	eni S.p.A. e&p division	Date January 2012	Doc. N°. GEOD_1201_d20	Rev. 0	Sheet 1	Of 23
--	--	----------------------	---------------------------	-----------	------------	----------


Interferometria differenziale SAR e Tecnica PS

Campo di stoccaggio di

MINERBIO

(Aggiornamento dati Agosto 2011)

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

	eni S.p.A. e&p division	Date January 2012	Doc. N°. GEOD_I201_d20	Rev. 0	Sheet 2-2	Of 23
--	--	----------------------	---------------------------	-----------	--------------	----------

EXP - SGEG GEOD

GEODYNAMICS Department

Autore:

Andrea Bagliani

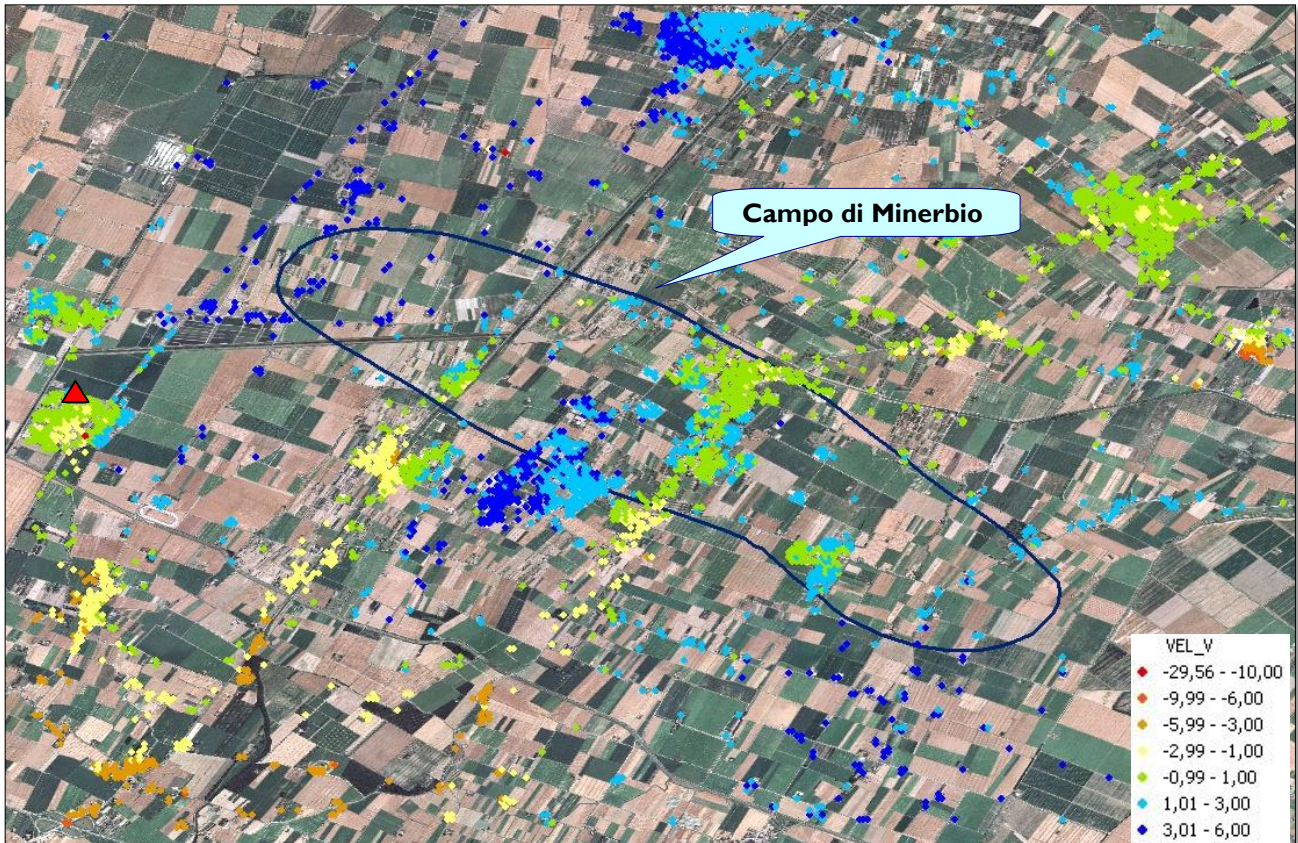
Gennaio 2012

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 MINERBIO	2-8
<i>Analisi LOCAL</i>	2-9
<i>Analisi delle serie storiche dei punti scomposti</i>	2-12
Punto interno al giacimento – <u>0019L</u>	2-14
Punto esterno al giacimento – <u>001KW</u>	2-15
Punto interno al giacimento – <u>001X9</u>	2-16
Punto esterno al giacimento – <u>0007X</u>	2-17
Punto esterno al giacimento – <u>001MC</u>	2-18
Punto esterno al giacimento – <u>002DY</u>	2-19
<i>Dati CGPS</i>	2-21
3 - ANALISI DELLE ELABORAZIONI	3-23
<i>Analisi LOCAL</i>	3-23
<i>Analisi delle serie storiche</i>	3-23

Conclusioni

L'analisi interferometrica dei dati Radarsat attraverso la tecnica dei Permanent Scatterers sul campo di Minerbio per il periodo Ottobre 2003 – Agosto 2011 evidenzia un leggero trend positivo (+1.2 mm/anno) dell'area occupata dal giacimento, leggermente superiore a quanto osservato nella precedente relazione.



Variazioni Altimetriche +/- (mm/anno)

Trend regionale

Non valutabile

**Interne ai limiti
di giacimento**

~ (+ 1.2 mm/y)

Correlazione tra le serie storiche

**Ampiezza
delle curve**

7.5 - 20 mm

**Periodicità delle
curve**

ELEVATA

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.

In data 19 Dicembre 2008 è iniziata l'acquisizione dei dati CGPS presso la Centrale Gas di Minerbio: al 31 Dicembre 2011 il valore in quota registrato da tale stazione è di -0.8 ± 0.2 mm/y.

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.

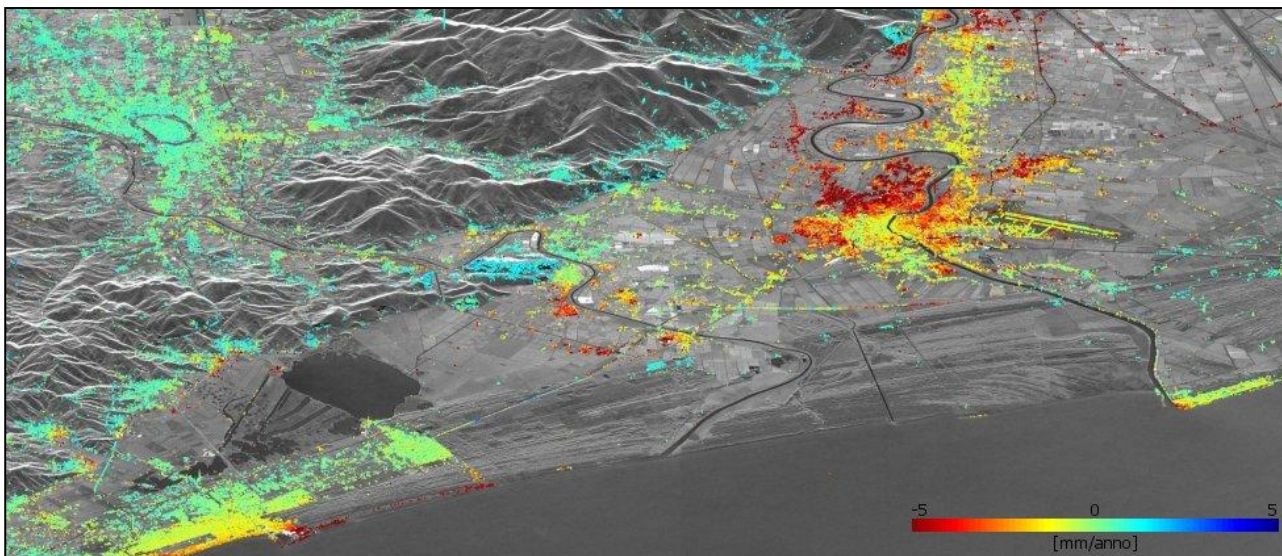



Fig.1 **Esempi di subsidenza nell'area di Pisa.**

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 January 2012	Doc. N°. GEOD_I201_d20	Rev. 0	Sheet 2-6	Of 23
--	----------------------------	----------------------	---------------------------	-----------	--------------	----------

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 January 2012	Doc. N°. GEOD_I201_d20	Rev. 0	Sheet 2-7	Of 23
---	--	----------------------	---------------------------	-----------	--------------	----------

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 MINERBIO

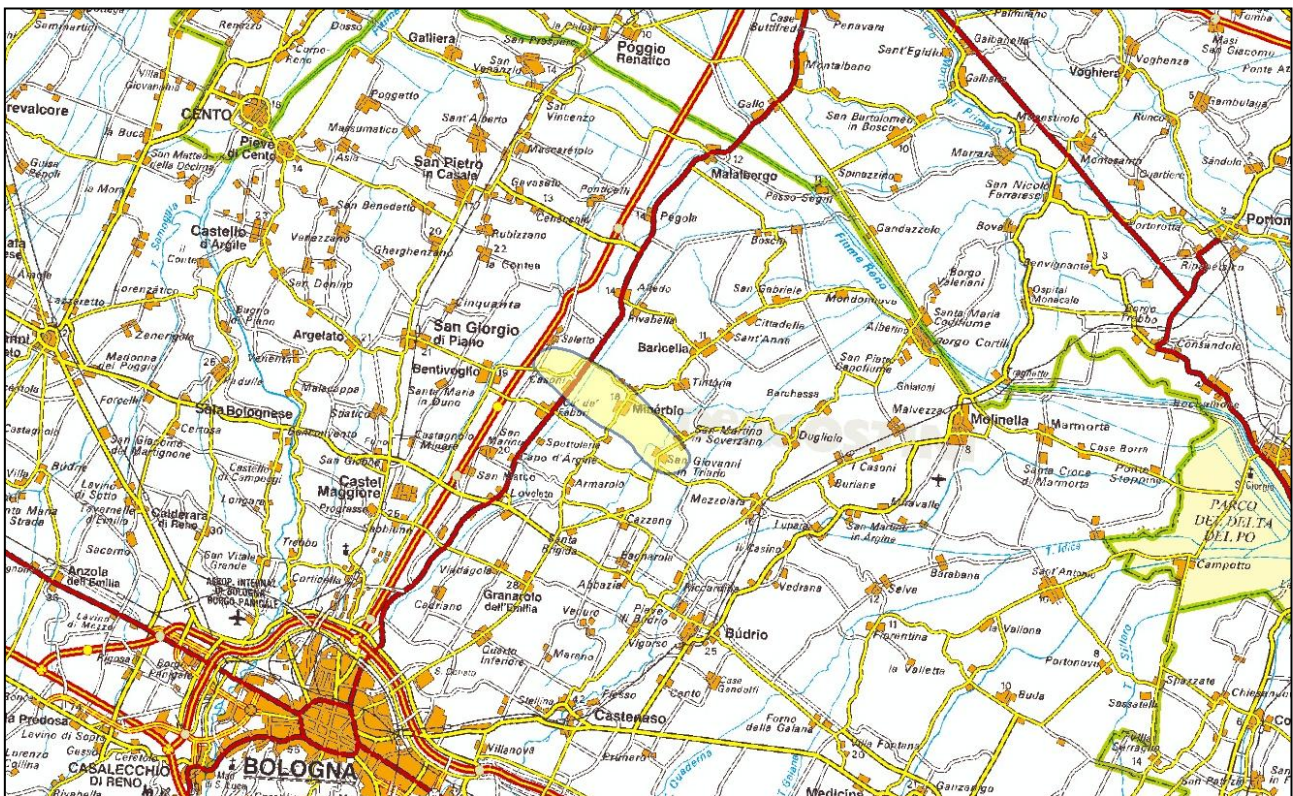
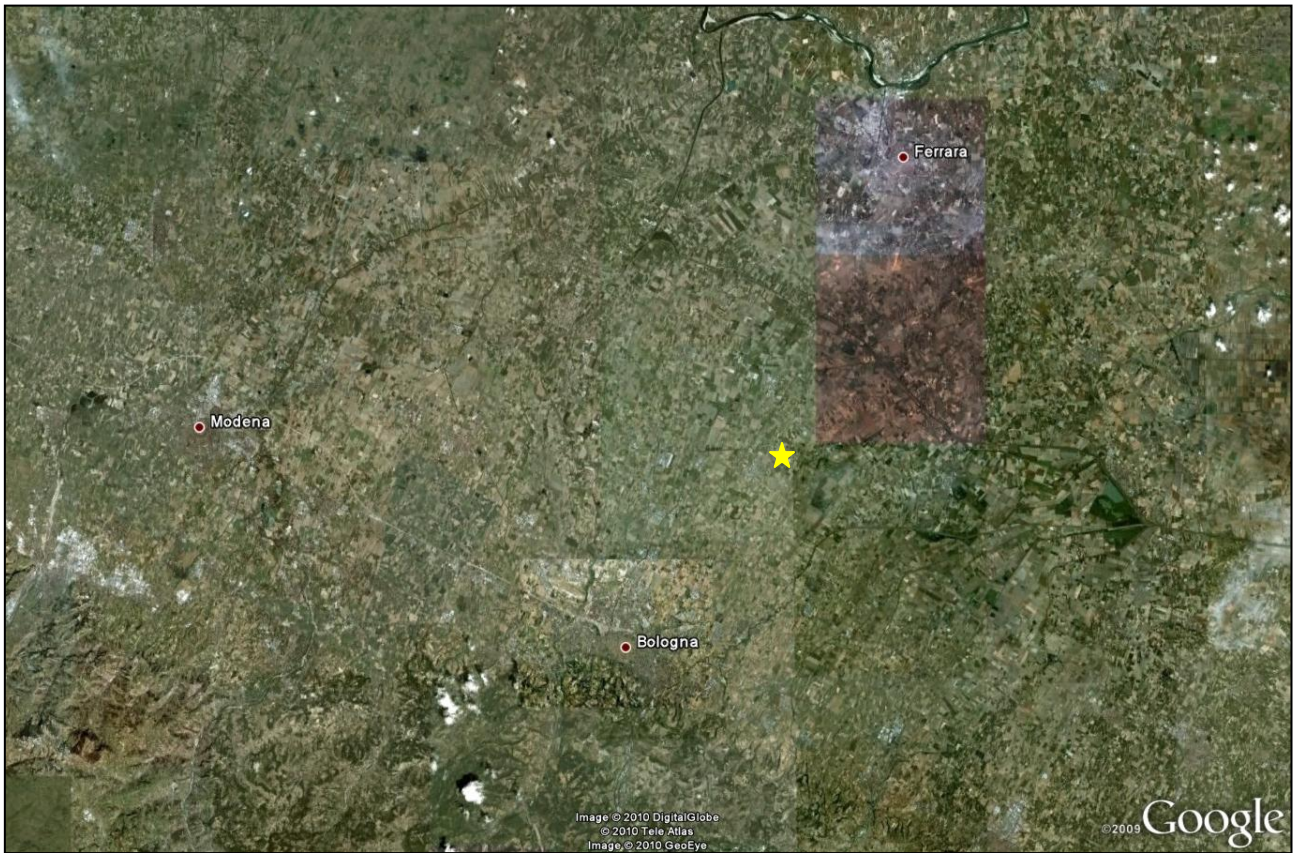
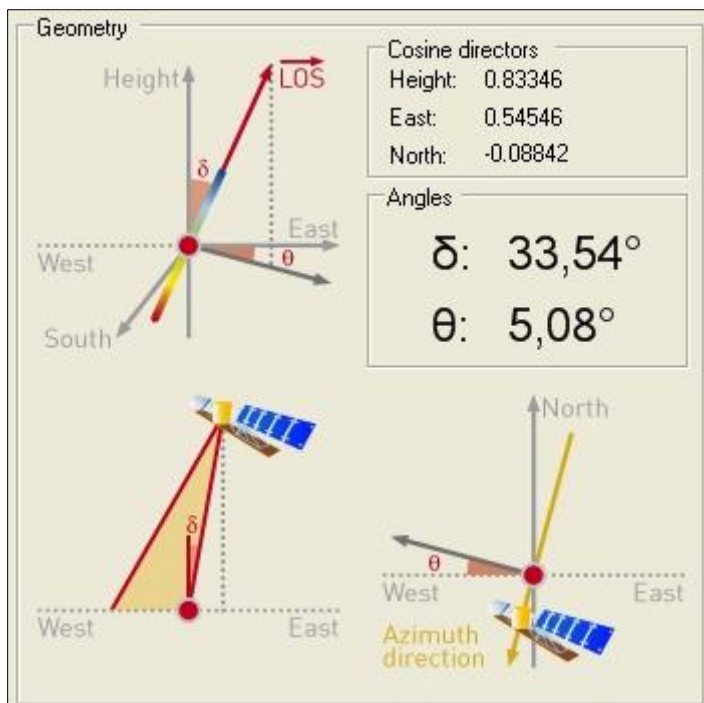
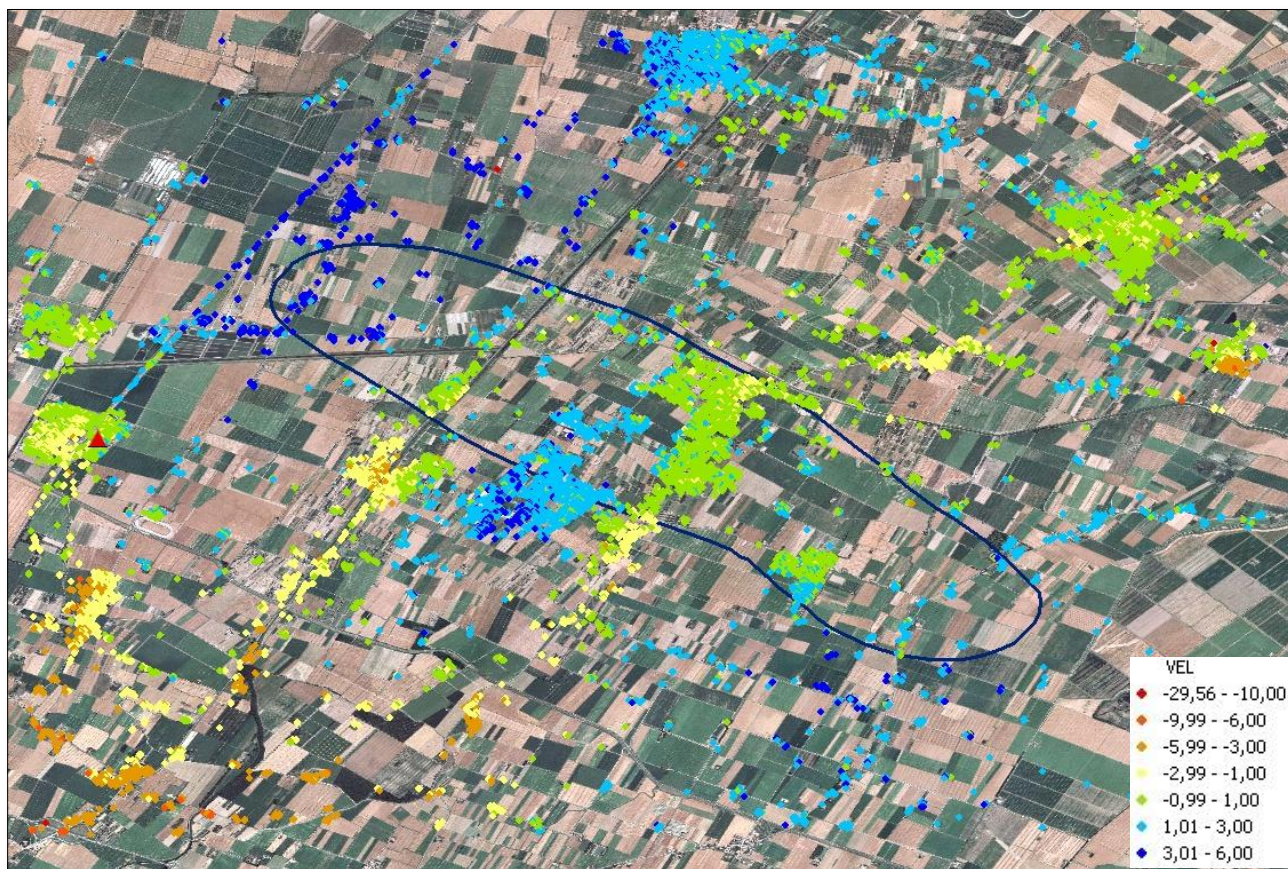


Fig.2 Ubicazione del giacimento di Minerbio, situato a nord-est di Bologna.

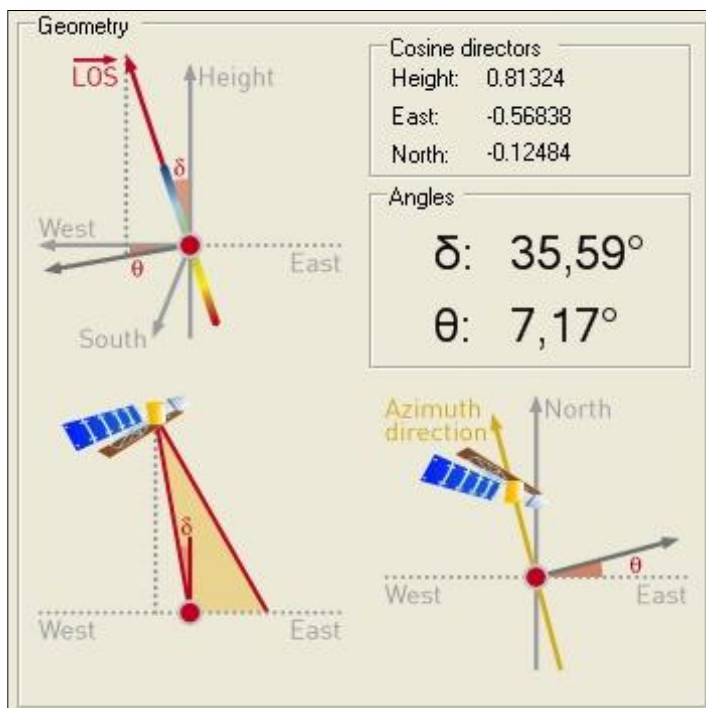
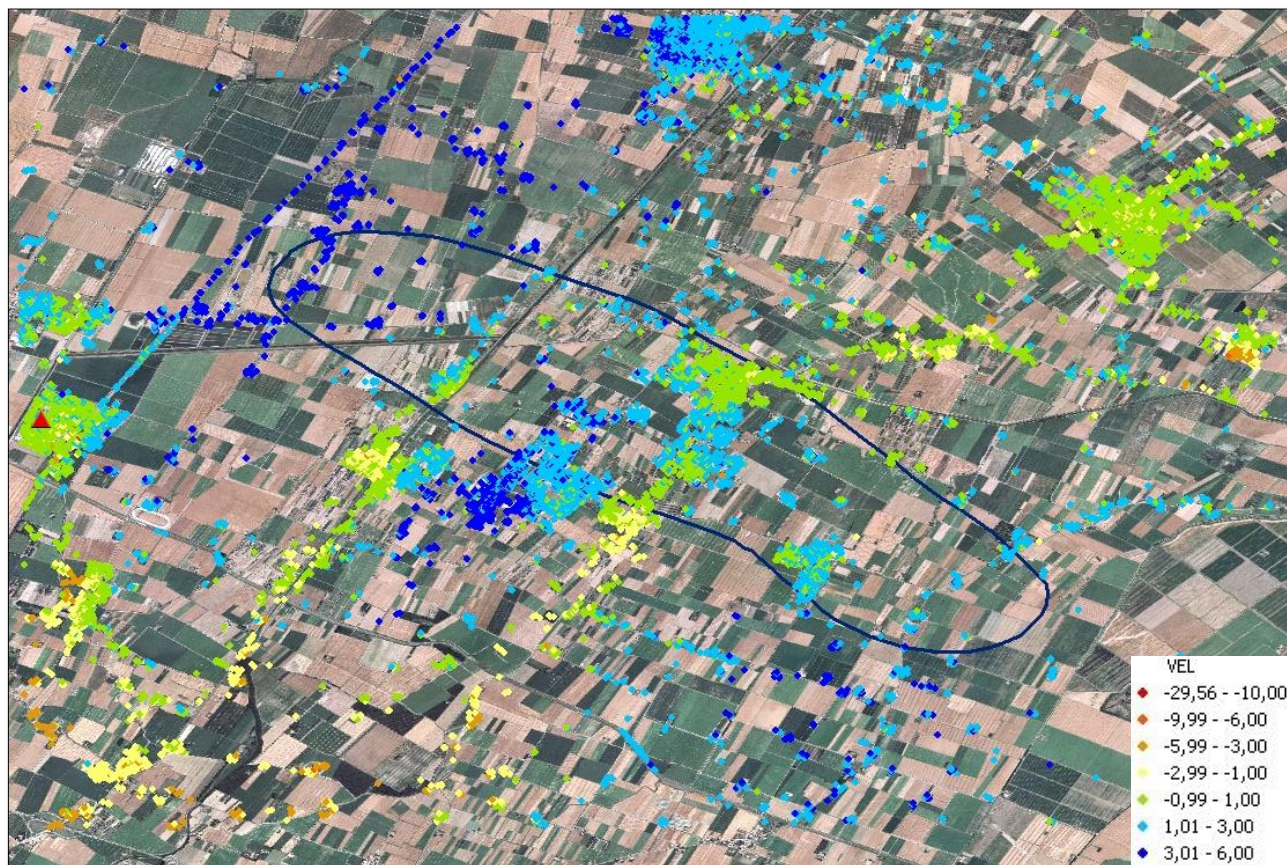
Analisi LOCAL



Generic Information

Satellite used: radarsat	Mode used: RSAT-S3
Analysis Type: Standard PS Analysis	
Orbit geometry: Descending	PS number: 12003
Master Image: 20061011	Scenes number: 92
First Image: 20031003	Last Image: 20110822

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



Generic Information

Satellite used:	radarsat	Mode used:	RSAT-S3
Analysis Type:	Standard PS Analysis		
Orbit geometry:	Ascending	PS number:	13111
Master Image:	20060509	Scenes number:	104
First Image:	20031016	Last Image:	20111115

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

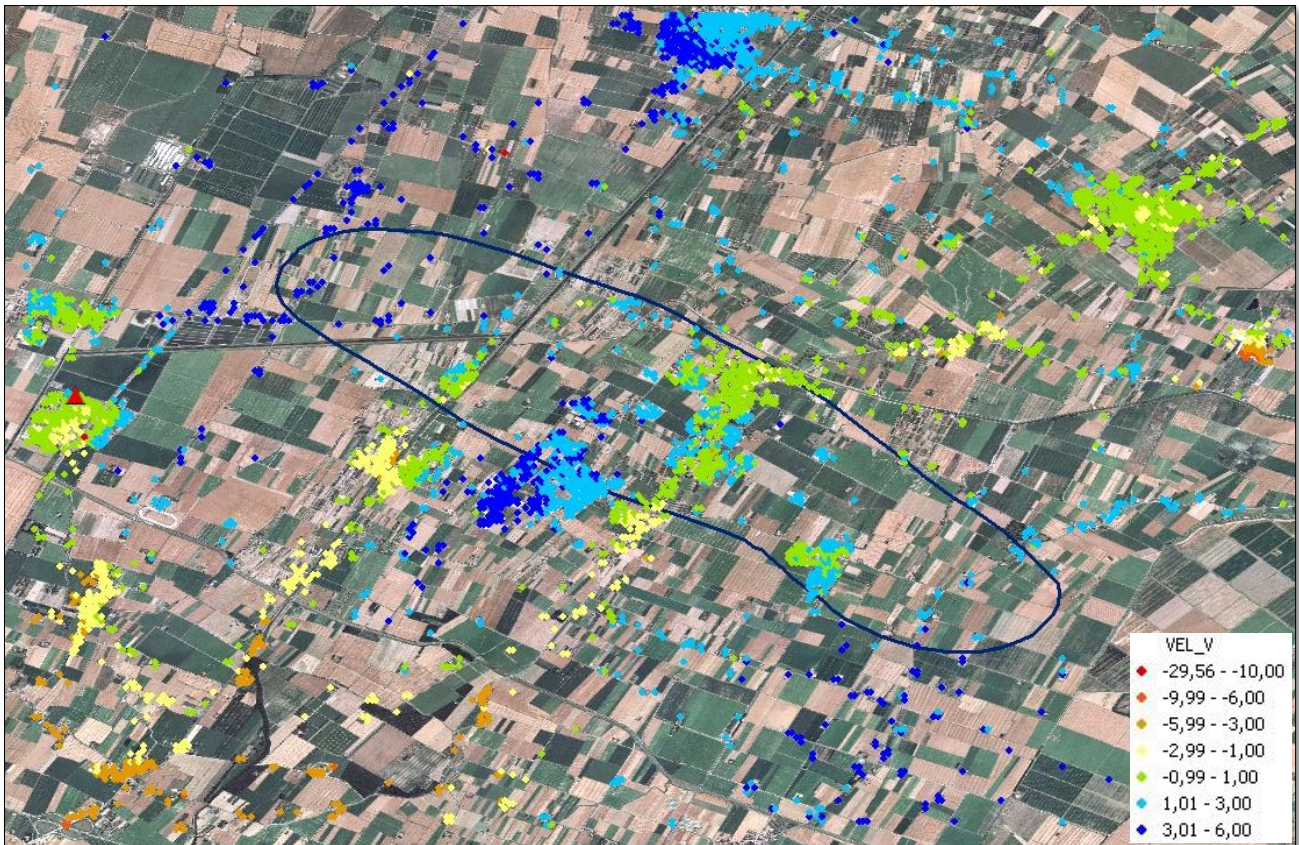


Fig.5 **Visualizzazione in scala di colori delle velocità verticali dei punti scomposti del rilievo Radarsat.**

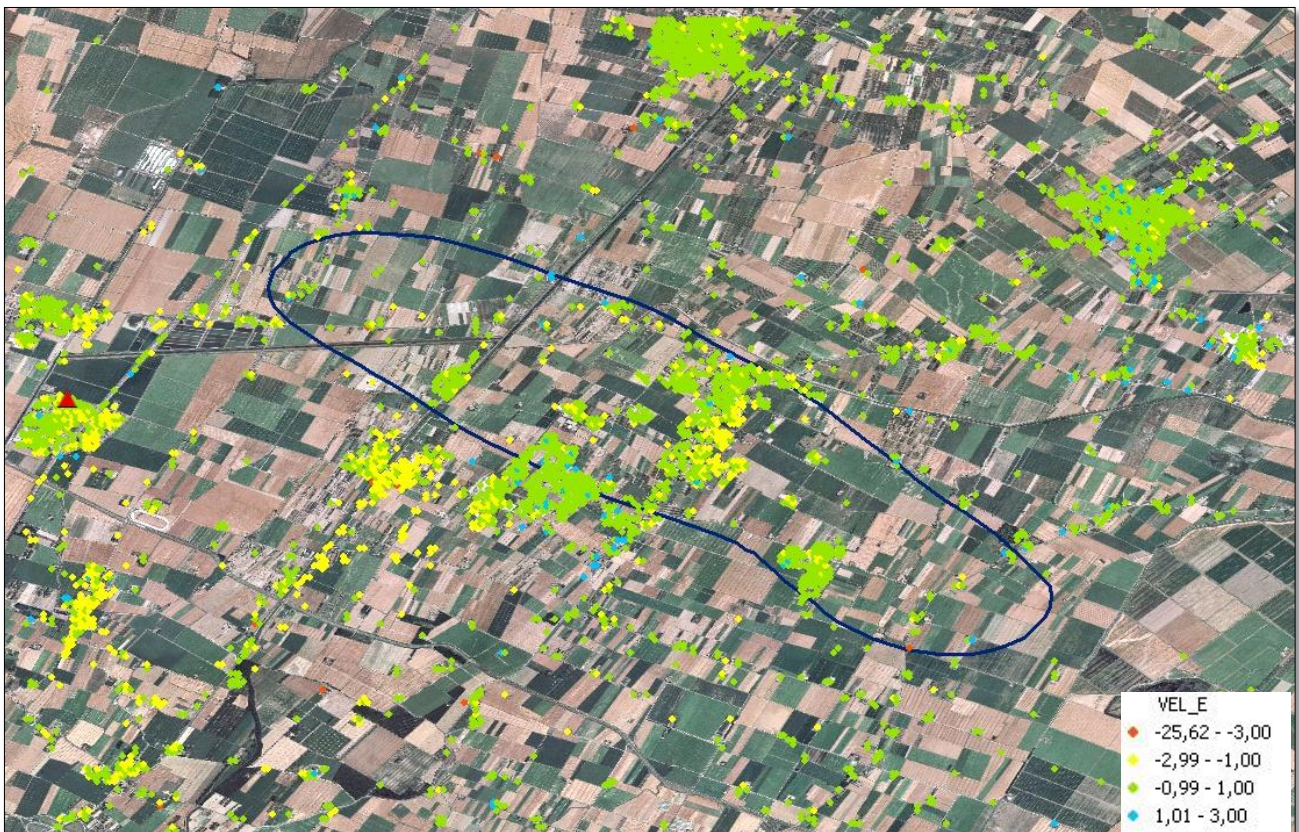


Fig.6 **Visualizzazione in scala di colori delle velocità orizzontali (valori positivi indicano un movimento dominante verso est) dei punti scomposti del rilievo Radarsat.**

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.

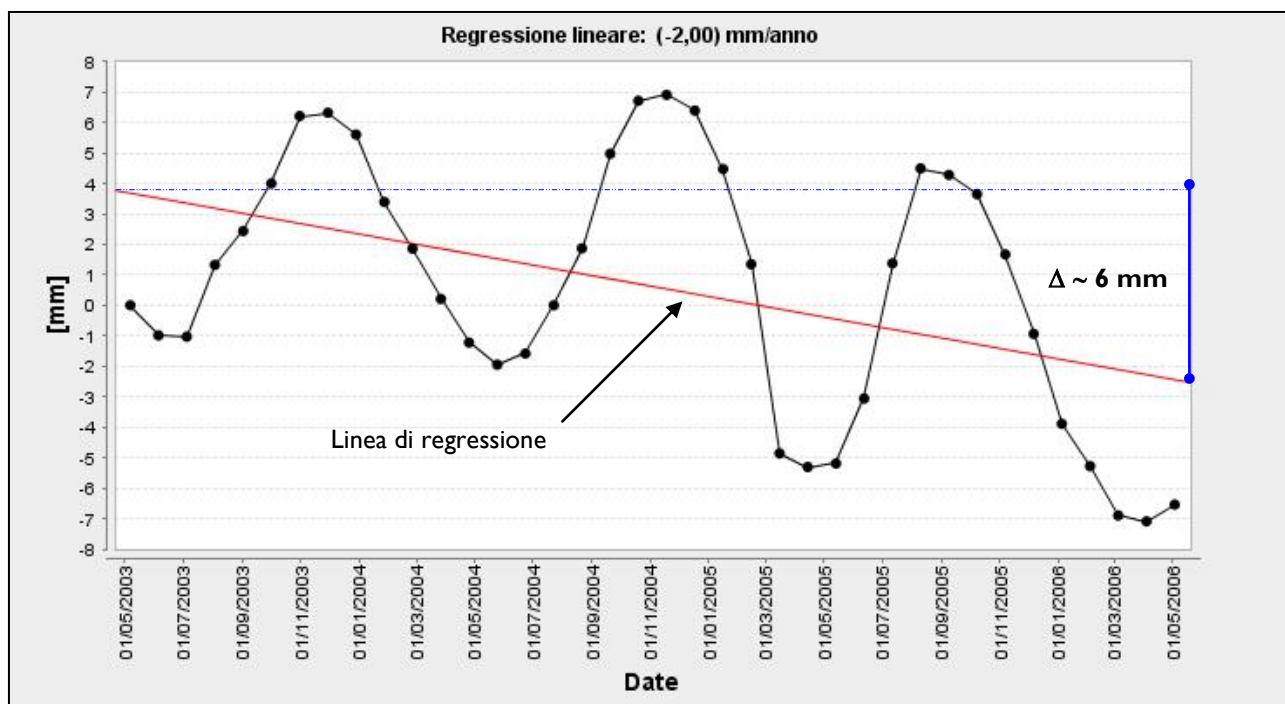


Fig.7 Esempio di serie storica con valori di subsidenza di circa 2 mm/anno.

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 figg. 7 e 8).

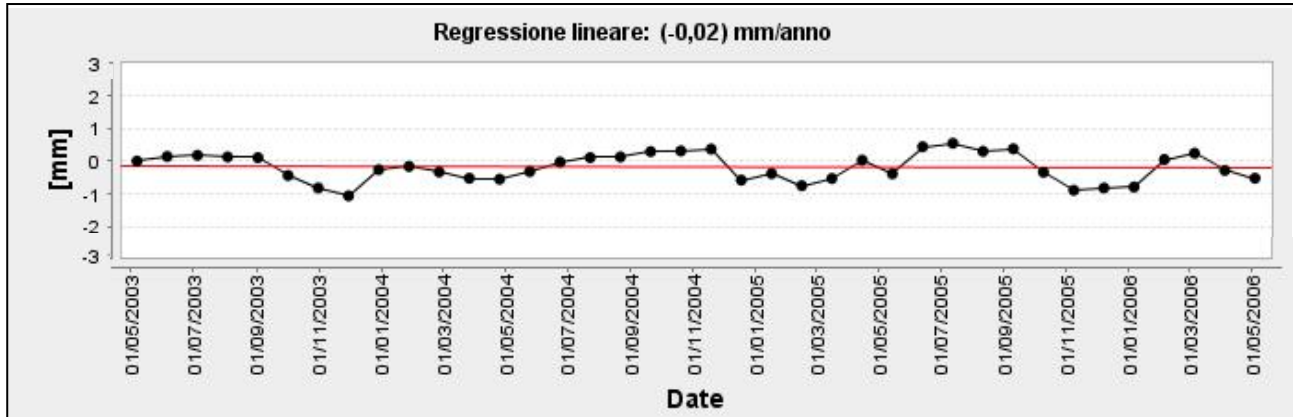


Fig.8 *Esempio di serie storica con valori di regressione lineare nulla.*

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 Minerbio (fig. 9).

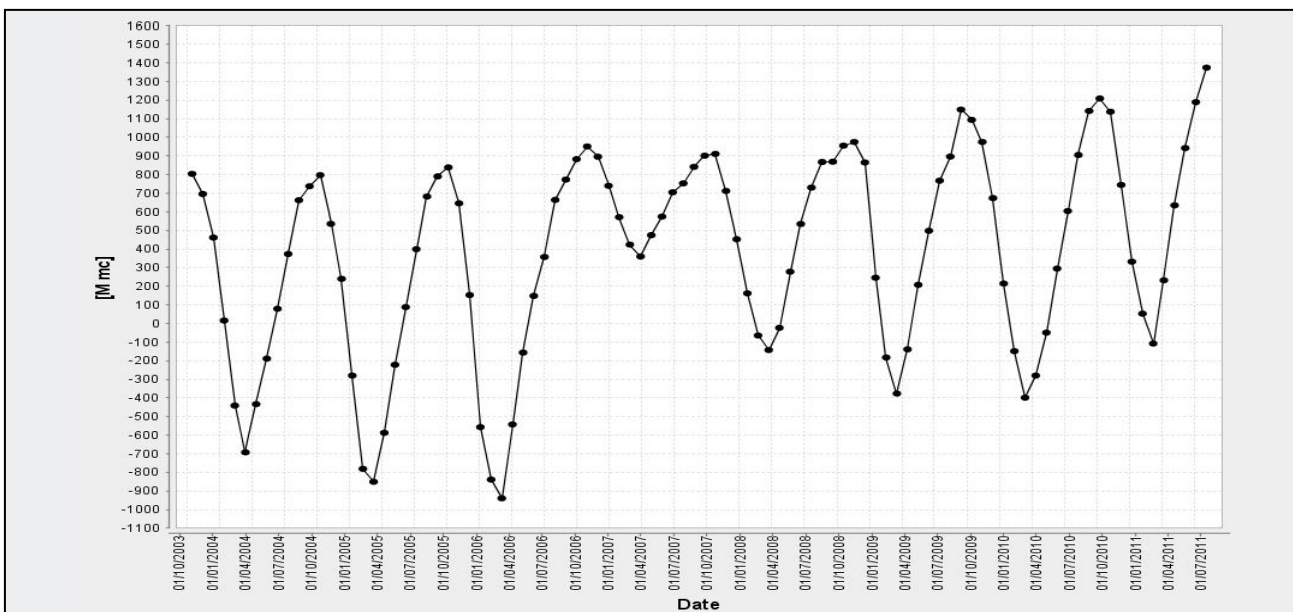


Fig.9 *Curva cumulativa di stoccaggio del campo a gas di Minerbio (unità di misura in $m^3 \times 10^6$).*

Punto interno al giacimento – 0019L

CODE	0019L
VEL_D	1,65
V_STDEV_D	0,28
NPOINT_D	4
VEL_A	2,43
V_STDEV_A	0,42
NPOINT_A	7
VEL_V	2,47
V_STDEV_V	0,32
VEL_E	-0,74
V_STDEV_E	0,47

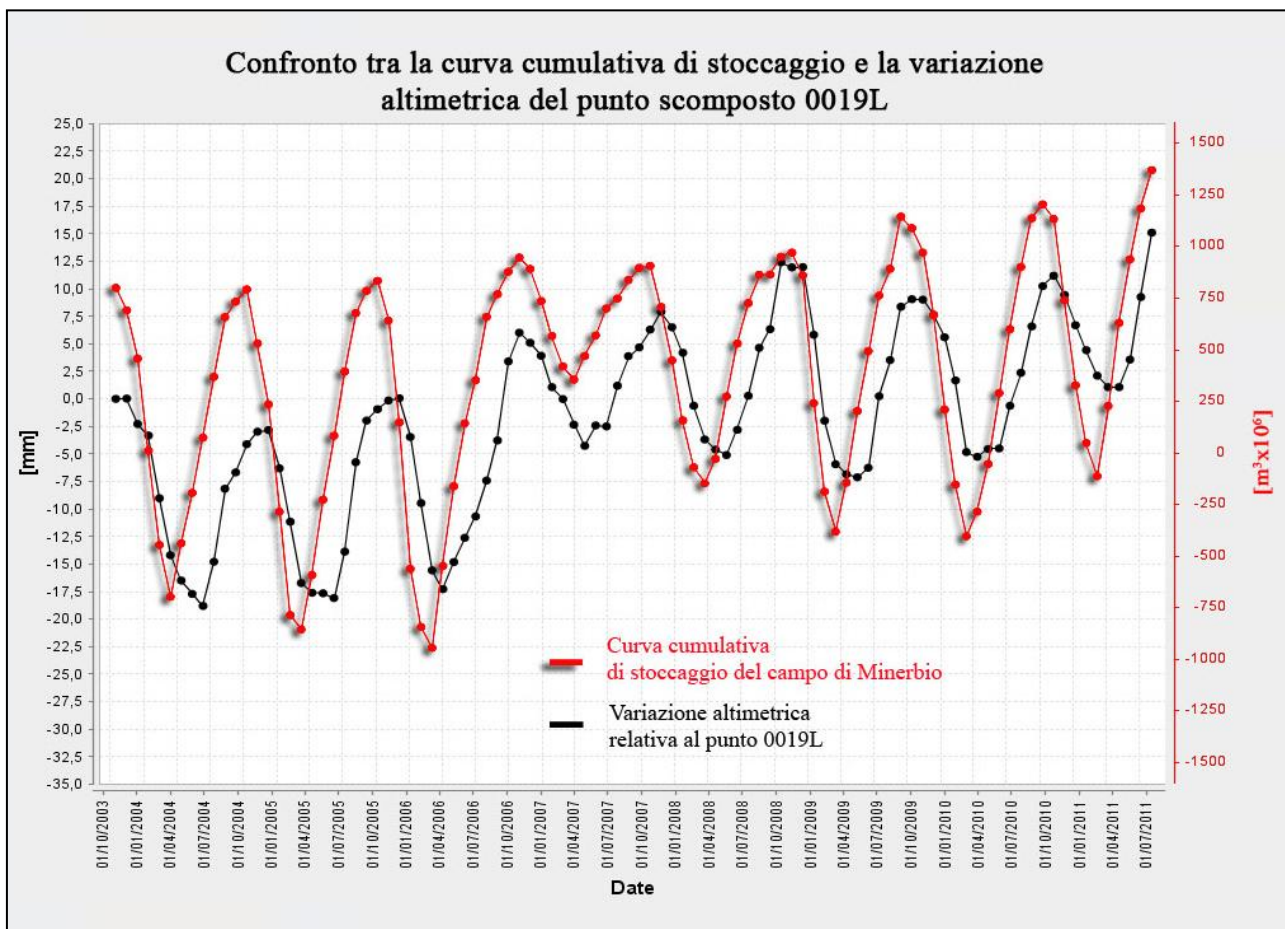
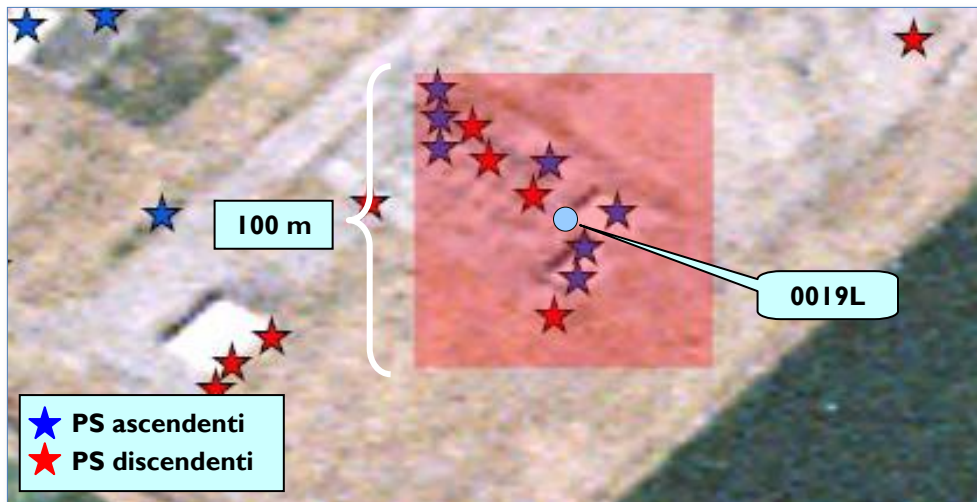


Fig.10 **Confronto tra la serie storica del punto 0019L individuato all'interno dei limiti del giacimento di Minerbio e la curva cumulativa di stoccaggio.**

Punto esterno al giacimento – 001KW

CODE	001KW
VEL_D	-0,05
V_STDEV_D	0,38
NPOINT_D	8
VEL_A	1,05
V_STDEV_A	0,45
NPOINT_A	4
VEL_V	0,6
V_STDEV_V	0,36
VEL_E	-1
V_STDEV_E	0,54

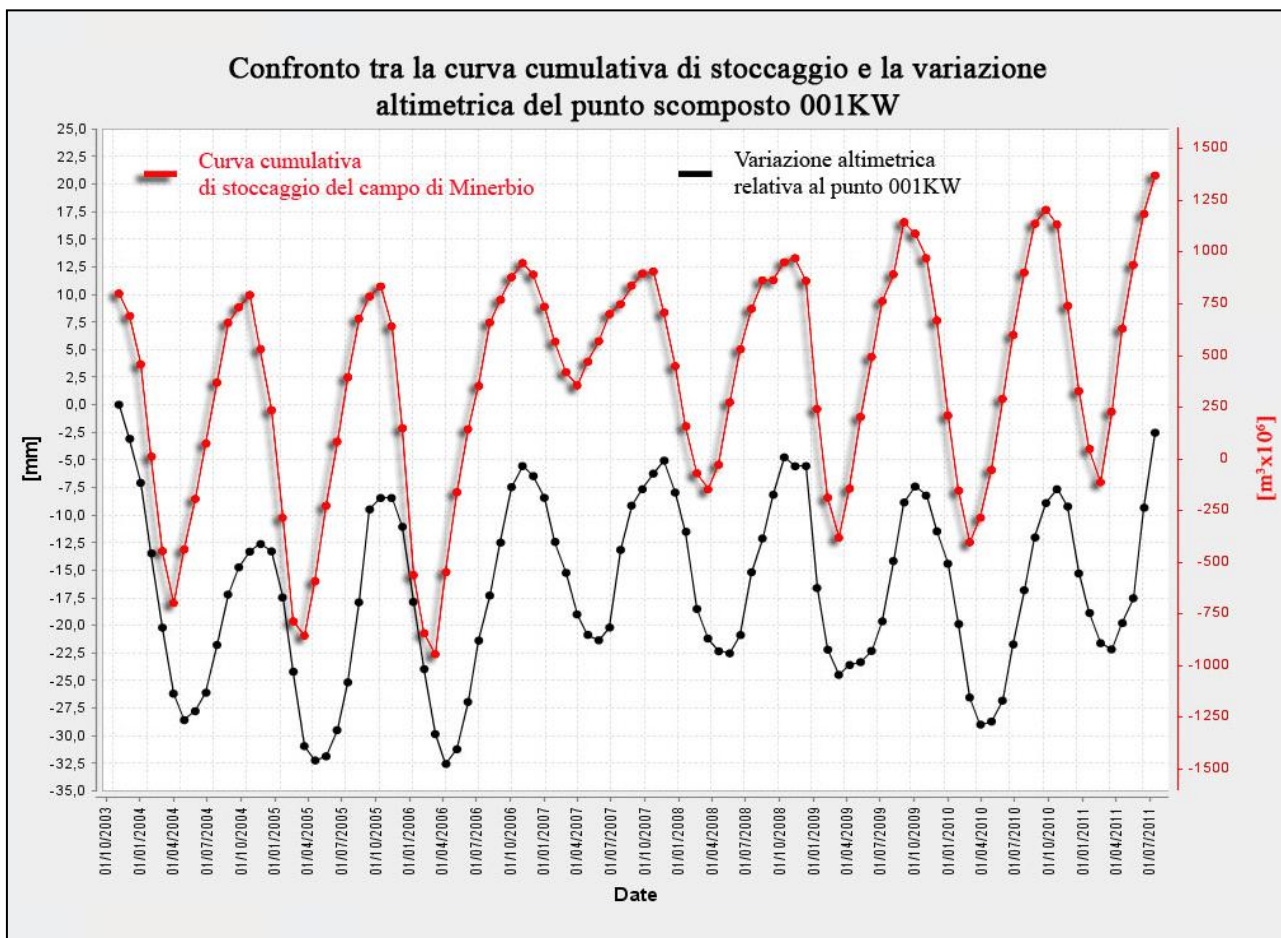
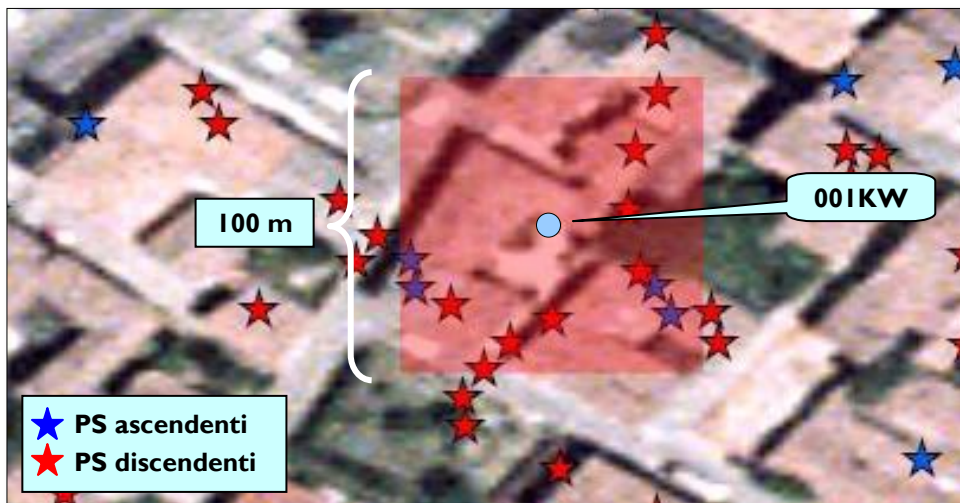


Fig.11 **Confronto tra la serie storica del punto 001KW individuato all'interno dei limiti del giacimento di Minerbio e la curva cumulativa di stoccaggio.**

Punto interno al giacimento – 001X9

CODE	001X9
VEL_D	1,42
V_STDEV_D	0,42
NPOINT_D	12
VEL_A	1,59
V_STDEV_A	0,28
NPOINT_A	7
VEL_V	1,82
V_STDEV_V	0,31
VEL_E	-0,18
V_STDEV_E	0,45

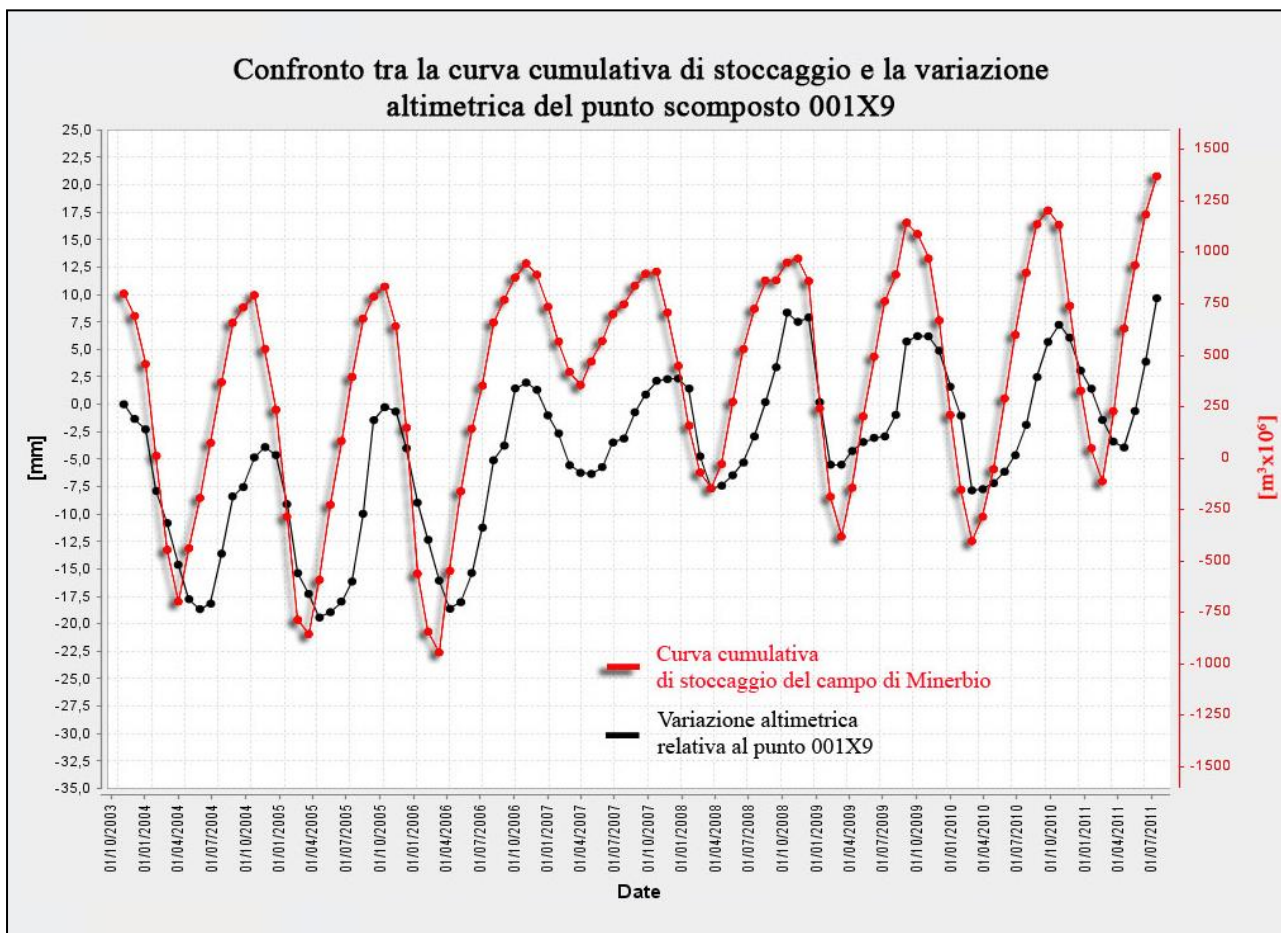
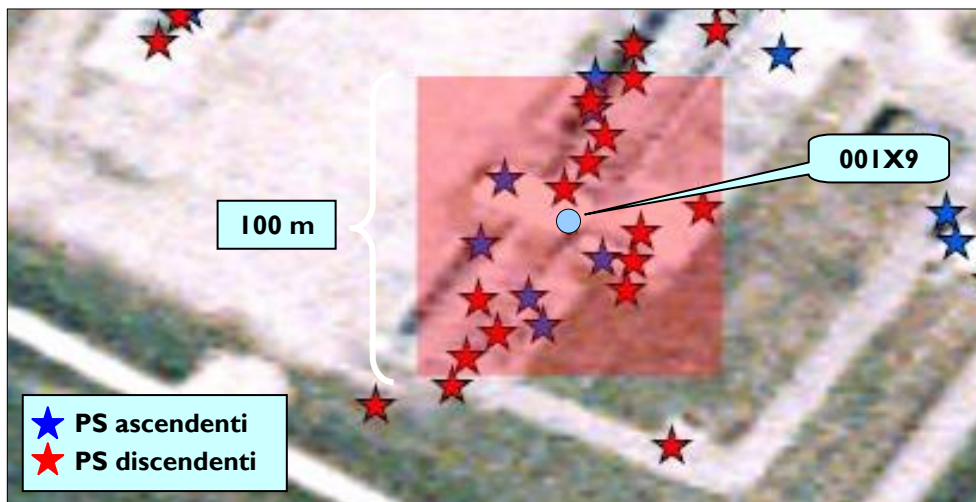


Fig.12 Confronto tra la serie storica del punto 001X9 individuato all'interno dei limiti del giacimento di Minerbio e la curva cumulativa di stoccaggio.

Punto esterno al giacimento – 0007X

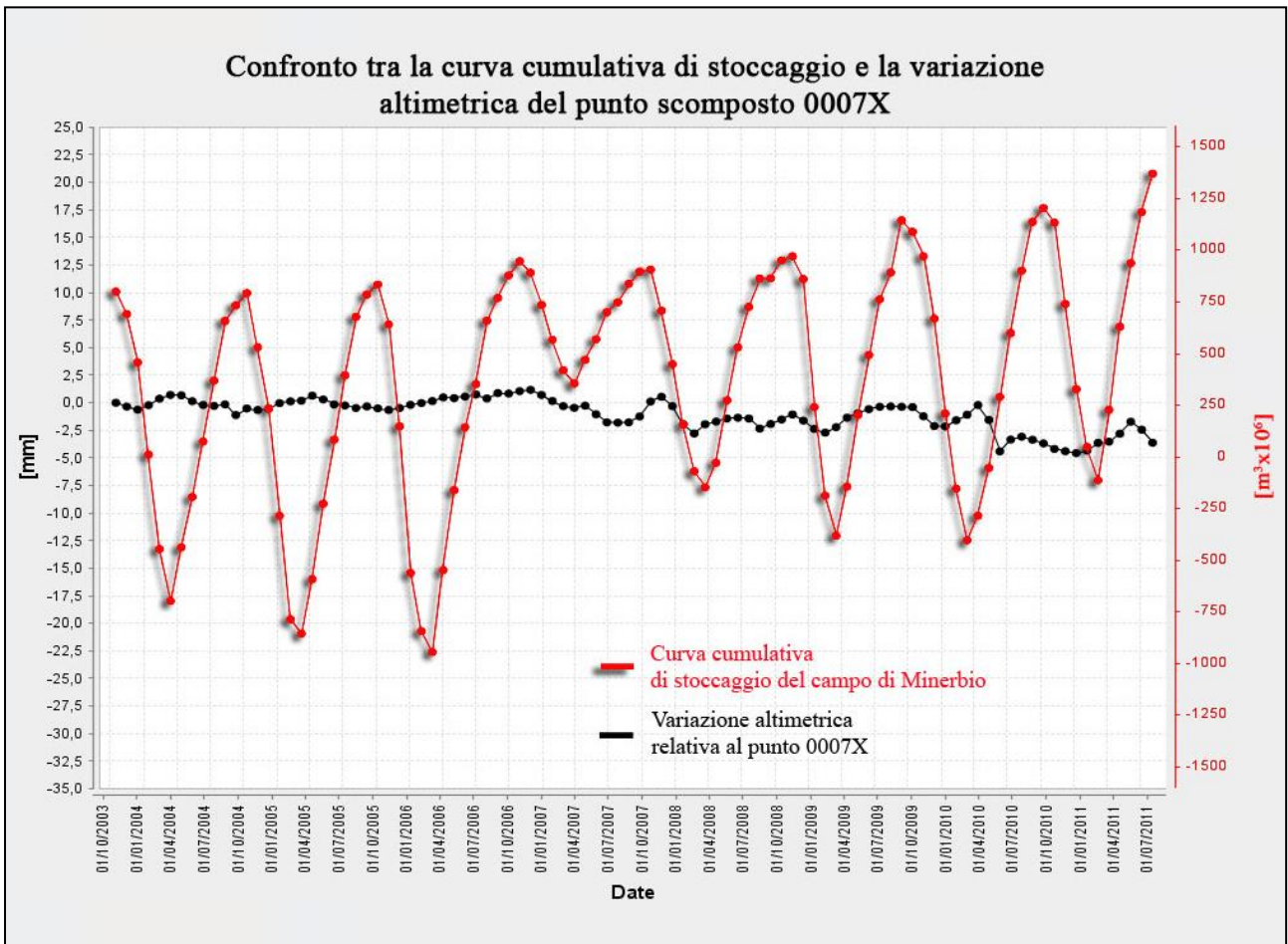
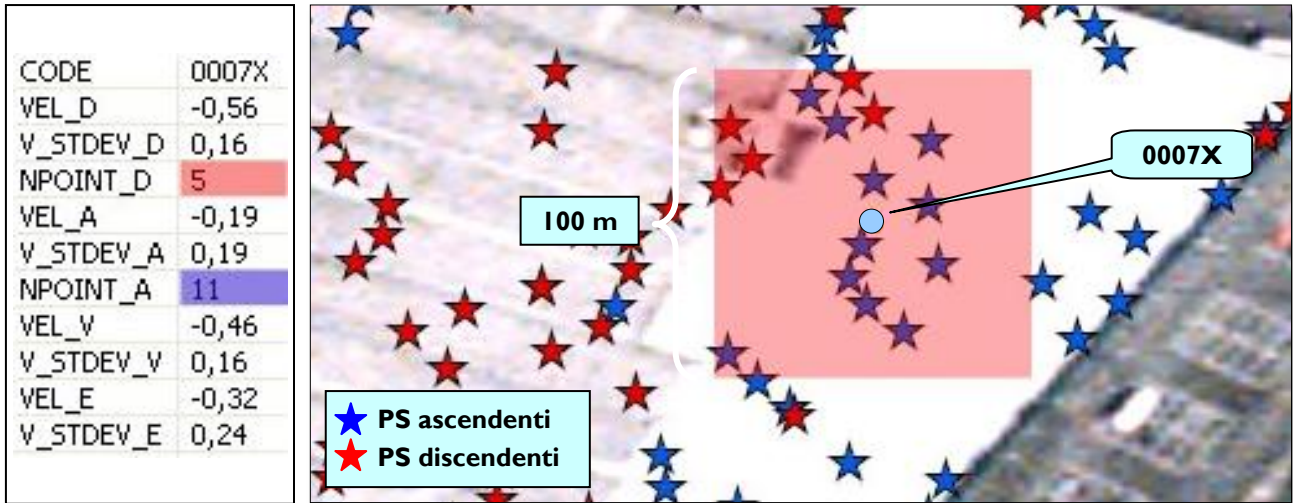


Fig.13 **Confronto tra la serie storica del punto 0007X individuato all'esterno dei limiti del giacimento di Minerbio e la curva cumulativa di stoccaggio.**

Punto esterno al giacimento – 001MC

CODE	001MC
VEL_D	1,64
V_STDEV_D	0,22
NPOINT_D	6
VEL_A	1,79
V_STDEV_A	0,28
NPOINT_A	8
VEL_V	2,08
V_STDEV_V	0,22
VEL_E	-0,17
V_STDEV_E	0,33

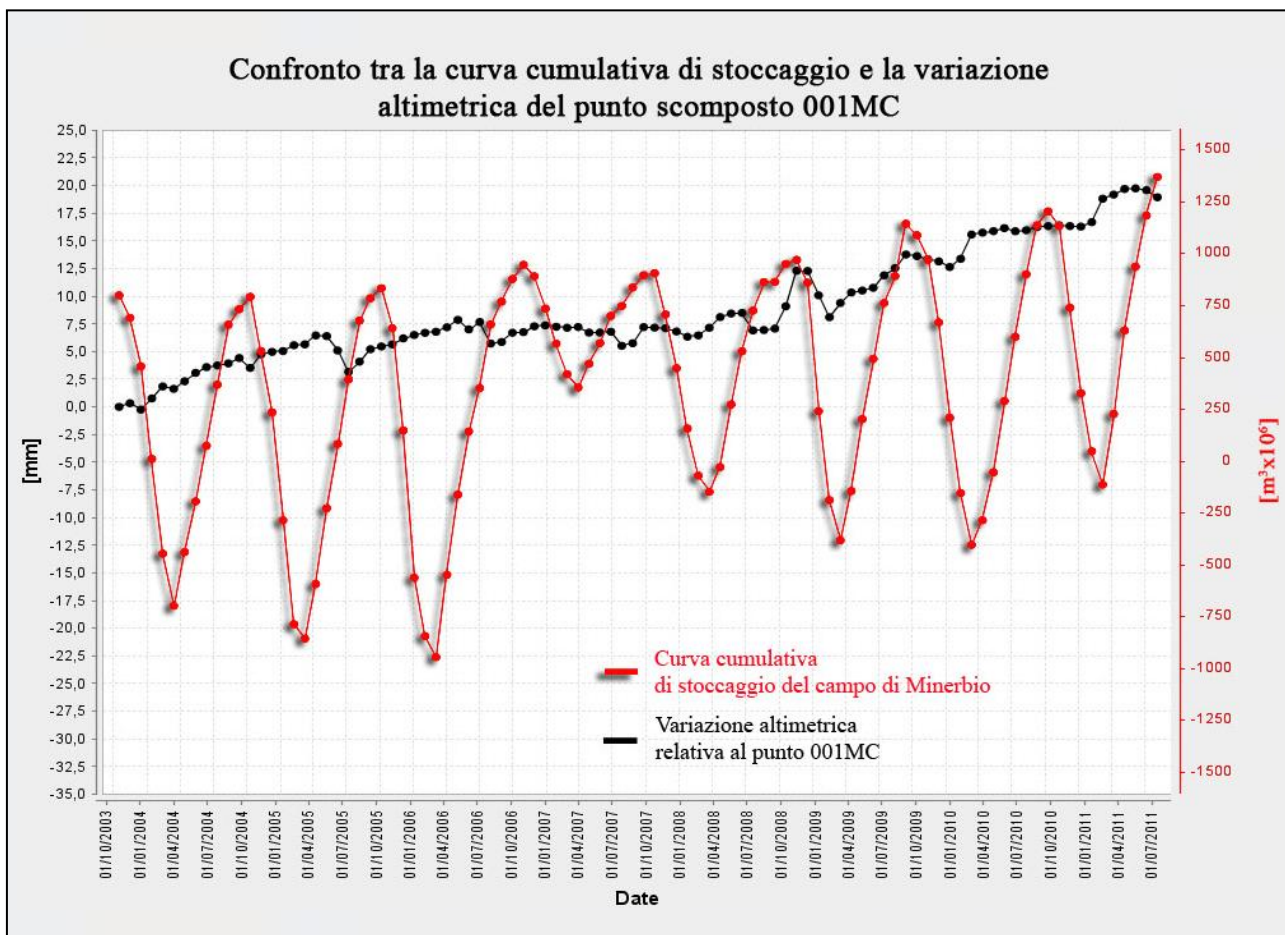
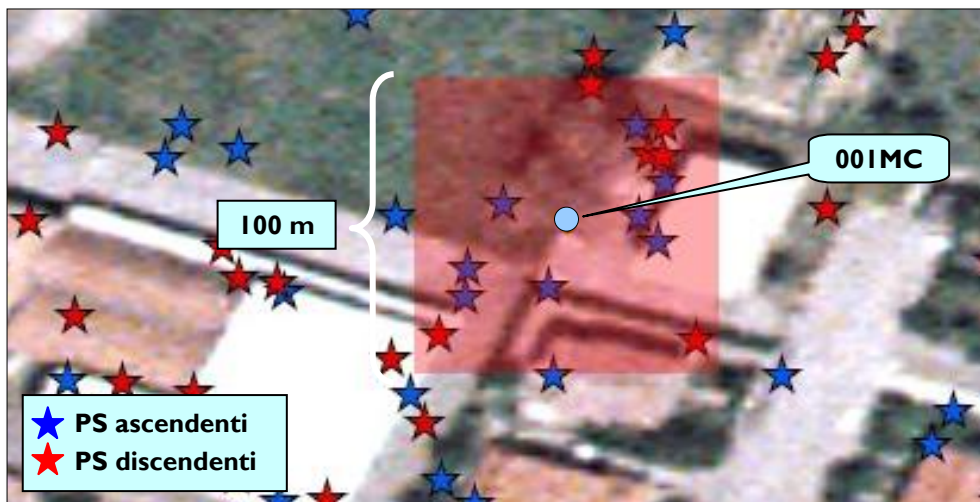


Fig.14 **Confronto tra la serie storica del punto 001MC individuato all'esterno dei limiti del giacimento di Minerbio e la curva cumulativa di stoccaggio.**

Punto esterno al giacimento – 002DY

CODE	002DY
VEL_D	-0,57
V_STDEV_D	0,21
NPOINT_D	5
VEL_A	-0,8
V_STDEV_A	0,28
NPOINT_A	8
VEL_V	-0,83
V_STDEV_V	0,22
VEL_E	0,22
V_STDEV_E	0,33

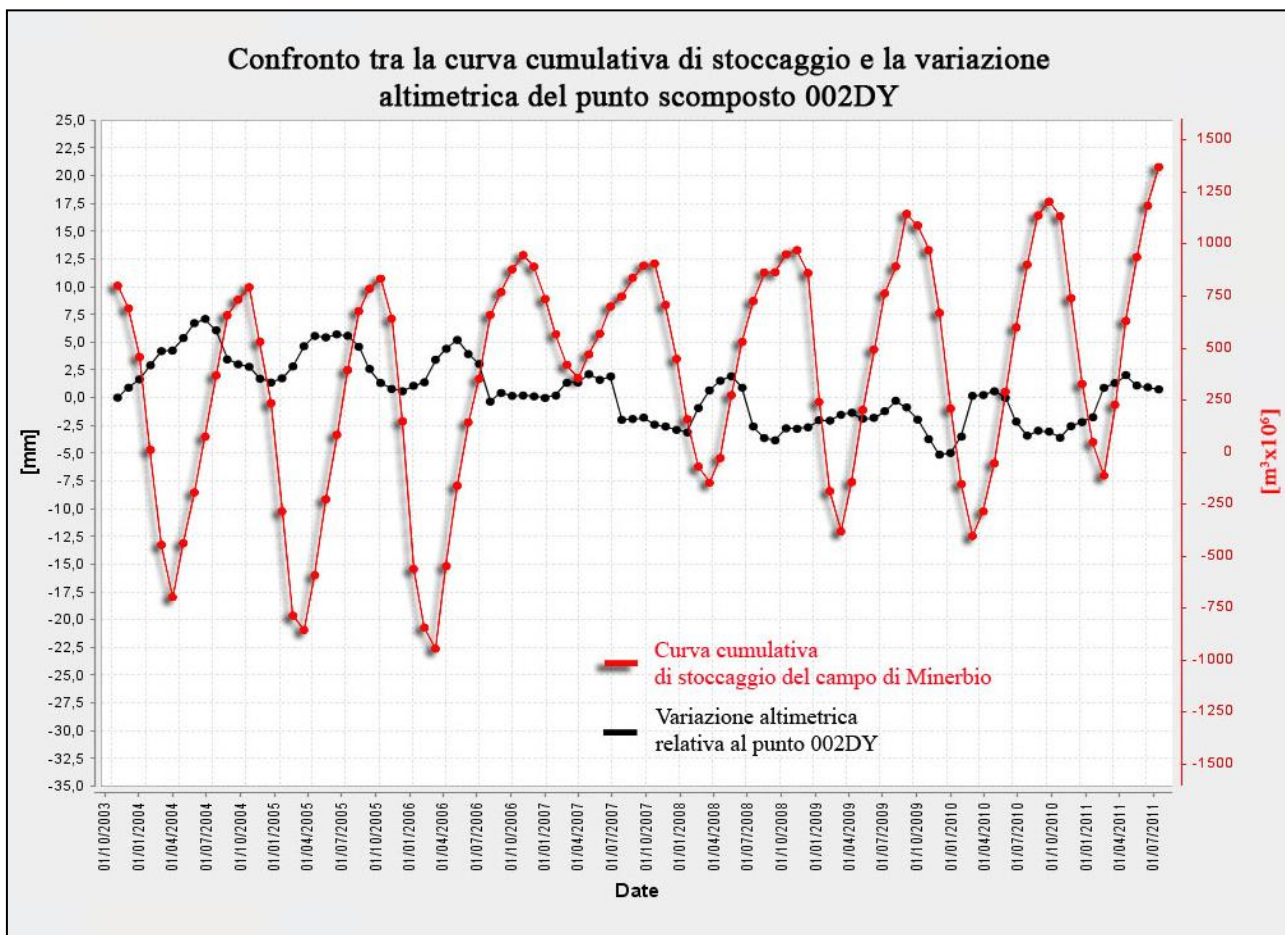
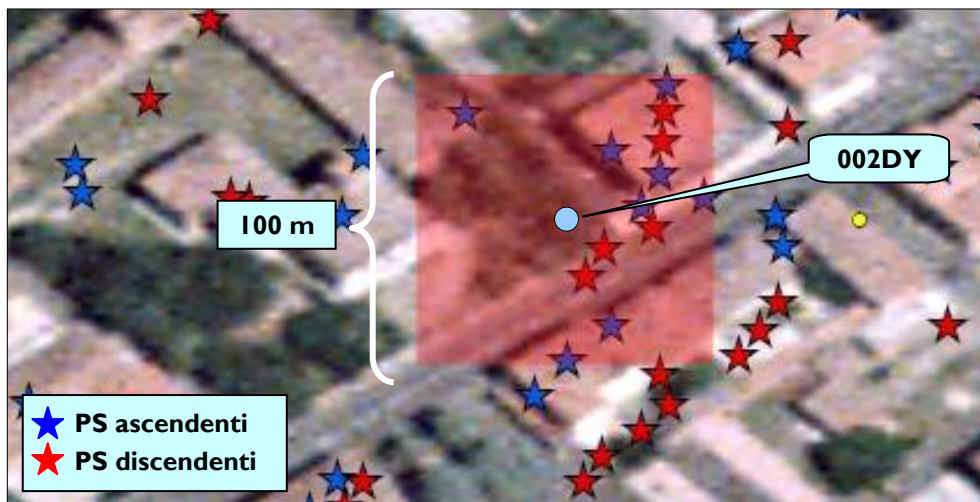


Fig.15 **Confronto tra la serie storica del punto 002DY individuato all'esterno dei limiti del giacimento di Minerbio e la curva cumulativa di stoccaggio.**

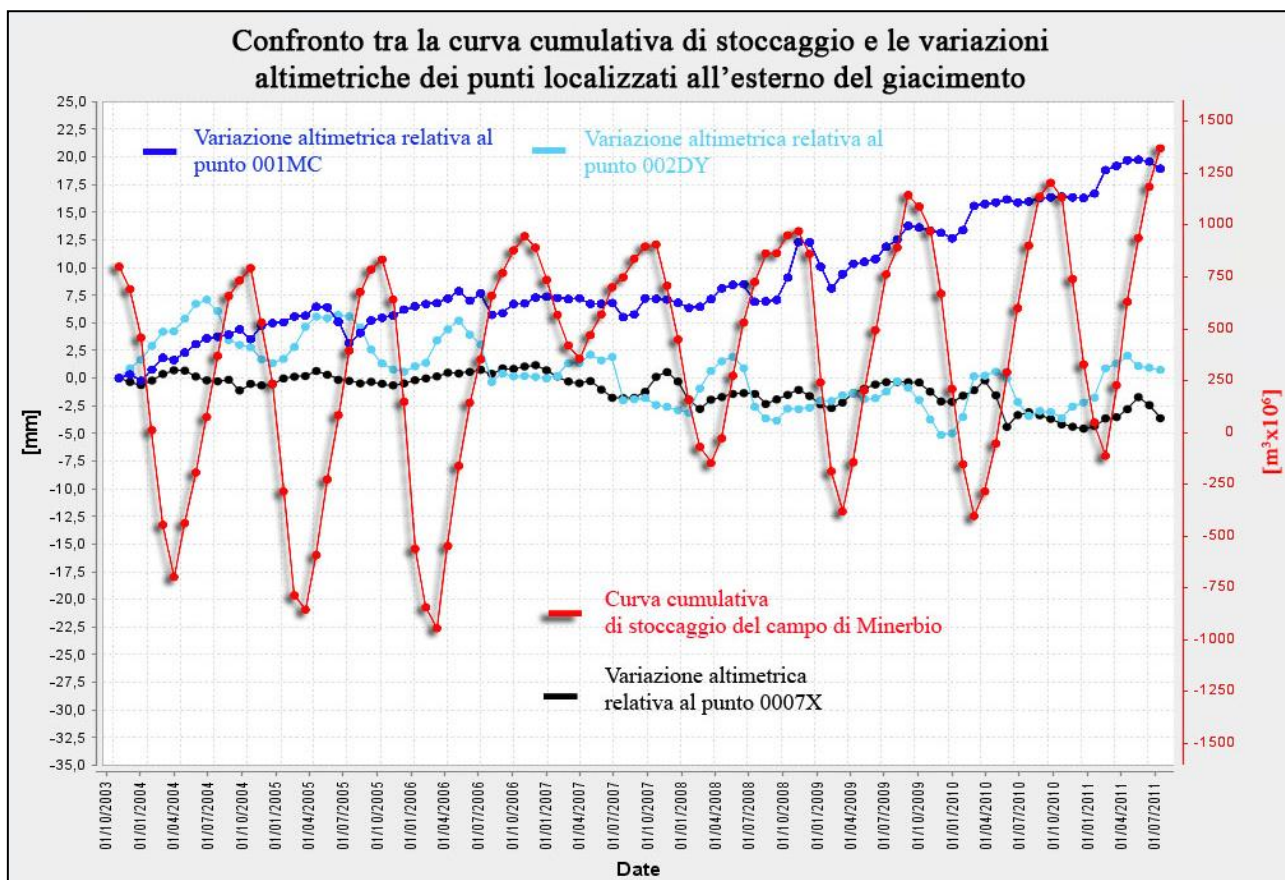
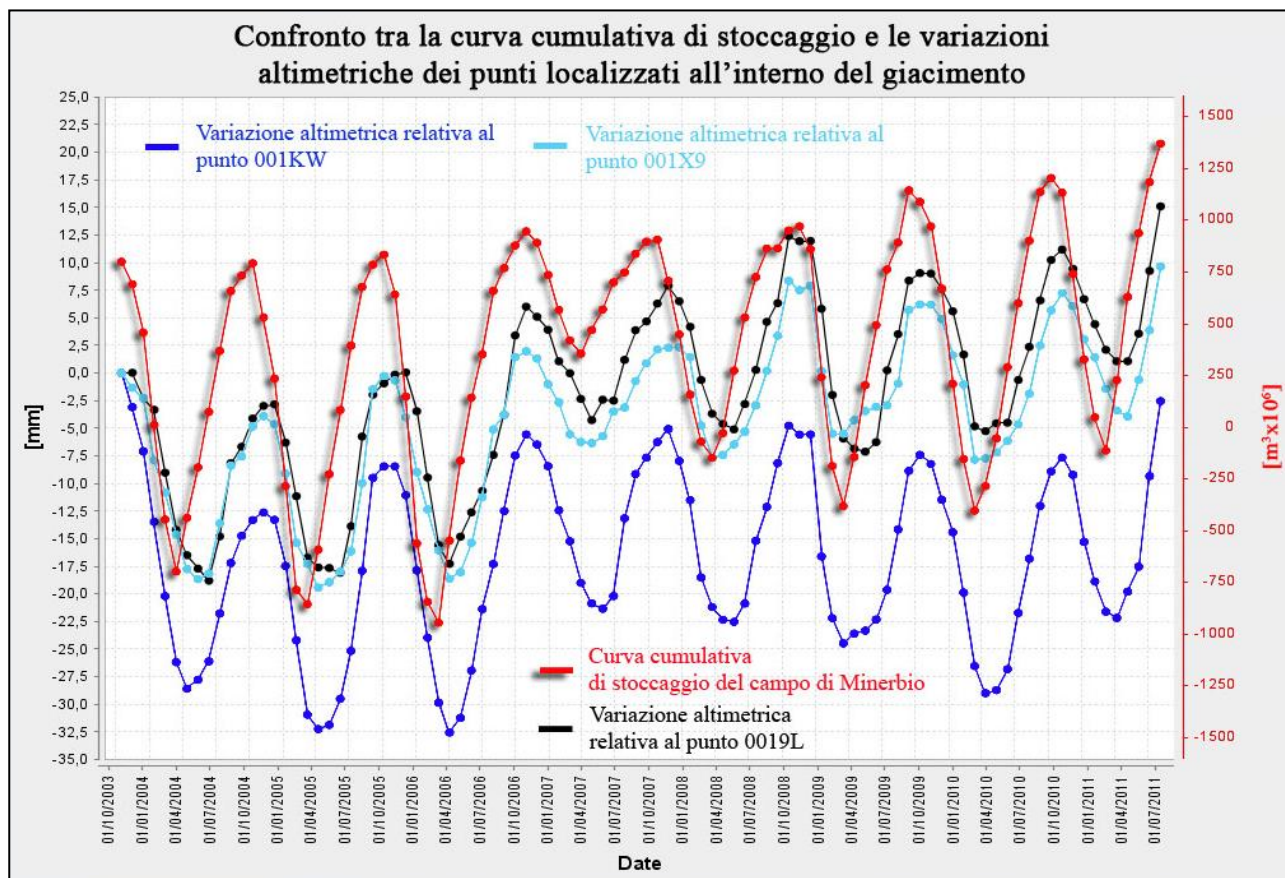


Fig.16 Visualizzazione e confronto delle serie storiche dei punti scamposti selezionati all'interno ed all'esterno del giacimento di Minerbio con la curva cumulativa di stoccaggio.

Dati CGPS

Al fine di ottenere valori di velocità assoluti da utilizzare per la calibrazione del dato SAR, dato che risulta relativo al punto di riferimento scelto, in data 17 Dicembre 2008 è stata installata da Eni Div. E&P-GEOD una stazione GPS di monitoraggio in continuo presso la Centrale Gas Stogit di Minerbio (BO).



Fig.17 Localizzazione del CGPS di Minerbio situato all'interno della Centrale Gas Stogit.

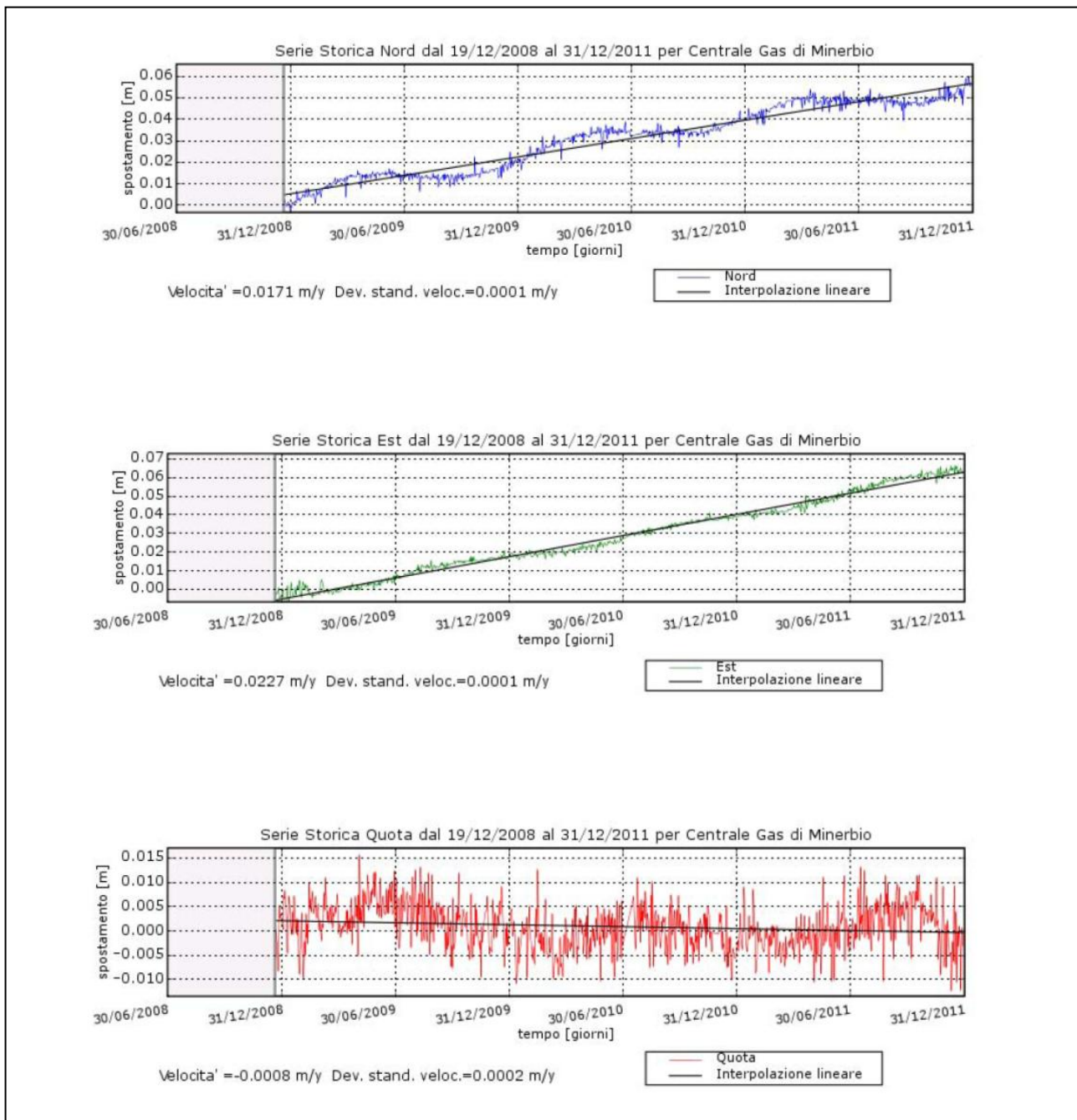



Fig.18 **Grafici delle variazioni plano-altimetriche della stazione CGPS di Minerbio relative al periodo 19/12/2008 – 31/12/2011.**

Dal momento che il dataset CGPS per il periodo temporale coerente con la copertura SAR satellitare sull'area di Minerbio risulta inferiore ai 36 mesi, periodo minimo necessario alla corretta comprensione del fenomeno fisico relativo alle deformazioni superficiali (così come indicato dall'Ente certificatore Università degli studi di Bologna - Facoltà di Fisica), si è scelto di non utilizzare, per quest'anno, i valori CGPS per la calibrazione del dato radar. Si riportano comunque i valori CGPS (-0.8 mm/anno in quota per il periodo 19/12/2008-31/12/2011 – Fig. 18) a riprova di una sostanziale stabilità dell'area in esame per il periodo indicato.

	eni S.p.A. e&p division	Date January 2012	Doc. N°. GEOD_I201_d20	Rev. 0	Sheet 3-23	Of 23
---	--	----------------------	---------------------------	-----------	---------------	----------

3 - Analisi delle elaborazioni

Analisi LOCAL

L'analisi del rilievo LOCAL effettuato sul campo di stoccaggio di Minerbio mette in evidenza valori di velocità verticali di circa +1.2 mm/anno all'interno dei limiti di giacimento, di poco superiori rispetto a quanto evidenziato nella precedente relazione (GEOD_I104_d08). Tale valore, congiuntamente a quanto osservato mediante stazione CGPS per il periodo Dicembre 2008-Dicembre 2011 evidenzia una sostanziale stabilità dell'area in esame.

Come nella precedente relazione il punto di riferimento utilizzato per la scomposizione del vettore verticale è stato mantenuto distante dalla zona di influenza del giacimento così da apprezzare in maniera oggettiva le eventuali anomalie deformative.

All'esterno dei limiti del giacimento di stoccaggio, nelle porzioni a nord e a sud-est del campo si registrano valori superiori, fino a +3 mm/anno, più evidenti presso l'abitato di Altedo, situato a nord-est.

L'analisi delle velocità orizzontali evidenzia una stabilità relativa dell'area in esame, in linea con quanto osservato nella precedente relazione. La velocità orizzontale registrata dal CGPS di Minerbio per il periodo di acquisizione Dicembre 2008 - Dicembre 2011 risulta invece di circa 22.7 mm/y verso est: tale discrepanza mette in evidenza come il dataset CGPS sia condizionato da movimenti assoluti di natura tettonica che non possono essere rilevati dal SAR in quanto relativo al punto di riferimento utilizzato ad ulteriore conferma della necessaria integrazione fra i due sistemi di misura.

Analisi delle serie storiche

Per l'analisi delle serie storiche sono stati selezionati sei punti scomposti, tre dei quali localizzati all'interno dei limiti del giacimento di stoccaggio. I punti analizzati sono stati individuati nelle vicinanze di quelli selezionati nella precedente relazione.

I tre punti selezionati all'interno del campo presentano periodicità evidenti con oscillazioni elevate e quantificabili tra i 7.5 millimetri (punto 001X9) e i 20 millimetri (punto 001KW). Il ritardo temporale tra la curva cumulativa di stoccaggio e gli estremi delle serie storiche non supera i 30 giorni.

Le serie storiche dei punti selezionati all'esterno del giacimento e, presumibilmente, lontano dalla zona di influenza dello stesso, non mostrano le stesse caratteristiche di periodicità e oscillazione e non sembrano essere influenzate dall'attività di stoccaggio.

L'unico punto che presenta una serie storica con periodicità evidenti è il punto 002DY i cui massimi e minimi risultano però in opposizione di fase rispetto alla curva cumulativa di stoccaggio: tale caratteristica, oltre ad essere già stata riconosciuta nella precedente relazione per un punto localizzato nella medesima posizione, suggerisce l'estraneità del comportamento deformativo del punto con l'attività presente all'interno del giacimento.