

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DÌ BOLOGNA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Corso di Laurea in Ingegneria Edile

CALCOLO DELLE COORDINATE DELLE STAZIONI GNSS
ITALIANE IN ANTARTIDE E VALUTAZIONE DEI RISULTATI.

Tesi di Laurea in Topografia e Fotogrammetria t

Relatore

Prof. Antonio Zanutta

Correlatore

Dr. Leonardo Martelli

Presentata da

Vito Moretto

Sessione II A. A. 2015/2016

INDICE

	pag.
INTRODUZIONE	6
CAPITOLO 1 SISTEMA SATELLITARE GLOBALE DÌ NAVIGAZIONE (GNSS)	
1.1 Le componenti di un sistema GNSS	8
<i>1.1.1 Segmento spaziale</i>	8
<i>1.1.2 Segmento di controllo</i>	9
<i>1.1.3 Segmento di utilizzo</i>	9
1.2 Struttura del segnale	10
<i>1.2.1 Modulazione del segnale</i>	11
1.3 Principi di posizionamento	11
<i>1.3.1 Posizionamento Relativo</i>	12
1.4 GNSS e le reti di Stazioni permanenti e Sistemi di riferimento satellitari	16
<i>1.4.1 Definizione del datum nella geodesia satellitare</i>	17
<i>1.4.2 Reti dinamiche o attive</i>	18
<i>1.4.3 Reti statiche o passive</i>	18
<i>1.4.4 Datum satellitari più utilizzati</i>	18
<i>1.4.4.a Datum WGS84</i>	18
<i>1.4.4.b Datum ITRS</i>	22
<i>1.4.4.c Datum ETRS</i>	23
<i>1.4.4.d Considerazioni conclusive sui datum geodetici</i>	24

CAPITOLO 2 LA RICERCA ITALIANA IN ANTARTIDE

2.1	Antartide	27
2.2	Programma Nazionale di Ricerche in Antartide	27
2.2.1	<i>I risultati scientifici del Programma Nazionale</i>	29
2.3	Basi italiane in Antartide	32
2.3.1	<i>Stazione Mario Zucchelli</i>	32
2.3.2	<i>Stazione Dome Concordia</i>	33

CAPITOLO 3 OSSERVATORIO GEODETICO ITALIANO

3.1	Descrizione	36
3.2	Struttura	36
3.2.1	<i>Stazioni TNB1 e TNB2</i>	36
3.2.2	<i>Stazioni permanenti VL01, VL12 e VL30</i>	37
3.2.3	<i>Stazioni permanenti GNSS INXP e LRSN</i>	38

CAPITOLO 4 CASO DÌ STUDIO

4.1	Descrizione delle stazioni oggetto di calcolo	41
4.2	Procedure di calcolo	45
4.2.1	<i>Software commerciale: TRIMBLE TOTAL CONTROL</i>	45
4.2.2	<i>Software scientifico: BERNESE v5.2</i>	49
4.3	Valutazione della ripetibilità e accuratezza delle misure	51
4.3.1	<i>Stazione IGS MCM4</i>	52

<i>4.3.2 Stazione IGS DUM1</i>	55
<i>4.3.3 Stazione permanente italiana DCRU (Dome Concordia)</i>	58
<i>4.3.4 Stazione permanente italiana TNB1 (Mario Zucchelli Station)</i>	61
CONCLUSIONI	65
BIBLIOGRAFIA	66

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

WGS84:	World Geodetic System 1984.
ITRFYY:	International Terrestrial Reference Frame YY.
GNSS:	Global Navigation Satellite System.
GPS:	Global Positioning System.
GLONASS:	Global Positioning System.
ETRS:	European Terrestrial Reference System.
PNRA:	Progetto Nazionale di Ricerca in Antrtide.
CNR:	Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Introduzione

L'Antartide è un continente disabitato, inospitale ricoperto da ghiacci e difficilmente raggiungibile. Per queste ragioni è ancora largamente inesplorato e potenzialmente luogo nel quale sviluppare la ricerca scientifica di base. A conferma di ciò, come vedremo durante lo sviluppo della tesi, nel 1985 è stato fondato il PNRA, un programma di ricerca che include diversi studi tra i quali: Scienze della Terra, Fisica dell'Atmosfera, Cosmologia, Biologia e Medicina, Oceanografia, Scienze Ambientali, Tecnologia. Inoltre nelle seguenti tesi viene analizzato l'osservatorio geodetico italiano, costituito da una fitta rete di stazioni permanenti e semi-permanenti volte al monitoraggio e allo studio della neo-tettonica Antartica. Per quanto concerne la parte sperimentale, con diversi software risolviamo una rete di stazioni GNSS, stimiamo le coordinate giornaliere e valutiamo la ripetibilità e l'accuratezza delle soluzioni.

La tesi, di carattere sperimentale, è strutturata nel seguente modo:

Cap. 1 Sistema satellitare globale di navigazione

Cap. 2 La ricerca italiana in Antartide

Cap. 3 L'osservatorio geodetico italiano

Cap.4 Caso di studio

L'obiettivo della seguenti tesi quindi è quello di andare a descrivere delle applicazioni topografiche sia teoriche che pratiche in Antartide e in particolare sperimentare delle procedure di calcolo differenti, volte alla determinazione delle coordinate tridimensionali giornaliere delle stazioni GNSS italiane.

CAPITOLO 1 SISTEMA SATELLITARE GLOBALE DI NAVIGAZIONE (GNSS)

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) è l'acronimo generico che definisce i sistemi di posizionamento globali basati su costellazione di satelliti. Allo stato attuale i sistemi GNSS che interessano Italia ed Europa sono: GPS (*Global Positioning System*, Stati Uniti) pienamente operativo dal 1995, GLONASS (*Global Navigation Satellite System*, Russia) e GALILEO (comunità europea) operativo dal 2013.

1.1 Le componenti di un sistema GNSS

Qualsiasi sistema satellitare comprende tre componenti principali o segmenti: segmento spaziale, segmento di controllo e il segmento di utilizzo descritti in seguito.

1.1.1 Segmento spaziale

La componente spaziale è rappresentata dalla costellazione di satelliti. Ogni satellite invia verso la terra via radio dei segnali che contengono essenzialmente informazioni di tempo e posizione oltre allo stato di operatività del satellite. In particolare, per il sistema GPS la costellazione è costituita da 24 satelliti disposti su sei piani orbitali, i quali sono spazati in longitudine di 60° e inclinati di 55° rispetto al piano equatoriale. Le orbite sono quasi circolari, con raggio di circa 26500 km. Il periodo orbitale è di circa 1 ora e 58 minuti. La costellazione così strutturata permette di visualizzare 4÷8 satelliti da ogni punto della superficie terrestre ad un angolo di elevazione di 15° .

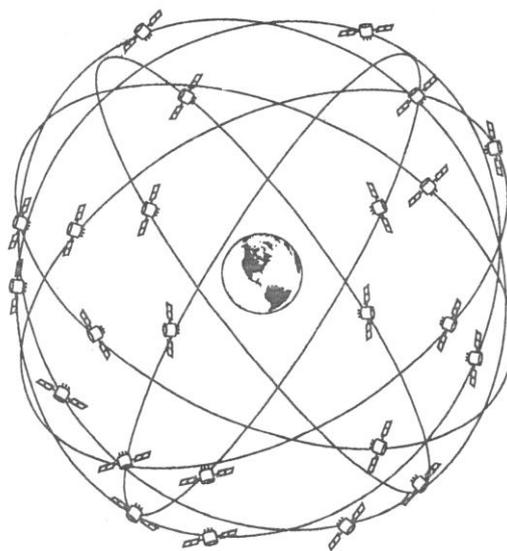


Figura 1 - Componente spaziale: costellazione di satelliti.

1.1.2 Segmento di controllo

La componente di controllo è rappresentata dall'insieme delle stazioni a terra e delle centrali operative le quali hanno il compito di monitorare la costellazione satellitare in modo da controllare le effemeridi (coordinate del satellite lungo la sua orbita) e predire le orbite con maggiore precisione. I dati satellitari raccolti dalle stazioni di controllo nell'ultima settimana vengono elaborati in modo da determinare: una prima stima della traiettoria che i satelliti seguiranno la settimana successiva. Queste traiettorie di ultima determinazione sono le effemeridi di riferimento, alle quali è associata una precisione nell'ordine di 50 metri. Successivamente viene eseguito un confronto tra i dati raccolti nelle ultime 12÷24 ore e le effemeridi di riferimento. Questo consente un ulteriore ricalcolo ottenendo così le effemeridi predette (*broadcast*) che sono inviate al satellite che a sua volta le invierà agli utilizzatori attraverso un segnale a bassa frequenza. Per calcoli di maggiore precisione è possibile utilizzare le effemeridi precise, disponibili con un ritardo di circa 150 giorni. Queste ultime hanno una accuratezza di 3÷5 cm.

1.1.3 Segmento di utilizzo

Tale segmento è costituito da tutti gli utenti equipaggiati di un ricevitore GNSS in grado di ricevere i segnali provenienti dal satellite per ottenere il posizionamento 3d in tempo reale (*broadcast*) o differito (effemeridi precise).

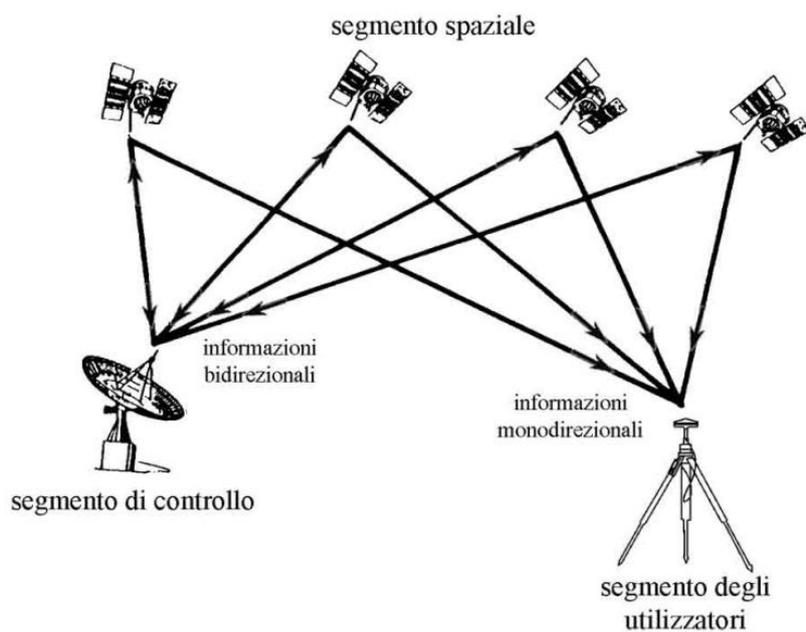


Figura 2 - schema di funzionamento GPS

1.2 Struttura del segnale

Il segnale di tutti i sistemi GNSS, pur con alcune varianti, è caratterizzato da tre componenti: portanti, codici e messaggio di navigazione. Le tre componenti derivano dalla frequenza fondamentale $f_0=10,23\text{MHz}$ ($\lambda\sim 30\text{m}$), propria dell'oscillatore atomico dei satelliti. Le portanti hanno forma sinusoidale con frequenza maggiore di 1000 MHz, tra queste riconosciamo: L1 ($f_1=154 f_0 = 1575,42 \text{ MHz}$, $\lambda\sim 19\text{cm}$) e L2 ($f_2 = 120 f_0 = 1227,60 \text{ MHz}$, $\lambda\sim 24\text{cm}$). I codici corrispondono ad un'onda quadrata a frequenza molto più bassa, assumono valori +1 e -1 generati da un algoritmo che si ripete periodicamente nel tempo, per tale motivo sono chiamati PNR (*Pseudo Random Noise*), tra questi riconosciamo il codice C/A (*Course Acquisition*) con frequenza $f_{C/A}=0,1 f_0$, il quale ha la caratteristica di modulare solo la portante L1, è disponibile per l'utenza civile, si ripete ogni millisecondo e fornisce l'identificativo del satellite. Altro codice è P (*Precise*) con frequenza $f_p=f_0$ riservato all'uso militare, si ripete ogni settimana ed è capace di modulare entrambe le portanti. Infine il codice W, utilizzato dal Dipartimento della Difesa degli U.S.A, è utilizzato per criptare il codice P in maniera da renderlo accessibile solo agli utenti autorizzati. Il messaggio di navigazione D (*Data*) è una sequenza binaria a frequenza molto bassa $f_D = f_0/204800 = 50\text{Hz}$, contiene dati come: parametri di correzione degli orologi, effemeridi predette, almanacco e stato di salute dei satelliti e precisione delle effemeridi. È in atto una modernizzazione del sistema per cui i satelliti di nuova generazione avranno un nuovo codice (L2C) modulato su L2 ed un'ulteriore portante L5 ad una frequenza $f_p = 115f_0 = 1176,45 \text{ MHz}$.

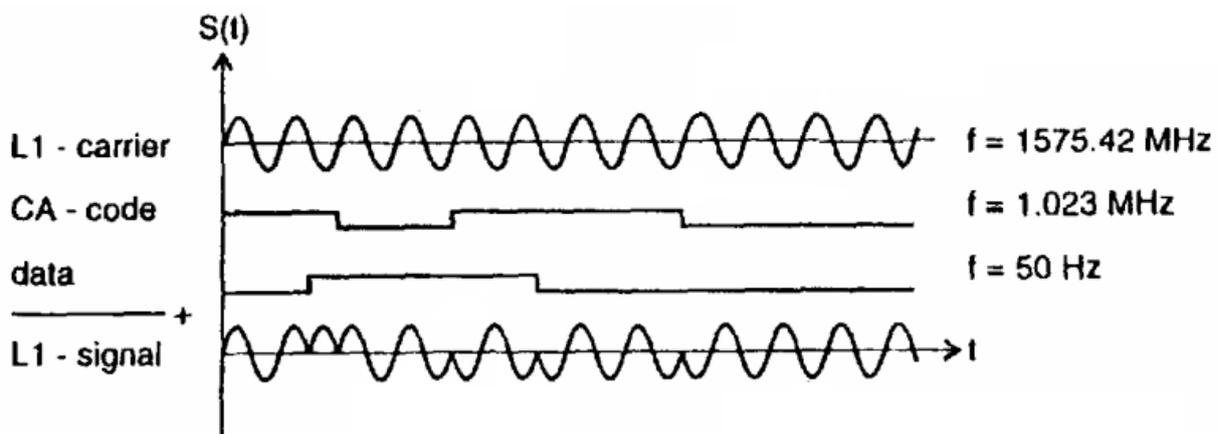


Figura 3 - Esempio di struttura del segnale GNSS

1.2.1 Modulazione del segnale

I codici sono "trasportati" dalle portanti L1 e L2 grazie alla tecnica della modulazione delle proprietà dell'onda (ampiezza, frequenza e fase). Nei GNSS la fase della portante viene modificata in base allo stato binario dei codici, tale tecnica viene chiamata *modulazione binaria di fase* BPSK (*Binary Phase Shift Key*). BPSK è sintetizzata dalla regola che ogni transizione di codice (da -1 a +1) provoca una variazione nella fase della portante di π .

1.3 Principi di posizionamento

La determinazione avviene utilizzando la trilaterazione ovvero con tre distanze da punti noti si può determinare il punto incognito. Nel nostro caso conoscendo la distanza da tre punti noti (satelliti che trasmettono le coordinate della loro posizione istantanea) si riesce a determinare la posizione del punto incognito (ricevitore) come visibile dall'immagine 4b, dove per semplificazione sono riportate le figure sul piano, in realtà si ha l'intersezione tra tre sfere con raggio uguale alla distanza tra satellite e ricevitore come visibile dall'immagine 4a e quindi la distanza R1 individua la posizione del ricevitore sulla superficie della sfera centrata sul satellite S1. La distanza R2 determina un'intersezione con la prima sfera ed individua un cerchio e il ricevitore si troverà su quest'ultimo. La distanza R3 interseca le altre sfere individuando sul cerchio due punti, dei due punti si considera il più vicino alla superficie della terra oppure quello con raggio orbitale più prossimo a quello dei satelliti GPS oppure quello compatibile con una stima approssimata (eventualmente disponibile) della posizione del ricevitore.

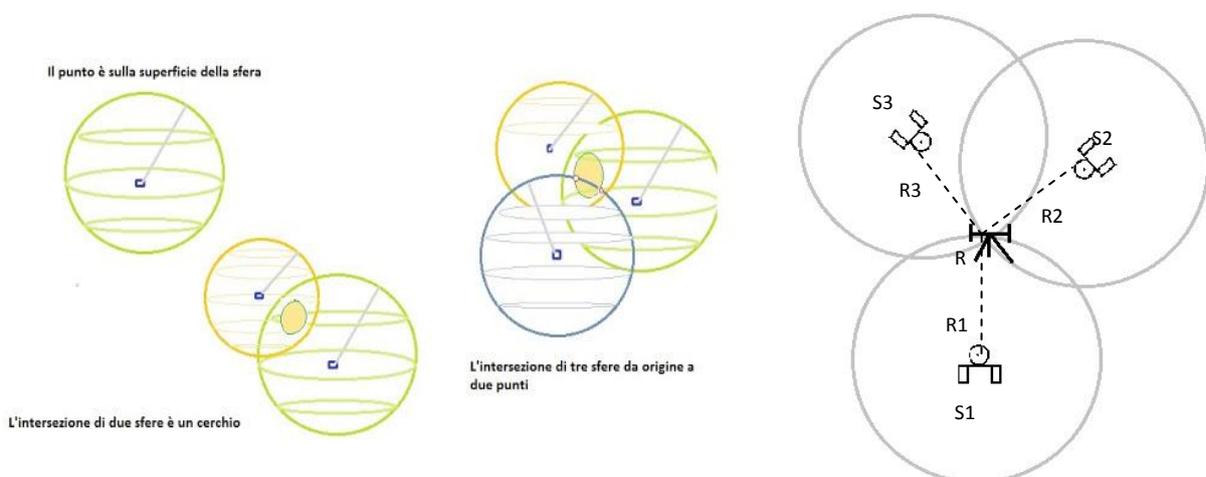


Figure 4a e 4b - Rappresentazione schematica del principio di posizionamento

Il segnale che arriva al ricevitore viene demodulato per separare i codici dalla fase. La demodulazione avviene confrontando il segnale del satellite con una replica

generata dal ricevitore, questi non saranno mai immediatamente sincronizzati perché il segnale avrà percorso una certa distanza ma può dipendere anche da errori di sincronizzazione degli orologi coinvolti, per questo motivo sono necessari dati da almeno quattro satelliti per ottenere le equazioni sufficienti a determinare la posizione in una sola epoca.

1.3.1 Posizionamento Relativo

Nel posizionamento relativo l'elemento alla base del calcolo delle coordinate di un punto è il *vettore baseline* che unisce due punti su cui si è fatta stazione. Il vettore baseline è orientato nel sistema di riferimento cartesiano adottato per il posizionamento satellitare. Se B è il punto di coordinate note e b_{BA} il vettore baseline, la relazione può essere espressa come:

$$b_{BA} = \begin{pmatrix} X_A - X_B \\ Y_A - Y_B \\ Z_A - Z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X_{BA} \\ \Delta Y_{BA} \\ \Delta Z_{BA} \end{pmatrix}$$

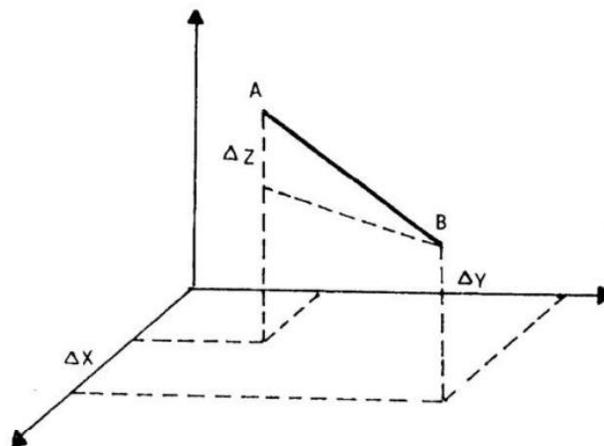


Figura 5 - misura della base A-B

Singole differenze

Se due ricevitori A e B acquisiscono dati contemporaneamente dal satellite j, è possibile utilizzare le equazioni alle osservabili per costruire delle particolari combinazioni chiamate differenze singole (*“single difference”*, SD). Le equazioni alle fasi in modalità range (distanza) trascurando gli effetti atmosferici e gli errori di osservazione sono:

$$L_A^j(t) = \rho_A^j(t) + c(\sigma_A(t) - \sigma^j(t)) + \lambda N_A^j \quad \text{a)}$$

$$L_B^j(t) = \rho_B^j(t) + c(\sigma_B(t) - \sigma^j(t)) + \lambda N_B^j \quad \text{b)}$$

dove

$\rho_P^j(t)$: distanza geometrica tra satellite e ricevitore.

c : velocità di propagazione della luce.

$\sigma_P(t)$, $\sigma^j(t)$: errore nella misura del tempo dell'orologio del ricevitore e del satellite all'istante t considerato.

λ : la lunghezza d'onda nominale, definita come $\lambda = c/f_0$, con f_0 frequenza nominale.

N_P^j : ambiguità iniziale di fase, ovvero numero di lunghezze d'onda intere relativo al momento di inizio delle osservazioni . Tale numero è diverso per ogni portante di ogni satellite , ma costante fino a quando la ricezione rimane continua.

$$L_A^j(t) - L_B^j(t) = \rho_A^j(t) - \rho_B^j(t) + c(\sigma_A(t) - \sigma_B(t)) + \lambda(N_A^j - N_B^j) \quad \text{c)}$$

$$(1) \quad L_{AB}^j(t) = \rho_{AB}^j(t) + c\sigma_{AB}(t) + \lambda N_{AB}^j \quad \text{d)}$$

La formazione della singola differenza porta all'eliminazione dell'errore di asincronismo dell'orologio del satellite $\sigma^j(t)$.

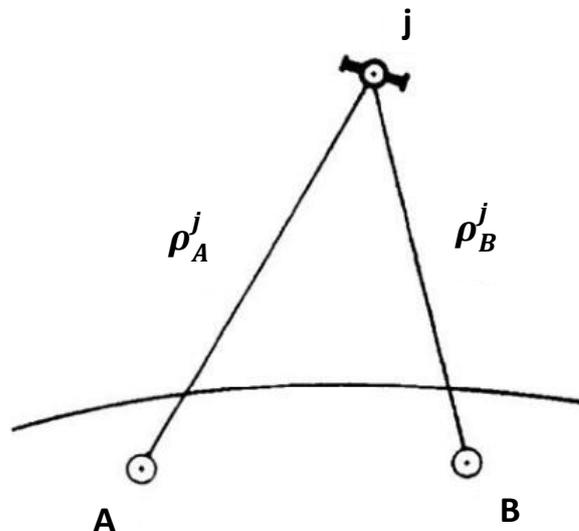


Figura 6 - differenza singola

Doppie differenze

Se dalle due stazioni a terra vengono ricevuti contemporaneamente due satelliti j e k è possibile scrivere due equazioni del tipo (1) riferite ai due satelliti (figura 7)

$$L_{AB}^j(t) = \rho_{AB}^j(t) + c\sigma_{AB}(t) + \lambda N_{AB}^j \quad \text{e)}$$

$$L_{AB}^k(t) = \rho_{AB}^k(t) + c\sigma_{AB}(t) + \lambda N_{AB}^k \quad \text{f)}$$

Le doppie differenze (definita DIFFERENZA DOPPIA o “double difference”, DD) sono le differenze tra due singole differenze formate rispetto i due satelliti.

$$L_{AB}^j(t) - L_{AB}^k(t) = \rho_{AB}^j(t) - \rho_{AB}^k(t) + \lambda(N_{AB}^j - N_{AB}^k) \quad \text{g)}$$

$$(2) L_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk} \quad \text{h)}$$

L'osservabile doppia differenza porta all'eliminazione dell'errore di asincronismo dell'orologio dei ricevitori $\sigma_{AB}(t)$.

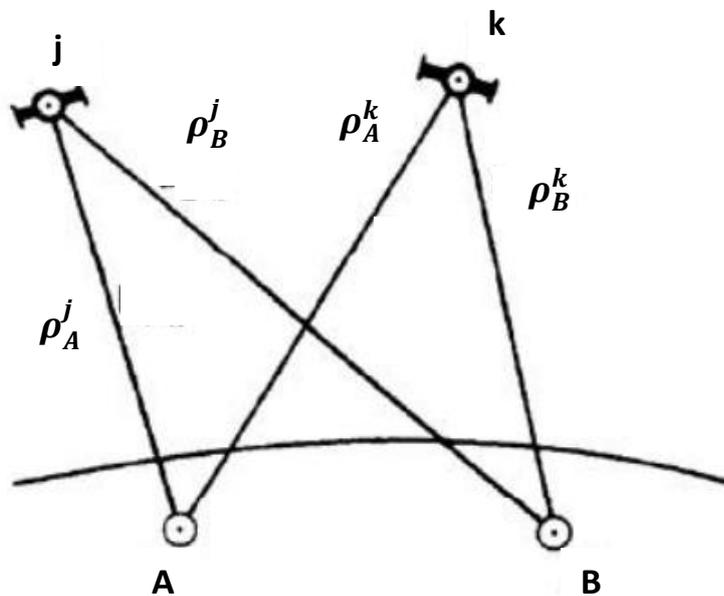


Figura 7 - doppia differenza

Triple differenze

I due ricevitori A e B acquisiscono dati contemporaneamente dai satelliti j e k. Le triple differenze sono le differenze tra due doppie differenze del tipo (2) determinate in due epoche differenti t_1 e t_2 , tra le quali non vi è mai perdita del segnale per cui le ambiguità rimangono costanti.

$$L_{AB}^{jk}(t_1) = \rho_{AB}^{jk}(t_1) + \lambda N_{AB}^{jk} \quad \text{i)}$$

$$L_{AB}^{jk}(t_2) = \rho_{AB}^{jk}(t_2) + \lambda N_{AB}^{jk} \quad \text{l)}$$

$$L_{AB}^{jk}(t_2) - L_{AB}^{jk}(t_1) = \rho_{AB}^{jk}(t_2) - \rho_{AB}^{jk}(t_1) \quad \text{m)}$$

La formazione della tripla differenza porta all'eliminazione dell'ambiguità di fase N_{AB}^{jk} . Le triple differenze sono fortemente utilizzate per individuare il *cycle slip* (dovuti all'interruzione del segnale).

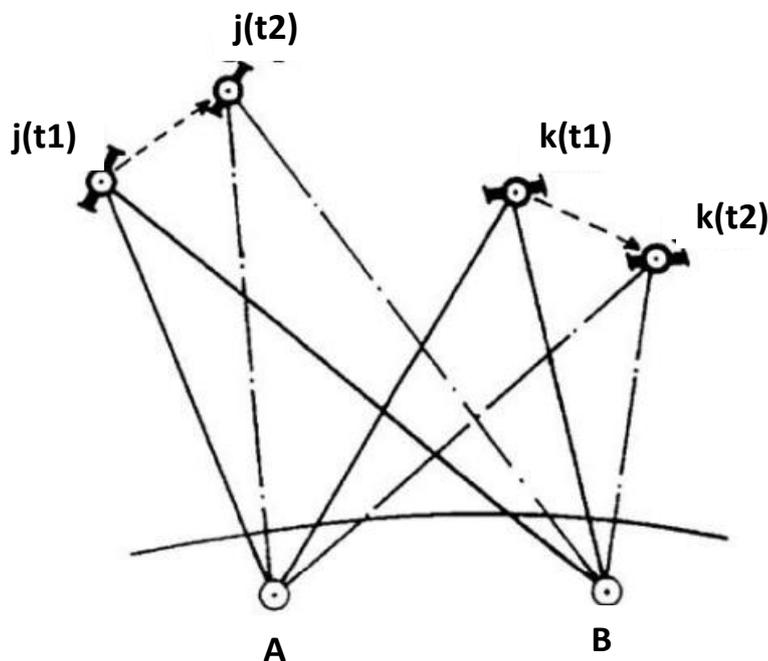


Figura 8 - tripla differenza

1.4 GNSS reti di Stazioni permanenti e Sistemi di riferimento satellitari

Si definisce datum geodetico, o semplicemente datum, un sistema di riferimento che permette di esprimere in termini numerici la posizione di punti della superficie fisica della Terra o prossimi ad essa. L'operazione con cui si esprime la posizione di un punto o di un oggetto qualsiasi, mediante opportune coordinate in un assegnato datum, prende il nome di georeferenziazione. È possibile definire un datum geodetico in diversi modi. La definizione ha sempre carattere convenzionale e nella pratica si ottiene mediante un insieme di punti materializzati sulla superficie terrestre ai quali vengono attribuiti determinati valori delle coordinate. Tale operazione viene detta realizzazione del datum.

Per le applicazioni geodetiche e cartografiche, compreso l'utilizzo del GPS, si impiegano sistemi di riferimento solidali con la Terra (*Earth-Fixed*). In un sistema di questo tipo, le coordinate dei punti della superficie terrestre "non variano" nel tempo. In realtà, le coordinate variano nel tempo, per effetto delle deformazioni della crosta terrestre - deriva dei continenti, fenomeni sismici, ecc. - ma lo fanno molto lentamente. La Terra ha un moto non rettilineo ed uniforme, quindi un sistema *Earth-Fixed* non è inerziale. In altre applicazioni, come l'astronomia o lo studio del moto dei satelliti, si utilizzano invece sistemi inerziali, in cui la Terra risulta essere in movimento. Un sistema di questo tipo non sarebbe utilizzabile per la Topografia perché le coordinate dei punti cambierebbero ad altissima velocità.

La definizione di datum geodetico, come vedremo tra poco, è tridimensionale. Nella *geodesia moderna*, basata sui satelliti, il datum viene utilizzato in modo tridimensionale, mediante le coordinate geocentriche o le coordinate geografiche associate alla quota ellissoidica. Nella geodesia classica i datum venivano impiegati solo per la planimetria, perché l'altimetria veniva trattata a parte. Si parla in questo caso di horizontal datum. L'altimetria espressa mediante le quote ortometriche (o geoidiche) richiede la definizione di un datum a parte (vertical datum) basato su uno zero di riferimento (mareografo) e una rete di livellazione, a cui va poi associato un modello di geoide.

1.4.1 Definizione del datum nella geodesia satellitare

La geodesia moderna è essenzialmente una geodesia satellitare, nella quale la determinazione della posizione di punti della Terra (posizionamento) viene eseguita per mezzo di misure operate da satelliti in orbita attorno ad essa.

Nella geodesia satellitare è indispensabile ragionare ed eseguire calcoli su scala globale. Si utilizzano pertanto datum geodetici di tipo globale, validi per tutto il mondo, a differenza di quelli della geodesia classica, che avevano validità locale, anche se a volte per zone molto grandi.

La definizione di un datum globale non è più basata su una superficie di riferimento ma si limita a individuare una terna di assi cartesiani OXYZ geocentrica, avente l'origine coincidente con il centro di massa della Terra e solidale alla Terra, cioè tale da seguirla rigidamente nel suo moto: per questo, i sistemi geocentrici vengono anche denominati ECEF (*Earth Centered, Earth Fixed*). L'asse Z coincide con l'asse polare (asse di rotazione medio della Terra); gli assi X ed Y giacciono sul piano equatoriale, con l'asse X diretto secondo il meridiano fondamentale λ (*Greenwich*) e Y diretto in modo da completare una terna destrorsa (Figura 9).

Per analogia con i sistemi classici e per rendere più agevole la georeferenziazione di punti mediante le classiche coordinate geografiche, molto più comode e intuitive di quelle cartesiane geocentriche, alla terna cartesiana viene associato un ellissoide geocentrico, avente il centro coincidente con quello della terna stessa ed assi orientati secondo le direzioni XYZ (si veda ancora nell'immagine 9).

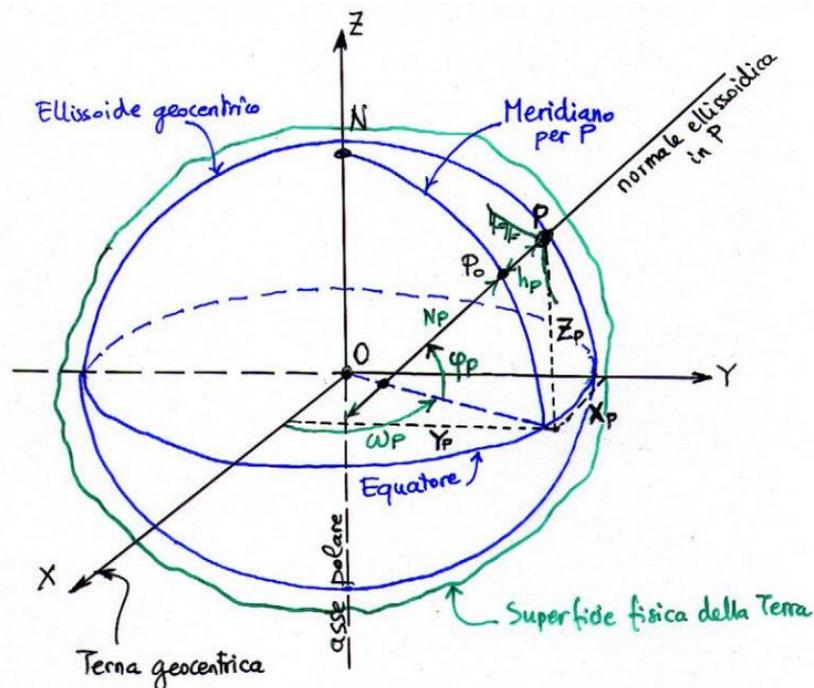


Figura 9 - terna geocentrica, coordinate geocentriche, ellissoide geocentrico

Ai datum globali va associata una rete geodetica: data la globalità del datum si tratta di reti internazionali, integrate poi da reti di raffittimento a livello nazionale o locale che diffondono il datum sul territorio mettendolo a disposizione di tutti gli utenti. Va precisato che le reti geodetiche attuali si distinguono in due categorie: reti dinamiche e reti statiche.

1.4.2 Reti dinamiche

Sono composte da stazioni permanenti, dotate di un ricevitore GNSS attivo 24 ore su 24; le singole stazioni sono collegate a un centro di controllo che archivia e distribuisce i dati acquisiti dalle stazioni e spesso fornisce servizi di posizionamento agli utenti. Per queste reti è possibile elaborare soluzioni in continuo, o comunque a intervalli di tempo brevi (ad es. soluzioni giornaliere, settimanali, ...): le coordinate che si ottengono variano nel tempo, a causa delle deformazioni della crosta terrestre. Ogni soluzione di una rete dinamica comprende quindi coordinate e velocità stimate a una certa data per i punti della rete.

1.4.3 Reti statiche

Sono reti geodetiche simili a quelle tradizionali, costituite da punti materializzati sul terreno o su manufatti e privi di strumentazione. Il rilievo di queste reti richiede l'effettuazione di una campagna di misure: i tecnici vanno a occupare i punti della rete con ricevitori GNSS, per la sola durata necessaria alle misure. Tra una misura e la successiva passano spesso diversi anni, per cui ogni soluzione della rete, costituita dalle sole coordinate dei vertici, si considera valida per anni. In questo lasso di tempo, l'effetto delle deformazioni della crosta terrestre viene trascurato, cosa che di solito è lecita per la maggior parte delle applicazioni a carattere tecnico, nelle quali più che la posizione assoluta interessa la posizione relativa tra i punti della rete, che varia poco nel tempo.

1.4.4 Datum satellitari

1.4.4.a Datum WGS84

Il datum globale più noto e utilizzato attualmente è quello su cui si basa il sistema satellitare GPS: datum WGS84 (WGS = World Geodetic System 1984, sistema geodetico mondiale).

Nel sistema WGS84 i parametri dell'ellissoide sono i seguenti:

$$\alpha = 1/298.2572221 \quad a = 6378137 \text{ m}$$

La definizione di questo datum è stata già data nel paragrafo precedente: terna geocentrica convenzionale, ellissoide WGS84 con orientamento geocentrico. Tra i datum della geodesia satellitare è stato il primo a conoscere un utilizzo di massa, essendo impiegato per il GPS che ha una larga diffusione. E' tuttora il più utilizzato dai tecnici di tutto il mondo, nei sistemi di navigazione e nella maggior parte della cartografia di recente produzione. La realizzazione del datum WGS84 è abbastanza complessa: innanzitutto il gestore del sistema GPS (Ministero della Difesa USA) dispone di una rete di Stazioni di Tracking, che si trovano lungo la fascia equatoriale della Terra, dove i satelliti GPS raggiungono le massime altezze sull'orizzonte per cui restano visibili per molte ore. Le stazioni di tracking "tracciano" i satelliti GPS, cioè ne determinano le orbite in continuo, permettendo di calcolare una previsione del tracciato delle orbite successive. Queste orbite previste vengono poi trasmesse dagli stessi satelliti agli utilizzatori, che riescono così a determinare in tempo reale la posizione di ogni satellite. Le applicazioni navigazionali di base del GPS (ad es. i navigatori satellitari delle auto) o rilievi speditivi di accuratezza modesta (qualche metro) vengono effettuate con le sole broadcast ephemerides, eseguendo posizionamenti assoluti nel datum WGS84, e non richiedono altri punti a terra oltre alle citate stazioni di tracking. Le applicazioni geodetico-topografiche del GPS richiedono una accuratezza molto maggiore (fino a valori subcentimetrici). In Europa, il datum WGS84 si può considerare, ai fini pratici, coincidente con la realizzazione ETRF89 del datum europeo ETRS (paragrafo 1.N.4.c). ETRF89 è una soluzione, alla data 1 gennaio 1989, della rete europea dell'EUREF (ente che riunisce i servizi geodetici di tutti gli stati d'Europa). La rete dell'EUREF (immagine 10) è una rete dinamica o attiva, composta da stazioni permanenti GNSS; viene per questo denominata EPN (*EUREF Permanent Network*).

EUREF Permanent Tracking Network



Figura 10 - La rete europea EPN (EUREF Permanent Network)

Le stazioni della rete EPN che ricadono sul territorio di una singola nazione sono poche (in Italia una ventina circa, con densità particolarmente bassa a sud di Roma), insufficienti per le applicazioni geodetico-topografiche correnti. È quindi necessario, a livello nazionale e locale, operare un raffittimento della rete EPN.

Verso la metà degli anni 1990 l'IGM ha istituito a questo scopo la Rete IGM95 (immagine 11). Si tratta di una rete statica o passiva, composta in origine da circa 1200 vertici distribuiti uniformemente su tutto il territorio italiano, collegata alla rete europea EPN, che all'epoca comprendeva molte stazioni in meno rispetto all'immagine 10. IGM95 costituisce la prima realizzazione ufficiale italiana del datum WGS84. La rete IGM95 è stata poi ulteriormente raffittita da reti statiche locali ad opera di molte Regioni (immagine 12), e in parte anche del Catasto. Le coordinate delle reti statiche come IGM95 si considerano costanti nel tempo per lunghi periodi, dell'ordine di diversi anni, trascurando l'effetto delle deformazioni della crosta terrestre. Quando i movimenti accumulati nel corso del tempo raggiungono entità che non sono più trascurabili, si procede a un aggiornamento delle coordinate. Nel 2008 è stato reso disponibile, presso l'IGM, l'aggiornamento delle coordinate IGM95 alla realizzazione ETRF2000 del datum europeo. Le coordinate aggiornate sono più

accurate delle precedenti, ma non sono ancora entrate nell'uso comune, poiché la cartografia anche recentissima è georeferenziata in ETRF89.

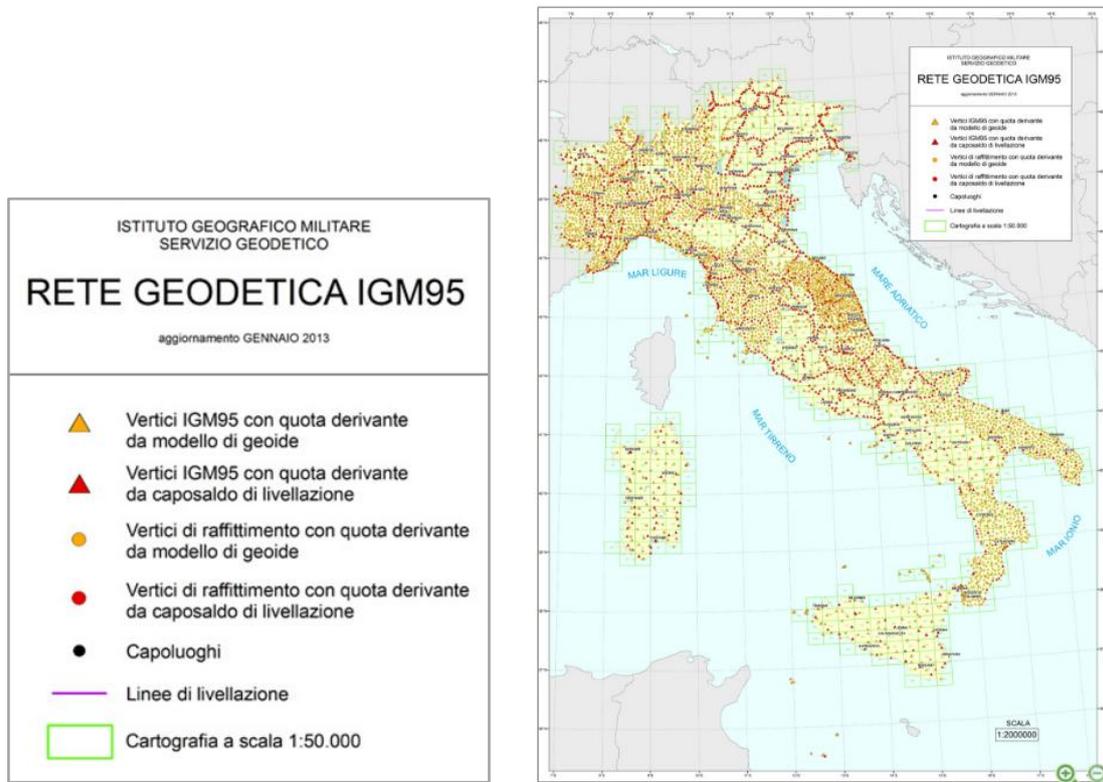


Figura11 - La rete IGM95, attuale rete geodetica fondamentale italiana. La figura (tratta dal sito web dell'IGM) riporta oltre alla rete originaria anche alcuni raffittimenti regionali che l'IGM ha acquisito nel proprio database.

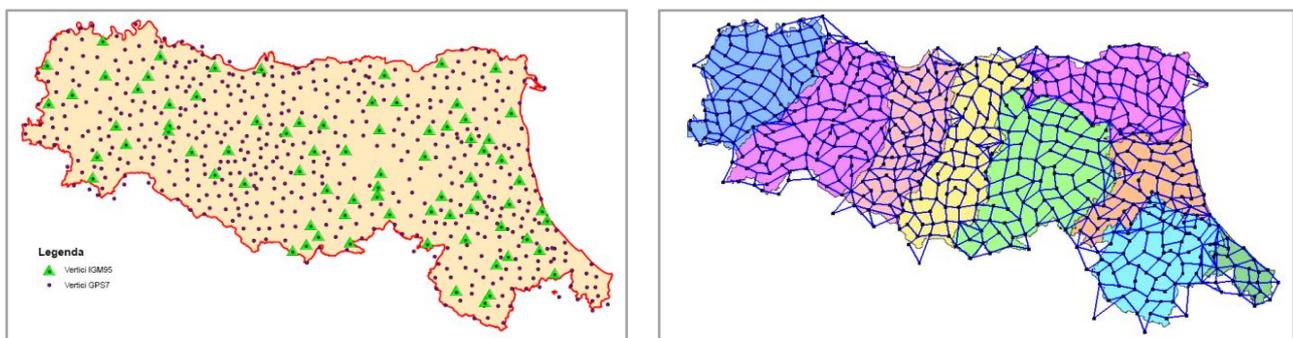


Figura 12 - I vertici per l'inquadramento della rete di raffittimento sono quelli della rete geodetica fondamentale IGM95 ricadenti nel territorio della Regione Emilia-Romagna o in prossimità del confine.

1.4.4.b Datum ITRS

Il datum ITRS (International Terrestrial Reference System) è il più importante a livello scientifico tra i datum globali. Si tratta di un datum dinamico basato su una terna geocentrica, la cui definizione iniziale coincideva con quella del WGS84, ma successivamente se ne è andato discostando perché le coordinate e velocità dei punti che lo realizzano vengono ricalcolate frequentemente e variano nel tempo seguendo le deformazioni della crosta terrestre (deriva dei continenti ed altri fenomeni geofisici) per questo trova applicazione principalmente negli studi di Geofisica in quanto consente una descrizione molto accurata delle deformazioni. Il datum ITRS è realizzato e mantenuto dallo IERS (International Earth Rotation Service). La realizzazione avviene mediante una rete mondiale di stazioni permanenti, comprendenti non solo ricevitori GNSS ma anche altri tipi di sensori (VLBI, LLR, SLR, e DORIS). Le soluzioni periodiche di questa rete costituiscono le realizzazioni o frame di ITRS e vengono denominate ITRFxxxx (*International Terrestrial Reference Frame xxxx*), dove xxxx indica l'anno a cui la soluzione si riferisce. La realizzazione più recente è la ITRF2005. Le coordinate e velocità delle stazioni ITRF2005 calcolate per una data scelta dall'utilizzatore vengono fornite a richiesta dallo IERS mediante il proprio sito web, sotto forma di tabella o di files SINEX (file di coordinate e velocità in formato standard). Un sottoinsieme della rete IERS, costituito dalle sole stazioni GNSS, è denominato rete IGS (International GNSS Service) – immagine 13. Le soluzioni di questa rete vengono elaborate con maggior frequenza rispetto a quelle ITRF, e forniscono ulteriori realizzazioni, più aggiornate, del datum ITRS. La realizzazione di ITRS più recente ad opera di IGS è denominata IGS05. Oltre alle realizzazioni aggiornate del datum ITRS mediante la propria rete, l'IGS produce anche effemeridi precise per i satelliti GPS e GLONASS, che permettono di ottenere posizionamenti più accurati rispetto alle effemeridi broadcast comunemente usate.

The IGS Tracking Network

Click on a boxed region to open a closeup map
Click on a site label for information on that site

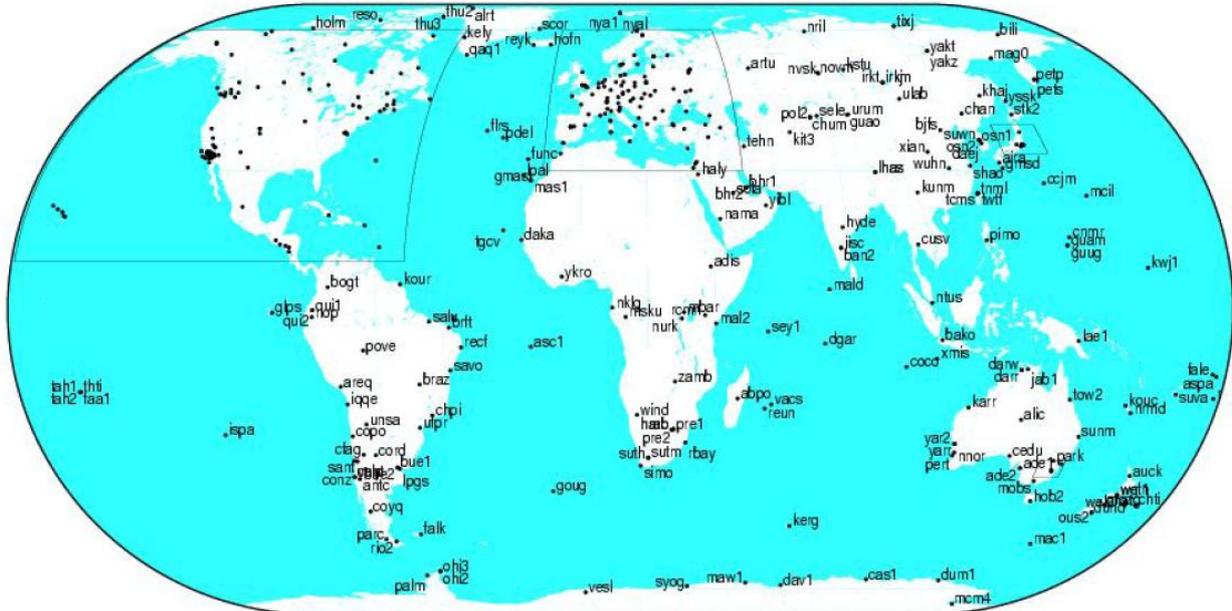


Figura 13 - La rete mondiale IGS

1.4.4.c Datum ETRS

Il datum ETRS (*European Terrestrial Reference System*) è un datum dinamico definito in modo analogo ad ITRS, caratterizzato quindi da coordinate variabili nel tempo. C'è però una importante differenza: ETRS è vincolato alla piattaforma continentale europea. Le soluzioni ottenute vengono rototraslate a minimi quadrati sulle coordinate delle soluzioni precedenti, per cui la rete risulta solidale alla piattaforma europea.

Le variazioni di coordinate dei punti nel tempo in ETRS sono dovute solo ai movimenti *relativi* tra un punto e l'altro, non ai movimenti d'insieme del continente come avviene invece in ITRS. Si tratta quindi di variazioni molto più lente, di velocità molto più piccole rispetto a quelle di ITRS. In altre parole, le coordinate ETRS sono molto più stabili nel tempo rispetto a quelle ITRS, e ai fini pratici possono anche essere considerate costanti per parecchi anni, come viene fatto ad esempio per la rete IGM95.

La rete associata al datum ETRS è la rete dinamica europea EPN (EUREF Permanent Network), di cui già si è detto (immagine 10), composta da stazioni permanenti GNSS, una ventina delle quali ricadono in territorio italiano. In Italia e anche nelle altre nazioni sono stati realizzati raffittimenti di questa rete, sia con reti statiche (in Italia, come si è visto, la rete IGM95 e gli ulteriori raffittimenti operati da Regioni e Catasto), sia con reti dinamiche nazionali e/o regionali. Le *realizzazioni* europee di

ETRS, come nel caso di ITRS, sono soluzioni della rete EPN calcolate a una certa data e considerando un assegnato insieme di stazioni. Esse vengono calcolate periodicamente dall'EUREF e denominate ETRFxx (*European Terrestrial Reference Frame xx*). Tra le realizzazioni di ETRS, la più utilizzata è tuttora la ETRF89, che come si può considerare coincidente con WGS84 e in Italia è ulteriormente realizzata dalla rete IGM95. La successiva realizzazione ETRF2000 sta iniziando a diffondersi ma è ancora destinata prevalentemente a impieghi scientifici o alla gestione di reti permanenti.

1.4.4.d Considerazioni conclusive sui datum geodetici

In Figura 15 è riportato sintetico riepilogo delle principali caratteristiche dei datum più utilizzati attualmente, con riferimento ai lavori geodetici e topografici eseguiti in Italia. I datum WGS84, ITRS ed ETRS hanno un impiego globale esteso a tutto il mondo per i primi due, al continente europeo per il terzo. Si sottolinea il fatto che la conoscenza del datum utilizzato per esprimere la posizione di un punto, o per georeferenziare una carta, è di importanza fondamentale. Come mostra l'immagine 14, infatti, uno stesso punto riferito a due diversi datum ha coordinate diverse, con differenze che possono essere anche di centinaia di metri. Quando si forniscono le coordinate di un punto è quindi "obbligatorio" specificare sempre il datum a cui sono riferite.

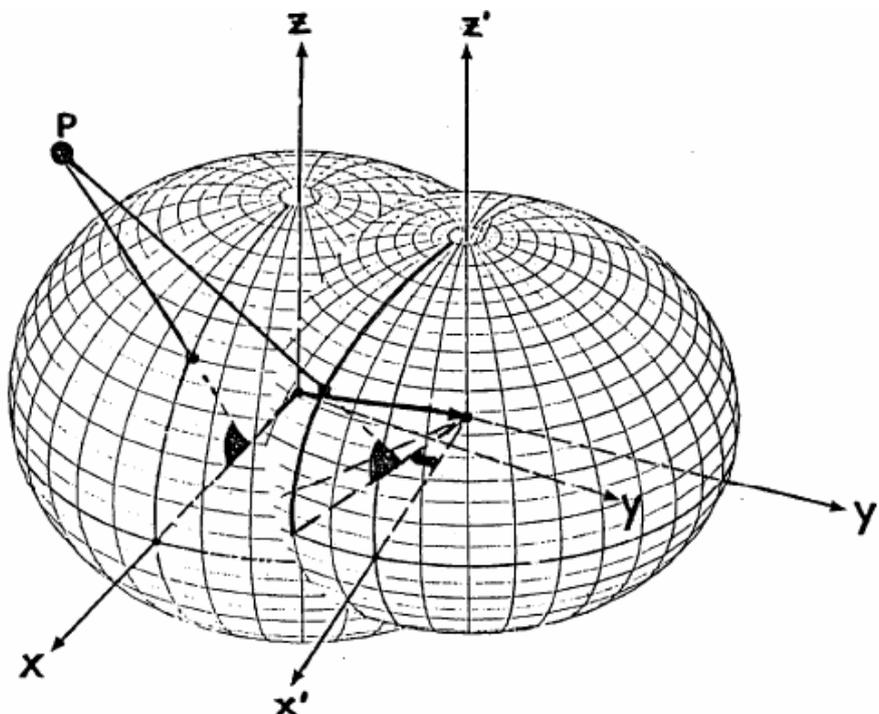


Figura 14 - Come mostra la figura uno stesso punto riferito a due diversi datum ha coordinate diverse, con differenze che possono essere anche di centinaia di metri (gli scostamenti sono volutamente esagerati)

DATUM GEODETTICI			REALIZZAZIONI			SISTEMI CARTOGRAFICI			
Denominazione	Ellissoide	Orientamento	Meridiano fondamentale	Rete	Epoca	Tipo	Denominazione	Rappresentazione	Zone per l'Italia
ROMA 40	Internazionale (Hayford)	Roma M. Mario 1940	Roma M. Mario (o Greenwich)	Vecchia rete geodetica IGM I, II, III e IV ordine	1880-1995	Triangolazione integrata da distanze	GAUSS-BOAGA	Gauss cilindro secante	Fuso Ovest (1) Fuso Est (2)
ED 50	Internazionale (Hayford)	Potsdam ca. 1950	Greenwich	Sottoinsieme delle reti nazionali europee	ca. 1950	Triangolazione integrata da distanze	UTM-ED50	Gauss cilindro secante	Fuso 32 Fuso 33 Fuso 34
DATUM CATASTALI	Bessel	Vari: Genova, Roma, Castanea delle Furie	Vari: Genova, Roma, Castanea delle Furie	Rete IGM di I, II e III ordine + Reti catastali	ca. 1880 - 1940	Triangolazione e raffittimenti	SISTEMI CATASTALI	Cassini-Soldner	31 "grandi" e ca. 800 piccoli sistemi
WGS84	WGS84	Geocentrico	Greenwich	Satelliti + tracking USA Rete EPN (Europa) Rete IGM95 (Italia)	1984 → 1989 → 1995 →	GPS GNSS GPS	UTM-WGS84	Gauss cilindro secante	Fuso 32 Fuso 33 Fuso 34
ITRS	WGS84	Geocentrico	Greenwich	ITRFxx IGSxx	1992 →	vari sensori incl. GNSS solo GNSS	utilizzo quasi esclusivo per la Geodesia		
ETRS	WGS84	Geocentrico	Greenwich	ETRFxx (rete EPN)	1989 →	GNSS	UTM-ETRF89	Gauss cilindro secante	Fuso 32 Fuso 33 Fuso 34

Figura 15- Riepilogo dei principali datum utilizzati in Italia.

2.1 Antartide

L'Antartide è un continente dalle singolari caratteristiche: lontano difficile da raggiungere, disabitato, vasto 52 volte l'Italia (14 milioni di km²), coperto per il 98% da una coltre di ghiaccio che in alcuni punti raggiunge lo spessore di 4500 metri. In media è il luogo più freddo della Terra e quello con le maggiori riserve d'acqua dolce del pianeta. La temperatura varia da valori attorno a 0 °C in estate (gennaio) sulla costa, fino a sfiorare i -90 °C in inverno a 3000 metri di quota nell'interno. I venti possono superare i 200km/h. L'Antartide è l'unico continente ancora in gran parte inesplorato. Per la posizione geografica, le caratteristiche fisiche, la distanza dalle fonti di inquinamento e la quasi totale assenza di perturbazioni antropiche, è uno dei luoghi privilegiati per un'osservazione globale del pianeta. L'Antartide permette inoltre, meglio di qualsiasi altro continente, di studiare le cosiddette “aurore” e gli altri fenomeni legati alle interazioni tra il Sole e la Terra; inoltre è luogo ideale per le ricerche cosmologiche (Big Bang) e per l'addestramento per le esplorazioni spaziali. Il PNRA è stato un eccezionale motore per lo sviluppo di una cultura antartica in Italia, sviluppo stimolato anche dalla necessità di confrontarsi con tecnologie avanzate e con la ricerca degli altri paesi già presenti da tempo in Antartide. Le attività intraprese toccano settori che avranno importanza anche in futuro, tali settori saranno approfonditi al paragrafo 2.2.1 riportato in seguito.

2.2 Programma Nazionale di Ricerche in Antartide

Per buona parte degli italiani l'Antartide ha sempre rappresentato solo un lembo di terra remoto e sconosciuto. Il 1 dicembre 1959, a Washington, venne stipulato tra i 12 Paesi partecipanti all'Anno Geofisico Internazionale (1957-58), il Trattato Antartico. Il Trattato, entrato in vigore nel 1961, sospende qualsiasi rivendicazione territoriale, lo sfruttamento delle risorse esistenti e favorisce gli usi pacifici del continente. Il governo italiano ha sottoscritto il Trattato Antartico il 18 marzo 1981. Il 10 giugno 1985 è stata approvata la Legge n.284 istitutiva del *Programma Nazionale di Ricerche in Antartide* (PNRA). Il programma, svolto sotto l'appoggio del *Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica* (MURST), prevedeva attività di ricerca per il periodo 1985-1991 con l'obiettivo di assicurare la partecipazione dell'Italia al Trattato Antartico. Alla fine del 1991 è stata approvata la Legge n.380 che organizza le attività di ricerca sulla base di programmi quinquennali. Il programma di ricerca include: Scienze della Terra, Fisica dell'Atmosfera, Cosmologia, Biologia e Medicina, Oceanografia, Scienze Ambientali, Tecnologia. Nel corso del suo sviluppo si è indirizzato sempre più verso lo studio dei fenomeni globali all'interno dell'atmosfera, della biosfera e della geosfera. Per tale motivo il Programma Nazionale di Ricerche in Antartide è stato un eccezionale strumento per lo sviluppo di una cultura antartica italiana. Il decreto MIUR (*Ministro*

dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca) del 2010, ridefinisce i nuovi attuatori del PNRA, per garantire un efficace svolgimento delle attività di ricerca e consentire maggiori economie di spesa: Il CNR (*Consiglio nazionale delle ricerche*) ha l'incarico di realizzare la programmazione e il coordinamento delle attività di ricerca scientifica. Il Cnr supporta il Miur nella preparazione dei bandi per la presentazione dei progetti di ricerca, predispose i Programmi esecutivi annuali (Pea) e assicura il coordinamento scientifico delle attività. Infine, d'intesa con il Miur e la Cnsa, provvede alla diffusione dei risultati e alla gestione dei dati scientifici. L'ENEA (*l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile*) riprende il ruolo di ente attuatore delle spedizioni in Antartide che aveva anche all'inizio del Programma nel 1985: si occupa della programmazione operativa e della gestione tecnico logistica dell'attività di ricerca nel continente antartico, provvede alla costruzione e gestione degli interventi, all'approvvigionamento dei materiali e servizi, alla manutenzione degli impianti e degli strumenti installati presso le stazioni antartiche. La CSNA (*Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide*), nominata dal ministro, ha compiti di indirizzo strategico. Propone infatti un piano pluriennale, aggiornabile annualmente, valuta le proposte di progetto, esprime parere sui Pea, elabora la relazione annuale avvalendosi della collaborazione del Cnr. La nuova Commissione sarà composta da 10 esperti nelle aree scientifiche del Programma, di cui 3 designati dal ministro stesso, e 7 scelti dal Ministro sulla base di rose di 3 nominativi proposti da Crui, Cnr, ENEA, Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV), Istituto nazionale di astrofisica (INAF) e Istituto nazionale di oceanografia e geofisica sperimentale (OGS); a questi si aggiungono 6 esperti di provenienza ministeriale (Sviluppo economico, Politiche agricole, Salute, Ambiente e tutela del territorio, Affari Esteri, Difesa).

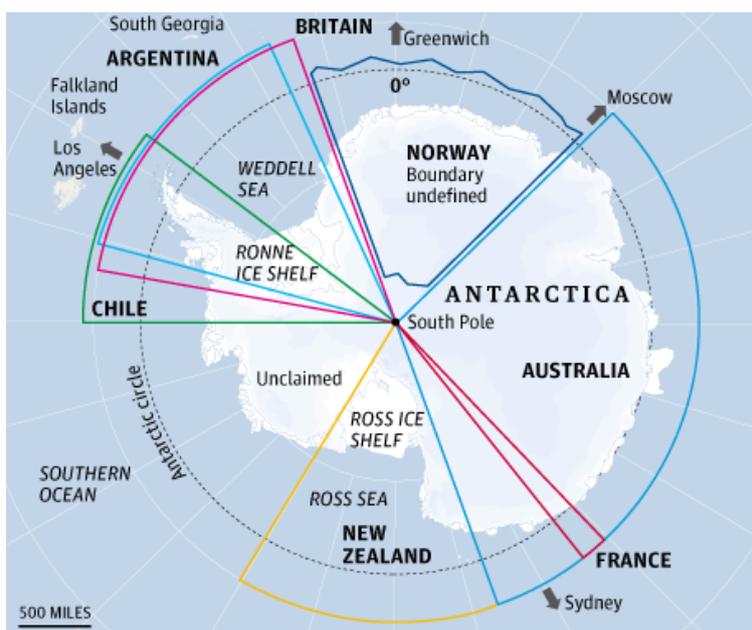


Figura 16 - Mappa rivendicazioni territoriali in Antartide

2.2.1 I risultati scientifici del Programma Nazionale

I risultati scientifici del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide ottenuti nell'ambito delle varie spedizioni sono riassunti di seguito.

Geologia: sono stati realizzati studi di dettaglio sulle formazioni geologiche della Terra Vittoria del nord ed in particolare sulle formazioni di Wilson, Bowes e Robertson Bay. Queste iniziative hanno permesso la compilazione di una carta geologica regionale.

Cartografia: sono state prodotte da ricercatori italiani alcune mappe idrografiche, topografiche e tematiche. Sono impiegate tecniche digitali per l'elaborazione delle informazioni geografiche.

Geodesia: è stata realizzata a Baia Terra Nova una rete di stazioni geodetiche per l'impiego di ricevitori GPS. Le misure effettuate hanno applicazioni nel campo della cartografia e della tettonica a zolle e sono in parte inquadrare in collaborazioni internazionali.

Vulcanologia: sono stati studiati due apparati vulcanici esistenti nella regione. Sul più importante di essi, il Monte Melbourne, sono state attivate sia reti di sensori sismici e climometrici in telemetria che stazioni geodetiche.

Geomagnetismo: la struttura e la natura delle formazioni geologiche vengono studiate anche con l'ausilio di misure del campo magnetico. Sono state eseguite prospezioni con magnetometro trasportato da elicottero e compilate le carte delle anomalie magnetiche coprendo una superficie di circa 6600 km² a sud-ovest di Baia Terra Nova. Le variazioni del magnetismo terrestre vengono registrate a Baia Terra Nova da un apposito osservatorio.

Gravimetria: in Antartide è stata misurata, l'accelerazione di gravità nei pressi della stazione italiana; il metodo, particolarmente preciso, ha fornito i valori di g (circa 9,83 m/s²) con una precisione di qualche parte per miliardo.

Sismologia: è installata a Baia Terra Nova una stazione sismica di tipo a larga banda: essa integra la rete sismologica mondiale per lo studio dei terremoti e delle strutture profonde del pianeta.

Prospezioni geofisiche: cinque spedizioni della nave di ricerca OGS-Explora hanno permesso di raccogliere dati geofisici lungo rotte di oltre 20000 km, principalmente nei mari di Ross e di Weddell. I dati sono relativi a sismica di riflessione, gravimetria e magnetismo: includono inoltre sismica a rifrazione, dragaggi e misure di flusso di calore. Particolarmente interessanti i rilievi sul cosiddetto punto triplo nel Pacifico sud-occidentale, in cui le tre piattaforme continentali, Pacifica, Antartica e Australiana vengono a contatto.

Glaciologia: rilievi locali ed immagini da satellite dai ghiacciai prossimi a Baia Terra Nova, permettono di studiare la stabilità della calotta glaciale antartica. Altre

immagini di geologia glaciale mirano a ricostruire l'evoluzione della calotta orientale (zona di Mare di Ross) nell'ultima glaciazione e durante il massimo glaciale Cenozoico.

Meteoriti: è stato organizzato un campo al confine tra la Catena Trasantartica e l'altopiano glaciale a circa 180 km da Baia Terra Nova. Nel corso della sesta spedizione sono state raccolte 264 meteoriti che sono in corso di classificazione per studi successivi.

Fisica della bassa atmosfera: circa 20 stazioni automatiche raccolgono dati su vento, temperatura, umidità, pressione per tutto l'arco dell'anno nella regione a Baia Terra Nova. Essi vengono utilizzati sia per gli studi di climatologia che per previsioni a breve termine in appoggio alla spedizione. La maggior parte delle stazioni meteorologiche è in grado di trasmettere dati via satellite a Tolosa e quindi a Roma (ENEA-Casaccia) il regime dei venti è anche studiato con tecniche Sodar (Sound Detection and Ranging), un sistema di antenne che inviano segnali acustici che vengono diffusi dall'atmosfera fornendo indicazioni sulle caratteristiche fisiche dello strato attraversato).

Cosmologia: la radiazione elettromagnetica di fondo proveniente dallo spazio intergalattico viene studiata a Baia Terra Nova nelle lunghezze d'onda sub millimetriche e corrispondenti all'infrarosso. Per questi studi è stato allestito un osservatorio all'avanguardia dotato di uno specchio di 2,5 metri di diametro. Misure analoghe, ma nel campo delle microonde, sono state eseguite da ricercatori italiani presso la Base USA situata al Polo. In particolare, mediante il Lidar POLE (italo-francese) è stato misurato un eccezionale carico aerosolico, di probabile natura vulcanica.

Biologia: per studi tassonomici ed evolutivisti sono state individuate e campionate le comunità animali e vegetali caratteristiche di Baia Terra Nova-ove sono state censite 25 specie di pesci a scheletro osseo- della costa circostante ed anche delle aree subantartiche. È stata studiata la fisiologia dei pesci a sangue bianco con particolare riguardo alle basi molecolari dell'adattamento alle basse temperature. Sono state isolate e studiate nuove specie di organismi unicellulari (protozoi ciliati).

Medicina: sono state investigate con tecniche Doppler e termografiche, le modifiche vascolari nel personale esposto al freddo. È stato attivato un sistema di telemedicina; i candidati alle missioni antartiche vengono sottoposti a controlli medici e psicologi di idoneità, ciò che stimola parallele attività di ricerca medica.

Oceanografia: tre estese campagne oceanografiche hanno notevolmente ampliato le conoscenze fisiche, chimiche e biologiche de Mare di Ross ed in particolare di Baia di Terra Nova. Sono state registrate le maree e le correnti marine; la misura dei fondali ha consentito la pubblicazione di due carte batimetriche. Numerosi

campionamenti hanno permesso di valutare le caratteristiche chimico-fisiche delle acque con particolare riferimento ai nutrienti, all'ossigeno disciolto, al carbonio inorganico, alla produttività primaria ed ai primi livelli della catena trofica. Le tecniche adottate includono i profili elettroacustici e l'uso della rete multipla a comando elettronico. Analoghe campagne oceanografiche sono state svolte nello Stretto di Magellano.

Geologia marina: nel corso di due campagne sono stati individuati i lineamenti morfosstrutturali e i principali corpi sedimentari della piattaforma continentale nel Mare di Ross. Sono in corso studi sulle sedimentazioni silicica e carbonatica di origine biologica e sull'effetto dei ghiacciai nel processo di modellamento dei fondali.

Scienze ambientali: sono stati effettuati studi sugli inquinanti provenienti dalle aree industrializzate e della loro influenza sugli ecosistemi. I risultati sono di grande aiuto per la valutazione dell'impatto ambientale su scala globale e forniscono informazioni, in scala locale, sull'impatto della Stazione.

Tecnologia: si è resa necessaria una tecnologia altamente specializzata, per far fronte alle particolari condizioni ambientali, spesso severe. Alcuni risultati sono: l'insediamento di una rete di stazioni automatiche per l'acquisizione dei dati meteorologici e la loro trasmissione via satellite; il telerilevamento da satellite di parametri ambientali riguardanti in particolare il ghiaccio marino e continentale; la realizzazione di un moderno supporto telematico comprendente un sistema di banche dati e un collegamento via computer con l'Antartide per la trasmissione dei dati riguardanti le attività scientifiche e logistiche; la sperimentazione di un sistema automatico di acquisizione dati e trasmissione a distanza, alimentato da elettrogeneratori capaci di erogare 6 kW costanti per diversi mesi senza aver necessità di manutenzione.

2.3 Basi italiane in Antartide

Il programma scientifico prevede l'esecuzione di Spedizioni in Antartide, con attività da svolgersi presso la Stazioni Mario Zucchelli (sulla costa, a Baia Terra Nova), la Stazione Concordia (sul plateau antartico, a Dome C) nonché presso Basi e/o Navi straniere e nell'ambito di Campagne Oceanografiche nel Mare di Ross.

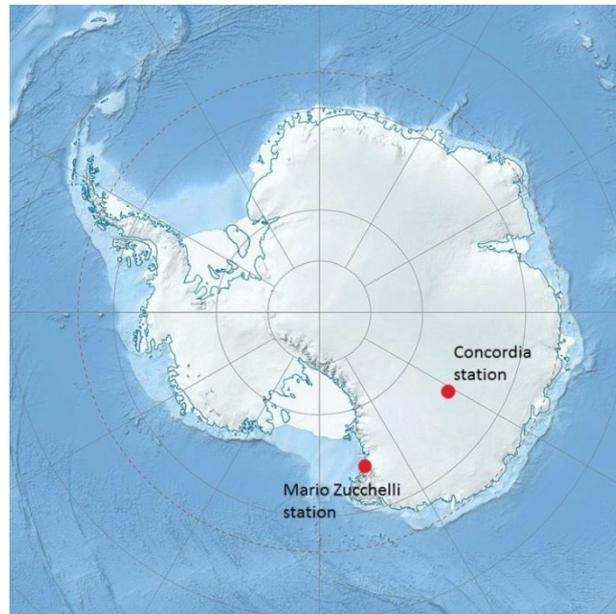


Figura 17 - Stazioni italiane in Antartide

2.3.1 Stazione Mario Zucchelli

La stazione Mario Zucchelli , prima denominata Baia Terra Nova , è stata costruita nel 1986 sulla costa della Terra Vittoria, nel Mare di Ross ($74^{\circ}42'$ sud e $164^{\circ}07'$ est). È una struttura permanente operativa durante la primavera/estate australe (ottobre-febbraio) e rappresenta il punto di riferimento operativo per tutte le attività di ricerca scientifica italiana in Antartide. Durante i re periodi di attività (ognuno di circa 40 giorni) la base italiana può ospitare fino 90 persone, tra personale scientifico e logistico per una media di 250-300 persone a stagione. Si estende principalmente su di un area di oltre 7000 mq, caratterizzato da un corpo centrale a due piani con una pianta a forma di "T" organizzata in: alloggi, servizi, laboratori e magazzini, a cui si aggiungono diverse infrastrutture tra cui numerosi moduli laboratorio esterni, 3 eliporti e alcune piste di atterraggio su ghiaccio continentale o marino per velivoli pesanti e leggeri.



Figura 18 - Stazione Mario Zucchelli

2.3.2 *Stazione Dome Concordia*

Una seconda base, Dome Concordia, rappresenta un progetto congiunto fra Italia e Francia: la sua costruzione è iniziata nella stagione 1999-2000; situata nell'interno, a 3.230 m s. l. m., è stata realizzata grazie ad un accordo di collaborazione tra il PNRA (Programma Nazionale di Ricerche in Antartide) e l' IPEV (Istituto Polare Francese); è operativa 12 mesi all'anno a partire dal 2003. La temperatura d'estate è di -25° e di inverno oscilla tra -60° e -80° . In questo posto lo spessore della calotta è di circa 3500 metri. La particolare ubicazione rende l'area idonea per studi di glaciologia. La glaciologia è uno dei progetti italo-francesi in comune. Tra questi il progetto EPICA (European Programme for Ice Coring in Antarctica).

Lo scopo di EPICA è stato quello di ricostruire principalmente il paleoclima degli ultimi 800 ky ca mediante l'analisi di carote di ghiaccio (analisi di natura isotopica e idrochimica).

A Dome C l'atmosfera è particolarmente asciutta per via delle rigide condizioni climatiche. Per la bassa umidità è un ottimo posto per l'osservazione astronomica. La stazione si occupa anche di scienze atmosferiche, astronomia, astrofisica, biologia umana, medicina e psicologia comportamentale.

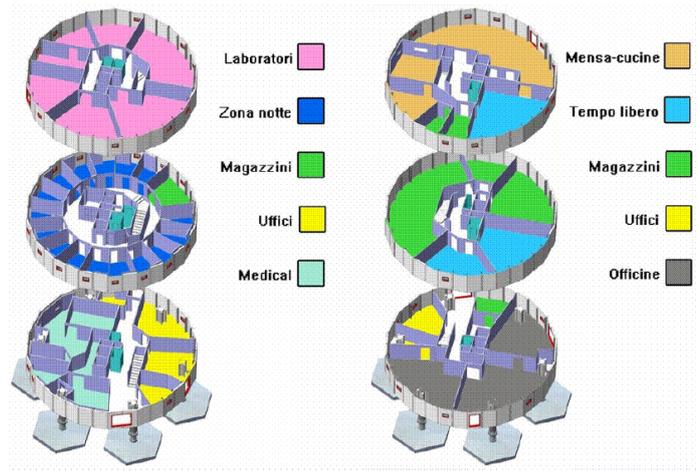


Figura 19 - La stazione di CConcordia e schema di destinazione d'uso dei comparti di ogni interpiano

3.1 Descrizione

L'attività dell'*Osservatorio Geodetico Italiano in Antartide* è rivolta alla definizione ed al mantenimento dell'infrastruttura geodetica in Antartide per dare un supporto alla caratterizzazione della neo-tettonica della *Terra Vittoria Settentrionale*.

L'Osservatorio si basa su misure continue di dati GNSS per la definizione di un riferimento tridimensionale (plano-altimetrico), e mareografici, per la definizione di un modello di riferimento altimetrico assoluto locale e globale.

3.2 Struttura

Originariamente l'osservatorio geodetico italiano in Antartide era costituito dalla stazione GPS permanente TNB1 e dal mareografo, entrambi installati nell'area della base MZS. Successivamente si è allargato con l'installazione della nuova stazione GNSS permanente TNB2. In seguito, l'esigenza di avere un riferimento geodetico più esteso, ha reso necessaria l'installazione di una rete di stazioni GNSS che garantiscano misure continue per lunghi periodi. Nel tempo sono quindi sorte altre 2 stazioni semipermanenti (VL05 e VL18) ed una serie di stazioni permanenti descritte in seguito.

3.2.1 Stazioni TNB1 e TNB2

Nei pressi della base italiana MZS sono attualmente attive due stazioni GNSS permanenti, denominate TNB1 e TNB2, alimentate direttamente dai sistemi di alimentazione della base. I dati delle due stazioni, in formato RINEX, sono giornalmente inviati in Italia e sono disponibili per il download. La stazione GPS permanente TNB1 è stata costruita nel 1997 su un affioramento granitico. Equipaggiata con un ricevitore GPS Ashtech Z-12 ed un'antenna Dorne Margolin con chokering, modello Ashtech 700936D, installata su un pilastro in cemento, ha registrato dati per 17 anni. Nel novembre 2015 la strumentazione è stata cambiata ed è attualmente equipaggiata con un ricevitore GNSS Leica GS25 ed un'antenna Dorne Margolin con choke ring, modello Leica AT504.



Figure 20a e 20b - Stazione TNB1 monumentata nei pressi della base e nuova strumentazione di TNB1, attiva dal novembre 2015

La stazione GNSS permanente TNB2 è stata costruita nel 2007 su un affioramento granitico, a pochi metri dalla stazione TNB1. Equipaggiata con un ricevitore GNSS Topcon GB1000 ed un antenna choke ring modello Topcon CR-G3, installata su un pilastro in acciaio. Attualmente ha le stesse caratteristiche della stazione TNB1.



Figura 20c - Stazione TNB2 monumentata a pochi metri da TNB1

3.2.2 Stazioni permanenti VL01, VL12 e VL30

Nel 2014, tre punti della rete di monitoraggio VLNDEF_(Victoria Land Network for Deformation Control), denominati VL01 (*Tombstone Hills*), VL12 (*Monte Cassino*) e VL30 (*South Mount Bruce*), sono stati equipaggiati con stazioni GNSS permanenti. Le tre stazioni sono monumentate su affioramenti granitici e sono alimentate da pannelli fotovoltaici e batterie tampone. Equipaggiate con ricevitori GNSS Trimble NETRS e antenne *choke ring*, installate su pilastri in acciaio, registrano dati della sola costellazione GPS. Tali dati hanno le stesse caratteristiche di quelli di TNB1, tranne che per l'intervallo di acquisizione, pari a 30 s.

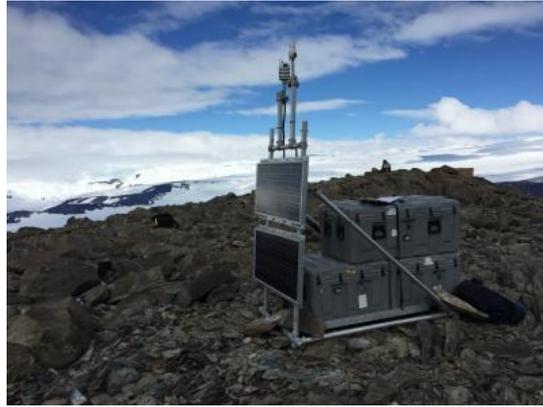


Figura 21a - Monumentazione di VL01 (Tombstone Hills)

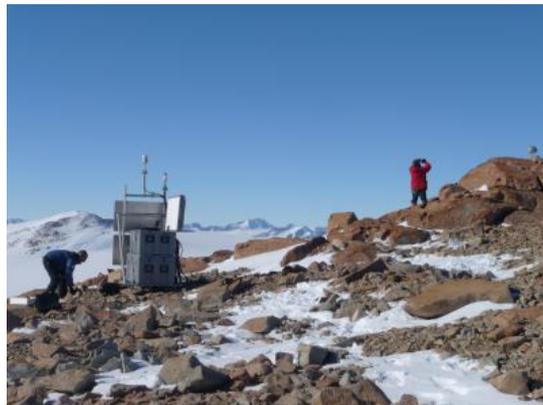


Figura 21b - Monumentazione di VL12 (Monte Cassino)

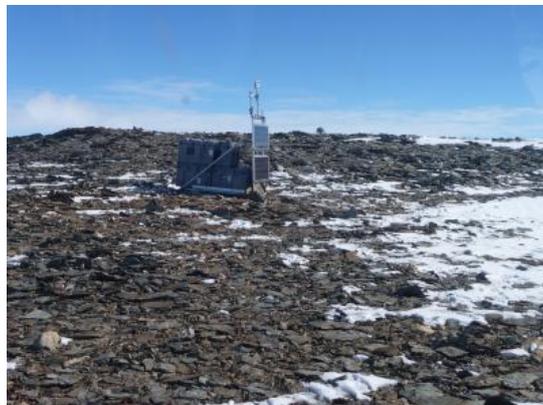


Figura 21c - Monumentazione di VL30 (South Mt. Bruce)

3.2.3 Stazioni permanenti GNSS INXP e LRSN

Nel 2016, sono state monumentate due nuove stazioni GNSS permanenti in siti remoti, denominate INXP (*Inexpressible Island*) e LRSN (*Mount Larsen*), alimentate da un sistema costituito da pannelli fotovoltaici, aerogeneratori e batterie tampone. La stazione LRSN è monumentata su un affioramento granitico, mentre, per motivi legati ad esigenze del progetto MALOX, non è stato possibile installare la stazione INXP su un affioramento roccioso, per cui bisognerà attendere le prime analisi dei dati per avere indicazioni sulla stabilità del punto.

Entrambe le stazioni sono equipaggiate con ricevitori GNSS Topcon Net-G3 ed antenne choke ring, modello Topcon CR-G5.



Figura 22a - La monumentazione di INXP a Inexpressible Island



Figura 22b - Monumentazione di LRSN su Mount Larsen

CAPITOLO 4 CASO DÌ STUDIO

L'obiettivo dell'esercitazione è di calcolare le coordinate di alcune stazioni permanenti situate in Antartide per l'arco temporale di una settimana.

Per fare ciò si utilizza il sistema del posizionamento relativo tramite software (commerciale o scientifico) e la procedura di calcolo inizia con un download delle osservazioni delle stazioni d'inquadramento e interrogazione del sito che gestisce il sito ITRF per chiedere le coordinate delle stazioni al giorno d'interesse. La nostra rete di inquadramento è stabilita in 5 stazioni: 3 IGS e 2 permanenti italiane.

La seguente tabella riassume le coordinate delle stazioni IGS oggetto di calcolo:

STAZIONE IGS	X [m]	Y [m]	Z [m]
<i>CASI</i>	-901776.137	2409383.246	-5816748.505
<i>DUM1</i>	-1940883.747	1628483.101	-5833718.112
<i>MCM4</i>	-1311703.066	310814.867	-6213255.115

Tabella. 1 - Coordinate ITRF di stazioni IGS.

Dopo aver scaricato le Effemeridi di riferimento e i file RINEX relativi a 7 giorni di acquisizione si passa al calcolo delle coordinate di nostro interesse fino alla costruzione dei grafici delle soluzioni e conseguenti valutazioni.

4.1 Descrizione delle stazioni oggetto di calcolo

CASI

Il sito si trova presso la stazione di ricerca antartica australiana Casey in terra di Wilkes, territorio Antartico australiano.

Latitudine: - 661700,24 N

Longitudine: + 1103110,92 E

Ricevitore: TRIMBLE NETR9

Antenna: LEIAR25.R3 LITE



Figura 23 - Stazione IGS CASI

DUM1

DUM1 è una base antartica di “Dumont d’Urville”, una sezione Francese dell’Antartide.
La fondazione è costruita in cemento armato.

Latitudine: -663954,30 N

Longitudine: +1400006,96 E

Ricevitore: ASHTECHZ-XII3

Antenna: ASH700936E SNOW



Figura 24 - Stazione IGS DUM1

MCM4

MCM4 è una stazione Antartica situata a Ross Island.
Nome stazione: McMurdo.

Latitudine: -775018.0581N

Longitudine: +1664009.5855E

Ricevitore: ASHTECH UZ-12

Antenna: AOAD/M_T + JPLA



Figura 25 - Stazione MCM4

DCRU

Ricevitore:
Topcon TPS NET-G3A

Antenna:
choke-ring Topcon CR.G5
w/TPSH



Figura 26 - Stazione GNSS DCRU, posta sul tetto della torre “Rumoroso” di Dome Concordia.

TNB1

Ricevitore: Leica GR25

Antenna : LEIAT504GG LEIS



Figura 27 - Stazione GNSS TNB1, posta dietro la Mario Zuchelli Station su un affioramento roccioso.

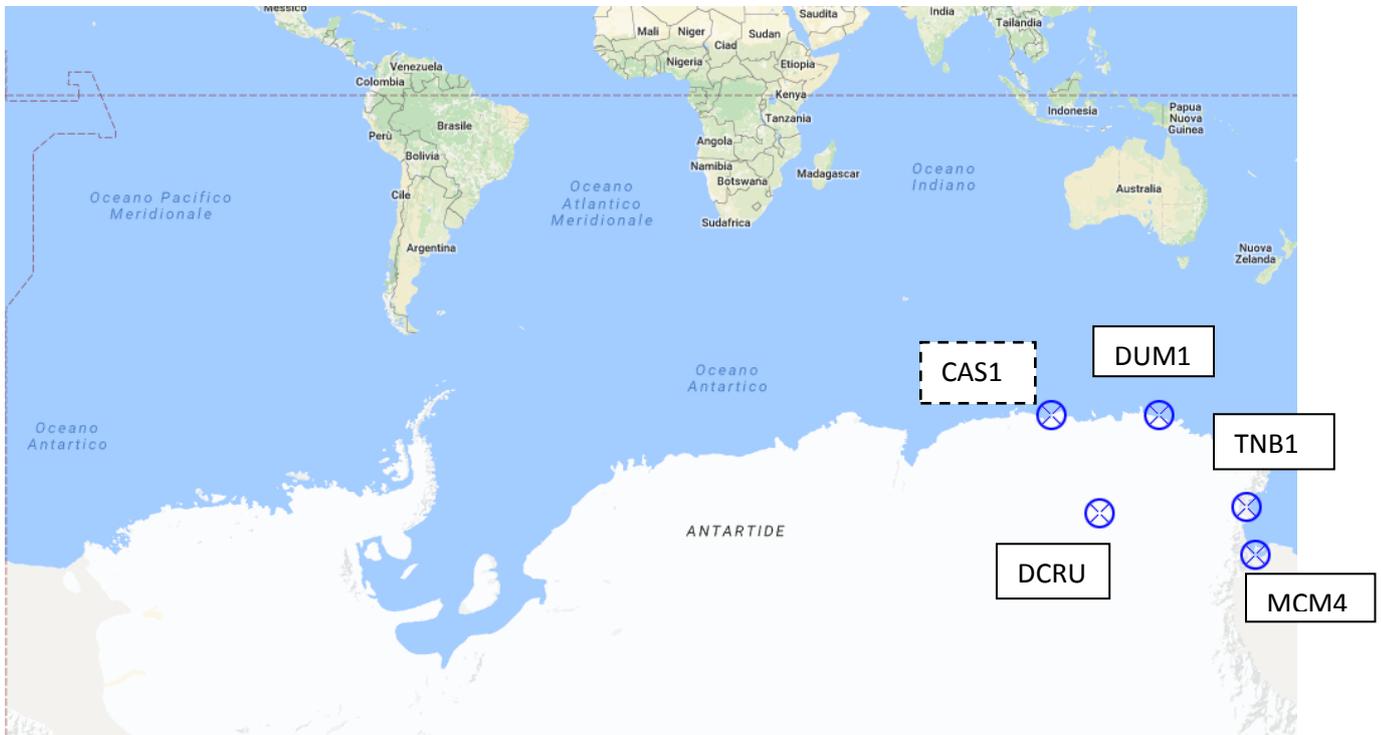


Figura 28 - Stazioni utilizzate per il calcolo

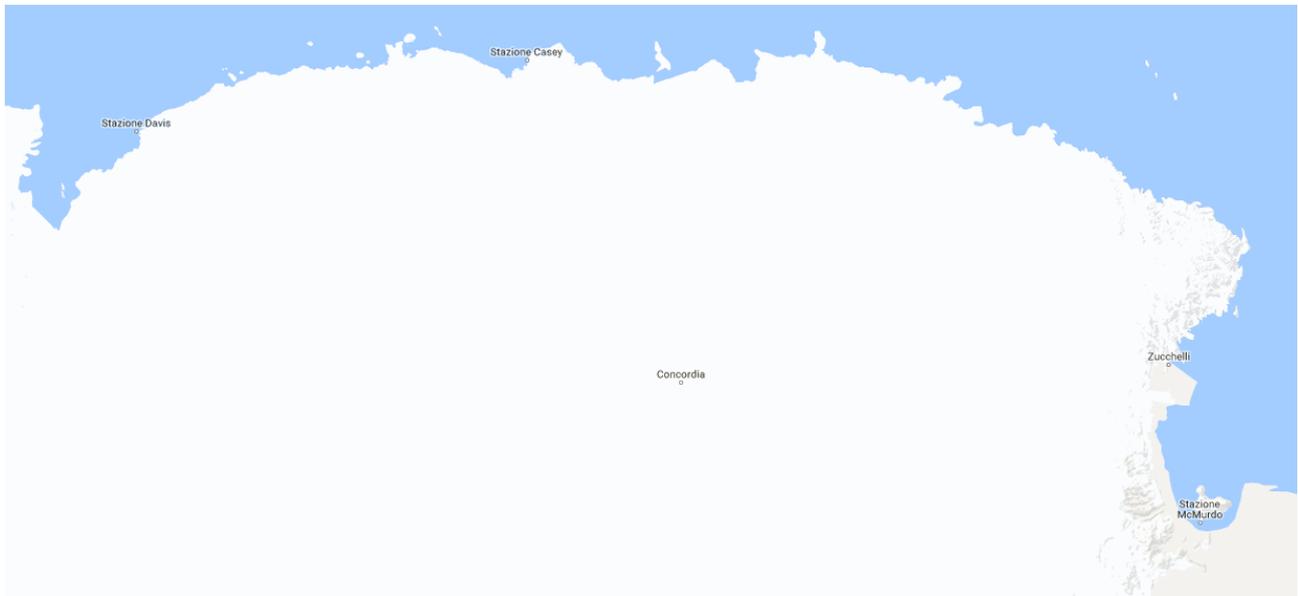


Figura 29 - Stazioni permanenti italiane.

4.2 Procedure di calcolo

Per il calcolo delle coordinate di una stazione, si possono utilizzare due tipi di software: commerciale (TRIMBLE TOTAL CONTROL) e scientifico (BERNESE).

4.2.1 Software commerciale: TRIMBLE TOTAL CONTROL (TTC)

Il programma TTC è un software che utilizza una procedura di calcolo semplificata tramite modelli globali. Con TTC si fissano le coordinate tridimensionali di un punto fiduciale e si esegue una stima ai minimi quadrati del sistema di equazioni in L3. Inizialmente si definiscono una serie di parametri quali: sistema di coordinate (UTM), la zona (58sud), il datum (WGS84) ed il modello di geoide (EGM96 globale).

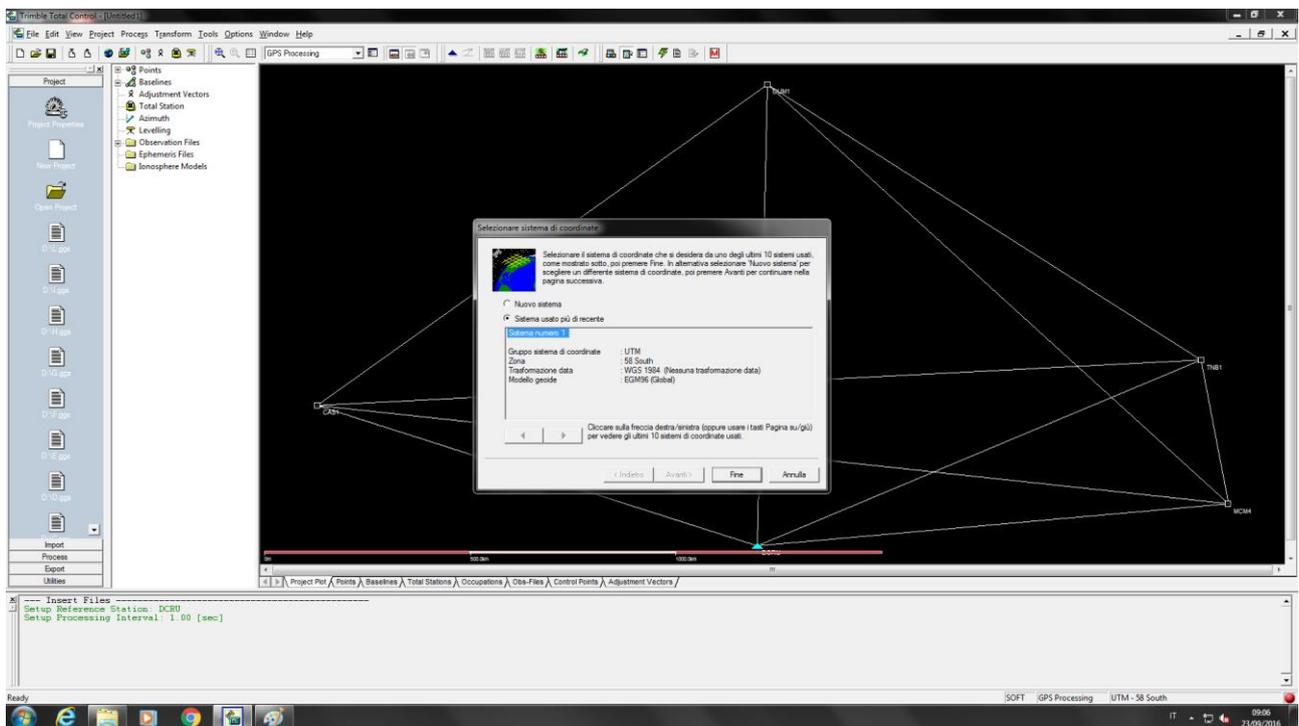


Figura 30 - definizione dei primi parametri.

Successivamente si importano i file RINEX relativi ai dati di acquisizione delle stazioni di interesse, tutte relative al medesimo giorno.

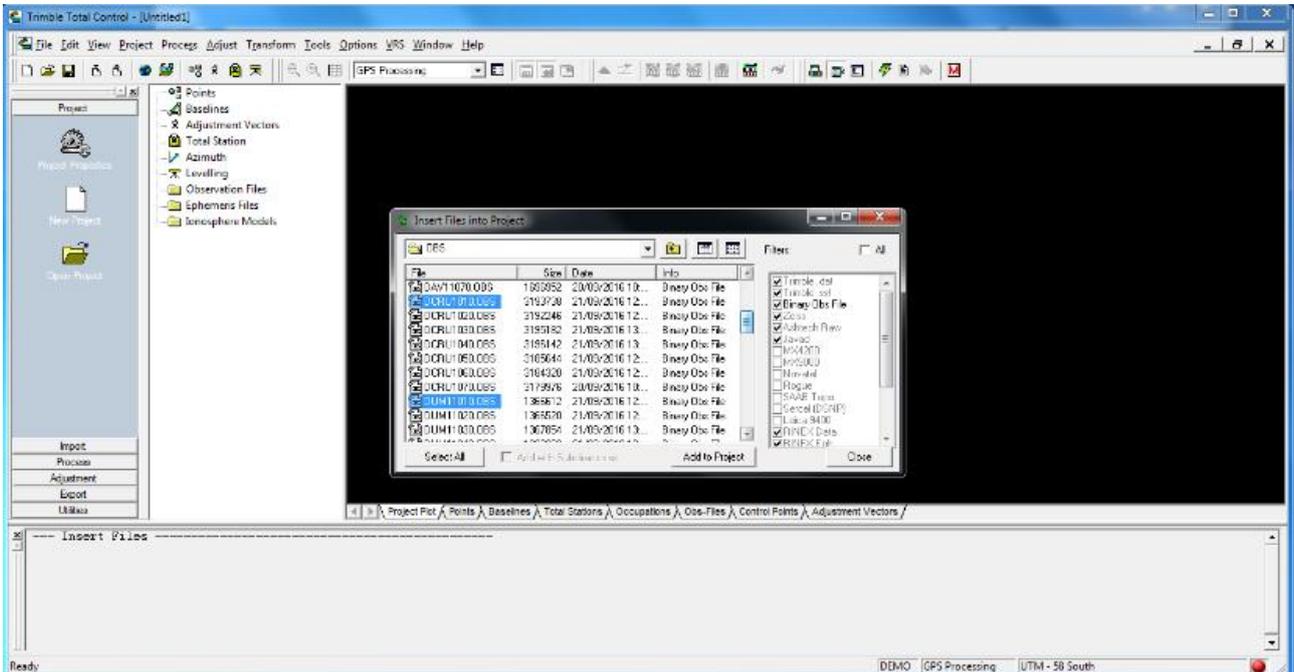


Figura 31 - importazione file Rinex.

In seguito si passa alla definizione dei tipi di ricevitori e delle antenne di tutte le stazioni.

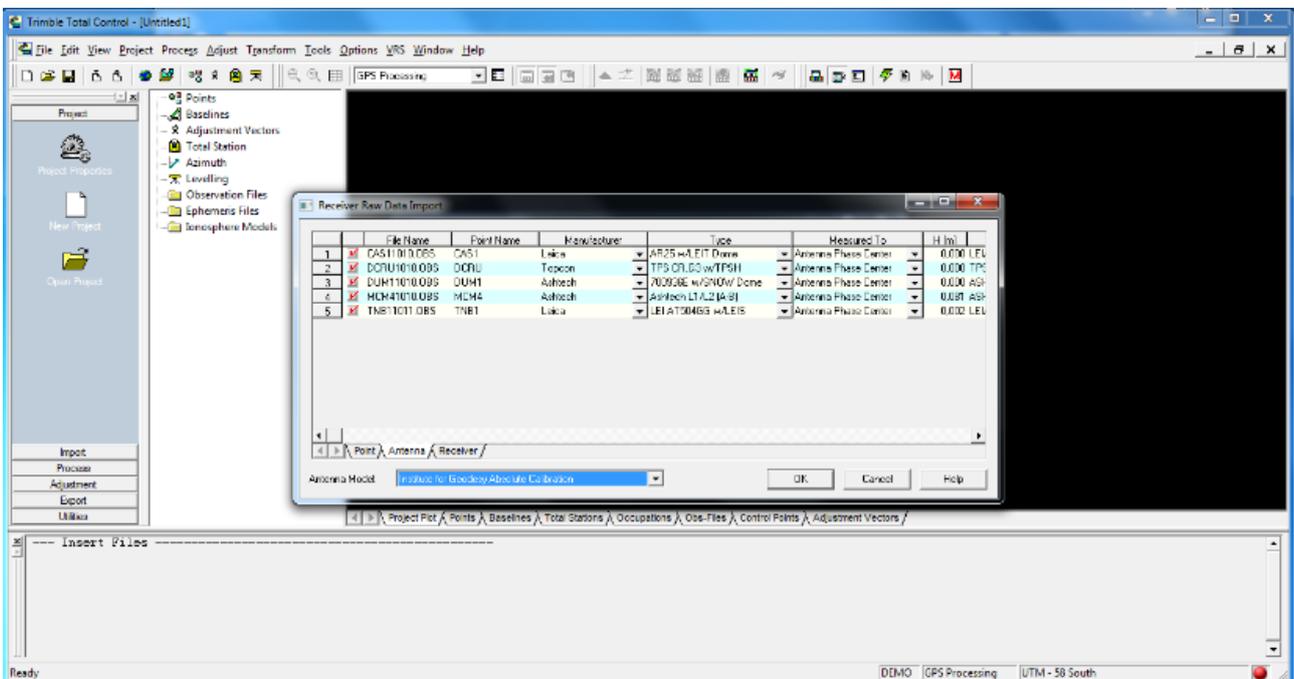


Figura 32 - Definizione dei ricevitori e delle antenne per ogni stazione.

Dopo aver definito le antenne e dopo aver importato le effemeridi di riferimento in formato sp3, il software definisce la rete di calcolo che dovrà essere “processata”.

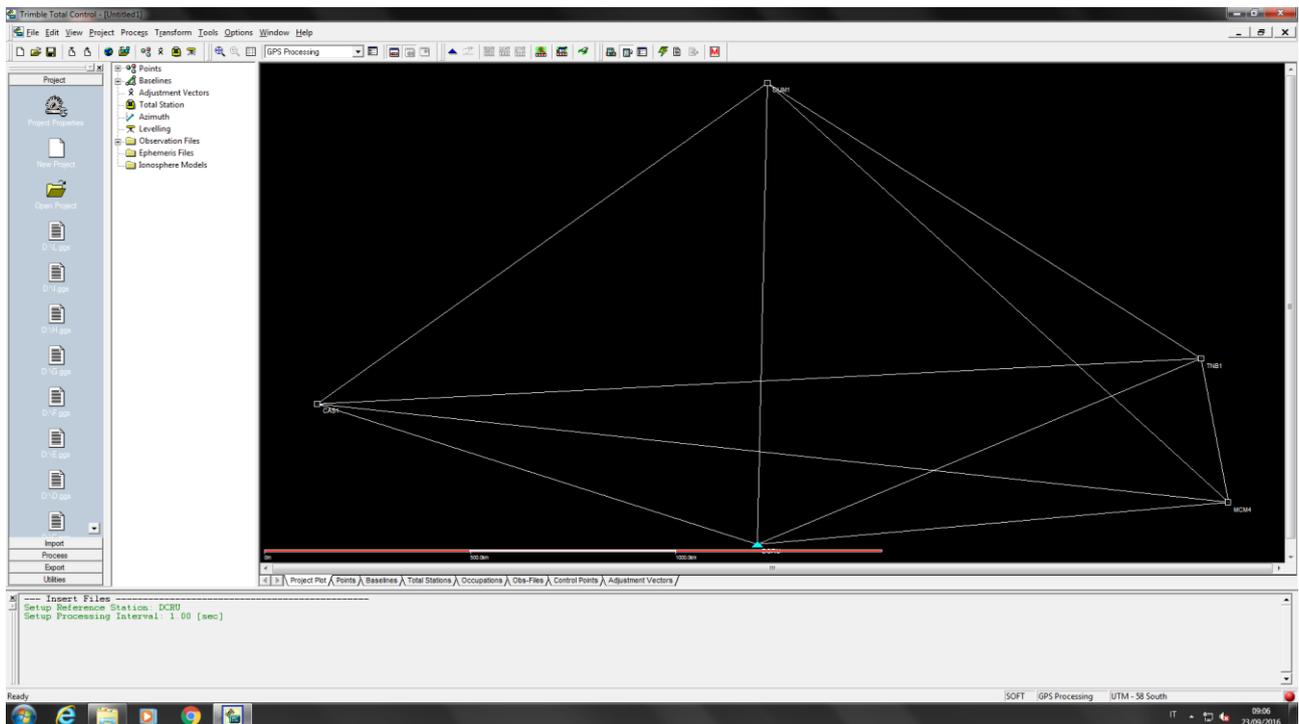


Figura 33 - Impostazione delle rete di inquadramento.

Prima di passare al calcolo definitivo si fissano le coordinate del punto scelto come punto fiduciale (in questo caso CAS1).

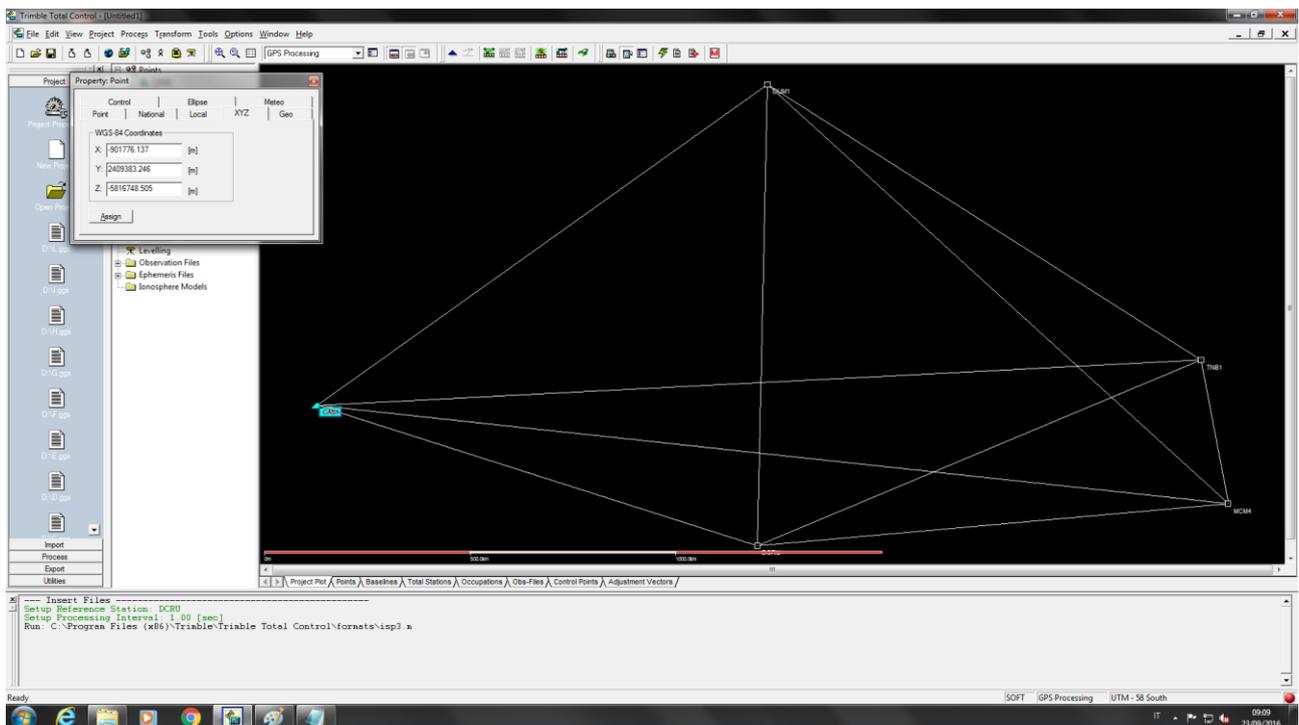


Figura 34- fissaggio delle coordinate tridimensionali di CAS1.

Si conclude quindi con il calcolo della rete e con l'acquisizione dei dati definitivi.

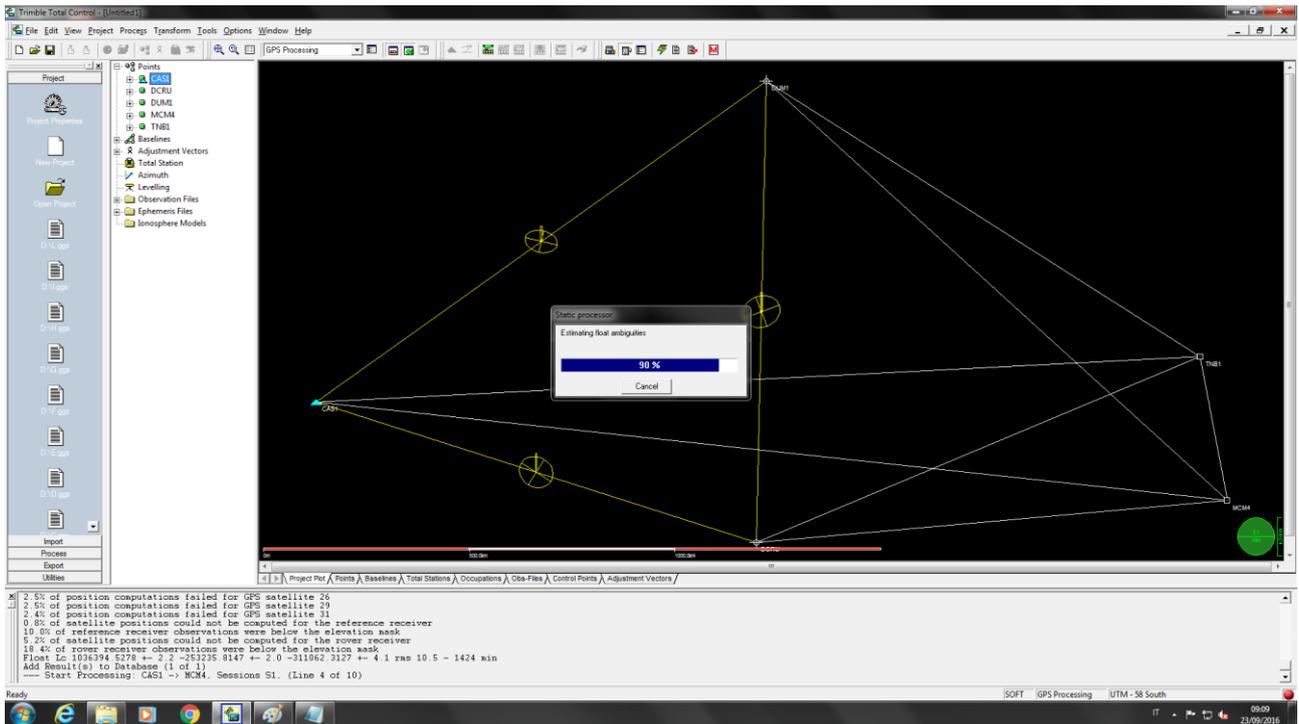


Figura 35 - Calcolo della rete.

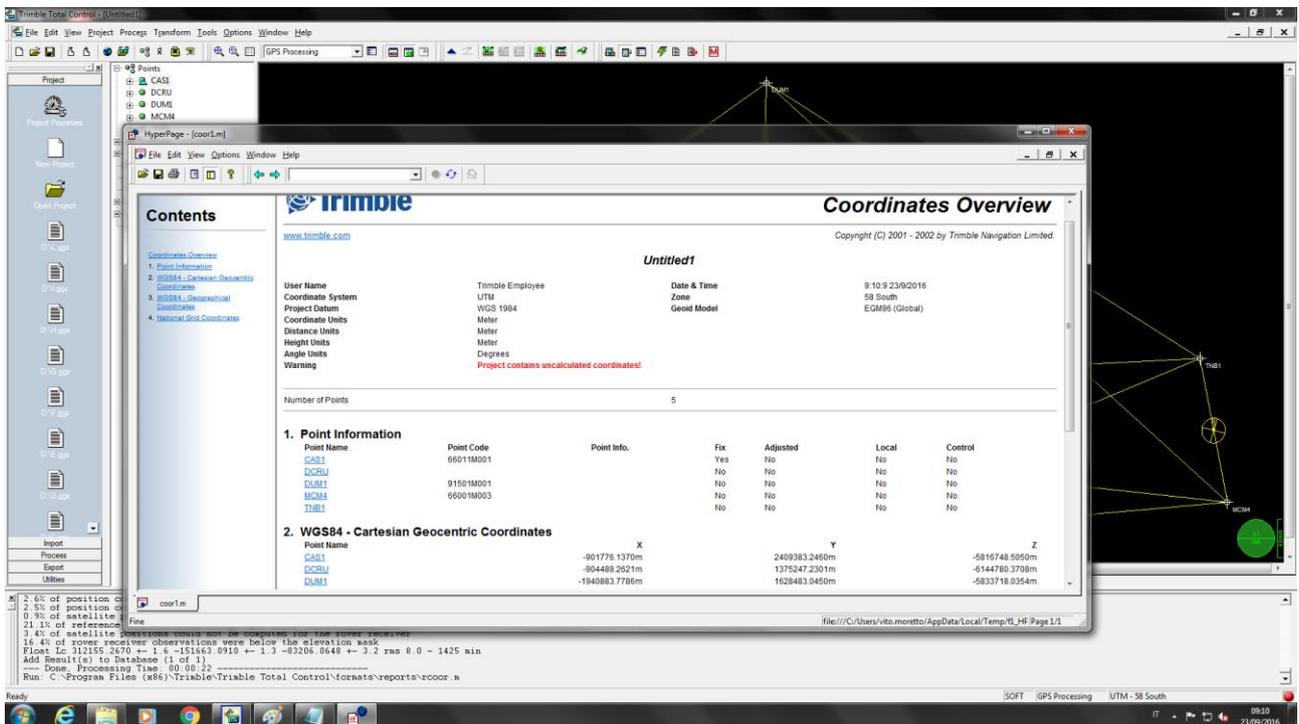


Figura 36 - Acquisizione finale delle coordinate.

4.2.2 Software scientifico: *BERNESE v5.2 (BSW52)*

Questo tipo di software scientifico utilizza una stima ai minimi quadrati dei tre parametri di traslazione. Il procedimento di calcolo non viene analizzato nel dettaglio, ma i risultati ottenuti sono utilizzati quali termini di confronto di quanto ottenuto con TTC al fine di confrontare ripetibilità e accuratezza delle misure. Di seguito alcune immagini che rappresentano alcuni passaggi del procedimento di calcolo con **BSW52**.

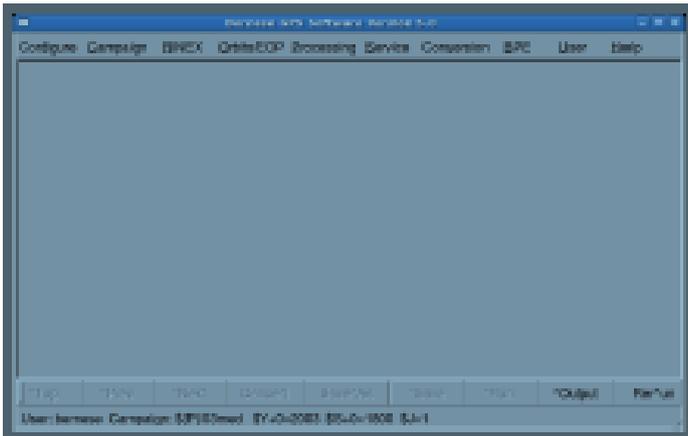


Figura 37- schermata principale.

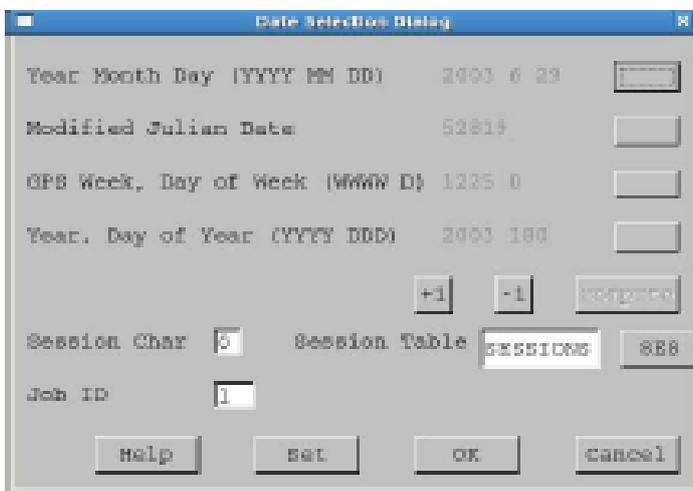


Figura 38 - Finestra di conversione giorni Giuliani / Settimane GPS.

4.3 Valutazione della ripetibilità ed accuratezza delle misure

Dopo aver analizzato i software utilizzati, si è quindi passati al calcolo delle coordinate delle stazioni definite nel cap. 4.1, al fine di valutarne la ripetibilità e l'accuratezza. La ripetibilità, è un tipo di precisione che consiste nella capacità di ripetere un'osservazione (o misura) senza discostarsi molto dalla precedente ed è un'entità misurabile.

L'accuratezza invece, è la capacità di un'osservazione (o misura) di avvicinarsi al valore reale della grandezza ricercata. Si può stimare.

Dopo aver eseguito il calcolo delle coordinate relative a 7 giorni di acquisizione dati, possiamo andare a confrontare i risultati per ogni stazione.

4.3.1 Stazione IGS MCM4

GG	TTC	BERNESE
101	1311703,097	1311703,074
102	1311703,095	1311703,073
103	1311703,093	1311703,074
104	1311703,087	1311703,072
105	1311703,093	1311703,071
106	1311703,085	1311703,07
107	1311703,087	1311703,069

Tabella 2 - coordinate X (m).

GG	TTC	BERNESE
101	310814,747	310814,866
102	310814,754	310814,868
103	310814,754	310814,867
104	310814,752	310814,865
105	310814,761	310814,868
106	310814,750	310814,866
107	310814,768	310814,868

Tabella 3 - Coordinate Y (m).

GG	TTC	BERNESE
101	6213255,065	6213255,138
102	6213255,073	6213255,145
103	6213255,084	6213255,145
104	6213255,06	6213255,138
105	6213255,077	6213255,134
106	6213255,052	6213255,135
107	6213255,089	6213255,14

Tabella 4 - Coordinate Z (m).

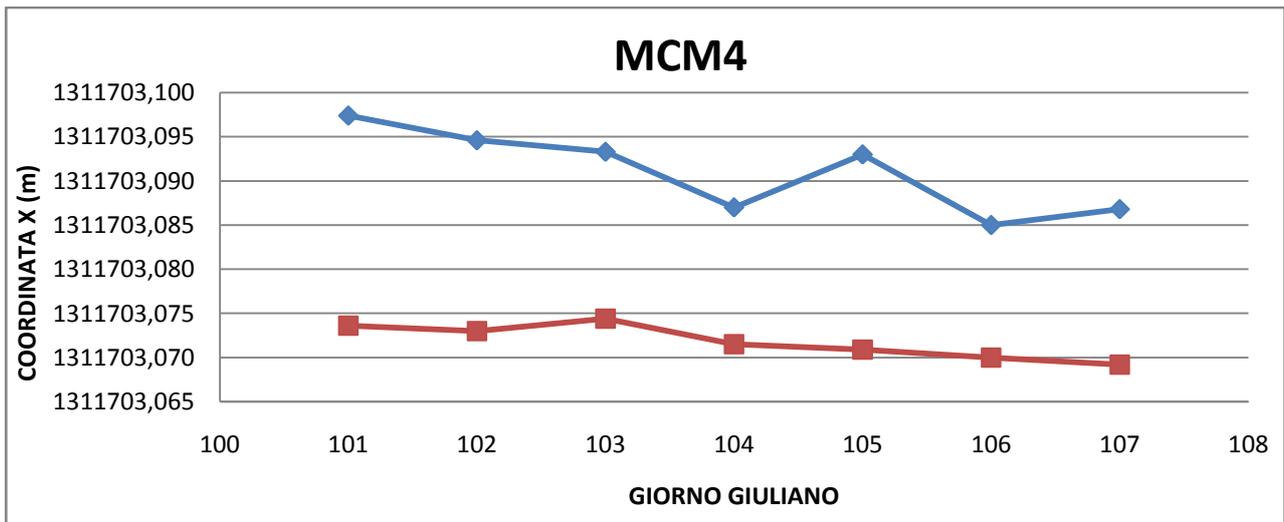


Figura 42 - Grafico comparazione coordinate X TTC (blu) – BERNESE (rosso).

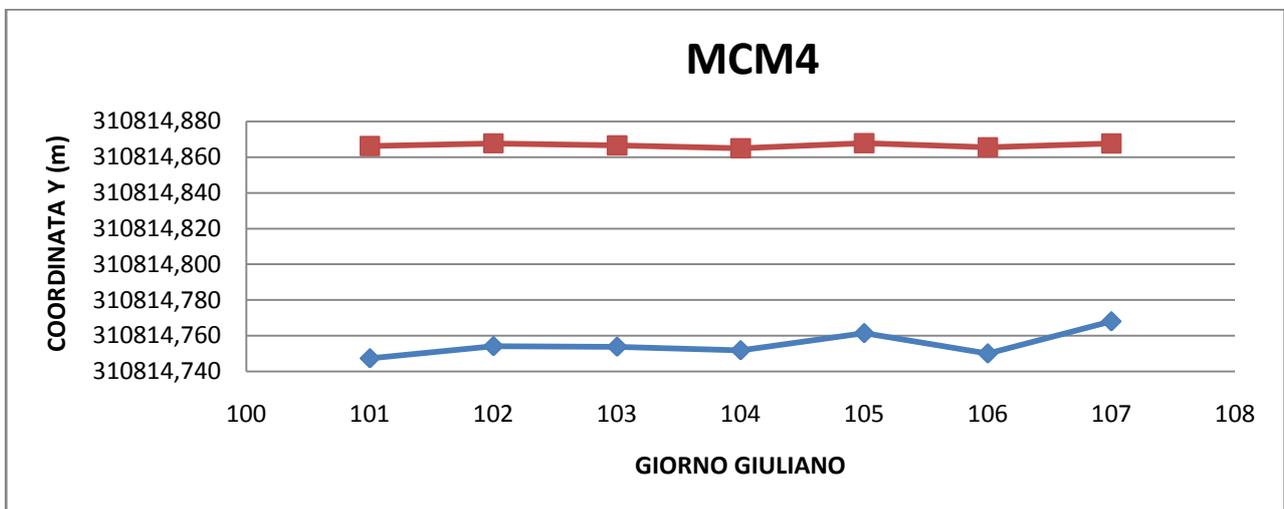


Figura 43 - Grafico comparazione coordinate Y TTC (blu) – BERNESE (rosso).

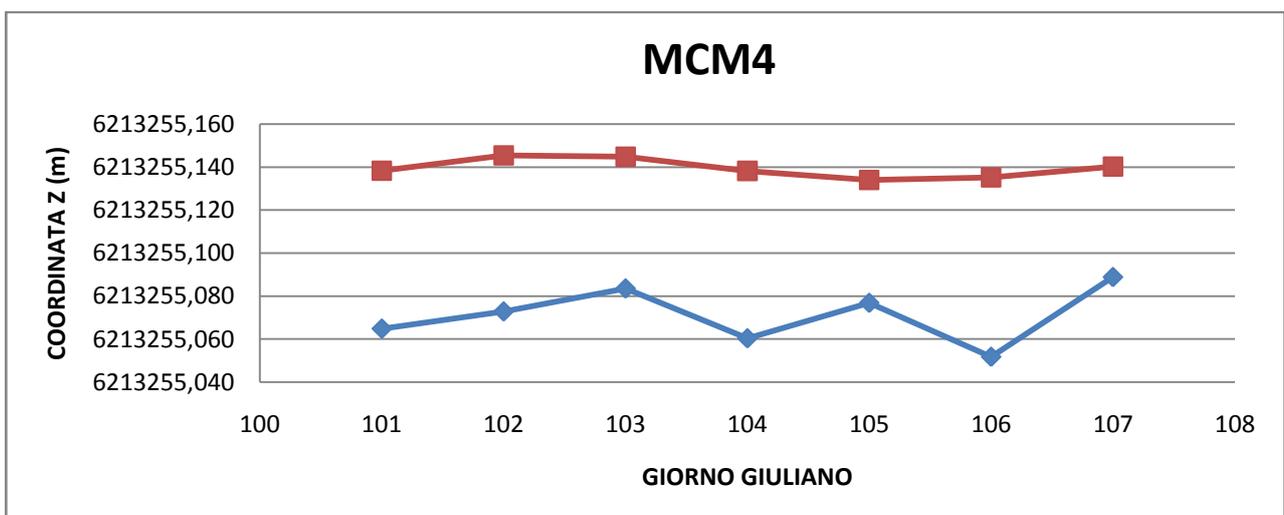


Figura 44 - Grafico comparazione coordinate Z TTC (blu) – BERNESE (rosso).

	TTC			BERNESE		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
min	1311703,085	310814,7473	6213255,052	1311703,069	310814,8649	6213255,134
max	1311703,097	310814,768	6213255,089	1311703,074	310814,8678	6213255,145
media	1311703,091	310814,7552	6213255,071	1311703,072	310814,8666	6213255,139
ds	0,005	0,007	0,013	0,002	0,001	0,004

Tabella 5 - Minimo, massimo, media e deviazione standard di tutte le coordinate di MCM4.

ITRF			TTC			BERNESE		
X [m]	Y [m]	Z [m]	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
1311703,066	310814,867	6213255,115	-0,025	0,112	0,044	-0,006	0,000	-0,024
			0,044			-0,010		

Tabella 6 - Differenza tra coordinate TTC/BERNESE – coordinate ITRF, valutazione accuratezza.

Dai grafici delle Figg. 42, 43 e 44 si può notare come tra le due linee ci sia una differenza massima fra tutti e tre di 10 cm.

Inoltre, dalla tabella 5 si può vedere come la ripetibilità sia al mm, con una deviazione standard massima di 13 mm per TTC e di 4 mm per BERNESE. Questo ci consente di dire che le misure sono estremamente precise, trattandosi di distanze tra le varie stazioni di migliaia di km.

Dopo aver valutato la precisione, si può studiare l'accuratezza tramite la tabella 6. Facendo la differenza tra i valori medi delle coordinate di TTC e BERNESE con le coordinate derivate dall'ITRF2008, osserviamo come la differenza sia di 44mm per TTC e 10mm per BERNESE.

In questo caso si può dire che la differenza tra i 2 software è dovuta ad un errore di tipo "grossolano", molto frequente nell'applicazione GPS, dovuto all'errata definizione del ricevitore e del tipo di antenna. Infatti, per la stazione MCM4 il ricevitore risulterebbe essere ASHTECH UZ-12 e l'antenna AOAD/M_T + JPLA. Invece, nel programma, vista l'assenza di questi ultimi dati, è stata inserita un'antenna di tipo ASHTECH L1/L2 [A-B].

4.3.2 Stazione IGS DUM1

GG	TTC	BERNESE
101	1940883,779	1940883,748
102	1940883,777	1940883,745
103	1940883,779	1940883,746
104	1940883,776	1940883,744
105	1940883,771	1940883,742
106	1940883,773	1940883,743
107	1940883,770	1940883,742

Tabella 7 - coordinate X(m).

GG	TTC	BERNESE
101	1628483,045	1628483,100
102	1628483,046	1628483,100
103	1628483,047	1628483,101
104	1628483,040	1628483,098
105	1628483,047	1628483,097
106	1628483,032	1628483,097
107	1628483,047	1628483,098

Tabella 8 - Coordinate Y(m).

GG	TTC	BERNESE
101	5833718,035	5833718,099
102	5833718,045	5833718,102
103	5833718,054	5833718,099
104	5833718,041	5833718,100
105	5833718,044	5833718,095
106	5833718,039	5833718,099
107	5833718,062	5833718,107

Tabella 9- Coordinate Z(m).

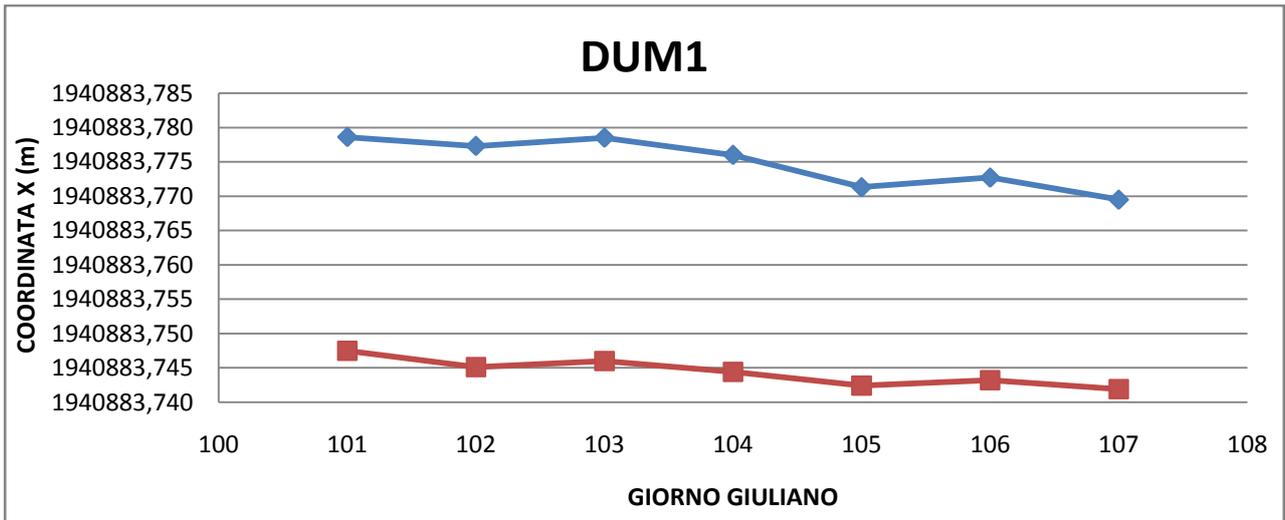


Figura 45 - Grafico comparazione coordinate X TTC (blu) – BERNESE (rosso).

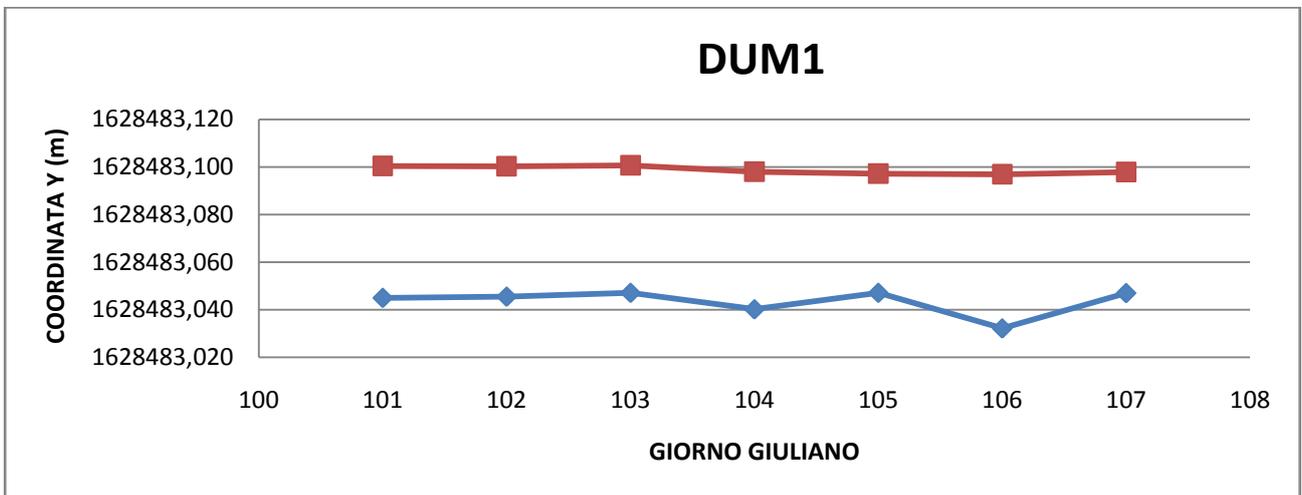


Figura 46 - Grafico comparazione coordinate Y TTC (blu) – BERNESE (rosso).

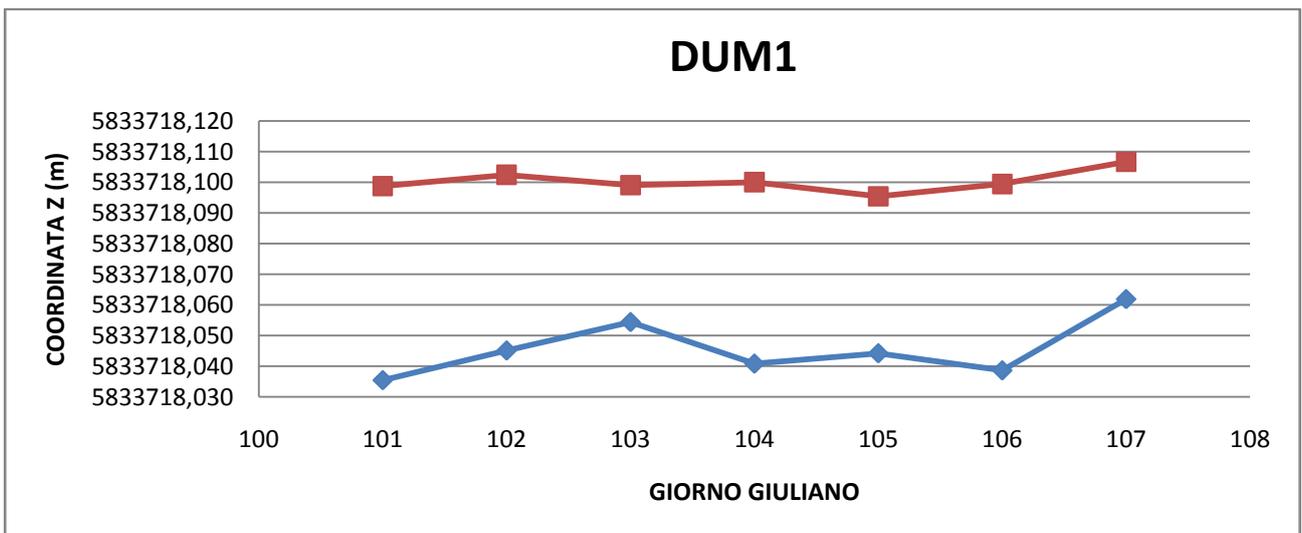


Figura 47 - Grafico comparazione coordinate Z TTC (blu) – BERNESE (rosso)..

	TTC			BERNESE		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
min	1940883,770	1628483,032	5833718,035	1940883,742	1628483,097	5833718,095
max	1940883,779	1628483,047	5833718,062	1940883,748	1628483,101	5833718,107
media	1940883,775	1628483,043	5833718,046	1940883,744	1628483,099	5833718,100
ds	0,004	0,006	0,009	0,002	0,002	0,003

Tabella 10 – Minimo, massimo, media e deviazione standard di tutte le coordinate di DUM1.

ITRF			TTC			BERNESE		
X [m]	Y [m]	Z [m]	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
1940883,747	1628483,101	5833718,112	-0,028	0,058	0,066	0,003	0,002	0,012
			0,032			0,006		

Tabella 11: Differenza tra coordinate TTC/BERNESE – coordinate ITRF. Valutazione accuratezza.

Dai grafici delle Figg. 45, 46 e 47 si può notare come tra le due linee ci sia una differenza massima fra tutti e tre di 7,5cm.

Inoltre, dalla tabella 10 si può vedere come la ripetibilità sia al mm, con una deviazione standard massima di 9mm per TTC e di 3mm per BERNESE. Questo ci consente di dire, come prima, che anche per DUM1 le misure sono estremamente precise, trattandosi di distanze tra le varie stazioni di migliaia di km.

Dopo aver valutato la precisione, si può studiare l'accuratezza tramite la tabella 11. Facendo la differenza tra i valori medi delle coordinate di TTC e BERNESE con le coordinate derivate dall'ITRF2008, osserviamo come la differenza sia di 32 mm per TTC e 6mm per BERNESE.

In questo caso si può dire che la differenza tra i 2 software potrebbe essere dovuta ad errori di tipo sistematici, quali errori d'orbita o rifrazione troposferica. Gli errori d'orbita avvengono quando si utilizzano effemeridi precise affette da errori di qualche centimetro. La rifrazione troposferica invece porta ad un allungamento del tragitto tra il satellite ed il ricevitore.

4.3.3 Stazione permanente italiana DCRU (Dome Concordia, Rumoroso)

GG	TTC	BERNESE
101	904489,262	904489,255
102	904489,262	904489,254
103	904489,253	904489,254
104	904489,266	904489,254
105	904489,256	904489,253
106	904489,254	904489,254
107	904489,250	904489,254

Tabella 12 - coordinate X(m).

GG	TTC	BERNESE
101	1375247,230	1375247,296
102	1375247,239	1375247,296
103	1375247,244	1375247,295
104	1375247,237	1375247,293
105	1375247,242	1375247,294
106	1375247,234	1375247,292
107	1375247,247	1375247,294

Tabella 13 - coordinate Y(m).

GG	TTC	BERNESE
101	6144780,371	6144780,377
102	6144780,380	6144780,379
103	6144780,372	6144780,377
104	6144780,392	6144780,377
105	6144780,369	6144780,368
106	6144780,372	6144780,372
107	6144780,388	6144780,381

Tabella 14 - coordinate Z(m).

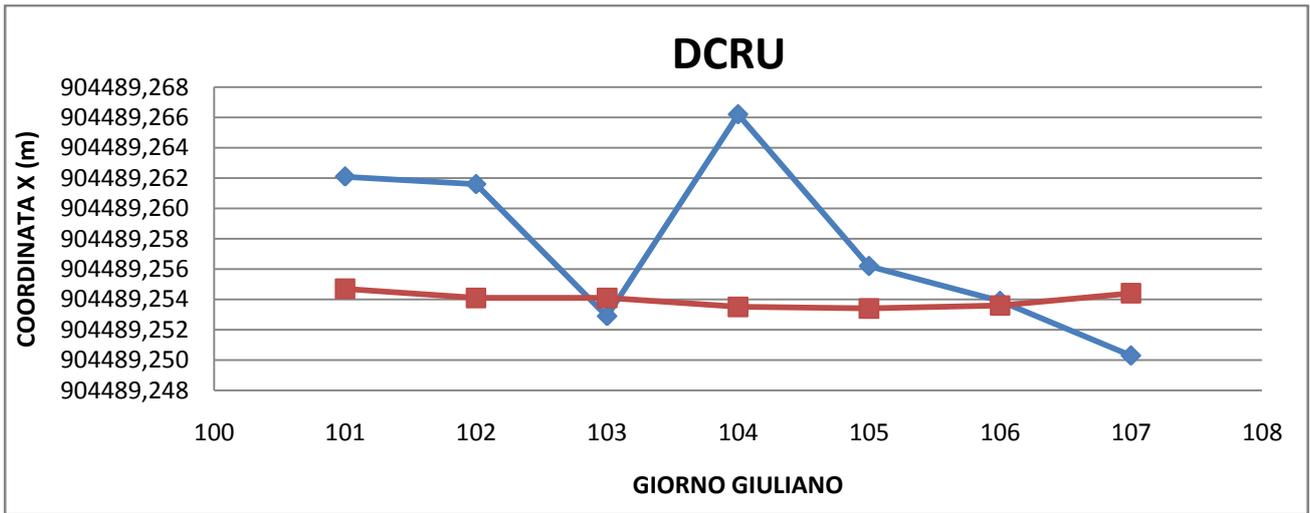


Figura 48 - Grafico comparazione coordinate X TTC (blu) – BERNESE (rosso).

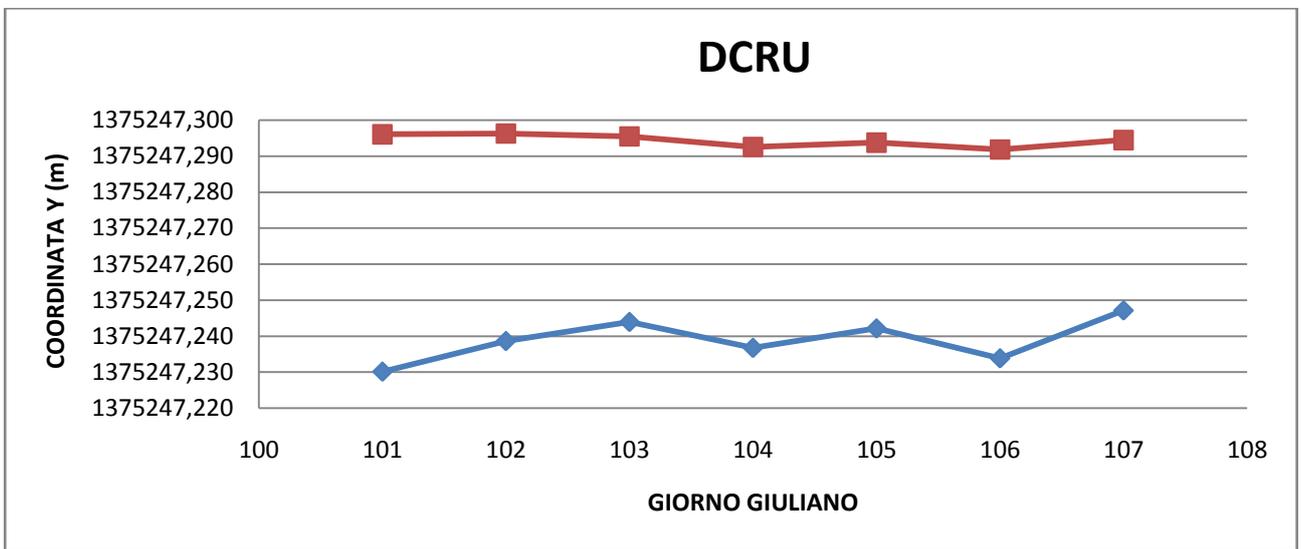


Figura 49 - Grafico comparazione coordinate Y TTC (blu) – BERNESE (rosso).

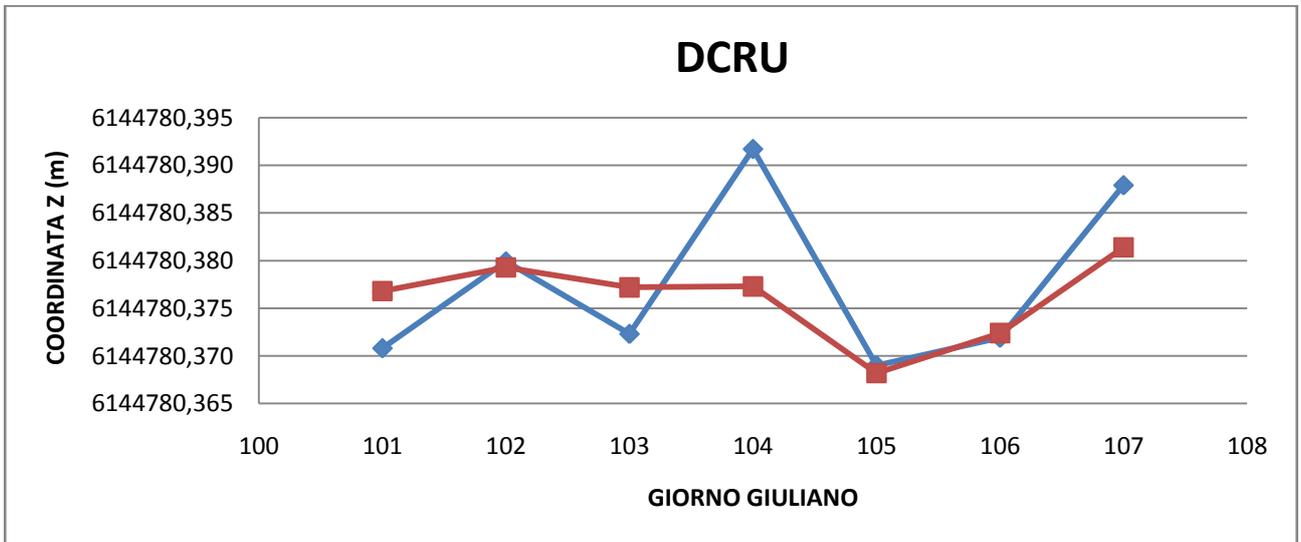


Figura 50 - Grafico comparazione coordinate Z TTC (blu) – BERNESE (rosso).

	TTC			BERNESE		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
min	904489,250	1375247,230	6144780,369	904489,253	1375247,292	6144780,368
max	904489,266	1375247,247	6144780,392	904489,255	1375247,296	6144780,381
media	904489,258	1375247,239	6144780,378	904489,254	1375247,294	6144780,376
ds	0,006	0,006	0,009	0,000	0,002	0,004

Tabella 15: Minimo, massimo, media e deviazione standard di tutte le coordinate di DCRU.

Dai grafici delle Figg. 48, 49 e 5046 si può notare come tra le due linee ci sia una differenza massima fra tutti e tre di 7cm.

Inoltre dalla tabella 15 si può vedere come la ripetibilità sia al mm, con una deviazione standard massima di 9mm per TTC e di 4 mm per BERNESE. Questo ci consente di dire che le misure sono estremamente precise, trattandosi di distanze tra le varie stazioni di migliaia di km.

Inoltre si può aggiungere che in questo caso, come per MCM4, la differenza tra i 2 software è dovuta ad un tipo di errore detto “grossolano” molto frequente nell’applicazione GPS che è l’errata definizione del ricevitore e del tipo di antenna. Infatti per la stazione DCRU il ricevitore risulterebbe essere Topcon TPS NET-G3A e l’antenna choke-ring Topcon CR-G5 w/TPSH. Invece nel programma, vista l’assenza di questi ultimi dati, è stata inserita un’antenna di tipo TPS CR-G3 wTPSH.

4.3.4 Stazione permanente italiana TNB1 (Mario Zucchelli Station)

Nota: Le coordinate concernenti gli ultimi 3 giorni di acquisizione con il software BERNESE non sono disponibili.

GG	TTC	BERNESE
101	1623858,364	1623858,327
102	1623858,362	1623858,327
103	1623858,359	1623858,325
104	1623858,359	1623858,324
105	1623858,358	
106	1623858,354	
107	1623858,349	

Tabella 16 - coordinate X(m).

GG	TTC	BERNESE
101	462477,838	462477,942
102	462477,846	462477,941
103	462477,849	462477,939
104	462477,840	462477,942
105	462477,853	
106	462477,835	
107	462477,856	

Tabella 17 - coordinate Y(m).

GG	TTC	BERNESE
101	6130049,000	6130049,009
102	6130049,008	6130049,015
103	6130049,016	6130049,009
104	6130049,000	6130049,006
105	6130049,008	
106	6130048,989	
107	6130049,017	

Tabella 18 - coordinate Z(m).

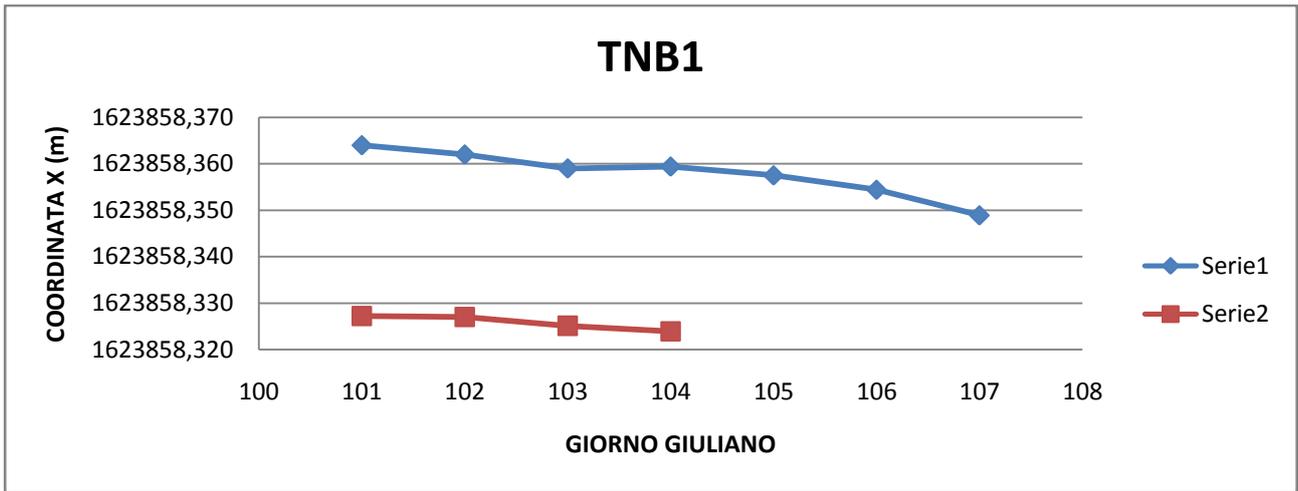


Figura 51 - Grafico comparazione coordinate X TTC (blu) – BERNESE (rosso).

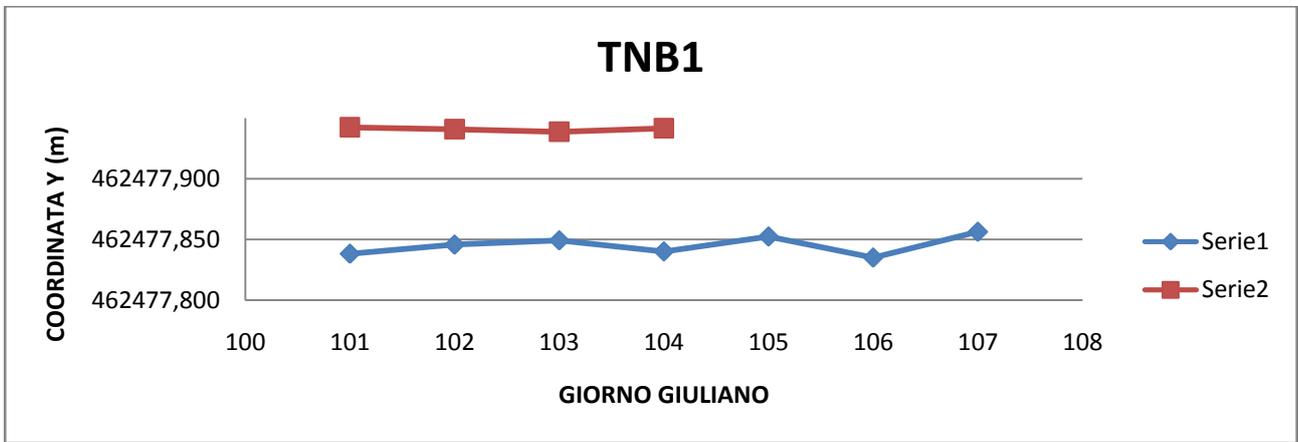


Figura 52 - Grafico comparazione coordinate Y TTC (blu) – BERNESE (rosso).

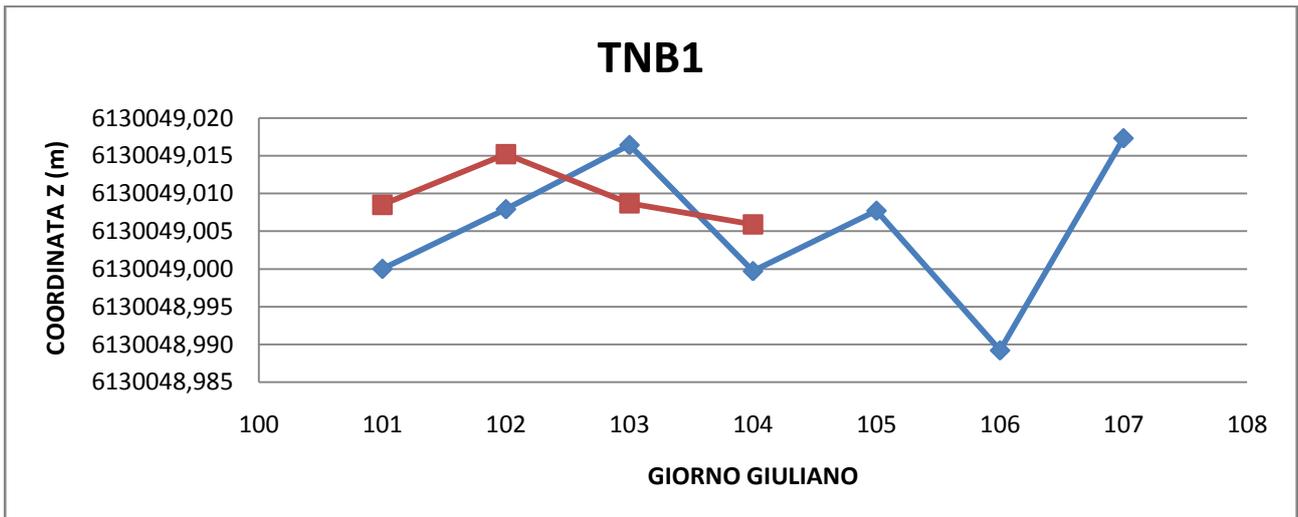


Figura 53 - Grafico comparazione coordinate Z TTC (blu) – BERNESE (rosso).

	TTC			BERNESE		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
min	1623858,349	462477,835	6130048,989	1623858,324	462477,939	6130049,006
max	1623858,364	462477,856	6130049,017	1623858,327	462477,942	6130049,015
media	1623858,358	462477,845	6130049,005	1623858,326	462477,941	6130049,010
ds	0,005	0,008	0,010	0,002	0,002	0,004

Tabella 19 - Minimo, massimo, media e deviazione standard di tutte le coordinate di TNBI.

Dai grafici delle Figg. 51, 52 e 53 si può notare come tra le due linee ci sia una differenza massima fra tutti e tre di 10cm.

Inoltre, dalla tabella 19 si può vedere come la ripetibilità sia al mm, con una deviazione standard massima di 10mm per TTC e di 4 mm per BERNESE. Questo ci consente di dire che le misure sono estremamente precise, trattandosi di distanze tra le varie stazioni di migliaia di km.

Anche in questo caso, come per DUM1, la differenza di precisione tra i 2 software può essere attribuita a vari errori sistematici (errori di orologio, errori d'orbita, rifrazione troposferica) o errori di osservazione (multipath, elettronica del ricevitore, interferenze elettromagnetiche, variazione della posizione del centro di fase dell'antenna).

4.3.5 Discussione

Dai risultati ottenuti si può vedere come i due software abbiano dato misure molto precise e accurate, considerando il luogo ostile a questo tipo di rilevamento (GPS) essendo l'inclinazione delle orbite molto bassa. Per quanto riguarda gli errori si è visto come siano poco influenti sull'accuratezza, soprattutto quelli sistematici. Maggior peso ha l'errore grossolano riscontrato nelle stazioni DCRU e MCM4, ma anche questo, considerando le distanze tra le varie stazioni, ha portato ad errori largamente accettabili.

CONCLUSIONI

Le osservazioni GNSS in Antartide presentano delle caratteristiche peculiari che richiedono strategie di calcolo sofisticate che sono implementate nel software scientifico Bernese, le cui soluzioni sono caratterizzate da ottima ripetibilità e accuratezza. La natura stessa delle orbite dei satelliti fa in modo che in Antartide siano visibili molti satelliti con basse inclinazioni. Questo comporta che il segnale GPS in Antartide venga sensibilmente influenzato dall'attraversamento dell'atmosfera. La Ionosfera inoltre degrada in maniera differenziale le due portanti L1 ed L2 introducendo frequenti salti di ciclo eliminabili con procedure di calcolo mirate.

Nonostante queste difficoltà legate all'analisi dei dati GNSS acquisiti in Antartide, si è constatato che entrambi i software utilizzati hanno fornito soluzioni accurate considerando l'interdistanza tra le stazioni e la posizione della rete di stazioni GNSS calcolata.

Si è constatato però che l'influenza di un "semplice" errore come l'errata definizione della tipologia dell'antenna, può portare a variazioni importanti nell'accuratezza delle misure pur non alterando i valori di ripetibilità.

Questo evidenzia la delicatezza delle procedure di analisi dei dati GNSS specialmente in zone particolari come quella analizzata nella presente tesi.

Per quanto riguarda la parte prettamente descrittiva, si è potuto apprezzare come una terra realmente desertica e inospitale, possa dar luogo a ricerche e studi molto interessanti come quelli condotti nell'ambito del Progetto Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA).

BIBLIOGRAFIA

Pagine web

<http://www.fabant.it/?tag=stazione-mario-zucchelli>

<http://www.geodant.unimo.it/TecnicheAnalisi.asp>

<http://www.pnra.it/>

<https://it.wikipedia.org/>

<http://avventurarduino.blogspot.it/2015/10/gnss-gps-arduino.html>

http://host154-194-static.207-37-b.business.telecomitalia.it/reti_geodetiche.php

<http://www.treccani.it/enciclopedia/antartide/>

<http://www.alphabeto.it/continenti/antartide/esplorazioni.htm>

<http://www.geomatica.unimore.it/site/home/antartide/osservatorio-geodetico.html>

Letteratura

Zanutta A., (2005) - *Il rilievo topografico*, dispense di lezione, Università degli Studi di Bologna, Corso di laurea in Ingegneria Edile, 176.

Radicioni F., (2008-2009) - *Datum e coordinate nella geodesia*, dispense di lezione, Università degli Studi di Perugia, Facoltà di Ingegneria, 44.

Ponzo U, Lori A, (2011) - *Descrizione della stazione Mario Zucchelli*, ENEA, 41.

Zanetti F., (2007) - *Indagine delle proprietà statistiche di serie temporali di posizione applicata al caso della stazione permanente GPS della base Mario Zucchelli in Terra Vittoria (Antartide)*, 209.

Bernat P., Ossola C., *Il Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA)*, MNA.

Stoppini A., (2009) - *Il servizio di posizionamento con le reti GNSS*, 54.

Martelli L., (2008) - *Studio di movimenti recenti presso l'osservatorio VLBI di Medicina (BO) tramite misure di livellazione geometrica e GPS*. Tesi di Laurea in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Bologna, AA 2008/09, Rel. Prof. Luca Vittuari.