



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE

LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA AEROSPAZIALE

PROCEDURE DI ELABORAZIONE DATI GNSS CON SOFTWARE BERNESE

Relatore

prof. Alessandro Caporali

Correlatore

Ing. Mauro Bertocco

Laureando

Bishnu Brescacin

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

A mia mamma e ai miei nonni,
che hanno sempre creduto in me.

Agli amici di sempre,
perchè lo studio, della vita, ne è solo una parte.

Al prof. A. Caporali e all'Ing. Mauro,
per la pazienza e il supporto in questi mesi.

Sommario

I GNSS (Global Navigation Satellite System) sono i sistemi satellitari di navigazione globale il cui scopo principale è la determinazione della posizione di un qualsiasi ricevitore situato sul suolo terrestre, ad esempio uno smartphone o un navigatore. L'elaborato di questa tesi si concentra sui livelli di precisione più elevati, che richiedono una sofisticata elaborazione dei dati e, di conseguenza, un ampio intervallo di tempo per il calcolo.

Nello specifico, questa trattazione è stata sviluppata col fine di spiegare cosa sia l'elaborazione dei dati GNSS eseguita dal software *Bernese*; in particolare, si concentra su quali siano e come vengono generati i files necessari all'implementazione della stessa. Per affrontare questo tema è necessario comprendere cosa siano il sistema GNSS e i files Rinex: nei primi capitoli, pertanto, verranno spiegati alcuni concetti e strumenti base dell'elaborazione dati.

A partire delle coordinate approssimate del ricevitore (informazione recapitata dal file Rinex), viene illustrato l'iter di inserimento di una nuova stazione all'interno di una rete preesistente tramite i tools del software. L'inserimento, in breve, consiste nella generazione di files che contengono la stima delle coordinate a priori o il modello della placca tettonica in cui giacciono le nuove stazioni. Conclusi questi passaggi si dispone di tutti i files necessari alla procedura di elaborazione dati. Quest'ultima viene lanciata dall'utente e il software, tramite scripts sviluppati in precedenza, impiega i files appena generati per stimare la posizione esatta dei ricevitori nei sistemi di riferimento geocentrici ECEF e LLA. Il sistema ECEF (Earth-Centered Earth-Fixed) ha l'origine degli assi fissato al centro della Terra, è solidale rispetto la rotazione della Terra, ha un asse z lungo la direzione di massima inerzia e gli altri due sul piano equatoriale terrestre a 90° rispetto z ; il sistema LLA (Latitude, Longitude, Altitude) è anch'esso geocentrico ma di più semplice intuizione in quanto la terna è costituita da latitudine (altezza rispetto l'equatore), longitudine (shift rispetto il meridiano Greenwich) ed altitudine (quota rispetto il livello del mare).

Per poter compiere i vari passaggi, oltre al software *Bernese*, sono stati utilizzati anche *Matlab* e *Google Earth*, entrambi volti alla geolocalizzazione delle nuove stazioni.

Indice

Sommario	iii
1 Introduzione	1
2 Il GNSS	3
2.1 Descrizione del GNSS	3
2.2 I sistemi GNSS	5
2.2.1 GPS	7
2.2.2 GLONASS	8
2.2.3 Galileo	8
2.2.4 BeiDou	9
2.2.5 IRNSS	9
2.2.6 QZSS	10
2.2.7 SBAS	11
3 Il progetto MGEX	13
4 Le Osservabili	19
4.1 Epoca	19
4.2 Segnale GNSS	20
4.2.1 GPS	20
4.2.2 GLONASS	20
4.2.3 Galileo	22
4.2.4 Architettura di un Ricevitore GNSS	23
4.3 Le Orbite	24
4.3.1 Orbite Broadcast	24
4.3.2 Orbite SP3	26
4.4 Pseudorange	27
4.4.1 Modello semplificato di Pseudorange	27
4.4.2 Errori casuali	28
4.4.3 Errori Sistematici	28
4.4.4 Errori di Osservazione	31
4.4.5 Errori di strumentazione	31
4.4.6 Equazione pseudorange	32
4.5 Fase	33
4.6 Doppler	33

5	Tecniche di Posizionamento	35
5.1	Posizionamento Assoluto	35
5.2	Posizionamento Relativo	35
5.2.1	Posizionamento Differenziale	38
5.2.2	Real Time Kinematic Positioning	38
6	Il file RINEX	39
6.1	Rinex 2.xx	40
6.2	Rinex SMT	49
6.3	Rinex 3.xx	50
7	Il <i>Bernese</i>	71
7.1	La cartella CAMPAIN52	73
7.1.1	La campagna giornaliera	73
7.1.2	La campagna settimanale	74
7.2	Interfaccia del Software	74
8	Procedura di Inserimento	77
8.1	Settaggio dell'Epoca	77
8.2	Verifica posizionamento	79
8.3	STA file	82
8.4	CRD file	83
8.5	PLD file	84
8.6	VEL file	85
8.7	UPA_2014.CRD file	87
8.8	ATL file	89
8.9	BLQ file	90
8.10	CLU file	92
9	Scripts Principali per l'elaborazione dati GNSS	95
9.1	Perl Scripts	95
9.1.1	Downloadu52.pl	95
9.1.2	Prctu52.pl	96
9.2	Script bash	97
9.2.1	Itarapid.sh	97
9.2.2	Itafinal.sh	98
10	Conclusioni	99
10.1	La soluzione giornaliera	99
10.2	La soluzione settimanale	105
10.3	Il Bollettino Bernese	108
A	Scripts Perl e Bash	109
A.1	Today.pl	109
A.2	Downloadu52.pl	111
A.3	prcd52u.pl	114
A.4	itarapid.sh	117
A.5	itafinal.sh	120

A.6	Input_matlab.pl	123
B	Scripts e Output MatLab	125
B.1	XYZ2NEU.m	125
B.2	ECEF2LLA.kml	127
C	Scripts implementati durante l'elaborazione dei dati GNSS	129
D	Bollettino Bernese	131
	Bibliografia	134

Elenco delle figure

2.1	La precisione della localizzazione è minima quando un dispositivo riceve il segnale da almeno quattro satelliti	3
2.2	Segmento spaziale della costellazione Galileo	4
2.3	Ricevitore e Antenna di una stazione di ricevimento Multi GNSS	4
2.4	Calcolo delle medie nei cluster per $\tau = 2s$	5
2.5	A sinistra orologio al Rubidio, meno preciso ma più economico. A destra orologio al cesio, molto costoso e accurato	6
2.6	Ultima generazione dei satelliti GPS	7
2.7	Satellite URAGAN-K, l'ultimo della generazione GLONASS: a bordo è dotato della strumentazione del sistema internazionale di ricerca e salvataggio	8
2.8	Render di un satellite della costellazione Galileo	9
2.9	Satellite della costellazione BeiDou	10
2.10	Satellite della costellazione IRNSS	10
2.11	Satellite della costellazione QZSS	11
2.12	Satellite SBAS	11
3.1	Rappresentazione delle coordinate in ITRF	14
3.2	Distribuzione delle stazioni permanenti GPS che partecipano a Rete EPN	14
3.3	moto della placca adriatica, calcolato sulla base dell'elaborazione quotidiana e durata delle stazioni GNSS italiane	15
3.4	Densità delle Rete GNSS italiana la cui elaborazione dati viene eseguita dal CISAS	16
3.5	Rete GPS della regione Veneto e gli enti proprietari delle stazioni. Ad oggi conta più di 25 stazioni attive sparse nel trivento	17
4.1	Struttura del segnale GPS	21
4.2	Spettro e occupazione delle frequenze Galileo	22
4.3	Schema a blocchi di un ricevitore GNSS basato su due portanti	23
4.4	File Rinex generato dalla stazione di Padova contenente il messaggio di navigazione; il satellite nello specifico è l'8 della costellazione GPS in data 04/02/2020	24
4.5	Rappresentazione dei parametri orbitali geometrici illustrati in tabella 4.2	25

4.6	File delle orbite finali in formato sp3 per la costellazione GPS. In esso vengono riportate le coordinate in data 04/02/2020 di ciascun satellite, post-calcolate e nel sistema di riferimento ECEF, con aggiornamento ogni 15 minuti	26
4.7	I contributi in termini di errore dello Pseudorange	27
4.8	modello per la mappatura della ionosfera	30
4.9	mappa ionosferica dalla mezzanotte che evidenzia come il disturbo in una determinata zona non sia costante ma tempo-variante	30
4.10	Esempi di superfici che causano il multipath	31
4.11	Calcolo dello Pseudorange come somma tra range e diversi fattori di disturbo quali: offset degli orologi, effetti relativistici, non corretto funzionamento della strumentazione, ritardo ionosferico e troposferico	32
5.1	Schema della tecnica di posizionamento a singole differenze	36
5.2	Schema della tecnica di posizionamento a doppie differenze	37
5.3	Schema della tecnica di posizionamento differenziale mobile	38
6.1	File Rinex della stazione di Padova datato 04/02/2020	41
6.2	Ingrandimento dell' <i>header</i> del file Rinex della stazione di Padova datato 04/02/2020	46
6.3	File in formato SMT della stazione di Padova datato 04/02/2020	49
6.4	Header del file Rinex 3.04 della stazione di Padova datato 20/02/2020	68
6.5	Data Record Description del file Rinex 3.04 della stazione di Padova datato 04/02/2020	69
7.1	Interfaccia grafica del <i>Bernese GNSS Software Version 5.2</i>	75
8.1	Script <i>today.pl</i> . Fornendo la data con la sintassi indicata, il programma restituisce: giorno della settimana e dell'anno, giorno e settimana GPS	78
8.2	Menù a finestra del tool <i>Configure</i>	78
8.3	Finestra per il settaggio del giorno cui si suppone lavorare (deve coincidere col giorno indicato nei files Rinex delle nuove stazioni)	79
8.4	Il comando <i>grep</i> : digitando " <i>grep APPROX nome_file</i> " nella cartella ove si trovano i files Rinex, oltre alla parola chiave, viene letta tutta la riga dei files	80
8.5	Posizionamento dei nuovi ricevitori su <i>Google Earth</i>	81
8.6	Tool da selezionare per generare il file.STA	82
8.7	Esempio della prima parte del file.STA: prestare attenzione a come i ricevitori sono stati nomenclati	83
8.8	file.CRD. Analizzando, da sinistra, si trovano: l'elenco delle nuove stazioni, il domes number, le coordinate approssimate e il FLAG	84
8.9	file.PLD. Analizzando, da sinistra, si trovano: l'elenco delle nuove stazioni, il domes number, la velocità della stazione (se nota), eventuali segnalazioni e placca	85
8.10	I principali confini della tettonica a placche ai giorni nostri	85
8.11	tool da selezionare per generare il file NEW.VEL	86
8.12	Primo check per il calcolo delle velocità dei ricevitori	87

8.13	file.VEL. Analizzando, da sinistra, si trovano: l'elenco delle nuove stazione, il domes number, le velocità delle stazioni lungo le tre direzioni, eventuali segnalazioni e la placca di appartenenza	87
8.14	tool da selezionare per generare il file UPA_2014.CRD	88
8.15	file UPA_2014.CRD. Analizzando, da sinistra, si trovano: l'elenco delle nuove stazione, il domes number, le coordinate approssimate al 2010 e il FLAG	88
8.16	tool da selezionare per generare il file.ATL	89
8.17	file.ATL: dopo l'header sono riportati i valori per la stazione BLGN . .	89
8.18	Pagina web holt.oso.chalmers.se volta alla generazione del file.BLQ .	90
8.19	Struttura e sintassi da immettere per generare il file.BLQ	90
8.20	In alto, header del file.BLQ. In basso esempio degli 11 coefficienti di marea per la stazione BLGN	91
8.21	A sinistra, suddivisione in Cluster del territorio italiano; a destra geocalizzazione delle stazioni	93
8.22	file.CLU dei nuovi ricevitori	93

Elenco delle tabelle

4.1	Informazioni presenti all'interno di un messaggio di navigazione	24
4.2	Coefficienti costituenti le effemeridi broadcast e loro descrizione	25
6.1	Header di un file Rinex 2.11	42
6.2	Data Record Description di un file Rinex 2.11	47
6.3	Descrizione nomenclatura di un file Rinex 3.04	50
6.4	Header di un file Rinex 3.04	52
6.5	Data Record Description di un file Rinex 3.04	65
7.1	Diagramma funzionale della procedura di elaborazione dati del software <i>Bernese</i>	71
7.2	Struttura in cartelle principali del software <i>Bernese</i>	72
8.1	Struttura del file Input per MatLab; con le parentesi sono indicati i numero dei caratteri	80
8.2	Struttura del file.CRD	84
8.3	Struttura del file.PLD	84
8.4	Struttura del file.VEL	87
10.1	Struttura della prima sezione del file delle soluzioni giornaliere nella quale vengono riportare le coordinate a priori delle stazioni	100
10.2	Struttura della seconda sezione del file delle soluzioni giornaliere ove vengono riportate le coordinate stimate e le relative correzioni	100
10.3	Struttura della terza sezione del file delle soluzioni giornaliere in cui vengono riportate le correzione dovute ai parametri atmosferici	101
10.4	Struttura della quarta sezione del file delle soluzioni giornaliere in cui si trovano, per tutte le coordinate, il valore a priori, quello stimato, la loro differenza e lo scarto quadratico medio	102
10.5	Struttura della quinta parte del file delle soluzioni giornaliere con orbite rapide	103
10.6	Struttura della quinta sezione del file delle soluzioni giornaliere con orbite precise	104
10.7	Struttura della prima sezione del file della soluzione settimanale	105
10.8	parametri statistici forniti nella seconda sezione della soluzione settimanale	106
10.9	Struttura della terza parte del file della soluzione settimanale	106
10.10	Struttura della quarta sezione del file della soluzione settimanale	107
10.11	Struttura della quinta sezione del file della soluzione settimanale	107

Capitolo 1

Introduzione

Determinare la posizione di una stazione sul suolo terrestre attraverso i sistemi satellitari globali di navigazione (GNSS) e con un'accurata precisione, è un'operazione molto complessa sia in termini di calcolo che di tempo. Inoltre, per eseguire questo tipo di procedure, esistono software molto sofisticati quale è il *Bernese GNSS Software*. Nel presente elaborato vengono elencati e descritti i passaggi che un utente deve seguire per inserire un nuovo ricevitore di dati GNSS all'interno di una rete preesistente. Il manuale di riferimento è il *Bernese GNSS Software Version 5.2* scritto da Rolf Dach, Simon Lutz, Peter Walser e Pierre Friedez, docenti presso l'Astronomical Institute, University of Bern (AIUB). È dall'AIUB che, inoltre, è stato sviluppato il software *Bernese*, utilizzato per il raggiungimento dell'obiettivo di questa trattazione.

Il lavoro viene svolto in forma pratica: una volta installato il software nel proprio PC e presa confidenza col prompt del sistema operativo Linux, per raggiungere lo scopo, è sufficiente seguire le istruzioni presentate.

I primi capitoli sono più descrittivi e presentano una base degli argomenti sviluppati in maniera più approfondita nei successivi.

Nel secondo capitolo, in particolare, viene definito il GNSS in termini di blocchi costitutivi e di costellazioni di satelliti che lo compongono.

Alcune stazioni italiane sono parte di una più ampia rete GNSS europea (EPN) e sono monitorate dall'IGS (servizio internazionale di GNSS) il cui ruolo a livello internazionale e dal punto di vista geodetico viene illustrato nel capitolo 3.

Nel capitolo 4, vengono analizzate e descritte l'architettura di base di un ricevitore e le misure (osservabili) che caratterizzano o interferiscono il segnale trasmesso dai satelliti GNSS.

In base alla quantità di segnali ricevuti e all'accuratezza della posizione, possono essere distinte diverse tecniche di posizionamento. Le principali, spiegate nel capitolo 5, sono il posizionamento assoluto e quello differenziale.

Nel capitolo 6 vengono descritti i files Rinex. Il Rinex è un formato di condivisione ed archivio dei dati nel quale, un ricevitore, riporta le osservabili o il messaggio di navigazione trasmesso dai satelliti GNSS.

Nel capitolo 7 viene descritto cos'è e come è strutturato il software *Bernese*: dopo una schematica rappresentazione delle cartelle, vengono presentate più nel dettaglio quelle impiegate per l'inserimento di nuovi ricevitori.

Tramite alcuni tools del *Bernese* vengono generati i files di input per l'elaborazione dei dati GNSS. L'elenco ed il contenuto di questi files sono riportati nel capitolo 8.

Affinchè l'elaborazione dei dati GNSS avvenga correttamente bisogna scaricare sia i files Rinex che disporre degli idonei ed aggiornati input, tra i quali quelli elencati nel precedente capitolo. Nel capitolo 9, attraverso l'analisi di alcuni scripts, viene descritto come avviene questo processo.

Infine, nel capitolo 10, una volta eseguita la procedura di elaborazione dei dati, vengono analizzati gli output, sia a livello giornaliero che a livello settimanale, per i ricevitori appena inseriti nella rete GNSS italiana.

Capitolo 2

II GNSS

2.1 Descrizione del GNSS

Il GNSS, acronimo di Global Navigation Satellite System, è il sistema globale di posizionamento basato sulla ricezione di segnali provenienti da satelliti. Attraverso modelli matematici e indipendentemente dalle condizioni atmosferiche, tramite il GNSS è possibile stimare le coordinate, la velocità e la collocazione temporale di un qualsiasi punto sulla superficie terrestre nel sistema di riferimento geocentrico, con precisioni che possono raggiungere il millimetro. Tale precisione è possibile se vi sono almeno 4 satelliti che coprono l'area ove è situato il ricevitore così da poter determinare, oltre alle tre coordinate spaziali, anche il tempo di sincronismo del ricevitore sulla scala di tempo del satellite (clock).

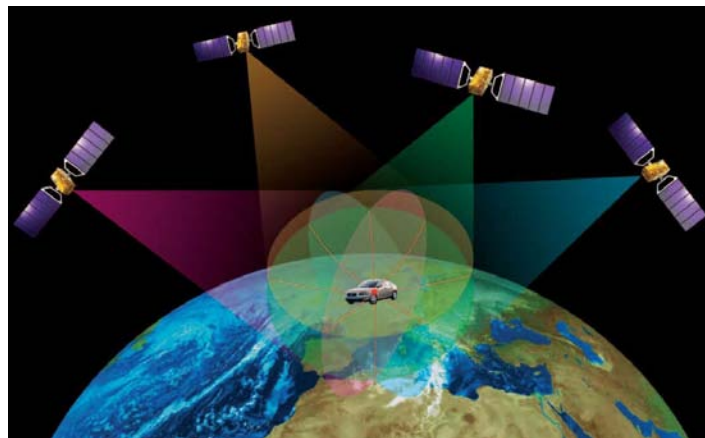


Figura 2.1: La precisione della localizzazione è minima quando un dispositivo riceve il segnale da almeno quattro satelliti

Il GNSS è suddiviso in tre blocchi principali:

- Segmento spaziale
- Segmento di controllo
- Segmento utente

Il segmento spaziale, la cui rappresentazione per il sistema Galileo è riportata in figura 2.2, è costituito dalla costellazione di satelliti che orbitano attorno alla Terra. I satelliti vengono collocati su più piani orbitali col fine di garantire la copertura di un qualsiasi luogo sulla superficie terrestre da almeno quattro satelliti.

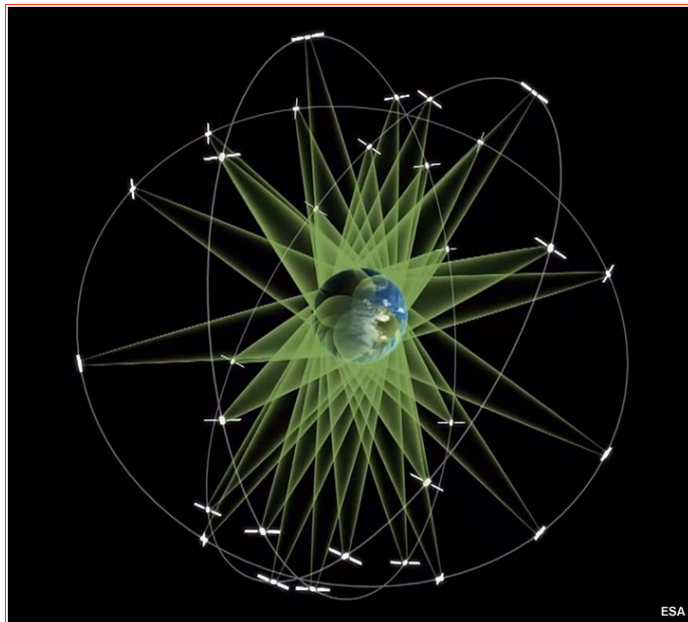


Figura 2.2: Segmento spaziale della costellazione Galileo

Il segmento di controllo, è costituito da una rete di stazioni distribuite in modo omogeneo lungo la fascia equatoriale. Lo scopo del segmento di controllo è: inseguire i satelliti (verificandone il funzionamento e la sincronizzazione temporale degli orologi di bordo), aggiornare le effemeridi (o orbite) e ritrasmettere agli stessi informazioni circa eventuali disallineamenti degli orologi, codifica del segnale e parametri orbitali. Una stazione è costituita da antenna e ricevitore.

Il segmento utente è costituito dagli utilizzatori dei servizi offerti dai GNSS. Le applicazioni sono svariate: navigazione (terrestre, navale, aerea), geofisica, geodesia e topografia. L'utenza è possibile grazie alla lettura dei segnali trasmessi dai satelliti da parte dalle stazioni GPS.



Figura 2.3: Ricevitore e Antenna di una stazione di ricezione Multi GNSS

2.2 I sistemi GNSS

I satelliti GNSS, affinché sia garantita una copertura globale della superficie terrestre e abbiano un periodo di rotazione attorno alla Terra piuttosto regolare, vengono generalmente iniettati in orbite circolari ad altitudine media (MEO). Le orbite MEO sono comprese tra i 2000, limite delle basse (LEO) e i 35786 Km, quota delle geostazionarie (GEO). Ad altitudini superiori di queste ultime si trovano le orbite alte (HEO).

Le costellazioni storiche che costituiscono il GNSS sono la statunitense Global Position System (GPS) e la russa GLobal Navigation Space System (GLONASS). Negli ultimi anni sono in fase di sviluppo per la piena attività anche il sistema europeo GALILEO, il cinese BeiDou, l'indiano IRSS e il Giapponese QZSS.

Il più sofisticato strumento presente in un satellite GNSS è l'oscillatore di bordo. Per determinare la stabilità in frequenza degli oscillatori nel dominio del tempo viene applicata la Varianza di Allan. Tale metodo consiste nel campionare un periodo di dati in sotto-intervalli detti cluster (τ), le cui durate sono multiple del tempo di campionamento τ_0 . L'espressione matematica della varianza di Allan, che corrisponde alla media dei valori presenti all'interno di ogni cluster (figura 2.4) è:

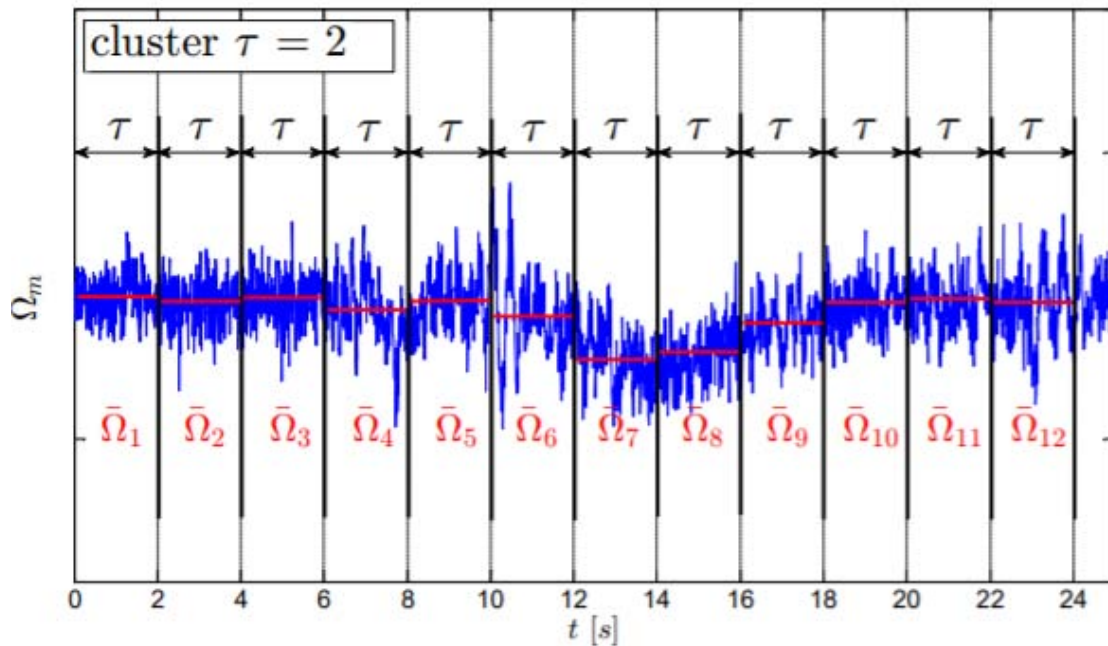


Figura 2.4: Calcolo delle medie nei cluster per $\tau = 2s$

$$\sigma_A^2(\tau) = \frac{1}{2(K-1)} \sum_{i=1}^{K-1} (\bar{\Omega}_{i+1} - \bar{\Omega}_i)^2 \quad (2.1)$$

Ove:

- K si riferisce al numero di cluster;
- τ corrisponde alla dimensione del cluster in secondi;
- $\bar{\Omega}_i$ coincide con la media dei valori presenti nell' i -esimo cluster

Per i satelliti GPS e GLONASS sono stati ampiamente utilizzati orologi di bordo al cesio o al rubidio, visibili in figura 2.5. Negli ultimi anni sono in fase di sviluppo anche oscillatori maser a idrogeno. Le misure di stabilità di fase (varianza di Allan) che possono essere eseguite su oscillatori a rubidio, cesio e idrogeno sono rispettivamente 10^{12} , 10^{13} e 10^{15} . Gli oscillatori al Cesio garantiscono una stabilità a lungo termine, invece, quelli all'idrogeno una maggiore stabilità nei brevi periodi. Inoltre, un qualsiasi orologio atomico deve rimanere a temperature molto basse onde evitare derive termiche dovute all'eccessiva agitazione delle molecole.

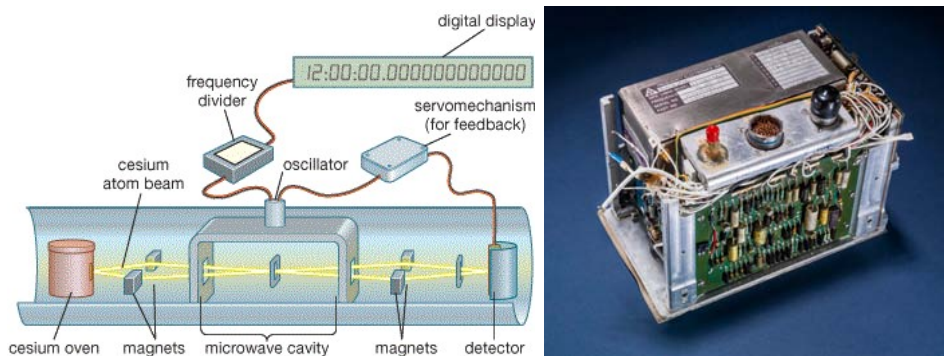


Figura 2.5: A sinistra orologio al Rubidio, meno preciso ma più economico. A destra orologio al cesio, molto costoso e accurato

Per quanto riguarda il sottosistema, come consultabile anche dal sito ESA *Navipedia*, per il controllo dell'assetto durante il volo (Attitude and Orbit Control System, AOCS) per tutti i satelliti viene largamente impiegato un sistema di controllo a tre assi: l'assetto di un satellite volto alla navigazione deve essere molto accurato in tutte e tre le direzioni se si vuole che il puntamento dell'antenna sia sempre *Nadir Pointing*, ovvero verso centro della Terra.

2.2.1 GPS

La costellazione GPS (acronimo di Global Positioning System) è il sistema di posizionamento globale gestito dal comando aeronautico statunitense. I satelliti che compongono il GPS sono 32, in orbite con raggio di circa 26560 km e disposti su 6 piani orbitali inclinati di 55° , in cui si collocano almeno quattro satelliti.



Figura 2.6: Ultima generazione dei satelliti GPS

I satelliti GPS sono stabilizzati a tre assi con un sistema d'assetto a zero momento che consente ai veicoli di volare in una posizione orientata verso il centro della Terra. A seconda della generazione i satelliti GPS, dispongono di differenti orologi di bordo; una delle ultima generazioni è dotata di tre orologi atomici al rubidio.

2.2.2 GLONASS

Il sistema satellitare GLONASS (acronimo di Global'naja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema, ovvero GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) è gestito dalle forze di difesa aerospaziali russe ed è in funzione con copertura globale e precisione comparabile a quella del GPS.



Figura 2.7: Satellite URAGAN-K, l'ultimo della generazione GLONASS: a bordo è dotato della strumentazione del sistema internazionale di ricerca e salvataggio

La costellazione GLONASS conta 31 satelliti Uragan disposti su 3 piani orbitali, in orbite MEO quasi circolari con un'inclinazione di 64.8° , e raggio orbitale di circa 19140 km. Inoltre, ogni piano, ospita 8 satelliti che vengono identificati in base al proprio numero di slot. Come per i satelliti GPS, anche i GLONASS sono dotati di un sistema di stabilizzazione a tre assi, uno dei quali punta al nadir e da due pannelli solari. A bordo, i satelliti Uragan, sono dotati di tre orologi a fascio di cesio.

2.2.3 Galileo

La costellazione dell'European Space Agency (ESA) GALILEO, una volta completata, conterà 26 satelliti di cui 24 operativi e 2 di scorta su 3 piani inclinati rispetto all'equatore di circa 56° e un raggio orbitale di circa 23925 km.

Per il controllo dell'assetto i satelliti utilizzano un sistema di stabilizzazione a tre assi con ruote di reazione e magnetotorquers per la desaturazione delle ruote. Per il cronometrando di bordo i satelliti Galileo dispongono dei nuovi orologi atomici ad idrogeno, gli Space Passive Hydrogen Maser a cui vengono affiancati due orologio al rubidio come seconda fonte temporale tecnologicamente indipendente.



Figura 2.8: Render di un satellite della costellazione Galileo

2.2.4 BeiDou

La costellazione Compass/Beidou sviluppata e gestita dalla China National Space Administration è stata in un primo momento concepita per un posizionamento locale e successivamente ampliata per una copertura globale.



Figura 2.9: Satellite della costellazione BeiDou

Quando entrerà pienamente in funzione, la data prevista è la fine del 2020, sarà

composta da 35 satelliti: 5 in orbita GEO, 3 in orbita GEO ma con inclinazione non nulla (IGEO) e 27 in orbita MEO. Il controllo dell'assetto, essendo un sistema moderno, oltre ad essere a tre assi è all'avanguardia infatti viene effettuato tramite sensori a stella (poco economici ma molto precisi) e terrestri e altri attuatori di assetto. I satelliti BeiDou hanno a bordo orologi al rubidio e a idrogeno, sufficientemente precisi da: fornire i dati necessari agli aggiustamenti di rotta di ogni satellite e sopperire alle variazioni di tempo dovute alla relatività.

2.2.5 IRNSS

Il sistema di posizionamento satellitare indiano conta sette satelliti: tre disposti in orbite IGEO; gli altri quattro veicoli spaziali sono collocati in orbite geosincrone (GSO), con un'inclinazione di 29° .



Figura 2.10: Satellite della costellazione IRNSS

Il controllo dell'assetto si basa su una piattaforma satellitare stabilizzata a tre assi ed utilizza un sistema a zero momento costituito da ruote di reazione a cui si aggiungono attuatori magnetici e 12 piccoli propulsori. Il payload di navigazione avrà i seguenti sottosistemi: NSGU (Navigation Signal Generation Unit), unità di orologio atomico, composta da orologi atomici al rubidio, unità di gestione e controllo dell'orologio, unità di generazione di frequenza, unità di modulazione, unità di amplificazione ad alta potenza, unità di combinazione di potenza e navigazione antenna.

2.2.6 QZSS

La costellazione Giapponese Quasi Zenith Satellite System (QZSS) consisterà di 4 o 7 satelliti in orbita IGEO ellittica (con eccentricità pari a 0.075) a 43° di inclinazione. Il controllo dell'assetto si basa sulla stabilizzazione a 3 assi e l'attuazione è fornita da quattro ruote di reazione (Reaction Wheel, RW). L'assetto del veicolo spaziale viene rilevato con sensori solari, di Terra e stella e giroscopi di velocità e ciò porta ad una precisione di puntamento di 0.1° . Secondo il suo piano originale, QZSS doveva trasportare due tipi di orologi atomici spaziali: tuttavia lo sviluppo di un maser a idrogeno è

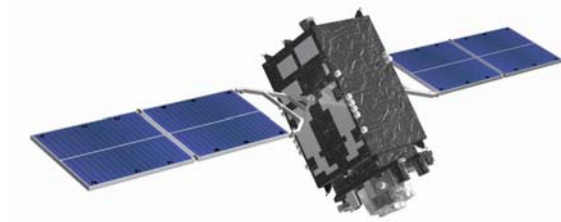


Figura 2.11: Satellite della costellazione QZSS

stato abbandonato e pertanto il segnale di posizionamento verrà generato da un orologio al Rubidio e verrà utilizzata un'architettura simile al sistema di cronometraggio GPS. QZSS sarà anche in grado di utilizzare uno schema di trasferimento di tempo e frequenza satellitare a due vie (TWSTFT), che verrà utilizzato per acquisire alcune conoscenze fondamentali sul comportamento dello standard atomico satellitare nello spazio e per altri scopi di ricerca.

2.2.7 SBAS

Il Satellite Based Augmentation System nasce con l'obiettivo di aumentare la copertura del segnale GNSS con trasmettitori a bordo di satelliti in orbita GEO, in particolari in regioni ove la richiesta di segnale è particolarmente elevata. Inoltre, questi sistemi si compongono di stazioni di terra, localizzate in posizioni accuratamente determinate, che hanno il compito di raccogliere le misure di uno o più satelliti GNSS. Attraverso queste misurazioni, i messaggi correttivi vengono creati e inviati a uno o più satelliti geostazionari per essere ritrasmessi agli utenti.



Figura 2.12: Satellite SBAS

Capitolo 3

Il progetto MGEX

Per il monitoraggio delle rete civile, sia in termini di accuratezza dei dati che di funzionamento delle stazioni, si fa riferimento: a livello internazionale all'IGS, a livello europeo all'EUREF, a livello nazionale all'Asi e, a livello regionale all'amministrazione della stessa. Scendendo più nel dettaglio, la Regione Veneto ha delegato la gestione della propria rete all'Università degli Studi di Padova, più precisamente al CISAS "G. Colombo" (Centro Interdipartimentale Studi e Attività Spaziali).

L'International GNSS Service (IGS), fondato nel 1994, è un servizio nato con lo scopo di fornire dati e prodotti GNSS della massima qualità per scopi scientifici. L'IGS, tra i vari prodotti di particolare interesse per questa trattazione, fornisce il Servizio di Rotazione Terrestre Internazionale (IERS) tra i cui obiettivi vi è la realizzazione di un Sistema di Riferimento Terrestre Internazionale (ITRF) riconosciuto a livello mondiale. Il sistema di riferimento terrestre che verrà analizzato in questa trattazione, al quale fa riferimento il software *Bernese*, è l'IGS14 il quale deriva da versioni aggiornate e sempre più precise dell'ITRF. Il più recente sistema di riferimento terrestre è l'ITRF2014 che utilizza come serie di dati di input le posizioni delle stazioni e dei parametri di orientamento della terra (EOP) forniti dai centri dati delle quattro tecniche geodetiche spaziali (VLBI, SLR, GNSS e DORIS). La VLBI (Interferometria a Base Molto Ampia) è una tecnica di interferometria astronomica utilizzata in radioastronomia per studi sulla rotazione terrestre, precise mappature millimetriche dei movimenti delle placche tettoniche ed altri tipi di studi geodetici. Il raggio laser satellitare (SLR) è una rete globale di stazioni di osservazione che misura il tempo di andata e ritorno del volo di impulsi ultracorti di luce verso satelliti dotati di idonea strumentazione. Ciò fornisce misurazioni istantanee della portata della precisione a livello millimetrico che possono essere accumulate e fornire, ad esempio, una misurazione accurata delle orbite. Il Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS), è un radar doppler di sola andata (oneway) dove lo spostamento doppler in frequenza del segnale trasmesso da terra è misurato a bordo del satellite. Usa 50 trasmettitori di terra per il doppler tracking di satelliti. La risoluzione di velocità del DORIS è intorno a 0.3 mm/s. Visto che ITRF2014, la cui rappresentazione delle coordinate è rappresentata figura in 3.1, è basato su soluzioni completamente rielaborate delle quattro tecniche si ritiene essere il miglior modello attualmente disponibile.

Oltre ai mezzi per la mappatura, nell'elaborazione ITRF2014 sono state introdotte due innovazioni: innanzitutto, sono stati stimati termini annuali e semestrali per stazioni con intervalli di tempo sufficienti delle 4 tecniche durante i processi di accatasta-

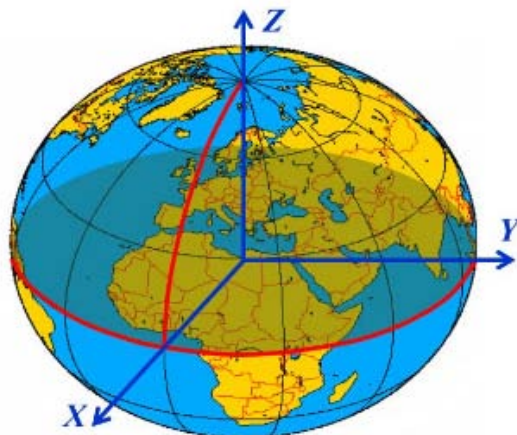


Figura 3.1: Rappresentazione delle coordinate in ITRF

mento delle serie temporali corrispondenti; in secondo luogo i modelli di deformazione post-sismica (PSD) sono stati determinati adattando i dati GNSS nei principali siti di terremoto. I modelli PSD sono stati quindi applicati alle altre 3 tecniche nei siti di co-localizzazione.

L'aggiornamento a IGS14 allinea i prodotti IGS a ITRF2014 e aumenta la precisione di tale allineamento integrando ulteriori stazioni di riferimento disponibili con coordinate più precise e aggiornate. Un elemento innovativo che riguarda l'IGS è costituito dall'aggiornamento della calibrazione delle antenne in `igs14.atx` che comporta una maggiore precisione delle coordinate per le stazioni dotate di queste antenne.

L'EUREF è un'associazione informale tra Università e Istituti Geografici Nazionali europei il cui obiettivo principale è quello di realizzare una rete geodetica di riferimento in Europa (EPN).

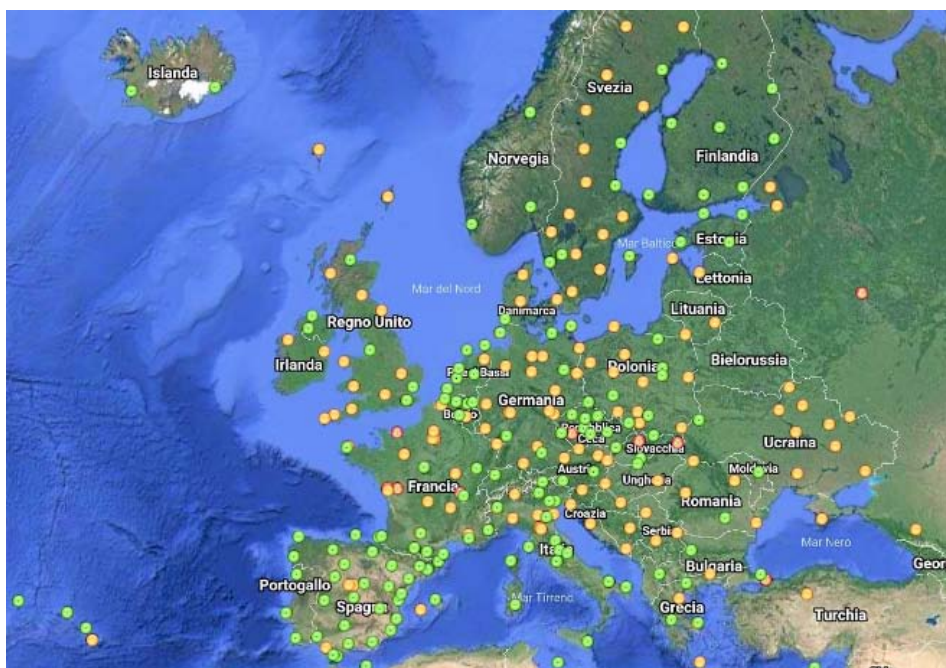


Figura 3.2: Distribuzione delle stazioni permanenti GPS che partecipano a Rete EPN

L'EUREF è costituita da una federazione volontaria di oltre 100 agenzie di finanziamento autonomo, università e istituti di ricerca in oltre 30 paesi europei. L'obiettivo di questo progetto è definire un sistema europeo di riferimento terrestre (ETRS89), che è il sistema unico di riferimento di coordinate standard a livello europeo adottato dalla Commissione europea. L'ETRS89 è stato pubblicato dall'EUREF elaborando i dati di osservazione GNSS di una rete di oltre 200 stazioni operative e permanenti distribuite nel continente europeo (figura 3.2) e di cui fa parte la stazione di Padova.

Questa realizzazione, essendo duratura nel tempo, fornisce informazioni sia statiche che cinematiche di riferimento spaziale; ad esempio, come reperibile dal sito della rete GPS della regione Veneto, dopo più anni che si elaborano i dati di una stazione è possibile monitorare e stimare il moto della placca cui è collocata, come visibile in figura 3.3.

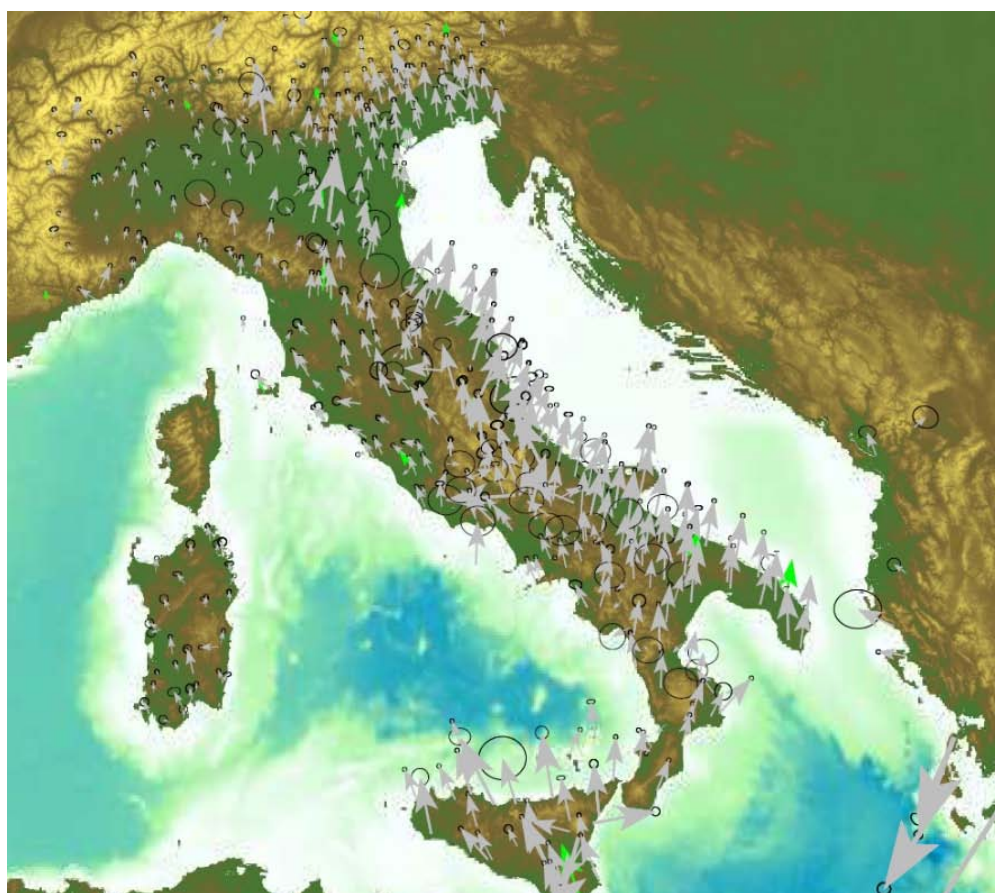


Figura 3.3: moto della placca adriatica, calcolato sulla base dell'elaborazione quotidiana e duratura delle stazioni GNSS italiane

Il riferimento geodetico ETRS89 è ampiamente utilizzato nell'Europa continentale e il crescente utilizzo delle reti GNSS ne inclina i paesi all'utilizzo. Accanto al loro ruolo chiave nel mantenimento dell'ETRS89, i dati EPN sono utilizzati anche per una vasta gamma di applicazioni scientifiche come il monitoraggio delle deformazioni del terreno, il livello del mare, il tempo spaziale e la previsione numerica del tempo. In risposta alle mutevoli esigenze degli utenti e al panorama GNSS in evoluzione, EUREF sta lavorando per il continuo sviluppo di nuove applicazioni e prodotti attraverso gruppi

di lavoro e progetti pilota. Analizzandone la struttura, la Rete EUREF, è costituita da più sotto-reti nazionali parzialmente sovrapposte col fine di garantire l'analisi di ciascuna sotto-rete da almeno 4 Local Analysis Center (LACs). I LACs hanno come obiettivo principale l'elaborazione dei dati GPS provenienti da un sottoinsieme di stazioni GPS dell' EUREF.

La rete GNSS Italiana, come visibile in figura 3.4, è costituita da circa 700 stazioni GNSS permanenti diffuse sul territorio nazionale e in alcune nazioni limitrofe quali Albania, Austria e Grecia. Di tutta la rete di stazioni, con cadenza giornaliera viene eseguito il ricalcolo delle coordinate e con cadenza settimanale vengono, invece, emanate le coordinate aggiornate dalla combinazione delle 7 soluzioni giornaliere. Tali operazioni vengono elaborate dal software *Bernese*.

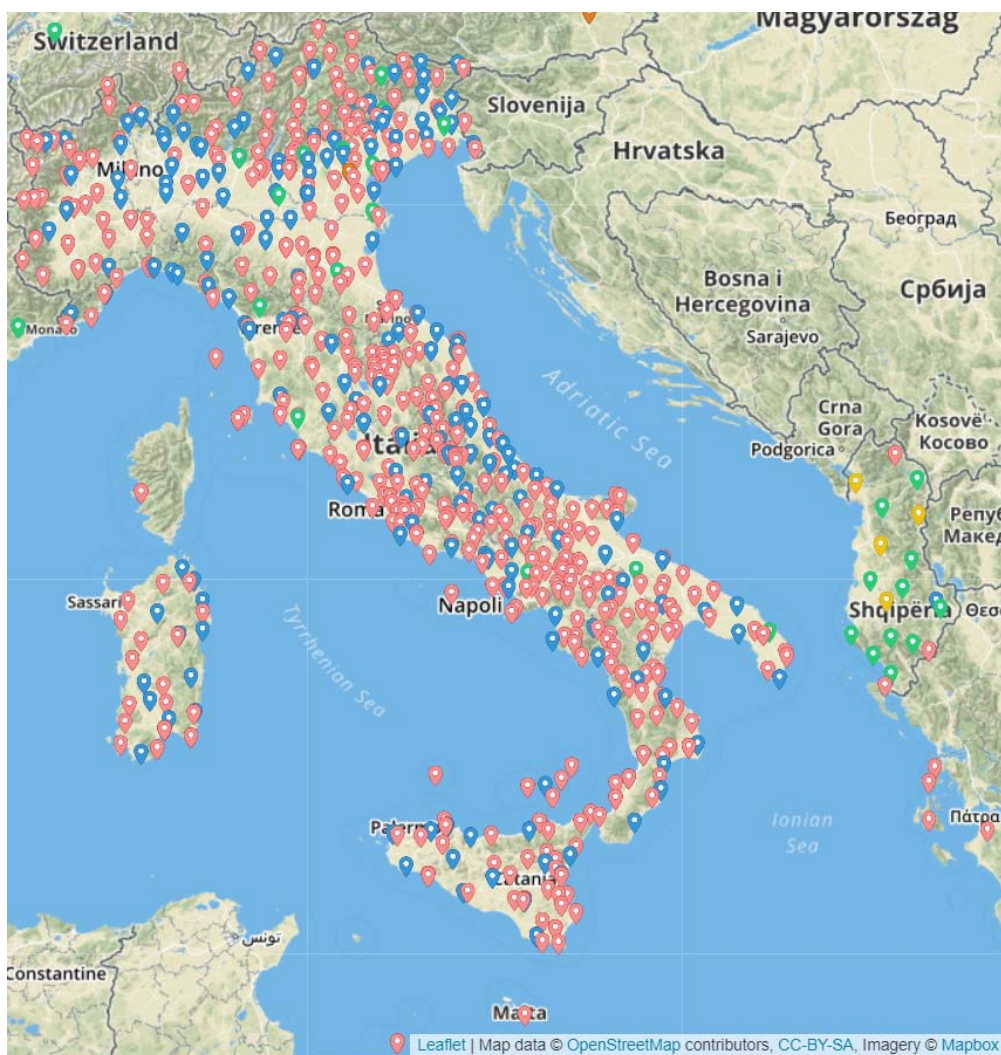


Figura 3.4: Densità delle Rete GNSS italiana la cui elaborazione dati viene eseguita dal CISAS

L'università degli Studi di Padova, in materia di Ricerca Spaziale e di servizio GNSS, attraverso il CISAS, ha un ruolo fondamentale: in primo luogo, a Padova, ha sede il LAC UPA che è uno dei due LACs locali EUREF collocati in Italia. Le attività presso il CISAS sono iniziate nel 1997 e sono aumentate fino ad ora, sia in termini di hardware

e software impiegati, che di numero di persone coinvolte. Gli aderenti a questo progetto di Ateneo gestiscono i dati della stazione EUREF PADO, la cui antenna è posta sul tetto del CISAS, con l'obiettivo principale di fornire metadati affidabili a EUREF; i metadati sono relativi a coordinate, correzione troposferica e statistiche sulla quantità di dati non elaborati. In secondo luogo, al CISAS, come precedentemente detto, dalla Regione Veneto, è affidata l'attività di gestione della rete GPS Veneto, visibile in figura 3.5. L'accordo prevede: il controllo delle stazioni, l'integrazione e il completamento della rete, la raccolta e la validazione dei dati, la diffusione dell'informazione, anche in tempo reale, ed il coordinamento dell'attività scientifica.

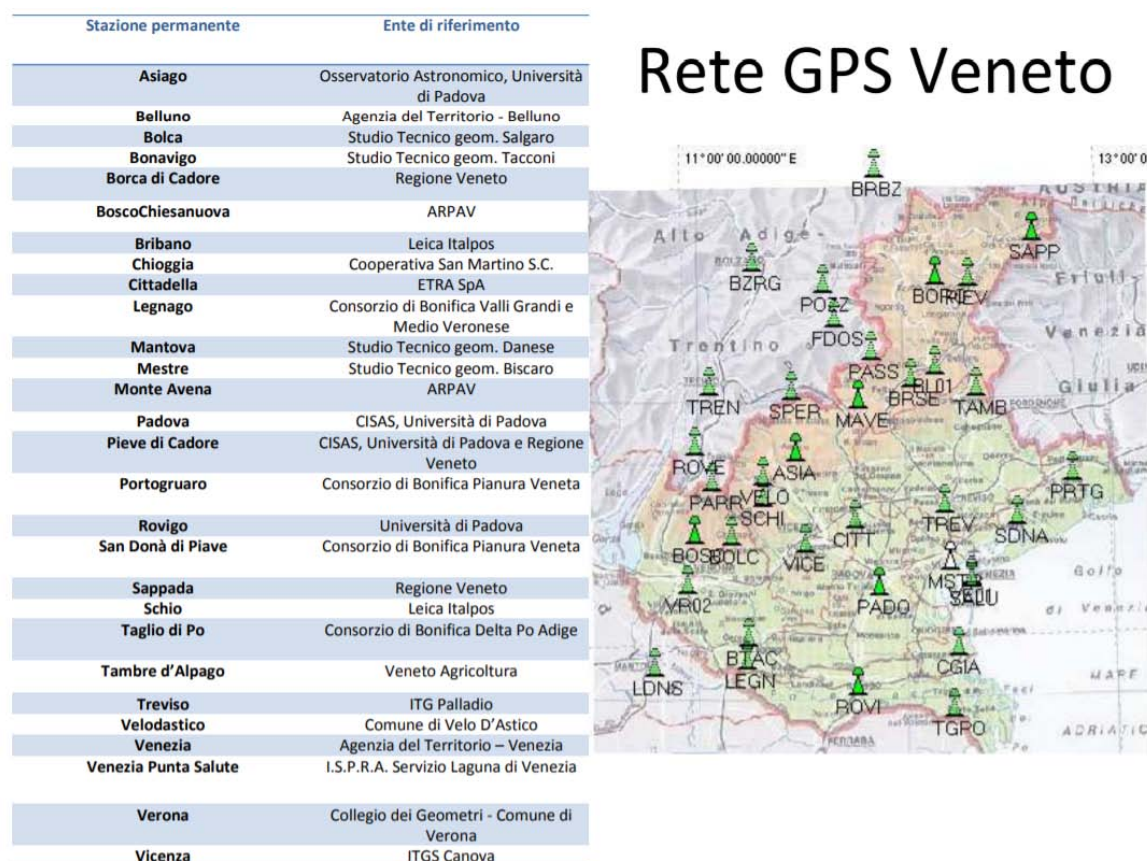


Figura 3.5: Rete GPS della regione Veneto e gli enti proprietari delle stazioni. Ad oggi conta più di 25 stazioni attive sparse nel trivento

Capitolo 4

Le Osservabili

4.1 Epoca

Il tempo della misurazione è il tempo del ricevitore quando riceve i segnali. È identico per le misure di fase e pseudorange ed è il medesimo per tutti i satelliti osservati a quell'epoca. In ambito GNSS vengono distinte quattro scale di tempo:

- Tempo effemeride (ET): definita dal moto dei corpi celesti;
- Tempo atomico (A1): definita sulla base di standard atomici di frequenza, come gli orologi al cesio;

Queste prime due scale di tempo sono sincrone a meno di offset costanti.

- Tempo di Greenwich (UT1): definita dall'angolo di fase del meridiano di Greenwich rispetto al sole. A causa delle irregolarità del periodo di rivoluzione terrestre vi è una deriva sistematica delle scale A1 ed UT1;
- Tempo universale coordinato (UTC): corrisponde alla scala UT1 sincrona con A1 e che per questo presenta delle discontinuità intenzionali volte al mantenimento della differenza tra UT1 ed UTC entro un secondo: nello specifico, ogni 6 o 12 mesi, a causa del progressivo rallentamento della rotazione terrestre, viene saltato un secondo o leap second. Dal 1972, in totale, sono stati aggiunti 37 leap seconds.

Per quanto riguarda il GPS la scala di tempo si basa su orologi atomici installati a bordo: le uniche correzioni apportate sugli orologi sono state eseguite per sincronizzare gli orologi di bordo con quelli atomici installati a terra, tipicamente per correggere derive dovute a effetti relativistici causate dalla minor gravità presente in orbita che causa una maggiore frequenza dell'oscillatore. Il tempo GPS è iniziato la mezzanotte del 6 gennaio 1980 (tempo UTC) in quanto, in quell'anno, il tempo GPS ed il tempo UTC coincidevano; a seguito delle correzioni introdotte al tempo UTC, ad oggi quest'ultimo si discosta di 18 secondi rispetto al tempo GPS (il quale non è soggetto a correzioni). Il sistema trasmette il numero di settimane passate dal 6 gennaio 1980 e il numero di secondi trascorsi dall'inizio della settimana corrente

La scala di tempo GLONASS è mantenuta dall'orologio atomico Mater all'idrogeno. Due volte al giorno vengono calcolate le correzioni rispetto alla scala UTC e vengono inviate ai satelliti.

La Scala di Tempo Galileo (GST) è data come numero binario a 32 bit costituito da due parametri: il numero della settimana (WN, Week Number, 12 bits) e l'ora della settimana (TOW, Time Of Week, 20 bits); il primo è un contatore fornente il numero della settimana sequenziale dalle origini del tempo Galileo, la seconda è definita come il numero di secondi trascorsi dalla transizione dalla settimana precedente e il cui contatore viene resettato settimanalmente (pertanto va da 0 a 604799 secondi). Il GST è iniziato la mezzanotte tra il 21 e il 22 Agosto 1999. Fin dall'inizio il GST aveva un ritardo pari a 13 leap seconds.

Nella scala di tempo BeiDou, detta BDT, si contano i secondi della settimana ed è periodicamente controllata per avere un offset rispetto al tempo UTC inferiore a 100ns.

4.2 Segnale GNSS

4.2.1 GPS

I satelliti GPS trasmettono su due frequenze dette portanti, L_1 ed L_2 , diverse per ciascuna costellazione. La struttura del segnale è rappresentata a digramma in figura 4.1.

I valori delle portanti sono:

$$\begin{aligned} L_1 &= f_0 \cdot 154 = 1575.42MHz \\ L_2 &= f_0 \cdot 120 = 1227.60MHz \\ L_5 &= f_0 \cdot 115 = 1176.45MHz \end{aligned} \tag{4.1}$$

Ove f_0 è la frequenza fondamentale dell'oscillatore atomico di bordo e pari a 10.23 MHz. Per tutti i sistemi di posizionamento satellitare, la chiave per un'alta accuratezza risiede nell'uso di questi orologi atomici: ad esempio, per il GPS, come appena evidenziato con l'equazione 4.1, è proprio dalla f_0 che si ottengono le due portanti.

La portante del segnale su L_1 è costituita da una componente in fase e da una in quadratura di fase. La prima viene modulata con una modulazione Binary Phase Shift Keying (BPSK), da un segnale di 50 Hz detto messaggio di navigazione (D) e da un codice pseudorandom (PRN) detto Coarse Acquisition Code (C/A) costituito da una sequenza di chip che si ripete ogni millisecondo e diverso per ciascun satellite. La componente in quadratura, invece, viene anch'essa modulata tramite modulazione BPSK e sempre dal segnale di navigazione ma con un codice PRN diverso, detto Precision Code (P-code). La portante L_2 , invece, viene modulata soltanto dal messaggio di navigazione e dal P-code ed è usata a scopi principalmente militari, infatti non è accessibile ai civili. Il sistema di posizionamento basato sul codice P viene detto Precise Positioning System (PPS).

4.2.2 GLONASS

I satelliti della costellazione GLONASS, analogamente al GPS, trasmettono due tipi di segnali: un segnale a precisione standard (SP) ed uno ad alta precisione (HP). I satelliti trasmettono le due portanti utilizzando una tecnica di accesso multiplo a divisione di frequenza (FDMA) basata su venticinque canali: ogni satellite trasmette un segnale su

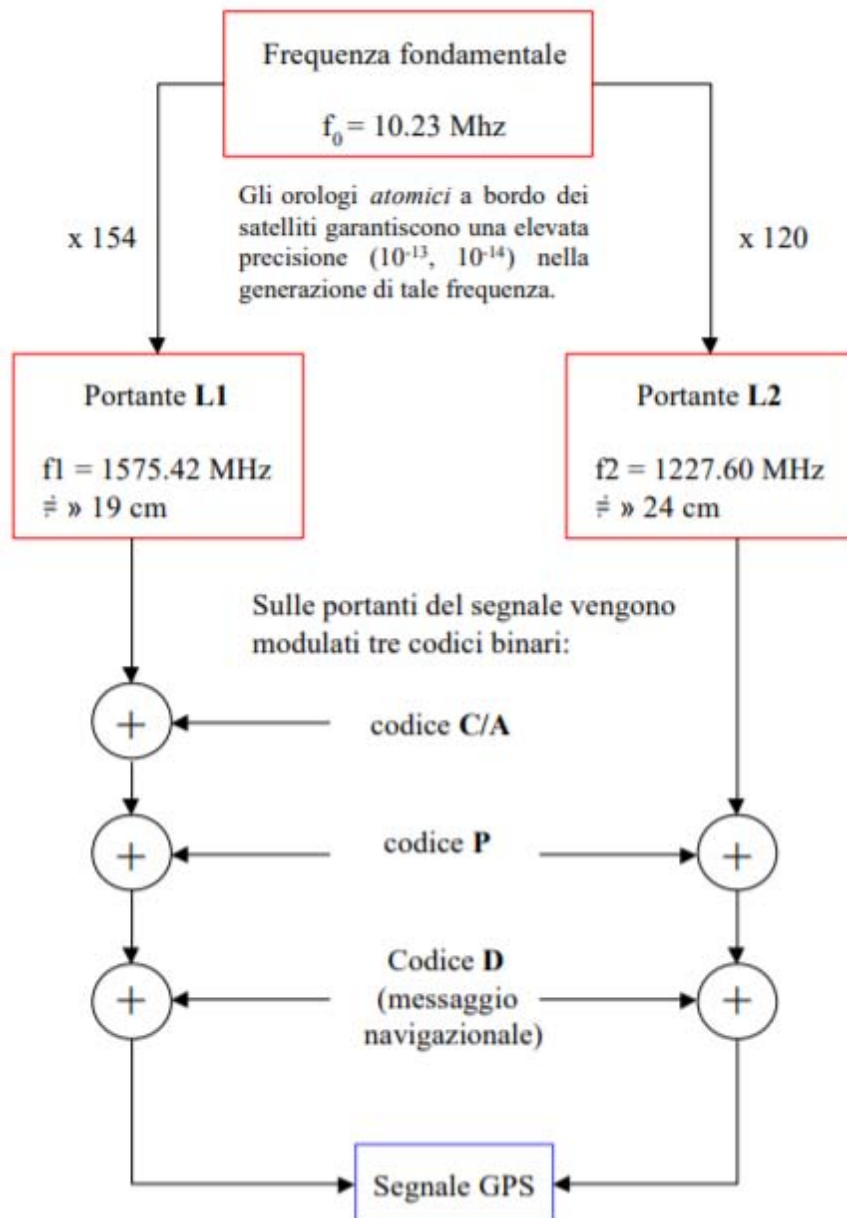


Figura 4.1: Struttura del segnale GPS

una diversa frequenza la cui formulazione matematica è data da:

$$\begin{aligned} f_{L1} &= f_{0L1} + k \cdot \Delta f_{L1} = 1602 + k \cdot 0.5625 \text{ MHz} \\ f_{L2} &= f_{0L2} + k \cdot \Delta f_{L2} = 1246 + k \cdot 0.4375 \text{ MHz} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Ove:

- $k = -7, -6, \dots, +5, +6$ è il numero del canale assegnato;
- f_{0L1} è la banda di frequenza di L_1 ed è pari a 1602 MHz;
- f_{0L2} è la banda di frequenza di L_2 ed è pari a 1246 MHz;
- Δf_{L1} è la frequenza di separazione tra le L_1 del GLONASS e pari a 562.5 kHz;

- Δf_{L1} è la frequenza di separazione tra le L_2 del GLONASS e pari a 437.5 kHz;

Analogamente al GPS, anche per il GLONASS vi è distinzione tra codice grezzo (C/A), modulato solamente su f_{L1} , e codice preciso (P-code), modulato su entrambe le portanti ma non disponibile per uso civile.

La sostanziale differenza tra le due tipologie di tecniche per l'accesso multiplo di segnali è la seguente: mentre nella trasmissione del segnale GPS tutti i satelliti trasmettono lo stesso codice pseudorandom ma su diverse portanti, nel sistema GLONASS, viceversa, le frequenze di trasmissione sono le stesse e i codici pseudorandom sono diversi per tutti i satelliti.

4.2.3 Galileo

Il sistema GALILEO trasmette dieci diversi segnali modulati su quattro portanti:

$$\begin{aligned}
 L_1 &= 1575.42 \text{ MHz} \\
 E5a &= 1176.45 \text{ MHz} \\
 E5b &= 1207.14 \text{ MHz} \\
 E6 &= 1278.75 \text{ MHz}
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

La modulazione del segnale Galileo, figura 4.2, è del tipo AltBOC e presenta una piccola larghezza della banda, che implica un abbassamento del rumore termico e dell'effetto del multipath e una buona spaziatura delle frequenze che permette una soluzione più efficiente delle ambiguità.

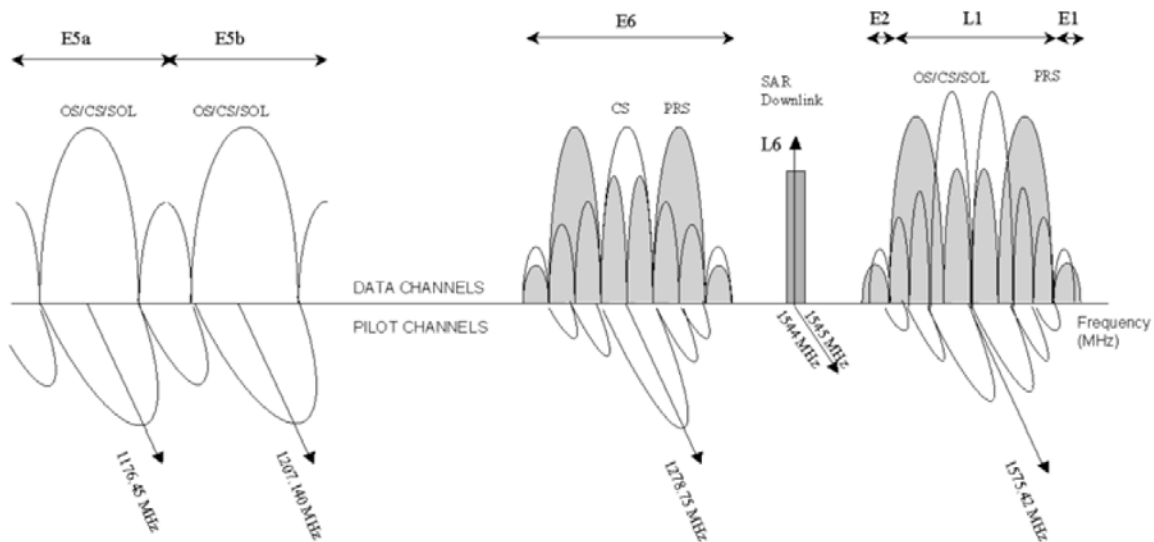


Figura 4.2: Spettro e occupazione delle frequenze Galileo

Per tutti gli utenti GALILEO saranno disponibili le frequenze E5a, E5b e L1; Due segnali su E6 con codici criptati saranno disponibili soltanto per usi commerciali ad utenti autorizzati mentre altri due segnali, uno in banda E6 e uno in banda L1, criptati, saranno riservati alle istituzioni pubbliche (per esempio alla protezione civile).

4.2.4 Architettura di un Ricevitore GNSS

L'architettura di un ricevitore, un cui esempio è riportato in figura 4.3, è costituita, principalmente, da Antenna, processore di banda e oscillatore.

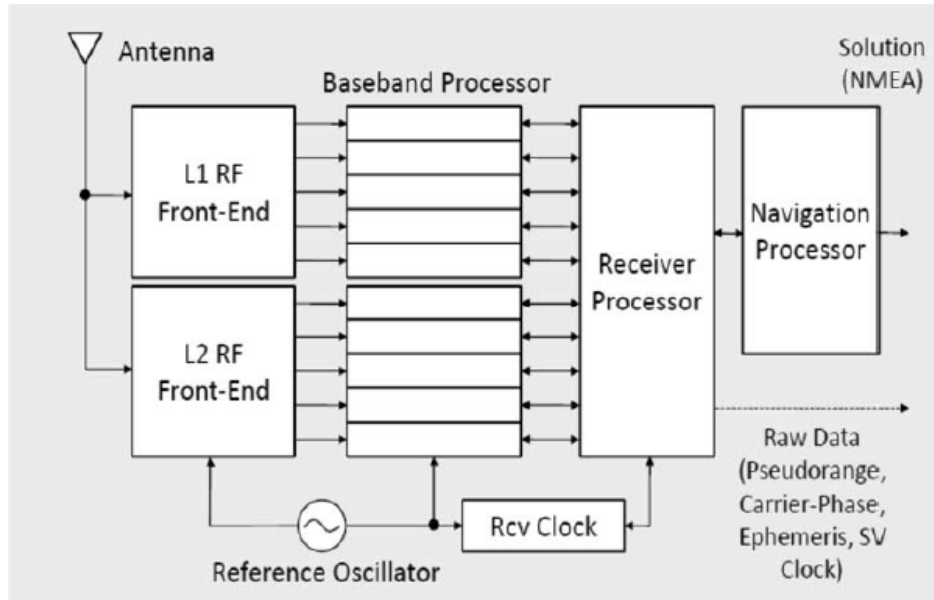


Figura 4.3: Schema a blocchi di un ricevitore GNSS basato su due portanti

Ogni satellite, in generale, dispone un canale per ciascuna delle due portanti, L_1 ed L_2 .

Una volta ricevuto dalle antenne, il segnale viene traslato in banda base da un processore cross che correla il segnale modulato in ingresso con un segnale modulato nello stesso modo e con uno shift temporale.

In base all'anticipo o al ritardo dello shift rispetto ad un valore nominale viene determinato il picco della funzione di cross correlazione, ovvero il tempo di arrivo del pacchetto d'onde.

In uscita dal firmware di navigazione, che di norma processa il codice C/A, sono disponibili le informazioni di base, quali coordinate, l'epoca e la scala di riferimento per il tempo.

Il formato del segnale di navigazione è NMEA, dato dall'ente che gestisce e sviluppa il protocollo ovvero la National Marine Electronics Association NMEA, e viene impiegato per visualizzare la posizione dell'utente in un contesto cartografico e per eseguire i tipici calcoli della navigazione.

Un ulteriore output è costituito dal messaggio di navigazione in cui vengono riportati i valori grezzi di pseudocodice e fase.

4.3 Le Orbite

4.3.1 Orbite Broadcast

Le orbite broadcast o effemeridi predette, contenute nel messaggio di navigazione, consistono nei parametri orbitali e nel valore numerico delle perturbazioni orbitali sia periodiche che secolari. Tramite le effemeridi predette possono essere calcolate per via analitica sia la posizione in coordinate ECEF che il clock offset del satellite utilizzando una funzione del tempo. Nello specifico viene utilizzato un modello pseudo-kepleriano, funzione di 16 parametri contenuti nel messaggio di navigazione e della funzione temporale. Assumendo quindi i parametri costanti nel periodo di valutazione dell'orbita, la posizione lungo i tre assi di riferimento sarà solamente funzione del tempo t al quale vuole essere valutata. Un esempio di file del messaggio di navigazione di un satellite GPS è visibile in figura 4.4, il relativo schema dei parametri è riportato in tabella 4.1, il significato fisico dei coefficienti è descritto in tabella 4.2 e la rappresentazione dei parametri geometrici è illustrata in figura 4.5.

```

2.10          N: GPS NAV DATA          RINEX VERSION / TYPE
ssrcrin-13.4.2x          04-FEB-20 00:00  PGM / RUN BY / DATE
                                END OF HEADER
08 20  2  4  2  0  0.0-2.251984551549E-05-1.250555214938E-12 0.000000000000E+00
6.800000000000E+01-1.546875000000E+01 4.534474593353E-09-3.114389236938E+00
-7.227063179016E-07 5.137140396982E-03 3.889203071594E-06 5.153621595383E+03
1.800000000000E+05-1.229345798492E-07-2.273555154904E+00-7.450580596924E-09
9.700151407499E-01 3.096250000000E+02-1.904047859807E-01-8.149982336620E-09
-3.607293115380E-11 1.000000000000E+00 2.091000000000E+03 0.000000000000E+00
2.000000000000E+00 0.000000000000E+00 5.122274160385E-09 6.800000000000E+01
1.728180000000E+05 4.000000000000E+00

```

Figura 4.4: File Rinex generato dalla stazione di Padova contenente il messaggio di navigazione; il satellite nello specifico è l'8 della costellazione GPS in data 04/02/2020

SAT ID	TOE	Sv Clock Bias	Sv Clock Drift	Sv Clock Drift Rate
	IODE	C_{rs}	Δn	M_0
	C_{uc}	e	C_{us}	$a^{\frac{1}{2}}$
	t_e	C_{ic}	Ω_0	C_{is}
	i_0	C_{rc}	ω_0	$\dot{\Omega}$
	didt	code L_2	week	L_2 data
	SV accuracy	SV health	TGD	IODC
	Trans Time	Fit interval		

Tabella 4.1: Informazioni presenti all'interno di un messaggio di navigazione

Ove:

Parametro	Descrizione
M_0	Anaomalia media all'epoca di riferimento
Δn	Variazione del moto medio
e	Eccentricità dell'orbita
a	Semiassa maggiore dell'orbita
Ω_0	Longitudine del nodo ascendente
i_0	Inclinazione dell'orbita
ω_0	Argomento di perigeo
i	Variazione dell'inclinazione
$\dot{\Omega}$	Varazione dell'ascensione retta del nodo
C_{uc}, C_{us}	Coefficienti di correzione dell'argomento di latitudine
C_{rc}, C_{rs}	Coefficienti di correzione della distanza geocentrica
C_{ic}, C_{is}	Coefficienti di correzione dell'inclinazione
TOE	Epoca di riferimento delle effemeridi

Tabella 4.2: Coefficienti costituenti le effemeridi broadcast e loro descrizione

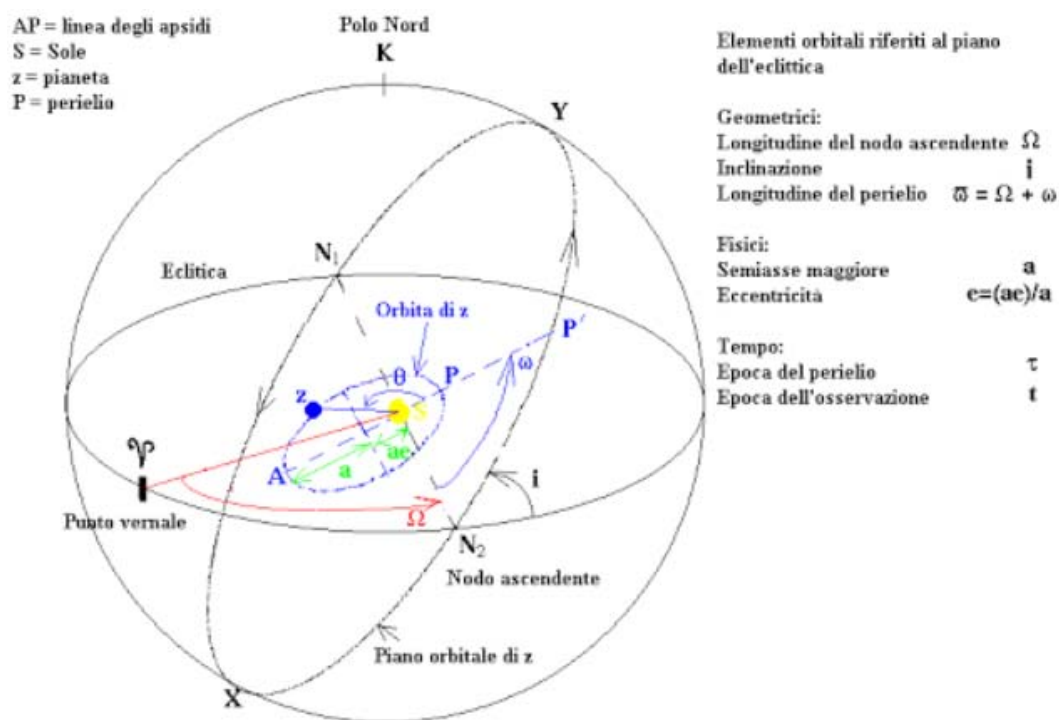


Figura 4.5: Rappresentazione dei parametri orbitali geometrici illustrati in tabella 4.2

4.3.2 Orbite SP3

I centri di analisi dell'IGS forniscono soluzioni delle orbite dei satelliti utilizzando pianificazioni predeterminate quali: sub-giornaliere, giornaliera o settimanali. Analogamente, la combinazione delle soluzioni delle orbite IGS, il cui formato è Extended Standard Product 3 (SP3), sono disponibili in tre forme: ultra-rapida, rapida e finale. Il prodotto ultra rapido viene impiegato per le applicazioni in tempo reale, infatti questo tipo di soluzione comprende orbite satellitari non osservate ma previste. Le orbite rapide sono una soluzione giornaliera disponibile circa 17 ore dopo la fine del giorno precedente. Infine, le orbite finali sono le più accurate e precise: sono costituite dall'insieme delle orbite giornaliera e vengono generate su base settimanale circa 13 giorni dopo la fine della settimana della soluzione.

Tutti i prodotti IGS per GNSS operativi che consistono in orbite dei satelliti, posizioni delle stazioni e soluzioni di clock sono disponibili nelle sottodirectory entro la settimana GPS alla pagina:

`ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/products/`

```
#cP2020 2 4 0 0 0.00000000 96 ORBIT IGS14 HLM IGS
## 2091 172800.00000000 900.00000000 58883 0.00000000000000
+ 32 G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G11G12G13G14G15G16G17
+ G18G19G20G21G22G23G24G25G26G27G28G29G30G31G32 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 2 2 2 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
++ 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c G cc GPS ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%f 1.2500000 1.025000000 0.000000000000 0.0000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.000000000000 0.0000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* FINAL ORBIT COMBINATION FROM WEIGHTED AVERAGE OF:
/* cod emr esa gfz grg jpl mit ngs sio
/* REFERENCED TO IGS TIME (IGST) AND TO WEIGHTED MEAN POLE:
/* PCV:IGS14_2091 OL/AL:FES2004 NONE Y ORB:CMB CLK:CMB
* 2020 2 4 0 0 0.00000000
PG01 14153.173965 -19610.647505 10385.018758 -283.635314
PG02 -14923.188375 -2015.944415 -21237.432325 -398.276185
PG03 18862.799013 -13147.135499 -13270.866658 -86.527730
PG04 9213.843954 -12520.817283 -21527.148670 -43.830945
```

Figura 4.6: File delle orbite finali in formato sp3 per la costellazione GPS. In esso vengono riportate le coordinate in data 04/02/2020 di ciascun satellite, post-calcolate e nel sistema di riferimento ECEF, con aggiornamento ogni 15 minuti

4.4 Pseudorange

4.4.1 Modello semplificato di Pseudorange

Lo pseudorange è la distanza che intercorre tra il centro di fase dell'antenna di un ricevitore e di quella di un satellite. Assumendo di essere in una situazione ideale, ovvero senza alcun effetto dissipativo, tale distanza viene definita range e misurata moltiplicando l'intervallo di tempo trascorso tra la trasmissione e la ricezione del segnale elettromagnetico Δt per la velocità della luce c secondo il seguente modello matematico:

$$\rho = c \cdot (T_r - t_e) = c \cdot \Delta t \quad (4.4)$$

ove:

- c è la velocità di trasmissione del segnale elettromagnetico [299.792.458 m/s]
- T_r è il tempo di ricezione del segnale
- t_e è il tempo di emissione del segnale

Vengono indicati con lettere differenti perchè, in generale, le due scale dei tempi non sono tra loro sincrone e quindi il bias del ricevitore sarà diverso per l'una o l'altra scala dei tempi.

Nella realtà il range misurato è disturbato da diversi fattori e il loro contributo viene misura in termini di errori, i quali si suddividono in:

- Casuali
- Sistematici
- Di osservazione
- Di strumentazione

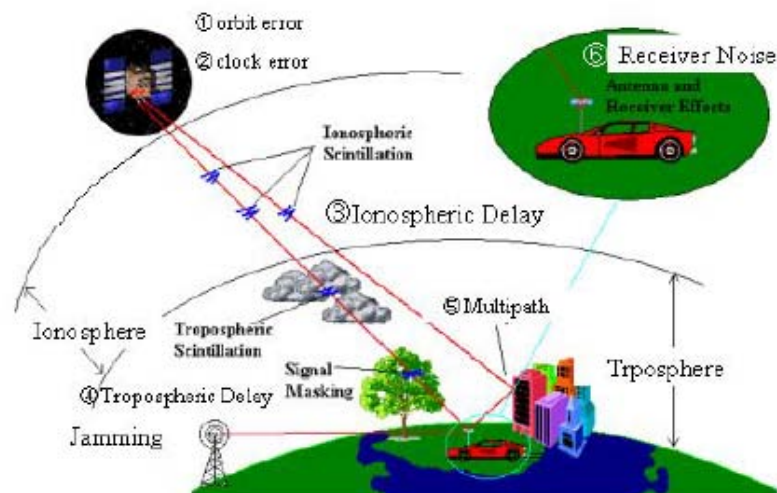


Figura 4.7: I contributi in termini di errore dello Pseudorange

4.4.2 Errori casuali

Gli errori casuali sono prevalentemente legati all'accuratezza del segnale e la loro stima viene desunta solo su basi teoriche.

L'accuratezza del sistema GPS, stimata secondo la regola empirica, risulta:

- Codice C/A: $\pm 3\text{m}$
- Codice P: $\pm 0.3\text{m}$
- Portanti L_1, L_2 : $\pm 0.002\text{m}$

L'accuratezza del posizionamento del GLONASS è stimata di 60 - 70 metri lungo la direzione orizzontale e di 75 metri lungo la direzione verticale.

Per ridurre l'errore casuale si possono combinare le due costellazioni; infatti, per i ricevitori multi-GNSS l'accuratezza del segnale porta ad un errore complessivo inferiore ai 3 metri.

4.4.3 Errori Sistemati

Gli errori sistematici o di modello sono di vario tipo:

- Errori di orologio: il più importante è la non perfetta sincronizzazione tra gli orologi di bordo e quelli dei ricevitori. Tale offset (asincronismo) è il motivo per il quale ci si riferisce alla distanza satellite-ricevitore come pseudorange invece di range e perché occorrono almeno quattro satelliti per avere un accurato rilevamento della posizione.
- Errori d'orbita: questo tipo di errore riguarda le effemeridi, ovvero l'elenco delle coordinate spaziali dei satelliti, e di altri elementi variabili nel tempo, relative alle posizioni assunte in istanti determinati ad intervalli di tempo costanti. Le effemeridi si distinguono in Broadcast (predette) e precise. Le prime vengono calcolate eseguendo una prima stima della traiettoria (errore dell'ordine del 10^2 m); successivamente, ad intervalli di 12-24 ore, vengono trasmesse le correzioni calcolate sulle ultime orbite compiute dal satellite, i cui errori sono dell'ordine del metro e vengono memorizzate dal ricevitore per poter poi essere utilizzate in sede di elaborazione dati.
- rifrazione troposferica: la troposfera è la fascia di atmosfera che si estende dal suolo per circa 15km. Il ritardo troposferico è funzione di parametri quali (pressione, temperatura ed umidità) e, visto che è elettricamente neutra, è indipendente dalla frequenza del segnale. Il modello matematico cui si tiene conto è:

$$T_{ropo} = k_1 \int \frac{p(r)}{T(r)} dr + k_2 \int \frac{e(r)}{T(r)} dr + k_3 \int \frac{p(r)}{T^2(r)} dr \quad (4.5)$$

Ove:

- p è la pressione [mbar]
- T è la temperatura [K]

- e è la pressione parziale del vapore acqueo
- k_1, k_2, k_3 sono delle costanti

Il primo termine dell'equazione, che costituisce circa il 90% del disturbo, modella la componente secca; gli altri due termini, la componente idrostatica.

- Rifrazione Ionosferica: la ionosfera è la componente dell'atmosfera immediatamente successiva alla troposfera e si estende fino alla quota di 1000 km. Siccome il disturbo viene provocato da elettroni liberi (infatti la ionosfera è un mezzo dispersivo), il ritardo ionosferico dipende dalla frequenza del segnale ed è quindi diverso per le due portanti. La variazione del tempo di arrivo del segnale è legata alla frequenza secondo il modello:

$$\delta t = \frac{a}{f^2} \quad (4.6)$$

ove:

- a è funzione della densità di elettroni liberi lungo il tragitto

La mappatura del contenuto elettronico della ionosfera viene eseguita sfruttando la dipendenza del ritardo di gruppo dalla frequenza: osservando i tempi di ritorno di uno stesso segnale modulato su almeno due portanti a frequenze ben spaziate si può ricavare il Total Electron Content (TEC), ovvero il contenuto di elettroni in ogni direzione, e pertanto ricostruire ad ogni istante la concentrazione di elettroni lungo lo zenith locale secondo il modello illustrato geometricamente in figura 4.8 e descritto dalle seguente equazione

$$\rho(f) = \rho_\infty + c \frac{a}{f^2} = \rho_\infty + \frac{40.3 \cdot TEC}{\cos(z') \cdot f^2} \quad (4.7)$$

Ove:

- ρ_∞ è la distanza stazione-satellite misurata idealmente in assenza di ionosfera

Gli effetti di questo disturbo possono essere ridotti grazie ad una particolare combinazione delle frequenze (ionosphere free). Una mappatura della ionosfera è stata eseguita dall'AIUB in data 29 giugno 2012 ed è riportata in figura 4.9. L'immagine è costituita da dodici fotogrammi ed evidenzia in modo chiaro come il disturbo ionosferico non sia costante.

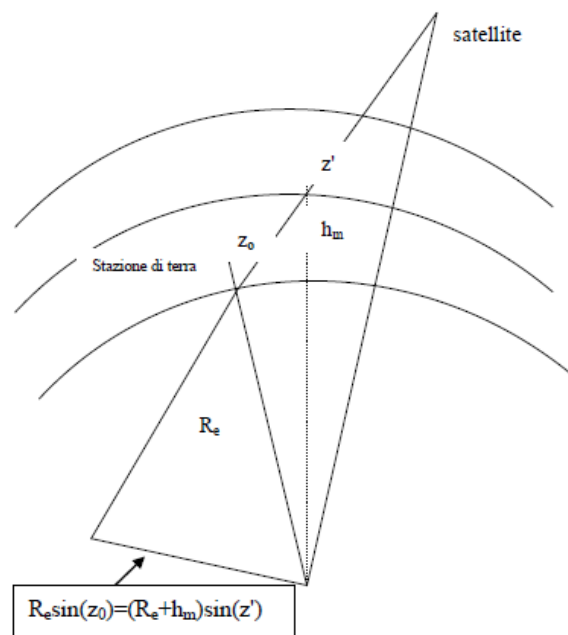


Figura 4.8: modello per la mappatura della ionosfera

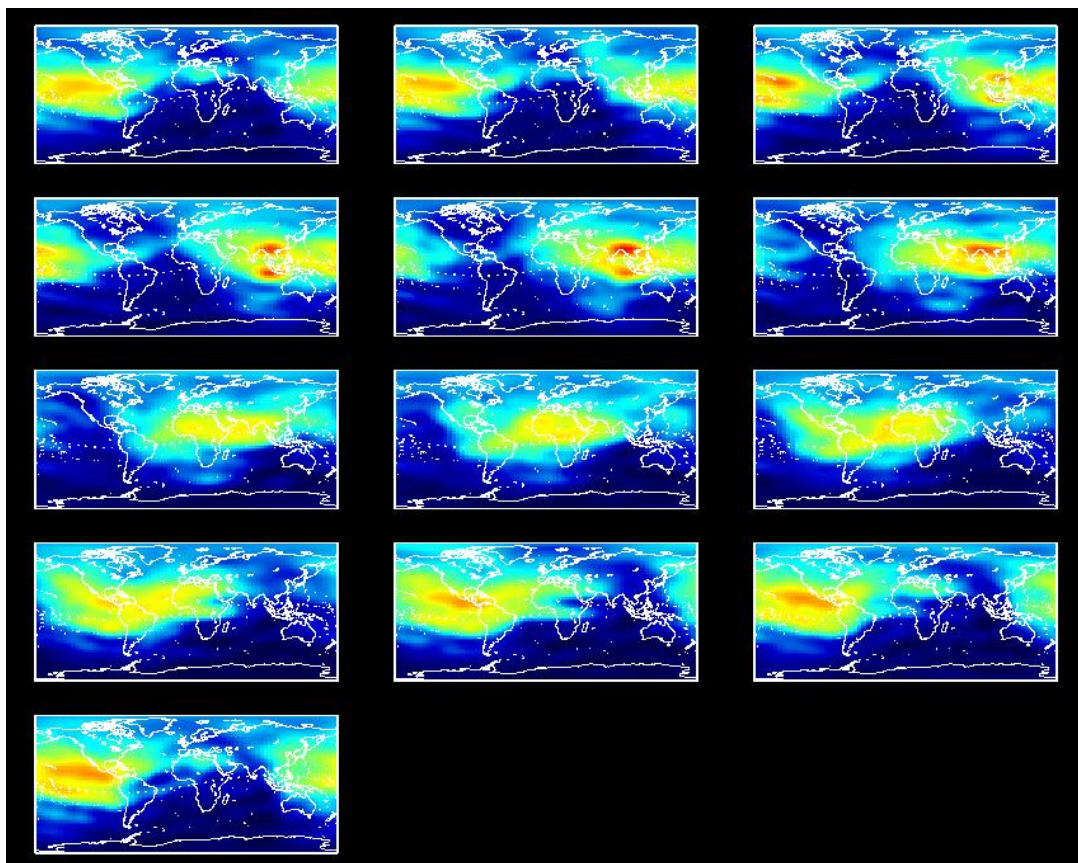


Figura 4.9: mappa ionosferica dalla mezzanotte che evidenzia come il disturbo in una determinata zona non sia costante ma tempo-variante

4.4.4 Errori di Osservazione

Gli errori di Osservazione sono legati ad interferenze che il segnale trova quando si trova in prossimità del ricevitore. Essi si suddividono in:

- **Multipath (riflessioni multiple):** fenomeno che si verifica quando il segnale non arriva direttamente dal satellite ma in maniera indiretta, riflesso da superfici nei pressi del ricevitore. Nonostante le antenne vengano costruite in modo da minimizzare quest'effetto, è un fenomeno tutt'ora molto perturbativo e di difficile eliminazione. È pertanto consigliato installare i ricevitori in zone piuttosto isolate oppure, se ciò non fosse praticabile, porre attenzione al sito in cui effettuare la misura.

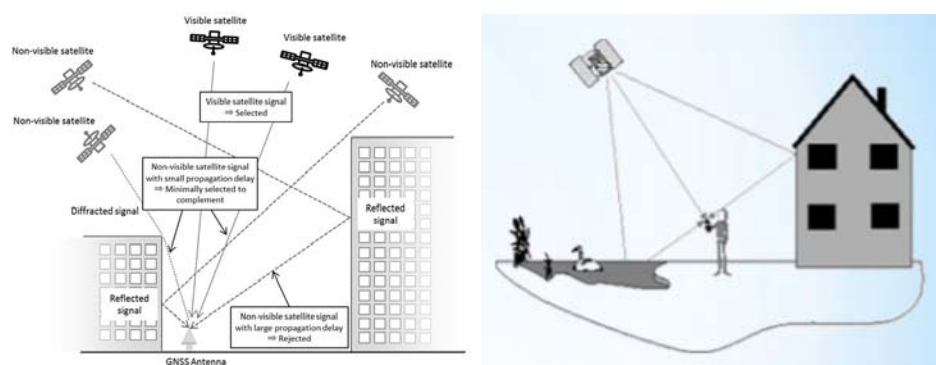


Figura 4.10: Esempi di superfici che causano il multipath

- **Elettronica del Ricevitore:** può causare la compromissione del segnale in quanto le misure di sfalsamento temporale dei codici e sfasamento delle fasi avvengono in tempo reale.
- **Interferenze elettromagnetiche:** possono causare elevata rumorosità o totale perdita del segnale stesso.
- **Variazione della posizione del centro di fase dell'antenna:** quest'ultimo è il punto teorico la cui locazione dipende dalla frequenza e dall'angolo di elevazione del satellite trasmittente. Non essendo un punto fisso, viene modellato matematicamente tramite una procedura di calibrazione standard e questo calcolo non è sempre preciso.

4.4.5 Errori di strumentazione

Gli errori di strumentazione riguardano il particolare tipo di strumentazione della stazione e possono riguardare:

- **Il non corretto stazionamento dell'antenna:** la posizione rilevata viene riferita all'antenna poiché è lei che riceve il segnale. L'effettivo punto di interesse, però, è quello a terra e pertanto occorre conoscere la quota del centro di fase dell'antenna rispetto ad un piano di riferimento, detto *Antenna Reference Point (ARP)*.

- Il modello dell'antenna: ogni antenna ha un proprio ARP, valore che viene determinato tramite un'opportuna procedura di calibrazione. Se il modello (sul ricevitore in fase di rilievo o sul software in sede di elaborazione dei dati raccolti in campagna) dovesse essere errato, ciò comporta degli errori nel determinazione della posizione.

4.4.6 Equazione pseudorange

Dalle precedenti considerazioni si può desumere che le tecniche di posizionamento sono affette da varie fonti di errore che portano ad accuratezze e precisioni che possono essere oltre l'ordine del metro. Alcune fonti di disturbo possono essere espresse sotto forma di modelli i quali tuttavia permettono solo di ridurre gli errori, non di eliminarli. Inoltre, i parametri da inserire nei modelli sono spesso di difficile misurazione e/o determinazione, per cui possono a loro volta costituire fonte di errore. Per raggiungere accuratezze e precisioni elevate, come verrà analizzato nel capitolo 5, anziché il posizionamento assoluto conviene ricorrere alle tecniche relative e/o differenziali che, pur partendo da presupposti di base sensibilmente diversi, hanno lo stesso contenuto geometrico. Tramite tali tecniche è possibile raggiungere accuratezze inferiori all'ordine del metro. L'espressione dello pseudorange può essere quindi descritta come:

$$\rho_r = \rho + c(\delta t_r - \delta t_e) + \Delta t_{tropo} + \Delta t_{iono} + \Delta t_{multipath} + \Delta t_{rumore} \quad (4.8)$$

i cui contributi in termini di errori sono illustrati in figura 4.11

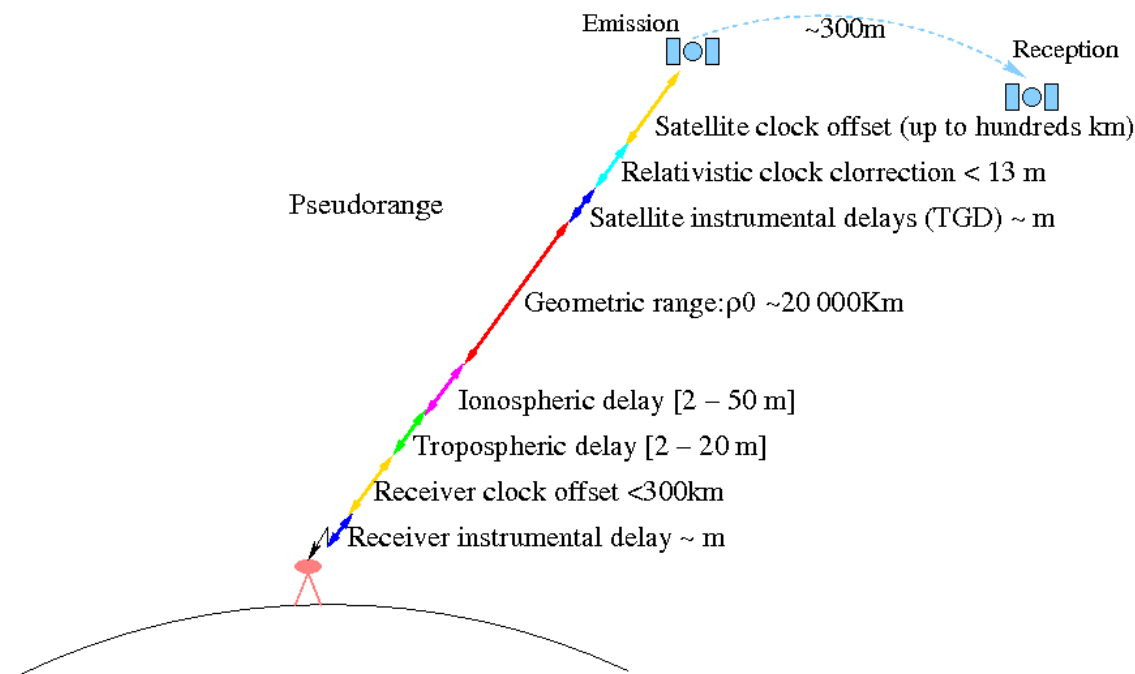


Figura 4.11: Calcolo dello Pseudorange come somma tra range e diversi fattori di disturbo quali: offset degli orologi, effetti relativistici, non corretto funzionamento della strumentazione, ritardo ionosferico e troposferico

4.5 Fase

La fase è il valore della portante misurata in cicli dal ricevitore; se dovesse essere misurata in semicicli deve essere convertito in cicli interi e contrassegnato dal fattore lunghezza d'onda nella sezione dell'header del Rinex dedicata come verrà spiegato nei prossimi capitoli.

La fase cambia nello stesso senso dell'intervallo (doppler negativo) e le sue osservazioni non contengono alcuna deriva sistematica da offset rispetto agli oscillatori di riferimento.

Siccome le osservabili (epoca, pseudorange e fase) sono affette da fattori esterni quali rifrazione atmosferica, offsets degli orologi ecc, se il ricevitore o il software del convertitore regolano le misurazioni usando le compensazioni in tempo reale e derivate $dT(r)$ del clock del ricevitore, allora le tre quantità osservabili devono essere mantenute poichè la correzione dell'orologio del ricevitore deve essere applicata a tutti e tre:

- $\text{Tempo}(\text{corr}) = \text{Tempo}(r) - dT(r)$
- $\text{Pr}(\text{corr}) = \text{Pr}(r) - dT(r) \cdot c$
- $\text{Fase}(\text{corr}) = \text{Fase}(r) - dT(r) \cdot f$

Oltre lo pseudorange, un secondo modo per misurare la distanza satellite-ricevitore è quello di sfruttare misure di fase della portante. Esse sono molto più precise rispetto alle misure di codice, a meno dell'ambiguità data da un numero intero di lunghezze d'onda (λN), valore che cambia ogni volta che il ricevitore aggancia il segnale. La misura della fase viene effettuata confrontando la fase della portante, depurata dal segnale in codice sovrapposto, con la fase dello stesso segnale generato internamente dal ricevitore, ma con stessa frequenza. Di conseguenza, la fase è definita come differenza tra la fase del segnale proveniente dal satellite e quella del segnale generato dal ricevitore la cui equazione è modellabile come:

$$L(t) = \rho + c(\delta t_r - \delta t_e) + \Delta t_{tropo} + \Delta t_{iono} + \Delta t_{multipath} + \Delta t_{rumore} + \lambda N \quad (4.9)$$

ove:

- N indica il numero intero di cicli
- λ indica la lunghezza d'onda

4.6 Doppler

Sia le misurazioni di pseudorange che della fase portante sono influenzate dall'effetto Doppler. Misurare l'effetto Doppler significa determinare la distanza tra il satellite e il ricevitore al momento dell'approccio più vicino. L'effetto Doppler può essere spiegato nel seguente modo: all'avvicinarsi di un satellite, la frequenza appare aumentata rispetto alla frequenza di trasmissione effettiva; man mano che scompare, al contrario, la frequenza sembra ridursi. Il segno dello shift Doppler viene assunto positivo per satelliti che si avvicinano (negativo viceversa) e rappresenta un'osservabile aggiuntiva.

Una misurazione della frequenza rispetto al tempo produce una curva Doppler. Al passaggio del satellite, la frequenza ricevuta sembra aumentare ma non in modo costante. Il tasso di variazione inizia lentamente, è maggiore al momento dell'approccio più vicino e poi si stacca verso la fine del transito. Questo perché si sta misurando il tasso di variazione della velocità di un satellite lungo una linea che unisce il satellite al ricevitore (linea di vista).

Capitolo 5

Tecniche di Posizionamento

Lo scopo con cui è nato negli anni '70 il GPS, come pubblicato su *academia.edu* da Matt King, Stuart Edwards e Peter Clarke, è di fornire la stima della posizione con una precisione molto prossima alla realtà. La strumentazione necessaria al posizionamento GNSS consiste in uno o più ricevitori satellitari muniti di antenne le quali vengono posizionate sui punti da rilevare. È possibile eseguire i posizionamenti tramite diverse modalità, alle quali corrispondono diverse prestazioni in termini di accuratezza e rapidità di esecuzione.

5.1 Posizionamento Assoluto

Il posizionamento assoluto consiste nel determinare le coordinate di un punto per mezzo di un singolo ricevitore mediante misure rispetto ai soli satelliti.

La tecnica più diffusa per questo tipo di posizionamento si basa sul codice C/A, l'accuratezza è dell'ordine dei 5 - 10 metri e la soluzione viene ottenuta in tempo reale permettendo il calcolo della posizione di punti sia statici che dinamici.

Una tecnica di posizionamento assoluta sviluppatasi negli ultimi anni e molto precisa è il PPP (Precise Point Positioning), che utilizza sia lo pseudorange che l'analisi della fase portante in sessioni statiche di durata variabile a seconda dell'accuratezza da ottenere. Con sessioni lunghe si arriva ad accuratezze di 1 - 2 cm; tuttavia il metodo richiede una elaborazione in post-processamento abbastanza complessa effettuabile solo da software molto strutturati e di non libero accesso quale è il *Bernese*

Un'ulteriore tecnica in via di sviluppo è il Single Point Positioning (SPP) che non usa orologi satellitari altamente precisi ma si basa solo su osservazioni di pseudorange. La differenza tra queste tecniche in termini di precisione delle coordinate è molto importante: SPP fornisce coordinate accurate a livello di 1 - 10 m in tempi brevi, invece, PPP può produrre coordinate precise al millimetro ma solo dopo diverse ore di osservazioni.

5.2 Posizionamento Relativo

La precisione che raggiunge la tecnica PPP è molto prossima a quella del posizionamento relativo, tecnica per la quale è necessario vengano utilizzati almeno due ricevitori tali da rimuovere gli errori di misura nel seguente modo: gli errori troposferici applicando

un modello matematico che tenti di simulare il ritardo del segnale; gli errori ionosferici osservando e combinando le frequenze GPS (L_1 e L_2) così da ottenere un'osservazione priva di ionosfera; gli errori nelle posizioni dei satelliti usando le orbite precise dei satelliti, disponibili e reperibili sul sito dell'IGS; gli altri tipi di errore, ad eccezione del multipath e degli orologi, tenendo i ricevitori a brevi distanze. Mentre per le riflessioni multiple non esistono tecniche o modelli precisi, per gli errori di orologio viene utilizzato il posizionamento statico o relativo: tecnica che prevede l'impiego di due ricevitori, uno con coordinate note l'altro incognite. Le coordinate di quest'ultimo vengono determinate in maniera relativa (ovvero tramite la differenza di coordinate) tra i ricevitori. Il posizionamento relativo si basa, su due modelli: singole e doppie differenze (da segnalare che da qualche anno è in fase di sviluppo anche il modello a triple differenze).

Le singole differenze, il cui schema è illustrato in figura 5.1, sono una tecnica per la quale i due ricevitori acquisiscono i dati da uno stesso satellite. Il modello di pseudorange alle fasi semplificato risulta:

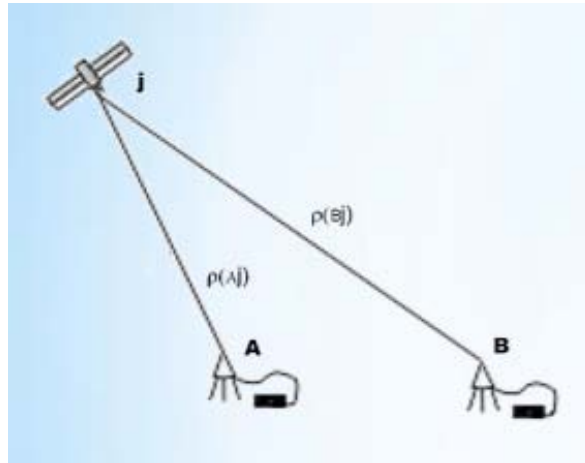


Figura 5.1: Schema della tecnica di posizionamento a singole differenze

$$L_A(t) = \rho_A(t) + c(\delta_A(t) - \delta_s(t)) + \lambda N_A(t) \quad (5.1)$$

$$L_B(t) = \rho_B(t) + c(\delta_B(t) - \delta_s(t)) + \lambda N_B(t) \quad (5.2)$$

Ove:

- A indica il ricevitore con coordinate note
- B indica il ricevitore con coordinate incognite
- S indica il satellite
- ρ è il range
- λN è il contributo della fase

Sottraendo membro a membro la seconda equazione alla prima:

$$L_A(t) - L_B(t) = \rho_A(t) - \rho_B(t) + c(\delta_A(t) - \delta_B(t)) + \lambda(N_A(t) - N_B(t)) \quad (5.3)$$

e, raggruppando le varie differenze:

$$L_{AB}(t) = \rho_{AB}(t) + c(\delta_{AB}(t)) + \lambda N_{AB}(t) \quad (5.4)$$

che dimostra come la singola differenza porti all'eliminazione dell'errore di sincronismo dell'orologio di bordo.

Le doppie differenze, il cui schema è illustrato in figura 5.2, sono una tecnica analoga alla precedente in cui, però, i due ricevitori acquisiscono il segnale da due satelliti. Pertanto, le doppie differenze, consistono nella differenza tra due singole differenze calcolate rispetto ai due satelliti:

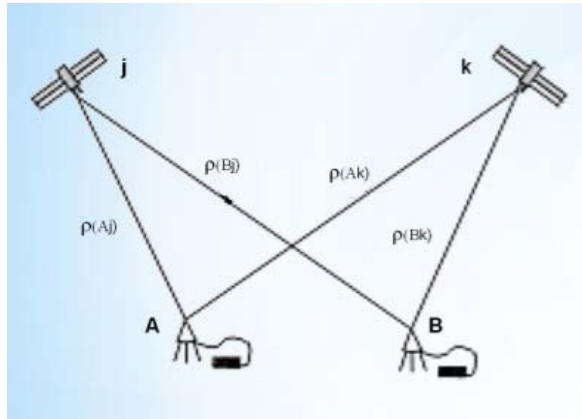


Figura 5.2: Schema della tecnica di posizionamento a doppie differenze

$$Sat_1 : L_{AB}(t) = \rho_{AB}(t) + c(\delta_{AB}(t)) + \lambda N_{AB}(t) \quad (5.5)$$

$$Sat_2 : L_{AB}(t) = \rho_{AB}(t) + c(\delta_{AB}(t)) + \lambda N_{AB}(t) \quad (5.6)$$

e, analogamente a prima, calcolando la differenza tra i due termini, si ottiene:

$$L_{AB}(t) = \rho_{AB}(t) + \lambda N_{AB}(t) \quad (5.7)$$

equazione della fase per la quale è stato rimosso anche il contributo dell'errore di asincronismo dell'orologio di entrambi i ricevitori. Un'importante considerazione per la seguente trattazione è che la tecnica della doppia differenza è l'osservabile di base per il calcolo del vettore distanza in tutti i software di elaborazione dati GPS.

Un problema riscontrabile e molto frequente in questa tecnica di posizionamento è il *Cycle Slip*: durante una sessione di misura ci possono essere interruzioni fortuite del collegamento fra ricevitore e satellite, dovute alla presenza di ostacoli o a difetti di trasmissione. In questo caso si ha un'interruzione nel conteggio del numero intero di lunghezze d'onda (cycle slip) e la procedura di stima dell'ambiguità deve essere ricominciata.

5.2.1 Posizionamento Differenziale

La tecnica del posizionamento differenziale (DGPS) è volta alla determinazione della posizione di uno o più ricevitori generalmente in movimento e detti *Rover*, rispetto a quella di un altro ricevitore di riferimento detto *Master* le cui coordinate sono note.

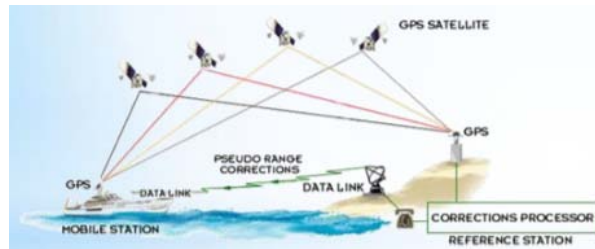


Figura 5.3: Schema della tecnica di posizionamento differenziale mobile

Il principio su cui si basa questa tecnica è il calcolo delle correzioni degli pseudorange (PRC) e della loro variazione nel tempo (RRC) da parte della stazione di riferimento. Affinchè sia garantita la trasmissione delle correzioni i due ricevitori, Master e Rover, devono essere in continua comunicazione. Il posizionamento differenziale può basarsi su misure di P-code o misure di fase. In entrambi i casi l'effetto della deriva degli orologi e di altri contributi quali le rifrazioni troposferiche e ionosferiche sono, a meno di errori dell'ordine del metro, approssimabili a zero. Inoltre, mentre il DGPS con misure di codice può essere usato soprattutto per applicazioni cinematiche precise ma i cui risultati sono disponibili dopo almeno un intervallo di tempo, il DPGRS con misure di fase viene usato per applicazioni cinematiche di precisione in tempo reale (RTK).

5.2.2 Real Time Kinematic Positioning

La tecnica di posizionamento cinematico in tempo reale (RTK), per determinare la posizione del *Rover* (il ricevitore in movimento), rispetto al *Master* (ricevitore fisso e con coordinate note) utilizza misure di fase piuttosto che di codice. Il posizionamento RTK è del tipo "float-RTK", cioè viene preso il valore reale (float) dell'ambiguità a partire dal quale si può fissarne il valore intero "fixed-RTK". Per svolgere questa operazione e procedere poi al calcolo della sua posizione il Rover ha bisogno di alcuni secondi (tempo di inizializzazione), durante i quali è necessario siano visibili almeno cinque satelliti. Usando tecniche di posizionamento RTK si possono raggiungere accuratèzze comprese tra i 20 cm e 1 m.

Capitolo 6

Il file RINEX

Il file RINEX, acronimo di Receiver INdependent Exchange Format, costituisce uno standard per la condivisione, l'archiviazione e la trasmissione dei dati GNSS. Lo scopo con cui sono nati i Rinex è quello di disporre, nel tempo, delle osservabili e del messaggio di navigazione in un formato che fosse comune, ed eventualmente modificabile, per tutti i ricevitori. La struttura del file è standard e caratterizzata da un'intestazione (*header*) e da una sezione di dati (*Data Record Description*). I files Rinex più diffusi sono di tre tipi:

- Dati di Osservazione
- Dati di Navigazione
- Dati Meteorologici (per le stazioni abilitate)

Il file di osservazione contiene le osservabili, rispetto ai satelliti GNSS in vista, raccolte da un singolo ricevitore. Le osservabili sono le grandezze misurate quali: l'epoca delle osservazioni, la frequenza del segnale GPS (unica per ciascun satellite) e le osservazioni di pseudorange (dati di fase, doppler, codice, rapporto segnale rumore) di ciascun satellite.

Il file di navigazione contiene le effemeridi di ciascun satellite GNSS in vista: in altre parole, vengono riportati i parametri orbitali del satellite.

Il file meteorologico contiene informazioni meteorologiche locali precise come ad esempio: pressione, temperatura ed umidità relativa, riferite all'esatta posizione della stazione di riferimento. Lo scopo di questo file è di migliorare l'accuratezza dei modelli usati per calcolare i ritardi troposferici.

Per determinare l'esatta posizione delle stazioni vengono impiegati i file Rinex di osservazione i quali possono presentare diverse durate e diversi intervalli di campionamento. Ad esempio, i files Rinex di osservazione relativi alla stazione permanente della Rete GPS Veneto di Padova (situata presso il CISAS, Centro Interdipartimentale Studi e Attività Spaziali), sono orari con campionamento ad 1 secondo; viene inoltre prodotto un file giornaliero ottenuto concatenando i diversi files orari campionati a 30 secondi. Come verrà analizzato in seguito, per implementare la procedura di elaborazione dei dati tramite il *Bernese*, volta alla determinazione dell'esatta posizione delle stazioni sulla superficie terrestre, viene usata l'ultima tipologia di file Rinex in quanto rappresenta il miglior compromesso in termini di informazione contenuta e spazio di memoria del PC occupato.

Attualmente, i formati Rinex impiegati nei vari ambiti (scientifico, commerciale, professionale, ecc) sono le versioni 2.xx (l'ultima è la 2.11) e la 3.xx (l'ultima è la 3.04). Entrambe le versioni, per le stazioni di riferimento riconosciute a livello internazionale dall'IGS, possono essere reperite sul sito:

`ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/data/`

6.1 Rinex 2.xx

I files Rinex 2 vengono attualmente impiegati dalla Rete GPS Veneto nell'elaborazione dati della rete GNSS italiana. Un esempio di file della stazione di Padova (il cui codice GNSS è PADO), datato 4 Febbraio 2020 è il seguente:

PADO0350.200

Quando viene scaricato da internet, il nome file, segue una ben precisa sintassi che identifica ad esempio: il tipo di Rinex (Osservazione, Navigazione, Meteorologico), la stazione GNSS e l'epoca di acquisizione, nel seguente modo:

`<STAT><DOY><HCODE>.<YY><TYPE>.<COMPRESSION>`

ove:

- STAT è il nome o il codice che identifica la stazione
- DOY è il giorno dell'anno compreso nell'intervallo [0 366]
- HCODE è la sessione: lo zero identifica un file giornaliero di 24 ore; poiché il Rinex ha come riferimento l'ora solare rispetto al meridiano di Greenwich, qualora al posto dello zero vi fosse una lettera dell'alfabeto inglese, ad esempio "a", essa definirebbe l'intervallo orario dalla mezzanotte del giorno stesso all'una; "b" dall'una alle due. Si procede in modo analogo fino a "x" che indica l'intervallo orario compreso tra le 23:00:00 e le 23:59:59
- YY indica l'anno
- <TYPE> indica se si tratta di un file dati di:
 - O Osservazione
 - N Navigazione GPS
 - G Navigazione GLONASS
 - L Navigazione Galileo
 - P Navigazione di sistemi GNSS misti
 - H Navigazione SBAS
 - M Meteorologico
 - B Trasmissione SBAS
 - C Orologio (Clock)

– S Riepilogo (Summary)

- <COMPRESSION> indica l'estensione finale che, in generale, è del tipo .Z

L'SBAS è uno dei sistemi attualmente in uso che permettono un miglioramento delle caratteristiche del sistema quali accuratezza, continuità, integrità e disponibilità attraverso l'integrazione di informazioni esterne all'interno del processo di calcolo.

Il Rinex Clock è stato sviluppato per intercambiare le correzioni di tempo dei sistemi GPS sia per i satelliti che per i ricevitori.

La struttura di un file Rinex 2.11 (in figura 6.1 è visibile quello della stazione di riferimento di Padova in data 4/02/2020) si suddivide in due sezioni: intestazione (*header*) e dati di osservazione (*Data Record Description*).

```

2.11 OBSERVATION DATA M RINEX VERSION / TYPE
ssrcrin-13.4.2x 04-FEB-20 00:00 PGM / RUN BY / DATE
(000000000000583309110102) Septentrio proprietary COMMENT
PADO00ITA MARKER NAME
12750S001 MARKER NUMBER
AC CISAS OBSERVER / AGENCY
3021140 SEPT POLARX5 5.3.0 REC # / TYPE / VERS
5227 SEPCHOKE_B3E6 SPKE ANT # / TYPE
4388882.2677 924567.2063 4519588.5101 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
20 C1 L1 L2 P2 P1 C2 C5 L5 C6# / TYPES OF OBSERV
L6 C7 L7 C8 L8 S1 S2 S5 S6# / TYPES OF OBSERV
S7 S8 # / TYPES OF OBSERV
For GPS, L2 corresponds to the L2P carrier phase. COMMENT
For GLONASS, L2 corresponds to the L2CA carrier phase. COMMENT
2020 2 4 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
20 2 4 0 0 0.0000000 0 3|2G20G22G16G11S36S26S25E30S23G27G10E15
S27G21E27E21G14R20G01E05E08G08E03E13
G32R07R05R21R11R13R06R22
22845907.525 6 120056071.40806 93550167.32104 22845905.059 4 22845906.457 4
40.632
26.563
24591160.966 5 129227420.15505
33.509
24199396.214 6 127168673.39206 99092464.69203 24199393.182 3 24199395.356 3
39.243
19.940
21806117.381 7 114591934.70507 89292413.13205 21806114.409 5 21806116.805 5
46.287
35.281
37890692.971 7 199117607.80507
37890667.775 7 148692247.68907
44.352
47.296
39674971.642 5 208493539.32705

```

Figura 6.1: File Rinex della stazione di Padova datato 04/02/2020

In tabella 6.1 vengono descritti i vari campi di un file Rinex, con relativa descrizione ed esempio pratico per il file di figura 6.1. I campi elencati con l'asterisco (*)

sono facoltativi. La fonte per la descrizione dei files Rinex è il *RINEX: The Receiver Independent Exchange Format* di Werner Gurtner.

Tabella 6.1: Header di un file Rinex 2.11

Campo Header	Descrizione	Esempio
RINEX VERSION / TYPE	<ul style="list-style-type: none"> • versione RINEX del file • specificazione del tipo di file (Osservazione, Navigazione, Meteo) • definizione del sistema satellitare <ul style="list-style-type: none"> – G o bianco: GPS; – R: Glonass – E: Galileo; – S: Satelliti Geostazionari – M: Multicostellazione 	<ul style="list-style-type: none"> • 2.11 • Observation Data • M <p>Il ricevitore di Padova è Multicostellazione; infatti vengono riportati i dati di GPS, GLONASS e Galileo</p>
PGM / RUN BY / DATE	<ul style="list-style-type: none"> • nome del programma • nome della persona fisica o giuridica che ha creato il file • data di creazione del file 	<ul style="list-style-type: none"> • ssrcrin-13.4.2x • • 04-FEB-20 00:00
COMMENT	Facoltativa e costituita da eventuali commenti	Septentrio proprietary
MARKER NAME	<p>Nome che contraddistingue l'antenna della stazione quando bisogna ricercarla all'interno di database internazionali quali IGS o EUREF. Il marker name è costituito dalle iniziali del nome del sito e dalla sigla dello Stato in cui è situato, ovvero da:</p> <ul style="list-style-type: none"> • station code • Country Code 	<p>PADO00ITA</p> <ul style="list-style-type: none"> • PADO • ITA

Tabella 6.1 continua nella prossima pagina

Tabella 6.1 – Header di un file Rinex 2.11

Campo Header	Descrizione	Esempio
MARKER NUMBER	Codice unico alfanumerico costituito da 5 numeri, una lettera (S o M) e altre 3 cifre (generalmente 001). Le prime quattro lettere del marker name e il marker number costituiscono il Domes Number. (Non vi sono normative univoche e specifiche sull'assegnazione del Domes Number)	12750S001. Il domes number della stazione di Padova è PADO 12750S001
OBSERVER / AGENCY	<ul style="list-style-type: none"> • osservatore • agenzia proprietaria del ricevitore 	<ul style="list-style-type: none"> • AC • CISAS
REC # / TYPE / VERSION	Specifiche del ricevitore in termini di: <ul style="list-style-type: none"> • numero seriale • tipo • versione del software 	<ul style="list-style-type: none"> • 3021140 • SEPT POLARX5 • 5.3.0
ANT # / TYPE	Specifiche dell'antenna in termini di: <ul style="list-style-type: none"> • numero seriale • tipo 	<ul style="list-style-type: none"> • 5227 • SEPCHOKE B3E6 SPKE
APPROX POSITION XYZ	Coordinate approssimate del sito nel sistema di riferimento ECEF (espresse in metri), assumendo come modello del geoide il WGS84. All'inizio della procedura di elaborazione dati del <i>Bernese</i> è da questo set di coordinate che vengono calcolate le coordinate approssimate all'epoca corrente	(4388882.2677, 924567.2063, 4519588.5101)
ANTENNA: DELTA H/E/N	L'antenna può essere sopraelevata rispetto al suolo in termini di altezza (H) o avere un'eccentricità rispetto al marker cioè variazioni in direzione est (E) e nord (N)	0.0000 0.0000 0.0000

Tabella 6.1 continua nella prossima pagina

Tabella 6.1 – Header di un file Rinex 2.11

Campo Header	Descrizione	Esempio
WAVELENGTH FACT L1/2	Grado di precisione delle portanti L1 ed L2: <ul style="list-style-type: none"> • 1: l'ambiguità è sul ciclo completo • 2: l'ambiguità è sul semiciclo • 0: (può coinvolgere solo la portante L2) il segnale si basa solo sulla frequenza L1 	1
*WAVELENGTH FACT L1/2	<ul style="list-style-type: none"> • Grado di precisione delle portanti L1 ed L2 <ul style="list-style-type: none"> – 1: l'ambiguità è sul ciclo completo – 2: l'ambiguità è sul semiciclo – 0 (può coinvolgere solo la L2): il segnale si basa solo sulla L1 • numero di satelliti per i quali sono validi i fattori prima elencati • Lista PRN che identifica i satelliti <p>Questa linea è opzionale e viene scritta se le specifiche sono differenti rispetto ai valori di default</p>	
# / TYPE OF OBSERV	Osservazioni suddivise nelle due portanti. Vengono riportati i codici di osservazione C e P (Pseudorange), D (effetto doppler), L (fase della portante) e S (intensità del segnale); in seguito, vengono scritti i codici di frequenza	C1 L1 L2 P2 P1 C5 L5 C6 L6 C7 L7 C8 L8 S1 S2 S5 S6 S7 S8
*INTERVAL	Intervallo di osservazione riportato in secondi	

Tabella 6.1 continua nella prossima pagina

Tabella 6.1 – Header di un file Rinex 2.11

Campo Header	Descrizione	Esempio
TIME OF FIRST OBS	<ul style="list-style-type: none"> • Epoca della prima osservazione (anno, mese, giorno, ore, minuti, secondi) • sistema di riferimento per il tempo <ul style="list-style-type: none"> – GPS (GPS) – GLO (orario UTC) – GAL (Galileo) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2020 2 4 0 0 0 0.0000 • GPS
*TIME OF LAST OBS	<ul style="list-style-type: none"> • Epoca dell'ultima osservazione (anno, mese, giorno, ore, minuti, secondi) • sistema di riferimento per il tempo <ul style="list-style-type: none"> – GPS (GPS) – GLO (orario UTC) – GAL (Galileo) 	
*RCV CLOCK OFFS APPL	Epoca, codice e fase possono essere corretti (1 se ciò avviene, altrimenti viene riportato il 2) applicando l'offset dell'orologio del ricevitore. Di default viene posto zero. Righe necessarie se gli offset degli orologi sono riportati nelle registrazioni EPOCH/SAT	
*LEAP SECONDS	I leap second sono i secondi di salto di recupero. Campo raccomandato per files misti	
*# OF SATELLITES	Numero di satelliti per i quali, nei files, sono riportate delle osservazioni	
*PRN / # OF OBS	PRN è il codice identificativo del satellite. Poi, viene riportato il numero delle osservazioni indicate nel campo "# / TYPE OF OBSERV"	
END OF HEADER	fine dell'header	

```

2.11          OBSERVATION DATA      M          RINEX VERSION / TYPE
ssrcrin-13.4.2x          04-FEB-20 00:00      PGM / RUN BY / DATE
(000000000000583309110102) Septentrio proprietary      COMMENT
PADO00ITA          MARKER NAME
12750S001          MARKER NUMBER
AC          CISAS          OBSERVER / AGENCY
3021140          SEPT POLARX5          5.3.0      REC # / TYPE / VERS
5227          SEPCHOKE_B3E6      SPKE      ANT # / TYPE
4388882.2677      924567.2063      4519588.5101      APPROX POSITION XYZ
0.0000          0.0000          0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
1          1          WAVELENGTH FACT L1/2
20      C1      L1      L2      P2      P1      C2      C5      L5      C6# / TYPES OF OBSERV
      L6      C7      L7      C8      L8      S1      S2      S5      S6# / TYPES OF OBSERV
      S7      S8          # / TYPES OF OBSERV
For GPS, L2 corresponds to the L2P carrier phase.      COMMENT
For GLONASS, L2 corresponds to the L2CA carrier phase.      COMMENT
2020      2      4      0      0      0.0000000      GPS      TIME OF FIRST OBS
          END OF HEADER

```

Figura 6.2: Ingrandimento dell'*header* del file Rinex della stazione di Padova datato 04/02/2020

Terminato l'*header* comincia la *Data Record Description*, dove vengono riportate, per ogni osservazione, che si ricorda essere a campionamento regolare ad ogni secondo, 30 secondi, 5 minuti o 10 minuti, le caratteristiche riportate in tabella 6.2.

Tabella 6.2: Data Record Description di un file Rinex 2.11

Registro	Descrizione	Esempio
EPOCH/SAT o EVENTI DA SEGNALARE	<ul style="list-style-type: none"> • Epoca in termini di: <ul style="list-style-type: none"> – anno – mese, giorno, ora, minuti – secondo • informazioni sui disturbi dell'epoca: <ul style="list-style-type: none"> – bianco: nessun evento rilevante – 0: è stata registrata correttamente – 1: mancanza di alimentazione tra epoca precedente e corrente – 2: l'antenna ha cominciato a muoversi – 3: il sito è nuovo – 4: vengono seguite le informazione dell'header – 5: fenomeni esterni – 6: segnalazione di registrazioni corrette • numero di satelliti visibili all'epoca • PRNs ovvero lista dei satelliti visibili all'epoca corrente • impostazioni dell'orologio del ricevitore (opzione facoltativa) 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoca <ul style="list-style-type: none"> – 20 – 2 4 0 0 – 0.00000 • informazioni disturbi <ul style="list-style-type: none"> – 0 • 32 • G20 G22 G16 G11 S36 S26 S25 E30 S23 G27 G10 E15 S27 G21 E27 E21 G14 R20 G01 E05 E08 G08 E03 E13 G32 R07 R05 R21 R11 R13 R06 R22 • non vi sono informazioni sul clock
Tabella 6.2 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.2 – Data Record Description di un file Rinex 2.11

Registro	Descrizione	Esempio
OSSERVAZIONI	<ul style="list-style-type: none"> • Osservazioni in termini di: <ul style="list-style-type: none"> – Fase [in cicli della portante] – Codice [m] – se non eseguite vengono lasciate in bianco o scritto 0.0 • Indicatore di perdita di trasmissione (LII) della fase, nell'intervallo [0-7], <ul style="list-style-type: none"> – 0 o vuoto: OK o non noto – intervallo di bit 0: blocco perso tra l'osservazione precedente e quella attuale: possibile slittamento del ciclo – intervallo di bit 1: fattore di lunghezza d'onda opposto a quello definito per il satellite da una precedente lunghezza d'onda di L1/2 o valore opposto predefinito. (Valido solo per l'epoca attuale). – intervallo di bit 2: osservazioni manomesse (a causa dell'incremento del rumore) – nota: gli intervalli di Bit 0 e 1 solo validi solo per la fase • Potenza del segnale, nell'intervallo [1-9] <ul style="list-style-type: none"> – 1: minima potenza di segnale – 5: soglia minima per garantire un buon rapporto S/N (Segnale/rumore) – 9: massima potenza del segnale 	<p>Per il satellite G20, il primo analizzato: C1=22845907.525; Potenza di C1=6; L1=120053071.40806; L2=93550167.32104; P2=22845905.059; potenza di P2=4; P1=22845906.457; potenza di P1=4; C2=0; C5=0; L5=0; L6=0; C7=0; L7=0; C8=0; L8=0; S1=0; S1=40.632; S5=26.563; S6=0; S7=0; S8=0</p>

6.2 Rinex SMT

Il *Bernese*, quando esegue l'analisi dei dati per il calcolo delle coordinate, non usa esattamente il file Rinex appena descritto: quando l'utente lancia la procedura di elaborazione, tramite il programma interno al software *RNXSMT*, dal file Rinex originale, viene generato il file Rinex con estensione SMT. Pur essendo anche questo un file Rinex, nella parte dedicata al campionamento, come è possibile vedere in figura 6.3, mantiene solo le 2 portanti dei GPS e del GLONASS..

```

      2              OBSERVATION DATA      M (MIXED)              RINEX VERSION / TYPE
SSRCRIN-13.4.2X              04-FEB-20 00:00          PGM / RUN BY / DATE
(000000000000583309110102) SEPTENTRIO PROPRIETARY          COMMENT
FOR GPS, L2 CORRESPONDS TO THE L2P CARRIER PHASE.          COMMENT
FOR GLONASS, L2 CORRESPONDS TO THE L2CA CARRIER PHASE.      COMMENT
### PG RNXSMT: RINEX FILE CHANGED                          COMMENT
PADO00ITA                                                       MARKER NAME
12750S001                                                       MARKER NUMBER
AC              CISAS                                           OBSERVER / AGENCY
3021140         SEPT POLARX5              5.3.0                REC # / TYPE / VERS
5227            SEPCHOKE_B3E6            SPKE                  ANT # / TYPE
      4388882.2677    924567.2063    4519588.5101          APPROX POSITION XYZ
      0.0000          0.0000          0.0000              ANTENNA: DELTA H/E/N
      1      1                                           WAVELENGTH FACT L1/2
      4      L1      L2      P1      P2                      # / TYPES OF OBSERV
      2020      2      4      0      0      0.000000          GPS      TIME OF FIRST OBS
                                                                END OF HEADER
20 2 4 0 0 0.0000000 0 21G01G08G10G11G14G16G20G21G22G27G32R05
      R07R11R13R20R21R22S23S25S26
123321245.374 2 96094487.703 2 23467250.408 9 23467252.547 9
107352181.934 2 83651073.056 2 20428439.836 9 20428441.036 9
110867525.299 2 86390279.694 2 21097385.828 9 21097386.392 9
114591934.705 2 89292413.132 2 21806116.495 9 21806114.307 9
128647827.051 2 100245048.850 2 24480867.618 9 24480866.570 9
127168673.392 2 99092464.692 2 24199394.779 9 24199393.338 9
120056071.408 2 93550167.321 2 22845906.176 9 22845904.801 9
133610790.920 2 104112301.750 2 25425287.291 9 25425286.891 9
129227420.155 2
107848128.297 2 84037512.239 2 20522812.476 9 20522813.214 9
121559148.416 2 94721412.977 2 23131936.651 9 23131937.769 9
111274005.697 2 86546467.700 2 20816101.868 9 20816103.922 9
124003453.798 2 96447143.713 2 23164885.541 9 23164888.532 9
124349287.840 2
126808876.555 2 98629140.685 2 23747227.390 9 23747229.589 9
116183612.386 2 90365066.877 2 21726922.220 9 21726926.779 9
104207936.721 2 81050617.731 2 19473739.644 9 19473742.028 9
118600297.493 2 92244670.230 2 22217827.218 9 22217829.703 9
200472543.570 2
200376112.514 2
208493539.327 2
20 2 4 0 0 30.0000000 0 21G01G08G10G11G14G16G20G21G22G27G32R05
      R07R11R13R20R21R22S23S25S26

```

Figura 6.3: File in formato SMT della stazione di Padova datato 04/02/2020

6.3 Rinex 3.xx

Da qualche anno esiste la versione 3 dei files Rinex. È stata sviluppata col fine di acquisire un numero superiore di osservazioni da stazioni multiconstellazione, includendo oltre a GPS, GLONASS, Galileo ed SBAS, anche le costellazioni BEIDOU, IRNSS e QZSS. Il nome file segue la seguente sintassi:

```
<STATION_NAME>_<DATA_SOURCE>_<START_TIME>_
<FILE_PERIOD>_<DATA_FREQUENCY>_<DATA_TYPE>
.<FORMAT_FILE>.<COMPRESSION>
```

Esempio:

```
PADO00ITA_R_20200350000_01D_30S_MO.crx.gz
```

In tabella 6.3 vengono riportati i campi, la loro descrizione e l'esempio concreto per il file sopra citato.

Tabella 6.3: Descrizione nomenclatura di un file Rinex 3.04

Sintassi	Descrizione	Esempio
SITO/ MONU- METO STAZIO- NE/STATO	La convenzione di denominazione stabilita dall'IGS è XXXXMRCCC (9 caratteri) con: <ul style="list-style-type: none"> • XXXX nome IGS della stazione • M numero del monumento/ricevitore • R numero del Ricevitore • CCC Codice internazionale dello Stato 	<ul style="list-style-type: none"> • PADO • 0 • 0 • ITA
DATA SOURCE	La condivisione di dati Rinex in tempo reale può essere eseguita da più posti. La fonte (1 carattere) dei dati può essere: <ul style="list-style-type: none"> • R - ricevitore • S - flusso di dati in tempo reale • U - sorgente sconosciuta 	R

Tabella 6.3 Continua nella prossima pagina

Tabella 6.3 Descrizione nomenclatura di un file Rinex 3.04

Sintassi	Descrizione	Esempio
START TIME	<p>L'ora di inizio (11 caratteri) coincide con la prima osservazione. Gli orari di inizio dei file misti sono definiti nel sistema temporale specificato nell'intestazione. Nel caso del GPS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • YYYY - Anno • DDD - Giorno dell'anno [0 - 366] • HHMM - Ora e minuto del giorno <p>I files contenenti solo osservazioni GLO-NASS, Galileo, QZSS, BDS o SBAS sono basati sul rispettivo sistema temporale</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2020 • 035 • 00 00
FILE PERIOD	<p>Periodo di campionamento dati (3 caratteri):</p> <ul style="list-style-type: none"> • DD - Periodo (in termini numerici) • U - Unità di misura (minuti M, ore H, giornaliero D) 	<ul style="list-style-type: none"> • 01 • D <p>è un file giornaliero</p>
DATA FREQUENCY	<p>Frequenza di campionamento dati (3 caratteri):</p> <ul style="list-style-type: none"> • DD - Frequenza (in termini numerici) • U - Unità misura (secondi S, minuti M, ore H, giornaliero D, frequenza Z, sconosciuto U) 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 • S <p>Il campionamento avviene ogni 30 secondi</p>
DATA TYPE / FORMAT	<p>Costellazione e contenuto (2 caratteri):</p> <ul style="list-style-type: none"> • costellazione (GPS G, GLONASS R, Galileo E, QZSS J, Beidou C, IRNSS I, SBAS S, Multi-Costellazione M) • contenuto (dati di osservazione O, navigazione N o meteorologici M) 	<ul style="list-style-type: none"> • M • O <p>File Rinex osservativo multi costellazione</p>

Tabella 6.3 Continua nella prossima pagina

Tabella 6.3 Descrizione nomenclatura di un file Rinex 3.04

Sintassi	Descrizione	Esempio
FORMAT FILE	Formato del file (3 caratteri). Il formato Rinex è rnx; se il file, per motivi di spazio, viene compresso secondo la procedura Hatanaka, il formato è crx	crx
COMPRESSION	Metodo di compressione del file. Il più comunemente impiegato è il gzip-.gz; altri metodi validi sono: bzip2-.bz2, -.zip	gz

Un Rinex 3 (in figura 6.4 è visibile quello della stazione di riferimento di Padova in data 04/02/2020), nonostante contenga, per buona parte, lo stesso tipo di informazioni della la versione 2, presenta una diversa struttura per quanto concerne sia l'*header* che la *Data Record Description*.

In tabella 6.4 vengono riportati i vari campi di un file Rinex, con relativa descrizione ed esempio pratico per il file di figura 6.4

Tabella 6.4: Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
RINEX VERSION TYPE /	<ul style="list-style-type: none"> • Versione RINEX del file • Tipo di file dati (Osservazione, Navigazione, Meteo) • definizione del sistema satellitare <ul style="list-style-type: none"> – G: GPS; – E: Galileo; – S: SBAS – R: Glonass – C: Beidou (Cina) – J: QZSS (Giappone) – I: IRSS (India) – M: Multicostellazione 	<ul style="list-style-type: none"> • 3.04 • Observation Data • M

Tabella 6.4 continua nella prossima pagina

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
PGM / RUN BY / DATE	<ul style="list-style-type: none"> • nome del programma • nome della persona fisica o giuridica che ha creato il file • data di creazione del file (yyyymmdd hhmmss) e tempo di riferimento (preferibilmente UTC) 	<ul style="list-style-type: none"> • ssrcri-13.4.2x • • 2020 02 04 000000 UTC
COMMENT	Facoltativa e costituita da eventuali commenti	Septentrio proprietary
MARKER NAME	<p>Nome che contraddistingue l'antenna della stazione quando bisogna ricercarla all'interno di database internazionali, quali IGS o EUREF. Il marker name è costituito dalle iniziali del nome del sito e dalla sigla dello Stato in cui è situato, ovvero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • station code • Country Code 	PADO00ITA <ul style="list-style-type: none"> • PADO • ITA
MARKER NUMBER	Codice unico alfanumerico costituito da 5 numeri, una lettera (S o M), e altre 3 cifre (generalmente 001). Le prime quattro lettere del marker name e il marker number costituiscono il Domes Number. (Non ci sono normative univoche e specifiche sull'assegnazione del Domes Number)	12750S001 Il domes number della stazione di Padova è PADO 12750S001
Tabella 6.4 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
MARKER TY- PE	Tipo del ricevitore: <ul style="list-style-type: none"> • GEODETIC: fisso ad alta precisione • NON_GEODETIC: fisso a bassa precisione • NON_PHYSICAL: generato da un elaborazione di rete • SPACEBORNE: orbita di un veicolo spaziale • GROUND_CRAFT: veicolo terrestre mobile • WATER_CRAFT: natante mobile • AIRBORNE: aeroplano, sonda spaziale • FIXED_BUOY: punto fisso sulla superficie terrestre • FLOATING_BUOY: galleggiante sulla superficie acquatica • FLOATING_ICE: galleggiante sul ghiaccio • GLACIER: fisso sul ghiaccio • BALLISTIC: razzo • ANIMAL: gli animali fungono da mezzo di trasporto • HUMAN: umanità Informazione richiesta a meno che non si tratti dei primi due casi	<ul style="list-style-type: none"> • GEODETIC
OBSERVER / AGENCY	<ul style="list-style-type: none"> • osservatore • agenzia proprietaria del ricevitore 	<ul style="list-style-type: none"> • AC • CISAS
Tabella 6.4 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
REC # / TYPE / VERSION	Specifiche del ricevitore in termini di: <ul style="list-style-type: none"> • numero seriale • tipo • versione del software 	<ul style="list-style-type: none"> • 3021140 • SEPT POLARX5 • 5.3.0
ANT # / TYPE	Specifiche dell'antenna in termini di: <ul style="list-style-type: none"> • numero seriale • tipo 	<ul style="list-style-type: none"> • 5227 • SEPCHOKE B3E6 SPKE
APPROX POSI- TION XYZ	Coordinate approssimate del sito nel sistema di riferimento ECEF (espresse in metri), assumendo come modello del geoide il WGS84. All'inizio della procedura di elaborazione dati del <i>Bernese</i> è da questo set di coordinate che vengono calcolate le coordinate approssimate all'epoca corrente	(4388882.2677, 924567.2063, 4519588.5101)
ANTENNA: DELTA H/E/N	L'antenna può essere sopraelevata rispetto al suolo in termini di altezza (H) o avere un'eccentricità rispetto al marker cioè variazioni in direzione Est (H) e Nord (N)	0.0000 0.0000 0.0000
*ANTENNA: DELTA X/Y/Z	Posizione del punto di riferimento dell'antenna sul veicolo (m): XYZ è un vettore nel sistema di coordinate incentrato nel corpo	
*ANTENNA: PHASECEN- TER	Posizione media della fase rispetto all'antenna (m) in termini di: <ul style="list-style-type: none"> • Sistema satellitare (G/E/S/R/C/J/I) • Codice di osservazione • Nord/Est/Up (se stazione fissa) • X/Y/Z nel sistema corpo fisso (veicolo) 	

Tabella 6.4 continua nella prossima pagina

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
*ANTENNA: B.SIGHT XYZ	<p>Verso dell'antenna lungo la verticale nella direzione dei satelliti GNSS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antenna fissa sul veicolo: vettore unità nel sistema di coordinate fissato nel corpo. • Antenna inclinata su stazione fissa: vettore unità nel sistema N/E/U secondo la regola della mano destra 	
*ANTENNA: ZERODIR AZI	Direzione dell'Azimuth di un'antenna fissa (in gradi, da nord)	
*ANTENNA: ZERODIR XYZ	<p>Direzione zero dell'antenna.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antenna fissa sul veicolo: vettore unità nel sistema di coordinate fissato nel corpo. • Antenna inclinata su stazione fissa: vettore unità nel sistema N/E/U secondo la regola della mano destra 	
*CENTER OF MASS	Centro di massa locale (X,Y,Z,metri) del veicolo nel sistema di riferimento fisso. Stesso sistema usato per il calcolo dell'assetto	

Tabella 6.4 continua nella prossima pagina

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
SYS / # /OBS TYPES	<ul style="list-style-type: none"> • codice della costellazione (G/E/S/R/-C/J/I) • numero di tipi di osservazione fatte per lo specifico sistema satellitare; i tipi di osservazione sono: <ul style="list-style-type: none"> – C: Pseudorange – L: Fase – D: Doppler – S: Rapporto segnale Rumore – I: Ritardo ionosferico – X: Numero canale del Ricevitore 	Per la prima riga: <ul style="list-style-type: none"> • G: GPS • 17: Vengono eseguite le seguenti 17 osservazioni: <ul style="list-style-type: none"> C1C L1C S1C C1W S1W C2W L2W S2W C2L L2L S2L C5Q L5Q S5Q C1L L1L S1L
Tabella 6.4 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
SYS / PHASE SHIFT	<p>Viene riportata per ciascuna costellazione la fase indicando poi :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Banda: <ul style="list-style-type: none"> – 1 = <ul style="list-style-type: none"> * L1 (GPS,QZSS,SBAS,BDS) * G1 (GLO) * E1 (GAL) * B1 (BDS) – 2 = <ul style="list-style-type: none"> * L2 (GPS,QZSS) * G2 (GLO) * B1-2 (BDS) – 4 = G1a (GLO) – 5 = <ul style="list-style-type: none"> * L5 (GPS,QZSS,SBAS,IRNSS) * E5a (GAL) * B2/B2a (BDS) – 6 = <ul style="list-style-type: none"> * E6 (GAL) * L6 (QZSS) * B3 (BDS) * G2a (GLO) – 7 = <ul style="list-style-type: none"> * E5b (GAL) * B2/B2b (BDS) – 8 = <ul style="list-style-type: none"> * E5a+b (GAL) * B2a+b (BDS) – 9 = S (IRNSS) – 0 = Per il tipo X (TUTTE) 	<ul style="list-style-type: none"> • G L1 • G L2 • G L2 0.0000 • G L5 0.0000 • G L1 0.0000 • E L1 0.0000 • E L6 0.0000 • E L5 0.0000 • E L7 0.0000 • E L8 0.0000 • S L1 • S L5 • R L1 • R L1 0.0000 • R L2 0.0000 • R L2 • R L3 0.0000 • C L1 0.0000 • C L5 0.0000 • C L2 • C L7 • C L6 • J L1 • J L2 0.0000 • J L5 0.0000 • J L1 0.0000 • J L1 0.0000 • I L5
Tabella 6.4 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
SYS / PHASE SHIFT	<p>- Attributo, in termini di canali:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A = A Channel (GAL,IRNSS,GLO) • B = B Channel (GAL,IRNSS,GLO) • C = C Channel (GAL,IRNSS) C Code-base (SBAS,GPS,QZSS,GLO) • D = – Semi-codeless (GPS) – Data Channel (BDS) • I = I channel (GPS,GAL,QZSS,BDS) • L = – L channel (L2C GPS,QZSS) – P channel (GPS,QZSS) • M = M code-based (GPS) • N = Codeless (GPS) • P = – P code-based (GPS,GLO) – Pilot Channel (BDS) • Q = Q channel (GPS,GAL,QZSS,BDS) • S = – D channel (GPS, QZSS) – M channel (L2C GPS, QZSS) • W = Based on Z-tracking (GPS) • X = – B+C channels (GAL, IRNSS) – I+Q channels (GPS,GAL, QZSS,BDS) – M+L channels (GPS, QZSS) – D+P channels (GPS, QZSS, BDS) • Y = Y code-based (GPS) • Z = – A+B+C channels (GAL) – D+P channels (BDS) <p>La sequenza nei registri delle osservazioni deve corrispondere alla sequenza seguita in questo registro per il rispettivo sistema satellitare.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • G L1 C • G L2 W • G L2 L • G L5 Q • G L1 L • E L1 C • E L6 C • E L5 Q • E L7 Q • E L8 Q • S L1 C • S L5 I • R L1 C • R L1 P • R L2 P • R L2 C • R L3 Q • C L1 P • C L5 P • C L2 I • C L7 I • C L6 I • J L1 C • J L2 L • J L5 Q • J L1 L • J L1 Z • I L5 A
Tabella 6.4 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
*SIGNAL STRENGTH UNIT	Unità di misura del rapporto segnale/rumore [dBHz]	DBHZ
*INTERVAL	Intervallo di osservazione riportato in secondi	
TIME OF FIRST OBS	<ul style="list-style-type: none"> • Epoca della prima osservazione (anno, mese, giorno, ore, minuti, secondi) • sistema di riferimento per il tempo <ul style="list-style-type: none"> – GPS (sistema del GPS) – GLO (orario UTC) – GAL (sistema Galileo) – QZS (sistema QZSS) – BDT (sistema Beidou) – IRN (sistema IRNSS) <p>Il sistema di riferimento del tempo è obbligatorio nei files misti; altrimenti, di default, viene calcolato secondo il sistema GNSS del file</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2020 2 4 0 0 0 0.0000 • GPS
*TIME OF LAST OBS	<ul style="list-style-type: none"> • Epoca dell'ultima osservazione (anno, mese, giorno, ore, minuti, secondi) • sistema di riferimento per il tempo <ul style="list-style-type: none"> – GPS (sistema del GPS) – GLO (orario UTC) – GAL (sistema Galileo) – QZS (sistema QZSS) – BDT (sistema Beidou) – IRN (sistema IRNSS) 	

Tabella 6.4 continua nella prossima pagina

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
*RCV CLOCK OFFS APPL	Epoca, codice e fase possono essere corretti (1 se ciò avviene altrimenti viene riportato il 2) applicando l'offset dell'orologio del ricevitore. Di default viene posto zero. La riga è necessaria se gli offset degli orologi sono riportati nelle registrazioni EPOCH/SAT	
*SYS / DCBS APPLIED	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema satellitare (G/E/S/R/C/J/I) • Nome del programma utilizzato per applicare correzioni del bias del codice differenziale • Fonte delle correzioni (URL) <p>Viene ripetuto per ciascun sistema satellitare. Se non vengono applicate correzioni o si lascia il campo vuoto o significa che le registrazioni non sono presenti.</p>	
*SYS / PCVS APPLIED	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema satellitare (G/E/S/R/C/J/I) • Nome del programma utilizzato per applicare correzioni alla variazione della fase • Fonte delle correzioni (URL) <p>Viene ripetuto per ciascun sistema satellitare. Se non vengono applicate correzioni o si lascia il campo vuoto o significa che le registrazioni non sono presenti.</p>	
Tabella 6.4 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
*SYS / SCALE FACTOR	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema satellitare (G/E/S/R/C/J/I) • Fattore usato per dividere le osservazioni memorizzate prima dell'uso (1,10,100,1000) • Numero di tipi di osservazione coinvolte: lo zero 0 o vuoto indicano tutti i tipi di osservazione • Lista dei tipi di osservazione Ripetere la registrazione se vengono applicati diversi fattori a diversi tipi di osservazione. Si assume un valore 1 se manca la registrazione 	
*SYS / PHASE SHIFT	<p>Correzione di sfasamento utilizzata per generare fasi coerenti rispetto ai turni di ciclo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema satellitare (G/E/S/R/C/J/I) • Codice di osservazione della fase: <ul style="list-style-type: none"> – Type – Band – Attribute • Correzioni effettuate • Numero di satelliti coinvolti: lo zero (0) o vuoto indicano il coinvolgimento di tutti i satelliti del sistema • lista dei satelliti <p>Per disporre di tutti i codici interessati bisogna ripetere la registrazione</p>	
Tabella 6.4 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
GLONASS SLOT / FRQ #	<p>Slot GLONASS e numeri di frequenza</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lista di satelliti GLONASS • Elenco di <ul style="list-style-type: none"> – Numeri di satellite (codice di sistema, slot) – Numeri di frequenza (da -7 a +6) 	<ul style="list-style-type: none"> • 26 • Per quanto concerne la prima riga: <ul style="list-style-type: none"> – R01 R02 R03 R04 R05 R06 R07 R08 – R01:1 R02:-4 R03:5 R04:6 R05:1 R06:-4 R07:5 R08:6
GLONASS COD / PHS / BIS	<p>Correzione della polarizzazione di fase del GLONASS utilizzata per allineare codice e fase delle osservazioni. Identificatori di segnale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • C1C e correzione del codice della fase • C1P e correzione del codice della fase • C2C e correzione del codice della fase • C2P e correzione del codice della fase <p>Se i valori di correzione della fase del codice GLONASS sono sconosciuti, tutti i campi vengono lasciati vuoti e viene definita solo l'intestazione della registrazione</p>	<ul style="list-style-type: none"> • C1C 0.000 • C1P 0.000 • C2C 0.000 • C2P 0.000
Tabella 6.4 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.4 – Header di un file Rinex 3.04

Campo Header	Descrizione	Esempio
*LEAP SECONDS	<ul style="list-style-type: none"> • Numero attuale di leap second (secondi di salto) • Leap second 	
*# OF SATELLITES	Numero di satelliti per i quali, nei files, sono riportate delle osservazioni	
*PRN / # OF OBS	PRN è il codice identificativo del satellite. In seguito viene riportato il numero di osservazioni per un qualsiasi tipo di osservazione indicato nel campo "# / TYPE OF OBSERV"	
END OF HEADER	fine dell'header	

Analogamente al Rinex 2, anche la versione 3, concluso l'header, dà luogo alla *Data Record Description* (in figura 6.5 è visibile quella della stazione di riferimento di Padova in data 04/02/2020). Anche questa parte segue una struttura ben precisa e descritta in tabella 6.5.

Tabella 6.5: Data Record Description di un file Rinex 3.04

Registro	Descrizione	Esempio
REGISTRO EPOCA	Epoca esatta in termini di: <ul style="list-style-type: none"> • anno • mese, giorno, ora, minuti • secondo • Segnalazione dell'epoca <ul style="list-style-type: none"> – 0: è stata registrata correttamente – 1: potenziale perdita di informazioni o segnale – >1: evento esterno • numero di satelliti visibili all'epoca corrente • (riservata a commenti) • impostazioni dell'orologio del ricevitore (opzione facoltativa) 	Epoca <ul style="list-style-type: none"> • 20 • 2 4 0 0 • 0.00000 • segnalazioni: <ul style="list-style-type: none"> – 0 46 non vi sono informazioni sul clock

Tabella 6.5 continua nella prossima pagina

Tabella 6.5 – Data Record Description di un file Rinex 3.04

Registro	Descrizione	Esempio
OSSERVAZIONI	<p>Se la Segnalazione è 0 o 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lista dei satelliti (costellazione di appartenenza, numero) • campi dedicati alle osservazioni secondo l'ordine descritto nell SYS / # / OBS TYPES <p>Tale registrazione viene ripetuta per ogni satellite osservato all'epoca corrente. Se l'osservazione non è stata rilevata si mette 0.0 o si lascia il campo vuoto.</p> <p>I valori della fase devono essere compresi nell'intervallo di bit impostato secondo il LLI (Loss of Lock Indicator):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0 o vuoto: OK o non conosciuto • Bit 0: blocco perso tra osservazione precedente e attuale: possibile slittamento del ciclo. Solo per osservazioni di fase. Nota: il bit 0 è il bit meno significativo • Bit 1: Ambiguità a mezzo ciclo. Se il software non gestisce i semicicli dovrebbe saltare questa osservazione. Valido solo per l'epoca attuale • Bit 2: Tracciamento BOC del Galileo di un segnale MBOC modulato (probabilmente dovuto ad un aumento del rumore) <p>Potenza del segnale (SSI) nell'intervallo 1-9 in termini di rapporto segnale/rumore SNR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1: minima potenza di segnale • 5: soglia minima per garantire un buon rapporto S/N (Segnale/rumore) • 9: massima potenza del segnale • 0 o vuoto: non conosciuto il valore 	cfr fig 6.5
Tabella 6.5 continua nella prossima pagina		

Tabella 6.5 – Data Record Description di un file Rinex 3.04

Registro	Descrizione	Esempio
FLAG DELL'E-POCA 2-5	<ul style="list-style-type: none"> • segnalazioni dell'epoca <ul style="list-style-type: none"> – 2: l'antenna ha cominciato a muoversi – 3: il sito è nuovo – 4: vengono seguite le informazione dell'header – 5: fenomeni esterni • Numero di satelliti che contengono un numero di registrazioni "speciali"; se non ci sono registrazioni speciali si lascia 0 	
FLAG DELL'E-POCA 6	<ul style="list-style-type: none"> • 6: la registrazione segue lo stesso formato delle registrazioni in OSSERVAZIONI • slittamento delle osservazioni • LLI e la potenza del segnale sono assenti o pari a zero 	

```

3.04          OBSERVATION DATA      M          RINEX VERSION / TYPE
ssrcrin-13.4.2x          20200204 000000 UTC PGM / RUN BY / DATE
(000000000148894515190103) Septentrio proprietary COMMENT
PADO00ITA          MARKER NAME
127508001          MARKER NUMBER
GEODETTIC          MARKER TYPE
AC          CISAS          OBSERVER / AGENCY
3021140          SEPT POLARX5          5.3.0          REC # / TYPE / VERS
5227          SEPCHOKE_B3E6          SPKE          ANT # / TYPE
4388882.2677          924567.2063          4519588.5101          APPROX POSITION XYZ
0.0000          0.0000          0.0000          ANTENNA: DELTA H/E/N
G 17 C1C L1C S1C C1W S1W C2W L2W S2W C2L L2L S2L C5Q L5Q SYS / # / OBS TYPES
S5Q C1L L1L S1L SYS / # / OBS TYPES
E 15 C1C L1C S1C C6C L6C S6C C5Q L5Q S5Q C7Q L7Q S7Q C8Q SYS / # / OBS TYPES
L8Q S8Q SYS / # / OBS TYPES
S 6 C1C L1C S1C C5I L5I S5I SYS / # / OBS TYPES
R 15 C1C L1C S1C C1P L1P S1P C2P L2P S2P C2C L2C S2C C3Q SYS / # / OBS TYPES
L3Q S3Q SYS / # / OBS TYPES
C 15 C1P L1P S1P C5P L5P S5P C2I L2I S2I C7I L7I S7I C6I SYS / # / OBS TYPES
L6I S6I SYS / # / OBS TYPES
J 15 C1C L1C S1C C2L L2L S2L C5Q L5Q S5Q C1L L1L S1L C1Z SYS / # / OBS TYPES
L1Z S1Z SYS / # / OBS TYPES
I 3 C5A L5A S5A SYS / # / OBS TYPES
SEPTENTRIO RECEIVERS OUTPUT ALIGNED CARRIER PHASES. COMMENT
NO FURTHER PHASE SHIFT APPLIED IN THE RINEX ENCODER. COMMENT
G L1C SYS / PHASE SHIFT
G L2W SYS / PHASE SHIFT
G L2L 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
G L5Q 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
G L1L 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
E L1C 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
E L6C 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
E L5Q 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
E L7Q 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
E L8Q 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
S L1C SYS / PHASE SHIFT
S L5I SYS / PHASE SHIFT
R L1C SYS / PHASE SHIFT
R L1P 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
R L2P 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
R L2C SYS / PHASE SHIFT
R L3Q 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
C L1P 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
C L5P 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
C L2I SYS / PHASE SHIFT
C L7I SYS / PHASE SHIFT
C L6I SYS / PHASE SHIFT
J L1C SYS / PHASE SHIFT
J L2L 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
J L5Q 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
J L1L 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
J L1Z 0.000000 SYS / PHASE SHIFT
I L5A SYS / PHASE SHIFT
2020 2 4 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000 GLONASS COD/PHS/BIS
DBHZ SIGNAL STRENGTH UNIT
26 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6 GLONASS SLOT / FRQ #
R09 -2 R10 -5 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 GLONASS SLOT / FRQ #
R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 GLONASS SLOT / FRQ #
R26 -6 R27 0 GLONASS SLOT / FRQ #
END OF HEADER

```

Figura 6.4: Header del file Rinex 3.04 della stazione di Padova datato 20/02/2020

Capitolo 7

Il *Bernese*

Il *Bernese GNSS Software, Version 5.2*, o più brevemente *Bernese*, è un software di carattere scientifico ad alta precisione, in costante sviluppo e volto all'attività di post-elaborazione dei dati multi-GNSS. È stato sviluppato dall' "Astronomical Institute of the University of Bern" (AIUB) e viene utilizzato a livello europeo dal Center for Orbit Determination in Europe (CODE). Il software è ottimizzato per il sistema operativo Linux, tuttavia esiste una versione anche in ambiente Windows. Il *Bernese* si basa su codici scritti in Fortran. Le chiamate alle procedure di elaborazione avvengono tramite scripts bash e perl che consistono in un interprete di comandi volto alla comunicazione utente sistema operativo tramite una serie di funzioni predefinite; in altre parole, quando l'utente, attraverso il PC, fornisce degli INPUT al software lo fa attraverso scripts in linguaggio perl, invece, i programmi di calcolo ed elaborazione dati del software sono scritti in linguaggio Fortran. La durata dell'elaborazione dipende dall'ampiezza della rete. Questo software consente l'elaborazione di diverse procedure. Nello specifico, per questo elaborato, è stata adoperata la BPE RNX2SNX.PCF, il cui processo in step è riportato in tabella 7.1, che consiste in un'analisi basata su doppie differenze.

STEP	Descrizione
1	Trasferimento e copia dei dati nella cartella CAMPAIGN
2	Prima elaborazione dei dati utilizzando le informazioni contenute nei Rinex
3	Importazione dei dati in formato leggibile dal <i>Bernese</i>
4	Importazione dei files con le informazioni delle orbite e dell'orientazione terrestre
5	Elaborazione dei dati prendendo in considerazione tutte le osservabili ed i files di input
6	Calcolo della soluzione tramite le equazioni normali
7	Scrittura dell'output, in cui vengono riportate le coordinate aggiornate delle stazioni della rete nei vari formati

Tabella 7.1: Diagramma funzionale della procedura di elaborazione dati del software *Bernese*

Le coordinate delle stazioni e i parametri della troposfera vengono stimati e memorizzati per facilitare ulteriori elaborazioni e combinazioni. Inoltre, per ogni sessione, le corrispondenti informazioni sulle equazioni normali usate per il calcolo, vengono salvate per una successiva soluzione multisessione che consentirà la stima delle velocità delle stazioni.

Il file di controllo del processo (PCF) è generalmente del tipo ASCII (i files ASCII sono dei codici volti alla trasmissione e alla memorizzazione di caratteri) e definisce quali scripts devono essere eseguiti, in quale ordine e quali sono i parametri che devono essere passati negli scripts.

Per questo elaborato, lo scopo del PCF è eseguire un Posizionamento Preciso del Punto (PPP) utilizzando Rinex di osservazione provenienti da un numero di ricevitori di terra stazionari tali da ottenere una serie di coordinate di stazioni precise almeno al centimetro. La procedura di aggiornamento, verrà descritta nel prossimo capitolo.

La struttura del software, il cui schema è rappresentato in tabella 7.2, è molto articolata e complessa. Le macro aree principali sono:

- PROGRAM - contenente il cuore del software e le informazioni basi necessarie all'elaborazione;
- USER - con all'interno le specifiche configurazioni stabilite dall'utente;
- DATA - divisa in tre sottocartelle indipendenti ed è quella su cui si concentrerà questa trattazione;
- TEMPORARY - utilizzata durante la compilazione BPE.

MACRO	PROGRAM	USER	DATA	TEMPORARY
FOLDER	BERN52	GPSUSER52	GPSDATA	GPSTEMP
SUB - FOLDER	<ul style="list-style-type: none"> • BPE • BUGS • GPS • INC • LIB • MENU • PGM • X 	<ul style="list-style-type: none"> • OPT • OUT • PAN • PCF • SCRIPT • WORK 	<ul style="list-style-type: none"> • SAVEDISK • DATAPOOL • CAMPAIN52 - U 	<ul style="list-style-type: none"> • BPE

Tabella 7.2: Struttura in cartelle principali del software Bernese

7.1 La cartella CAMPAIN52

La cartella CAMPAIN52, come riportato in tabella 7.2, presenta la sottocartella **U** nella quale vengono collocate le cartelle con le campagne giornaliere e settimanali.

7.1.1 La campagna giornaliera

La campagna giornaliera presenta la seguente nomenclatura:

$$\langle YY \rangle _ \langle DOY \rangle$$

ove:

- YY indica le ultime due cifre dell'anno
- DOY indica il giorno dell'anno nell'intervallo [0 - 366]

La campagna giornaliera del giorno 04/02/2020 in cui si trova il file Rinex PADO0350.200 è:

$$20_035$$

All'interno di questa cartella sono collocate le seguenti sottocartelle:

- ATM - con i files contenenti i dati atmosferici (in termini di ionosfera e troposfera);
- BPE - con gli scripts che man mano vengono lanciati, eseguiti e terminati durante l'elaborazione dati (trattasi di oltre 1000 scripts);
- GRD - con i files descrittivi il modello troposferico;
- OBS - con i files di osservazione in formato binario;
- ORB - con parametri giornalieri riguardanti le orbite dei satelliti;
- ORX - con i files Rinex (versione 2.xx) di tutte le stazioni che vengono elaborate;
- OUT - con i files di OUTPUT generati una volta conclusa l'elaborazione del Bernese;
- RAW - con i collegamenti dei files Rinex dalla cartella ORX e, per ciascun files Rinex, il relativo SMT;
- SOL - con i files di OUTPUT generati una volta conclusa l'elaborazione del Bernese in formato binario: sono queste soluzioni giornaliere che vengono combinate quando viene eseguita la procedura settimanale;
- STA - con i files EUREF14, prelevati dalla cartella USER/GPSUSER52/BERNEZ/STAITA. Questi sono i file che devono essere aggiornati quando vengono inserite delle nuove stazioni affinché queste siano elaborate dal *Bernese*.

Per inserire una nuova stazione, noto il file Rinex di osservazione della stessa, ci si concentrerà maggiormente nella cartella **COORD** (arbitraria e posta all'interno della cartella CAMPAIN). Nello specifico verranno creati, tramite il *Bernese*, dei provvisori files analoghi a quelli contenuti nella cartella STA.

7.1.2 La campagna settimanale

La campagna settimanale è costituita dalle stesse cartelle che compongono la campagna giornaliera. La nomenclatura data alle campagne settimanali è la seguente:

`<wk><WEEK>`

Ove:

- wk è abbreviazione di week
- WEEK è il numero della settimana GPS

Ad esempio, la campagna settimanale contenente il giorno 35 del 2020 è

wk2091

Analizzando le principali cartelle della campagna settimanale:

- BPE - contiene gli scripts che man mano vengono lanciati, eseguiti e terminati durante la combinazione settimanale;
- STA - contiene i files EUREF14, prelevati dalla cartella USER/GPSUSER52/BERNEZ/STAITA;
- SOL - contiene i files di OUTPUT generati una volta conclusa l'elaborazione del Bernese in formato binario;
- OUT - contiene i files di OUTPUT generati una volta conclusa la combinazione settimanale.

7.2 Interfaccia del Software

Per inserire i ricevitori, non è sufficiente lavorare con le sole cartelle del software: è necessario aprire l'interfaccia grafica, riportata in figura 7.1

Nella parte in alto si collocano i tools che verranno adoperati per portare a termine il lavoro:

- Configure
- Campaign
- RINEX
- Orbits/EOP
- Processing
- Service
- Conversion
- BPE

- User
- Help

In basso, invece, oltre a trovare luogo il nome dell'utente viene definita la cartella di lavoro (COORD) e quale è l'epoca di riferimento (anno e giorno dell'anno).



Figura 7.1: Interfaccia grafica del *Bernese GNSS Software Version 5.2*

Capitolo 8

Procedura di Inserimento

Un file Rinex, quando viene scaricato da internet, è in formato doppiamente compresso. La compressione è necessaria allo scambio dei dati di osservazione GNSS tramite la rete internet. Prendendo come riferimento il file Rinex 2.11 della stazione di Padova in data 4/02/2020 (già analizzato nel capitolo 3 e visibile in figura 6.1), la prima compressione è quella cui corrisponde un'estensione finale *.Z*. La conseguente decompressione può essere eseguita tramite un programma winzip o simili. La seconda compressione è in formato proprietario: questo tipo di formato identifica files dati che vengono ordinati e conservati secondo un particolare schema di codifica. La decodifica e l'interpretazione di questa store di dati è realizzabile solo con particolari software o hardware che l'azienda stessa ha sviluppato. Alcuni dei più conosciuti formati proprietari e la relativa estensione sono: Microsoft Excel *.xls*, MP3 *.mp3* e Windows media Video *.wmv*. Per quanto riguarda i files Rinex, il formato proprietario si incontra quando bisogna comprimere o decomprimere i files secondo la procedura *Hatanaka* (che prende il nome dal suo ideatore e sviluppatore Yuichi Hatanaka): essa permette di convertire il formato dei files di osservazione GNSS dal formato RINEX (versione 2.xx o 3.xx) in un formato compresso (il formato CompactRINEX) e viceversa. Nello specifico, la seconda compressione è la *.d* per i files osservativi e la *.n* per quelli di navigazione. La decompressione viene eseguita in automaticamente tramite lo script bash

crz2rnx.sh

che riporta nel formato *".O"* i files osservativi e *".N"* quelli di navigazione. Per quanto riguarda lo sviluppo pratico dei seguenti passaggi, il procedimento è stato eseguito per nuove stazioni aventi Rinex di osservazione datati 4 febbraio 2020.

8.1 Settaggio dell'Epoca

Per inizializzare correttamente la procedura di inserimento delle stazioni è necessario che l'epoca impostata nel *Bernese* (situata in basso, come riportato in figura 7.1) e la data dei files Rinex coincidano. L'epoca corrente viene calcolata dal *Bernese* tramite lo script *today.pl*, che può essere lanciato direttamente dal prompt e permette di definire quali siano l'anno, la settimana (anche GPS) e il giorno sia della settimana che dell'anno. Se si volessero determinare i vari parametri per un qualsiasi giorno bisogna digitare la seguente sintassi:

```
today.pl -ymd <YEAR> <MONTH> <DAY>
```

Ad esempio, per conoscere tutti i parametri del 4 febbraio (in questo momento è noto solo il giorno dell'anno riportato nei Rinex), come si può vedere da figura 8.1, bisogna digitare nel prompt:

```
today.pl -ymd 2020 02 04
```

```
bishnu@ubuntu:~$ today.pl -ymd 2020 02 04
04-Feb-2020 00:00:00 Tu Doy: 20/035/A/00 Week: 2091/2/20W06 MJD: 58883.00000
bishnu@ubuntu:~$
```

Figura 8.1: Script *today.pl*. Fornendo la data con la sintassi indicata, il programma restituisce: giorno della settimana e dell'anno, giorno e settimana GPS

La struttura di funzionamento dello script può essere visionata in Appendice A.1

Entrati nell'interfaccia del software, selezionare il tool **Configure** e dal menù a tenda che compare (visibile in figura 8.2) premere la voce **Set session/compute date**:

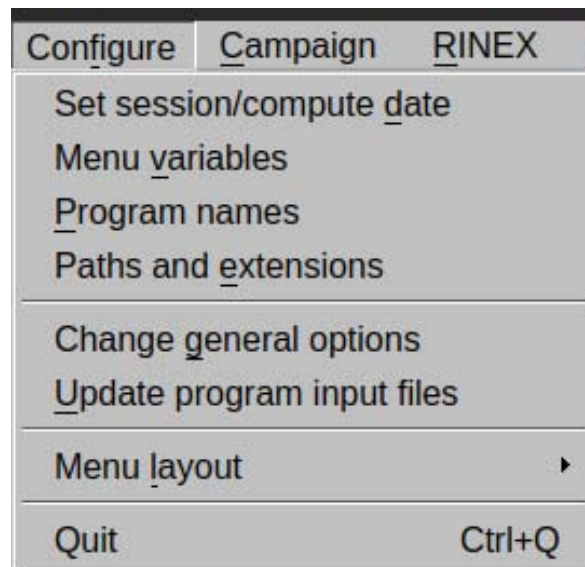


Figura 8.2: Menù a finestra del tool *Configure*

Comparsa la finestra di figura 8.3, bisogna impostare la data alla quale si assume essere affinché quella del *Bernese* coincida con quella dei Rinex. I nuovi Rinex sono datati 4 febbraio, pertanto si settano l'anno ed il giorno come evidenziato in figura 8.3. In questo modo, in basso alla schermata del software, l'anno ed il giorno diventano quelli desiderati.

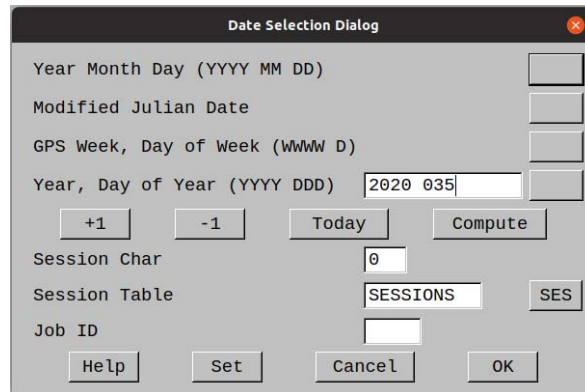


Figura 8.3: Finestra per il settaggio del giorno cui si suppone lavorare (deve coincidere col giorno indicato nei files Rinex delle nuove stazioni)

8.2 Verifica posizionamento

Per localizzare le nuove stazioni e verificare siano all'interno della Rete desiderata (per quanto concerne la Rete GPS Veneto è sufficiente siano all'interno dell'Italia), ci sono due modalità. La prima è collegarsi al sito

<https://www.oc.nps.edu/oc2902w/coord/1lhxyz.htm>

e inserire manualmente le coordinate di ciascuna stazione. La seconda, qualora le stazioni siano molteplici, è implementare la function Matlab *ecf2lla* disponibile nel *Navigation Toolbox* che, note le coordinate nel sistema ECEF, le converte nel sistema di navigazione (Latitudine, Longitudine, Altitudine). Con questa seconda modalità,

procedendo con ordine, bisogna aprire il terminale nella cartella contenente i Rinex e, tramite il comando *grep*, volto al filtro di dati, digitare:

```
grep "APPROX" nome_file
```

Qualora i files fossero molteplici può essere inserito al posto del loro nome e dell'estensione, il carattere "?". In questo modo, come si può vedere in figura 8.4, nel terminale vengono filtrati, per ciascun Rinex, in viola il nome del file con la parola chiave, in bianco la riga dei files contenente la parola chiave e in rosso la parola chiave stessa.

Col comando *grep*, viene stampato tutto il nome del file. Per rimuovere le parti di righe non rilevanti, se si è stampata la schermata su un file (il cui nome può ad esempio essere "*grep_file*", può essere utilizzato, ad esempio, il comando perl:

```
substr(nome_file,carattere_inizio,caratteri_dall'inizio)
```

che seguendo la sintassi permette di filtrare, per il file, dal numero del carattere che si desidera tenere (i caratteri cominciano dallo zero), per un determinato numero di caratteri. Ai fini di questa trattazione questo comando viene eseguito due volte cosicché rimangano nel file di output solo il nome delle stazioni e le coordinate che poi vengono uniti in un unico file tramite lo script "Input_matlab.pl" riportato in Appendice A.2

```

bishnu@ubuntu:~/GPSDATA/CAMPAIGN52/COORD/RAW$ grep APPROX ????????.???
blgn3350.19o: 4466809.1576 896657.3870 4448824.2538 APPROX POSITION XYZ
cagg3350.19o: 4676814.2200 1297999.0690 4125959.5890 APPROX POSITION XYZ
car13350.19o: 4749435.6987 1380863.3024 4014568.7048 APPROX POSITION XYZ
cell3350.19o: 4823406.2200 1373430.6180 3928601.4780 APPROX POSITION XYZ
clta3350.19o: 4939194.2423 1228061.4711 3831578.0206 APPROX POSITION XYZ
corl3350.19o: 4904900.1741 1159818.3223 3896606.3547 APPROX POSITION XYZ
cpan3350.19o: 4816517.2430 1297523.0030 3961449.7400 APPROX POSITION XYZ
crni3350.19o: 4527232.2800 878324.3200 4392132.1300 APPROX POSITION XYZ
ctel3350.19o: 4560437.0400 1068631.9900 4316913.9250 APPROX POSITION XYZ
DUR23350.19o: 4523760.6836 1597597.7714 4188849.3483 APPROX POSITION XYZ
esln3350.19o: 4883075.5799 1306112.9432 3879626.6501 APPROX POSITION XYZ
frul3350.19o: 4681596.0890 1186825.2562 4152361.6328 APPROX POSITION XYZ
galf3350.19o: 4890300.5356 1270776.6074 3880537.8501 APPROX POSITION XYZ
haga3350.19o: 4904264.4089 1328326.6045 3842781.8955 APPROX POSITION XYZ
hcrl3350.19o: 4907329.6655 1317888.8518 3842574.7770 APPROX POSITION XYZ
hlri3350.19o: 4906664.4686 1302990.0052 3848296.5926 APPROX POSITION XYZ
hpac3350.19o: 4944142.2636 1328220.7906 3791545.7608 APPROX POSITION XYZ
hsci3350.19o: 4946333.7070 1298248.3270 3799196.5000 APPROX POSITION XYZ
hsrs3350.19o: 4915163.4450 1337500.7336 3825721.4083 APPROX POSITION XYZ
ifll3350.19o: 4833123.6670 1256708.7370 3954769.8540 APPROX POSITION XYZ
isal3350.19o: 4826713.0675 1281737.6176 3954242.7664 APPROX POSITION XYZ
jopp3350.19o: 4800499.4228 1366158.9903 3958649.6305 APPROX POSITION XYZ
larn3350.19o: 4648384.8820 1058907.0990 4223390.5810 APPROX POSITION XYZ
lico3350.19o: 4685149.2568 1172447.8653 4152091.0482 APPROX POSITION XYZ
losv3350.19o: 4832762.4050 1290249.2590 3944480.7220 APPROX POSITION XYZ
marn3350.19o: 4648382.8350 1044650.1780 4226956.5600 APPROX POSITION XYZ
mbft3350.19o: 4908391.2024 1128992.7849 3901085.1597 APPROX POSITION XYZ
mmbi3350.19o: 4841757.5452 1366711.1890 3908959.8615 APPROX POSITION XYZ
monc3350.19o: 4468987.5880 622287.7190 4493483.5770 APPROX POSITION XYZ
mpnc3350.19o: 4843527.3487 1329842.7545 3918536.1837 APPROX POSITION XYZ
mrcb3350.19o: 4834271.5830 1359143.2489 3920014.5841 APPROX POSITION XYZ
mt103350.19o: 4352303.1096 917089.3866 4557253.8639 APPROX POSITION XYZ
mtmr3350.19o: 4662668.0110 1249582.0710 4156172.3130 APPROX POSITION XYZ
mucr3350.19o: 4861757.5982 1291240.4433 3909841.0631 APPROX POSITION XYZ
nemi3350.19o: 4651424.9520 1049749.1410 4222688.2870 APPROX POSITION XYZ
pign3350.19o: 4659847.9727 1177382.7450 4179422.6009 APPROX POSITION XYZ
ping3350.19o: 4886485.4721 1156396.3985 3919655.4761 APPROX POSITION XYZ
piob3350.19o: 4516248.1432 1003384.0405 4377289.3196 APPROX POSITION XYZ
pmco3350.19o: 4615417.9290 1247852.9980 4208185.0330 APPROX POSITION XYZ
prec3350.19o: 4563735.1410 1056966.2910 4315733.1330 APPROX POSITION XYZ
pzln3350.19o: 5001580.9040 1060511.6930 3800782.5900 APPROX POSITION XYZ
resu3350.19o: 4905657.9766 1228287.2893 3874953.0344 APPROX POSITION XYZ
rmpp3350.19o: 4644800.0971 1047025.0546 4230288.5885 APPROX POSITION XYZ
ropr3350.19o: 4645169.7910 1052254.9770 4229166.0800 APPROX POSITION XYZ
salo3350.19o: 4393966.1400 816311.3990 4536097.9690 APPROX POSITION XYZ
salv3350.19o: 4719142.8280 1378328.2590 4050175.3660 APPROX POSITION XYZ
ssyx3350.19o: 4914734.5110 1323921.6800 3831714.1640 APPROX POSITION XYZ
TIR23350.19o: 4512364.5437 1625400.1102 4190596.8016 APPROX POSITION XYZ
ussi3350.19o: 4552778.2900 1062271.9820 4325932.5200 APPROX POSITION XYZ
valc3350.19o: 4544735.1348 989655.9858 4350575.3968 APPROX POSITION XYZ
vitu3350.19o: 4652012.0420 1214364.6800 4178363.3210 APPROX POSITION XYZ

```

Figura 8.4: Il comando `grep`: digitando "`grep APPROX nome_file`" nella cartella ove si trovano i files Rinex, oltre alla parola chiave, viene letta tutta la riga dei files

NOME SITO (4)	X [m] (12)	Y [m] (12)	Z [m] (12)
---------------	------------	------------	------------

Tabella 8.1: Struttura del file Input per MatLab; con le parentesi sono indicati i numero dei caratteri

Qualora non si abbia familiarità con l'ambiente Linux, questo procedimento può essere eseguito anche in un foglio di calcolo e poi va riportato il tutto in un foglio di testo che presenti l'ordine, la struttura ed il numero di caratteri descritti in tabella 8.1:

Col file appena generato, tramite la function MatLab *ecef2lla* presente nel *Navigation_toolbox*, è possibile calcolare latitudine, longitudine e quota di tutti i ricevitori; inoltre, tramite lo script *XYZ2LLA* (riportato in Appendice B.1) si ottiene l'output in formato KML (leggibile da *Google Earth*). Aprendo il file KML con *Google Earth* è possibile individuare la posizione geografica delle stazioni (identificata col logo di Matlab e visibile in figura 8.5).



Figura 8.5: Posizionamento dei nuovi ricevitori su *Google Earth*

8.3 STA file

Il *file.STA* (con *file* si intende un nome arbitrario) viene generato dal *Bernese* ed è costituito da informazioni estratte dall'header dei Rinex, ovvero: il tipo di ricevitore ed il tipo di antenna (per maggiori dettagli confrontare tabella 6.2 e figura 6.1 per quanto riguarda la versione 2 e tabella 6.4 e figura 6.3 per quanto riguarda la versione 3).

Nella pratica, per generare il file.STA, bisogna:

- creare le cartelle RAW e STA in \sim GPSDATA/CAMPAIGN52/COORD: nella prima vengono inseriti i Rinex dei nuovi ricevitori; nella seconda verranno generati gli output.
- tornare alla schermata del *Bernese* e, come evidenziato in figura 8.6, premere il tool *Service/Station information file/Extract information from Rinex* e seguire le istruzioni di default; scelto arbitrariamente il nome del file premere, in basso, Run.

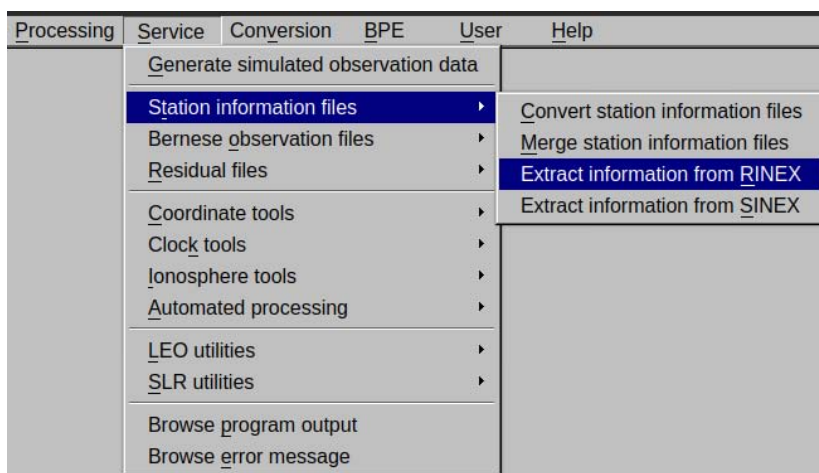


Figura 8.6: Tool da selezionare per generare il file.STA

Se non sono stati commessi errori, all'interno della cartella STA, si genera il file.STA suddiviso in 5 sezioni (TYPE) con simile struttura (in figura 8.7 viene riportata la prima):

- RENAMING OF STATION ove, a seguito del nome del sito, dopo uno spazio, viene riportato il Marker Number; qualora ancora non sia stato assegnato dall'IGS, inserire manualmente 00000M000 come visibile in figura 8.7. In seguito vengono riportati il FLAG (generalmente 001), il periodo di funzionamento del sito (viene lasciato bianco o riportato un periodo molto grande), l'eventuale nome originale della stazione (nel caso venisse cambiato lo station name se stazione già esistente) e il nome del file Rinex da cui vengono estratti i dati;
- STATION INFORMATION per ciascuna stazione, è possibile specificare il nome del ricevitore, il numero di serie del ricevitore, il nome dell'antenna, il numero di serie dell'antenna, l'eccentricità dell'antenna e una descrizione della stazione;

- HANDLING OF STATION PROBLEMS Nomi e intervalli di tempo delle stazioni che devono essere esclusi a diversi livelli dall'elaborazione;
- STATION COORDINATES AND VELOCITIES (ADDNEQ) Questa parte consente di limitare le stime delle coordinate e/o delle velocità di due stazioni relativamente vicine l'una rispetto all'altra. Per ottenere velocità identiche per due stazioni, le velocità a priori devono essere identiche. È possibile vincolare i componenti verso nord, est e verso l'alto in modo indipendente;
- HANDLING STATION TYPES In questa sezione è possibile specificare il Marker Type di un'antenna. Questo è obbligatorio per i ricevitori spaziali. I programmi controllano il tipo di marcatore per distinguere i ricevitori terrestri e spaziali.

```

                                *new.STA                                × 
1 Bishnu                                04-FEB-20 16:04
2 -----
3
4 FORMAT VERSION: 1.01
5 TECHNIQUE:      GNSS
6
7 TYPE 001: RENAMING OF STATIONS
8 -----
9
10 STATION NAME      FLG      FROM              TO              OLD STATION NAME  REMARK
11 *****          ***  YYYY MM DD HH MM SS  YYYY MM DD HH MM SS  *****          *****
12 BLGN 00000M000    001
13 CAGG 18404M001    001
14 CAR1 00000M000    001
15 CELL 00000M000    001
16 CLTA 00000M000    001
                                BLGN
                                CAGG
                                CAR1
                                CELL
                                CLTA
                                From blgn3350.190
                                From cagg3350.190
                                From car13350.190
                                From cell3350.190
                                From clta3350.190

```

Figura 8.7: Esempio della prima parte del file.STA: prestare attenzione a come i ricevitori sono stati nomenclati

8.4 CRD file

Il file.CRD, la cui struttura è riportata in tabella 8.2, viene creato a mano prendendo come riferimento il modello EUREF14.CRD reperibile in BERNEZ/STAITA. Esso contiene:

- Il numero della stazione nell'attuale lista;
- Il domes number (che si ricorda essere costituito dalle prime quattro lettere del marker name e dal marker number);
- le coordinate nel sistema ECEF delle stazioni (prese dai Rinex) all'epoca corrente;
- Il flag della stazione: A se si considera una qualsiasi stazione o I se ci si riferisce ad una stazione di riferimento internazionale.

Per quanto riguarda l'intestazione il geoide che il *Bernese* prende come riferimento è l'IGS14 e non il WGS84 (quello considerato attualmente e con cui vengono fatte le conversioni nella function *ecf2lla*); tuttavia, presenta comunque una buona approssimazione dei risultati in quanto le differenze tra i due modelli sono sotto il millimetro.

Per la presente trattazione, è stato creato il file riportato in figura 8.8 contenente le coordinate estrapolate dai Rinex del giorno 035

Intestazione con data creazione file (non necessario coincida con epoca corrente)					
Geoide di riferimento (IGS14≈WGS84)			Epoca dei Rinex (data degli stessi)		
Numero	Domes Number	X [m]	Y [m]	Z [m]	FLAG

Tabella 8.2: Struttura del file.CRD

```

FULL EPN SITES COORDINATES, C2070, created: Tue Feb 04 16:04:10 2020
-----
LOCAL GEODETIC DATUM: IGS14                EPOCH: 2019-12-01  0:00:00
NUM  STATION NAME          X (M)          Y (M)          Z (M)          FLAG
  1  BLGN 00000M000      4466809.1576    896657.3870    4448824.2538    A
  2  CAGG 18404M001      4676814.2200    1297999.0690    4125959.5890    A
  3  CAR1 00000M000      4749435.6987    1380863.3024    4014568.7048    A
  4  CELL 00000M000      4823406.2200    1373430.6180    3928601.4780    A
  5  CLTA 00000M000      4939194.2423    1228061.4711    3831578.0206    A

```

Figura 8.8: file.CRD. Analizzando, da sinistra, si trovano: l'elenco delle nuove stazioni, il domes number, le coordinate approssimate e il FLAG

8.5 PLD file

Il file.PLD, schematizzato in tabella 8.3, definisce la placca tettonica nella quale si trovano i ricevitori. Il modello di riferimento per la creazione di questo file è l'*EUREF14.PLD* situato in BERNEZ/STAITA e contiene:

- Il numero della stazione nell'attuale lista;
- Il domes number (che si ricorda essere costituito dalle prime quattro lettere del marker name e dal marker number);
- le velocità lungo le tre direzioni (X, Y, Z) in metri l'anno;
- l'eventuale flag;
- la placca tettonica del ricevitore. Le sigle delle placche tettoniche sono riportate in figura 8.9 seguendo la distinzione di figura 8.10.

Intestazione con tipo di documento e data creazione file (non necessario coincida con epoca corrente)						
Geoide di riferimento (IGS14≈WGS84)						
Numero	Domes Number	V_X	V_Y	V_Z	FLAG	PLACCA

Tabella 8.3: Struttura del file.PLD

Analogamente al file.CRD, anche per il file.PLD, la data nell'intestazione non deve necessariamente coincidere con l'epoca corrente o quella dei Rinex.

Per la presente trattazione, è stato creato il file riportato in figura 8.9 contenente le coordinate estrapolate dai Rinex del giorno 035.

```

1 TECTONIC PLATES                                04-FEB-20
2 -----
3 LOCAL GEODETIC DATUM: IGS14
4
5 NUM  STATION NAME          VX (M/Y)    VY (M/Y)    VZ (M/Y)  FLAG  PLATE
6
7 1  BLGN 00000M000
8 2  CAGG 18404M001
9 3  CAR1 00000M000
10 4  CELL 00000M000
11 5  CLTA 00000M000
12
13 LIST OF PLATES:
14 -----
15 PCFC : Pacific
16 AFRC : African
17 ANTA : Antarctic
18 ARAB : Arabian
19 AUST : Australian
20 CARB : Carribic
21 COCO : Cocos (north of NAZC, south of NOAM, east of CARB)
22 EURA : Eurasian
23 INDI : Indian
24 NAZC : Nazca (west of SOAM, east of PCFC)
25 NOAM : North American
26 SOAM : South American
27 JUFU : Juan de Fuca Plate (inbetween NOAM and PCFC, northern NOAM)
28 PHIL : Philippine

```

Figura 8.9: file.PLD. Analizzando, da sinistra, si trovano: l'elenco delle nuove stazione, il domes number, la volcità della stazione (se nota), eventuali segnalazioni e placca

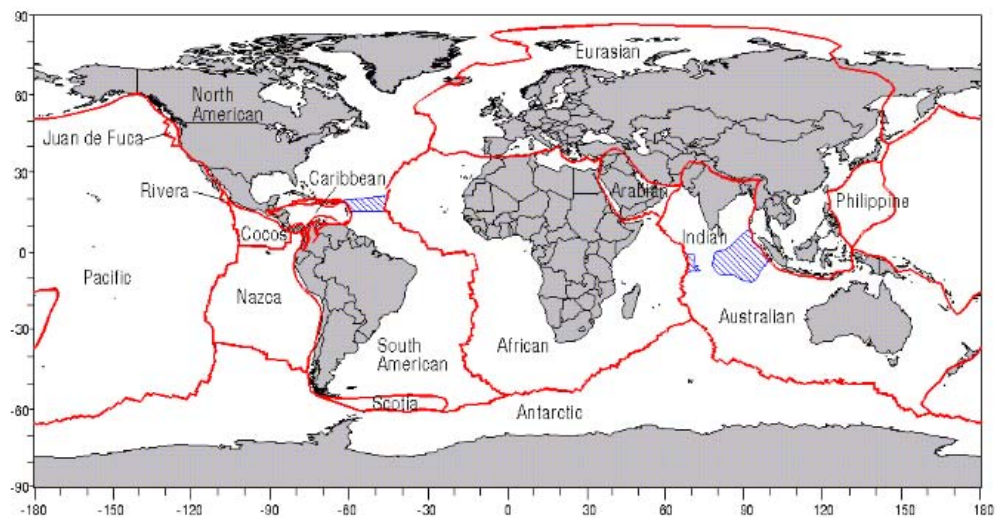


Figura 8.10: I principali confini della tettonica a placche ai giorni nostri

8.6 VEL file

Il *Bernese* ha un programma interno capace di calcolare il movimento delle stazioni in base al movimento della placca tettonica (i confini delle placche sono riportati in figura

8.10). Se un sito non è disponibile nell'elenco delle coordinate o delle velocità ITRF, tale programma presenta una buona approssimazione per il calcolo della propagazione delle coordinate perchè calcola le velocità del modello in base a un file di definizione della placca. Se il nome di una stazione non è elencato nel file di definizione della placca, viene messa, di default, velocità nulla. Se la nuova stazione è vicina ad una di cui è già nota la velocità le due stazioni possono essere unite in un unico file di velocità a priori.

Il file.VEL viene generato dal *Bernese* seguendo il percorso *Service/Coordinate tool/Compute NUVEL velocities*, come illustrato in figura 8.11

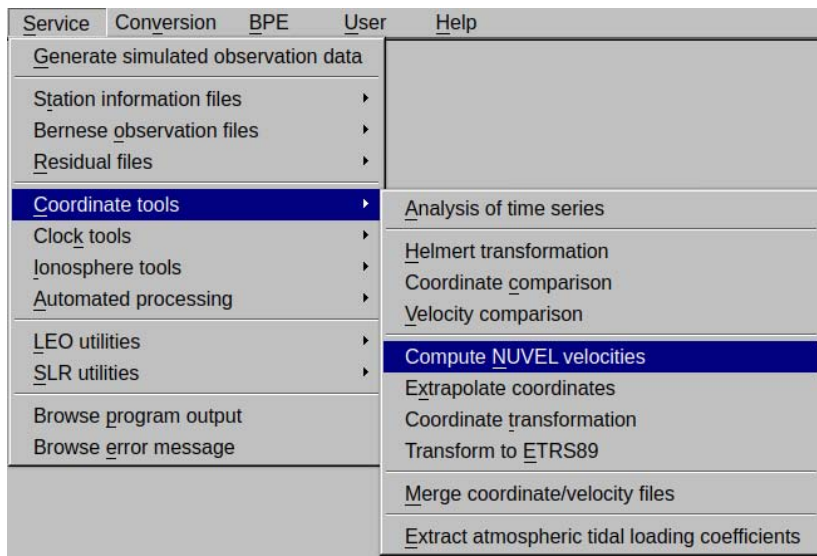


Figura 8.11: tool da selezionare per generare il file NEW.VEL

All'interno della finestra, verificare che gli input selezionati di default dal software coincidano con quelli appena generati nella cartella STA (ad eccezione della velocità che, non disponendo di informazioni precise, non è nota). Premendo *RUN* e scorrendo in basso su *OUTPUT* è possibile avere un primo check sull'operazione: se il procedimento risulta eseguito correttamente, come riportato in figura 8.12, le stazioni per le quali sono state calcolate le velocità corrisponde alle stazioni della lista.

Alcuni degli eventuali errori più comuni possono essere:

- non è stato lasciato il giusto spazio tra i nomi (ad esempio, per gli spazi non bisogna usare il tasto TAB perchè viene letto come un singolo spazio e dunque si sfasano le colonne)
- Non è stata trascritta qualche stazione o è stata lasciata una delle precedenti (usata come modello di riferimento per gli spazi).
- sono stati commessi errori di sintassi

Se il procedimento è stato eseguito correttamente si ottiene il file.VEL la cui struttura è rappresentata in tabella 8.4

Con il flag V vengono indicate le stazioni per le quali non era disponibile una velocità a priori e dunque il calcolo è stato eseguito dal *Bernese*.

Il file generato per questa trattazione è visibile in figura 8.13.

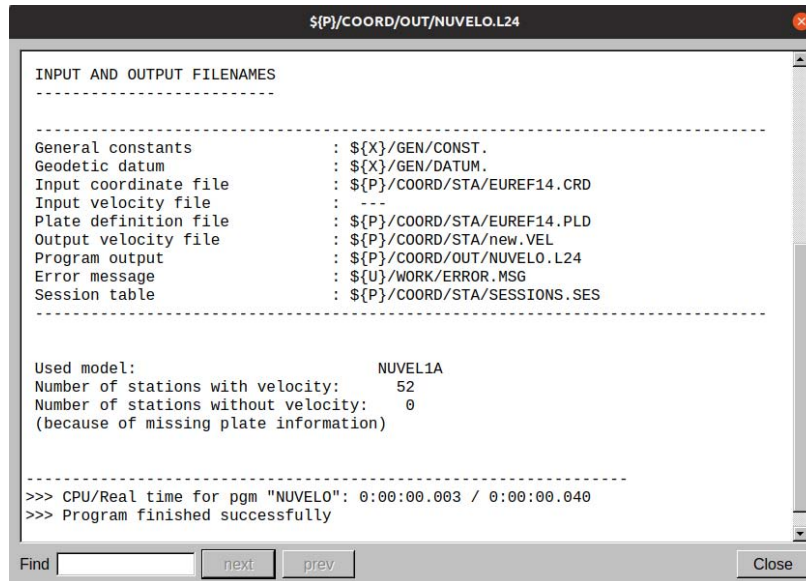


Figura 8.12: Primo check per il calcolo delle velocità dei ricevitori

Intestazione con tipo di documento e data creazione file (non necessario coincida con epoca corrente)						
Geoide di riferimento (IGS14≈WGS84)						
Numero	Domes Number	V_X	V_Y	V_Z	FLAG	PLACCA

Tabella 8.4: Struttura del file.VEL

```

NUVEL1A-NNR VELOCITIES                                04-FEB-20 16:04
-----
LOCAL GEODETIC DATUM: IGS14
-----
NUM STATION NAME          VX (M/Y)          VY (M/Y)          VZ (M/Y)  FLAG  PLATE
-----
 1 BLGN 00000M000        -0.01347          0.01845          0.00981    V    EURA
 2 CAGG 18404M001        -0.01396          0.01879          0.00991    V    EURA
 3 CAR1 00000M000        -0.01396          0.01891          0.01001    V    EURA
 4 CELL 00000M000        -0.01373          0.01906          0.01019    V    EURA
 5 CLTA 00000M000        -0.01304          0.01933          0.01061    V    EURA

```

Figura 8.13: file.VEL. Analizzando, da sinistra, si trovano: l'elenco delle nuove stazione, il domes number, le velocità delle stazioni lungo le tre direzioni, eventuali segnalazioni e la placca di appartenenza

8.7 UPA_2014.CRD file

Il file UPA_2014.CRD contiene l'approssimazione delle coordinate al primo gennaio 2010.

Il file viene generato dal *Bernese* seguendo il percorso: *Service/Coordinate tool/Extrapolate Coordinate* (figura 8.14):

La struttura del file UPA_2014 è analoga a quella del file.CRD riportato in tabella 8.2; cambia solamente l'epoca di riferimento: nel primo è il 01/01/2010, nel secondo è

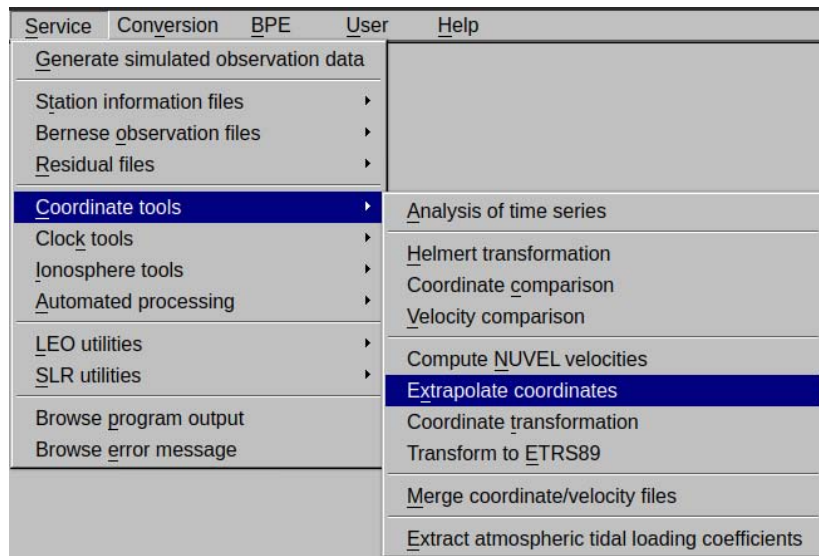


Figura 8.14: tool da selezionare per generare il file UPA_2014.CRD

l'epoca corrente (dei file Rinex, per l'esattezza).

Le coordinate calcolate all'epoca 01/01/2010 delle stazioni considerate per questa trattazione, sono visibili in figura 8.15

```

EXTRAPOLATE COORDINATES TO 2010
-----
LOCAL GEODETIC DATUM: IGS14                EPOCH: 2010-01-01 00:00:00
NUM  STATION NAME          X (M)          Y (M)          Z (M)          FLAG
  1  BLGN 00000M000        4466809.29114   896657.20409   4448824.15655   A
  2  CAGG 18404M001        4676814.35840  1297998.88272   4125959.49075   A
  3  CAR1 00000M000        4749435.83710  1380863.11493   4014568.60556   A
  4  CELL 00000M000        4823406.35612  1373430.42904   3928601.37698   A
  5  CLTA 00000M000        4939194.37158  1228061.27947   3831577.91542   A

```

Figura 8.15: file UPA_2014.CRD. Analizzando, da sinistra, si trovano: l'elenco delle nuove stazione, il domes number, le coordinate approssimate al 2010 e il FLAG

8.8 ATL file

Il file.ATL contiene i coefficienti di carico atmosferico per tutte le stazioni.

Per generare il file è necessario seguire il percorso: *Service/coordinate tool/extract atmospheric tidal loading coefficients* come visibile in figura 8.16

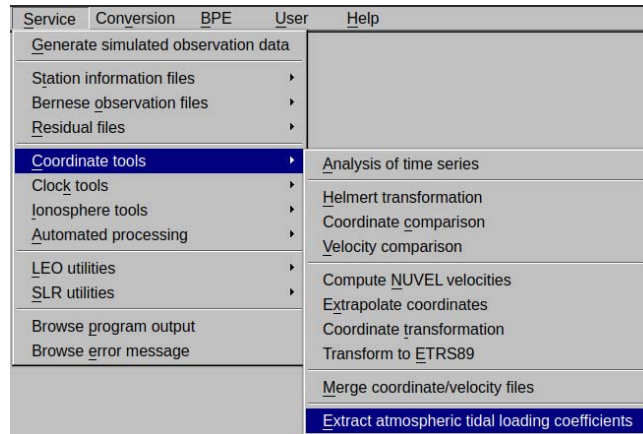


Figura 8.16: tool da selezionare per generare il file.ATL

Il file.ATL generato è strutturato nel seguente modo: vi è innanzitutto un header nel quale vengono descritte le correzioni e gli spostamenti dei centri di massa (CMC). In seguito all'header, per ciascuna stazione, vengono riportati i coefficienti (in figura 8.17 vengono riportati quelli per la stazione BLGN; gli altri hanno medesima struttura)

```

1 $$ Atmospheric Tidal loading displacement
2 $$
3 $$ calculated using grdinterp.f (t. van Dam)
4 $$
5 $$ calculated using atmospheric tidal model Ray and
6 $$ Ponte, Annales Geophysicae (2003) v21; 1897-1910
7 $$ Farrell elastic Greens Functions have been used
8 $$
9 $$ Displacement is defined positive up, north
10 $$ and east directions
11 $$
12 $$ Column order coss1 sins1 coss2 sins2
13 $$
14 $$ Row order:
15 $$ RADIAL
16 $$ TANGENTIAL NS
17 $$ TANGENTIAL EW
18 $$
19 $$
20 $$
21 $$ CMC: YES (corr.tide centre of mass)
22 $$
23 $$ Model name:      Ray_Ponte,2003
24 $$
25 $$ CMC start : center of mass coefficient file content (X,Y,Z)
26 $$ CMC Format: (a,lp,t42,3(2x,2e12.4))
27 $$ CMC frequ : S1  Ray_Ponte,2003          2.1188E-04 -7.6861E-04 -7.2766E-04 -2.3582E-04 -1.2176E-05 3.2243E-05
28 $$ CMC frequ : S2  Ray_Ponte,2003          1.4472E-04 -1.7844E-04 -3.2691E-04 -1.5878E-04 -9.6271E-05 1.6976E-05
29 $$ CMC end   :
30 $$
31 $$
32 $$ END HEADER
33 $$
34 $$
35 $$ station BLGN; coord.(long,lat)  11.350573  44.511002
36 $$
37 BLGN 00000M000
38 0.0572 -0.0164 -0.0987 0.5158
39 -0.0131 -0.0927 -0.0114 0.0322
40 0.0547 0.0132 -0.0225 -0.0175

```

Figura 8.17: file.ATL: dopo l'header sono riportati i valori per la stazione BLGN

8.9 BLQ file

Il file.BLQ contiene i coefficienti di ampiezza e fase specifiche delle stazioni, sia nella direzione orizzontale che verticale, nelle undici componenti di marea. I coefficienti vengono calcolati e tabellati, per ciascuna stazione, utilizzando il servizio Web all'indirizzo

<http://holt.oso.chalmers.se/loading/>

La pagina si presenta come riportato in figura 8.18.

Select ocean tide model
 A brief description of the ocean tide models can be found [here](#). **Note: Default model is a fake to bar spammers**

What type of loading phenomenon do you consider
 vertical and horizontal displacements
 gravity nm/s^2 and tilt nrad

using Greens function
 elastic (Farrell, 1972)
 visco-elastic (STW105)

If you have selected vertical and horizontal displacements, you can correct for the [centre of mass motion of the Earth due to the ocean tides](#). (**NO** means your frame origin is in the solid earth centre, **YES** that it is in the joint mass centre of solid earth and ocean.)
Do you want to correct your loading values for the motion?
 NO
 YES

Want a plot? (New feature of Sep. 4, 2011)
 The plots show the near-field resolution of the coastline. They are generated for each site that involves the loading post-processor OLMPP. Compare with the comment information in the result file.
 NO
 YES
 Fetch it [here](#) after you received the results. Look for your user name: name-olmpp1.png name-olmpp2.png etc.

What kind of output format is required?
 BLQ (normal)
 HARPOS (... RECENTLY ADDED FEATURE ...)
 Gravity loading parameters for [TSOFT](#) and [g-Software](#) can be converted from BLQ with [olqt.pl](#)

Figura 8.18: Pagina web holt.oso.chalmers.se volta alla generazione del file.BLQ

Dopo aver selezionato *YES* alla voce: *Do you want to correct your loading values for the motion?* e aver tralasciato gli altri campi, nella finestra *Where are your stations?* bisogna inserire il nome delle stazioni e le coordinate calcolate nel file UPS_2014.CRD seguendo la sintassi richiesta. Per le stazioni del giorno 035, la struttura è quella di figura 8.19.

```

Name of station _____ ||Longitude (deg)| Latitude (deg)| Height (m)   OR
Name of station _____ |   X (m)           Y (m)           Z (m)
-----|-----|-----|-----|-----
//sala                11.9264           57.3958           0.0000
//ruler.....b.....<.....<.....
// Records starting with // are treated as comments
BLGN 00000M000        4466809.29114      896657.20409      4448824.15655
CAGG 18404M001        4676814.35840      1297998.88272      4125959.49075
CAR1 00000M000        4749435.83710      1380863.11493      4014568.60556
CELL 00000M000        4823406.35612      1373430.42904      3928601.37698
CLTA 00000M000        4939194.37158      1228061.27947      3831577.91542

```

Figura 8.19: Struttura e sintassi da immettere per generare il file.BLQ

Dopo aver concluso questo passaggio, bisogna immettere la propria mail alla quale verrà inviato il file BLQ.

L'intestazione della tabella di caricamento delle maree oceaniche (in figura 8.20 è presente quello per le stazioni di questo elaborato), fornisce il centro delle correzioni di massa (CMC)..

```

1 $$ Ocean loading displacement
2 $$
3 $$ Calculated on holt using olfg/olmpp of H.-G. Scherneck
4 $$
5 $$ Greens function: mc00egbc
6 $$
7 $$ COLUMN ORDER:  M2  S2  N2  K2  K1  O1  P1  Q1  MF  MM  SSA
8 $$
9 $$ ROW ORDER:
10 $$ AMPLITUDES (m)
11 $$   RADIAL
12 $$   TANGENTL   EW
13 $$   TANGENTL   NS
14 $$ PHASES (degrees)
15 $$   RADIAL
16 $$   TANGENTL   EW
17 $$   TANGENTL   NS
18 $$
19 $$ Displacement is defined positive in Upwards, South and West direction.
20 $$ The phase lag is relative to Greenwich and lags positive. The
21 $$ Gutenberg-Bullen Greens function is used. In the ocean tide model the
22 $$ deficit of tidal water mass has been corrected by subtracting a uniform
23 $$ layer of water with a certain phase lag globally.
24 $$
25 $$ Complete <model name> : No interpolation of ocean model was necessary
26 $$ <model name>_PP       : Ocean model has been interpolated near the station
27 $$                       (PP = Post-Processing)
28 $$
29 $$ Ocean tide model: FES2004
30 $$
31 $$ END HEADER
32 $$
33  BLGN          00000M000
34 $$ FES2004_PP ID: 2020-01-09 13:10:03
35 $$ Computed by OLMPP by H G Scherneck, Onsala Space Observatory, 2020
36 $$ BLGN 00000M000,          RADI TANG lon/lat:  11.3506  44.5110  91.767
37  .00539 .00189 .00116 .00046 .00207 .00097 .00069 .00009 .00043 .00023 .00019
38  .00218 .00059 .00050 .00016 .00027 .00016 .00008 .00004 .00003 .00002 .00002
39  .00078 .00026 .00013 .00006 .00022 .00006 .00007 .00003 .00002 .00002 .00001
40  -71.4 -40.4 -89.3 -50.8 -65.0 -97.3 -65.8 -114.1  4.0  4.2  0.8
41  77.7 108.8  55.1  97.0 145.7  31.7 144.2 -50.3 -175.1 -166.7 -177.2
42  -67.2 -25.1 -90.7 -32.2  48.0  64.5  45.7 124.4 -147.1 -166.3 -174.0
43 $$

```

Figura 8.20: In alto, header del file.BLQ. In basso esempio degli 11 coefficienti di marea per la stazione BLGN

8.10 CLU file

L'ultimo file presente nella cartella GPSUSER52/BERNEZ/STA da aggiornare affinché possa essere lanciata una nuova campagna giornaliera contenente sia i ricevitori già presenti nella rete che quelli nuovi, è il file.CLU.

Quando si stimano i fattori di scala per i modelli di deformazione geofisica, le stazioni possono essere raggruppate per stimare un solo fattore di scala per gruppo (ad esempio diverse stazioni in una posizione); in altri termini, il file.CLU raggruppa le stazioni per macro-regioni, considerando come limiti i confini amministrativi delle regioni italiane (questo per rendere più agevole l'eventuale inserimento di ulteriori nuove stazioni) nel seguente modo:

1. Valle d'Aosta-Piemonte-Liguria;
2. Lombardia;
3. Trentino Alto Adige-Veneto;
4. Friuli Venezia Giulia -Austria;
5. Emilia Romagna;
6. Marche-Umbria;
7. Abruzzo;
8. Lazio;
9. Molise-Campania;
10. Puglia-Basilicata-Grecia;
11. Calabria-Sicilia;
12. Sardegna.

Tramite la geolocalizzazione eseguita con *Google Earth* (figura 8.5) e l'ausilio della figura 8.21 è possibile definire il cluster di ciascuna stazione come visualizzabile in figura 8.22

Creati tutti i files di input per il *Bernese* è necessario inserire i nuovi ricevitori all'interno dei files con lo stesso formato preesistenti nella cartella BERNEZ/STAITA; operazione deve essere eseguita manualmente, per ciascuna stazione, di ciascun files.



Figura 8.21: A sinistra, suddivisione in Cluster del territorio italiano; a destra geolocalizzazione delle stazioni

```

1
2 -----
3
4 STATION NAME      CLU
5 *****          ***
6 BLGN 00000M000   5
7 CAGG 18404M001   10
8 CAR1 00000M000   2
9 CELL 00000M000   3
10 CLTA 00000M000   12
    
```

Figura 8.22: file.CLU dei nuovi ricevitori

Capitolo 9

Scripts Principali per l'elaborazione dati GNSS

9.1 Perl Scripts

Gli scripts perl con i quali l'utente avrà modo di interagire maggiormente sono:

- `downloadu52.pl`
- `prcd52.pl`

Entrambi, al loro interno, richiamano ulteriori scripts come ad esempio il `today.pl`.

9.1.1 Downloadu52.pl

Il processo di download comprende l'aggiornamento del file delle stazioni e dei ricevitori, la calibrazione delle antenne, l'acquisizione dei files Rinex, dei parametri atmosferici e delle orbite dei satelliti. Per lanciare lo script col prompt bisogna essere all'interno della cartella `GPSUSER/BERNEZ/perlscripts` e digitare la seguente istruzione:

```
perl downloadu52.pl WEEK DOWinit DOWend
```

ove:

- WEEK indica il numero della settimana GPS
- DOW (Day Of Week) indica i giorni della settimana nell'intervallo [0-6] dove 0 corrisponde alla domenica e 6 al sabato.

Volendo eseguire il download dei dati per il giorno 4 febbraio 2020, (lo script `today.pl` riportato in figura 8.1 fornisce numero e giorno della settimana), essendo un martedì (giorno 2 della settimana GPS), bisogna digitare:

```
perl downloadu52.pl 2091 2 2
```

Una versione non completa e modificata dello script è riportata in Appendice A.2. Nella prima parte dello script vengono create le cartelle della campagna giornaliera e settimanale con le relative sottocartelle elencate al paragrafo 7.1. In un secondo momento vengono scaricate tutte le informazioni relative a: aggiornamento delle stazioni permanenti (EPN) e calibrazione delle antenne e posti nella cartella STA, parametri atmosferici e troposferici inseriti rispettivamente nelle cartelle ATM e GRD, epoca, orbite, salute dei satelliti e ricevitori guasti posti nella cartella GEN.

Viene dunque richiamato lo script, tramite il comando *makecampu*

```
Bernutilu52.pm
```

nel quale vengono raccolti, host, user e password dei vari indirizzi ftp nei quali sono presenti i Rinex giornalieri delle stazioni GNSS forniti dai vari enti sia pubblici che privati quali Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), NETGEO, Regioni italiane, ecc. In altra parole, il *Bernutilu52.pm* è volto al download dei Rinex; azione che viene specificata tramite il comando *wget* che permette di scaricare il file a prescindere dal protocollo (*http* o *ftp*) del sito. In caso di errore viene prodotto un file log dove viene eventualmente specificato il tipo di problema. I rinex, una volta scaricati, vengono: collocati all'interno della cartella ORX, automaticamente decompressi dallo zip e convertiti in formato RINEX tramite lo script

```
crz2rnx.sh
```

e ne viene creato un collegamento all'interno della cartella RAW.

9.1.2 Prcd52.pl

Le parti principali dello script di elaborazione dei dati sono in parte riportate e descritte in appendice A.3. Per lanciare lo script col prompt bisogna essere all'interno della cartella GPSUSER/BERNEZ/perlscripts e digitare la seguente istruzione:

```
perl prcd52.pl WEEK TYPE(R) DOWinit DOWend
```

ove:

- WEEK indica il numero della settimana GPS;
- TYPER indica che campagna giornaliera; (rx2sxmr) o settimanale (combr) è stata eseguita utilizzando le orbite rapide;
- TYPE indica che campagna giornaliera (rx2sxm) o settimanale (comb) è stata eseguita utilizzando le orbite precise;
- DOW (Day Of Week) indica i giorni della settimana nell'intervallo [0-6] dove 0 corrisponde alla domenica e 6 al sabato.

Volendo eseguire la procedura di elaborazione dei dati GNSS giornaliera del 4 febbraio 2020 con le orbite rapide bisogna digitare:

```
perl prcd52.pl 2091 rx2rxmr 2 2
```


Invece, volendo eseguire la combinazione settimanale delle soluzioni giornaliere con orbite precise, bisogna digitare:

```
perl prcd52.pl 2091 comb 0 6
```

La procedura di elaborazione consiste nell'implementazione in successione o in parallelo degli scripts contenuti nella cartella GPSUSER/SCRIPT il cui elenco dettagliato è riportato in Appendice C. Quando durante l'elaborazione uno script viene richiamato, di default, viene trascritto nel file:

```
R2S_BPE.OUT
```

Tale file si genera automaticamente all'interno della cartella BPE della campagna in fase di elaborazione. Questo permette, nel caso di errore durante la procedura, di poter determinare quale sia l'ultimo script lanciato prima del crash del programma.

Il tempo della procedura di elaborazione dati dipende dalle prestazioni della macchina e, soprattutto, dalle dimensioni della rete: più densa è la rete maggiori saranno il tempo impiegato ma anche l'accuratezza delle soluzioni.

9.2 Script bash

Gli scripts bash `itarapid.sh` e `itafinal.sh`, per i quali può venire preimpostata l'ora di esecuzione in automatico, sono i due scripts che elaborano la rete GNSS italiana; pertanto, al loro interno, richiamano i due perl precedentemente descritti. Vista la differenza tra orbite rapide e precise, l'elaborazione dei dati GNSS, per uno stesso giorno, viene eseguita due volte: la prima viene eseguita il giorno successivo e basa i calcoli sulle orbite rapide; la seconda, invece, viene eseguita quando sono disponibili le orbite precise. La soluzione, nonostante differisca dell'ordine del millimetro, risulta più accurata nel secondo caso.

9.2.1 Itarapid.sh

Lo script, una cui schematica traccia è riportata in appendice A.4, viene lanciato dall'utente dalla cartella GPSUSER/BERNEZ/perlscripts digitando:

```
./itarapid.sh WEEK DOWinit DOWend
```

Se non vengono forniti argomenti (settimana GPS, WEEK e giorno di inizio e fine, DOW), sarà calcolato il giorno precedente: vengono cioè sequenzialmente lanciati il `downloadu52.pl`, il `chdrnx.pl` (per il controllo dei files `rinex`, il `prcd52.pl` e il `reportmaildrapid.pl` (per segnalare la presenza di eventuali errori). Una volta elaborato il sabato, che coincide col giorno 6 della settimana GPS, viene eseguita la combinazione settimanale delle soluzioni che stima la posizione delle stazioni per la settimana GPS appena trascorsa, basandosi sulla combinazione delle soluzioni giornaliere ottenute con le orbite rapide. Per lanciare lo script manualmente bisogna digitare:

```
perl prcd52.pl WEEK comb R DOWinit DOWend
```

Alla conclusione della procedura settimanale, viene emanato il Bollettino Bernese, la cui descrizione dettagliata verrà presentata nel prossimo capitolo, che riporta, oltre alle coordinate aggiornate, anche i grafici che indicano il millimetrico spostamento delle stazioni e la loro direzione.

9.2.2 Itafinal.sh

Due settimane dopo, in automatico, viene lanciata l'elaborazione che si basa sulla combinazione delle soluzioni utilizzando le orbite precise. La chiamata a questa funzione può essere eseguita dall'utente digitando dal prompt:

```
./itafinal.sh WEEK DOWinit DOWend
```

Se non vengono forniti argomenti (settimana GPS, WEEK e giorno di inizio e fine, DOW), sarà calcolato il giorno corrispondente a due settimane prima. Per tutti i giorni viene eseguito nuovamente il download così da poter reperire le orbite precise. Per quanto riguarda la procedura di elaborazione viene quotidianamente eseguito il

```
perl prcd52.pl WEEK rx2sxn DOWinit DOWend
```

e, una volta elaborato anche il sabato viene eseguito il:

```
perl prcd52.pl WEEK comb DOWinit DOWend
```

Anche alla fine di questo processo, qualora non siano state inviate segnalazioni di errore tramite lo script perl reportemail.pl, agli utenti registrati viene inviato il Bollettino Bernese settimanale con la soluzione attenuata mediante orbite precise.

Capitolo 10

Conclusioni

Avvenuta con successo la procedura di elaborazione, la cartelle in cui vengono raccolte le combinazioni delle soluzioni sia giornaliere che settimanali nelle rispettive macro sono SOL e OUT. I files di output sono oltre 2000 e in diverso formato: ad esempio, nella cartella SOL viene collocata la soluzione in formato binario, mentre nella cartella OUT, la soluzione nel sistema di riferimento di navigazione. Il motivo per cui vi sono oltre 2000 tipi di output è legato al fatto che la soluzione viene calcolata per ogni ora. Inoltre, per ogni intervallo orario, viene anche eseguita una combinazione delle soluzioni assumendo l'assenza di determinati parametri atmosferici alcuni dei quali, tramite l'elaborazione, vengono determinati numericamente e adoperati in altri ambiti geofisici.

10.1 La soluzione giornaliera

Entrambi reperibili nella cartella OUT una volta terminata l'elaborazione, i files

UPAYYDDD0**R**.OUT e UPAYYDDD0.OUT

ove

- YY indica l'anno;
- DDD indica il giorno dell'anno nell'intervallo [0 - 366];
- R indica la soluzione calcolata tramite le orbite rapide;

costituiscono la vera e propria soluzione dell'elaborazione. Per il caso in esame i files sono:

UPA200350**R**.OUT e UPA200350.OUT

La prima parte del file, a prescindere dal tipo di orbite utilizzate, riporta, come riportato in tabella 10.1, le coordinate a priori delle stazioni. In questa tabella, e anche nelle successive, viene considerata la sola stazione "BLGN" in quanto la struttura è la stessa per tutte.

nome	X (m)	Y (m)	Z (m)	Lat (°)	Lon (°)	Alt (m)
BLGN	4466810.635	896658.013	4448825.464	44.51	11.35	93.736

Tabella 10.1: Struttura della prima sezione del file delle soluzioni giornaliere nella quale vengono riportate le coordinate a priori delle stazioni

Nella seconda sezione del file, per ciascuna stazione, vengono riportate le coordinate con le relative correzioni, come riportato nella tabella 10.2. Le correzioni, nonostante le stazioni siano state appena aggiunte, sono piuttosto piccole. Questo implica che le coordinate approssimate estratte dai files Rinex fossero precise; ciò tuttavia non è sempre verificato: ad esempio, può accadere vengano fornite delle coordinate errate e, se non venisse riscontrato nei precedenti step, può emergere in questo passaggio poiché si avrebbero una correzione ed uno scarto quadratico medio piuttosto elevati.

nome	coord	correzione (m)	valore stimato (m)	rms	coord a priori (m)
orbite rapide					
BLGN	X	-0.00573	4466810.62906	0.00156	4466810.63479
BLGN	Y	-0.00031	896658.01286	0.00063	896658.01317
BLGN	Z	-0.00241	4448825.46114	0.00151	4448825.46355
orbite precise					
BLGN	X	-0.00605	4466810.62874	0.00159	4466810.63479
BLGN	Y	-0.00048	896658.01269	0.00064	896658.01317
BLGN	Z	-0.00284	4448825.46071	0.00154	4448825.46355

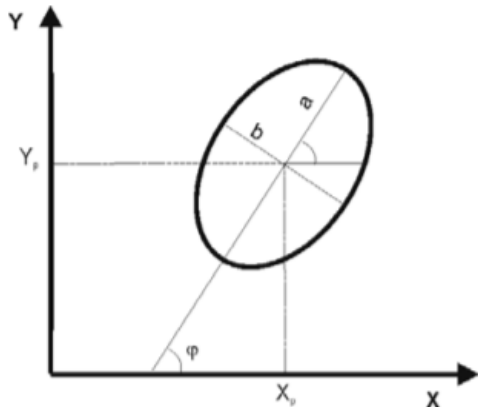
Tabella 10.2: Struttura della seconda sezione del file delle soluzioni giornaliere ove vengono riportate le coordinate stimate e le relative correzioni

Nella terza sezione del file vengono descritte le correzioni effettuate alle varie ore del giorno tenendo conto dei parametri atmosferici specifici e diversi per ciascuna stazione. Ad esempio, per quanto riguarda la stazione BLGN:

nome	coord	valore (m)	valore stimato (m)	rms	Δ (m)	epoca
orbite rapide						
BLGN	N	0.00004	0.00004	0.00017	0.00000	2020-02-04 00:00:00
BLGN	E	-0.00020	-0.00020	0.00016	0.00000	2020-02-04 00:00:00
BLGN	U	0.07975	2.38101	0.00298	2.30126	2020-02-04 00:00:00
BLGN	N	-0.00033	-0.00033	0.00019	0.00000	2020-02-05 00:00:00
BLGN	E	-0.00024	-0.00024	0.00016	0.00000	2020-02-05 00:00:00
BLGN	U	0.03191	2.32135	0.00313	2.28944	2020-02-05 00:00:00
orbite precise						
BLGN	N	0.00001	0.00001	0.00018	0.00000	2020-02-04 00:00:00
BLGN	E	-0.00021	-0.00021	0.00017	0.00000	2020-02-04 00:00:00
BLGN	U	0.08211	2.38337	0.00303	2.30126	2020-02-04 00:00:00
BLGN	N	-0.00037	-0.00037	0.00020	0.00000	2020-02-05 00:00:00
BLGN	E	-0.00027	-0.00027	0.00016	0.00000	2020-02-05 00:00:00
BLGN	U	0.02845	2.32219	0.00319	2.29374	2020-02-05 00:00:00

Tabella 10.3: Struttura della terza sezione del file delle soluzioni giornaliere in cui vengono riportate le correzioni dovute ai parametri atmosferici

La quarta sezione del file (tabella 10.4), contiene le coordinate a priori, le coordinate stimate con l'elaborazione e le relative correzioni sia nel sistema di riferimento ECEF che nel sistema di navigazione. Oltre alle correzioni, nel sistema di riferimento di navigazione, viene determinata anche l'eccentricità dell'ellissoide d'errore sia in 3-D che in 2-D. L'ellisse (in 2-D) e l'ellissoide (in 3-D) d'errore, da un punto di vista statistico, rappresentano l'area o il volume all'interno del quale si ha, noto il centro, una buona probabilità di trovare un individuo estratto a caso dalla popolazione. Più l'eccentricità e il raggio dell'ellisse sono maggiori più la distribuzione delle stazioni risulta omogenea e il risultato finale accurato. Una rappresentazione dell'ellisse in 2D è riportata nella figura sottostante in cui σ_x e σ_y sono gli scarti quadratici lungo le rispettive direzioni.



$$a^2 = \frac{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{2}$$

$$b^2 = \frac{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{2}$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}\right)$$

nome	coord	valore a priori (m)	valore stimato (m)	correzione (m)	RMS
orbite rapide					
BLGN	X	4466810.63479	4466810.62906	-0.00573	0.00156
BLGN	Y	896658.01317	896658.01286	-0.00031	0.00063
BLGN	Z	4448825.46355	4448825.46114	-0.00241	0.00151
BLGN	U	93.73560	93.72987	-0.00574	0.00210
BLGN	N	44.5109976	44.5109976	0.00226	0.00064
BLGN	E	11.3505770	11.3505770	0.00082	0.00054
orbite precise					
BLGN	X	4466810.63479	4466810.62874	-0.00605	0.00159
BLGN	Y	896658.01317	896658.01269	-0.00048	0.00064
BLGN	Z	4448825.46355	4448825.46071	-0.00284	0.00154
BLGN	U	93.73560	93.72932	-0.00629	0.00214
BLGN	N	44.5109976	44.5109976	0.00220	0.00065
BLGN	E	11.3505770	11.3505770	0.00072	0.00055

Tabella 10.4: Struttura della quarta sezione del file delle soluzioni giornaliere in cui si trovano, per tutte le coordinate, il valore a priori, quello stimato, la loro differenza e lo scarto quadratico medio

Infine, nella quinta ed ultima sezione, come rappresentato in tabella 10.6, vengono riportate le correzioni dovute alle interferenze troposferiche nell'arco di tutte le ore della giornata. Prendendo come riferimento la stazione di BLGN, i risultati che si trovano (prelevati da un file all'interno della cartella ATM e non generati dal *Bernese*) sono:

orbite rapide									
nome	correzioni (m)			rms (m)			ellissoide errore (m)		
nome	North	East	Zenith	North	East	Zenit	Max RMS	Min RMS	Azi
BLGN	0.00004	-0.00020	0.07975	0.00017	0.00016	0.00298	0.00017	0.00016	-2
BLGN	0.00003	-0.00020	0.08626	0.00016	0.00015	0.00238	0.00016	0.00015	-2
BLGN	0.00001	-0.00020	0.08517	0.00016	0.00015	0.00226	0.00016	0.00015	-2
BLGN	-0.00000	-0.00020	0.08492	0.00015	0.00014	0.00209	0.00015	0.00014	-2
BLGN	-0.00002	-0.00021	0.07438	0.00014	0.00013	0.00229	0.00014	0.00013	-1
BLGN	-0.00004	-0.00021	0.08661	0.00013	0.00012	0.00228	0.00013	0.00012	-1
BLGN	-0.00005	-0.00021	0.08316	0.00013	0.00012	0.00196	0.00013	0.00012	-1
BLGN	-0.00007	-0.00021	0.09620	0.00012	0.00011	0.00221	0.00012	0.00011	-1
BLGN	-0.00008	-0.00021	0.09238	0.00012	0.00011	0.00248	0.00012	0.00011	0
BLGN	-0.00010	-0.00021	0.08725	0.00011	0.00010	0.00221	0.00011	0.00010	0
BLGN	-0.00011	-0.00022	0.04719	0.00011	0.00010	0.00275	0.00011	0.00010	0
BLGN	-0.00013	-0.00022	0.03834	0.00011	0.00010	0.00249	0.00011	0.00010	1
BLGN	-0.00014	-0.00022	0.03017	0.00011	0.00009	0.00264	0.00011	0.00009	1
BLGN	-0.00016	-0.00022	0.03269	0.00011	0.00009	0.00235	0.00011	0.00009	1
BLGN	-0.00017	-0.00022	0.01281	0.00012	0.00010	0.00200	0.00012	0.00010	1
BLGN	-0.00019	-0.00022	0.02835	0.00012	0.00010	0.00191	0.00012	0.00010	1
BLGN	-0.00020	-0.00023	0.02628	0.00013	0.00010	0.00242	0.00013	0.00010	1
BLGN	-0.00022	-0.00023	0.02765	0.00013	0.00011	0.00270	0.00013	0.00011	1
BLGN	-0.00024	-0.00023	0.03494	0.00014	0.00011	0.00221	0.00014	0.00011	1
BLGN	-0.00025	-0.00023	0.03153	0.00015	0.00012	0.00227	0.00015	0.00012	1
BLGN	-0.00027	-0.00023	0.03613	0.00015	0.00013	0.00218	0.00015	0.00013	1
BLGN	-0.00028	-0.00023	0.04015	0.00016	0.00013	0.00236	0.00016	0.00013	1
BLGN	-0.00030	-0.00024	0.04055	0.00017	0.00014	0.00310	0.00017	0.00014	1
BLGN	-0.00031	-0.00024	0.04138	0.00018	0.00015	0.00238	0.00018	0.00015	1
BLGN	-0.00033	-0.00024	0.03191	0.00019	0.00016	0.00313	0.00019	0.00016	1

Tabella 10.5: Struttura della quinta parte del file delle soluzioni giornaliere con orbite rapide

Il file appena presentato, con le sue cinque sezioni, costituisce la soluzione giornaliera. Dal punto di vista pratico è utile per verificare non vi siano errori durante la procedura quotidiana; tuttavia, per ragioni soprattutto legate alla memoria del computer,

orbite precise									
nome	correzioni (m)			rms (m)			ellissoide errore (m)		
nome	North	East	Zenith	North	East	Zenit	Max RMS	Min RMS	Azi
BLGN	0.00001	-0.00021	0.08211	0.00018	0.00017	0.00303	0.00018	0.00017	-3
BLGN	-0.00000	-0.00021	0.08739	0.00017	0.00016	0.00243	0.00017	0.00016	-3
BLGN	-0.00002	-0.00022	0.08526	0.00016	0.00015	0.00231	0.00016	0.00015	-2
BLGN	-0.00004	-0.00022	0.08471	0.00015	0.00014	0.00214	0.00015	0.00014	-2
BLGN	-0.00005	-0.00022	0.07538	0.00014	0.00013	0.00233	0.00014	0.00013	-2
BLGN	-0.00007	-0.00022	0.08890	0.00014	0.00013	0.00232	0.00014	0.00013	-2
BLGN	-0.00008	-0.00023	0.08351	0.00013	0.00012	0.00199	0.00013	0.00012	-1
BLGN	-0.00010	-0.00023	0.09345	0.00012	0.00011	0.00225	0.00012	0.00011	-1
BLGN	-0.00012	-0.00023	0.09383	0.00012	0.00011	0.00251	0.00012	0.00011	0
BLGN	-0.00013	-0.00023	0.08833	0.00012	0.00010	0.00225	0.00012	0.00010	0
BLGN	-0.00015	-0.00024	0.04623	0.00011	0.00010	0.00280	0.00011	0.00010	0
BLGN	-0.00016	-0.00024	0.03694	0.00011	0.00010	0.00254	0.00011	0.00010	1
BLGN	-0.00018	-0.00024	0.02934	0.00011	0.00010	0.00271	0.00011	0.00010	1
BLGN	-0.00020	-0.00025	0.03291	0.00012	0.00010	0.00240	0.00012	0.00010	1
BLGN	-0.00021	-0.00025	0.01328	0.00012	0.00010	0.00206	0.00012	0.00010	1
BLGN	-0.00023	-0.00025	0.02895	0.00012	0.00010	0.00196	0.00012	0.00010	1
BLGN	-0.00024	-0.00025	0.02417	0.00013	0.00010	0.00247	0.00013	0.00010	1
BLGN	-0.00026	-0.00026	0.02590	0.00013	0.00011	0.00275	0.00013	0.00011	1
BLGN	-0.00028	-0.00026	0.03335	0.00014	0.00012	0.00225	0.00014	0.00012	1
BLGN	-0.00029	-0.00026	0.03050	0.00015	0.00012	0.00231	0.00015	0.00012	1
BLGN	-0.00031	-0.00026	0.03355	0.00016	0.00013	0.00223	0.00016	0.00013	1
BLGN	-0.00032	-0.00027	0.03764	0.00017	0.00014	0.00240	0.00017	0.00014	1
BLGN	-0.00034	-0.00027	0.03706	0.00018	0.00014	0.00316	0.00018	0.00014	1
BLGN	-0.00036	-0.00027	0.03836	0.00019	0.00015	0.00244	0.00019	0.00015	1
BLGN	-0.00037	-0.00027	0.02845	0.00020	0.00016	0.00319	0.00020	0.00016	1

Tabella 10.6: Struttura della quinta sezione del file delle soluzioni giornaliere con orbite precise

la campagna giornaliera, a distanza di tre mesi dall'elaborazione, viene cancellata.

10.2 La soluzione settimanale

All'interno della cartella OUT di una campagna settimanale, se l'elaborazione è andata a buon fine, in modo del tutto analogo a quella giornaliera, è possibile individuare i files ottenuti dalla combinazione delle soluzioni giornaliere della settimana in esame. La sintassi dei files è:

UPAWWWW7**R**.OUT e UPAWWWW7.OUT

ove:

- WWWWW indica il nome della settimana;
- 7 è il numero di giorni che costituiscono la campagna (si mette perchè può accadere che un giorno non venga elaborato a causa di qualche errore).

La settimana che contiene il giorno 35 del 2020, come illustrato in figura 8.1, è la 2091; pertanto, i files da analizzare con orbite rapide e precise sono:

UPA20917**R**.OUT e UPA20917.OUT

In modo simile alla campagna giornaliera, anche nella settimanale, nella prima sezione del file, come evidenziato in tabella 10.7 vengono riportate le coordinate a priori della rete di stazioni. Prendendo come riferimento, anche per la soluzione settimanale, la stazione BLGN:

nome	X (m)	Y(m)	Z(m)	Lat (°)	Lon (°)	Alt (m)
BLGN	4466810.771	896657.827	4448825.365	44.51	11.35	93.735

Tabella 10.7: Struttura della prima sezione del file della soluzione settimanale

La seconda sezione contiene i seguenti parametri statistici:

Dato statistico	orbite rapide	orbite precise
Numero di osservazioni	13885110	14846269
Numero di pseudo-osservazioni	3	3
Numero di parametri espliciti	1260	1314
Numero di parametri impliciti	181821	195240
Numero totale di osservazioni	13885113	14846272
Numero totale di parametri	183081	196554
Gradi di libertà	13702032	14649718
RMS a posteriori [m]	0.00138	0.00145
χ^2/GDL	1.91	2.11
numero totale files di osservazione	2676	2881
Numero delle stazioni	420	438

Tabella 10.8: parametri statistici forniti nella seconda sezione della soluzione settimanale

La terza sezione (tabella 10.9) contiene la variazione media degli spostamenti durante l'arco di tutta la settimana nel sistema di riferimento ECEF:

nome	coord	correzione (m)	valore stimato (m)	rms	coord a priori (m)
orbite rapide					
BLGN	X	0.00028	4466810.63502	0.00044	4466810.63474
BLGN	Y	0.00090	896658.01414	0.00017	896658.01325
BLGN	Z	0.00108	4448825.46467	0.00042	4448825.46359
orbite precise					
BLGN	X	0.00042	4466810.63515	0.00046	4466810.63474
BLGN	Y	0.00086	896658.01410	0.00018	896658.01325
BLGN	Z	0.00123	4448825.46482	0.00044	4448825.46359

Tabella 10.9: Struttura della terza parte del file della soluzione settimanale

La quarta sezione del file, riportata per la stazione BLGN in tabella 10.10, contiene le coordinate a priori, quelle calcolate e le relative correzioni sia nel sistema di riferimento ECEF che nel sistema di navigazione. Per le correzioni nel sistema di riferimento di navigazione, viene determinata anche l'eccentricità dell'ellisse d'errore.

nome	coord	valore a priori	valore stimato	correzione	RMS medio
orbite rapide					
BLGN	X	4466810.63474	4466810.63502	0.00028	0.00044
BLGN	Y	896658.01325	896658.01414	0.00090	0.00017
BLGN	Z	4448825.46359	4448825.46467	0.00108	0.00042
BLGN	U	93.73561	93.73669	0.00108	0.00059
BLGN	N	44.5109976	44.5109976	0.00045	0.00018
BLGN	E	11.3505770	11.3505770	0.00082	0.00015
orbite precise					
BLGN	X	4466810.63474	4466810.63515	0.00042	0.00046
BLGN	Y	896658.01325	896658.01410	0.00086	0.00018
BLGN	Z	4448825.46359	4448825.46482	0.00123	0.00044
BLGN	U	93.73561	93.73688	0.00127	0.00062
BLGN	N	44.5109976	44.5109976	0.00047	0.00019
BLGN	E	11.3505770	11.3505770	0.00075	0.00015

Tabella 10.10: Struttura della quarta sezione del file della soluzione settimanale

L'ultima sezione del file (tabella 10.11) riporta, per ciascuna stazione, lo scarto quadratico medio settimanale e quello di ogni giorno, dalla domenica (0) al sabato (6).

orbite rapide									
nome	coord	rms_{sett}	rms_0	RMS_1	RMS_2	RMS_3	RMS_4	RMS_5	RMS_6
BLGN	N	0.68	-0.51	-0.31	1.23	-0.18	0.70	-0.53	0.34
BLGN	E	0.76	-0.70	0.54	0.78	-0.87	-0.75	-0.66	-0.52
BLGN	U	2.57	-0.10	-0.87	-5.22	-1.80	-1.01	-0.13	-2.69
orbite precise									
BLGN	N	0.76	-0.43	-0.02	1.38	-0.19	0.95	-0.60	-0.32
BLGN	E	1.15	-1.09	1.38	0.60	-1.49	-0.93	-0.75	-0.92
BLGN	U	2.76	-0.37	-1.65	-6.08	-1.00	-0.53	0.47	-2.06

Tabella 10.11: Struttura della quinta sezione del file della soluzione settimanale

10.3 Il Bollettino Bernese

Con cadenza settimanale viene emanato il Bollettino Bernese, contenente le coordinate aggiornate all'epoca attuale nel sistema di riferimento ETRS89/ETRF2000, risultante dalla compensazione delle sette soluzioni giornaliere, con l'utilizzo sia di orbite rapide che precise. I Bollettini vengono inviati per e-mail a tutti gli operatori delle varie reti regionali e a chi ne fa richiesta.

L'emanazione del Bollettino istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE) il cui standard prevede l'allineamento a ETRS89, attualmente nella sua realizzazione ETRF2000.

Le stazioni di riferimento sono le stazioni EPN classe A presenti in Italia. Le coordinate e le velocità delle stazioni di riferimento nel sistema di riferimento ITRS/IGS14 e ETRS89/ETRF2000 sono disponibili al seguente link:

http://www.epncb.oma.be/_productsservices/coordinates/

Il Bollettino Bernese della settimana 2091 calcolato con le orbite precise è reperibile sul sito della rete GPS del Veneto:

<http://147.162.229.63/Dati/Bernese/2020/bolwk2091.txt>

In Appendice D vengono riportati, per ragioni di lunghezza del file, oltre alla struttura del bollettino, i dati della sola stazione BLGN. La struttura del bollettino è la seguente:

- Intestazione, contenente i link alle mappe delle velocità e alle serie storiche, indicazione sui files utilizzati per le soluzioni (orbite, equazioni normali etc.) e le epoche di inizio e fine prese in considerazione nelle analisi;
- Confronto in millimetri delle coordinate delle stazioni rispetto alla soluzione combinata – valore quadratico medio non ponderato dei residui per ogni coordinata;
- Lista delle coordinate aggiornate nel Sistema di riferimento ETRS89/ETRF2000; le stazioni contrassegnate con W sono le stazioni di riferimento EPN classe A per le quali vengono applicate come condizione al contorno i “minimi vincoli”.
- Lista delle stazioni non elaborate nel corso della settimana perché i dati non sono presenti o perché scartati.

Inoltre, col Bollettino Bernese, vengono fornite anche le mappe con indicatori grafici di presenza (rosso) o assenza (blu) di ogni stazione nella soluzione settimanale.

A corredo del Bollettino settimanale viene allegato il file `utmegg%YWEEK%.sum`, contenente le coordinate geografiche dei siti (latitudine e longitudine e quota geodetica), le coordinate piane (UTM) in metri e il fuso di appartenenza.

Appendice A

Scripts Perl e Bash

A.1 Today.pl

Lo script *Today.pl* serve per determinare, nota una data, il giorno dell'anno e il giorno e la settimana GPS, o viceversa. Viene lanciato dal prompt digitando:

```
perl today.pl -var -o var2
```

Ove:

- var sono i giorni addietro rispetto oggi cui devo definire i dati
- '-o' specifica il tipo di output; altrimenti fornisce tutti le varie combinazioni
- var2 corrisponde all'output desiderato e può essere indicato con:
 - W fornisce la settimana GPS (dalla 0 corrispondente al primo gennaio del 1968 ad oggi)
 - w fornisce il giorno della settimana (da 0 coincidente con la Domenica a 6 corrispondente al sabato)
 - j fornisce il giorno dell'anno partendo dal primo Gennaio
 - y fornisce di definire l'anno corrente
 - v fornisce la data in formato anglosassone
 - z fornisce la data in formato europeo
 - b fornisce il nome del mese corrente

le funzionalità dello script sono:

```
Usage: gps_date <[ -ymd | -yd | -wd | -mjd | -doy DATSTR ] [ -t[today] ]>
        [ -hms | -hid          TIMSTR ]
        [ -h   | -d   | -w      +/-INT ]
        [ -o          OUTSTR ]
        [ -v   ]
```

```
Supported DATSTR: -ymd .. yy|yyyy mm|mon dd      with delimiters [-_\s]+
                  -yd  .. yy|yyyy doy|sess|doyid  with delimiters [-_\s]+
                  -mjd .. dddd[.dddd]
                  -wd  .. www d                  with delimiters [-_\s]+
                  -doy .. doy                    may be negative
TIMSTR: -hms .. hh|id mm ss                    with delimiters [-:\s]+
        -hid .. hh|id                          work for hours only
OUTSTR: -o   .. any text + spec.chars
```

```
Spec. chars: year   = %y %Y           = [00-99] [1999]
              month = %m %b %B %C     = [01-12] [jan-dec] [JAN-DEC] [Jan-Dec]
              day   = %d               = [01-31]
              doy   = %j               = [001-365]
              dow   = %w %e %E %F     = [0-6] [su-sa] [SU-SA] [Su-Sa]
              gpsweek = %W             = [0-????]
              gpssec  = %G             = [0-??????]
              woy    = %A              = [01-53]
              yow    = %a              = [00-99]
              modjul = %J              = [?????.?????]
              modjul = %IJ            = [?????]
              modjul = %FJ            = [0.?????]
              hour,id = %H %I %i      = [00-23] [A-X] [a-x] (A=00,...,X=23)
              min    = %M              = [00-59]
              sec    = %S              = [00-59]

              dattim = %V %v          = [YYYY-MM-DD HH:MM:SS] [YYYY-MON-DD HH:MM:SS]
              dat    = %X %x          = [YYYY-MM-DD] [YYYY-MON-DD]
              tim    = %Z              = [HH:MM:SS]
              timprt = %z              = [DD-MON-YYYY HH:MM:SS]
              seconds = %U             = seconds from 1.1.1970

              spec   = %t %n %%       = "\tab" "\newline" "%"
              pads   = %: %_          = "any_pad", "blank_pad", (default="0_pad")
```

A.2 Downloadu52.pl

```
#!/usr/bin/perl
#elenci di alcuni degli scripts richiamati
use Gps_Date;
use Bernutilu52;

#come descritto nel capitolo 9, le variabili da fornire sono:
# WEEK - Giorno_ini - Giorno_fin
#Inserire la a settimana è obbligatorio, altrimenti da errore.
#se il giorno finale è omissso assume coincida con
#l'iniziale ed esegue download giornaliero
#se entrambi i gironi sono omissi esegue il download di tutta la settimana

my $gpsweek      = $ARGV[0];    #set GPS week
my $first        = '0';        #First Day of Week
my $last         = '6';        #Last Day of Week
if ( scalar(@ARGV) == 3) {
    $gpsweek      = $ARGV[0];    #set GPS week
    $first        = $ARGV[1];    #First Day of Week
    $last         = $ARGV[2];    #Last Day of Week
}

#creazione o aggiornamento campagne giornaliera/settimanale
my $gpsdata      = 'GPSDATA/CAMPAIGN52/U';
my @gpsday       = (0..6);

#prelievo delle informazioni dallo script Gps_Date
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
    $year2        = &gps_date("-wd $gpsweek $i -o %y");
    $year4        = &gps_date("-wd $gpsweek $i -o %Y");
    &makecampu ($doy[$i], $gpsday[$i], $year2, $year4, $datadir, $campdir[$i], $gpsweek);
    $i++;}

#copia cartella STAITA nello STA giornaliero/settimanale
&maketree($datadir.'/'wk'.$gpsweek);
my $from = $ENV{U}."/BERNEZ/STAITA";
my $to   = $datadir.'/'wk'.$gpsweek.'/'STA';
&copyfromtoI14($from,$to);

# download orbite rapide/precise dei satelliti
$hostname       = "igscb.jpl.nasa.gov";
$username       = "***";
$password      = "***";

$remotedir     = "/pub/product/$gpsweek";
$localdir      = $datadir.'/'wk'.$gpsweek.'/'ORB';
$remotefile    = "igs".$gpsweek."7.erp.Z";
```

```

$mode          = 'binary';

#collegamento col Bernutil52.pm
&downloadfromWGET($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,
$localdir,$localfile,$mode);

# decompressione dei crinex file usando il crz2rnx
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
    $year2      = &gps_date("-wd $gpsweek $i -o %y");
    &crztornx ($datadir,$campdir[$i],$year2);
    $i++;}

#download ed aggiornamento dei file presenti nella cartella BERNEZ/STAITA
#aggiornamemnto stazioni EPN da
#ftp://ftp.epncb.oma.be/pub/station/general/EUREF52.STA
if ($gpsweek>=1934){$remotefile = "EUREF52.STA";}
&downloadfromWGET($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,
$localdir,$localfile,$mode);

#aggiornamemnto calibrazione antenne da
#ftp://ftp.epncb.oma.be/pub/station/general/EPNC_14.ATX
if ($gpsweek>=1934){$remotefile = "epnc_14.atx"; $localfile = "EPNC_14.ATX";}
&downloadfromWGET($hostname,$username,$password,$remotedir,$remotefile,
$localdir,$localfile,$mode);

#informazioni orbite dei satelliti
$url          = 'ftp://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/GEN/SATELLIT.I14';
$lf          = 'SATELLIT.I14';
&downloadfromberne($url,$ld,$lf);

##informazioni sull'epoca da mettere nella cartella GEN
$url          = 'ftp://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/GEN/GPSUTC.';
$ld          = $GENDir;
$lf          = 'GPSUTC.';
&downloadfromberne($url,$ld,$lf);

#informazioni su eventuali ricevitori guasti nella cartella GEN
$url          = 'ftp://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/GEN/RECEIVER.';
$lf          = 'RECEIVER.';
&downloadfromberne($url,$ld,$lf);

#Elenco ricevitori non presenti nella lista fornita dall'AIUB e loro aggiunta
system("echo \"CHC P5E  2      P1    L1:    1      GR\"> $ld/AddToREC_File");
system("echo \"              P2    L2:    1      \">>$ld/AddToREC_File");
system("echo \"              \">>$ld/AddToREC_File");

#processo ripetuto per tutti i ricevitori e loro successiva aggiunta nell'analisi

```



```

system("sed 1,6d $ld/$lf>>$ld/AddToREC_File");
system("cat $ld/REC_HEADER $ld/AddToREC_File > $ld/$lf");
system("rm -f $ld/REC_HEADER $ld/AddToREC_File");

#$file con informazioni sulla salute dei satelliti
$url = "ftp://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/GEN/SAT_.$year4.CRX";
$lf = 'SAT_.$year4.'.CRX';
&downloadfromberne($url,$ld,$lf);

# Rinominazione di stazioni perchè già esistenti esempio: BORR -> BORO
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
    $year2 = &gps_date("-wd $gpsweek $i -o %y");
    my $Italian = $datadir."/".$scampdir[$i].'/ORX/BORO'.$doy[$i].'.0.'.$year2.'.0';
    my $Euref = $datadir."/".$scampdir[$i].'/ORX/BORR'.$doy[$i].'.0.'.$year2.'.0';

#modifica del nome anche nelle cartelle ORX e RAW
system("mv -f $Euref $Italian");
system("rm -f $datadir/$scampdir[$i]/ORX/BORR*.");
system("rm -f $datadir/$scampdir[$i]/RAW/BORR*.");

#stazioni pper le quali vi è il nome del ricevitore errato. Esempio: VELO
system("sed -i 's/TPS E_GGD /TPS EGGDT /g' VELO*.*?0");

# stazioni per le quali vi è marker name errato. Esempio BREU
system("sed -i 's/BRES MARKER NAME/BREU MARKER NAME/g' BRES*.*?0");

# esegue e rimuove il collegmaneto dei file nella cartella ORX in RAW
for (my $i=$first; $i<=$last; ) {
    $year2 = &gps_date("-wd $gpsweek $i -o %y");
    chdir $datadir.'/'. $scampdir[$i].'/ORX';
    foreach my $rnxf (glob("*.${year2}0"))

```

A.3 prcd52u.pl

```
#!/usr/bin/perl
#elenco di alcuni degli scripts richiamati
use Gps_Date;

#come descritto nel capitolo 9, le variabili da fornire sono:
#WEEK - soluzione giornaliera/settimanale - orbite - Giorno_ini - Giorno_fin
#Inserire la a settimana è obbligatorio, altrimenti da errore.
#se il giorno finale è omissso assume coincida con l'iniziale
#se entrambi i gironi sono omissi esegue l'elaborazione di tutti i giorni

# definizione prima della settimana GPS poi del Giorno della settimana
my $gpsweek = $ARGV[0]; #settimana GPS
my $flag     = $ARGV[1]; #procedura giornaliera rx2sxm(r)
                    o settimanale comb(r) e tipo orbite
my $first    = $ARGV[2]; #giorno inizio
my $last     = $ARGV[3]; #giorno fine
my $doy[0-6] = &gps_date("-wd $gpsweek 0 -o %j");

#definizione della campagna cui si elaborano i dati
my @campnam = ();
$year2      = &gps_date("-wd $gpsweek 0 -o %y");
$campnam[0-6] = "U/".$year2."_".$doy[0];

#tipi di flag:
#1 PPP: col Bernese può essere affrontato questo tipo di calcolo.
# la parte di script relativa a questo punto non viene analizzata perchè non usata

#2 RNX2SNX: procedura giornaliera con orbite precise
#impostazione ed apertura di file e variabili quali BPE e R2S_BPE
if ($flag eq "rx2sxm" || $flag eq "all") {
    %newVar = ("V_PCV" => "I14", "V_R" => "");
    $BPE1 = new startBPE(%newVar);

    my $indice = "0";
    for ($indice=$first; $indice<=$last; ) {

$year2      = &gps_date("-wd $gpsweek $indice -o %y");
my $year    = &gps_date("-wd $gpsweek $indice -o %Y");
# rimozione dei file *.SMT
        system("rm -f $ENV{P}/$campnam[$indice]/RAW/*.SMT");
        system("rm -f $ENV{P}/$campnam[$indice]/OBS/*.");

$$BPE1{BPE_CAMPAIGN} = '${P}'.'/".$campnam[$indice]";
    $$BPE1{PCF_FILE}   = 'RNX2SNXM';
    $$BPE1{SESSION}   = $doy[$indice]."0";
```

```

$$BPE1{YEAR}          = $year;
$$BPE1{TASKID}        = "R2";
$$BPE1{SYSOUT}        = "R2S_BPE";
$$BPE1{STATUS}        = "R2S_BPE";

#3 RNX2SNX: procedura giornaliera con orbite rapide
#scrittura analoga alla precedente; varia il tipi di orbite analizzate
if ($flag eq "rx2sxmr" || $flag eq "all") {
    %newVar = ("V_R" => "R");

#4 COMBINE: combinazione settimanale con orbite precise
if ($flag eq "comb" || $flag eq "all") {

%newVar = ("V_R" => "", "V_OTYPE" => "FINAL");

printf "\nCombining daily solutions through COMBINE\n\n";
$BPE1 = new startBPE(%newVar);
my $indice = "0";
for ($indice=$first; $indice<=$last; ) {
    $year2          = &gps_date("-wd $gpsweek $indice -o %y");
    $year4          = &gps_date("-wd $gpsweek $indice -o %Y");
    my $filetobecopied = "$ENV{P}/$campnam[$indice]/SOL/R2P$year2$doy[$indice]0.NQ0";
    my $newfile = "$ENV{P}/U/wk$gpsweek/SOL/R1_${year2}$doy[$indice]0.NQ0";

    (-e $filetobecopied) or die"\nERROR: file $filetobecopied does not exist";

    copy($filetobecopied, $newfile) or die "File cannot be copied.";

    $indice++;}

$$BPE1{BPE_CAMPAIGN} = '${P}'. "/U/wk". $gpsweek;
$$BPE1{PCF_FILE}     = 'COMB';
$$BPE1{SESSION}      = $doy[6]. "0";
$$BPE1{YEAR}         = $year4;
$$BPE1{TASKID}       = "aw";
$$BPE1{SYSOUT}       = "AWK_BPE";
$$BPE1{STATUS}       = "AWK_BPE";

# RUN ETRF2000 script:
system ("perl IGS14toETRF2000.pl UPA${gpsweek}7.CRD");}

#5 COMBINE: combinazione settimanale con orbite rapide

#scrittura analoga alla precedente; varia il tipi di orbite analizzate
if ($flag eq "combr") {
    %newVar = ("V_R" => "R", "V_OTYPE" => "RAPID");

```

```

#stima parametri atmosferici (calcolo della soluzione finale) con orbite precise
if ($flag eq "tropo" || $flag eq "all") {
printf "estimating tropospheric parameters (fixed mean coordinates, FINAL orbits)";

    %newVar = ("V_R" => "", "V_OTYPE" => "FINAL");
    $BPE1 = new startBPE(%newVar);
    my $indice = "0";
    for ($indice=$first; $indice<=$last; ) {
my $newfile          = $ENV{P}."/$campnam[$indice]"/STA/UPA".$gpsweek."7.CRD";
my $filetobecopied = $ENV{P}."/U/wk".$gpsweek."/STA/UPA".$gpsweek."7.CRD";

(-e $filetobecopied);
copy($filetobecopied, $newfile);

$year2          = &gps_date("-wd $gpsweek $indice -o %y");
$year4          = &gps_date("-wd $gpsweek $indice -o %Y");
$$BPE1{BPE_CAMPAIGN} = '${P}'."/$campnam[$indice]";
$$BPE1{PCF_FILE}    = 'TROP0_P';
$$BPE1{SESSION}    = $doy[$indice]."0";
$$BPE1{YEAR}       = $year4;
$$BPE1{TASKID}     = "TR";
$$BPE1{SYSOUT}     = "TRO_BPE";
$$BPE1{STATUS}    = "TRO_BPE";

#stima del parametri atmosferici (calcolo della soluzione finale) con orbite rapide
#scrittura analoga alla precedente; varia il tipi di orbite analizzate
if ($flag eq "tropor" || $flag eq "all") {
printf "estimating tropospheric parameters (fixed mean coordinates, RAPID orbits)";
    %newVar = ("V_R" => "R", "V_OTYPE" => "RAPID");

```

A.4 itarapid.sh

```
#!/bin/bash

# conteggio del numero degli argomenti dopo la chiamata dello script
# - se #args == 0 si assume di essere alla mezzanotte di ieri
# - se #args == 2 sono dati in input il giorno di inizio e fine procedura

#richiamo dello script LOADGPS.Setvar volto alla chiamata
#di cartelle o librerie da terminale.
if [ -d "$HOME/BERN52/GPS/EXE" ]; then
    echo "Found: $HOME/BERN52/GPS/EXE. Will load LOADGPS.setvar from there."
    . $HOME/BERN52/GPS/EXE/LOADGPS.setvar
fi

#analisi degli input. se assenti processa la settimana precedente

ARGC=$#
YWEEK=$(today.pl -1 -o %W)
YDOW=$(today.pl -1 -o %w)

if [[ "$ARGC" -eq 2 ]]; then
    ii=1
    while [ $ii -le $ARGC ]; do
        if [[ "$ii" -eq 1 ]]; then YWEEK=${!ii}; fi # es: 2091
        if [[ "$ii" -eq 2 ]]; then YDOW=${!ii}; fi # [0 - 6]
        ii=$((ii+1))
    done
elif [[ "$ARGC" -ne 0 ]]; then
    echo "The number of arguments must be zero or two"
    exit 1;
fi

# ONLY FOR TEST - REMOVE
YY=$(today.pl -2 -o %y)
YDoY=$(today.pl -2 -o %j)

#download della campagna giornaliera
cd $U/BERNEZ/perlscripts
perl downloadu52.pl $YWEEK $YDOW $YDOW

echo Analyzing week $YWEEK, day of week $YDOW
cd $U/BERNEZ/perlscripts

YY=$(today.pl -2 -o %y)
YDOY=$(today.pl -2 -o %j)
```

```

# Nel caso fosse già stata inizializzata la campagna fa un reset
for filename in ${P}/U/${YY}_${YDOY}/ORX/*
do
    echo $filename
    if [ ! -s $filename ]; then
        rm $filename
    fi
done;

# Controllo sui rinex tramite alcuni script perl
cd $U/BERNEZ/perlscripts

perl chdrnx_v2.pl $YWEEK $YDOW
perl chdrnx.pl $YWEEK $YDOW 1

#inizializzazione procedura elaborazione dati giornaliera con orbite rapide
perl prcd52u.pl $YWEEK rx2sxmr $YDOW $YDOW

#script per segnalare eventuali errori
perl reportemaildrapid.pl $YWEEK $YDOW

#Redazione del Bollettino Bernese settimanale con orbite rapide
scp $P/U/${YY}_${YDOY}/OUT/UPA${YY}${YDOY}OR.OUT
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/daily_output/UPA${YY}${YDOY}OR.OUT;

if [ $YDOW -eq 6 ]; then
    cd $U/BERNEZ/perlscripts
    echo Week $YWEEK complete, proceeding with combine and bullettin generation
    perl prcd52u.pl $YWEEK combr 0 6
    perl reportemailrapid.pl $YWEEK 0 6

if [ -e "$P/U/wk${YWEEK}/OUT/HLM${YWEEK}7R.LST" ]; then
    echo "High residuals found:
    $P/U/wk${YWEEK}/OUT/HLM${YWEEK}7R.LST. Re-run MANUALLY."
    exit 0
fi

perl xtract.pl $YWEEK rapid
cp bolwk$YWEEK bolwk_current
./teoriche.sh
cd $U/BERNEZ/fortranprog
./et2utmegg.sh $YWEEK
cd $U/BERNEZ/GMT
./bullettinmap.sh $YWEEK
./bullet3VENEmap.sh $YWEEK
./bulletNWmap.sh $YWEEK

```

```
./bulletCEmap.sh $YWEEK
./bulletSSmap.sh $YWEEK
./bulletSARDmap.sh $YWEEK
cd $U/BERNEZ/perlscripts
/usr/bin/dos2unix -n bolwk$YWEEK /tmp/bolwk$YWEEK.dos2unix
/usr/bin/iconv --from-code=ISO-8859-1 --to-code=UTF-8 -o
bolwk$YWEEK /tmp/bolwk$YWEEK.dos2unix

# Lista completa indirizzi mail cui inciare il bollettino
./send.sh $YWEEK tmpaddr

# Pubblicazione del bollettino settimanale sul sito della rete GPS veneto
YYYY=$(today.pl -wd $YWEEK 0 -o %Y)
scp bolwk$YWEEK
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Dati/Bernese/$YYYY/bolwk${YWEEK}_rapid.txt
cp $P/U/wk$YWEEK/SOL/UPA${YWEEK}7R.NQ0 $P/EUP/SOL/UPA${YWEEK}7.NQ0
fi
```

A.5 itafinal.sh

La prima parte è identica all'itarapid.sh solo che, anzichè eseguire il download delle orbite per il giorno precedente, visto che il calcolo viene eseguito con le orbite precise, lo esegue per il giorno della settimana corrispondente a ieri, ma di due settimane prima.

```
#!/bin/bash

#la procedura, questa volta, viene eseguita con le orbite precise.
perl prcd52u.pl $YWEEK rx2sxm $YDOW $YDOW
perl reportemaid.pl $YWEEK $YDOW

Redazione del Bollettino Bernese settimanale con orbite precise
if [ $YDOW -eq 6 ]; then
    cd $U/BERNEZ/perlscripts
    echo Week $YWEEK complete, proceeding with combine and bulletin generation
    sleep 5
    rm -f $P/U/wk$YWEEK/BPE/AWK_BPE.*
    perl prcd52u.pl $YWEEK comb 0 6
    perl reportemail.pl $YWEEK 0 6

    if [ -e "$P/U/wk${YWEEK}/OUT/HLM${YWEEK}7.LST" ]; then
        echo "High residuals found: $P/U/wk${YWEEK}/OUT/HLM${YWEEK}7.LST.
        Re-run MANUALLY."
        exit 0
    fi
    perl xtract.pl $YWEEK
    cp bolwk$YWEEK bolwk_current
    ./teoriche.sh
    cd $U/BERNEZ/fortranprog
    ./et2utmegg.sh $YWEEK
    cd $U/BERNEZ/GMT
    /bulletinmap.sh $YWEEK
    ./bullet3VENEmap.sh $YWEEK
    ./bulletNWmap.sh $YWEEK
    ./bulletCEmap.sh $YWEEK
    ./bulletSSmap.sh $YWEEK
    ./bulletSARDmap.sh $YWEEK
    cd $U/BERNEZ/perlscripts
    /usr/bin/dos2unix -n bolwk$YWEEK /tmp/bolwk$YWEEK.dos2unix
    /usr/bin/iconv --from-code=ISO-8859-1 --to-code=UTF-8 -o
    bolwk$YWEEK /tmp/bolwk$YWEEK.dos2unix

# Lista completa indirizzi mail"
./send.sh $YWEEK tmpaddr

# Pubblicazione del bollettino settimanale sul sito della rete GPS veneto
```



```

YYYY=$(today.pl -wd $YWEEK 0 -o %Y)
scp bolwk$YWEEK
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Dati/Bernese/$YYYY/bolwk$YWEEK.txt
scp $U/BERNEZ/GMT/bullettin_wk$YWEEK.pdf
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Web/Docs/bullettin_current.pdf
scp $U/BERNEZ/GMT/bullet3VENE_wk$YWEEK.pdf
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Web/Docs/bullet3VENE_current.pdf
scp $U/BERNEZ/GMT/bulletNW_wk$YWEEK.pdf
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Web/Docs/bulletNW_current.pdf
scp $U/BERNEZ/GMT/bulletCE_wk$YWEEK.pdf
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Web/Docs/bulletCE_current.pdf
scp $U/BERNEZ/GMT/bulletSS_wk$YWEEK.pdf
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Web/Docs/bulletSS_current.pdf
scp $U/BERNEZ/GMT/bulletSARD_wk$YWEEK.pdf
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Web/Docs/bulletSARD_current.pdf
scp $U/BERNEZ/scratch/utmegg$YWEEK.sum
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/Web/Docs/utmegg_current.sum

cp $P/U/wk$YWEEK/SOL/UPA${YWEEK}7.NQ0 $P/EUP/SOL/UPA${YWEEK}7.NQ0

$U/BERNEZ/perlscripts/serie.pl
cd $P/EUP/OUT
./extrneuv52 UPA1632.PLT

#aggiornamento delle coordinate nel sdr ETRF2000 sul sito della rete GPS Veneto
perl /home/gps/GPSDATA/CAMPAIGN52/EUP/SCRIPTS/IGS14toETRF2000Vels.pl
./extrvel_up52 UPA1632.OUT
$U/BERNEZ/perlscripts/gencsv.pl
$U/BERNEZ/perlscripts/velocity.sh
$U/BERNEZ/perlscripts/collectRes.pl ${YWEEK}

cp -f $P/EUP/OUT/psvelo_${YWEEK}.txt $P/EUP/OUT/psvelo_current.txt

# aggiornamento rete italiana
scp $P/U/wk$YWEEK/SOL/UPA${YWEEK}7.NQ0
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/NQ0/UPA${YWEEK}7.NQ0
scp $P/U/wk$YWEEK/SOL/UPA${YWEEK}7.SNX
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/SNX/UPA${YWEEK}7.SNX
scp $P/EUP/SOL/UPA1632.SNX
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/SOL/UPA1632.SNX
scp $P/EUP/SOL/UPA1632.NQ0
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/SOL/UPA1632.NQ0
scp $P/EUP/STA/IN_IGS14.CRD
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/STA/IN_IGS14.CRD
scp $P/EUP/STA/IN_IGS14.VEL
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/STA/IN_IGS14.VEL
scp $P/EUP/STA/UPA1632.CRD

```

```
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/STA/UPA1632.CRD
scp $P/EUP/STA/UPA1632.VEL
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/STA/UPA1632.VEL
scp $P/EUP/STA/IN_IGS14.STA
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/STA/IN_IGS14.STA
scp $P/EUP/STA/IN_IGS14.FIX
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/STA/IN_IGS14.FIX
scp $P/EUP/STA/IN_IGS14.SIG
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/STA/IN_IGS14.SIG
scp $P/EUP/OUT/UPA1632.OUT
gpsweb@147.162.229.63:/var/www/italian_network/CUMULATIVE_SOLUTION/OUT/UPA1632.OUT

# aggiornamento e scambio dati col sito dell'AIUB
rsync -va $P/EUP/OUT/*.dat* scidata@147.162.229.63:
rsync -va $P/EUP/OUT/problems scidata@147.162.229.63:
rsync -va $P/EUP/OUT/notes scidata@147.162.229.63:
rsync -va $P/EUP/OUT/psvelo* scidata@147.162.229.63:

scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_s.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_nw.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_se.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_sard.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_c.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_ne.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_vert.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_vert_ne.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_vert_se.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_vert_sard.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_vert_c.pdf scidata@147.162.229.63:
scp $U/BERNEZ/GMT/velocity_vert_nw.pdf scidata@147.162.229.63:
# Repository
OLDWEEK=$((YWEEK-6))
$U/BERNEZ/perlscripts/repository.sh $OLDWEEK D W

fi
```

A.6 Input_matlab.pl

Script realizzato per generare l'input da dare in pasto a matlab. L'output è un file nel quale i primi quattro caratteri costituiscono i nomi delle stazioni e gli altri le coordinate X Y Z. Per essere eseguito, questo perl, deve essere nella stessa cartella ove è situato il file generato col comando *grep* (confrontare sezione 5.2)

```
#sezione dedicata alla definizione delle variabili
my $file='/home/bishnu/GPSDATA/CAMPAIGN52/COORD/STA_TESI/file_grep';
my $stazione;
my $coordinate;
my $input;
my @staz_coord;

#apertura del file tramite il ciclo "while"
open(FILE1,$file) || die "ERRORE1!\n\n";
while ( $input=<FILE1> ) {

#implementazione del comando "substr" per il filtraggio
$stazione=substr($input,0,4);
$coordinate=substr($input,16,50);

#generazione di un array costituito dalle stringhe $stazione e $coordinate
@staz_coord=($stazione,$coordinate);

#stampa su terminale dell'array completo
print "@staz_coord\n";
}
close(FILE1);
```


Appendice B

Scripts e Output MatLab

B.1 *XYZ2NEU.m*

```
%Si carica il file Input_file ottenuto tramite il grep da UBUNTU
%parte in cui si crea un tabella con solo le coordiante XYZ
%e rimuovendo il contributo del grep utilizzato per trovare la posizione
%dei ricevitori

fid = fopen('Input_file_tesi.txt', 'rt');
datacell = textscan(fid, '%s%s%s%s*s%s*s*s', 'CollectOutput', true);
fclose(fid);

fid2 = fopen('Input_file_tesi.txt', 'rt');
name_station=textscan(fid2, '%4s*s*s*s*s*s*s*s*s*s', 'CollectOutput', true);
fclose(fid2);

%% file txt nel formato ECEF(X,Y,Z) delle coordinate
%controllare che l'output di questo file siano le coordinate xyz e basta
data_to_print = [datacell{1}] .';
fmt = '%13s%13s%13s\n';
% fid3 = fopen('XYZ.txt', 'wt');
% fprintf(fid3, fmt, 'X', 'Y', 'Z', data_to_print{:});
% fclose(fid3);

%% implementazione della funzione ecef2lla.m
%vengono dati come input i valori delle cordinate ECEF
%stampati dalla precedente funzione
x=str2double(data_to_print(1,:));
y=str2double(data_to_print(2,:));
z=str2double(data_to_print(3,:));

[lat,lon,alt] = ecef2lla(x,y,z)
lunghezza=length(lat(1,:))';
%% kml icon format
```

```

LineStringColor=string(repmat('cyan',[lunghezza 1]));
Icon=string(repmat('111',[lunghezza 1]));
IconColor=string(repmat('red',[lunghezza 1]));
IconHeading=string(repmat('line-180',[lunghezza 1]));
Name=string(name_station{1});
%% write an excel file
B = [Name 360/2/pi*lat(:) 360/2/pi*lon(:) alt' LineStringColor Icon...
IconColor IconHeading ];
C = {'Name','Latitude', 'Longitude','Altitude','LineStringColor','Icon',...
'IconColor','IconHeading'};

filename = 'ECEF2LLA.xlsx';
%writecell(C,filename,'Sheet','1','Range','A1');
%writematrix(B,filename,'sheet','1','Range','A2');

%% Write a Kml file
%description = sprintf('%s<br>%s</br><br>%s</br>');

iconDir = fullfile(matlabroot,'toolbox','matlab','icons');
iconFilename = fullfile(iconDir,'matlabicon.gif');

filename = 'ECEF2LLA_tesi.kml';
kmlwritepoint(filename,360/2/pi*lat(:),360/2/pi*lon(:),alt(:)','Name',Name,...
'Icon',iconFilename); %...
%'Description',description);
winopen ECEF2LLA.kml;

```

B.2 *ECEF2LLA.kml*

Descrizione per una singola icona del linguaggio implementato nel formato kml.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
  <Document>
    <name>ECEF2LLA</name>
    <Placemark>
      <Snippet maxLines="0"> </Snippet>
      <description> </description>
      <name>blgn</name>
      <Style>
        <IconStyle>
          <Icon>
            <href>D:\MATLAB\toolbox\matlab\icons\matlabicon.gif</href>
          </Icon>
        </IconStyle>
      </Style>
      <Point>
        <altitudeMode>absolute</altitudeMode>
        <coordinates>
          11.3505729546518,44.5109997058224,91.7667755149305
        </coordinates>
      </Point>
    </Placemark>
  </Document>
</kml>
```


Appendice C

Scripts implementati durante l'elaborazione dei dati GNSS

Quando l'utente lancia la procedura di elaborazione dei dati gli scripts che vengono eseguiti sono i seguenti:

`#{U}/PCF/RNX2SNXM.PCF`

PID	Script	OPT dir	Mean time in sec			Session	PID_SUB	Rerun	Error	
			CPU =	PGM +	Aux					
001	RNX2STA	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	001_000	0	0
002	STAMERGE	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	002_000	0	0
003	COOVEL	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	003_000	0	0
006	ATX2PCV	R2S_GEN	22	21	0	22	193340	006_000	0	0
031	ION_MRG	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	031_000	0	0
101	POLUPDH	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	101_000	0	0
111	ORBMRGH	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	111_000	0	0
112	PRETAB	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	112_000	0	0
113	ORBGENH	R2S_GEN	3	3	0	3	193340	113_000	0	0
199	DUMMY	NO_OPT	0	0	0	0	193340	199_000	0	0
211	RNXSMTAP	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	211_000	0	0
212	RNXSMT_H	R2S_GEN	7	6	0	11	193340	212_024	0	0
221	RXOBV3AP	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	221_000	0	0
222	RXOBV3_H	R2S_GEN	158	157	0	158	193340	222_001	0	0
231	CODSPPAP	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	231_000	0	0
232	CODSPP_P	R2S_GEN	5	5	0	7	193340	232_042	0	0
233	CODXTR	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	233_000	0	0
299	DUMMY	NO_OPT	0	0	0	0	193340	299_000	0	0
301	INIT_BSL	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	301_000	0	0
302	SNGDIF	R2S_GEN	147	146	0	151	193340	302_000	0	0
303	SNGDIF	R2S_GE2	151	150	0	157	193340	303_000	0	0
311	MAUPRPAP	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	311_000	0	0
312	MAUPRP_P	R2S_GEN	8	7	0	115	193340	312_002	0	0
313	MPRXTR	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	313_000	0	0

130 APPENDICE C. SCRIPTS IMPLEMENTATI DURANTE L'ELABORAZIONE DEI DATI GNSS

321	GPSED TAP	R2S_EDT	0	0	0	0	193340	321_000	0	0
322	GPSED T_P	R2S_EDT	38	37	1	73	193340	322_034	0	0
323	GPSXTR	R2S_EDT	0	0	0	0	193340	323_000	0	0
331	RES_SUM	R2S_GEN	6	5	0	6	193340	331_000	0	0
341	ADDNEQ2	R2S_GEN	289	289	0	289	193340	341_000	0	0
342	GPSXTR	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	342_000	0	0
399	DUMMY	NO_OPT	0	0	0	0	193340	399_000	0	0
401	SATMRK	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	401_000	0	0
411	GNSAMBAP	R2S_AMB	0	0	0	0	193340	411_000	0	0
412	GNSAMB_P	R2S_AMB	13	11	1	14	193340	412_009	0	0
421	GNSL53AP	R2S_L53	0	0	0	0	193340	421_000	0	0
422	GNSL53_P	R2S_L53	9	8	1	19	193340	422_232	0	0
431	GNSQIFAP	R2S_QIF	0	0	0	0	193340	431_000	0	0
432	GNSQIF_P	R2S_QIF	8	7	0	12	193340	432_149	0	0
441	GNSL12AP	R2S_L12	0	0	0	0	193340	441_000	0	0
442	GNSL12_P	R2S_L12	8	7	0	57	193340	442_126	0	0
443	AMBXTR	R2S_AMB	2	1	0	2	193340	443_000	0	0
499	DUMMY	NO_OPT	0	0	0	0	193340	499_000	0	0
501	GPSCLUAP	R2S_FIN	0	0	0	0	193340	501_000	0	0
502	GPSCLU_P	R2S_FIN	68	67	0	192	193340	502_003	0	0
511	ADDNEQ2	R2S_FIN	1145	1144	0	1145	193340	511_000	0	0
512	GPSXTR	R2S_FIN	0	0	0	0	193340	512_000	0	0
514	HELMCHK	R2S_FIN	0	0	0	0	193340	514_000	0	0
521	ADDNEQ2	R2S_RED	1039	1039	0	1039	193340	521_000	0	0
522	GPSXTR	R2S_RED	0	0	0	0	193340	522_000	0	0
599	DUMMY	NO_OPT	0	0	0	0	193340	599_000	0	0
991	BPE_CLN	R2S_GEN	0	0	0	0	193340	991_000	0	0
999	DUMMY	NO_OPT	0	0	0	0	193340	999_000	0	0

Appendice D

Bollettino Bernese

Viene di seguito riportata la struttura del Bollettino Bernese.

Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Geoscienze

UPA GPS Network weekly FINAL report

Velocity graph: http://147.162.229.63/scidata/velocity_s.pdf

http://147.162.229.63/scidata/velocity_vert.pdf

Velocity graph (north-east of Italy):

http://147.162.229.63/scidata/velocity_ne.pdf

http://147.162.229.63/scidata/velocity_vert_ne.pdf

Velocity graph (north-west of Italy):

http://147.162.229.63/scidata/velocity_nw.pdf

http://147.162.229.63/scidata/velocity_vert_nw.pdf

Velocity graph (centre of Italy):

http://147.162.229.63/scidata/velocity_c.pdf

http://147.162.229.63/scidata/velocity_vert_c.pdf

Velocity graph (south of Italy and Sicily):

http://147.162.229.63/scidata/velocity_se.pdf

http://147.162.229.63/scidata/velocity_vert_se.pdf

Velocity graph (Sardinia and Corsica):

http://147.162.229.63/scidata/velocity_sard.pdf

http://147.162.229.63/scidata/velocity_vert_sard.pdf

Time series: <http://147.162.229.63/scidata/>

=====

ORBIT FILES:
 COD20910.SP3
 COD20911.SP3
 COD20912.SP3
 COD20913.SP3
 COD20914.SP3
 COD20915.SP3
 COD20916.SP3

Bernese GNSS Software, Version 5.2
 Program : ADDNEQ2
 Purpose : Combine normal equation systems
 Campaign : \${P}/U/wk2091
 Phase center variations : \${X}/GEN/PCV.I14
 Earth rotation parameters : ---
 Resulting normal equations : \${P}/U/wk2091/SOL/UPA20917.NQ0
 SINEX : \${P}/U/wk2091/SOL/UPA20917.SNX

=====

INPUT NORMAL EQUATION FILES: file binari della soluzione settimanale prelevati per eseguire la combinazione settimanale

- 1 \${P}/U/wk2091/SOL/R1_200330.NQ0
- 2 \${P}/U/wk2091/SOL/R1_200340.NQ0
- 3 \${P}/U/wk2091/SOL/R1_200350.NQ0
- 4 \${P}/U/wk2091/SOL/R1_200360.NQ0
- 5 \${P}/U/wk2091/SOL/R1_200370.NQ0
- 6 \${P}/U/wk2091/SOL/R1_200380.NQ0
- 7 \${P}/U/wk2091/SOL/R1_200390.NQ0

Main characteristics of normal equation files: periodo di osservazione dei precedenti files con numero totale di osservazioni, parametri e gradi di libertà

File	From	To	Nr observations	parameters	degree of freedom
1	2020-02-02 00:00:00	2020-02-02 23:59:30	2164061	28026	2136035
2	2020-02-03 00:00:00	2020-02-03 23:59:30	1653210	24104	1629106
3	2020-02-04 00:00:00	2020-02-04 23:59:30	2190305	32698	2157607
4	2020-02-05 00:00:00	2020-02-05 23:59:30	2310021	32219	2277802
5	2020-02-06 00:00:00	2020-02-06 23:59:30	2227984	30641	2197343
6	2020-02-07 00:00:00	2020-02-07 23:59:30	2100852	27825	2073027
7	2020-02-08 00:00:00	2020-02-08 23:59:30	2199836	28373	2171463

Total 2020-02-02 00:00:00 2020-02-08 23:59:30 14846269

Helmert Transformation Parameters With Respect to Combined Solution:

Sol	Rms (m)	X	Y	Z	X	Y	Z	Scale (ppm)
1	0.00236	0.0142	0.0087	-0.0108	-0.0002	0.0006	0.0002	-0.00068
2	0.00318	0.0213	-0.0205	-0.0116	0.0004	0.0007	-0.0006	-0.00050
3	0.00402	0.0529	-0.0146	-0.0257	0.0001	0.0017	-0.0007	-0.00265
4	0.00403	-0.0662	0.0437	0.0813	-0.0008	-0.0034	0.0012	-0.00271
5	0.00283	-0.0557	0.0518	0.0454	-0.0008	-0.0023	0.0016	-0.00002
6	0.00226	-0.0402	0.0286	0.0290	-0.0005	-0.0016	0.0009	0.00057
7	0.00317	-0.0503	0.0145	0.0474	-0.0002	-0.0022	0.0005	-0.00006

=====
 COMPARISON OF STATION COORDINATES WITH RESPECT TO THE COMBINED SOLUTION IN MM
 - UNWEIGHTED RMS OF INDIVIDUAL COORDINATE RESIDUALS

	RMS	1	2	3	4	5	6	7
BLGN 00000M000 N	0.76	-0.43	-0.02	1.38	-0.19	0.95	-0.60	-0.32
BLGN 00000M000 E	1.15	-1.09	1.38	0.60	-1.49	-0.93	-0.75	-0.92
BLGN 00000M000 U	.76	-0.37	-1.65	-6.08	-1.00	-0.53	0.47	-2.06

=====
 COORDINATES (ETRS89): WK 2091 ; MINIMALLY CONSTRAINED STATIONS ARE MARKED WITH W
 =====

	X (m)	Y (m)	Z (m)	
BLGN 00000M000	4466811.12559	896657.47859	4448825.07167	A

=====
 MISSING STATIONS

=====
 Lista di stazioni
 =====

=====
 Prof. Alessandro Caporali
 Università di Padova
 Dipartimento di Geoscienze
 Via Gradenigo 6
 I-35131 Padova Italy

Bibliografia

- [1] A. Caporali, Posizionamento e determinazione orbitale, Cleup, 2019
- [2] Rolf Dach, Simon Lutz, Peter Walser, Pierre Fridez, Bernese GNSS Software Version 5.2, AIUB, 2015
- [3] Matt King, Stuart Edwards, Peter Clarke, Precise Point Positioning: Breaking the Monopoly of Relative GPS Processing, 2002
- [4] A. Caporali, M. Bertocco, L. Nicolini, N. Praticelli, J. Zurutuza, Relazione sullo stato della Rete GPS della Regione Veneto, 2019
- [5] A. Stoppini, Slide della "Presentazione al Convegno Nazionale SIFET", Giugno 2009
- [6] Appunti del corso "Satellite Navigation" tenuto dal prof. A. Caporali
- [7] Appunti del corso "Controllo d'Assetto dei Satelliti" tenuto dal prof. A. Francesconi
- [8] Appunti del corso "Strumentazione Aerospaziale" tenuto dal prof. E. Lorenzoni
- [9] Gaio Renè, Tesi magistrale: Navigazione Integrata con le costellazioni GPS e Galileo, Università degli Studi di Padova, 2016
- [10] Carlotta Morini, Tesi di Dottorato: Streaming di dati GNSS via internet e relative applicazioni, Università degli Studi di Padova, 2007
- [11] Werner Gurtner, Lou Estey, RINEX The Receiver Independent Exchange Format Version 3.04, November 2018
- [12] Werner Gurtner, RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.11, AIUB 2007
- [13] Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri - Misure, rilievo, progetto, Zanichelli 2018
- [14] Marco Liverani, Introduzione al Perl, Settembre 1996
- [15] Stefan Schaer, Gerhard Beutler, Markus Rothach, MAPPING AND PREDICTING THE IONOSPHERE, AIUB 1998
- [16] Fausto Sacerdote, Introduzione al GPS, 2005
- [17] <https://gnss-metadata.eu>
- [18] <http://147.162.229.63/Web/index.php>

- [19] <http://www.ingv.it/it/>
- [20] <http://en.beidou.gov.cn>
- [21] <https://gssc.esa.int/navipedia>
- [22] <http://www.netgeo.it/>
- [23] <https://www.stonex.it/it/>
- [24] <https://www.nasa.gov/>