

0	DIC. 2012	EMISSIONE			PROGER	PROGER	STOGIT	
REV. REV.	DATA DATE	DESCRIZIONE / DESCRIPTION			DISEGN. DRAFT.	CONTR. CHECK'D	APPROV. APPR'D	STATO REVIS. REV. STATUS
 STOGIT		CONCESSIONE FIUME TRESTE STOCCAGGIO Esercizio A Pmax=1,10 Pi LIVELLO C2 E SVILUPPO NUOVO LIVELLO F STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE			 PROGER			
CAMPO DI STOCCAGGIO DI FIUME TRESTE – INTERFEROMETRIA DIFFERENZIALE SAR E TECNICA PS, AGGIORNAMENTO DATI AGOSTO 2011 (ENI DIVISIONE E&P/GEOD, MAGGIO 2012)								
SCALA SCALE	SOSTITUISCE IL SUPERSEDES N.	SOSTITUITO DAL SUPERSEDED BY N.	AREA IMP. PLANT AREA	UNITA' IMP. PLANT UNIT	IDENTIFICATIVO DOCUMENTO DOCUMENT IDENTIFIER			FG. / DI SH. / OF
-					ALLEGATO 37f			-

	eni s.p.a. e&p division	Date May 2012	Doc. N°. GEOD_1204_d26	Rev. 0	Sheet 1	Of 21
--	--	------------------	---------------------------	-----------	------------	----------

Interferometria differenziale SAR e Tecnica PS

Campo di FIUME TRESTE

(Aggiornamento dati Agosto 2011)

0		A. BAGLIANI		A. MOSCONI	May 2012
REV.	DESCRIPTION	PREPARED BY	CHECKED BY	APPROVED BY	DATE

	eni s.p.a. e&p division	Date May 2012	Doc. N°. GEOD_I204_d26	Rev. 0	Sheet 2-2	Of 21
--	--	------------------	---------------------------	-----------	--------------	----------

EXP - SGEG GEOD

GEODYNAMICS Department

Autore:

Andrea Bagliani

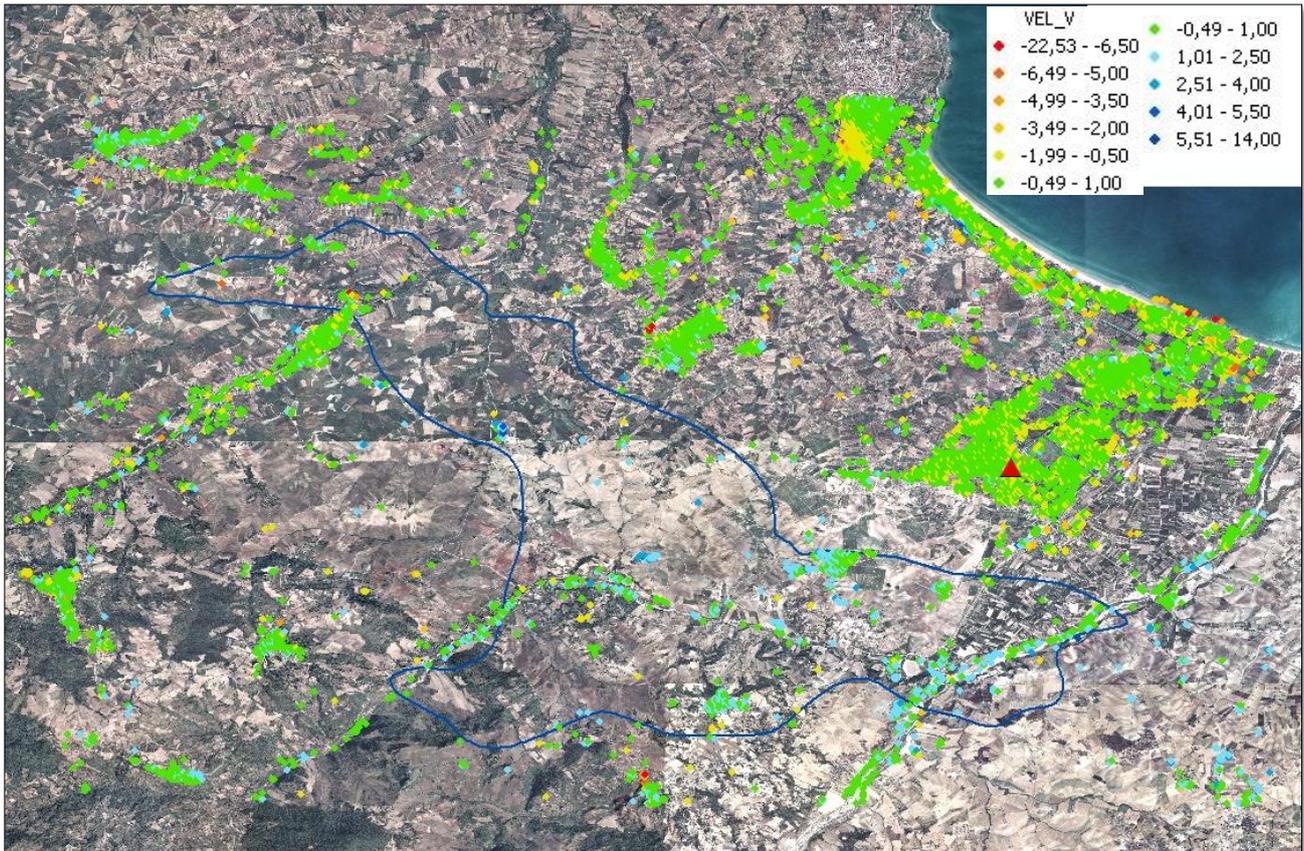
Maggio 2012

Indice

<u>Conclusioni</u>	2-4
1 - INTRODUZIONE	2-5
<i>La Tecnica PS (PSInSAR™)</i>	2-5
<i>Il brevetto della Tecnica PS</i>	2-6
<i>Recenti sviluppi nella tecnologia: analisi di non linearità stagionali</i>	2-6
<i>Tipologia delle analisi PS proposte</i>	2-6
2 - ANALISI DEL CAMPO DI FIUME TRESTE	2-8
<i>Analisi LOCAL</i>	2-9
<i>Analisi delle serie storiche dei punti scomposti</i>	2-12
Punto interno al giacimento – <u>001P4</u>	2-14
Punto interno al giacimento – <u>001UT</u>	2-15
Punto interno al giacimento – <u>003M3</u>	2-16
Punto esterno al giacimento – <u>000QQ</u>	2-17
Punto esterno al giacimento – <u>001LH</u>	2-18
Punto esterno al giacimento – <u>003SZ</u>	2-19
3 - ANALISI DELLE ELABORAZIONI	3-21
<i>Analisi LOCAL</i>	3-21
<i>Analisi delle serie storiche</i>	3-21

Conclusioni

L'analisi interferometrica dei dati Radarsat attraverso la tecnica dei Permanent Scatterers sul campo di Cupello – San Salvo per il periodo Ottobre 2003 – Agosto 2011 evidenzia una certa stabilità dell'area occupata dal giacimento relativamente ai valori di deformazione superficiali riconosciuti all'esterno di esso.



Variazioni Altimetriche +/- (mm/anno)		Correlazione tra le serie storiche	
Trend regionale	Interne ai limiti di giacimento	Ampiezza delle curve dei punti interni	Correlazione tra i punti interni e le curve di stoccaggio
Non valutabile	+ 0.85 mm/y	da 3.0 a 5.0 mm	DISCRETA

Si ricorda che i valori SAR qui presentati sono relativi al punto di riferimento utilizzato per l'analisi del dato e al quale viene assegnata una velocità verticale pari a zero. Inoltre, non disponendo di un punto del quale si conosca con esattezza la posizione nel tempo (es. CGPS) non è stato possibile calibrare in maniera assoluta l'intero dataset di velocità che rimane, pertanto, relativo alla posizione del punto di riferimento utilizzato in fase di processing e localizzato presso l'abitato di San Salvo.

I - Introduzione

La Tecnica PS (PSInSAR™)

La Tecnica PS, sviluppata e brevettata presso il Politecnico di Milano (Brevetto Italiano N. MI99A001154 e sue estensioni internazionali), è uno strumento dalle caratteristiche uniche per l'analisi di deformazioni superficiali quali subsidenze, frane, faglie sismiche e per la misurazione di spostamenti di singoli edifici.

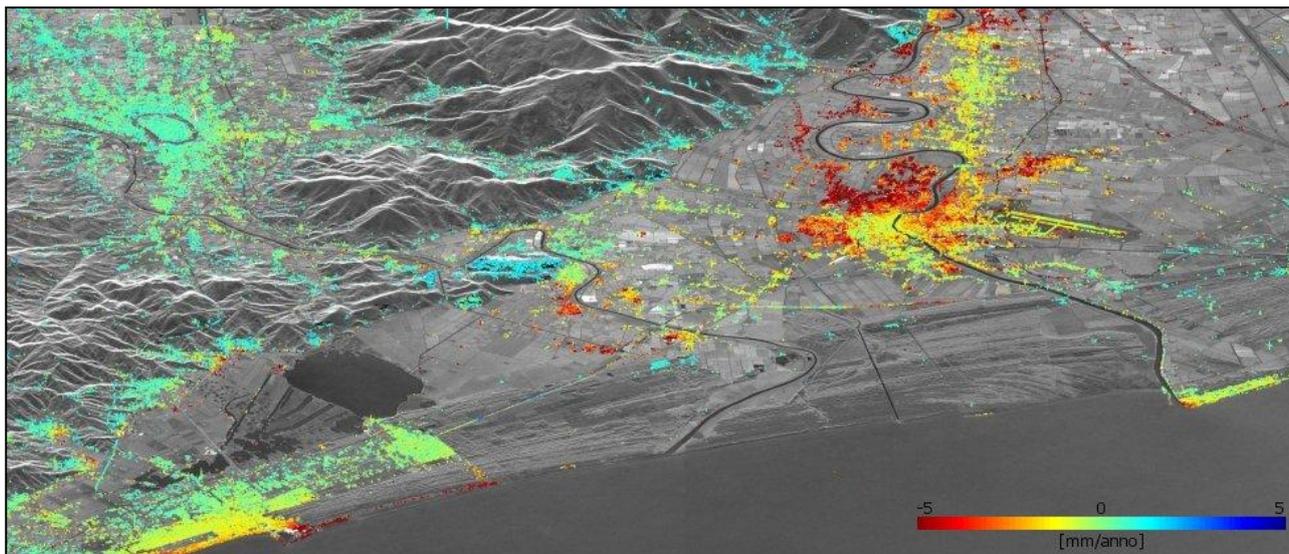


Fig.1 **Esempi di subsidenza nell'area di Pisa.**

L'analisi di dati acquisiti ripetutamente nel tempo su una stessa area di interesse da sensori radar satellitari consente l'individuazione di alcuni bersagli al suolo (denominati PS) su cui risultano possibili misure di spostamento estremamente accurate.

L'idea di base è semplice: il radar ad ogni acquisizione misura la distanza sensore-bersaglio al suolo. Avendo a disposizione sequenze di immagini sulla stessa zona e lungo la stessa orbita registrate in istanti di tempo successivi, è possibile mettere in evidenza (almeno per certi oggetti) l'evoluzione di eventuali spostamenti. I PS corrispondono solitamente a manufatti, parti di edifici, elementi metallici, ma anche rocce affioranti od altri elementi naturali possono mostrare caratteristiche tali da renderne possibile il monitoraggio. L'elevata densità di punti di misura, soprattutto in corrispondenza di centri abitati (densità oltre 500 PS/km²), ha permesso di evidenziare i possibili impieghi della Tecnica PS legati al monitoraggio dei fabbricati ed al controllo della stabilità di singole strutture. Le caratteristiche peculiari della Tecnica PS, quali la capacità di analisi di vaste aree in tempi brevi, la dimensione puntuale e quantitativa delle misure e la loro precisione, l'elevata densità spaziale di bersagli radar per i quali ottenere informazioni di spostamento e la possibilità di accedere ad un archivio storico di dati di ineguagliabile valore, mettono in luce la complementarità del suo utilizzo con tecniche ormai consolidate quali la livellazione ottica e le misurazioni GPS.

	eni s.p.a. e&p division	Date May 2012	Doc. N°. GEOD_I204_d26	Rev. 0	Sheet 2-6	Of 21
--	----------------------------	------------------	---------------------------	-----------	--------------	----------

Il brevetto della Tecnica PS

Frutto di un lungo cammino di ricerca svolto presso il Dipartimento di Elettronica del Politecnico di Milano, l'algoritmo di elaborazione di dati radar satellitari per l'individuazione e la stima dei moti di diffusori permanenti, denominato comunemente "Tecnica PS" è stato brevettato in Italia nel 1999. Il titolare del brevetto è il Politecnico di Milano e i suoi inventori sono il Prof. Fabio Rocca, il Prof. Claudio Prati e l'Ing. Alessandro Ferretti.

Successivamente sono state approvate le estensioni presso l'Unione Europea e gli Stati Uniti d'America e sono in via di approvazione definitiva quelle in Australia e Giappone.

Recenti sviluppi nella tecnologia: analisi di non linearità stagionali

Il nuovo software utilizzato nel corso delle ultime consegne per STOGIT differisce dalle versioni precedenti per una innovativa procedura di stima e rimozione della componenti atmosferiche che, come noto, risulta uno dei punti chiave delle analisi PS.

In effetti, l'utilizzo del modello lineare utilizzato in sede di "svolgimento" delle fasi, comportava una significativa sottostima degli effetti di moto stagionali e non lineari.

Il nuovo algoritmo risulta particolarmente vantaggioso qualora le componenti di moto siano bene rappresentabili come somma di una funzione polinomiale (tipicamente di ordine inferiore al quarto) più una componente stagionale (ovvero una senoide con periodo annuale). Nelle versioni precedenti del software alcune componenti di moto che mostravano una forte correlazione spaziale ed un andamento spiccatamente non-lineare potevano essere sottostimate in quanto parzialmente interpretate come componenti atmosferiche.

E' stata inoltre ulteriormente sviluppata la procedura per la selezione del caposaldo radar di riferimento, consentendo all'operatore (pur senza alcuna informazione a priori sulla distribuzione e tipologia di moto cui è soggetta l'area di interesse) di valutare più opzioni e scegliere così quella più consona all'applicazione.

Tipologia delle analisi PS proposte

Le analisi proposte sono:

Local Analysis: indagini locali che mirano all'estrazione del massimo contenuto informativo dai dati radar e si applicano ad aree di dimensioni limitate.

Sono particolarmente indicate per lo studio di versanti in frana, per l'individuazione e la misura degli spostamenti di singole strutture quali dighe, condotte forzate o altri rilevati e per l'analisi della stabilità di singoli edifici. L'intervento dell'operatore è di fondamentale importanza per ottimizzare la scelta dei parametri dell'elaborazione e per analizzare in dettaglio i vari passi della catena di produzione in modo tale da poter rilevare informazione anche in presenza di disturbi non totalmente rimovibili.

	eni s.p.a. e&p division	Date May 2012	Doc. N°. GEOD_I204_d26	Rev. 0	Sheet 2-7	Of 21
---	--	------------------	---------------------------	-----------	--------------	----------

Poiché la quantità di dati da processare non è eccessiva, è possibile condurre analisi molto onerose da un punto di vista computazionale, quali la ricerca di moti non-lineari mediante l'utilizzo di modelli matematici complessi, oppure l'individuazione di PS con caratteristiche di stabilità variabili nel tempo (Semi-PS e Temp-PS).

Il dato contiene, oltre al trend di deformazione medio stimato su tutto il periodo di analisi, la totalità delle serie storiche estratte; se ne ricava estrema utilità per l'analisi dell'evoluzione del moto nel tempo, potendo porre in evidenza il valore della dimensione temporale che il dato contiene.

Regional Analysis: l'elaborazione a livello territoriale si presenta come uno strumento operativo molto utile e dalle straordinarie potenzialità per caratterizzare fenomeni di deformazione estesi quali subsidenze e faglie sismiche.

Ad oggi sono le analisi maggiormente diffuse e sono già state utilizzate con successo su decine di migliaia di Km² in varie tipologie di ambiente: da aree alpine o appenniniche a deserti, da pianure ad aree densamente urbanizzate.

La quantità di dati da processare è decisamente cospicua e la catena di produzione è progettata in modo tale che l'elaborazione sia semi-automatica. L'intervento dell'operatore viene limitato alla definizione dei principali parametri e ai controlli di qualità sui passi intermedi.

La procedura utilizzata, fortemente automatizzata e corredata da una fitta rete di controlli di qualità, consente di estrarre misure di deformazione su aree molto estese.

2 - ANALISI DEL CAMPO DI FIUME TRESTE



Fig.2 **Ubicazione del giacimento di Fiume Treste, situato tra le province di Pescara e Campobasso.**

Analisi LOCAL

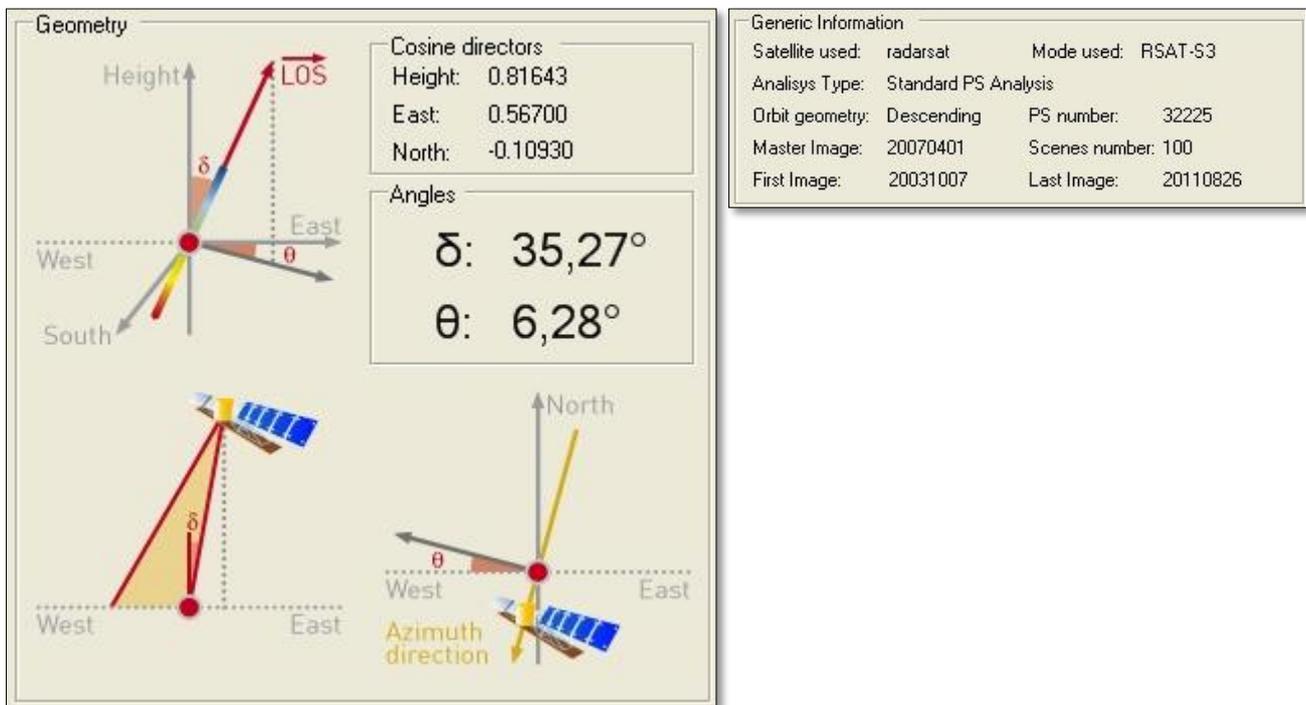
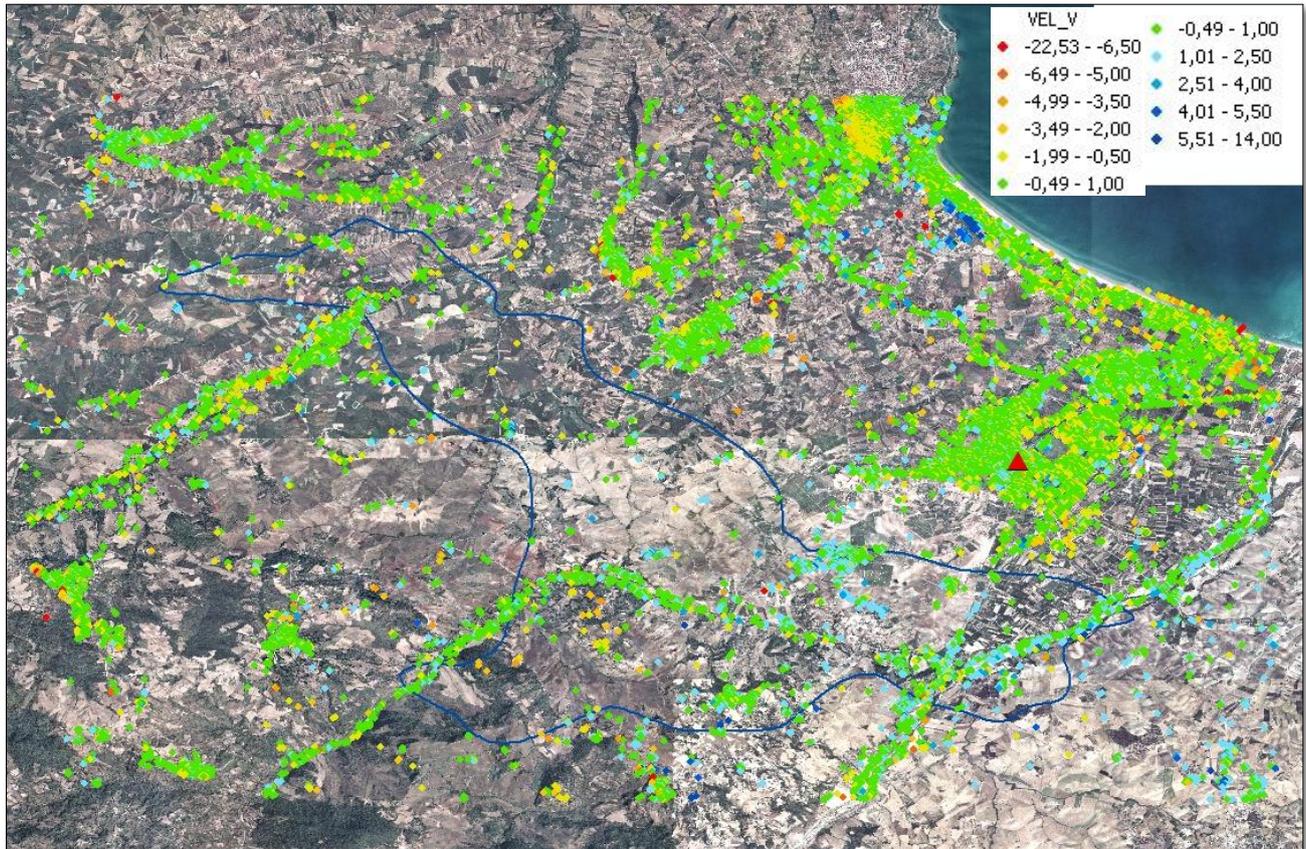


Fig.3 Visualizzazione in scala di colori delle velocità del rilievo Local per i PS riconosciuti in modalità discendente. In basso, i parametri dell'acquisizione e una rappresentazione grafica della configurazione utilizzata.

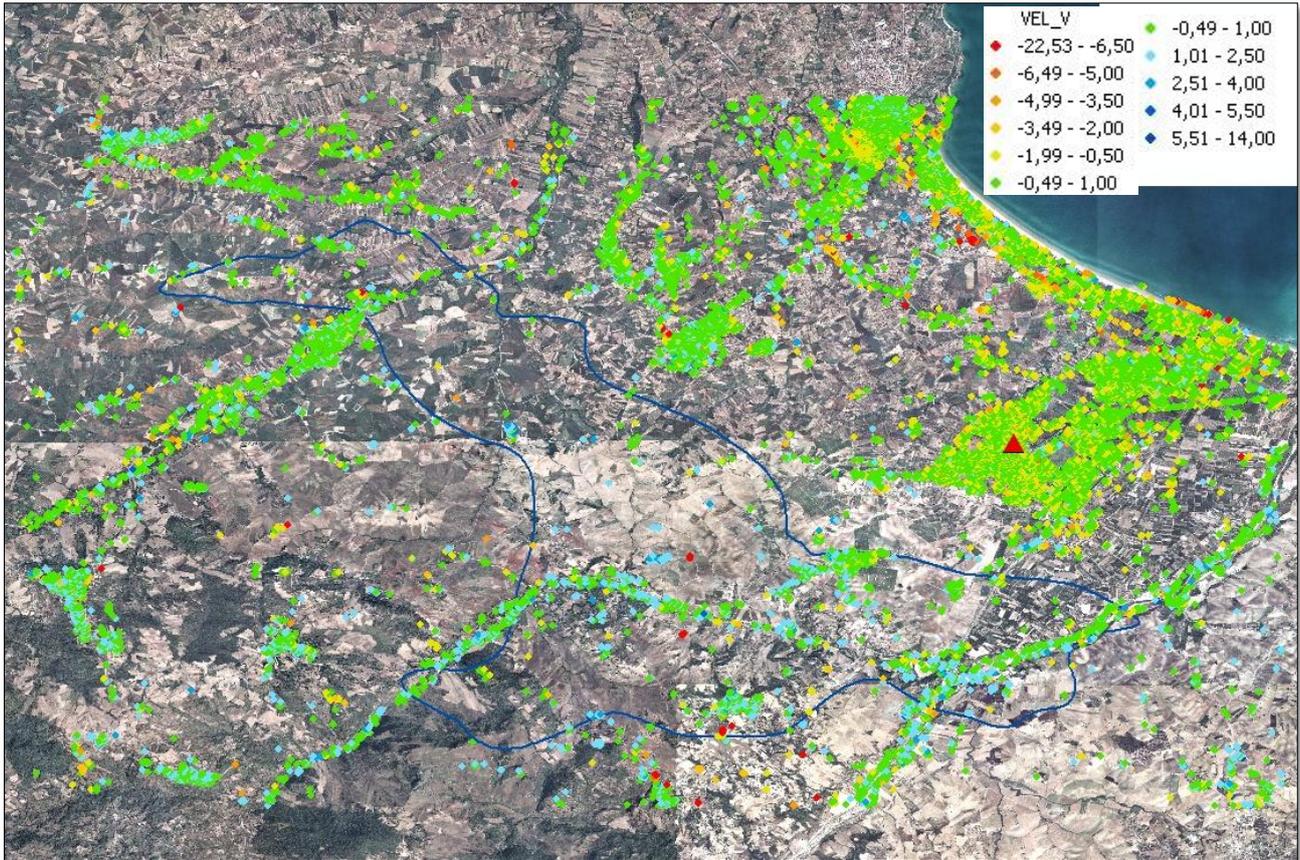


Fig.4 **Visualizzazione in scala di colori delle velocità del rilievo Local per i PS riconosciuti in modalità ascendente. In basso, i parametri dell'acquisizione e una rappresentazione grafica della configurazione utilizzata.**

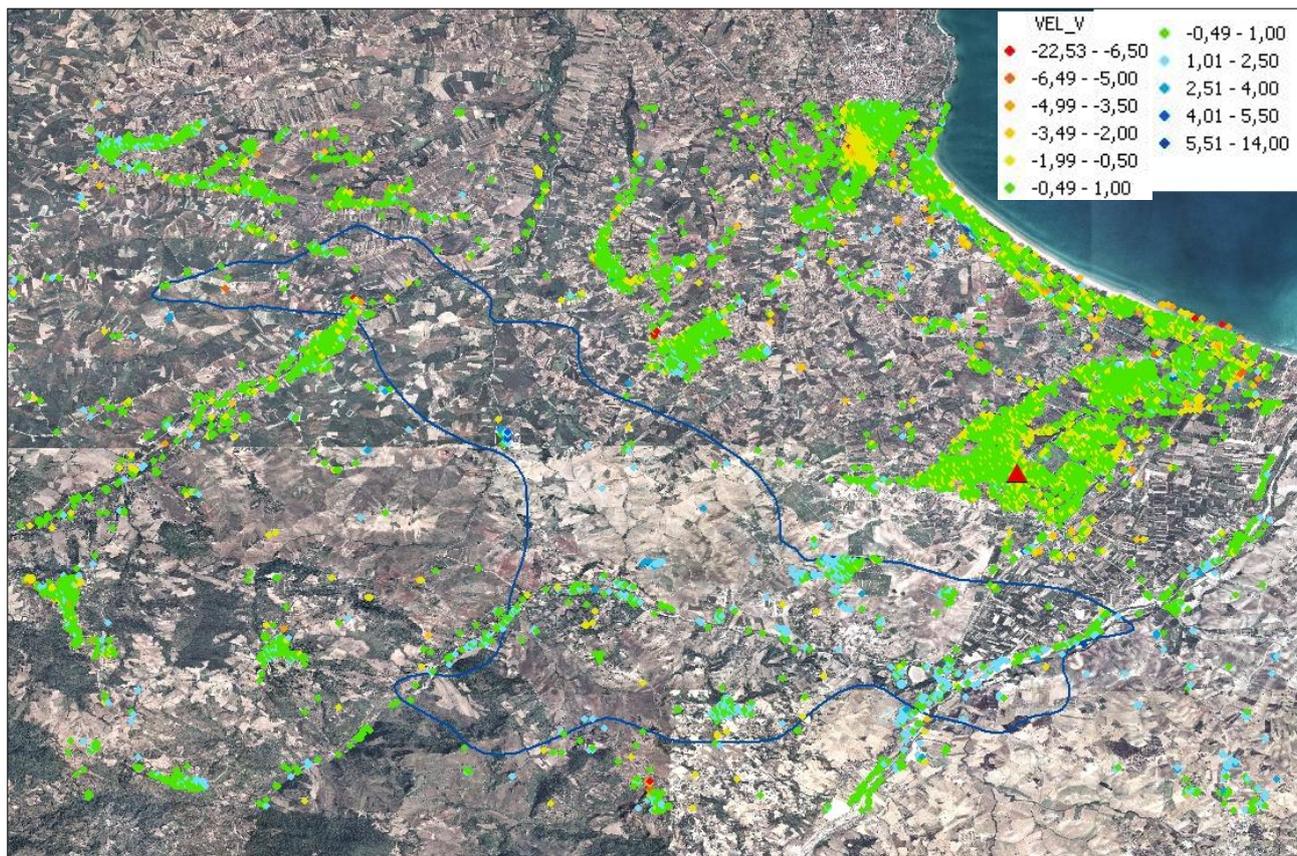


Fig.5 Visualizzazione in scala di colori delle velocità verticali dei punti scomposti del rilievo Local. Il triangolo rosso indica la posizione del punto di riferimento utilizzato per la scomposizione del moto verticale.

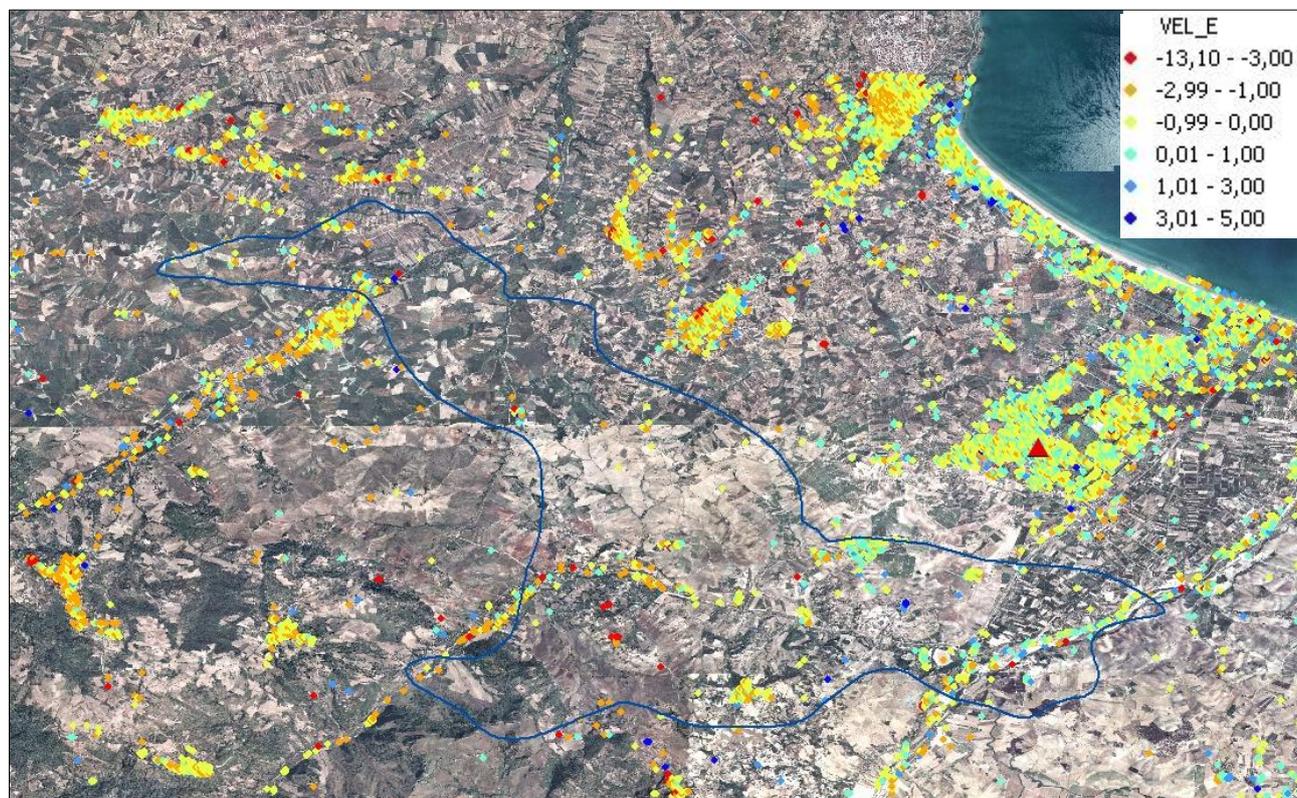
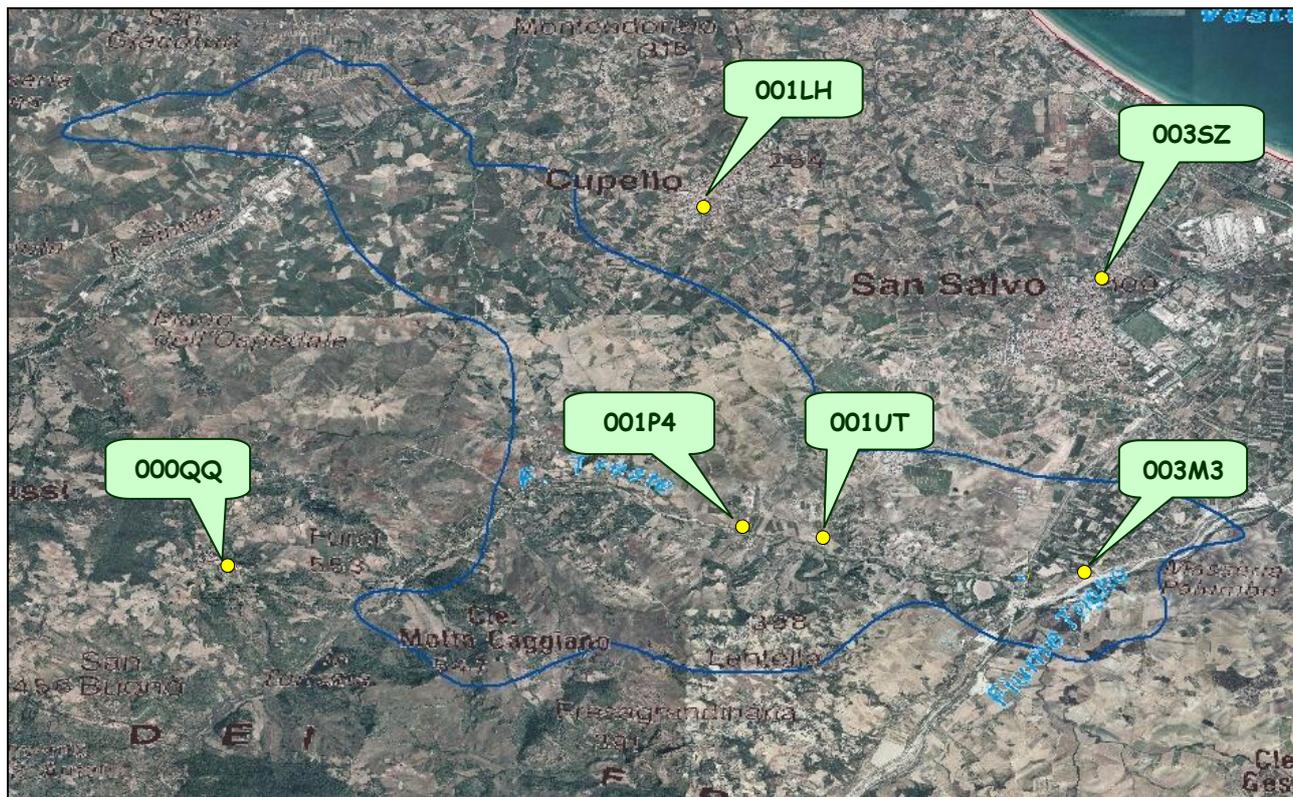


Fig.6 Velocità di deformazione orizzontale per il periodo Ottobre 2003 – Agosto 2011 presso il campo di stoccaggio di Cupello.

Analisi delle serie storiche dei punti scomposti



Le serie storiche rappresentano l'andamento nel tempo di un singolo punto scomposto attraverso la variazione altimetrica registrata da ogni singola immagine radar acquisita (nel caso del Radarsat ogni 24 giorni). In questo modo è possibile avere, oltre alle variazioni altimetriche relative di quel punto rispetto al punto di riferimento, anche gli spostamenti mensili di quel singolo punto nel periodo considerato.

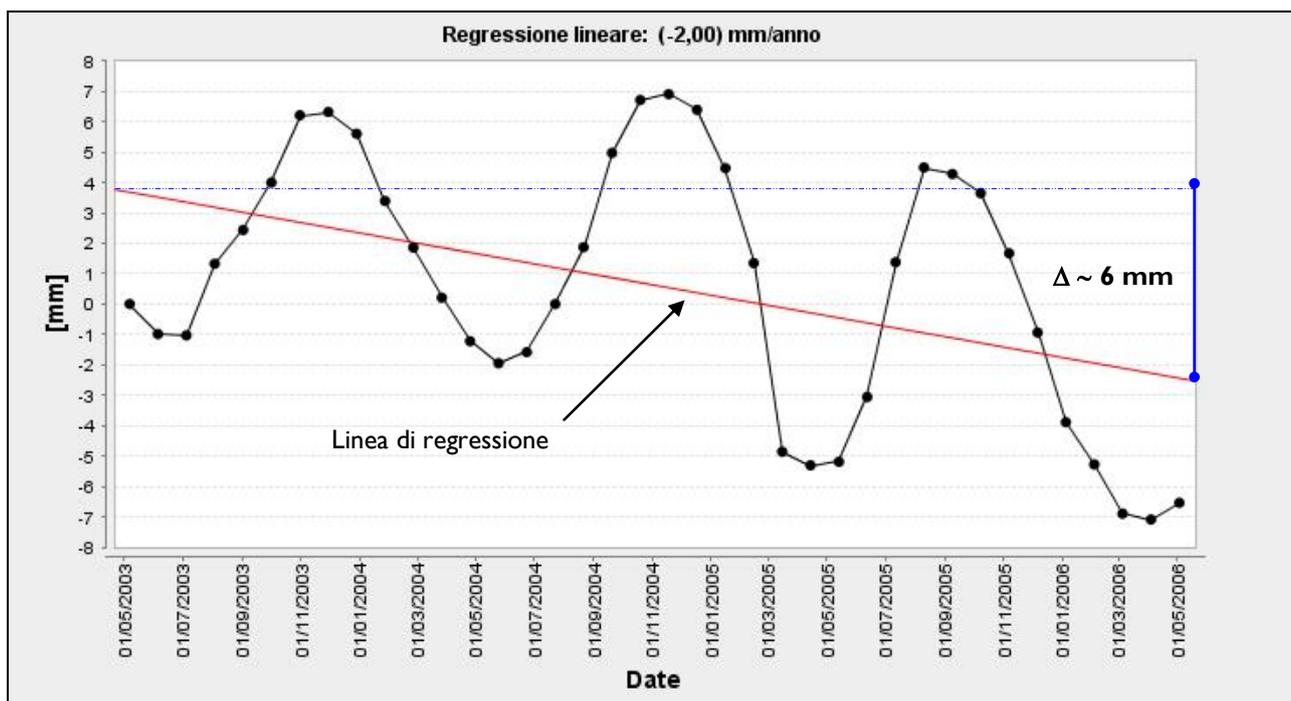


Fig.7 Esempio di serie storica con valori di subsidenza di circa 2 mm/anno.

In questo progetto oltre alle velocità sono state scomposte anche le serie storiche. Per ogni cella di risoluzione 100 m per 100 m si avrà quindi l'andamento della variazione altimetrica nel tempo e la velocità verticale, già calcolata in mm/anno, ottenuta dalla retta di regressione lineare (si veda esempio fig. 17 e 18).

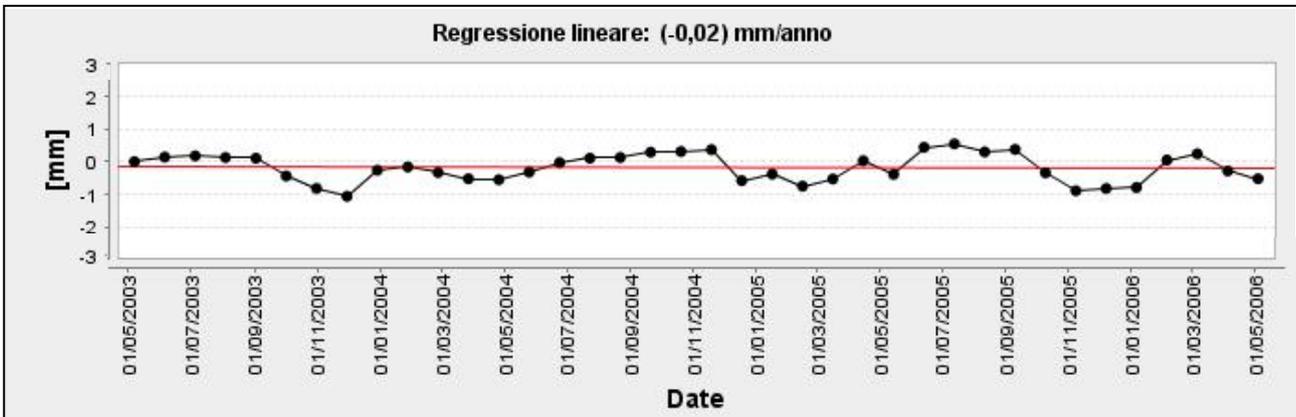


Fig.8 **Esempio di serie storica con valori di regressione lineare nulla.**

A titolo di esempio nelle pagine successive si mostra l'andamento delle serie storiche scomposte di 6 punti ottenuti sempre da griglia regolare, risoluzione 100m per 100m.

Tre dei sei punti sono stati presi in prossimità del top strutturale, mentre gli altri tre ad una distanza tale che si suppone essersi esaurito l'effetto dello stoccaggio. Per ognuna delle serie storiche si evidenzia la cella relativa ed il numero di PS ascendenti e discendenti che hanno reso possibile la scomposizione. La scelta delle serie storiche di esempio è stata definita in base al numero minimo di PS ascendenti e discendenti all'interno della cella di risoluzione. Si parte infatti dal presupposto che ad un alto numero di PS corrisponda un livello di accuratezza maggiore del dato scomposto. Per tale motivo in questo lavoro si è scelto di considerare i soli punti che presentano un numero elevato di Permanent Scatterers ascendenti e discendenti all'interno della cella di scomposizione. Ognuna delle curve viene inoltre paragonata con la curva cumulativa di stoccaggio del campo di Sergnano (fig. 19).

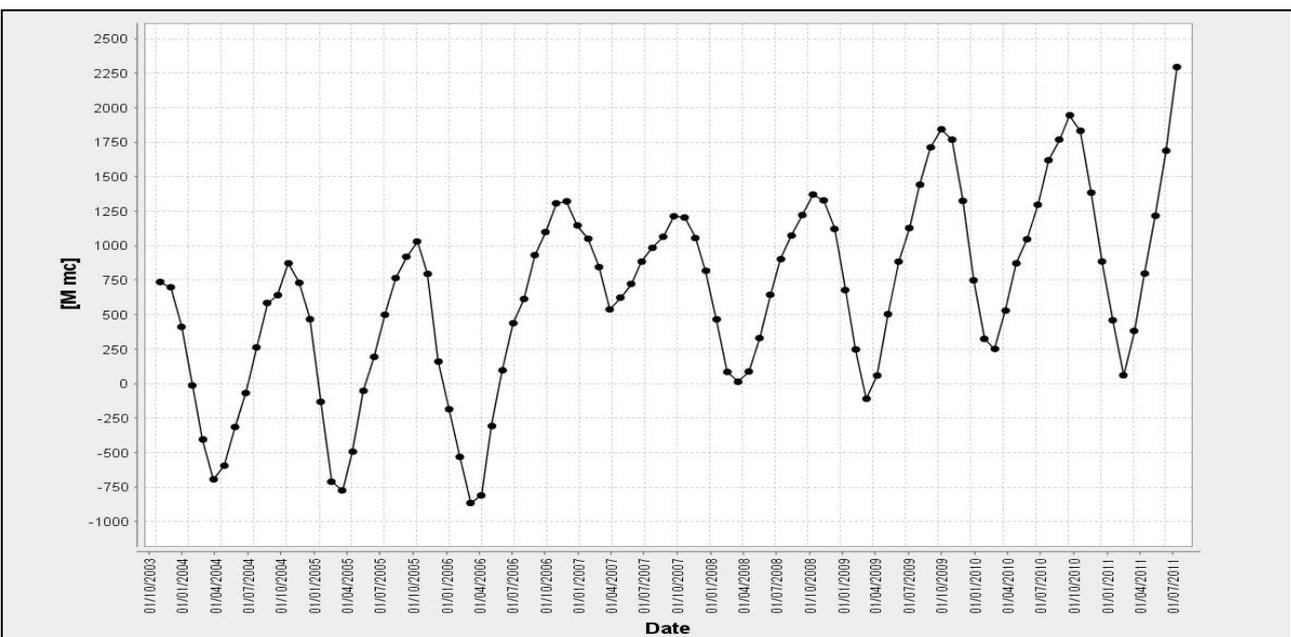


Fig.9 **Curva cumulativa di stoccaggio del campo a gas di Cupello (unità di misura in $m^3 \times 10^6$).**

Punto interno al giacimento – 001P4

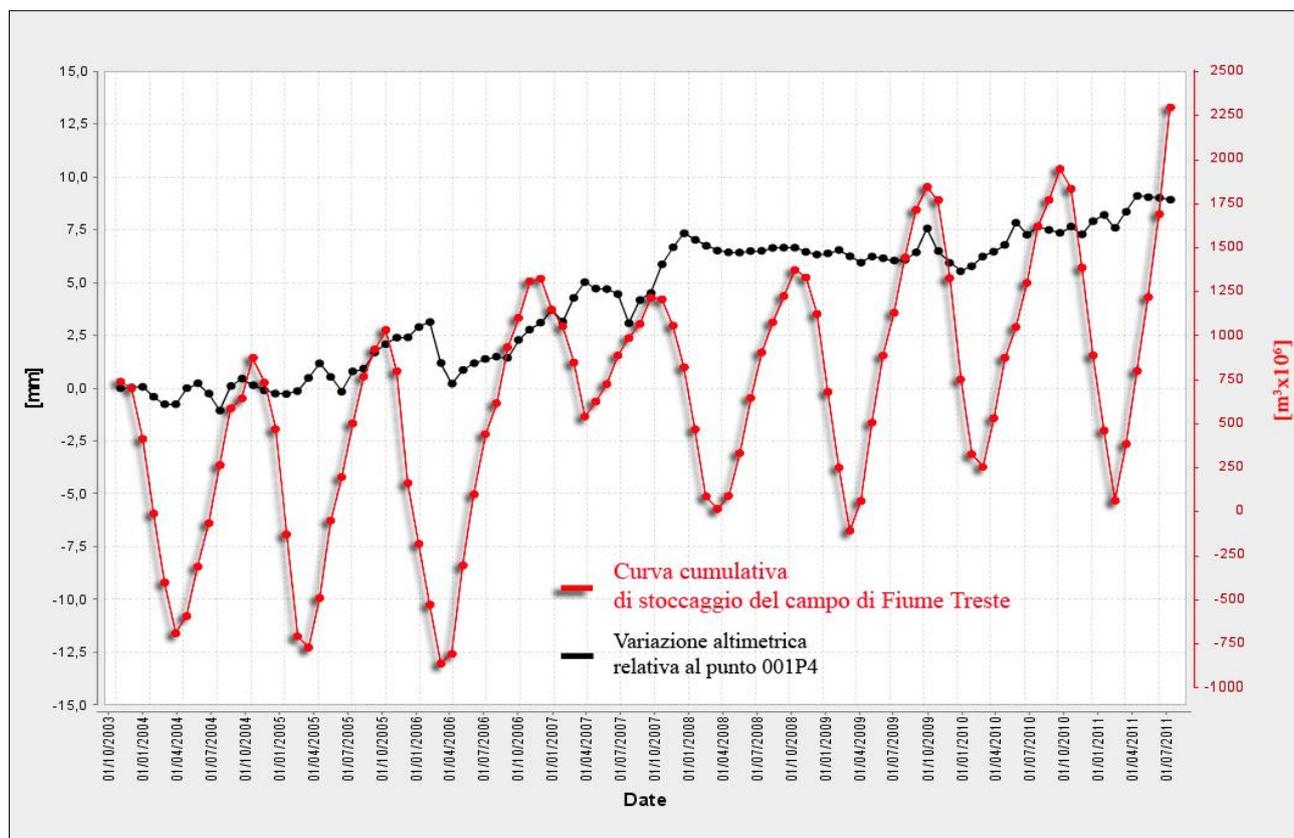


Fig.10 Confronto tra la curva cumulativa di stoccaggio del campo di Cupello-S.Salvo e le variazioni verticali del punto scomposto 001P4.

Punto interno al giacimento – 001UT

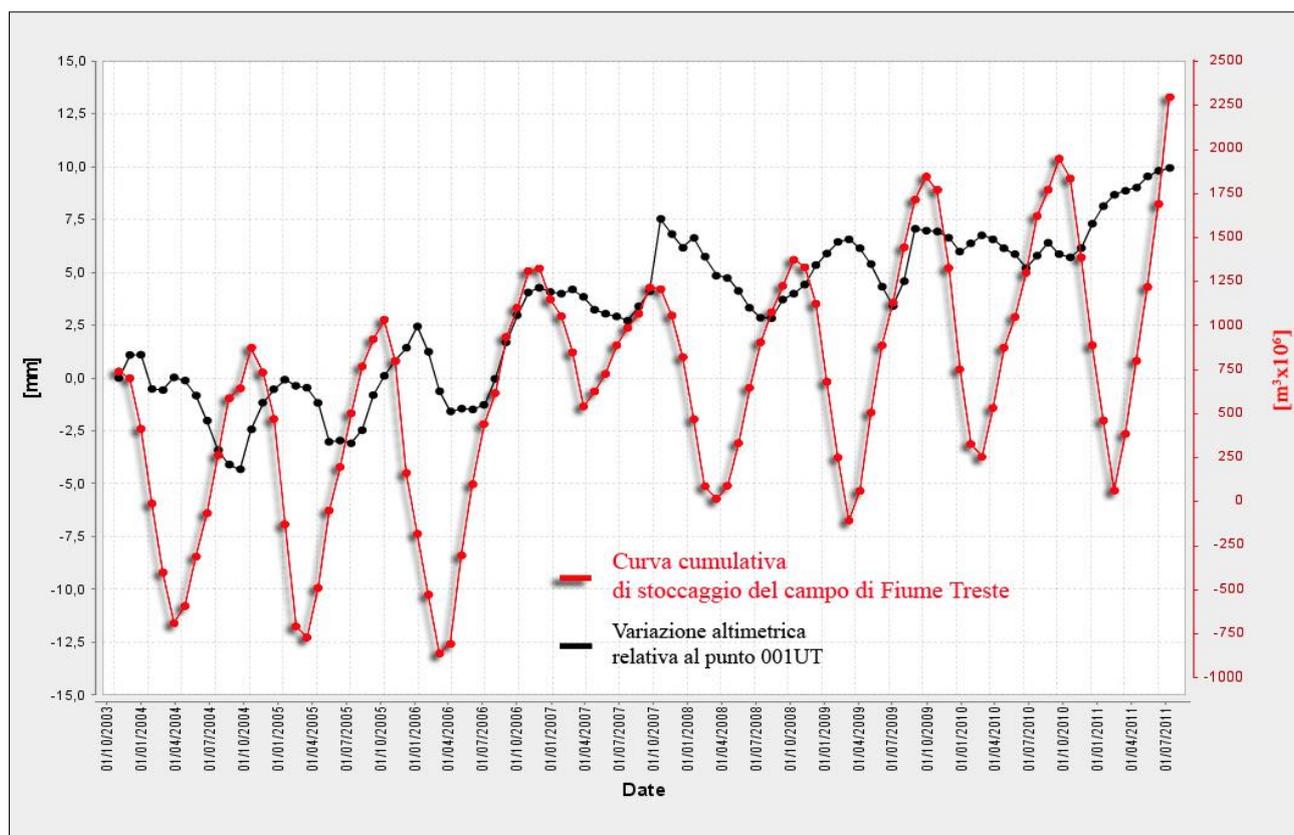
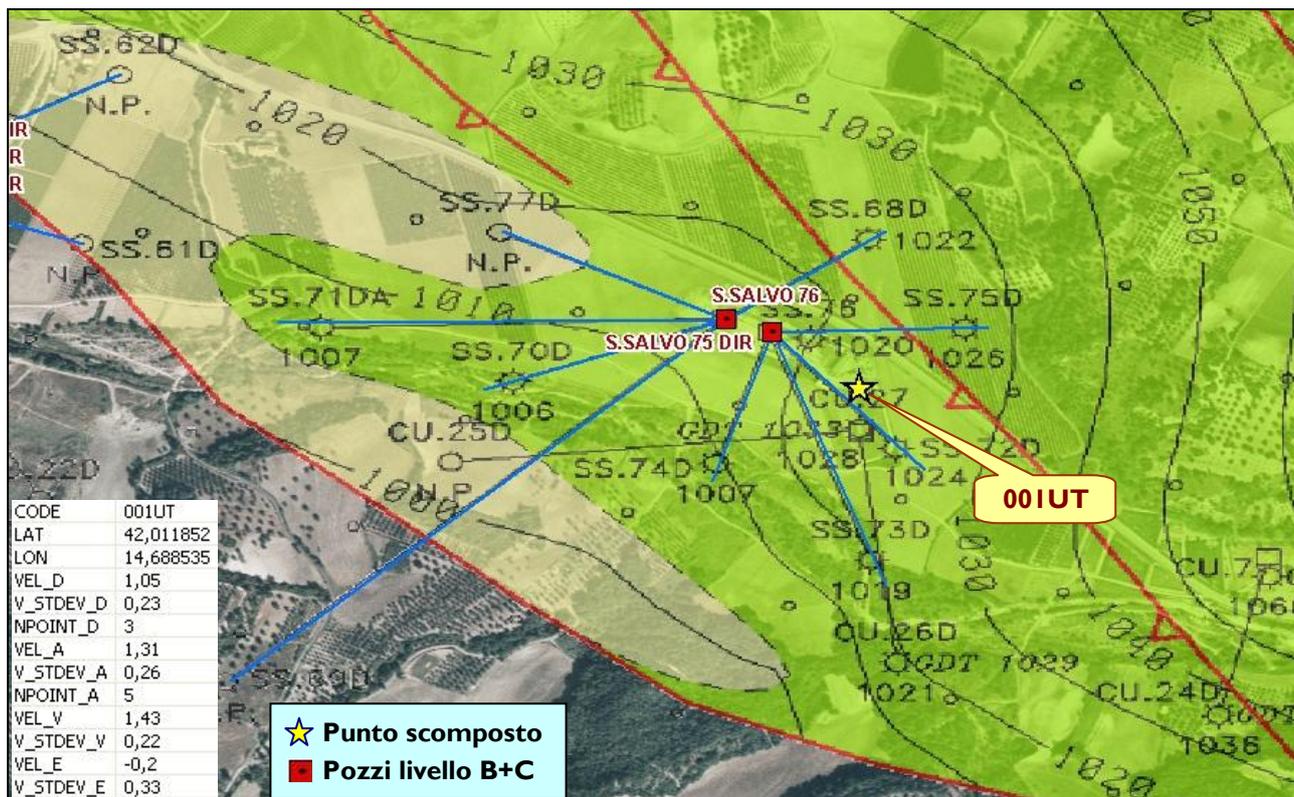


Fig.11 Confronto tra la curva cumulativa di stoccaggio del campo di Cupello-S.Salvo e le variazioni verticali del punto scomposto 001UT.

Punto interno al giacimento – 003M3

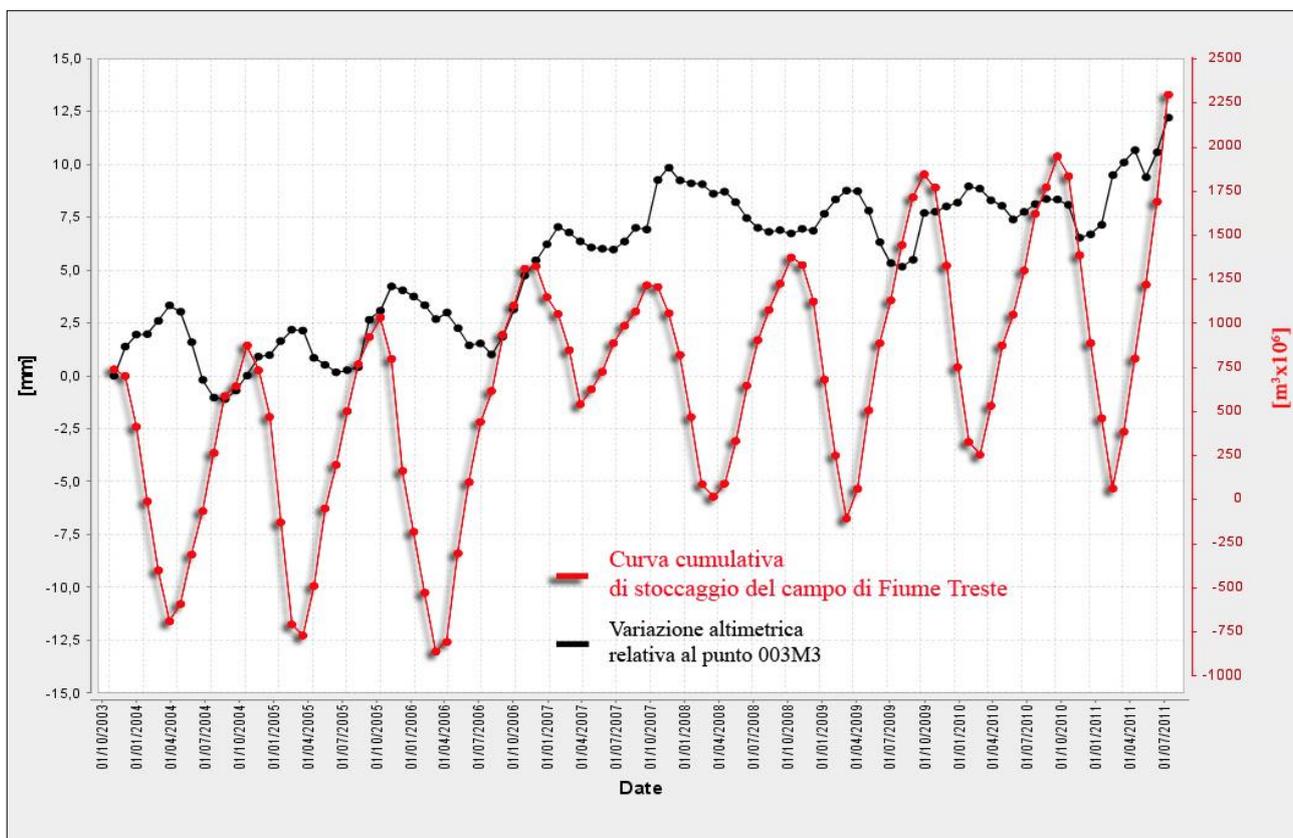
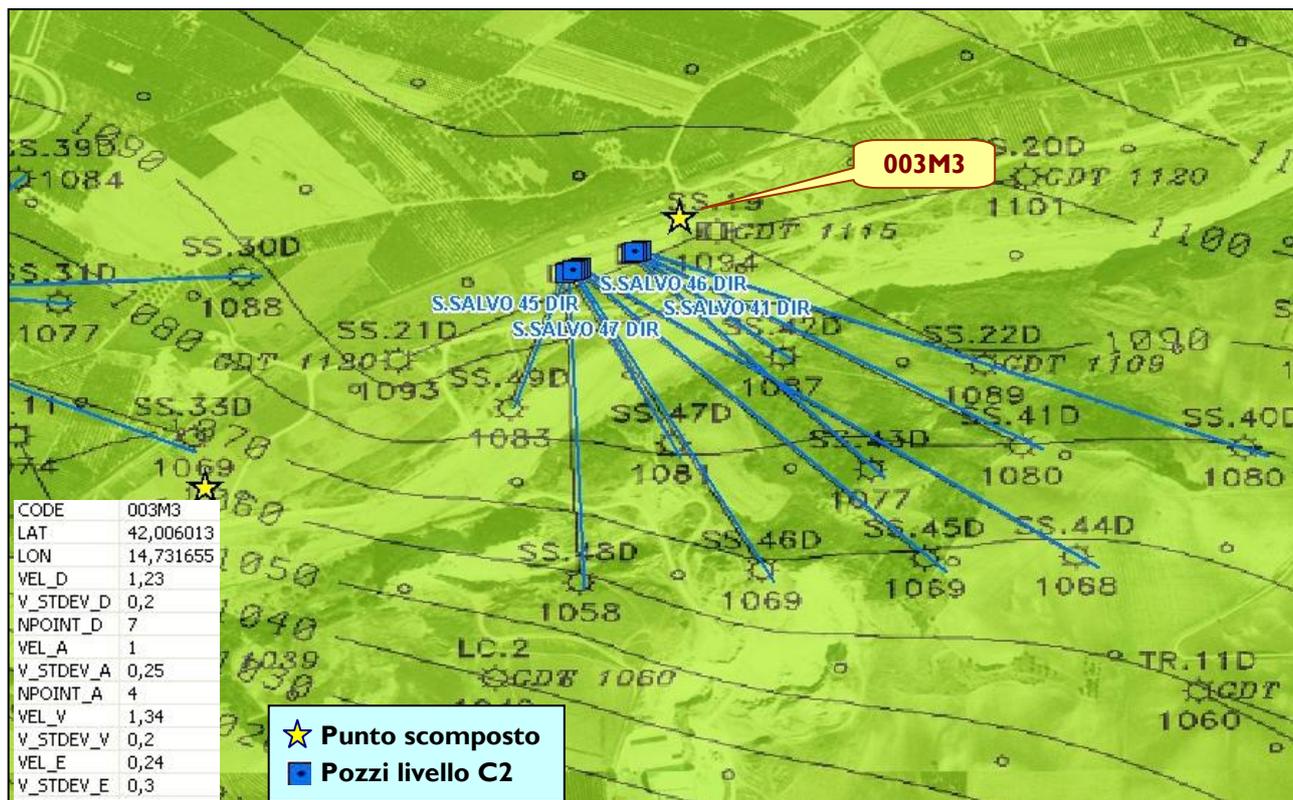


Fig.12 Confronto tra la curva cumulativa di stoccaggio del campo di Cupello-S.Salvo e le variazioni verticali del punto scomposto 003M3.

Punto esterno al giacimento – 000QQ

CODE	000QQ
LAT	42,006462
LON	14,590167
VEL_D	0,52
V_STDEV_D	0,16
NPOINT_D	10
VEL_A	0,17
V_STDEV_A	0,23
NPOINT_A	8
VEL_V	0,41
V_STDEV_V	0,18
VEL_E	0,33
V_STDEV_E	0,27

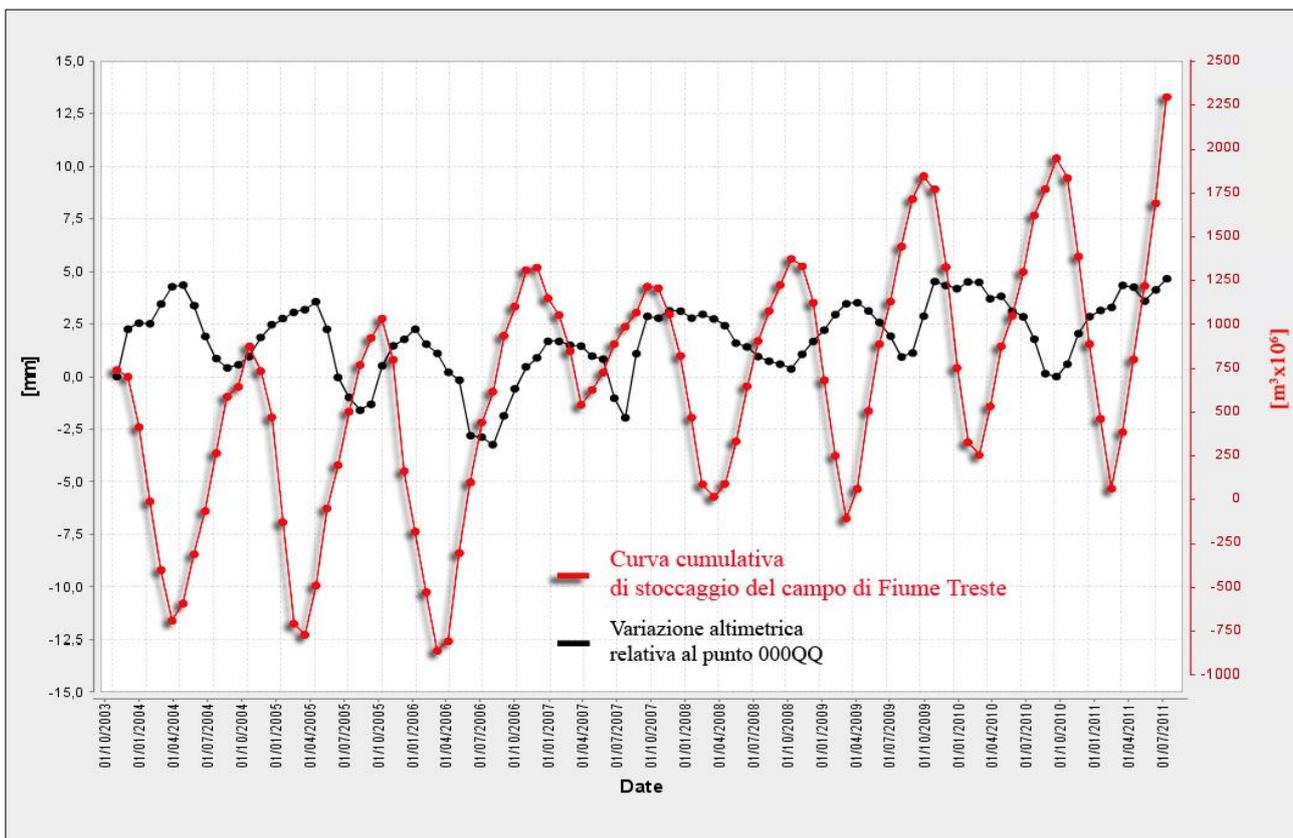
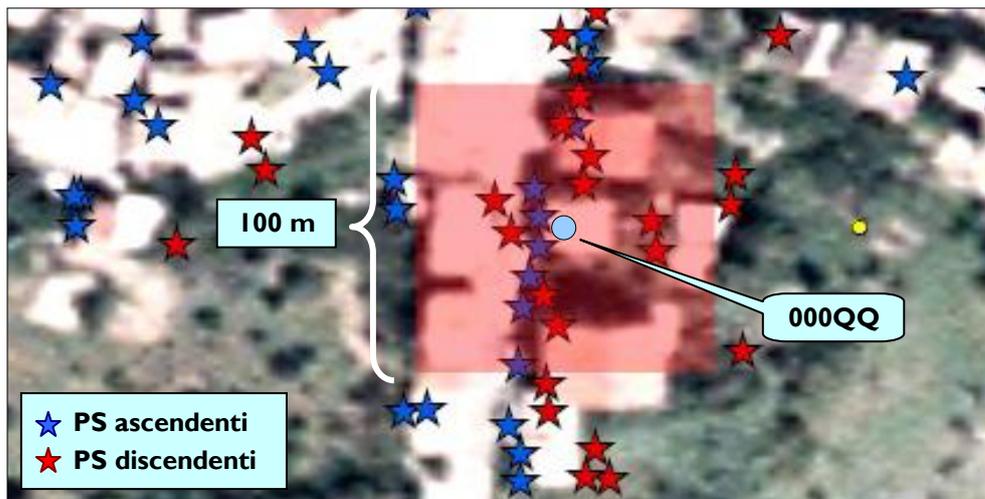


Fig.13 Confronto tra la curva cumulativa di stoccaggio del campo di Cupello-S.Salvo e le variazioni verticali del punto scomposto 000QQ.

Punto esterno al giacimento – 001LH

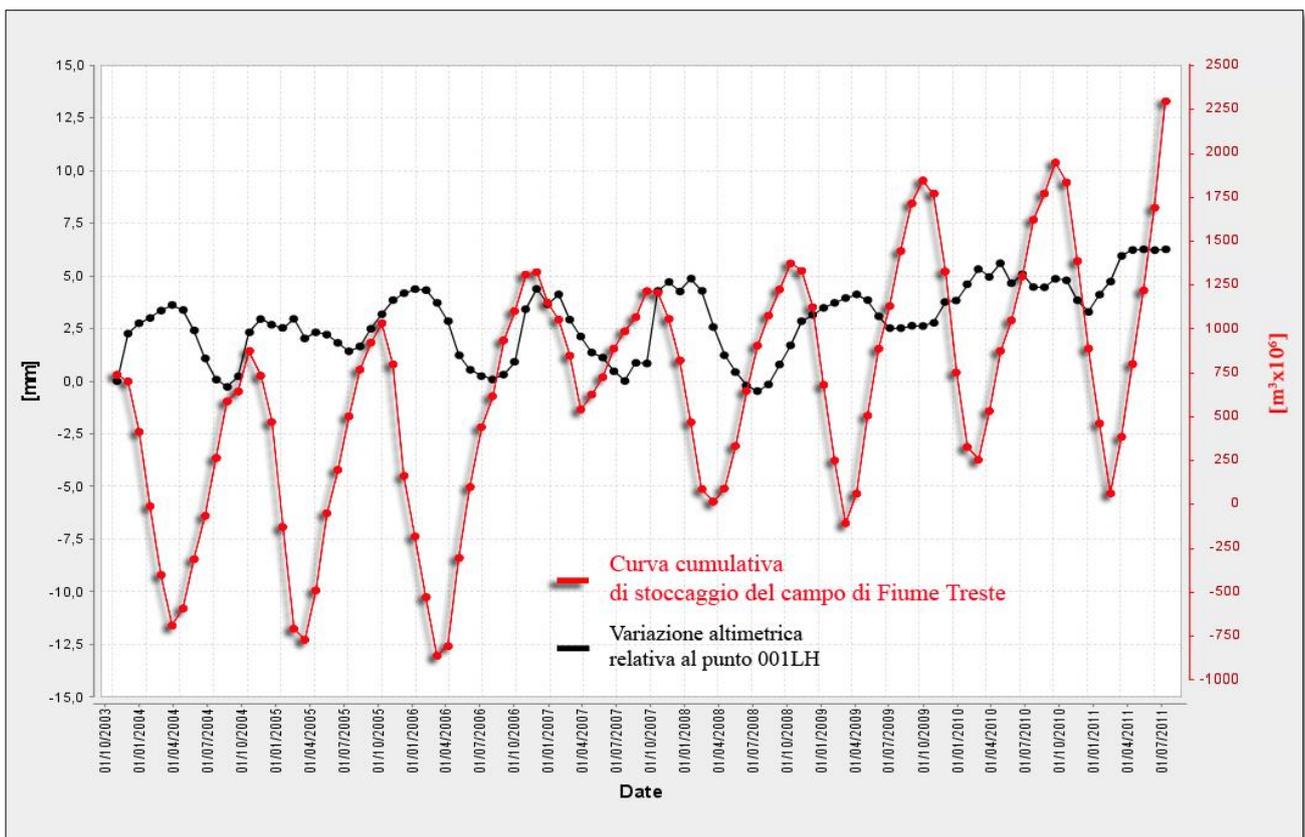
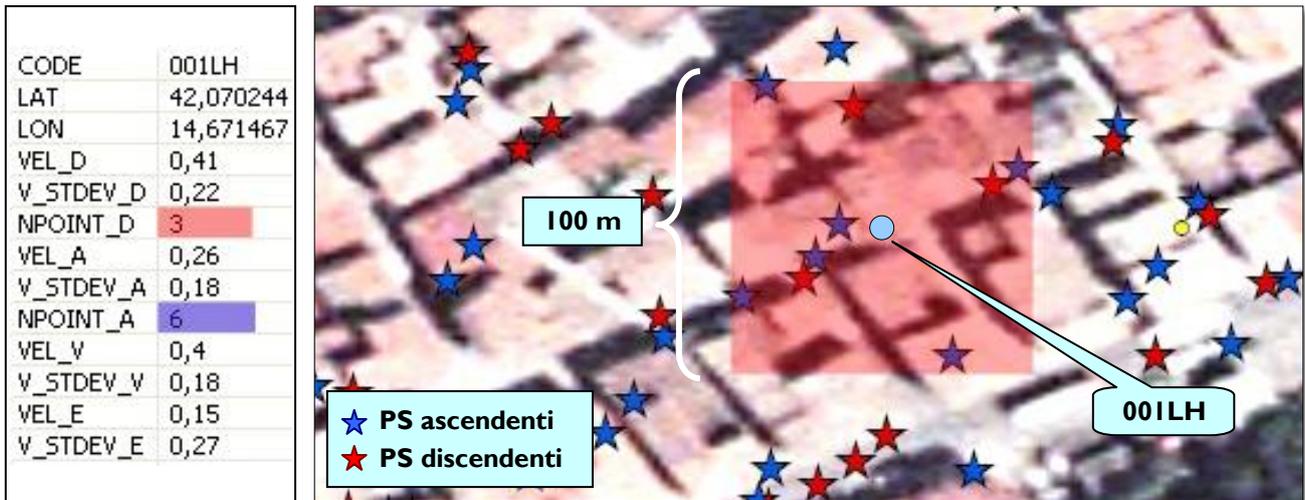


Fig.14 Confronto tra la curva cumulativa di stoccaggio del campo di Cupello-S.Salvo e le variazioni verticali del punto scomposto 001LH.

Punto esterno al giacimento – 003SZ

CODE	003SZ
LAT	42,054074
LON	14,733901
VEL_D	-0,06
V_STDEV_D	0,14
NPOINT_D	6
VEL_A	-0,42
V_STDEV_A	0,15
NPOINT_A	4
VEL_V	-0,29
V_STDEV_V	0,13
VEL_E	0,32
V_STDEV_E	0,2

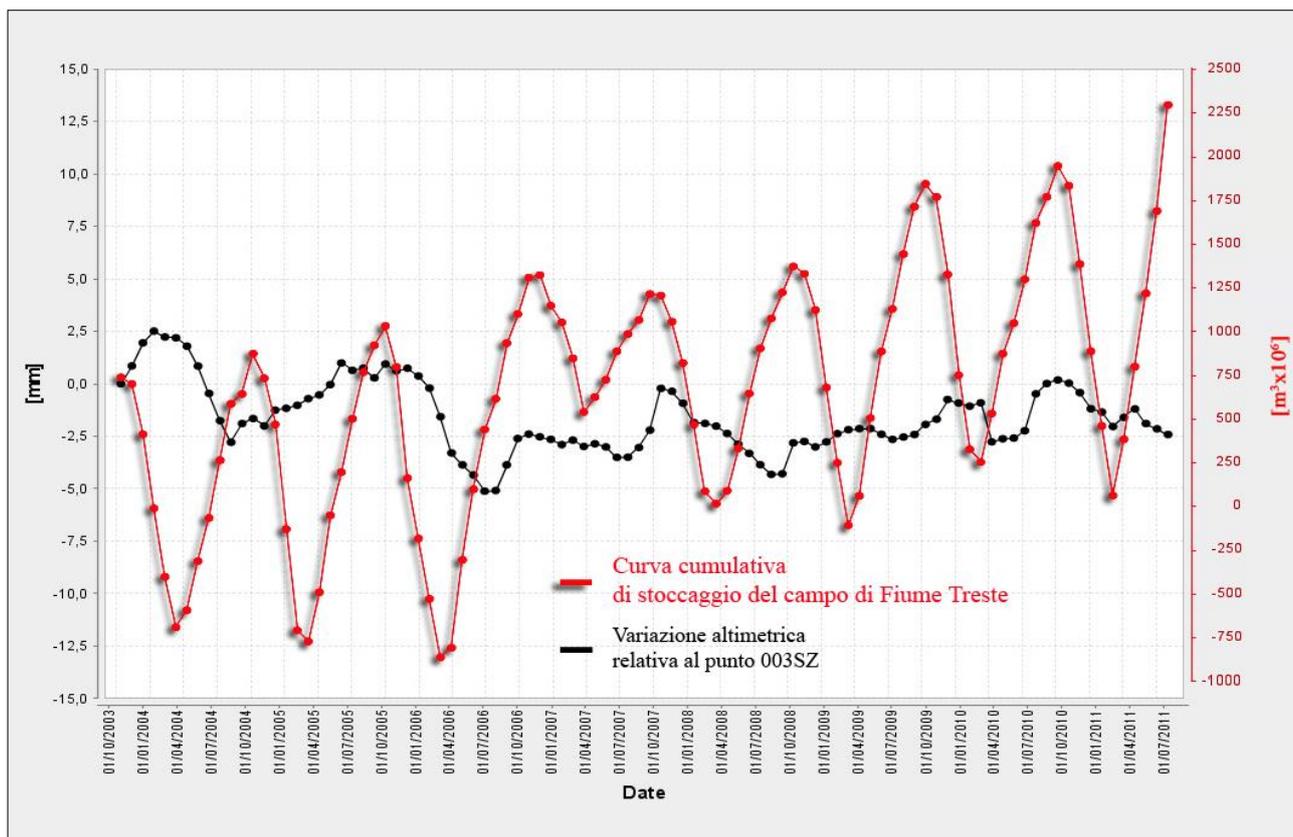
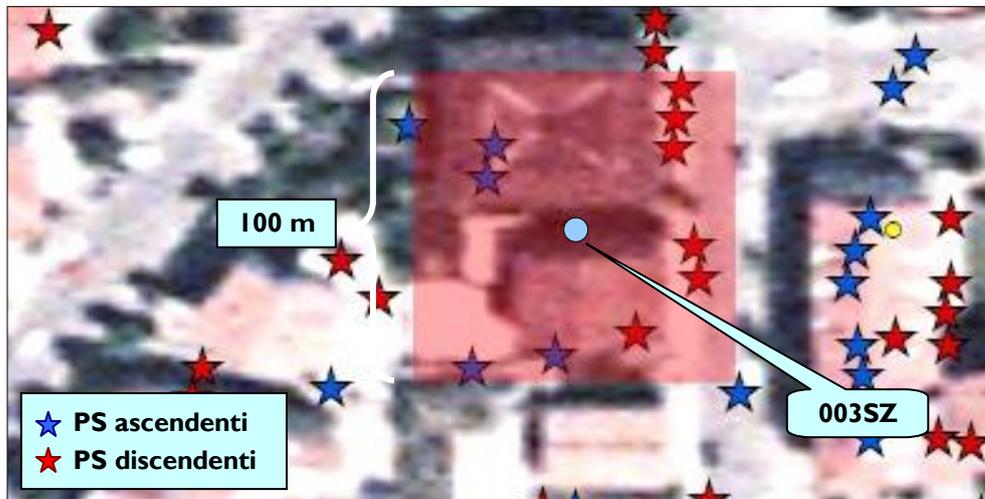


Fig.15 Confronto tra la curva cumulativa di stoccaggio del campo di Cupello-S.Salvo e le variazioni verticali del punto scomposto 003SZ.

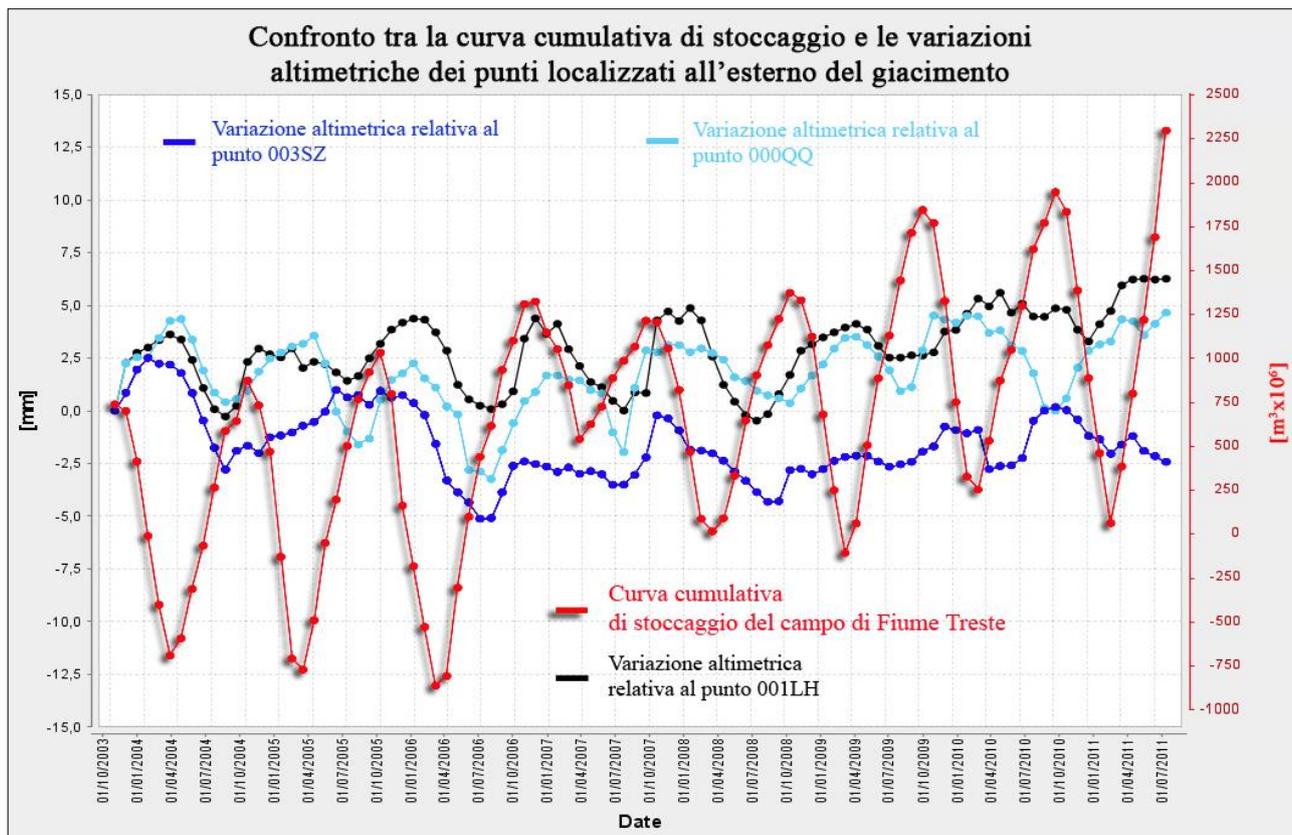
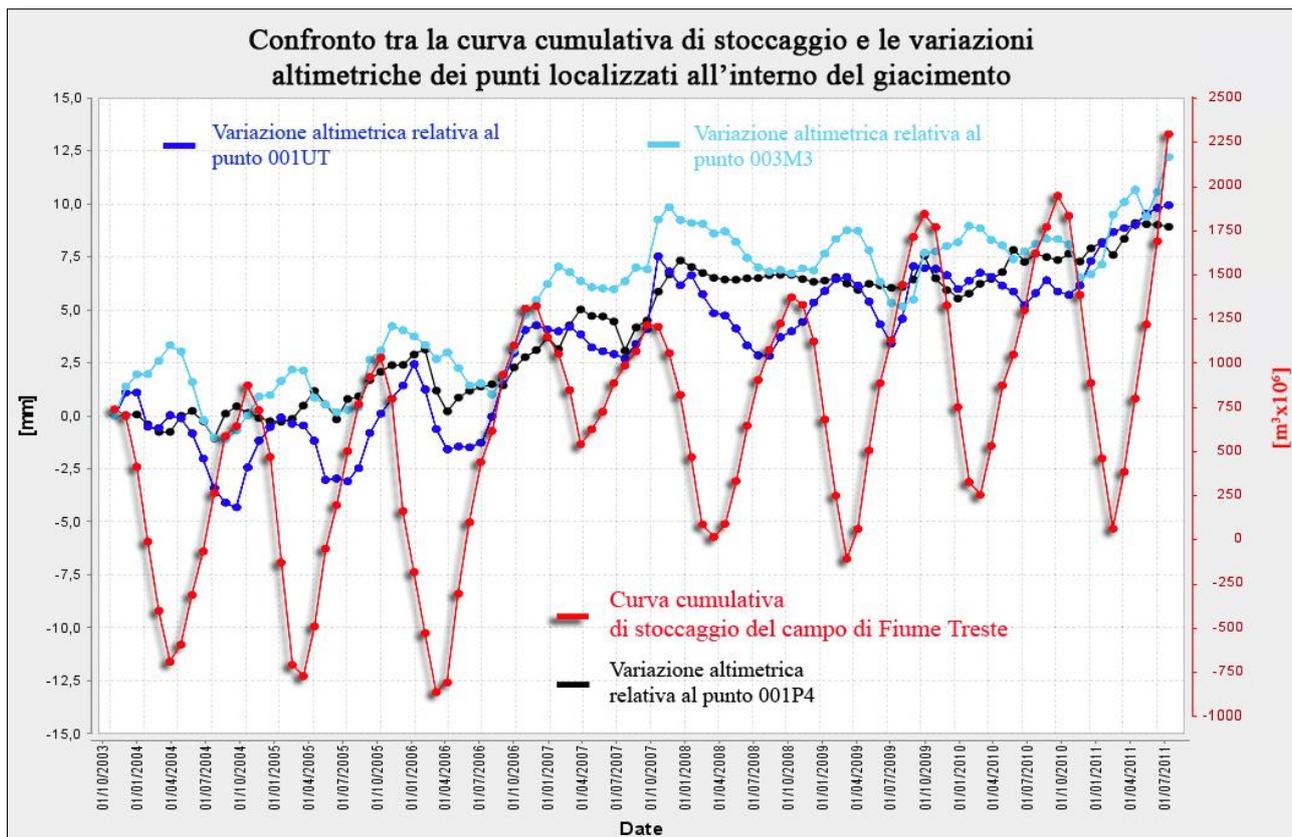


Fig.16 Confronto tra le serie storiche di deformazione verticale dei punti selezionati all'interno ed all'esterno del giacimento e la curva cumulativa di stoccaggio del campo di Fiume Treste.

	eni s.p.a. e&p division	Date May 2012	Doc. N°. GEOD_I204_d26	Rev. 0	Sheet 3-21	Of 21
---	--	------------------	---------------------------	-----------	---------------	----------

3 - Analisi delle elaborazioni

Analisi LOCAL

L'analisi LOCAL effettuata sull'area occupata dal giacimento di stoccaggio di Fiume Treste evidenzia velocità di deformazione verticale pari a +0.85 mm/anno nelle aree interne ai limiti del campo. Tale valore risulta in linea con quello registrato nella precedente relazione (GEOD_I107_d12).

Nelle aree esterne al giacimento, i valori medi di deformazione verticale risultano essere praticamente nulli.

I valori di deformazione orizzontale calcolati sull'intero periodo non mostrano anomalie particolari; all'interno del giacimento la media di tali valori si attesta intorno allo zero, in linea con la media dell'intero dataset.

Analisi delle serie storiche

L'analisi delle serie storiche ha preso in considerazione la storia deformativa di sei punti scomposti considerati rappresentativi del trend medio; in particolare, tre dei sei punti sono localizzati all'interno del giacimento mentre i restanti tre al di fuori dei limiti del campo.

Le serie storiche dei tre punti interni al giacimento, punti scelti in prossimità dei punti identificati nella precedente relazione, mostrano una discreta correlazione tra loro e con la curva cumulativa di stoccaggio anche se lo shift temporale tra i volumi movimentati e le curve risulta piuttosto alto, talvolta superiore ai 3 mesi.

I punti selezionati all'esterno del giacimento presentano un comportamento che, a tratti, sembra seguire quello dei punti interni. La correlazione tra le serie storiche dei punti 000QQ e 001LH risulta particolarmente elevata anche se le ampiezze delle oscillazioni non superano mai i 5 millimetri. Al contrario, il trend deformativo del punto 003SZ, localizzato presso l'abitato di San Salvo, sembra essere totalmente indipendente dall'attività di stoccaggio presente all'interno del campo.