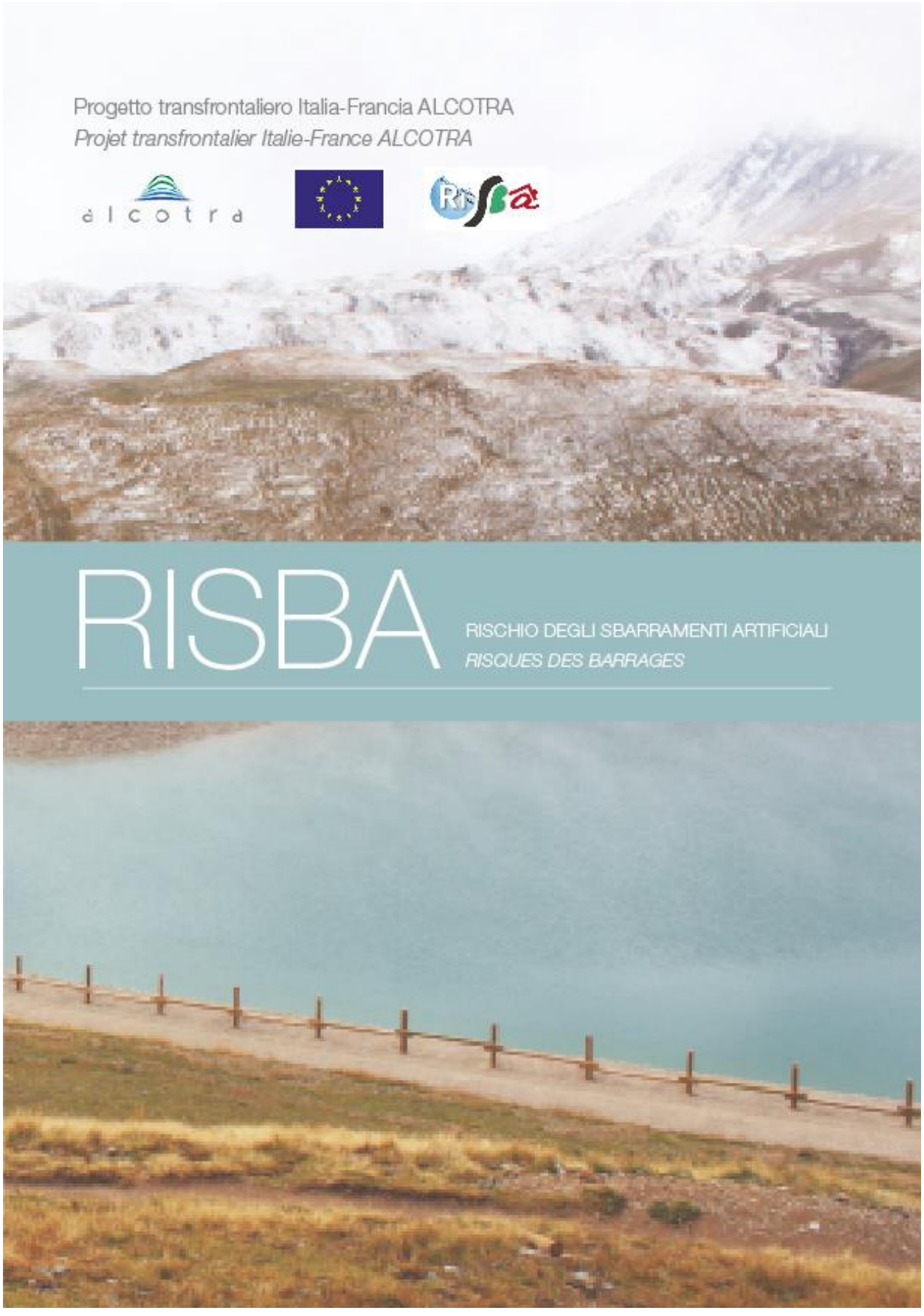
REPORT FINALE Az. 2.4B / *RAPPORT FINAL Act. 2.4B*



Analisi CRInSAR

Marco Bianchi, Andrea Tamburini (TRE S.r.l.)

1 Introduzione

Il presente rapporto illustra i risultati finali dell'analisi dei dati satellitari acquisiti nell'ambito del Progetto RISBA, che ha come scopo la misura, mediante impiego di riflettori artificiali, di eventuali spostamenti dei rilevati che delimitano quattro bacini idrici per l'innevamento utilizzando la tecnica interferometrica satellitare.

Sono stati utilizzati i dati dei satelliti della costellazione COSMO-SkyMed acquisiti nell'ambito del programma "Map Italy" di ASI (Agenzia Spaziale Italiana), finalizzato a garantire la copertura dell'intero territorio nazionale con cadenza di acquisizione a 16 giorni.

L'elaborazione eseguita ha utilizzato tutti i dati disponibili nel 2014, vale a dire un numero di immagini variabile da un minimo di 8 ad un massimo di 19 per ciascuna geometria; tale numero varia in funzione della copertura di ciascuna area e della data di installazione dei riflettori.

Il presente documento è impostato come segue:

- il paragrafo 2 descrive brevemente la tecnica di misura utilizzata;
- nel paragrafo 3 viene riportato un inquadramento dell'area di studio, con l'elenco dei dati utilizzati per l'elaborazione ed una descrizione degli elaborati forniti;
- nel paragrafo 4 vengono esposti e commentati i risultati ottenuti;
- nel paragrafo 5 vengono riportate alcune considerazioni conclusive.

2 CRInSAR: analisi interferometrica di riflettori artificiali (Corner Reflector)

L'utilizzo dei riflettori artificiali ha come obiettivo la misura dello spostamento degli stessi relativamente ad uno scelto come punto di riferimento, elaborando tutte le immagini disponibili successive all'installazione dei dispositivi.

Nel progetto in analisi, su ogni sbarramento, sono stati installati a tal proposito due riflettori più un terzo posto a distanza da utilizzare come punto di riferimento.

Nei seguenti paragrafi si darà illustrazione della metodologia utilizzata per l'analisi dei dati e la produzione dei risultati.

2.1 I dati SAR: co-registrazione

Ciascuna acquisizione satellitare è assimilabile ad una matrice di pixel. Per ciascuno di essi è disponibile un valore complesso che corrisponde all'eco del segnale trasmetto dal satellite verso Terra e che viene retrodiffuso verso il satellite. Il segnale complesso è quindi scomponibile nella sua componente di ampiezza, proporzionale alla riflettività degli oggetti colpiti dal segnale, e dalla sua componente di fase che verrà utilizzata per l'analisi interferometrica del moto.

Tutte le acquisizioni SAR disponibili devono essere innanzitutto co-registrate su una griglia comune, così da essere sicuri che – in ogni scena – il medesimo pixel corrisponda al punto a terra in analisi.

Fatta questa operazione è possibile estrarre, in corrispondenza dei pixel identificati come corrispondenti ai riflettori artificiali installati, il vettore dei valori di fase e il vettore dei valori di ampiezza.

I dati vengono rigorosamente analizzati in coordinate SAR, ovvero secondo il punto di vista del satellite, al fine di mantenere invariata la risoluzione del pixel. Nel caso in esame, i dati COSMO-SkyMed sono in modalità Strip Map e hanno una cella di risoluzione pari a 3x3 metri nella direzione di Azimuth (direzione di volo del satellite) e nella direzione di Range (direzione di vista del satellite).

2.2 Analisi delle ampiezze

I dati COSMO-SkyMed - acquisiti tramite il progetto ASI denominato Map Italy - sono stati in primo luogo utilizzati per effettuare la verifica della visibilità dei riflettori confrontando il vettore dei valori di ampiezza (riflettività) precedenti all'installazione con quelli successivi all'installazione. Questa procedura consente di identificare i pixel corrispondenti ai riflettori artificiali su cui verrà focalizzata l'attenzione durante l'analisi interferometrica.

2.3 Analisi delle fasi

Al fine di calcolare lo spostamento medio degli AR rispetto al punto di riferimento si utilizzando tutte le acquisizioni SAR acquisite sull'area di interesse successivamente alla data di installazione.

Ciascun valore di fase – ovvero il valore del pixel i-esimo in corrispondenza della acquisizione n-esima contiene diversi contributi, alcuni deterministici (che possono essere calcolati e rimossi), altri che sono fattori di rumore, ed infine quelli che sono relativi alle incognite che vogliamo calcolare, ovvero lo spostamento e la quota.

Il principio base dell'interferometria consiste nel creare dei valori differenziali delle fasi rispetto ad una data (riferimento temporale, solitamente indicato come immagine master) e rispetto ad un punto (nel nostro caso è il riflettore artificiale #3 identificato come punto di riferimento).

$$\Delta\Phi = \Phi_n - \Phi_m = \Phi_{spostamento} + \Phi_{quota} + \Phi_{atmosfera} + \Phi_{noise}$$

Il contributo di fase legato alla propagazione dell'onda elettromagnetica inviata dal satellite attraverso l'atmosfera deve essere rimosso, al fine di non inficiare in maniera rilevante l'analisi e il risultato ottenuto.

A questo fine risulta vantaggiosa l'approssimazione secondo cui il valore di fase legato al contributo atmosferico di un dato pixel sia in prima approssimazione uguale a quello dei pixel adiacenti: le perturbazioni atmosferiche hanno infatti un comportamento correlato nello spazio tale per cui nel raggio di alcune centinaia di metri possono essere considerate costanti.

Grazie a questa assunzione possiamo dunque calcolare la differenza tra i valori $\Delta\Phi$ calcolati in corrispondenza dei riflettori artificiali 1 e 2 installati sullo sbarramento rispetto a quelli del riflettore 3 scelto come riferimento. In questa operazione di sottrazione il contributo atmosferico andrà ad annullarsi. Tanto più questa approssimazione risulta reale (punti molto vicini tra loro) tanto meno rumoroso sarà il risultato.

Il vettore differenze risulterà quindi ora:

$$\Delta\Phi_{1\text{-}3} = \Delta\Phi_{AR1} - \Delta\Phi_{AR3} = \Delta\Phi_{spostamento} + \Delta\Phi_{quota} + \Phi_{noise}$$

Da notare che tale vettore rappresenta – nel tempo, ovvero lungo il dataset delle immagini satellitari a disposizione – la variazione di posizione lungo la Line of Sight del satellite (LOS) e la differenza di quota.

In fase di installazione dei riflettori artificiali, la campagna GPS effettuata in modalità statica di fase, ha permesso il calcolo con precisione centimetrica delle quote dei dispositivi. Grazie alla disponibilità di questi numeri è pertanto possibile eliminare una delle due incognite (ovvero $\Delta\Phi_{quota}$) e misurare così il valore relativo allo spostamento.

Con questa metodologia abbiamo così ottenuto, per ciascuna area di interesse e per ciascuna geometria (ascendente e discendente) le serie storiche di spostamento dei riflettori AR1 e AR2 rispetto al riflettore AR3 utilizzato, a meno del rumore.

2.4 Scomposizione del moto

Come detto nel precedente paragrafo, la metodologia nota in letteratura come CRInSAR è stata applicata sia al dataset ascendente che a quello discendente, al fine di ottenere le misure di spostamento lungo la LOS (line of sight) relativamente al punto scelto come riferimento.

Il fatto che i riflettori installati siano visibili sia in geometria ascendente che in quella discendente corrispondendo materialmente al medesimo punto, permette – senza alcuna approssimazione spaziale – di effettuare per ciascun AR la scomposizione delle fasi ascendenti e discendenti in quelle verticale (direzione Z) e orizzontale (direzione di Easting).

Questa operazione è possibile (risoluzione di sistema di 2 equazioni in 2 incognite) sotto l'ipotesi che la componente del moto in direzione Nord-Sud sia trascurabile. Questo è un limite intrinseco del sistema di acquisizione, in quanto la componente di moto Nord-Sud risulterebbe – anche in presenza di una terza geometria – fortemente sottostimata dato che la direzione di vista del sensore SAR è quasi ortogonale alla direzione Nord-Sud (il satellite viaggia lungo orbite quasi-polari con antenna orientata ortogonalmente rispetto alla direzione di volo) ed è quindi poco sensibili a variazioni in questa direzione.

3 Modalità di esecuzione dell'analisi

3.1 Aree di interesse

Le aree di interesse dello studio sono rappresentate da quattro bacini idrici per l'innevamento artificiale, e più precisamente:

1. Nouva, nel comune di Gressan
2. Weissmatten, nel comune di Gressoney-Saint-Jean
3. Cime Bianche, nel comune di Ayas
4. Gran Testa nel comune di LaThuile

la cui ubicazione è rappresentata in Figura 1.

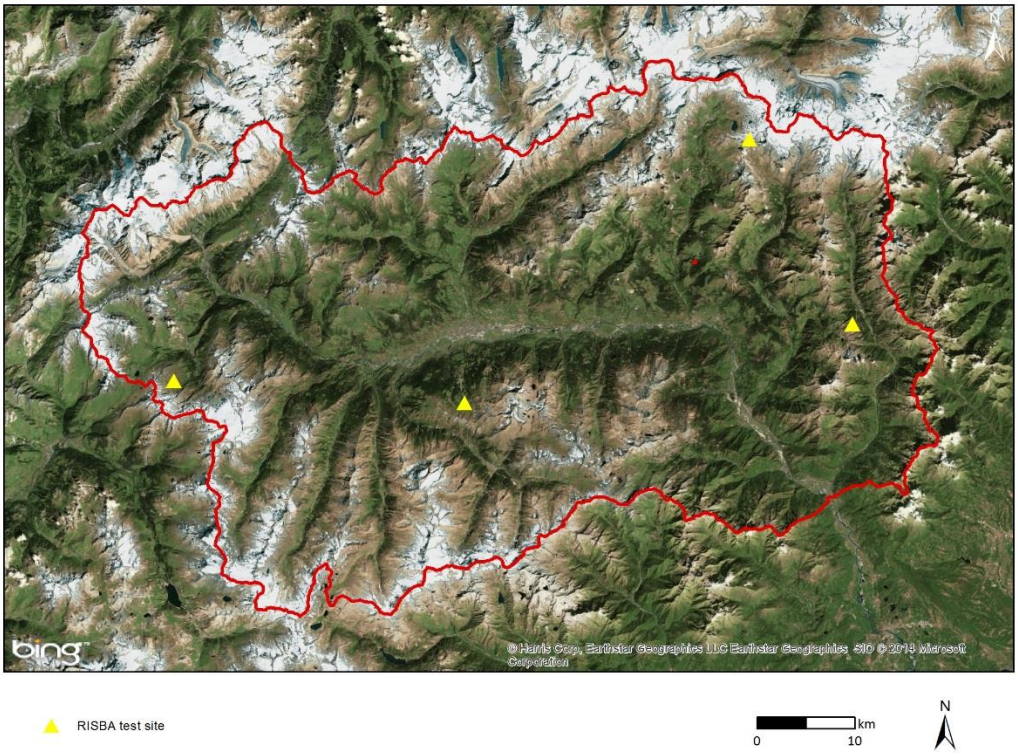


Figura 1 – Ubicazione delle aree di studio (triangoli gialli) del Progetto RISBA.

In ciascuna delle aree sopra elencate sono stati installati tre riflettori artificiali (Figura 2 e Figura 3) per il monitoraggio degli eventuali spostamenti della cresta del rilevato che delimita ciascun bacino. Due dei riflettori sono posti sul coronamento dello sbarramento, il terzo è ubicato in posizione esterna all'area di studio con funzione di punto di riferimento al quale sono riferiti gli eventuali movimenti misurati.

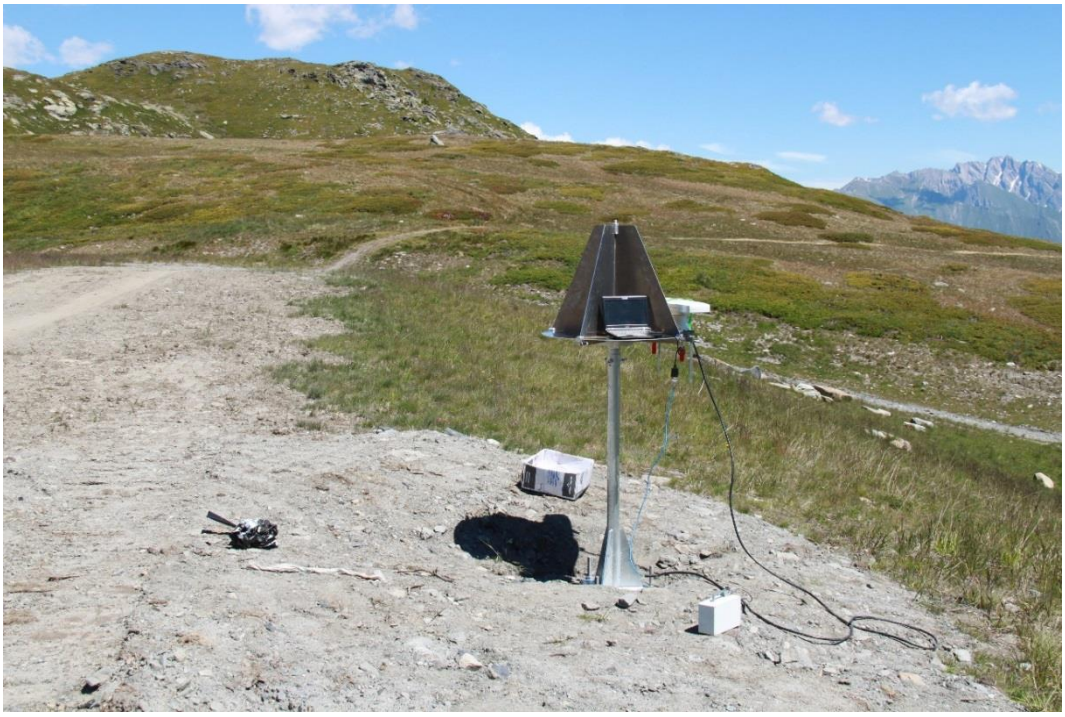


Figura 2 – Vista di un riflettore artificiale senza copertura, ripreso durante la fase di orientamento (Gran Testa).



Figura 3 – Vista di un riflettore artificiale con copertura (Gran Testa).

Le aree di studio sono tutte ubicate a quote superiori ai 2000 metri, e pertanto sono innevate per parte dell'anno. L'innevamento è con ogni probabilità responsabile della caduta dei valori di ampiezza che è stata riscontrata su alcune delle immagini elaborate, che è responsabile della rumorosità delle serie storiche di spostamento ottenute da questa prima analisi, come si vedrà nel seguito.

I riflettori artificiali sui bacini di Nouva, Weissmatten e Cime Bianche sono stati installati alla fine dello scorso anno, ed orientati il 15 e 16 gennaio 2014, diventando quindi operativi a partire da tale data.
I riflettori del bacino della Gran Testa sono stati invece installati ed orientati il 16 luglio 2014, e pertanto i dati disponibili coprono solamente la seconda metà dell'anno.

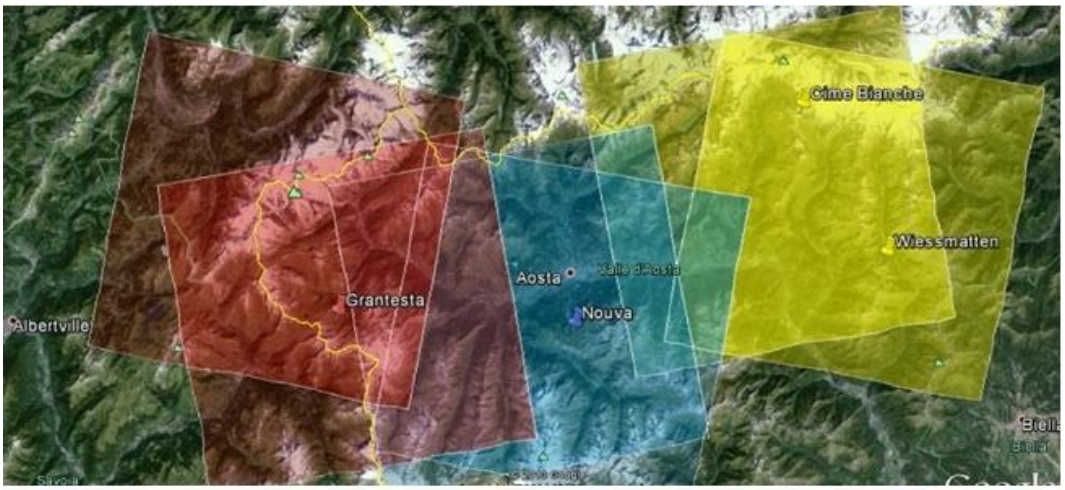
3.2 Immagini utilizzate

Le immagini utilizzate per la presente analisi sono state acquisite dal satellite COSMO-SkyMed nell'ambito del programma "Map Italy". In base agli accordi contrattuali, la pianificazione e l'approvvigionamento delle immagini sono stati garantiti dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta.
In Tabella 1 viene riportato l'elenco dei dataset elaborati, con indicazione dell'area coperta, del numero di immagini disponibili e del relativo intervallo temporale coperto.

Dataset	Sat/Geometria	# immagini	Periodo
1 Cime Bianche, Weissmatten	CSK/ascendente	17	26/01/14 - 28/12/14
2 Nouva	CSK/ascendente	19	18/01/14 – 20/12/14
3 Gran Testa	CSK/ascendente	11	16/07/14 – 08/01/15
4 Cime Bianche, Weissmatten	CSK/discendente	16	18/01/14 – 02/11/14
5 Nouva	CSK/discendente	18	26/01/14 – 28/12/14
6 Gran Testa	CSK/discendente	8	15/08/14 – 24/12/14

Tabella 1 – elenco dei dataset elaborati

In Figura 4 viene rappresentata la copertura delle immagini satellitari utilizzate con riferimento all'ubicazione delle aree di studio. Vengono inoltre riportate alcune informazioni relative al satellite utilizzato in ciascuna area, alla track ed alla modalità di acquisizione.



AOI	CONSTELLATION	GEOMETRIA	SAT	MODE	TRACK
Nouva	COSMO-SkyMed	ascending	sar1	H4-01	2
		descending	sar1	H4-03	128
Weissmatten Cime Bianche	COSMO-SkyMed	ascending	sar2	H4-03	2
		descending	sar2	H4-01	128
Grantesta(*)	COSMO-SkyMed	ascending	sar2	H4-05	165
		descending	sar3	H4-04	128

Figura 4 – Copertura areale delle immagini satellitari utilizzate per lo studio ed informazioni generali sui dati utilizzati per lo studio.

3.3 Dati consegnati

Insieme alla presente Relazione Tecnica, sono consegnati i risultati dell'analisi in formato shapefile, uno per ognuno dei siti elaborati. I database associati contengono tutte le informazioni descritte in Tabella 2.

I dati sono consegnati in coordinate geografiche nel sistema di riferimento WGS84.

La lista completa dei dati consegnati è in Tabella 3. Tutti i dati elencati sono inviati al committente anche su supporto CD insieme alla presente Relazione Tecnica in formato cartaceo.

Campo	Descrizione
CODE	Codice identificativo del punto di misura.
HEIGHT	Quota del punto [m] calcolata rispetto all'ellissoide di riferimento WGS84.
H_STDEV	Deviazione standard del parametro di quota [m]; indice che misura il grado di dispersione attorno al valore di quota stimato.
VEL	Velocità media annua di spostamento [mm/anno] misurata lungo la linea di vista del sistema (LOS) e stimata sull'intero arco temporale in cui sono state acquisite le immagini; la velocità di ciascun punto è relativa al punto di riferimento.
V_STDEV	Deviazione standard del parametro velocità media annua [mm/anno]; indice che misura il grado di dispersione attorno al valore di velocità media annua.
COHERENCE	Parametro di qualità del dato PS, con valori compresi tra 0 e 1.
Daaaammgg	Per ogni punto sono forniti una serie di campi aggiuntivi pari al numero di immagini processate: le celle sottostanti ai campi indicati con "Daaaammgg" contengono per quella data acquisizione il valore di spostamento, espresso in mm, stimato rispetto alla prima immagine disponibile (che nel file si diversifica per riportare in ogni cella valori di spostamento uguale a 0.00 mm). I valori riportati in ciascuna riga, al di sotto dei campi "Daaaammgg", permettono di costruire la serie storica del punto di misura in considerazione.

Tabella 2 – Contenuti dei database associato allo shapefile consegnato per ogni area

Sito	Geometria	Nome file
Nouva	Ascendente	PILA_CSK_H401_A_T2_CRINSAR
	Discendente	PILA_CSK_H403_D_T128_CRINSAR
	Verticale	PILA_CSK_H401_A_H403_D_SCOMPOSTO-VERT
	Orizzontale E-W	PILA_CSK_H401_A_H403_D_SCOMPOSTO-EAST
Weissmatten	Ascendente	WEISSMATTEN_CSK_H403_A_T2_CRINSAR
	Discendente	WEISSMATTEN_CSK_H401_D_T128_CRINSAR
	Verticale	WEISSMATTEN_CSK_H401_D_H403_A_SCOMPOSTO-VERT
	Orizzontale E-W	WEISSMATTEN_CSK_H401_D_H403_A_SCOMPOSTO-EAST
Cime Bianche	Ascendente	CIMEBIANCHE_CSK_H403_A_T2_CRINSAR
	Discendente	CIMEBIANCHE_CSK_H401_D_T128_CRINSAR
	Verticale	CIMEBIANCHE_CSK_H401_D_H403_A_SCOMPOSTO-VERT
	Orizzontale E-W	CIMEBIANCHE_CSK_H401_D_H403_A_SCOMPOSTO-EAST
Gran Testa	Ascendente	LATHUILE_CSK_H405_A_T165_CRINSAR
	Discendente	LATHUILE_CSK_H404_D_T128_CRINSAR
	Verticale	LATHUILE_CSK_H404_D_H405_A_SCOMPOSTO-VERT
	Orizzontale E-W	LATHUILE_CSK_H404_D_H405_A_SCOMPOSTO-EAST

Tabella 3 – Lista completa degli shapefile consegnati per il presente aggiornamento

4 Risultati

Nei paragrafi che seguono, per ciascuna delle aree elaborate vengono presentati i risultati dell'analisi sulle immagini disponibili per tutto il 2014, comprendente l'analisi di visibilità dei riflettori e le serie storiche di spostamento nelle due geometrie di acquisizione. Dalla combinazione dei dati nelle due geometrie è stato inoltre possibile effettuare la stima delle componenti verticale ed orizzontale est-ovest del moto.

Si ricorda che le misure di spostamento sono effettuate lungo la linea di vista (LOS Line-Of-Sight) del satellite, che nel caso specifico è di circa 30° rispetto alla verticale in geometria ascendente e di circa 27° rispetto alla verticale in geometria discendente.

Le serie storiche di ampiezza dei riflettori presentano dei cali di riflettività del tutto inattesi, che sono da associare con ogni probabilità alle condizioni climatiche estreme (neve e probabile formazione di ghiaccio sui riflettori) che hanno caratterizzato le aree di studio in particolare nel primo quadrimestre dell'anno. Tale fatto ha un impatto diretto sulla stabilità di fase e quindi sulla precisione delle serie storiche di spostamento.

In linea generale, i diagrammi proposti non sembrano al momento indicare spostamenti degni di nota. Le piccole variazioni osservabili nelle serie storiche sono in genere contenute entro i limiti di precisione (1 sigma) della tecnica di misura, quantificabili in ± 1 mm/anno sulla velocità media di spostamento ± 5 mm sulla singola misura di spostamento.

4.1 Bacino di Nouva

La rete di misura comprende tre riflettori, di cui due installati sul coronamento dello sbarramento ed uno posto in posizione esterna con funzione di punto di riferimento. L'ubicazione dei punti di misura è rappresentata in Figura 5

In Figura 6 e Figura 7 vengono presentate le serie storiche di ampiezza dei punti di misura nelle due geometrie, che mostrano in generale un incremento del valore dopo l'installazione e l'orientamento del rispettivo riflettore, pur con dei cali che sono probabilmente legati alla presenza di neve e/o ghiaccio, come già osservato in precedenza.

Nelle figure successive vengono rappresentate le serie storiche di spostamento dei riflettori P1 e P2 in geometria ascendente (Figura 8) e discendente (Figura 9) rispetto al punto di riferimento P3. Gli spostamenti sono misurati lungo la LOS del satellite. Le serie storiche di spostamento delle componenti verticale ed orizzontale E-W ottenute dalla scomposizione del moto sono rappresentate in Figura 10 e Figura 11 rispettivamente.



Figura 5 – Bacino di Nouva: ubicazione dei riflettori artificiali. Il triangolo giallo rappresenta il punto di riferimento della rete, i punti rossi corrispondono ai riflettori installati sul coronamento del rilevato.

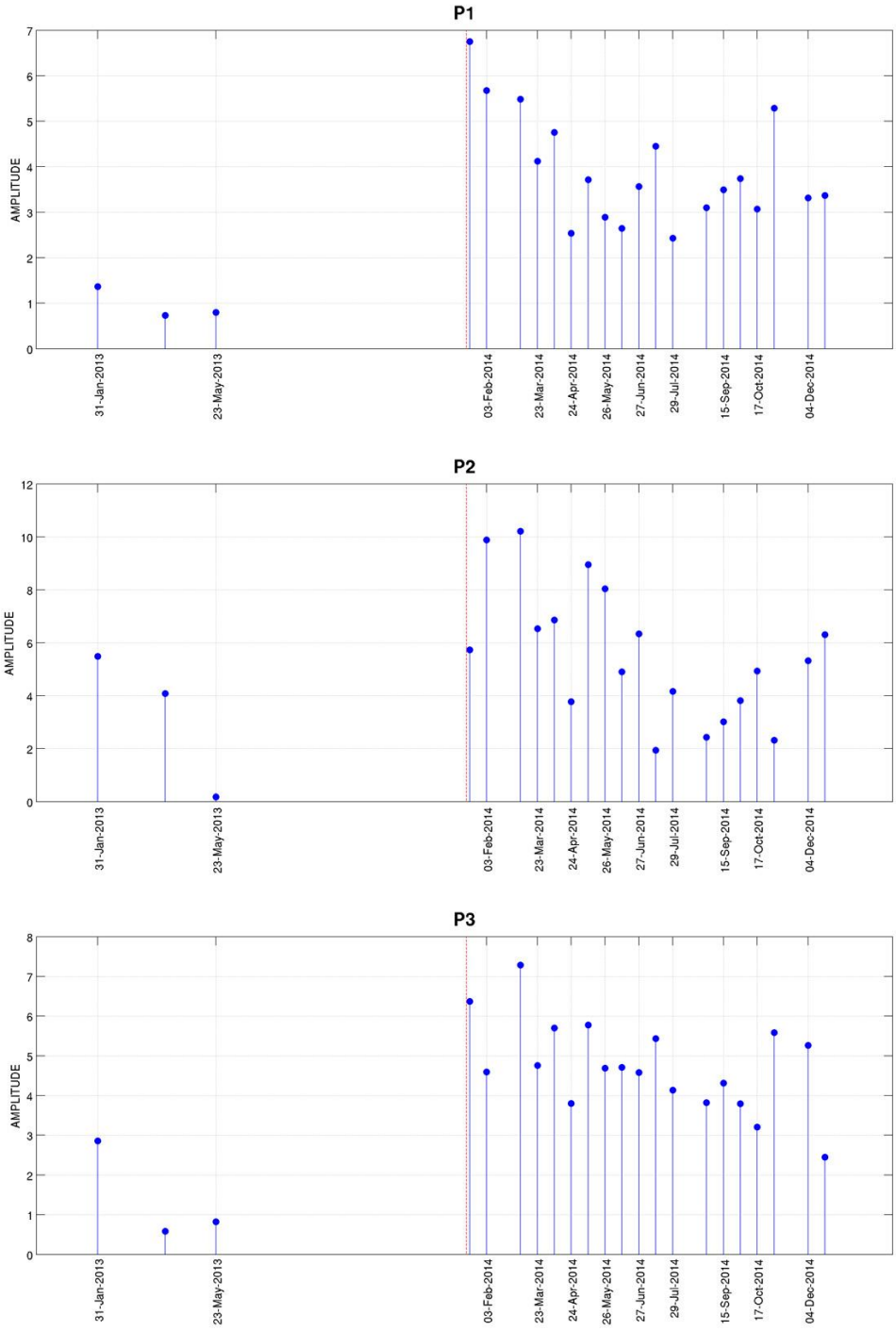


Figura 6 – Bacino di Nouva: serie storiche di ampiezza dei punti di misura in geometria ascendente; la linea rossa tratteggiata rappresenta la data di orientamento dei riflettori.

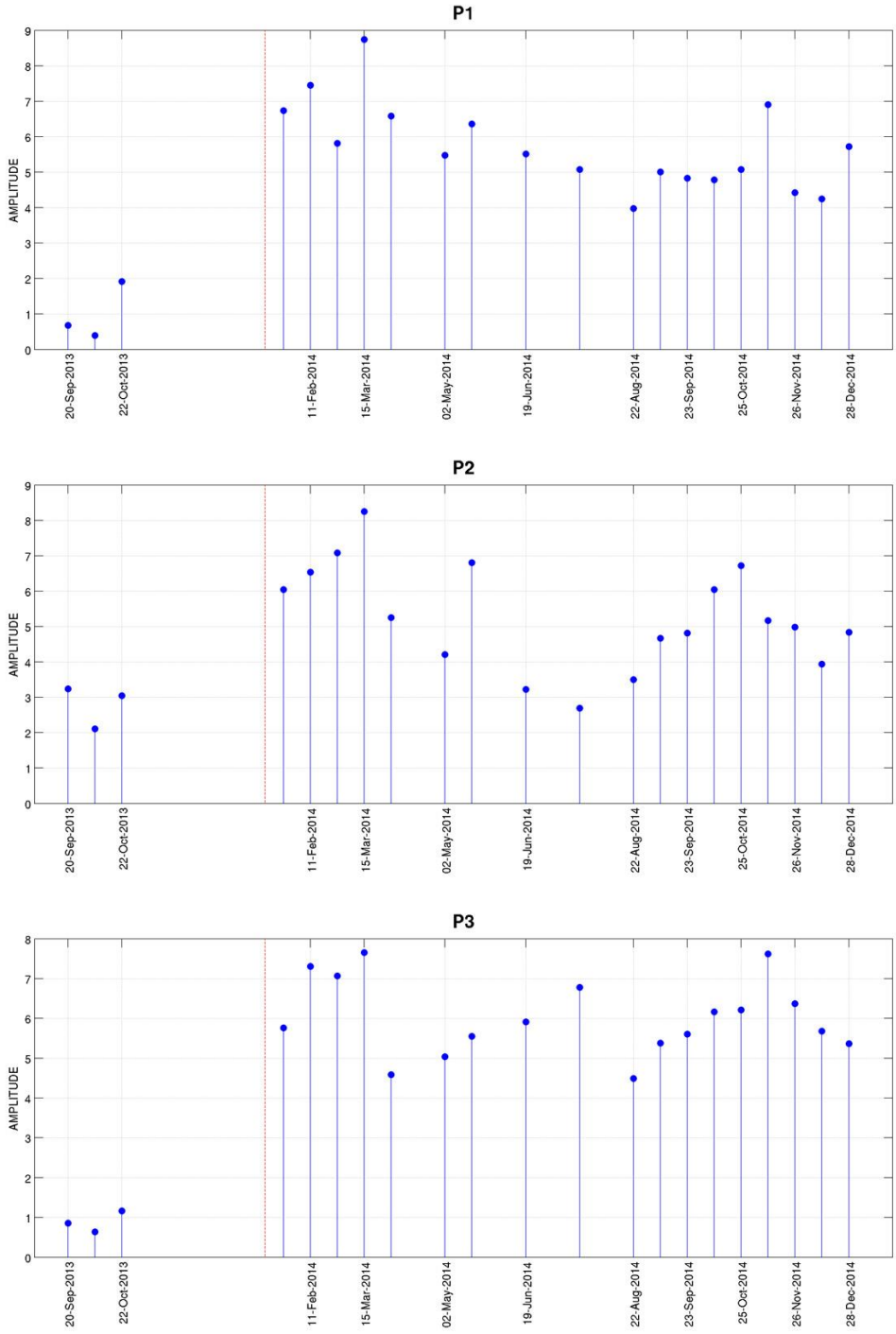


Figura 7 – Bacino di Nouva: serie storiche di ampiezza dei punti di misura in geometria discendente; la linea rossa tratteggiata rappresenta la data di orientamento dei riflettori.

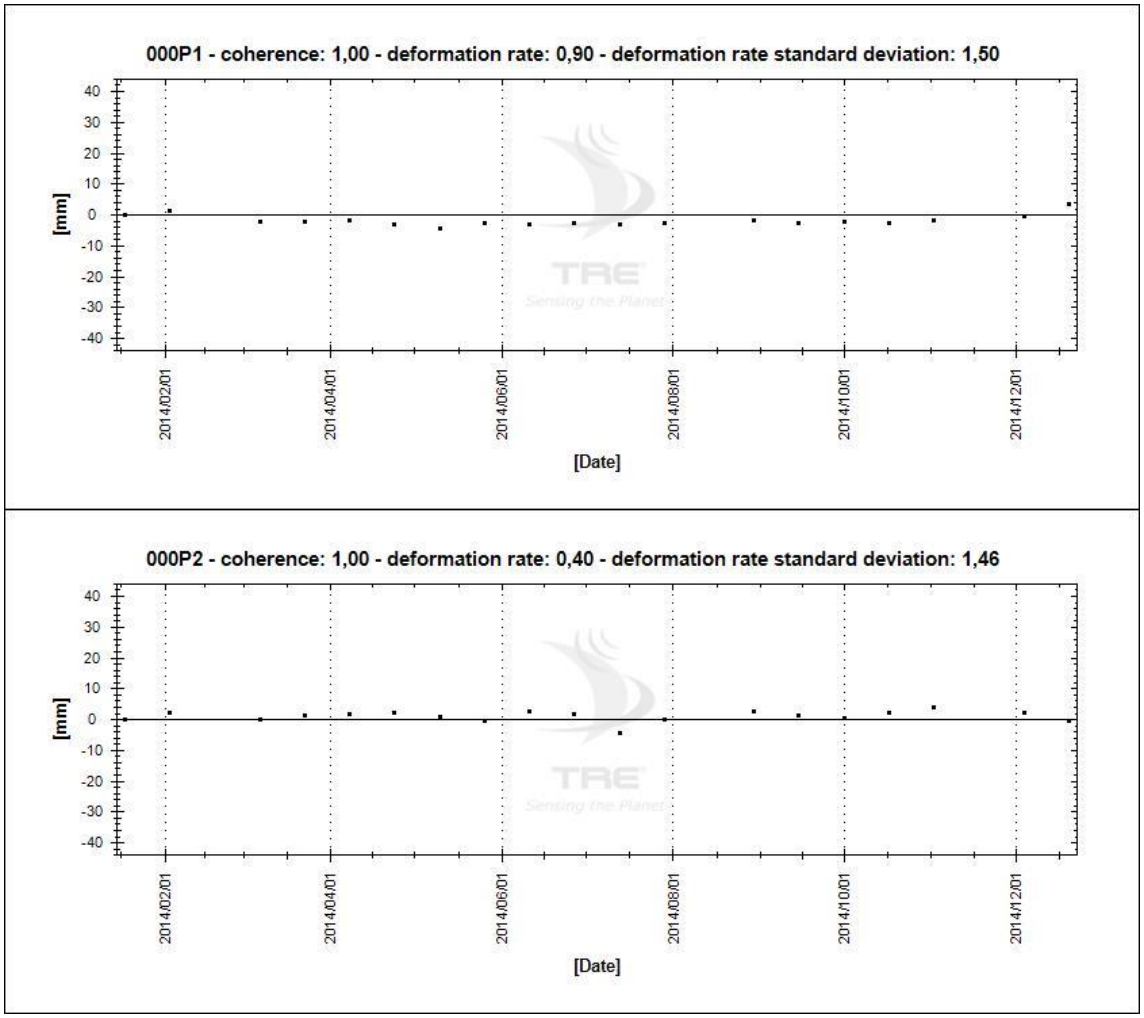


Figura 8 – Bacino di Nouva: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo la LOS del satellite in geometria ascendente. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento P3.

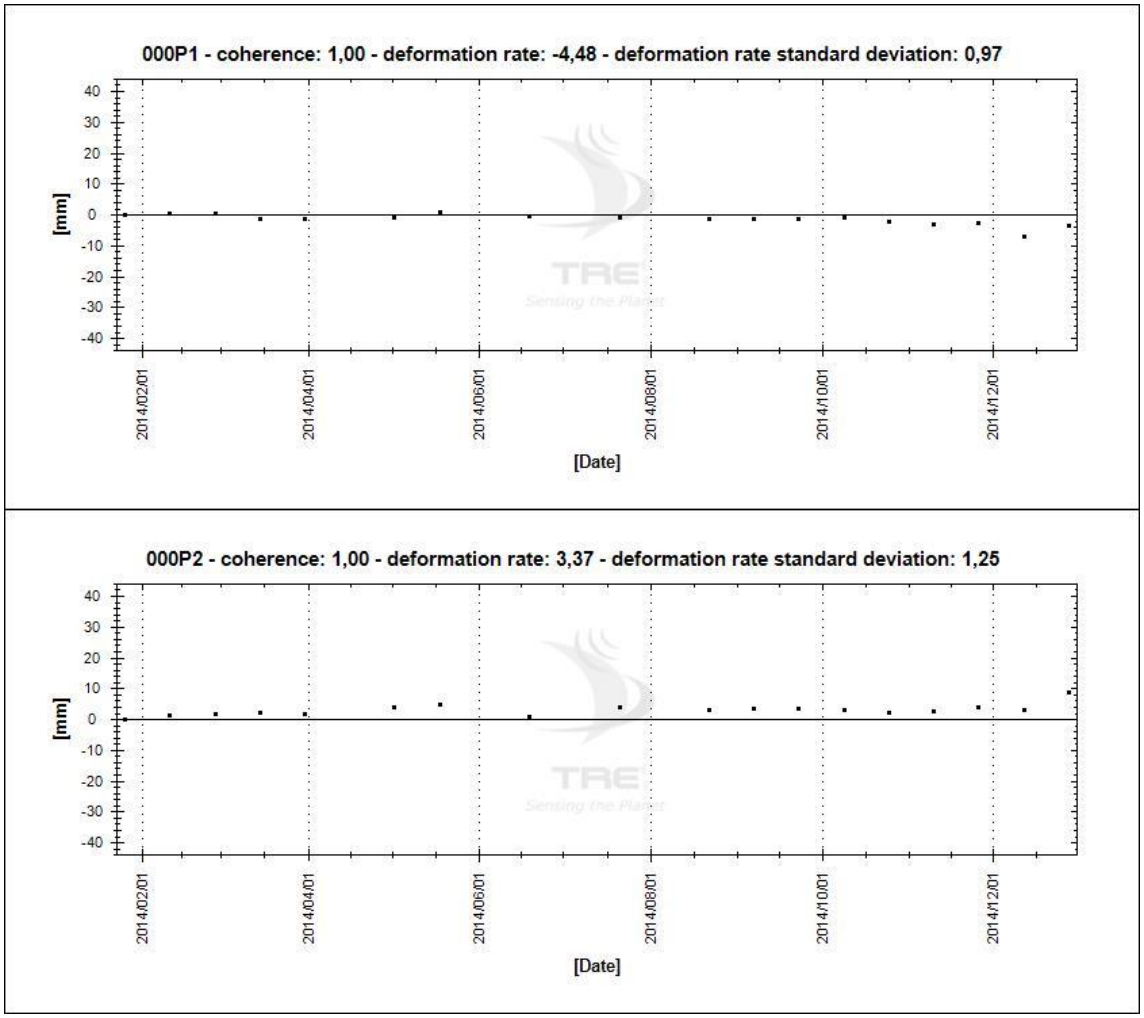


Figura 9 – Bacino di Nouva: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo la LOS del satellite in geometria discendente. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento P3.

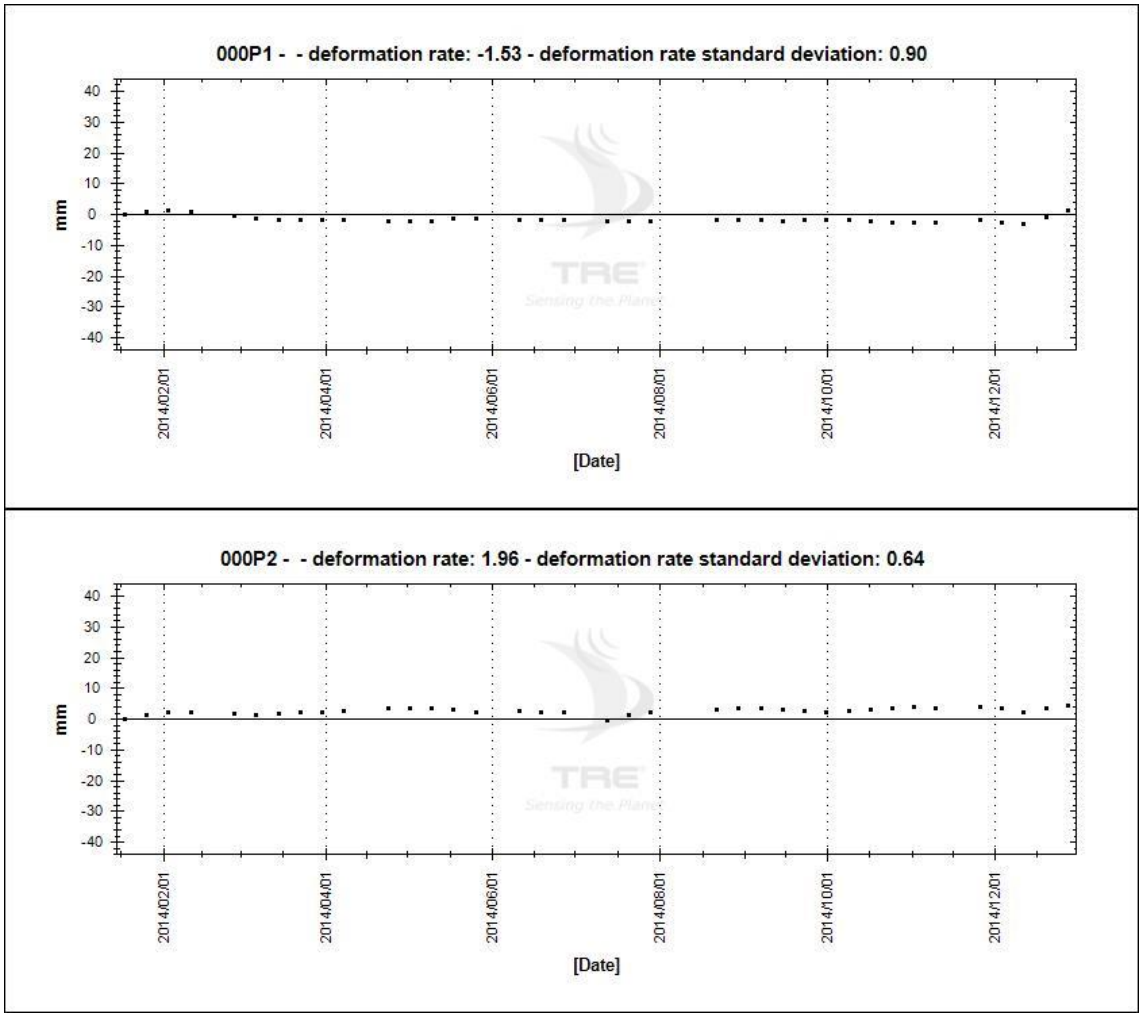


Figura 10 – Bacino di Nouva: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo l'asse verticale. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento P3.

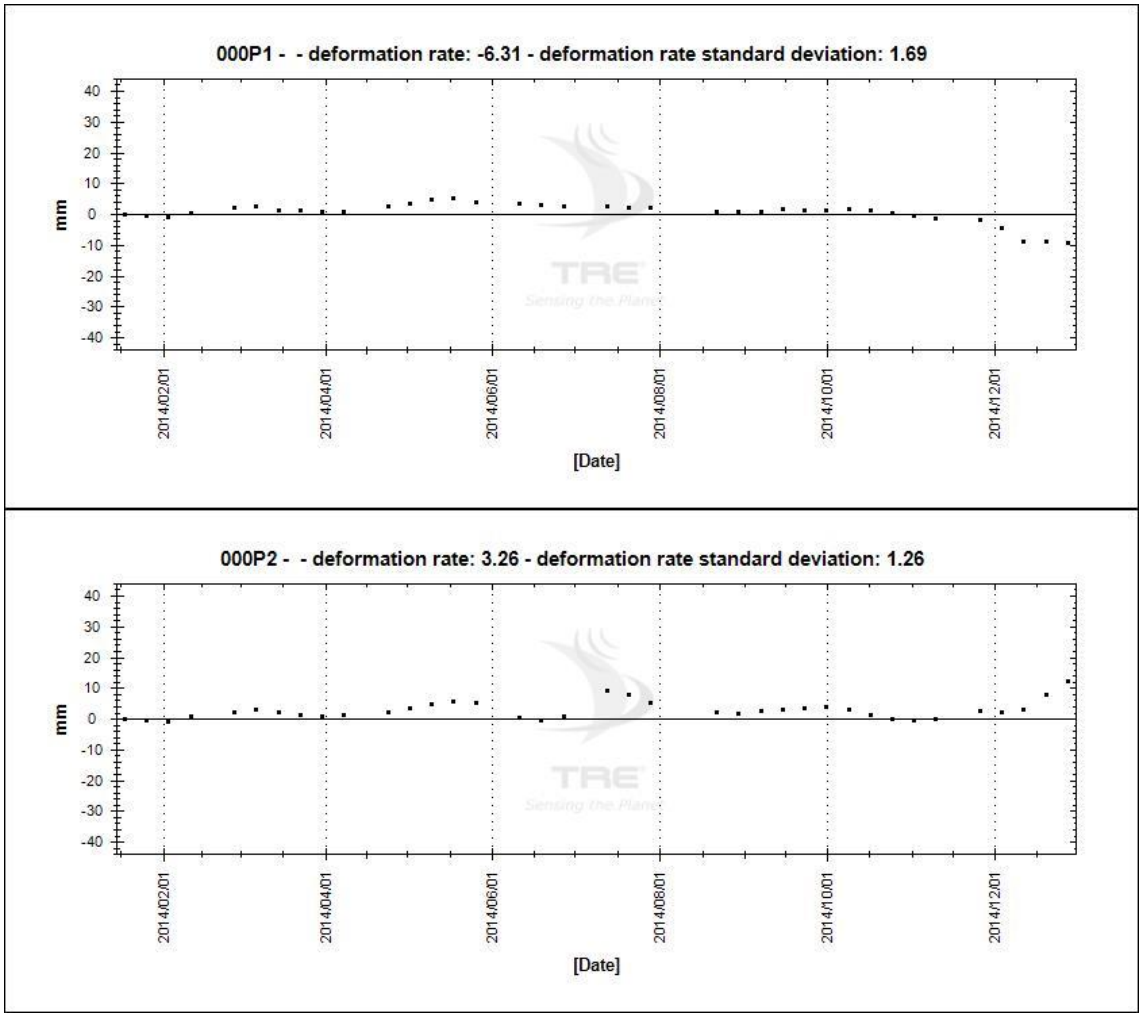


Figura 11 – Bacino di Nouva: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo l'asse est-ovest. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento P3.

4.2 Bacino di Weissmatten

La rete di misura comprende tre riflettori, di cui due installati sul coronamento dello sbarramento ed uno posto in posizione esterna con funzione di punto di riferimento. L'ubicazione dei punti di misura è rappresentata in Figura 11. In questo caso, il punto di riferimento in geometria ascendente risulta chiaramente visibile solo a partire dalla lettura di maggio, data a partire dalla quale il riflettore risulta privo di copertura nevosa. Il riflettore infatti è posto in una zona di accumulo per effetto del vento. In geometria discendente, invece, il riflettore non è visibile, probabilmente perchè mascherato dal versante sovrastante. Per tale ragione, a differenza delle altre reti, sono stati assunti come punti di riferimento due riflettori naturali (Permanent Scatterers) posti nelle vicinanze del bacino. L'ubicazione dei punti di riferimento è indicata in Figura 13. In caso di prosecuzione del monitoraggio con questa tecnologia si dovrà valutare il riposizionamento del riflettore esterno di riferimento W3.

In Figura 14 e Figura 15 vengono presentate le serie storiche di ampiezza dei punti di misura nelle due geometrie, che mostrano in generale un incremento del valore dopo l'installazione e l'orientamento del rispettivo riflettore, pur con dei cali che sono probabilmente legati alla presenza di neve e/o ghiaccio, come già osservato in precedenza.

Nelle figure successive vengono rappresentate le serie storiche di spostamento dei riflettori W1 e W2 in geometria ascendente (Figura 16) e discendente (Figura 17) rispetto ai rispettivi punti di riferimento. Gli spostamenti sono misurati lungo la LOS del satellite. Le serie storiche di spostamento delle componenti verticale ed orizzontale E-W ottenute dalla scomposizione del moto sono rappresentate in Figura 18 e Figura 19 rispettivamente.



Figura 12 – Bacino di Weissmatten: ubicazione dei riflettori artificiali. Il triangolo giallo rappresenta il punto di riferimento della rete, i punti rossi corrispondono ai riflettori installati sul coronamento del rilevato.

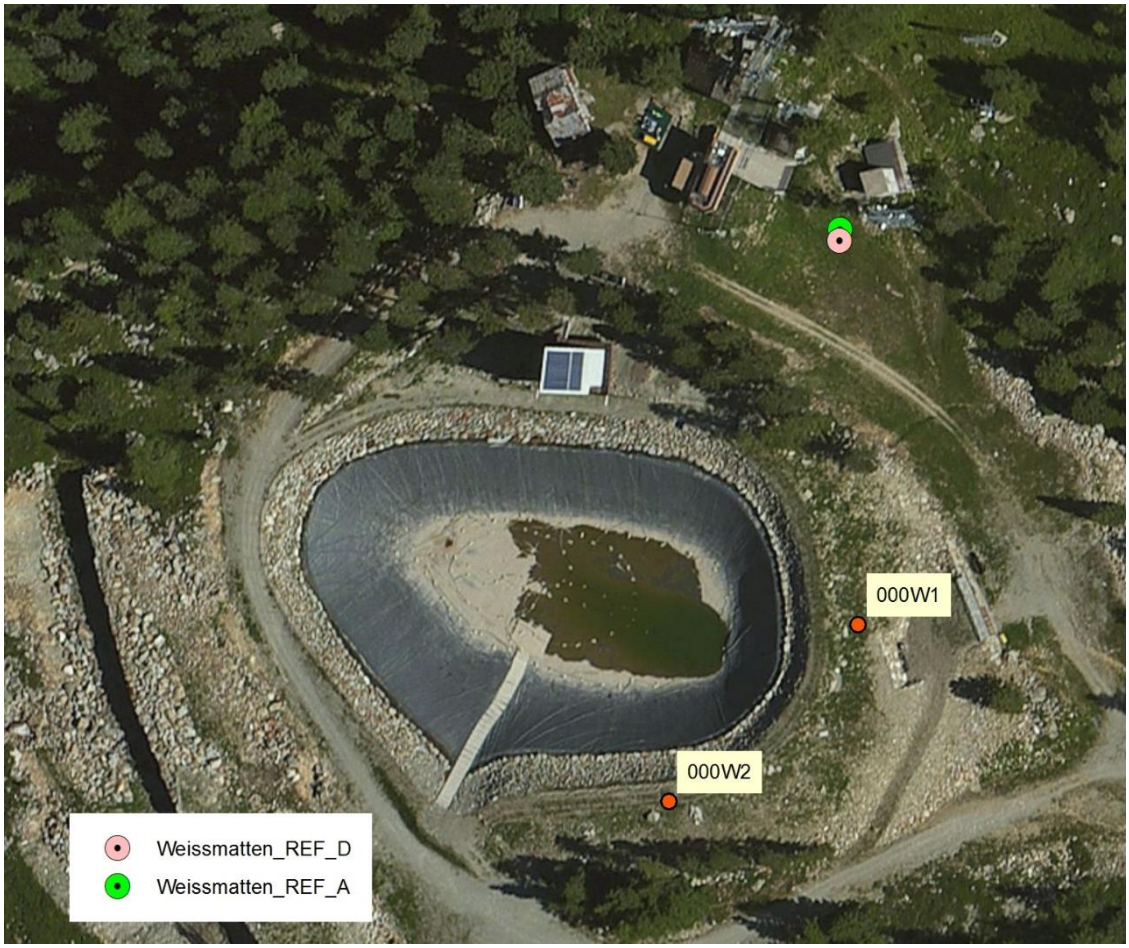


Figura 13 – Bacino di Weissmatten: ubicazione dei riflettori artificiali installati sul coronamento e dei punti di riferimento esterni utilizzati per l'analisi.

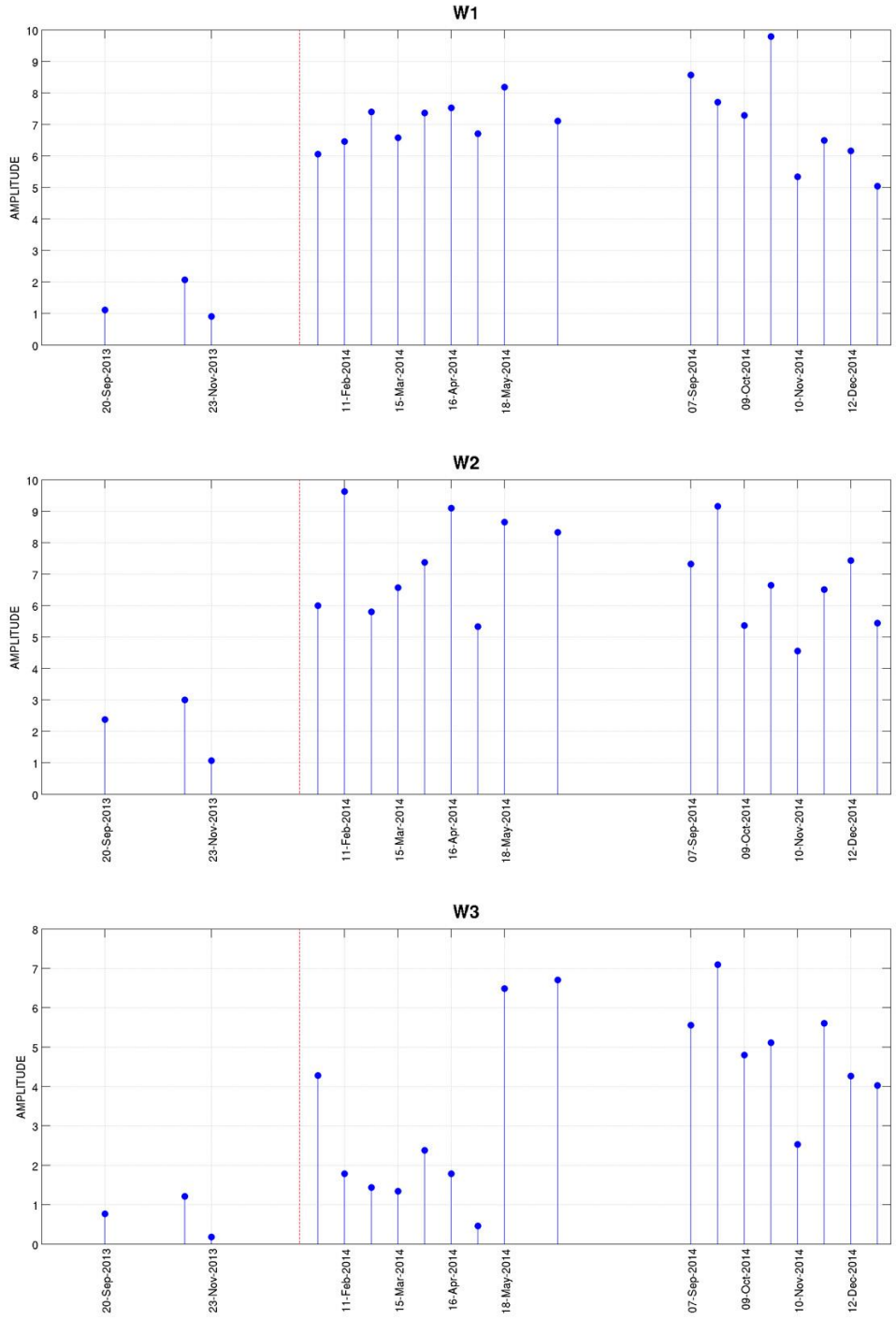


Figura 14 – Bacino di Weissmatten: serie storiche di ampiezza dei punti di misura in geometria ascendente; la linea rossa tratteggiata rappresenta la data di orientamento dei riflettori.

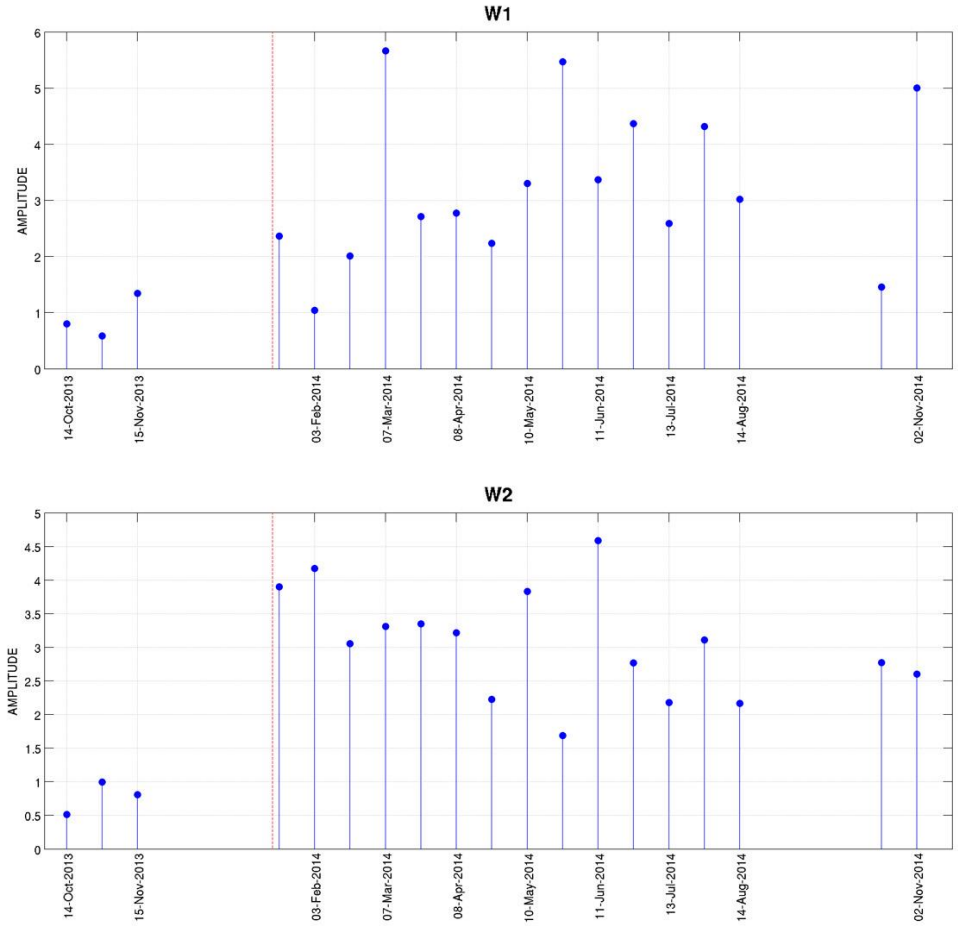


Figura 15 – Bacino di Weissmatten: serie storiche di ampiezza dei punti di misura in geometria discendente; la linea rossa tratteggiata rappresenta la data di orientamento dei riflettori.

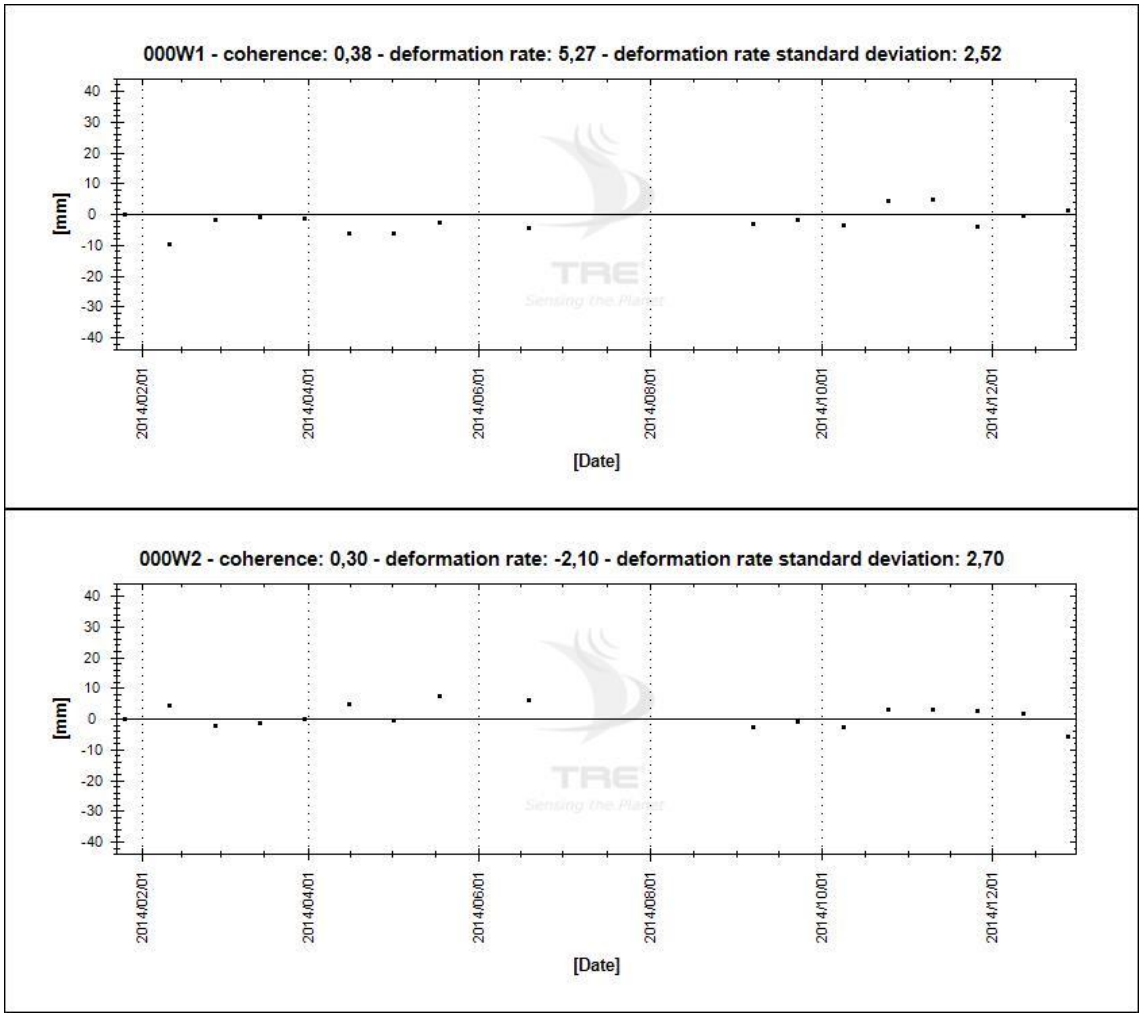


Figura 16 – Bacino di Weissmatten: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo la LOS del satellite in geometria ascendente. Gli spostamenti sono riferiti al rispettivo punto di riferimento esterno.

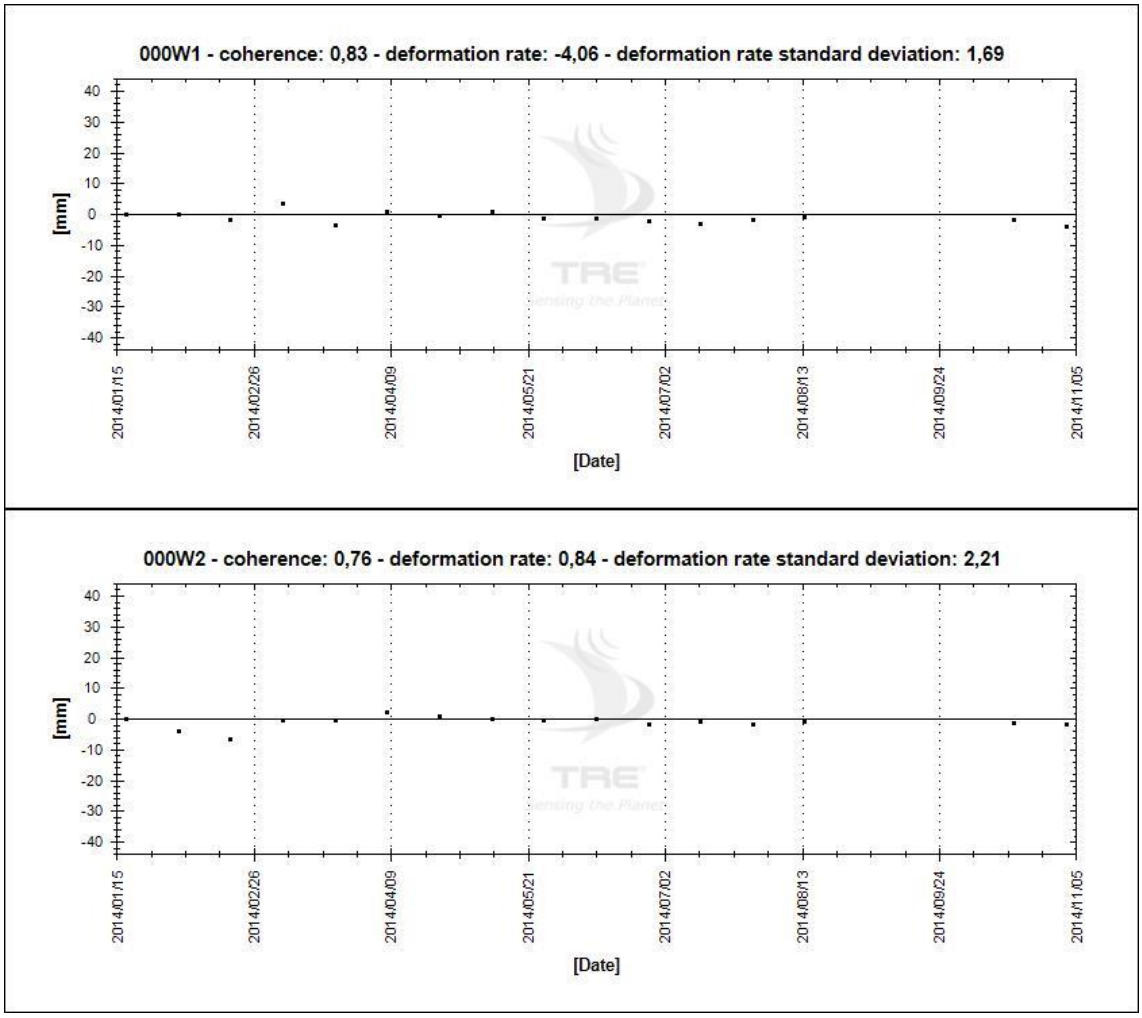


Figura 17 – Bacino di Weissmatten: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo la LOS del satellite in geometria discendente. Gli spostamenti sono riferiti al rispettivo punto di riferimento esterno.

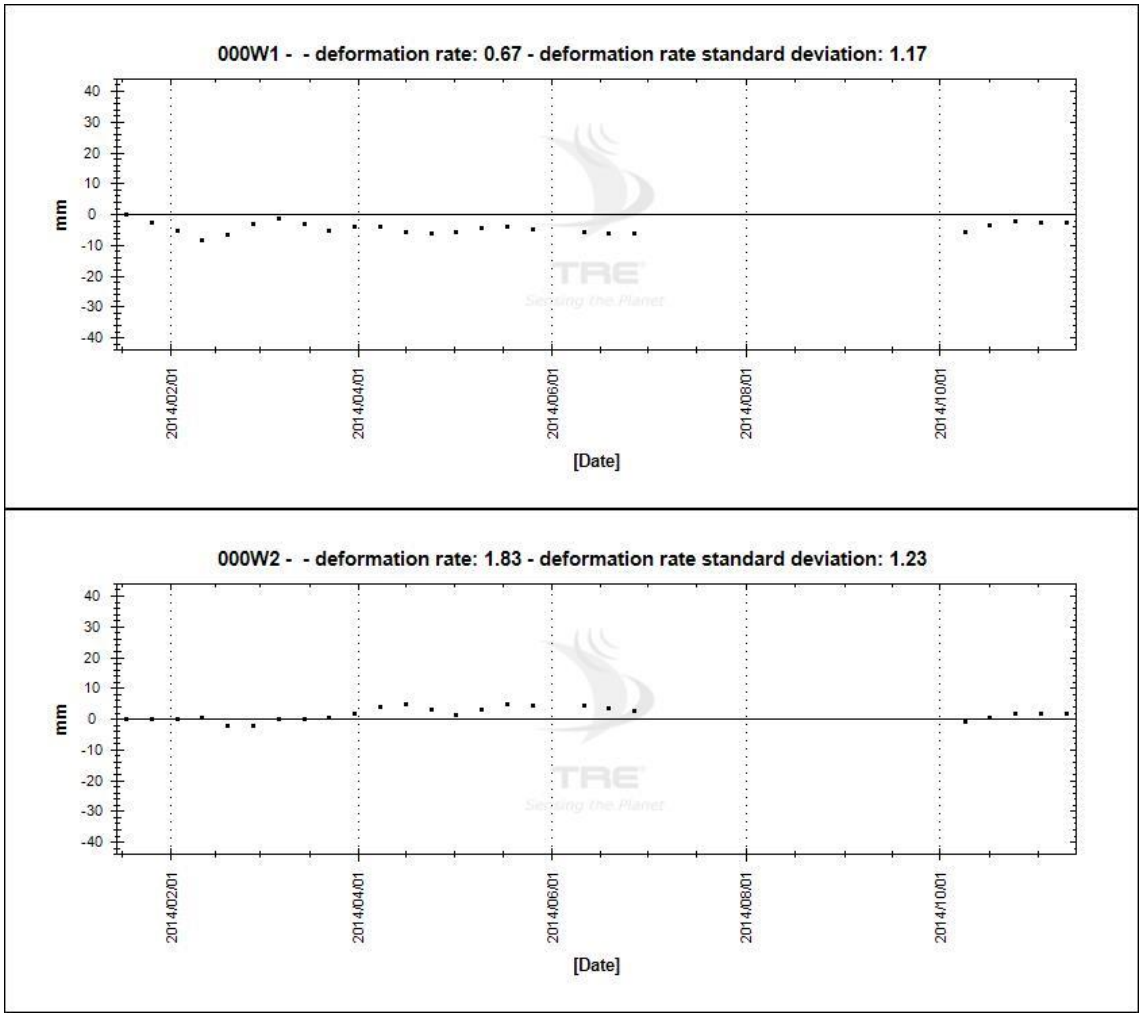


Figura 18 – Bacino di Weissmatten: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo l'asse verticale. Gli spostamenti sono riferiti al rispettivo punto di riferimento esterno.

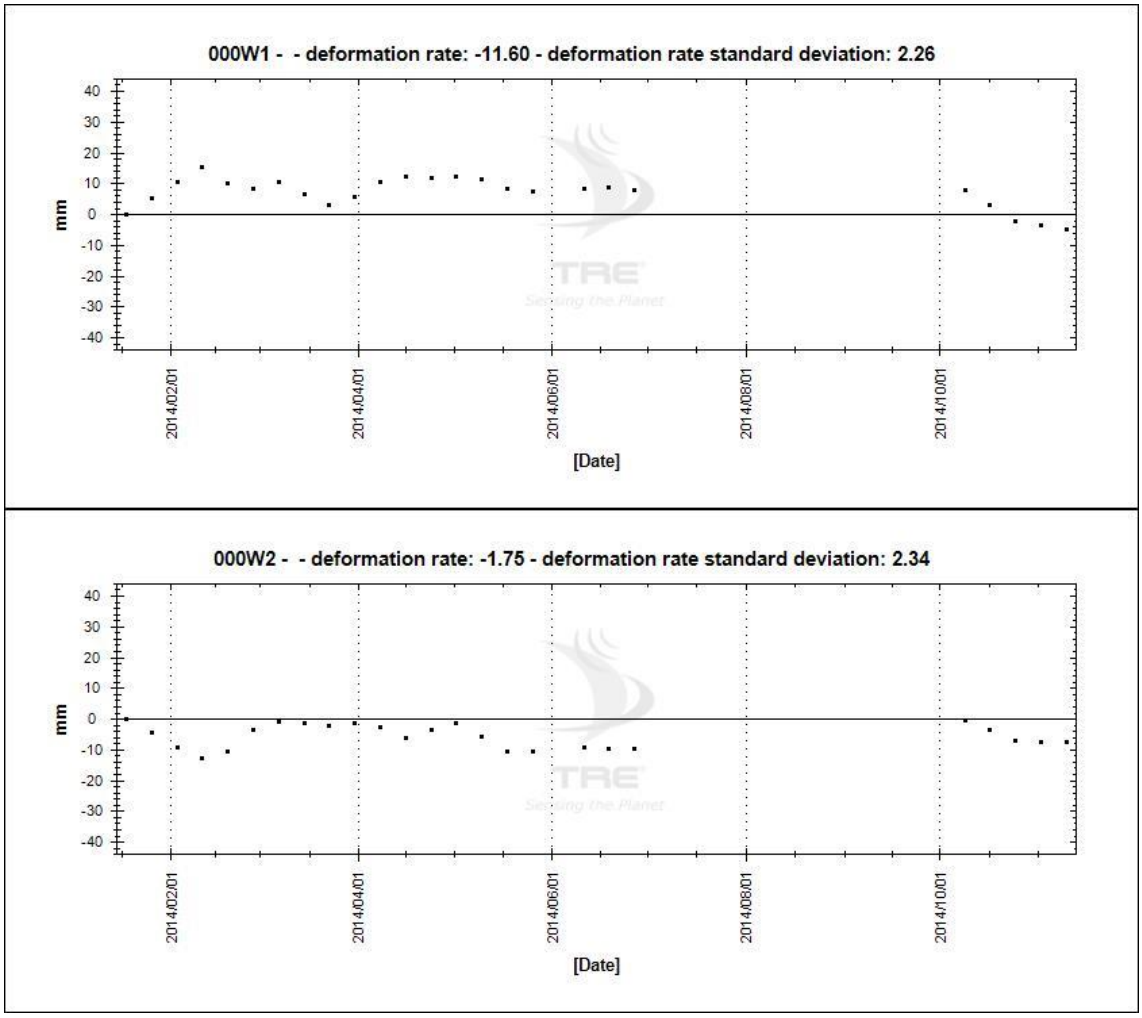


Figura 19 – Bacino di Weissmatten: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo l'asse est-ovest. Gli spostamenti sono riferiti al rispettivo punto di riferimento esterno.

4.3 Bacino di Cime Bianche

La rete di misura comprende tre riflettori, di cui due installati sul coronamento dello sbarramento ed uno posto in posizione esterna con funzione di punto di riferimento. L'ubicazione dei punti di misura è rappresentata in Figura 20

In Figura 21 e Figura 22 vengono presentate le serie storiche di ampiezza dei punti di misura nelle due geometrie, che mostrano in generale un incremento del valore dopo l'installazione e l'orientamento del rispettivo riflettore, pur con dei cali che sono probabilmente legati alla presenza di neve e/o ghiaccio, come già osservato in precedenza.

Nelle figure successive vengono rappresentate le serie storiche di spostamento dei riflettori C1 e C2 in geometria ascendente (Figura 23) e discendente (Figura 24) rispetto ai rispettivi punti di riferimento. Gli spostamenti sono misurati lungo la LOS del satellite. Le serie storiche di spostamento delle componenti verticale ed orizzontale E-W ottenute dalla scomposizione del moto sono rappresentate in Figura 25 e Figura 26 rispettivamente.



Figura 20 – Bacino di Cime Bianche: ubicazione dei riflettori artificiali. Il triangolo giallo rappresenta il punto di riferimento della rete, i punti rossi corrispondono ai riflettori installati sul coronamento del rilevato.

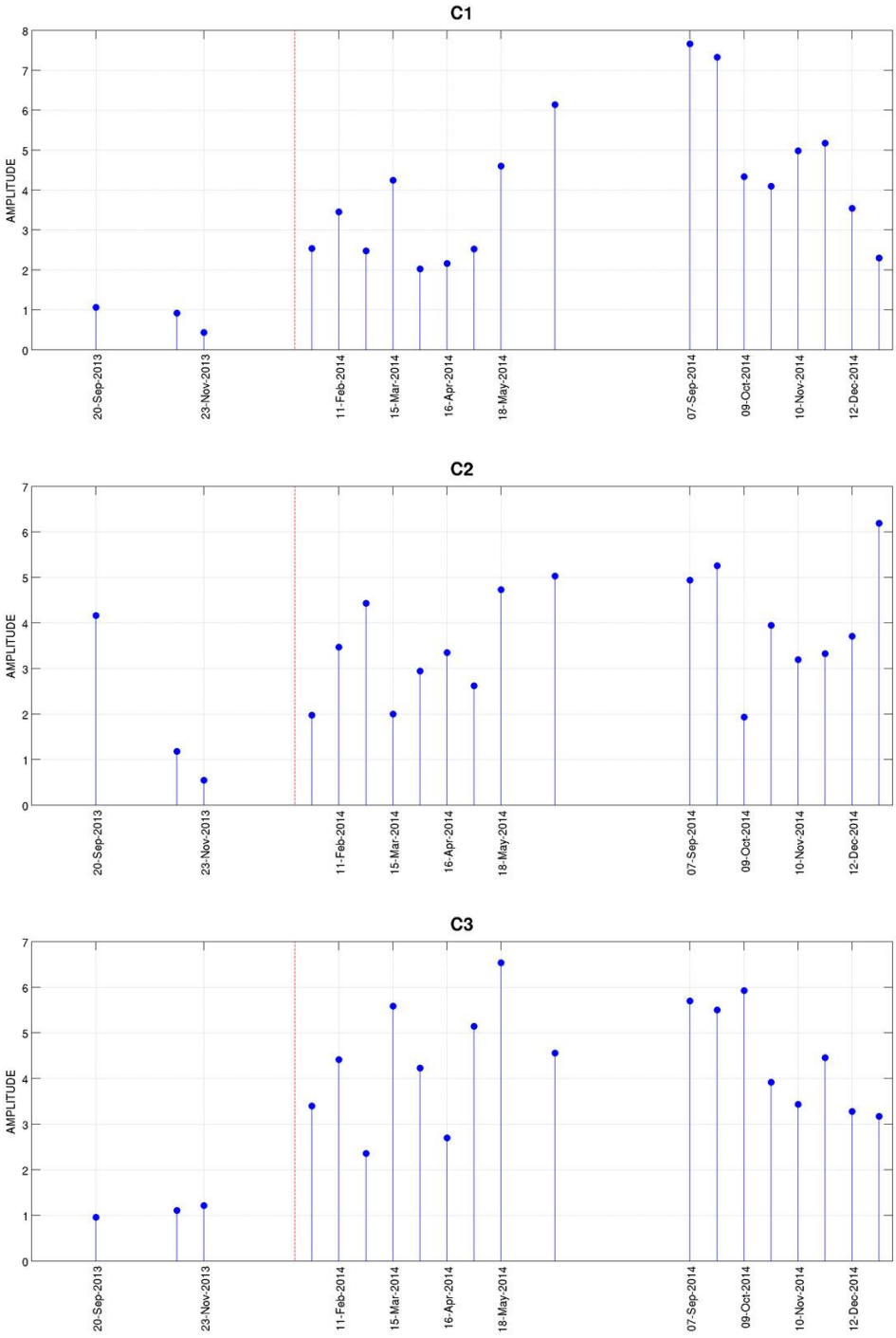


Figura 21 – Bacino di Cime Bianche: serie storiche di ampiezza dei punti di misura in geometria ascendente; la linea rossa tratteggiata rappresenta la data di orientamento dei riflettori.

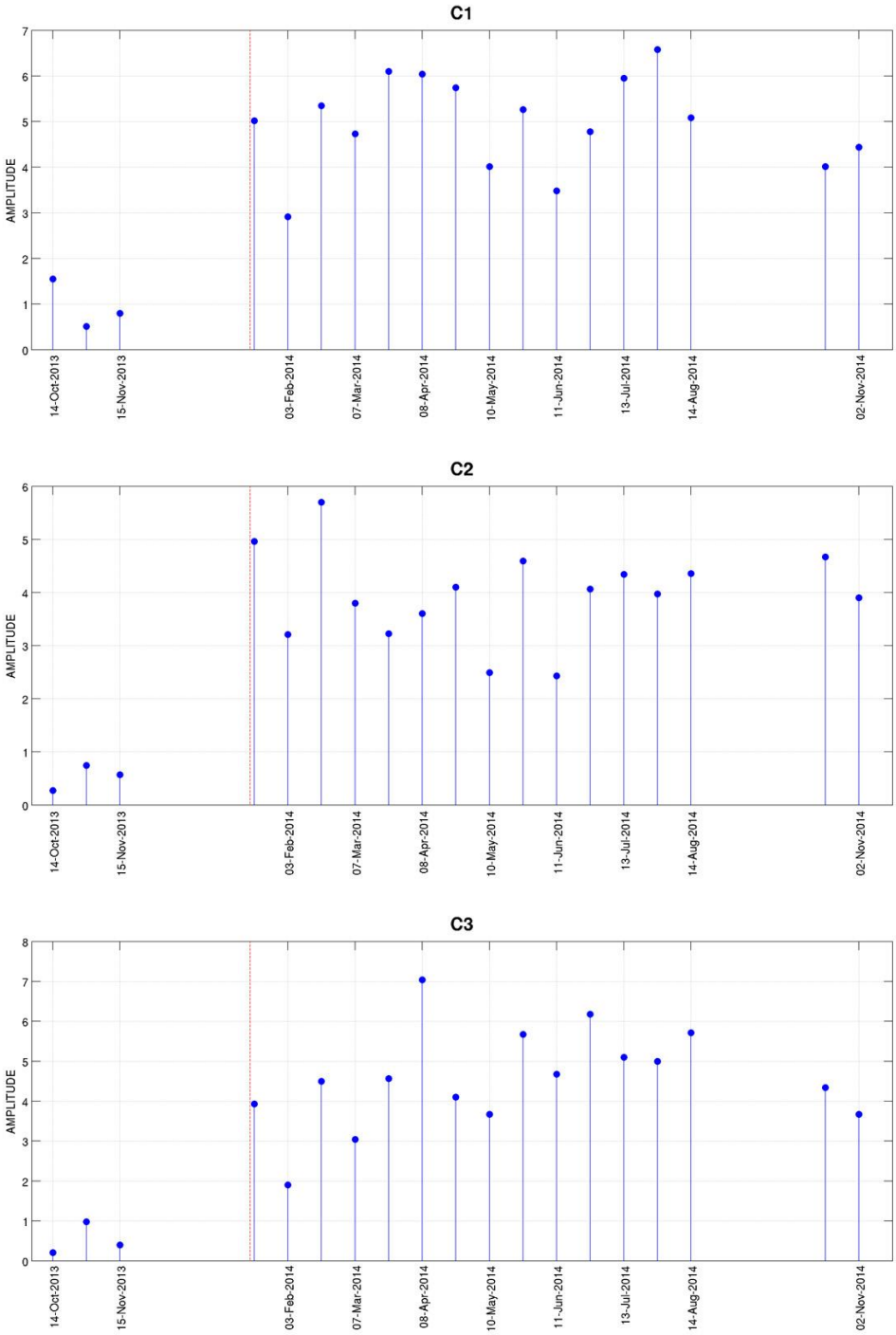


Figura 22 – Bacino di Cime Bianche: serie storiche di ampiezza dei punti di misura in geometria discendente; la linea rossa tratteggiata rappresenta la data di orientamento dei riflettori.

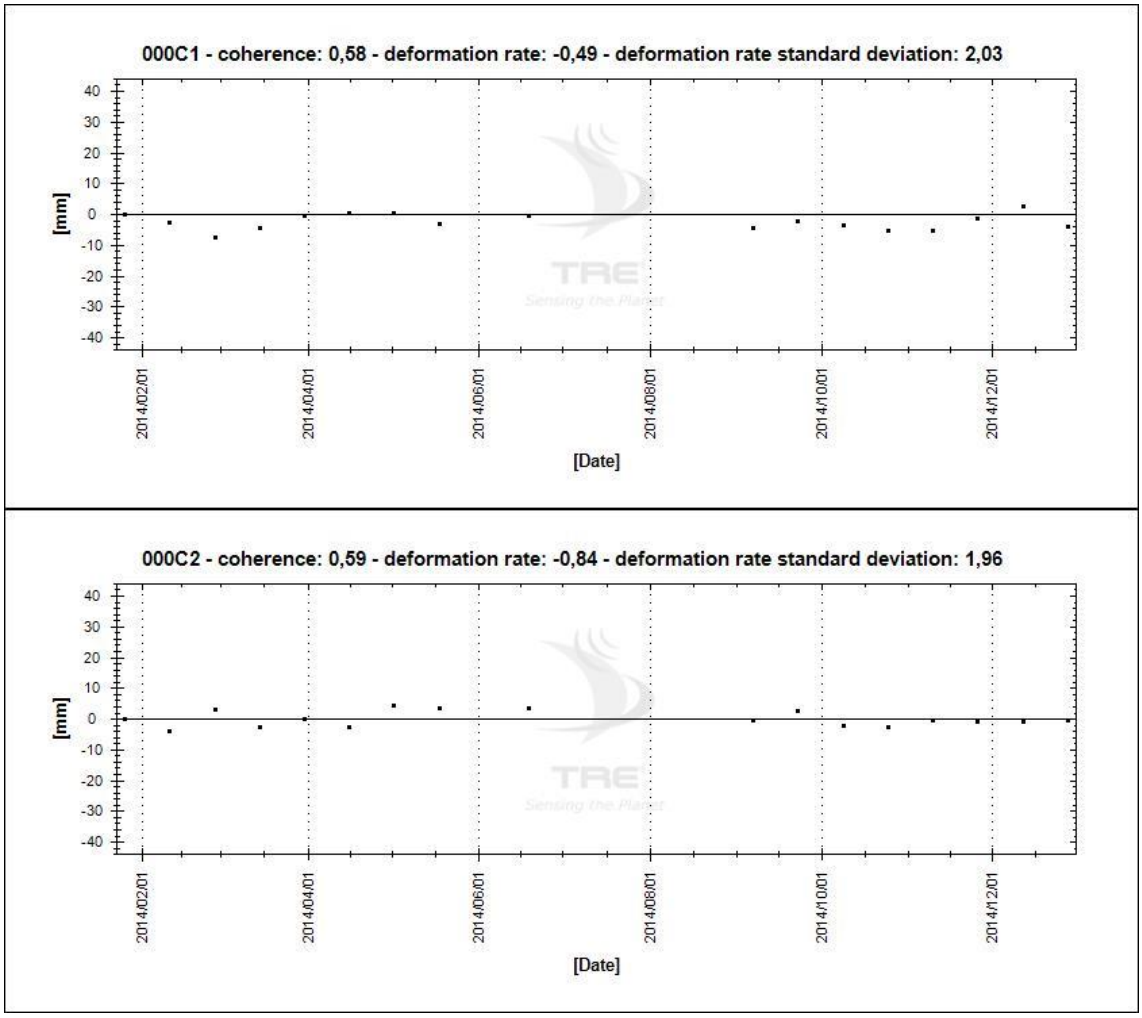


Figura 23 – Bacino di Cime Bianche: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo la LOS del satellite in geometria ascendente. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento C3.

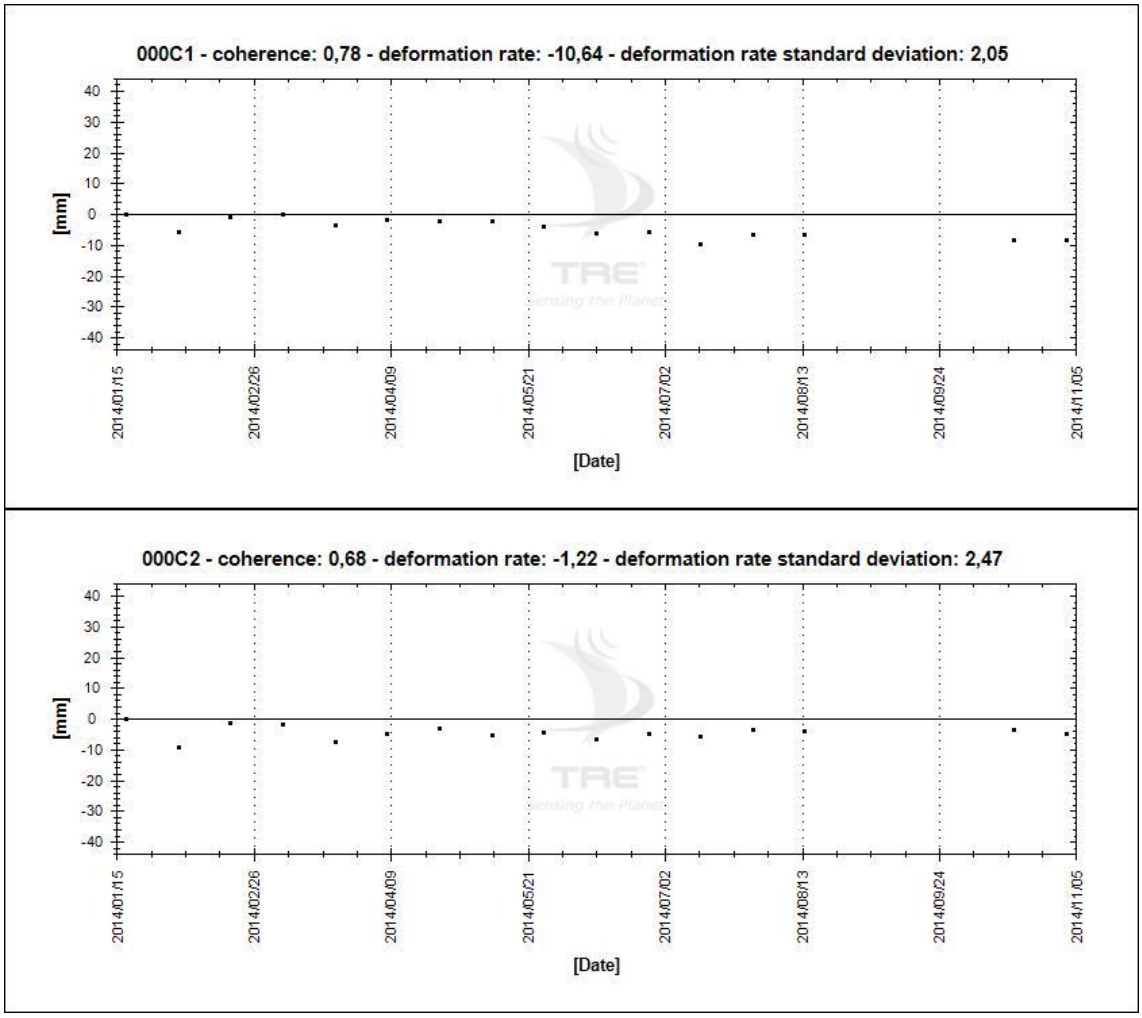


Figura 24 – Bacino di Cime Bianche: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo la LOS del satellite in geometria discendente. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento C3.

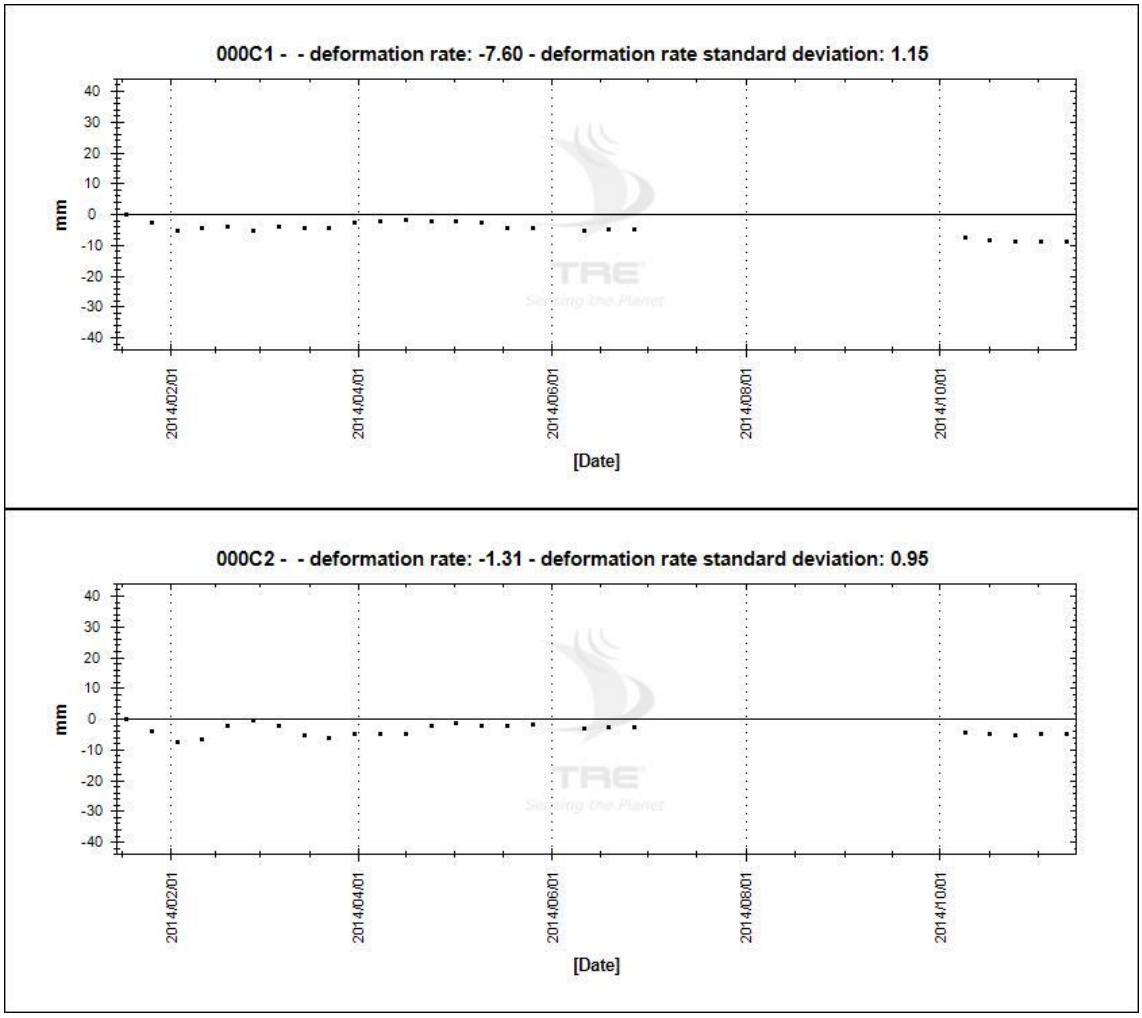


Figura 25 – Bacino di Cime Bianche: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo l'asse verticale. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento C3.

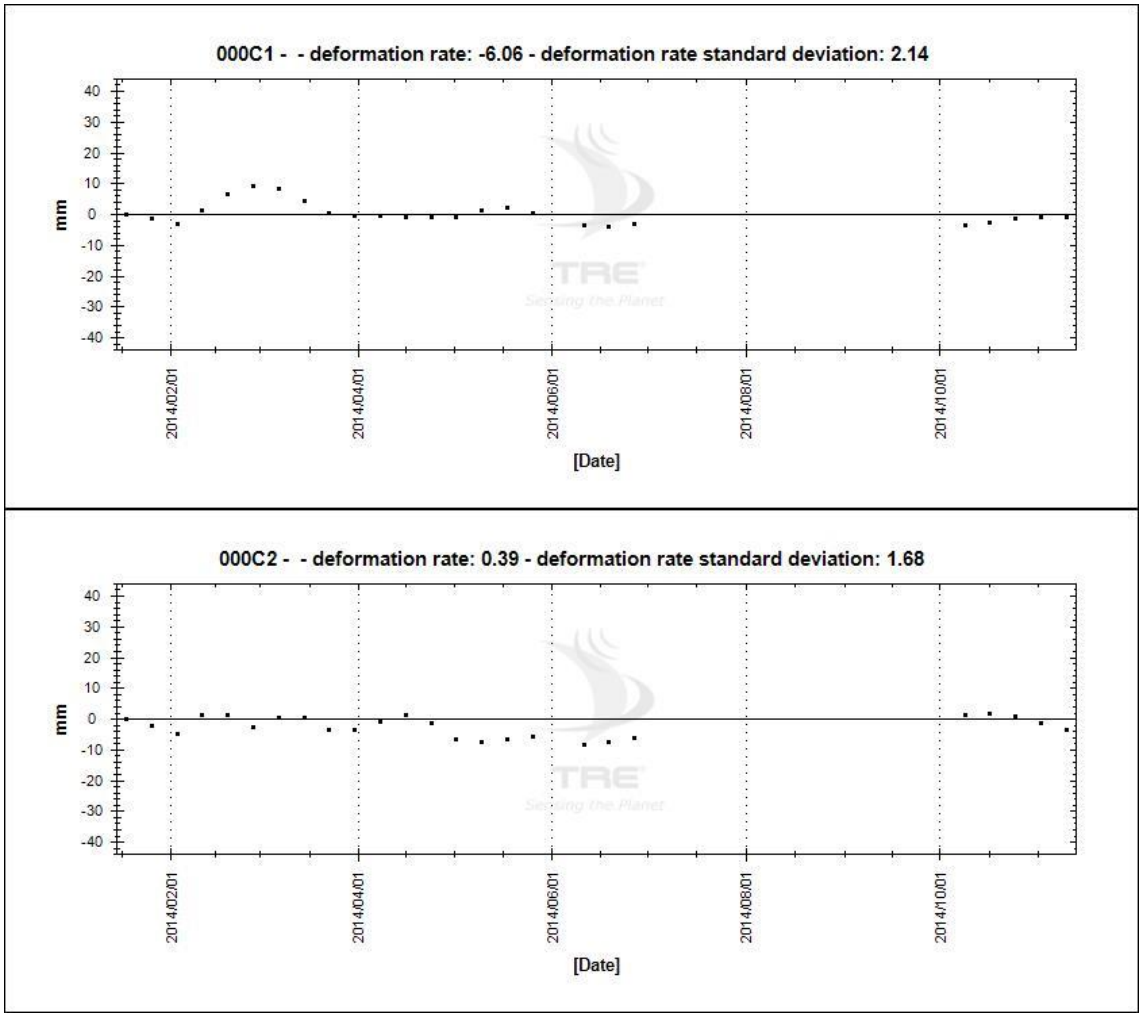


Figura 26 – Bacino di Cime Bianche: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo l'asse est-ovest. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento C3.

4.4 Bacino di Gran Testa

La rete di misura comprende tre riflettori, di cui due installati sul coronamento dello sbarramento ed uno posto in posizione esterna con funzione di punto di riferimento. L'ubicazione dei punti di misura è rappresentata in Figura 27.

In Figura 28 e Figura 29 vengono presentate le serie storiche di ampiezza dei punti di misura nelle due geometrie, che mostrano in generale un incremento del valore dopo l'installazione e l'orientamento del rispettivo riflettore, pur con dei cali che sono probabilmente legati alla presenza di neve e/o ghiaccio, come già osservato in precedenza.

Nelle figure successive vengono rappresentate le serie storiche di spostamento dei riflettori T1 e T2 in geometria ascendente (Figura 30) e discendente (Figura 31) rispetto ai rispettivi punti di riferimento. Gli spostamenti sono misurati lungo la LOS del satellite. Le serie storiche di spostamento delle componenti verticale ed orizzontale E-W ottenute dalla scomposizione del moto sono rappresentate in Figura 32 e Figura 33 rispettivamente.



Figura 27 – Bacino di Gran Testa: ubicazione dei riflettori artificiali. Il triangolo giallo rappresenta il punto di riferimento della rete, i punti rossi corrispondono ai riflettori installati sul coronamento del rilevato.

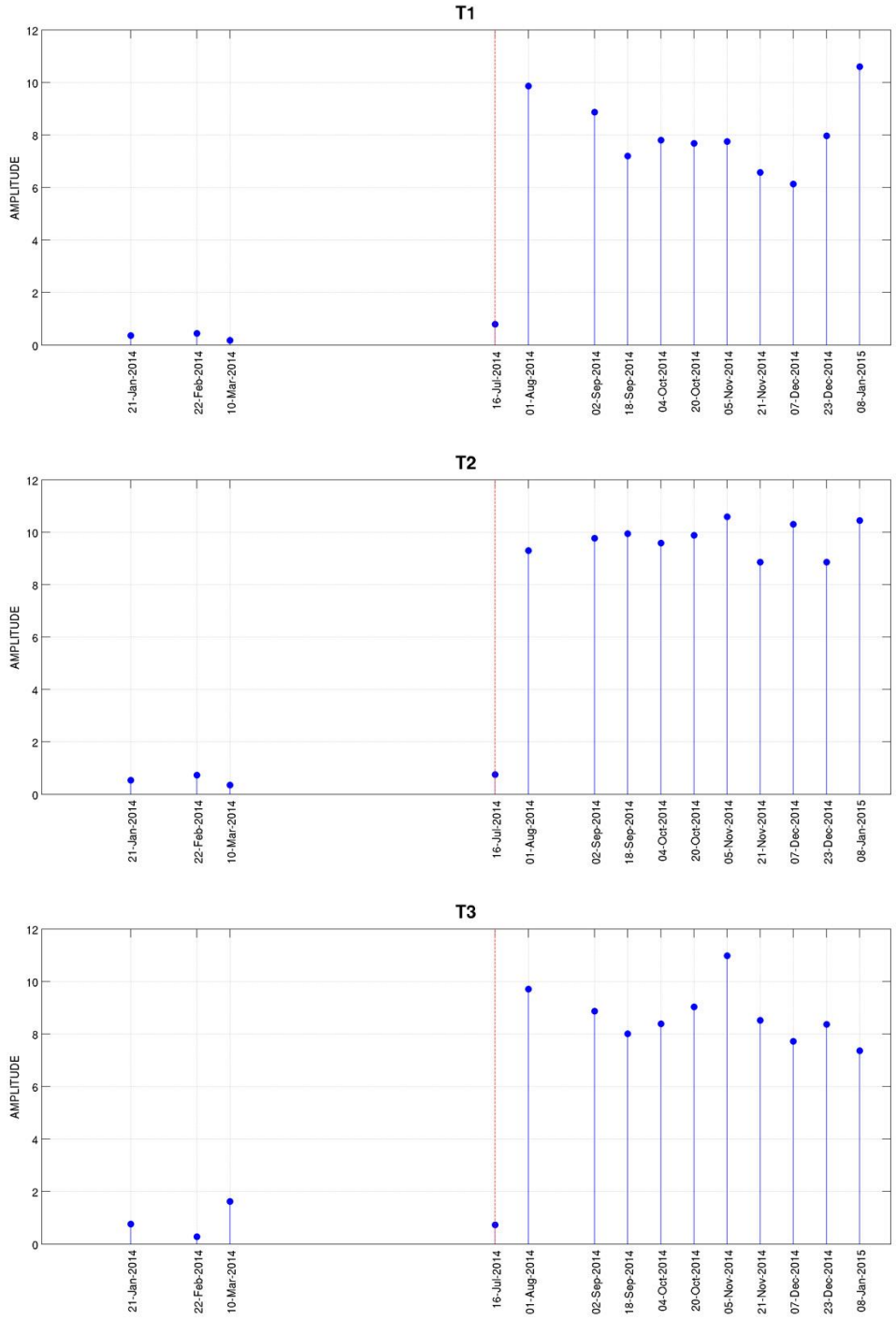


Figura 28 – Bacino di Gran Testa: serie storiche di ampiezza dei punti di misura in geometria ascendente; la linea rossa tratteggiata rappresenta la data di orientamento dei riflettori.

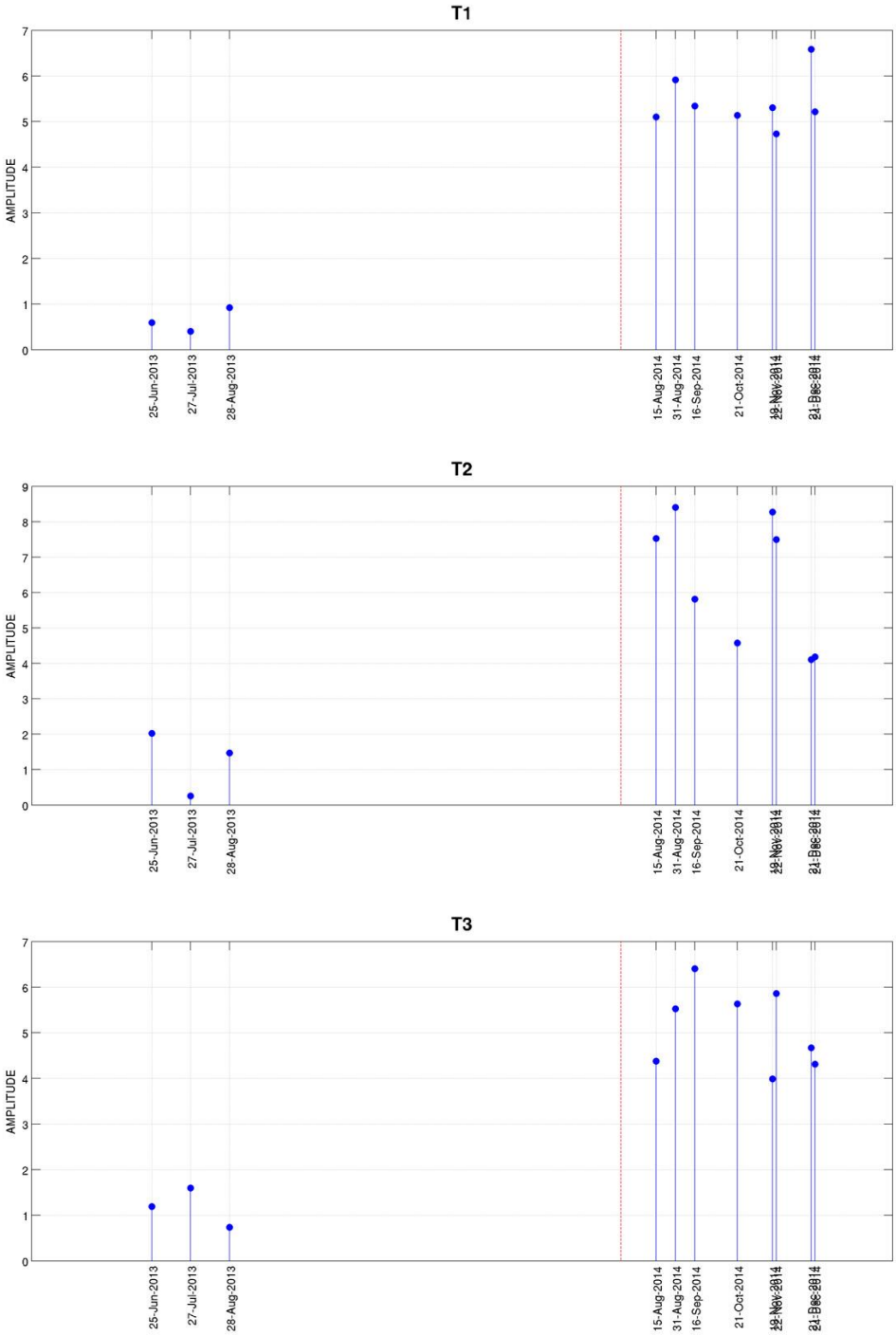


Figura 29 – Bacino di Gran Testa: serie storiche di ampiezza dei punti di misura in geometria discendente; la linea rossa tratteggiata rappresenta la data di orientamento dei riflettori.

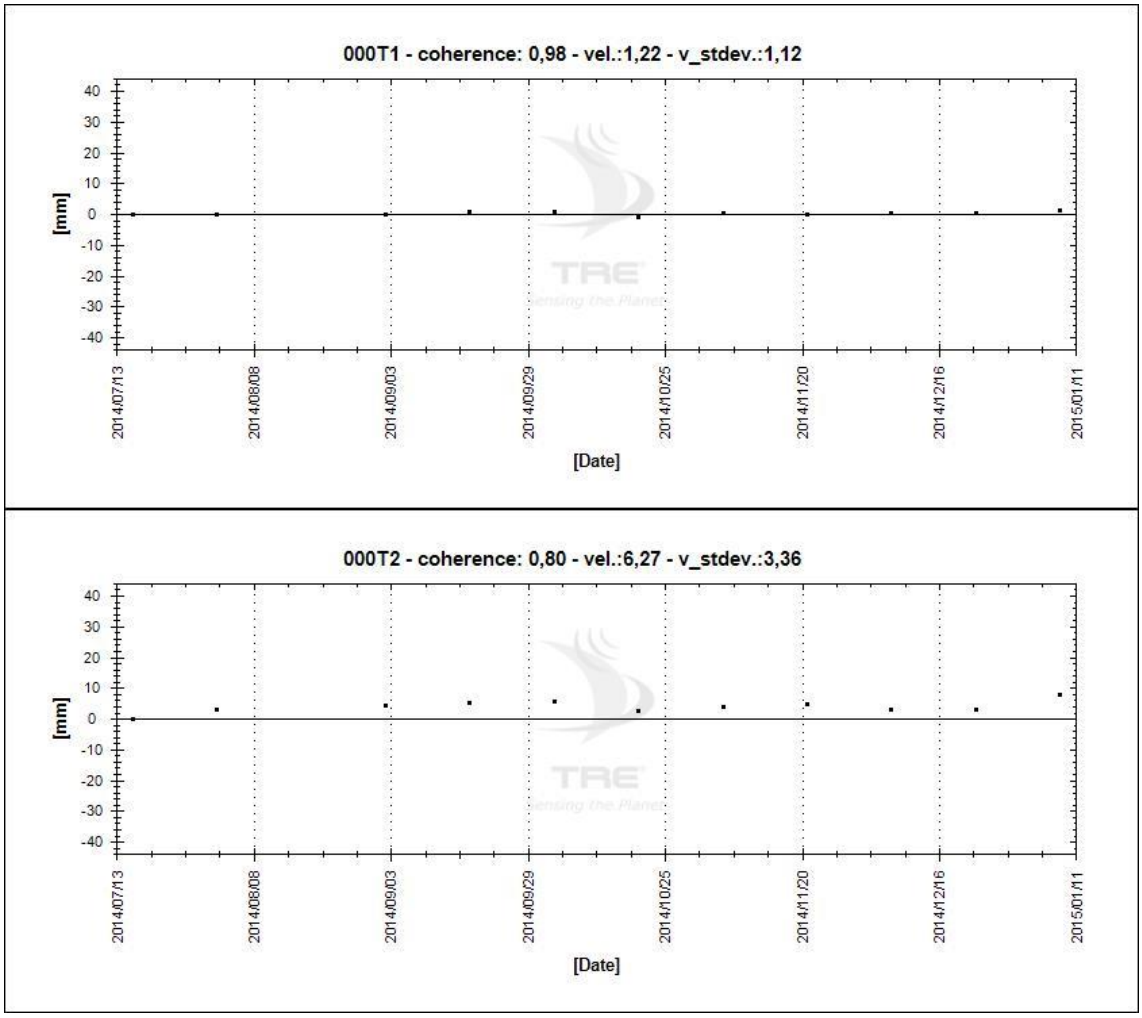


Figura 30 – Bacino di Gran Testa: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo la LOS del satellite in geometria ascendente. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento T3.

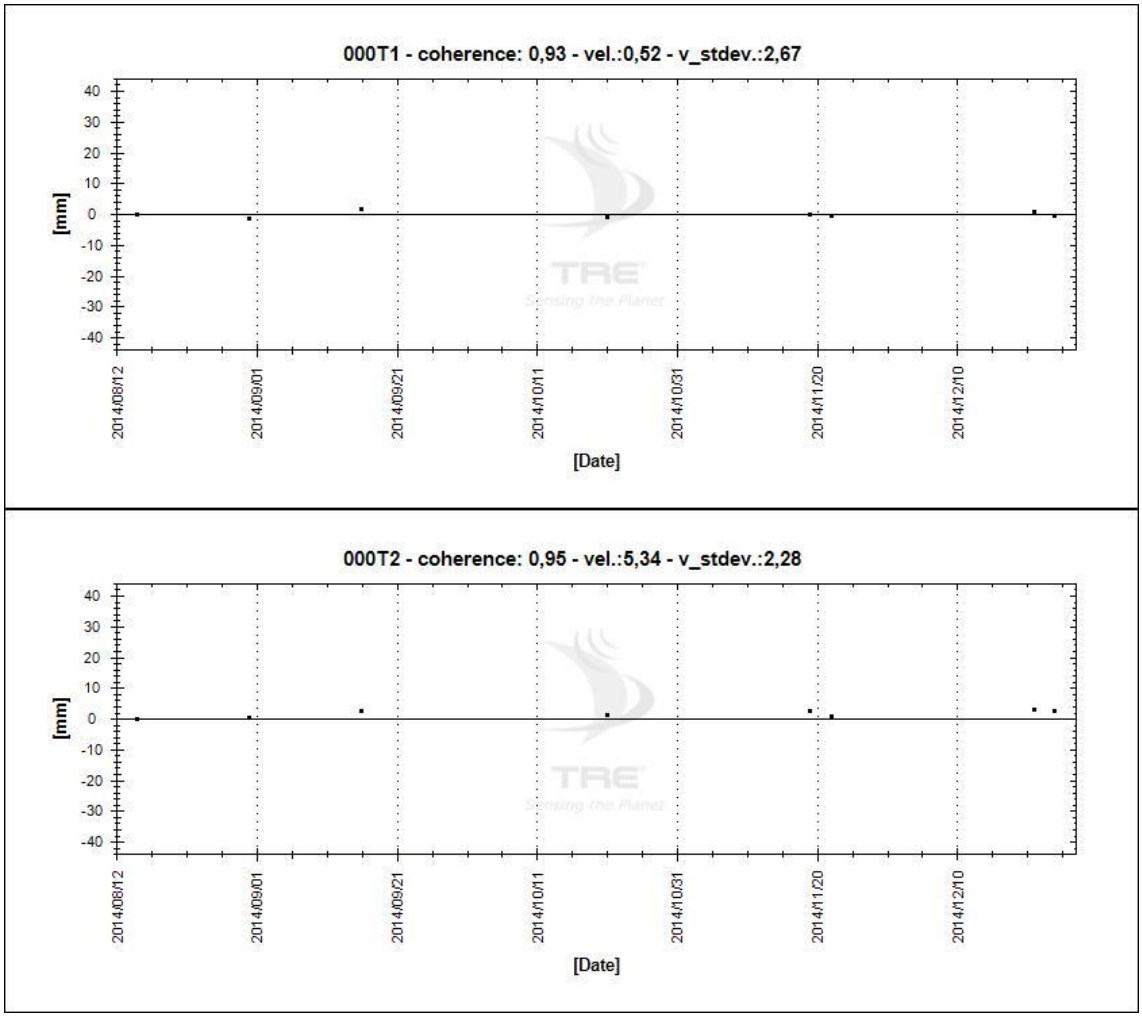


Figura 31 – Bacino di Gran Testa: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo la LOS del satellite in geometria discendente. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento T3.

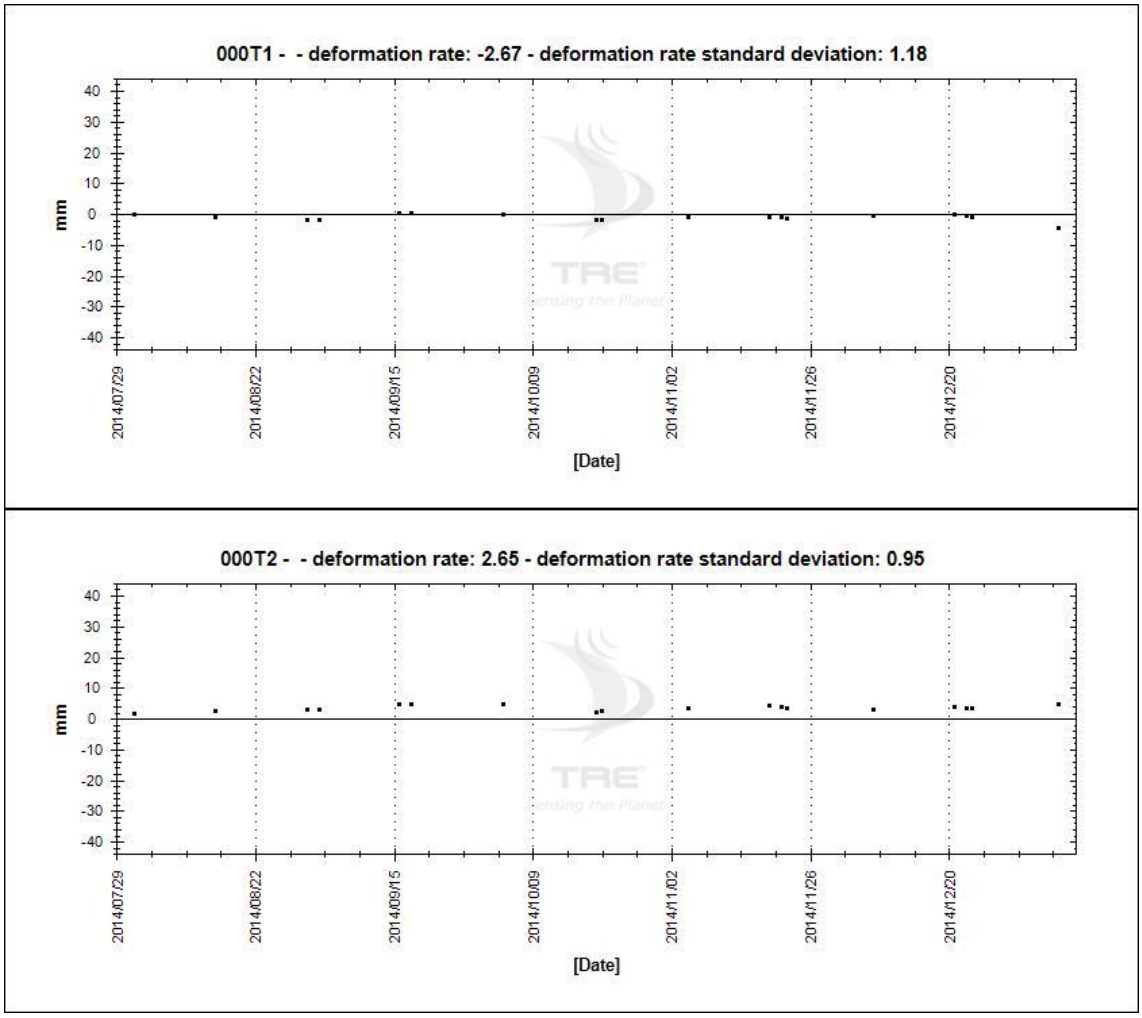


Figura 32 – Bacino di Gran Testa: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo l'asse verticale. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento T3.

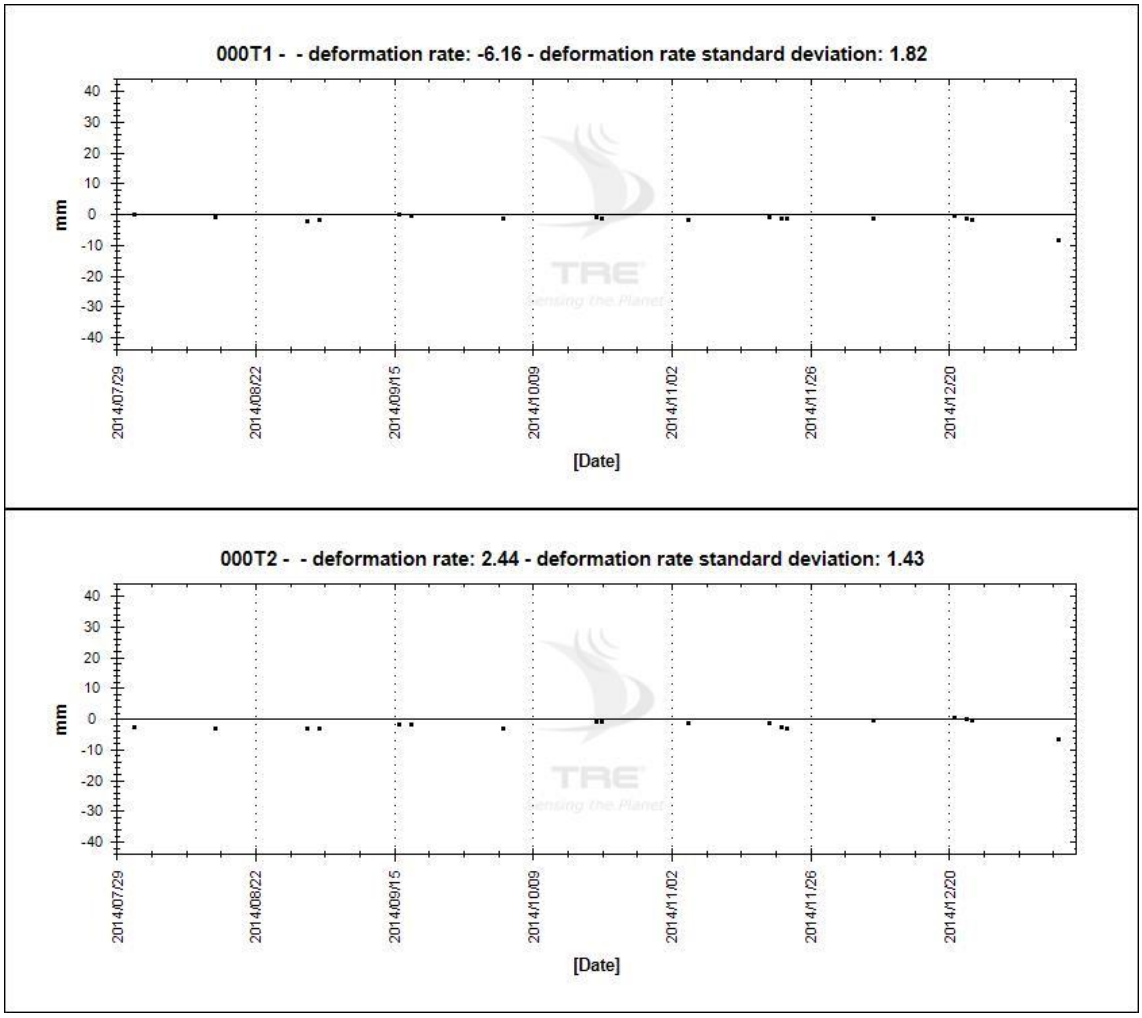


Figura 33 – Bacino di Gran Testa: serie storiche di spostamento dei punti di misura lungo l'asse est-ovest. Gli spostamenti sono riferiti al punto di riferimento T3.

5 Conclusioni

I dati di monitoraggio puntuale ottenuti con tecnica CRInSAR sui rilevati che delimitano i quattro bacini idrici di Nouva, Weissmatten, Cime Bianche e Gran Testa non sembrano al momento indicare spostamenti degni di nota. Le piccole variazioni osservabili nelle serie storiche sono in genere contenute entro i limiti di precisione (1 sigma) della tecnica di misura, quantificabili in ± 1 mm/anno sulla velocità media di spostamento ± 5 mm sulla singola misura di spostamento.

L'interferometria satellitare consente di ottenere misure di spostamento monodirezionali lungo la linea di vista del satellite; grazie alla disponibilità di immagini satellitari acquisite in geometria ascendente e discendente sui medesimi punti di misura, materializzati in questo caso mediante riflettori artificiali, è stato possibile ottenere due componenti del movimento, rispettivamente lungo l'asse verticale e l'asse orizzontale est-ovest. Per ragioni legate alla geometria di acquisizione, ed in particolare all'elevata inclinazione della linea di vista del satellite rispetto alla verticale, la componente orizzontale ottenuta dalla scomposizione vettoriale risulta inevitabilmente più rumorosa, come evidenziano le serie storiche di spostamento lungo questo asse. Un'altra causa della rumorosità delle serie storiche di spostamento è rappresentata dalle condizioni climatiche estreme delle aree di studio, caratterizzate della presenza di neve e/o ghiaccio per buona parte dell'anno, che hanno impatto sulla risposta radar dei riflettori, come documentato dalle serie storiche di ampiezza.

Nonostante le limitazioni sopra riportate, i risultati ottenuti possono essere considerati soddisfacenti, soprattutto perché offrono una continuità temporale difficilmente ottenibile con altre tecniche di misura in questo contesto ambientale e climatico.

Qualora l'attività di monitoraggio proseguisse, sarà necessario definire una nuova posizione per il riflettore di riferimento di Weissmatten; si consiglia inoltre di effettuare quanto prima un controllo di verticalità di tutti i riflettori.