 | 2001 | 06 | 06 | 23 | 59 | 59 | 1117 | > | 3*SIG |
| YEBE | 13420M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| ZECK | 12351M001 | 001 | 1997 | 12 | 17 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 12 | 17 | 23 | 59 | 59 | 0936 | > | 3*SIG |
| ZIMM | 14001M004 | 001 | 1997 | 05 | 28 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 05 | 28 | 23 | 59 | 59 | 0907 | > | 3*SIG |
| ZIMM | 14001M004 | 001 | 1997 | 08 | 13 | 00 | 00 | 00 | 1997 | 08 | 13 | 23 | 59 | 59 | 0918 | > | 3*SIG |
| ZIMM | 14001M004 | 001 | 1998 | 05 | 13 | 00 | 00 | 00 | 1998 | 05 | 13 | 23 | 59 | 59 | 0957 | > | 3*SIG |
| ZIMM | 14001M004 | 001 | 2005 | 01 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2005 | 01 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1307 | > | 3*SIG |
| ZIMM | 14001M004 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| ZIMM | 14001M004 | 001 | 2006 | 03 | 08 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 03 | 08 | 23 | 59 | 59 | 1365 | > | 3*SIG |
| ZOUF | 12763M001 | 001 | 2004 | 08 | 04 | 00 | 00 | 00 | 2004 | 08 | 04 | 23 | 59 | 59 | 1282 | > | 3*SIG |
| ZOUF | 12763M001 | 001 | 2006 | 02 | 22 | 00 | 00 | 00 | 2006 | 02 | 22 | 23 | 59 | 59 | 1363 | > | 3*SIG |
| ZWEN | 12330M001 | 001 | 2000 | 04 | 19 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 04 | 19 | 23 | 59 | 59 | 1058 | > | 3*SIG |
| ZWEN | 12330M001 | 001 | 2000 | 04 | 26 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 04 | 26 | 23 | 59 | 59 | 1059 | > | 3*SIG |
| ZWEN | 12330M001 | 001 | 2000 | 05 | 03 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 03 | 23 | 59 | 59 | 1060 | > | 3*SIG |
| ZWEN | 12330M001 | 001 | 2000 | 05 | 10 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 10 | 23 | 59 | 59 | 1061 | > | 3*SIG |
| ZWEN | 12330M001 | 001 | 2000 | 05 | 17 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 17 | 23 | 59 | 59 | 1062 | > | 3*SIG |
| ZWEN | 12330M001 | 001 | 2000 | 05 | 24 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 24 | 23 | 59 | 59 | 1063 | > | 3*SIG |
| ZWEN | 12330M001 | 001 | 2000 | 05 | 31 | 00 | 00 | 00 | 2000 | 05 | 31 | 23 | 59 | 59 | 1    |   |       |

ZYWI 12220S001 001 2004 10 27 00 00 00 2004 10 27 23 59 59 1294 > 3\*SIG  
 ZYWI 12220S001 001 2006 02 22 00 00 00 2006 02 22 23 59 59 1363 > 3\*SIG

TYPE 004: STATION COORDINATES AND VELOCITIES (ADDNEQ)

| STATION NAME 1  | STATION NAME 2  | RELATIVE CONSTR. POSITION |          |          | RELATIVE CONSTR. VELOCITY |          |          |
|-----------------|-----------------|---------------------------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|
|                 |                 | NORTH                     | EAST     | UP       | NORTH                     | EAST     | UP       |
| *****           | *****           | **,****                   | **,****  | **,****  | **,****                   | **,****  | **,****  |
| ANKR 20805M002B | ANKR 20805M002A | 00.01500                  | 00.01500 | 00.01500 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| BOR1 12205M002B | BOR1 12205M002A | 99.99999                  | 99.99999 | 99.99999 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| BRUS 13101M004B | BRUS 13101M004A | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| BZRG 12751M001B | BZRG 12751M001A | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| CEUT 13449M001B | CEUT 13449M001A | 00.00010                  | 00.00010 | 00.00010 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| CREU 13432M001B | CREU 13432M001A | 00.00010                  | 00.00010 | 00.00010 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| CREU 13432M001C | CREU 13432M001B | 00.00010                  | 00.00010 | 00.00010 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| DOUR 13113M001B | DOUR 13113M001A | 00.00010                  | 00.00010 | 00.00010 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| DRES 14108M001B | DRES 14108M001A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.00300 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| EUSK 14258M003B | EUSK 14258M003A | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| GRAS 10002M006B | GRAS 10002M006A | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| GRAZ 11001M002B | GRAZ 11001M002A | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| GRAZ 11001M002C | GRAZ 11001M002B | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| GRAZ 11001M002D | GRAZ 11001M002C | 00.00100                  | 00.00100 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| HOFN 10204M002B | HOFN 10204M002A | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| KARL 14216M001B | KARL 14216M001A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.04000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| KARL 14216M001C | KARL 14216M001B | 00.00100                  | 00.00100 | 00.04000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| KELY 43005M001B | KELY 43005M001A | 99.99999                  | 99.99999 | 99.99999 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| KLOP 14214M002B | KLOP 14214M002A | 99.99999                  | 99.99999 | 99.99999 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| KLOP 14214M002C | KLOP 14214M002B | 99.99999                  | 99.99999 | 99.99999 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| KOSG 13504M003B | KOSG 13504M003A | 00.00010                  | 00.00010 | 00.00010 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| LAMA 12209M001B | LAMA 12209M001A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.00100 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| MATE 12734M008B | MATE 12734M008A | 99.99999                  | 99.99999 | 99.99999 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| MALL 13444M001B | MALL 13444M001A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.00100 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| NPLD 13234M003B | NPLD 13234M003A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.00100 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| NICO 14302M001B | NICO 14302M001A | 00.00001                  | 00.00001 | 00.05000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| ONSA 10402M004B | ONSA 10402M004A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.01000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| PENC 11206M006B | PENC 11206M006A | 00.00200                  | 00.00200 | 00.02000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| PFAN 11005S002B | PFAN 11005S002A | 00.00700                  | 00.00700 | 00.02000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| PFAN 11005S002C | PFAN 11005S002B | 00.02000                  | 00.02000 | 00.05000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| RAMO 20703S001B | RAMO 20703S001A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.01000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| RAMO 20703S001C | RAMO 20703S001B | 00.00100                  | 00.00100 | 00.01000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| REYK 10202M001B | REYK 10202M001A | 00.02000                  | 00.02000 | 00.03000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| REYK 10202M001C | REYK 10202M001B | 00.02000                  | 00.02000 | 00.03000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| RIGA 12302M002B | RIGA 12302M002A | 00.00100                  | 00.00400 | 00.00400 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| SFER 13402M004B | SFER 13402M004A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.01000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| SFER 13402M004C | SFER 13402M004B | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| SVTL 12350M001B | SVTL 12350M001A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.01000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| TR01 10302M006B | TR01 10302M006A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.01000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| TR01 10302M006C | TR01 10302M006B | 00.00100                  | 00.00100 | 00.01000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| UNPG 12752M001B | UNPG 12752M001A | 00.00400                  | 00.00400 | 00.01000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| UNPG 12752M001C | UNPG 12752M001B | 00.00400                  | 00.00400 | 00.03000 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| VENE 12741M001B | VENE 12741M001A | 99.99999                  | 99.99999 | 99.99999 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| WARE 13114M001B | WARE 13114M001A | 00.00100                  | 00.00100 | 00.00100 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| WARE 13114M001C | WARE 13114M001B | 00.00100                  | 00.00100 | 00.00100 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |
| ZIMM 14001M004B | ZIMM 14001M004A | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 | 00.00001                  | 00.00001 | 00.00001 |

TYPE 005: HANDLING STATION TYPES

| STATION NAME | FLG | FROM                | TO                  | MARKER TYPE | REMARK |
|--------------|-----|---------------------|---------------------|-------------|--------|
| *****        | *** | YYYY MM DD HH MM SS | YYYY MM DD HH MM SS | *****       | *****  |



# Bibliografia

- [1] C.M.R Fowler, *The Solid Earth, an introduction to Global Geophysics*, Cambridge University Press.
- [2] D. L. Turcotte, G. Schubert, *Geodynamics*, Cambridge University Press.
- [3] B. Hoffmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins, *GPS: Theory and Practice*, Springer.
- [4] U. Hugentobler, R. Dach, P. Fridez, M. Meindl, *The Bernese GPS Software Version 5.0*.
- [5] H. Moritz, *Advanced Physical Geodesy*, Herbert Wichmann Verlag Karlsruhe, 1980.
- [6] K. R. Koch, *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models*, Springer, 1989.
- [7] A. Cina, *GPS - Principi, modalità e tecniche di posizionamento*, CELID, 2000.
- [8] W. Torge, *Geodesy*, De Gruyter.
- [9] E. Brockman, *Combination of solutions for geodetic and geodynamic applications of the global positioning system (GPS)*, Ph. d. thesis.
- [10] J. M. Noquet, *MESURE DE LA DEFORMATION CRUSTALE EN EUROPE OCCIDENTALE PAR GEODESIE SPATIALE*, Ph. d. thesis.
- [11] W. Gurtner, C. Boucher, C. Bruyninx, H. V. D. Marel, *The use of the IGS/EUREF Permanent Network For Euref Densification Campaign*
- [12] A. Caporali, *Average strain rate in the Italian crust inferred from a permanent GPS Network - I Statistical analysis of the time-series of permanent GPS stations*, *Geophys. J. Int.* (2003) 155, 241-253.
- [13] A. Caporali, S. Martin, M. Massironi, *Average strain rate in the Italian crust inferred from a permanent GPS Network - II Strain rate versus seismicity and structural geology*, *Geophys. J. Int.* (2003) 155, 254-268.

- [14] A. Caporali, Adding geodetic strain rate data to a seismogenic context. *BOLLETTINO DI GEOFISICA TEORICA E APPLICATA*. (2006) 47, 455-479
- [15] D. Dong, T. A. Herring, R. W. King, Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data, *Journal of Geodesy*, (1998) 72: 200-214.
- [16] E. Serpelloni, M. Anzidei, P. Baldi, G. Casula, A. Galvani, Crustal velocities and strain rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non permanent GPS Networks, *Geophys. J. Int.* (2005) 161, 861-880.
- [17] E. Serpelloni, G. Vannucci, S. Pondrelli, A. Argnani, G. Casula, M. Anzidei, P. Baldi, P. Gasperini, Kinematics of the Western Africa-Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data, *Geophys. J. Int.* (2007) 169, 1180-1200.
- [18] M. Tesauro, Christine Hollenstein, Ramon Egli, Alain Geiger, Hans-Gert Hahle, Analysis of central western Europe deformation using GPS and seismic data, *Journal of Geodynamics*, (2006) 42, 194-209.
- [19] E. Calais, Continuous GPS measurements across western Alps, 1996-1998, *Geophys. J. International* (1999) 138, 221-230.
- [20] J. M. Noquet, E. Calais, Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996-2001, *Geophys. J. International* (2003) 154, 72-88.
- [21] S. M. C. Alves, M. C. Santos, C. Germael, A velocity field estimation of the Brazilian portion of the SOAM plate, *GPS solutions*, (2003), 7, 186-193.
- [22] I. Takos, Adjustment of observation equations without full rank, *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 1999, N.2.
- [23] P. Sillard, C. Boucher, A review of algebraic constraints in terrestrial reference frame datum definition, *Journal of Geodesy*, (2001) 75, 63-73.
- [24] J. Langbein, H. Johnson, Correlated errors in geodetic time series: Implications for time-dependent deformation, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. B1, Pages 591-603.
- [25] P. Davies, G. Blewitt, Methodology for global geodetic time series estimation: A new tool for geodynamics, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, No. B5, Pages 11,083-11,100.
- [26] A. Mao, C. G. A. Harrison, T. Dixon, Noise in GPS coordinate time series, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No. B2, Pages 2797-2816.

- [27] R. M. S. Fernandes, J. M. Miranda, B. M. L. Meijninger, M. S. Bros, R. Noomen, L. Bastos, B. A.C. Ambrosius, R. E. M. Riva, Surface velocity field of the Ibero-Maghrebian segment of the Eurasia-Nubia plate boundary, *Geophys. J. Int.* (2007) 169, 415-324.
- [28] El-Fiky, G. S. Kato, Continuous distribution of the horizontal strain rate in the Tohoku district, Japan, predicted by least-squares collocation, *J. Geodyn.* (1999), 27, 213-236.
- [29] J. C. Wu, H. W. Tang, Y. Q. Chen, Y. X. Li, The current strain distribution in the North China Basin of eastern China by Least-squares collocation, *J. Geodyn.* (2006), 41, 462-470.
- [30] Jianqing Cai, Erik W. Grafarend, Statistical analysis of geodetic deformation (strain-rate) derived from the space geodetic measurements of BIFROST Project in Fennoscandia, *J. Geodyn.* (2007), 43, 214-238.
- [31] H. G. Kahle, M. V. Muller, A. Geiger, G. Danuser, S. Mueller, G. Veis, H. Billiris, D. Paradissis, The strain field in northwestern Greece and in the Ionian Islands: results inferred from GPS measurements, *Tectonophysics* (1995) 249, 41-52.
- [32] Ch. Hollenstein, A. Geiger, H. G. Kahle, G. Veis, CGPS time-series and trajectories of crustal motion along the West Hellenic Arc, *Geophys. J. Int.* (2006) 164, 182-191
- [33] H. G. Kahle, M. Cocard, Y. Peter, A. Geiger, R. Reilinger, A. Barka, G. Veis, GPS-derived strain rate field within the boundary zones of Eurasian, African and Arabian Plates, *Journal of Geophys. Res.* (2000), 23, 353-370.
- [34] H. G. Kahle, Christian Straub, Robert Reilingerb, Simon McCluskyb, Robert Kingb, Kenneth Hurstc, George Veisd, Kim Kastense and Paul Cross, The strain rate field in the eastern Mediterranean region, estimated by repeated GPS measurements, *Tectonophysics*, (1998), 294, 237-252.
- [35] R. Egli, A. Geiger, A. Wiget, H. G. Kahle, A modified least-squares collocation method for the determination of crustal deformation: first results in the Swiss Alps, *Geophys. J. Int.* (2006) 168, 1-12.
- [36] H. G. Kahle, M. Cocard, Y. Peter, A. Geiger, R. Reilinger, S. McClusky, R. King, A. Barka, G. Veis, The GPS strain rate field in the Aegean Sea and western Anatolia, *Geophys. Res. Letters*, (1999), 26, 2513-2516.
- [37] C. Boucher, Z. Altamimi, Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, EUREF memorandum.
- [38] Z. Altamimi, C. Boucher, D. Gambis, Long-term stability of the terrestrial reference frame, *Advances in space research* (2005), 36, 342-349.

- [39] A. Kenyeres, C. Bruyninx, EPN coordinate time series monitoring for reference frame maintenance, *GPS solutions* (2004) 8, 200-209.
- [40] H. Habrich, EUREF Regional Densification of ITRF 2005 (Draft), EUREF report.
- [41] C. Braitenberg, I. Nagy, M. Negusini, C. Romagnoli, M. Zadro, S. Zerbini, Geodetic measurements of the northern border of the Adria plate, *Journal of Geodynamics*, (2001) 32, 267-286.
- [42] E. Calais, J. Y. Han, C. DeMets, J. M. Noquet, Deformation of the North American plate interior from a decade of GPS measurements, *J. Geophys. Res.*, (2006), 111, B06402.
- [43] O. Vestol, Determination of postglacial land uplift in Fennoscandia from leveling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation, *J. Geod.*(2006) 80:248-258.
- [44] G. Grenerczy, I. Fejes, A. Kenyeres, Present crustal deformation pattern in the Pancardi Region: Constraints from Space Geodesy, EGU Stephan Mueller Special Publications series, 3,65-77, 2002.
- [45] R. Drescher, M. Becker, E. Schoenemann, Preliminary Central European Intraplate Velocities from CEGRN campaigns 1994 to 2005, (report).
- [46] CEGRN Reprocessing Guidelines V1.3.
- [47] G. Blewitt and D. Lavallée, Effect of annual signals on geodetic velocity, *JGR B* 107 (2002), p. B7 10.1029/2001JB000570.
- [48] A. Kenyeres, EPN COORDINATE TIME SERIES ANALYSIS, [http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/projects/series\\_sp/index.php](http://www.epncb.oma.be/_organisation/projects/series_sp/index.php)
- [49] J. Legrand, Z. Altamimi, J. Olivier, Interpolation of the European velocity field using least squares collocation method, EUREF symposium 2006.
- [50] Steigenberger, P, M. Rothacher, R. Dietrich, M. Fritsche, A. Rülke, and S. Vey (2006). Reprocessing of a global GPS network. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 111, B05402.
- [51] Z. Altamimi, P. Sillard, C. Boucher, ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 107, NO. B10, 2214, doi:10.1029/2001JB000561, 2002.



- [52] Z. Altamimi, X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt, C. Boucher, ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 112, B09401, doi:10.1029/2007JB004949, 2007