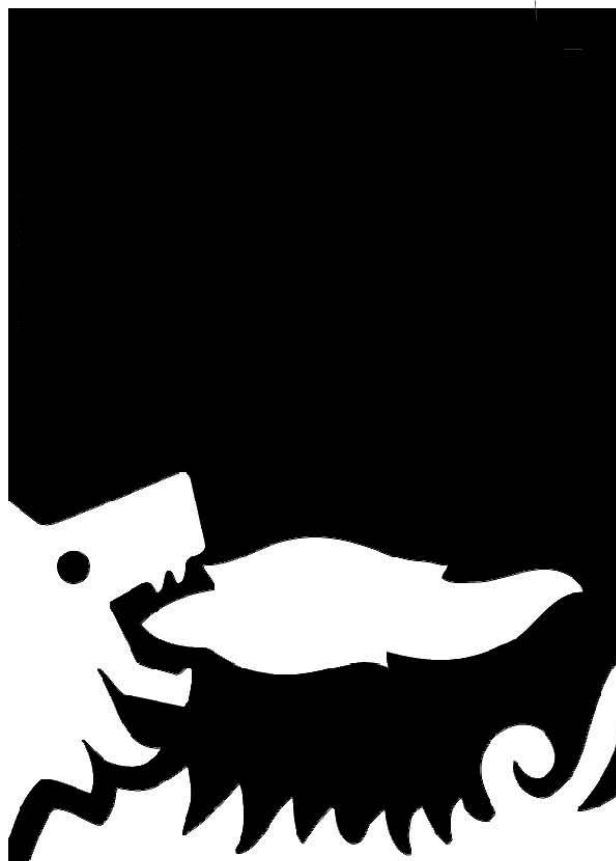




Doc. SICS_210_Integraz
Progetto messa in produzione pozzo
Agosta 1 Dir

INTEGRAZIONI ALLO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Allegato 6b.
Analisi Geodinamica campo di Dosso degli Angeli e
Agosta

Luglio 2016

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 1	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	------------	----------

**SGEG - OGEG
GEOM**

GEODYNAMICS and GEOPHYSICAL MONITORING
Department

**Analisi Geodinamica campo di Dosso degli Angeli e
Agosta**

Giugno 2016

REV.	DESCRIPTION	PREPARED BY	CHECKED BY	APPROVED BY	DATE
0	TECHNICAL REPORT	G. DELL'ELCE	R. DE PAULIS	M. MILETI	June 2016
	ANALISI GEODINAMICA CAMPO DI DOSSO DEGLI ANGELI ED AGOSTA				

ANALISI SQUEESAR™ DOSSO DEGLI ANGELI – AGOSTA

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 2	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	------------	----------

SUMMARY

I	INTRODUZIONE ALL'ANALISI INTERFEROMETRICA.....	3
1.1	La Tecnica PS (PSInSAR™)	3
1.2	La Tecnica SqueeSAR™	4
1.2.1	Il brevetto della Tecnica PS.....	4
1.3	Indici di precisione.....	5
1.4	Sensori SAR e i Satelliti	6
1.5	Scomposizione del moto	8
2	ANALISI SQUEESAR RE-PROCESSING DOSSO.....	9
2.1	Area di interesse.....	9
2.2	Immagini e satelliti utilizzati 1992 – 2011 (DATASET ARPA)	10
2.3	Immagini e satelliti utilizzati 1992 – 2011 (DATASET ENI).....	11
2.3.1	ERS I – 2 per il periodo 1992 – 2000	12
2.3.2	RADARSAT I per il periodo 2003 - 2006	18
2.3.3	RADARSAT I per il periodo 2006 - 2011	23
2.4	Focus analisi Dosso degli Angeli 1992 – 2011	27
2.4.1	ERS I – 2 periodo 1992 – 2000 (confronto della componente verticale).....	29
2.4.2	RSAT-I periodo 2003 – 2006 (confronto della componente verticale)	34
2.4.3	RSAT-I periodo 2006 – 2011 (confronto della componente verticale)	38
2.4.4	Status CGPS di Smarlacca.....	42
2.4.5	Considerazioni finali.....	44
3	AGGIORNAMENTO DATI IN BANDA X	45
3.1	Elaborazioni CSK ascendente e discendente	46
3.2	Componente verticale ed orizzontale est-ovest.....	48
3.3	Calibrazione del dato	50
3.4	Conclusioni	61
4	BIBLIOGRAFIA	62

I Introduzione all'analisi Interferometrica

I.1 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.

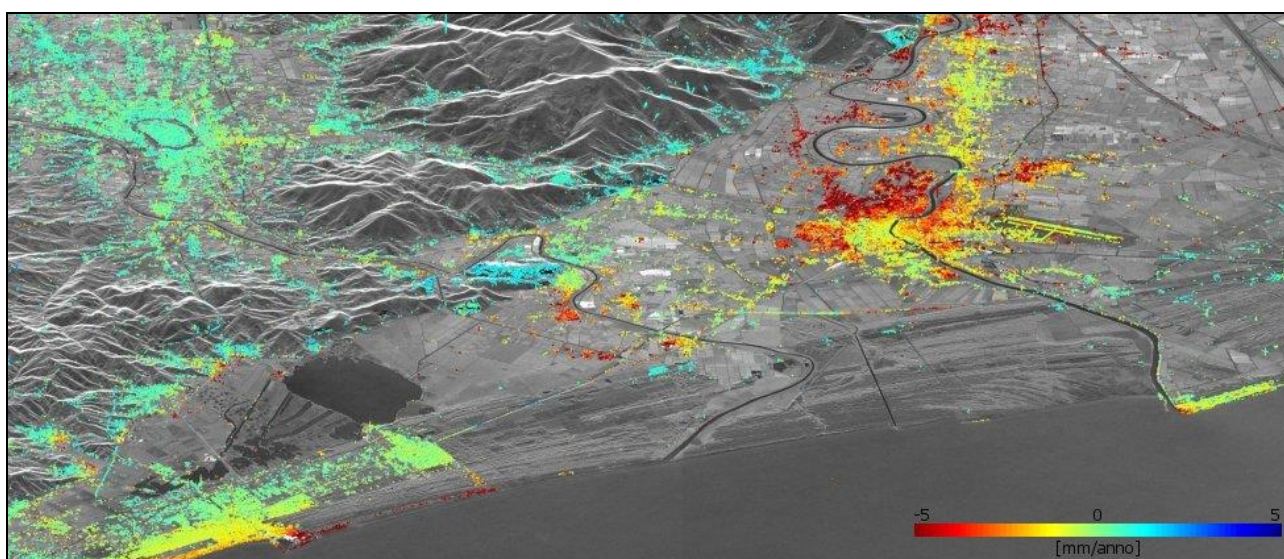


Fig. I - Esempi di subsidenza nell'area di Pisa.

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 ed altri elementi naturali che 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

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 4	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	------------	----------

complementarietà del suo utilizzo con tecniche ormai consolidate quali la livellazione ottica e le misurazioni GPS.

I.2 La Tecnica SqueeSAR™

La tecnica SqueeSAR™ è l'evoluzione del PSInSAR™, nonché il frutto della ricerca congiunta di TRE e Politecnico di Milano, ed è attualmente proposta come analisi standard.

L'obiettivo della ricerca è stato l'aumento della densità spaziale dei punti di misura relativi alle analisi interferometriche, anche in aree non urbanizzate, ovvero laddove la densità dei PS risulta bassa (ad esempio, cercando di ridurre l'impatto limitante della vegetazione). Scopo della tecnica SqueeSAR™ è l'estrazione di informazione in aree in cui i singoli bersagli non hanno sufficiente coerenza per poter divenire dei PS, ma esistono porzioni di terreno in cui bersagli radar adiacenti, pur non essendo presi singolarmente come dei PS, hanno un comportamento omogeneo in termini di riflettività e risposta agli impulsi elettromagnetici: da qui il concetto di riflettore distribuito (DS dall'inglese Distributed Scatterer).

E' evidente, a parte tipiche eccezioni, quali le grandi aree urbane delle maggiori metropoli mondiali, che la gran parte del territorio investito dal segnale SAR non darà luogo ad un Permanent Scatterer in ogni cella di risoluzione (pixel dell'immagine). In molte aree di terreno, parzialmente vegetate o con vegetazione non eccessivamente folta rispetto alla lunghezza d'onda del radar utilizzato, può esserci un segnale debolmente coerente, ovvero non composto da solo rumore, ma comunque troppo rumoroso per essere considerato come PS. L'idea alla base del DS è che esistano molte situazioni in cui un tale territorio è visto sulle immagini SAR come un gruppo di pixel adiacenti con caratteristiche elettromagnetiche comuni e che, se elaborati in modo congiunto, possano fornire un elemento caratterizzato da un maggior rapporto segnale/rumore.

Di conseguenza grazie ad un aumento della coerenza il DS può essere considerato come una sorta di PS virtuale, sul quale poter eseguire misure di spostamento del tutto simili a quelle eseguite con tecnica PSInSAR™.

I.2.1 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.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 5	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	------------	----------

I.3 Indici di precisione

I risultati PSInSAR e SqueeSAR si presentano con due indici di precisione, la cui comprensione è molto importante:

La deviazione standard (STD) della velocità.

La coerenza temporale

La deviazione standard (STD) è un noto parametro statistico, per definizione è un indice che misura il grado di dispersione di una popolazione di dati attorno al valore medio. Questa misura (indicata spesso con σ) è solitamente utilizzata per quantificare il grado di precisione di un insieme di misure. Ipotezzando infatti di conoscere la deviazione standard e supponendo una distribuzione normale degli errori (ovvero gaussiana), il 95% dei valori tende ad essere incluso nell'intervallo $\pm 2\sigma$ rispetto al valore medio. In assenza di errori sistematici, precisione e accuratezza coincidono. Nel caso di analisi PSInSARTM e SqueeSARTM la deviazione standard si riferisce alla velocità media dei PS/DS rispetto al punto di riferimento. La deviazione standard dipende da diversi fattori, in particolare di evidenziano i seguenti:

Distanza fisica tra il PS/DS ed il punto di riferimento.

Qualità del punto di misura (coerenza di fase).

Qualità della stima della componente atmosferica.

La coerenza temporale (da non confondersi con la coerenza interferometrica), è un indice che misura quanto bene il moto stimato segue un modello analitico. Stabilire un modello analitico per il moto significa pensare il moto stesso secondo una certa funzione matematica. Le serie temporali delle analisi PSInSARTM e SqueeSARTM vengono confrontate con modelli di tipo polinomiale e sinusoidale (andamenti stagionali). La scelta del modello appropriato deve tener conto di alcuni fattori:

Numero di immagini elaborate.

Intervallo temporale tra la prima e l'ultima acquisizione.

Eventuali lacune nell'acquisizione (ad esempio intervalli sporadici o regolari di assenza di acquisizioni).

Stabilito il modello matematico da utilizzare, ogni serie temporale di movimento viene confrontata con il modello, il risultato del confronto è l'indice detto coerenza temporale. Il valore I assume il significato che ogni misura contenuta nella serie temporale è perfettamente giustificata dal modello matematico, ed è ovviamente un caso limite. I dati creati dalle analisi PSInSARTM e SqueeSARTM vengono selezionati in base alla coerenza temporale, eliminando tutte le serie temporali che presentano una coerenza troppo bassa per garantire una interpretazione del risultato. La selezione dipende dai fattori sopra elencati, dunque varia da elaborazione ad elaborazione, ed è basata su

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 6	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	------------	----------

test statistici che determinano il livello minimo di coerenza da ritenere accettabile (soglia minima di coerenza). Va infatti sottolineato che il valore assoluto di coerenza, fatti salvi i valori estremi 0 ed 1, non assume una valenza qualitativa a sua volta assoluta, bensì relativa alla combinazione dei fattori che determinano il modello utilizzato. Questo significa che una serie temporale con, ad esempio, una coerenza temporale pari a 0,5 generata con un certo set di dati, può risultare qualitativamente diversa da una serie temporale con la stessa coerenza, ma generata da un set di dati diverso (ad esempio contenente un numero diverso di immagini).

I.4 Sensori SAR e i Satelliti

I sensori SAR sono associati a specifiche bande dello spettro elettromagnetico. Nelle applicazioni InSAR le bande comunemente utilizzate sono:

Banda	Frequenza GHz	Lunghezza d'onda
L	1 – 2 GHz	24 cm
C	5 – 6 GHz	6 cm
X	8 – 12 GHz	3 cm

In Fig. 2 una rappresentazione schematica dei satelliti che montano a bordo sensori SAR utilizzabili per applicazioni interferometriche.

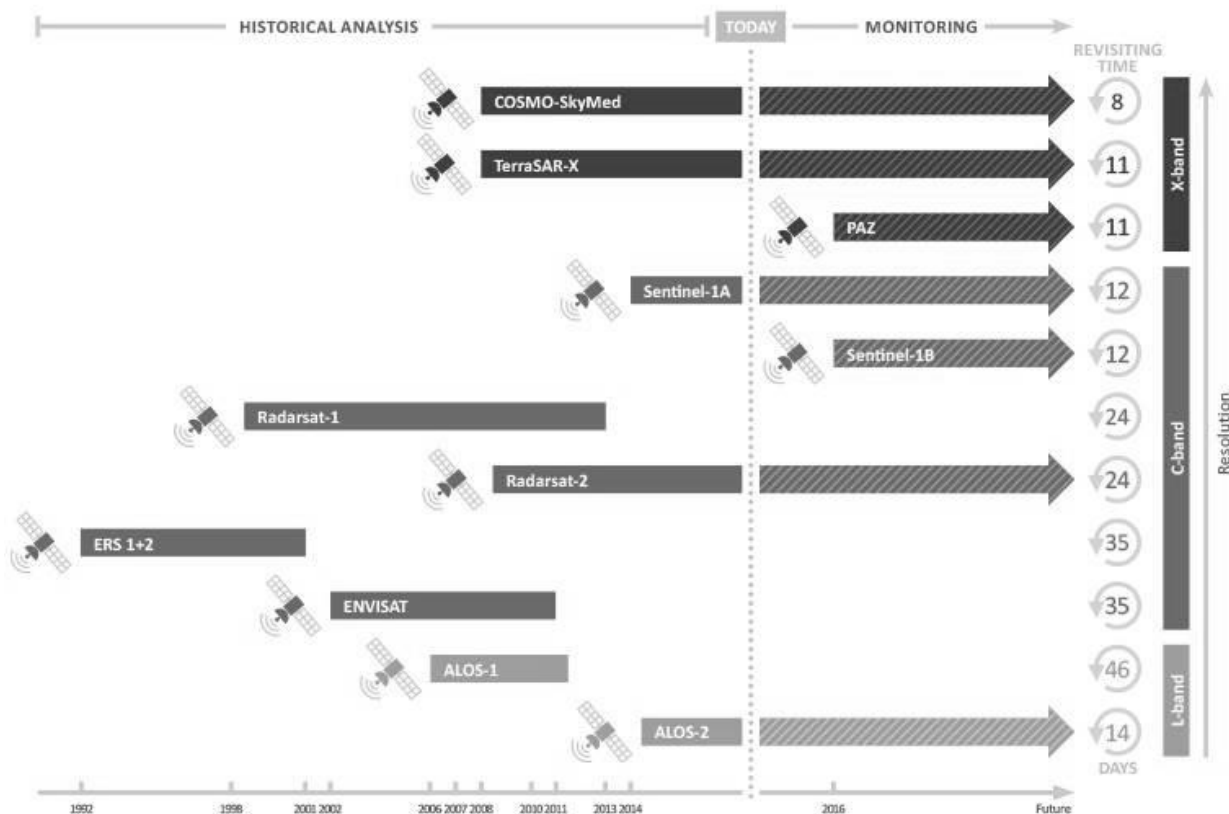


Fig. 2 - Rappresentazione grafica dei satelliti storici non operativi, operativi e pianificati per missioni future.

I satelliti percorrono orbite elio-sincrone lievemente inclinate rispetto ai meridiani, illuminando, da una quota compresa tra 500 e 800 km, una striscia di terreno (swath) larga fino a 100 km. La stessa orbita nominale viene ripercorsa dopo un intervallo definito (revisiting time), consentendo così di acquisire dati relativi alla stessa area al suolo, in tempi differenti.

La direzione parallela all'orbita è detta azimuth e coincide approssimativamente con la direzione Nord-Sud. La risoluzione (ovvero la capacità di riconoscere come distinti bersagli) in azimuth vale solitamente qualche metro e per i satelliti in banda X fino ad 1 metro.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 8	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	------------	----------

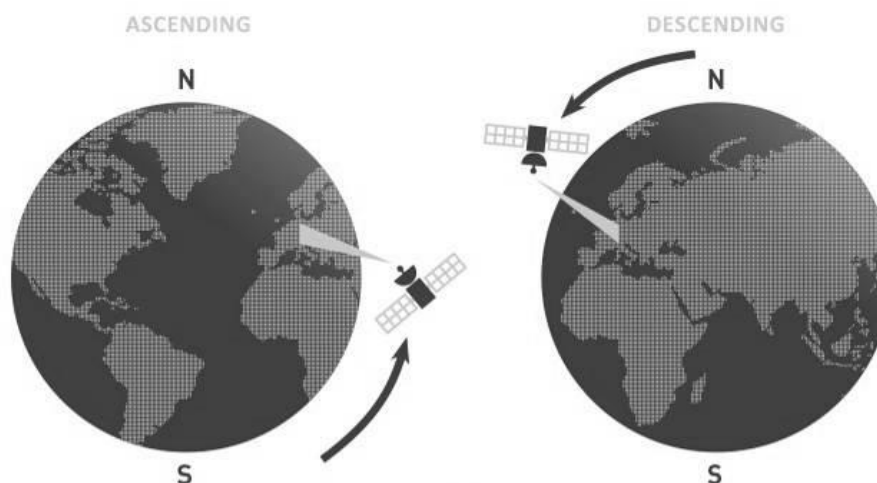


Fig. 3 - Rappresentazione schematica delle geometrie di acquisizione di un Satellite SAR.

Dalla combinazione della rotazione terrestre con le orbite elio-sincrone risulta che una stessa area della superficie terrestre viene illuminata dalla radiazione radar sia durante il passaggio del satellite in direzione N-S, denominata geometria discendente, sia durante il passaggio del satellite in direzione S-N, denominata geometria ascendente. Ciò significa che l'area al suolo viene rilevata sotto due angoli di vista praticamente speculari. Entrambe le geometrie hanno lo stesso revisiting time (vedi Fig. 3).

I.5 Scomposizione del moto

I risultati ottenuti dalle due elaborazioni ascendente e discendente possono essere combinati per il calcolo delle componenti verticale ed orizzontale.

Per valutare la componente verticale e la componente orizzontale del vettore di spostamento viene creata una griglia spaziale di campionamento settata in coordinate geografiche. Successivamente, calcolando la velocità di deformazione media, per ognuna delle due orbite è possibile giungere al risultato di avere dei punti spaziatosi regolarmente ("pseudo" – PS) per ogni orbita. Il risultato viene poi utilizzato per valutare le due componenti del vettore di deformazione, risolvendo la seguente equazione:

$$\begin{cases} V_a = DV \cos\theta_a + DEW \sin\theta_a \\ V_d = DV \cos\theta_d + DEW \sin\theta_d \end{cases}$$

Dove V_a e V_d rappresentano le velocità delle deformazioni misurate dalla geometria ascendente e discendente; DV e DEW sono rispettivamente la velocità verticale e quella orizzontale (E-W); θ_a e θ_d sono gli angoli incidenti delle orbite ascendente e discendente.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 9	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	------------	----------

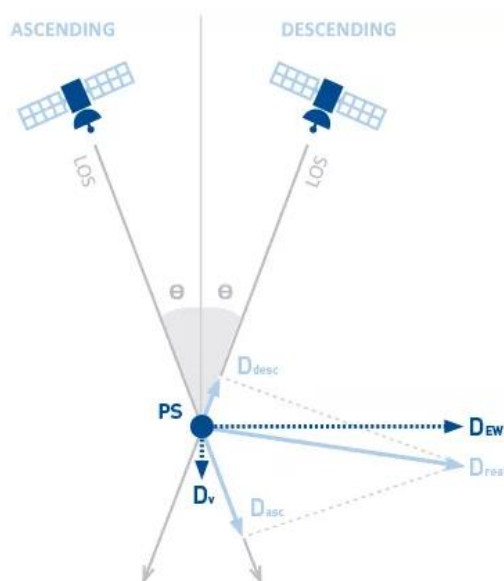


Fig. 4 - Rappresentazione vettoriale della scomposizione del moto

Al fine di un uso corretto del dato scomposto, si ricorda che:

Eventuali moti orizzontali in direzione nord – sud non sono misurabili a causa della poca sensibilità della geometria di acquisizione a tale componente di moto.

Il processo di scomposizione richiede il ri-campionamento dei dati su griglia comune, con conseguente perdita di risoluzione spaziale.

Le misure ottenute dalla scomposizione del moto sono quindi da riferire non a specifici bersagli radar a terra, ma a “pseudo – PS” posizionati al centro della cella di scomposizione. L’analisi dei risultati ottenuti da una scomposizione non può prescindere dall’analisi dei dati di origine. In particolare, la valutazione dei fenomeni e della loro distribuzione areale deve tener conto della dimensione della cella di scomposizione e della distribuzione e qualità radiometrica dei punti di misura delle elaborazioni originali che contribuiscono alla valutazione delle componenti del moto per ogni cella.

Nell’analisi dei dati scomposti si consiglia sempre di prendere in considerazione anche i valori di deviazione standard forniti per le componenti verticale ed orizzontale est – ovest.

2 Analisi SqueeSAR Re-Processing Dosso

2.1 Area di interesse

L’area di interesse (AOI) indicata in Fig. 5, è situata in corrispondenza delle valli di Comacchio. Per l’analisi, si è considerata una estensione pari a circa 450 km². Nelle prossime pagine verranno descritti i dati utilizzati da ARPA ed i dati utilizzati da ENI.



Fig. 5 - Area di interesse (AOI) per il re-processing dei dati ERS 1 – 2 per il periodo 1992 – 2000 e Radarsat 1 per il periodo 2003 – 2011.

2.2 Immagini e satelliti utilizzati 1992 – 2011 (DATASET ARPA)

Come si riscontra dai report ARPA, a partire dal 2007 (vedi Relfin 2007, 2011 e 2012, presenti nel sito dell'ARPA e sul sito della Regione Emilia Romagna; i link sono disponibili in bibliografia), in funzione del periodo di indagine, sono stati utilizzati dataset con singola geometria oppure con doppia. Nel caso dei dataset in singola geometria, ARPA ha riproiettato sulla verticale le deformazioni valutate lungo la linea di vista. Di seguito si riportano i dati:

ERS 1 – 2 per il periodo 1992 – 2000 (solo geometria Discendente)

Envisat per il periodo 2003 – 2006 (Doppia geometria)

Radarsat 1 per il periodo 2006 – 2011 (solo geometria Ascendente)

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 11	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

Va ricordato che in funzione del satellite utilizzato, possono cambiare sia la risoluzione ma soprattutto il tempo di rivisitazione dell'area da investigare (vedi § 1.4 del presente lavoro). Nello specifico, nel periodo 2003 – 2006, ARPA utilizza un dataset proveniente da Envisat, che ha un tempo di rivisitazione di 35 giorni, rispetto al dataset utilizzato da Eni, proveniente da RADARSAT I, con tempo di rivisitazione di 24 giorni. Per i dettagli delle analisi di processing e calibrazione sostenuti da ARPA si rimanda ai report finali pubblicati nel loro sito (vedi Relfin 2007, 2011 e 2012, presenti nel sito dell' ARPA e sul sito della Regione Emilia Romagna; i link sono disponibili in bibliografia).

2.3 Immagini e satelliti utilizzati 1992 – 2011 (DATASET ENI)

Al fine di analizzare nel dettaglio gli spostamenti occorsi tra il 1992 ed il 2011 nell'area d'interesse e confrontarli con le elaborazioni degli Enti, sono stati ri-elaborati i dati storici di ERS 1 – 2 e i dati Radarsat I disponibili.

Sull'area di indagine (vedi Fig. 5), di estensione pari a circa 450 km², sono stati quindi elaborati dati ERS 1-2 e RSAT I acquisiti in entrambe le geometrie, rispettivamente nei periodi 1992 – 2000 e 2003 – 2011. I risultati ottenuti nelle diverse geometrie di acquisizione sono stati successivamente combinati per la valutazione della componente verticale ed orizzontale est-ovest degli spostamenti. Inoltre, per meglio confrontare i periodi di produzione del giacimento Dosso degli Angeli, il data set proveniente da RSAT I, è stato successivamente ritagliato per fornire valori di spostamento relativi ai due periodi sequenziali (2003 – 2006; 2006 – 2011).

Nello specifico, i periodi di re-processing sono:

ERS 1 – 2 per il periodo 1992 – 2000 (doppia geometria)

Radarsat I per il periodo 2003 – 2006 (doppia geometria)

Radarsat I per il periodo 2006 – 2011 (doppia geometria)

Sulla base dei dataset a disposizione, le analisi condotte hanno fornito i risultati sintetizzati in Tabella 1. Il maggior numero di punti di misura e la migliore precisione delle misure è stata ottenuta con i dataset RSAT, grazie al maggior numero di immagini disponibili.

Dataset	Satellite	Geometria	N° Imm.	Periodo di copertura
1	ERS 1-2	A	40	03/07/1992 – 01/01/2001
2	ERS 1-2	D	67	10/05/1992 – 13/12/2000
3	RSAT I	A	109	08/05/2003 – 16/12/2011
4	RSAT I	D	99	25/04/2003 – 27/12/2011

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 12	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

Dataset	Satellite Geometria	N° Immagini	N° Punti di Misura.	Max deviazione standard della velocità media
1	ERS I-2 Asc	40	8480	0.8 mm/anno
2	ERS I-2 Desc	67	12650	0.5 mm/anno
3	RSAT I Asc	109	34044	0.5 mm/anno
4	RSAT I Desc	99	35232	0.6 mm/anno

Tabella I - Dataset elaborati per il presente aggiornamento. I risultati dell'elaborazione 2003 – 2011, in fase di post processing sono stati ritagliati in due periodi distinti (2003 – 2006; 2006 – 2011).

Le misure SqueeSAR™ di spostamento sono riferite ad un punto interno alla scena di processing. Data la ridotta estensione dell'area d'indagine ed al fine di minimizzare le differenze indotte dai noti movimenti differenziali che interessano quest'area, per tutti e quattro i dataset elaborati, i punti di riferimento sono stati selezionati fuori dall'AOI e nella stessa zona, l'abitato di Ravenna. I dati ottenuti nelle singole geometrie di acquisizione, sono stati combinati per valutare le componenti verticale ed orizzontale (est – ovest) dei moti. Senza entrare nei dettagli della scomposizione, si ricorda che il processo di scomposizione implica un ri-campionamento spaziale e temporale dei dati in singola geometria, con conseguente perdita di risoluzione. L'analisi di dettaglio dei fenomeni deformativi deve quindi essere condotta prendendo in considerazione innanzitutto le serie storiche dei dati di origine e in un secondo momento le serie storiche dei dati scomposti.

2.3.1 ERS I – 2 per il periodo 1992 – 2000

Le Fig. 6 e Fig. 7 mostrano rispettivamente il risultato dell'elaborazione ERS I-2 ascendente e discendente.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 13	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

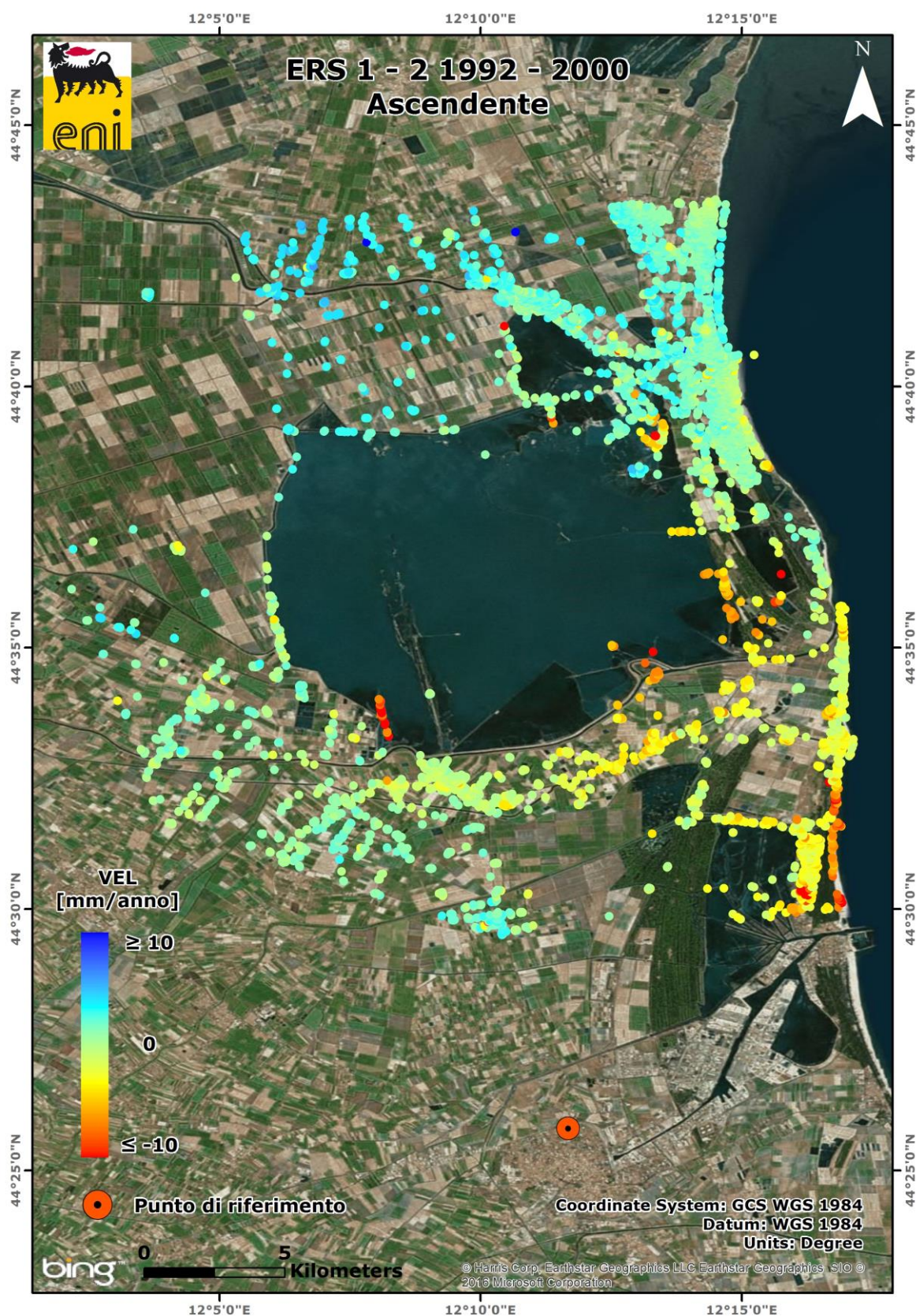


Fig. 6 - Velocità medie annue dei punti individuati con l'elaborazione del dataset ERS 1-2 ascendente (periodo 1992 – 2000).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 14	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

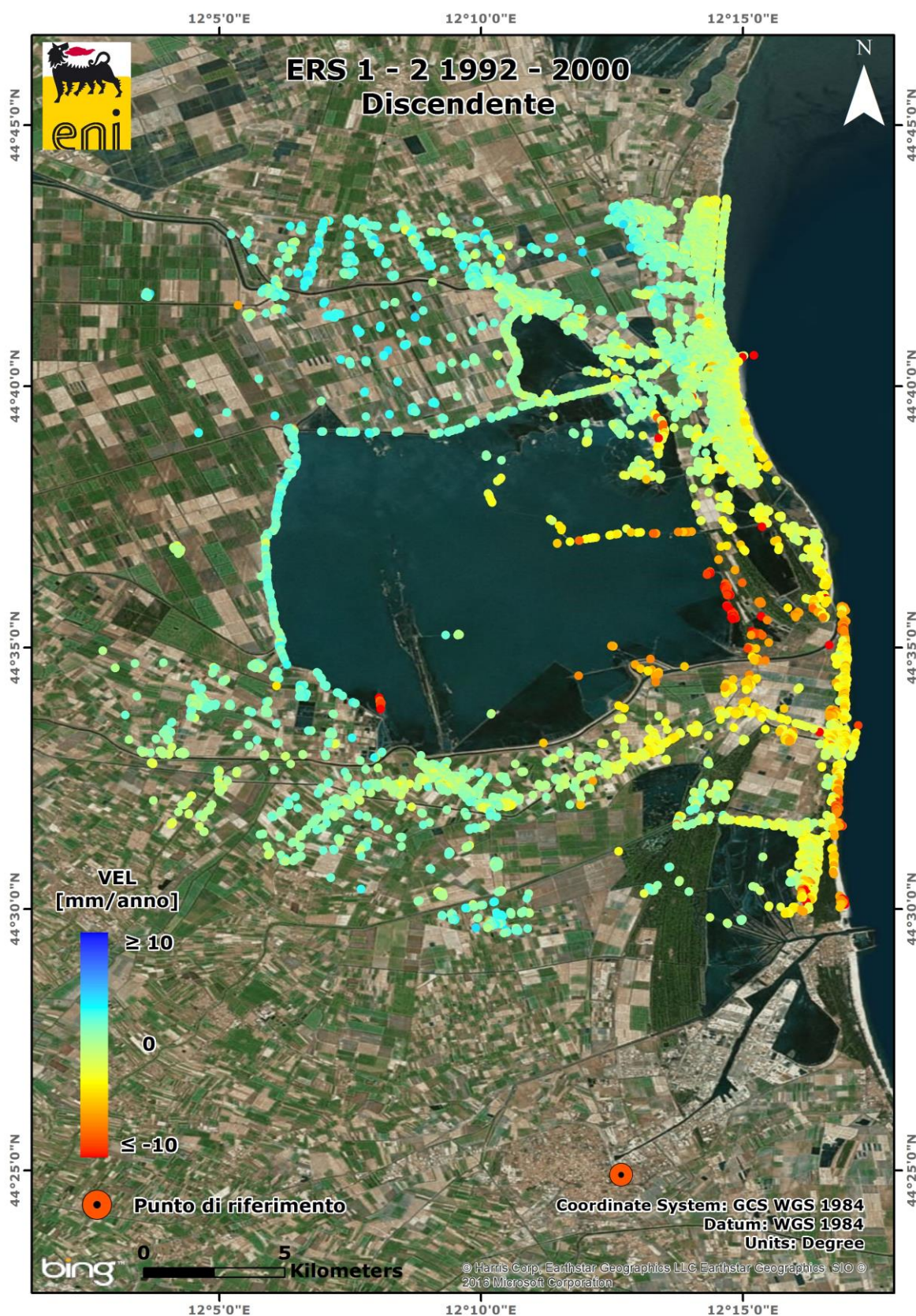


Fig. 7 - Velocità medie annue dei punti individuati con l'elaborazione del dataset ERS I-2 discendente (periodo 1992 – 2000).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 15	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

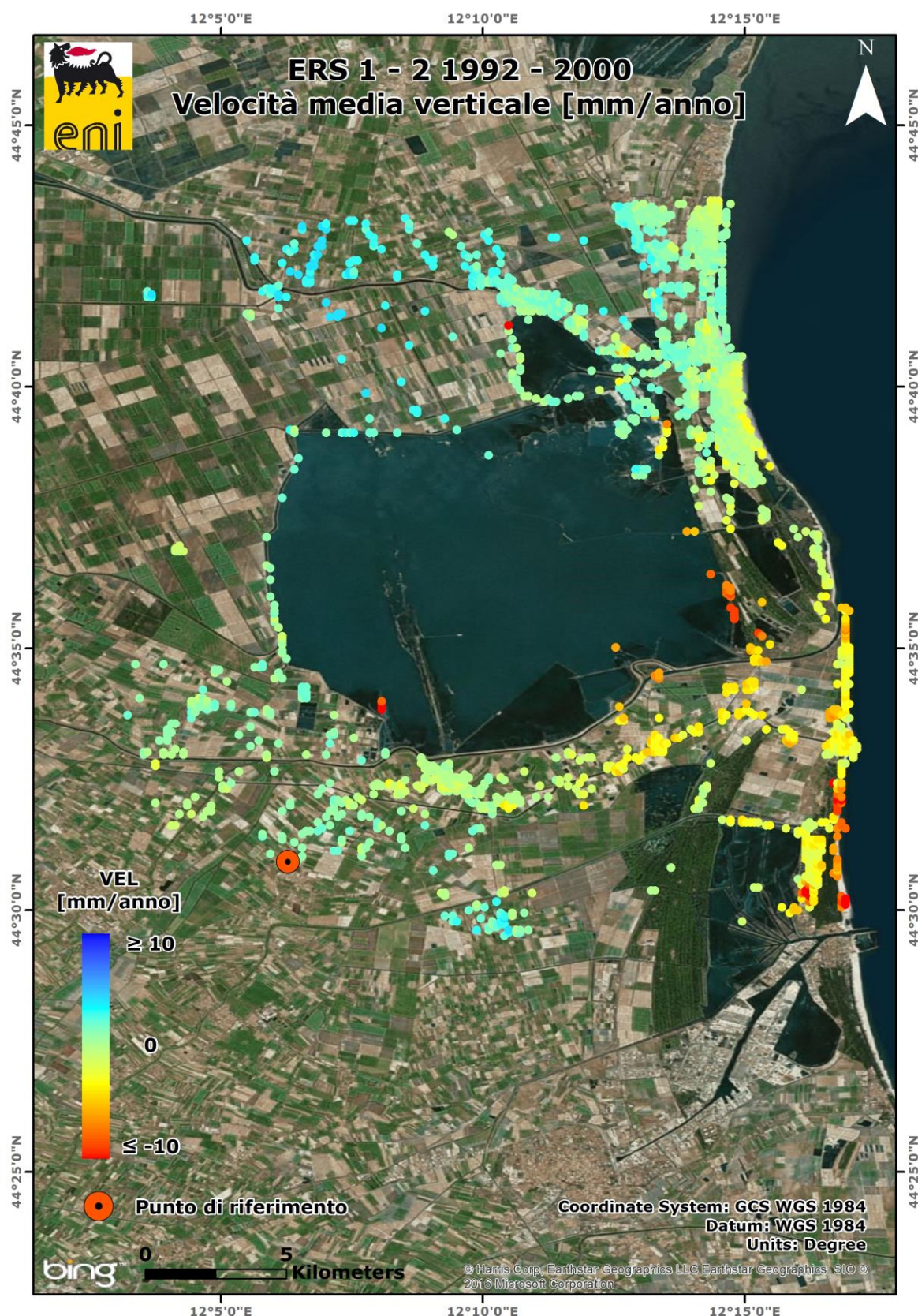


Fig. 8 - Velocità medie annue per la componente VERTICALE calcolata dalla combinazione dei dati ERS I-2 per il periodo 1992 – 2000.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 16	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------



Fig. 9 - Velocità medie annue per la componente EST-OVEST calcolata dalla combinazione dei dati ERS 1-2 per il periodo 1992 – 2000.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 17	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

Dall'analisi delle immagini precedenti si deduce che l'area è interessata da movimenti differenziali a principale componente verticale. I tassi di deformazione verticale maggiori nel periodo 1992-2000 si osservano nel tratto di costa tra Lido di Spina e Marina di Ravenna e nell'area della Valle Lido Magnavacca, con valori massimi che raggiungono circa i 12 mm/anno in abbassamento.

Nel tratto di costa tra Casalborsetti e Porto Garibaldi si osserva anche la presenza di una componente di movimento verso ovest, con tassi di spostamento in genere compresi entro i 5 mm/anno. Movimenti verso est interessano invece il settore costiero più a sud, con movimenti compresi entro qualche mm/anno.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 18	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

2.3.2 RADARSAT I per il periodo 2003 - 2006

I dati RADARSAT I ottenuti per il periodo 2003 – 2011, sono stati ritagliati per fornire i valori di spostamento nello specifico periodo 2003 – 2006 (vedi Fig. 10 e Fig. 11).

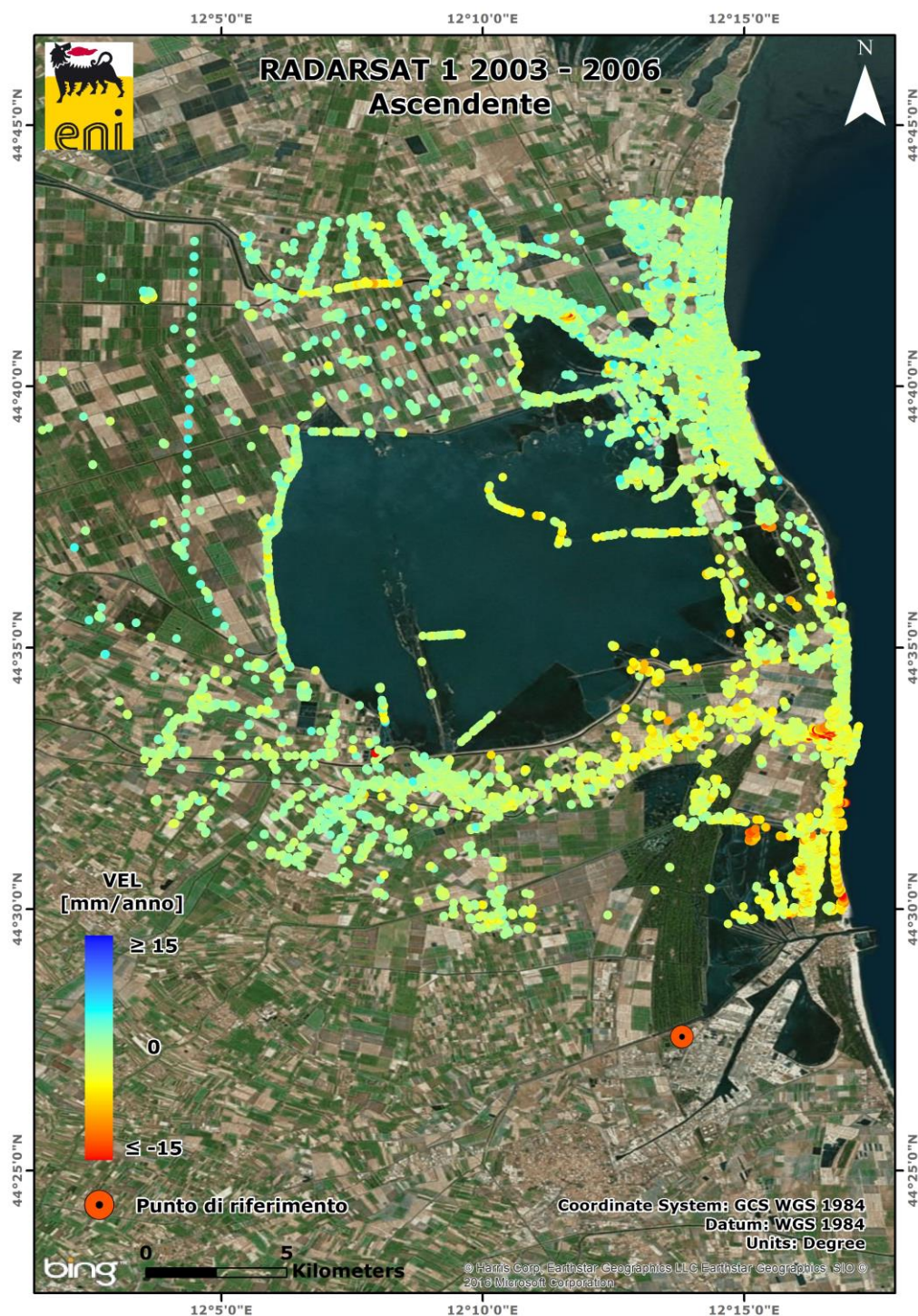


Fig. 10 - Velocità medie annue dei punti, individuate con l'elaborazione del dataset RSAT I ascendente (periodo 2003 – 2006).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 19	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

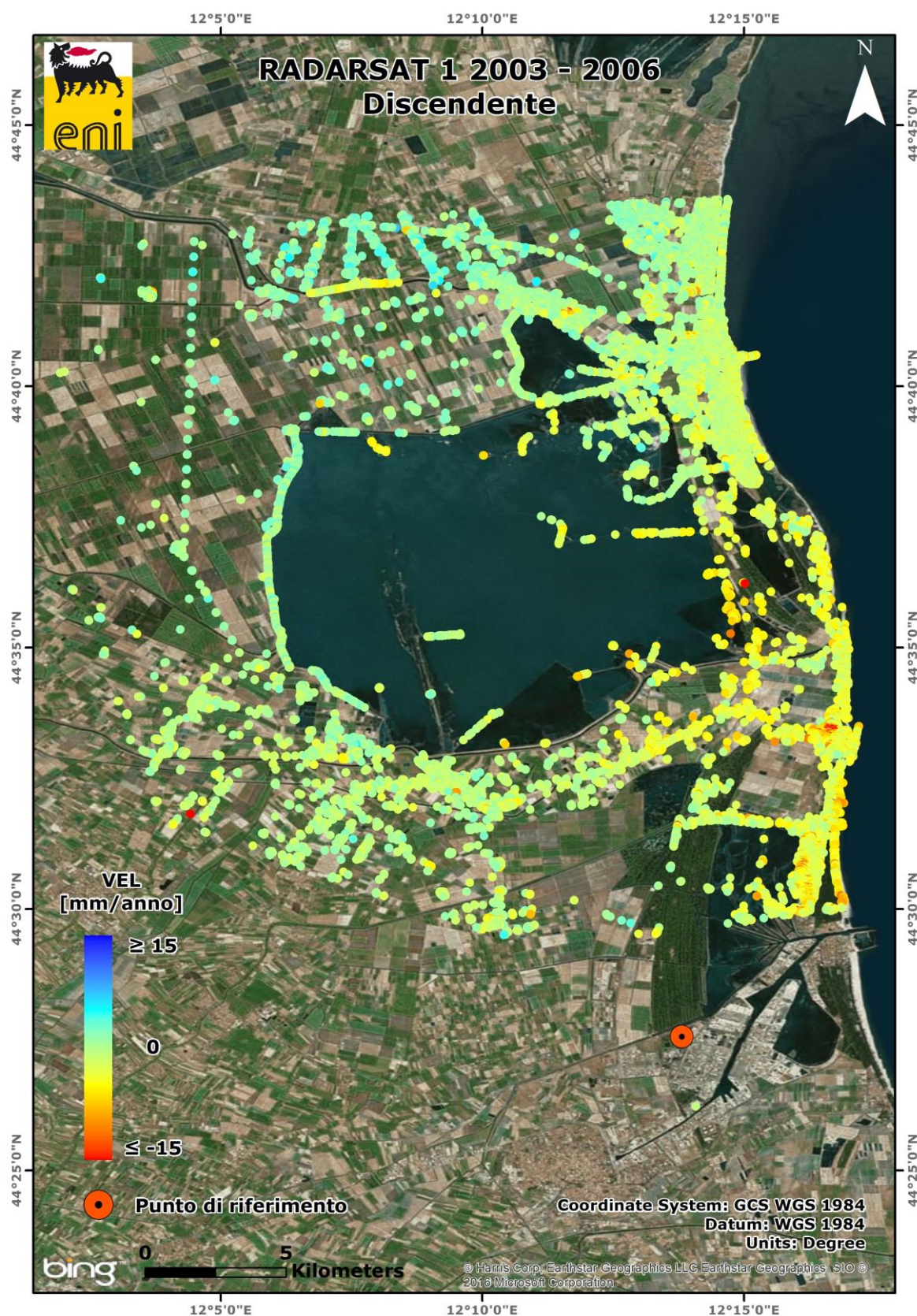


Fig. II - Velocità medie annue dei punti, individuate con l'elaborazione del dataset RSAT1 discendente (periodo 2003 – 2006).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 20	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

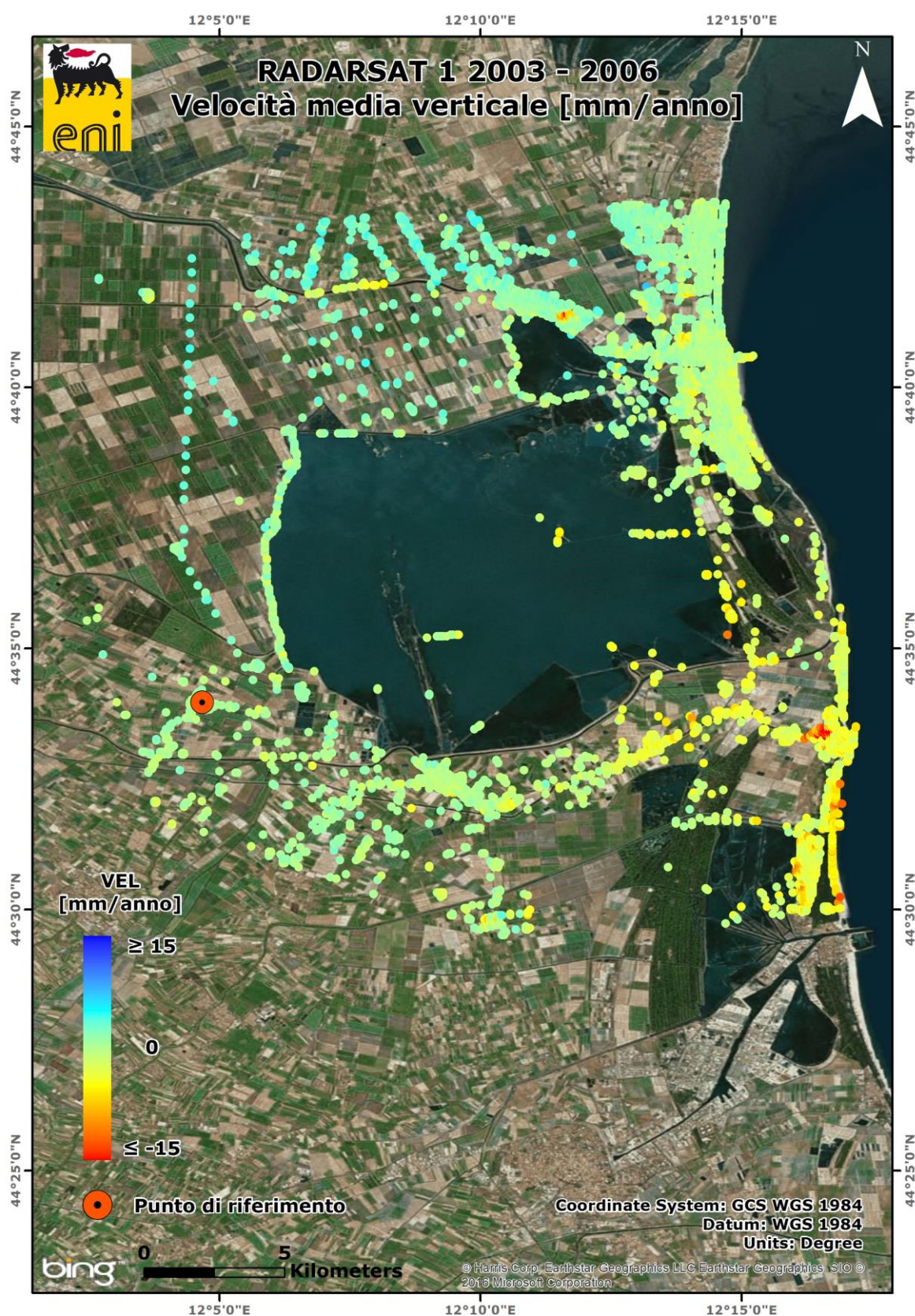


Fig. 12 - Velocità medie annue per la componente VERTICALE, ottenuta dalla combinazione dei dati RSAT I in doppia geometria, per il periodo 2003 – 2006.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 21	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------



Fig. 13 - Velocità medie annue per la componente ORIZZONTALE (est-ovest), ottenuta dalla combinazione dei dati RSATI in doppia geometria, per il periodo 2003 – 2006.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 22	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

Le Fig. 12 e Fig. 13 mostrano i risultati della combinazione dei dati RSAT1 per il calcolo rispettivamente della componente verticale ed orizzontale (est – ovest) dei moti, nel periodo 2003 – 2006.

Si osservano, anche in questo caso, movimenti differenziali a principale componente verticale. I tassi di maggiore deformazione interessano il tratto di costa tra Lido di Spina e Marina di Ravenna e l'area della Valle di Magnavacca, risultando leggermente più bassi rispetto al periodo 1992 – 2000 (valori in genere compresi entro i 10 mm/anno).

Anche per la componente orizzontale, i tassi di spostamento nel periodo 2003 – 2006 risultano inferiori rispetto al periodo 1992 – 2000. I valori massimi sono intorno a pochi mm/anno verso est, nel settore tra Casalborgorsetti e Lido di Spina e verso ovest nel settore più a sud.

2.3.3 RADARSAT I per il periodo 2006 - 2011

I dati RADARSAT I ottenuti per il periodo 2003 – 2011, sono stati ritagliati per fornire i valori di spostamento nello specifico periodo 2006 – 2011 (vedi Fig. 14 e Fig. 15).

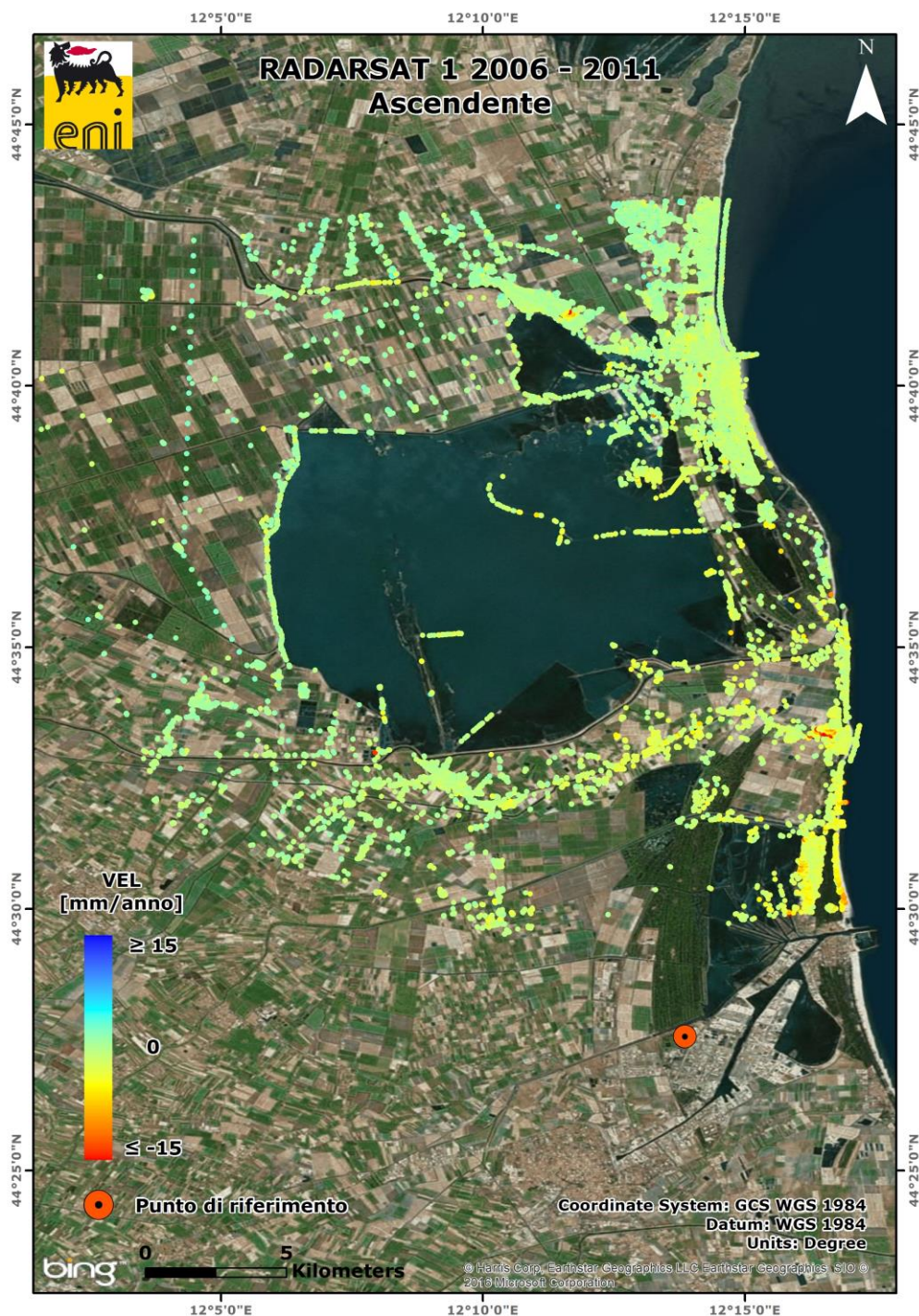


Fig. 14 - Velocità medie annue dei punti, individuate con l'elaborazione del dataset RSAT I ascendente (periodo 2006 – 2011).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 24	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

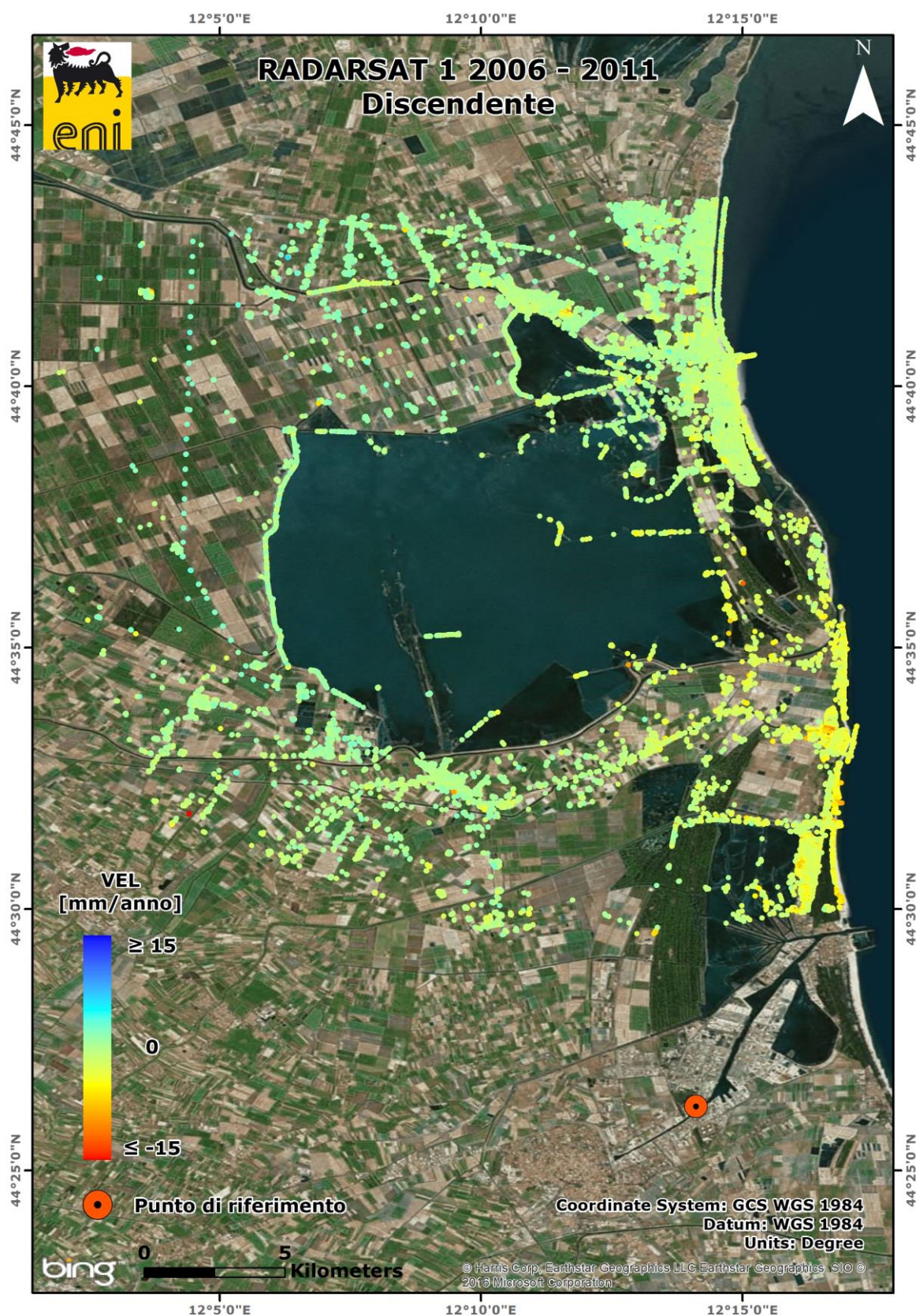


Fig. 15 - Velocità medie annue dei punti, individuate con l'elaborazione del dataset RSAT1 discendente (periodo 2006 - 2011).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 25	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

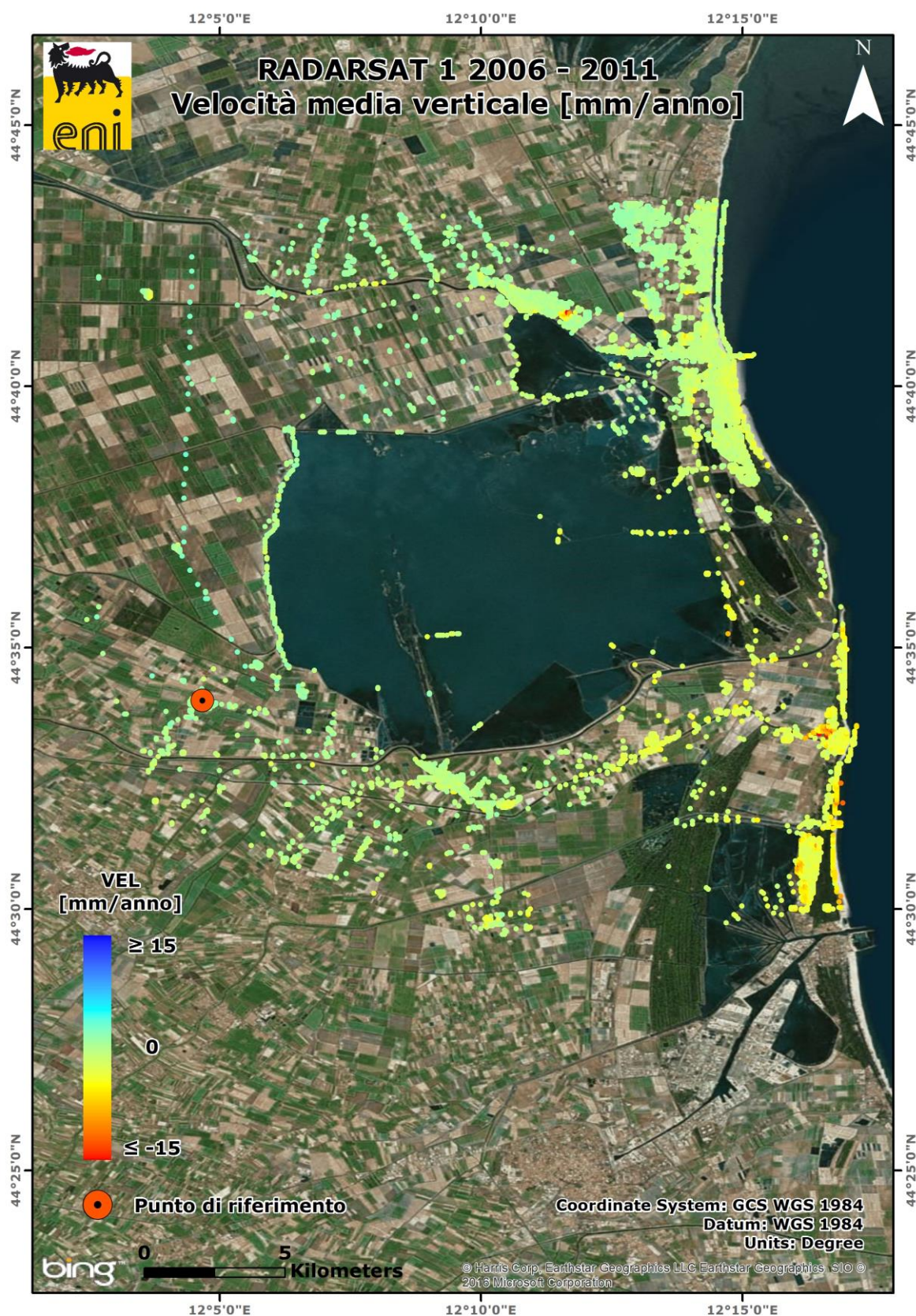


Fig. 16 - Velocità medie annue per la componente VERTICALE, ottenuta dalla combinazione dei dati RSAT I in doppia geometria, per il periodo 2003 – 2006.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 26	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

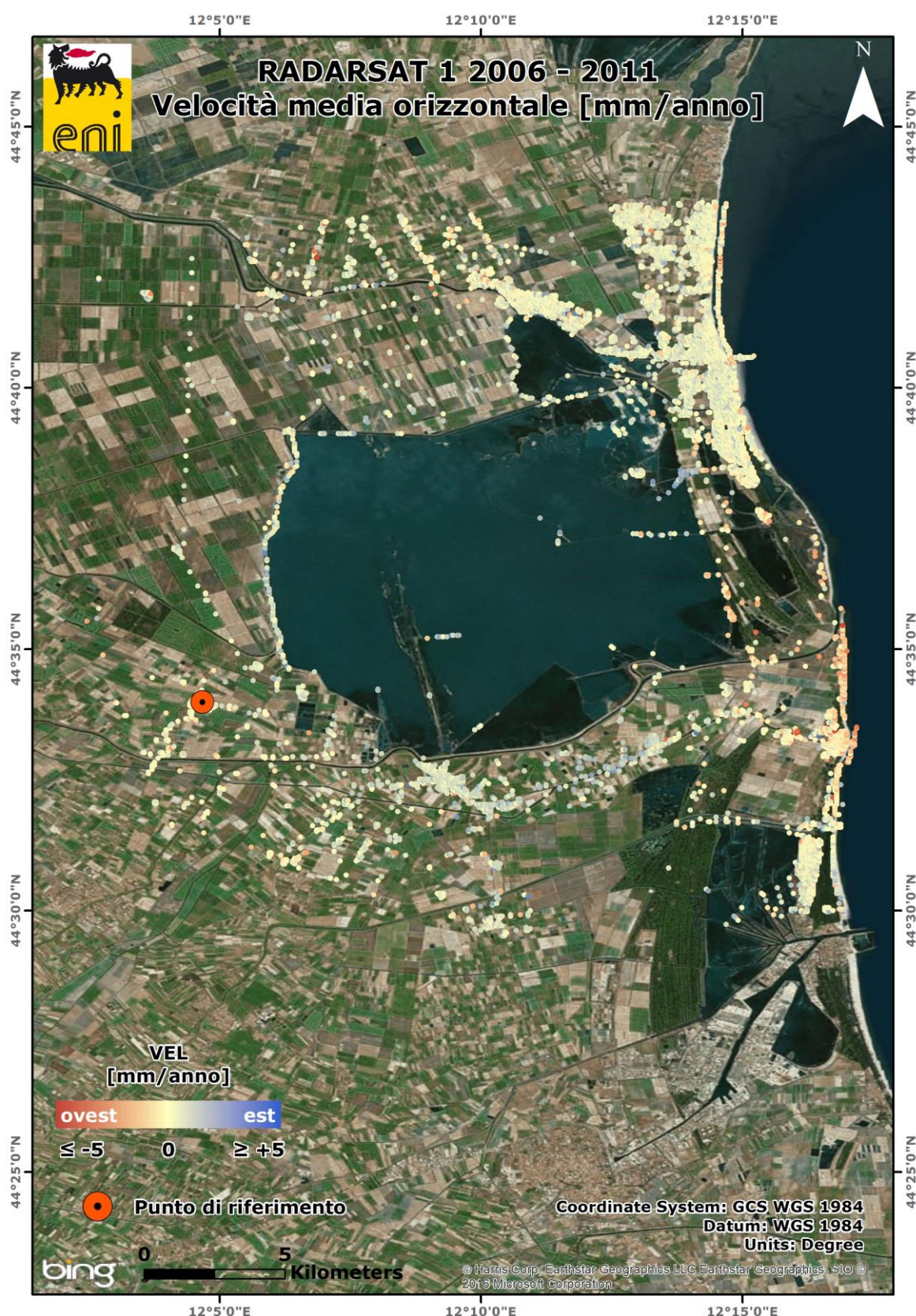


Fig. 17 - Velocità medie annue per la componente ORIZZONTALE (est-ovest), ottenuta dalla combinazione dei dati RSATI in doppia geometria, per il periodo 2006 – 2011.

Le Fig. 16 e Fig. 17 mostrano rispettivamente le velocità medie della componente verticale ed orizzontale (est – ovest) ricalcolate nel periodo 2006 – 2011. Dal confronto con i risultati ottenuti per il periodo 2003 – 2006, non si osservano, in generale su tutta l'area, delle variazioni significative dei tassi di spostamento verticale. Si osserva invece una diminuzione dei tassi di spostamento est – ovest.

2.4 Focus analisi Dosso degli Angeli 1992 – 2011

Nel dettaglio viene presentato il confronto delle analisi Eni con i dati ARPA, sull'area del campo di Dosso degli Angeli.

A Data-base Eni				
Dataset	Satellite	Geometria	N° Imm.	Periodo di copertura
1	ERS 1-2	A	40	03/07/1992 – 01/01/2001
2	ERS 1-2	D	67	10/05/1992 – 13/12/2000
3	RSAT 1	A	109	08/05/2003 – 16/12/2011
4	RSAT 1	D	99	25/04/2003 – 27/12/2011
Dataset	Satellite	N° Imm.	N° punti di misura	Max deviazione standard della velocità media
1	ERS A	40	8480	0.8 mm/anno
2	ERS D	67	12650	0.5 mm/anno
3	RSAT 1 A	109	34044	0.5 mm/anno
4	RSAT 1 D	99	35232	0.6 mm/anno

B Data-base ARPA				
Dataset	Satellite	Geometria	N° Punti	Periodo di copertura
Ravenna Rimini	ERS 1-2	D	Non comparabile	05/1992 – 01/2001
Ravenna Rimini	Envisat	D	11769 + 23047	04/2003 – 02/2006
Ravenna Rimini	Envisat	A	19600 + 13182	06/2003 – 03/2006
Comacchio	RSAT 1	A	67 immagini 55.024 punti	16/01/2006 – 30/04/2011

Tabella 2 - Elenco dei database utilizzati per il confronto. A – Database Eni; B – Database ARPA

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 28	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

Come anticipato nel capitolo 2.1, il processing dei dati SAR per il periodo 2003 – 2011, è stato successivamente scomposto in due periodi distinti (2003 – 2006 e 2006 – 2011), per poterli confrontare con il dataset ARPA Emilia Romagna (vedi Tabella 2). Per quanto riguarda il dataset ARPA, nel periodo 2003 – 2006, è stato utilizzato un sensore in Banda C, alloggiato sul satellite Envisat. Questo particolare, ha reso possibile l’inizio delle acquisizioni a partire dal 2000. Nel presente lavoro, è stato considerato soltanto il dataset a partire dal 2003, per poterlo rendere paragonabile al dataset Eni.

Il numero di punti dei dataset Eni ed ARPA non sono confrontabili in quanto il processing di ARPA è stato effettuato su un’area maggiore rispetto a quella analizzata da Eni. (vedi Tabella 2B e http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2012.pdf) Inoltre, per il re-processing dell’intero data-set, Eni ha utilizzato un algoritmo di ultima generazione, denominato SqueeSAR™, che ha la peculiarità di produrre non solo PS ma anche DS (vedi Cap. “1.Introduzione all’analisi Interferometrica” di questo report), a differenza del processing ARPA per il periodo 2003 – 2006, che è stato fatto con algoritmo PSInSAR™ (vedi Cap. I Introduzione all’analisi Interferometrica di questo report e http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2012.pdf) che produce soltanto PS e non DS (tale scelta è dovuta al fatto che l’analisi in questione è antecedente all’emissione del nuovo algoritmo SqueeSAR™).



Fig. I8 - Zoom sull’are di analisi per il confronto dei dati Eni/ARPA. In verde il giacimento di Dozzo degli Angeli.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 29	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

Nelle prossime pagine viene mostrato il confronto delle due analisi (ARPA e Eni) con focus specifico sull'area del giacimento di Dosso degli Angeli.

2.4.1 ERS I – 2 periodo 1992 – 2000 (confronto della componente verticale)

Nel periodo compreso tra il 1992 ed il 2000, sono state confrontate le misure provenienti dal dataset ERS I-2. Il processing effettuato da Eni non ha previsto calibrazione post-processing, in quanto non esistevano CGPS in acquisizione, nello stesso periodo, che potessero rendere il dato assoluto. Il dataset ARPA è stata calibrato con l'ultima campagna di livellazione disponibile per lo stesso periodo (vedi

http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2012.pdf;

http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2011.pdf;

http://www.arpae.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2007_rid.pdf)

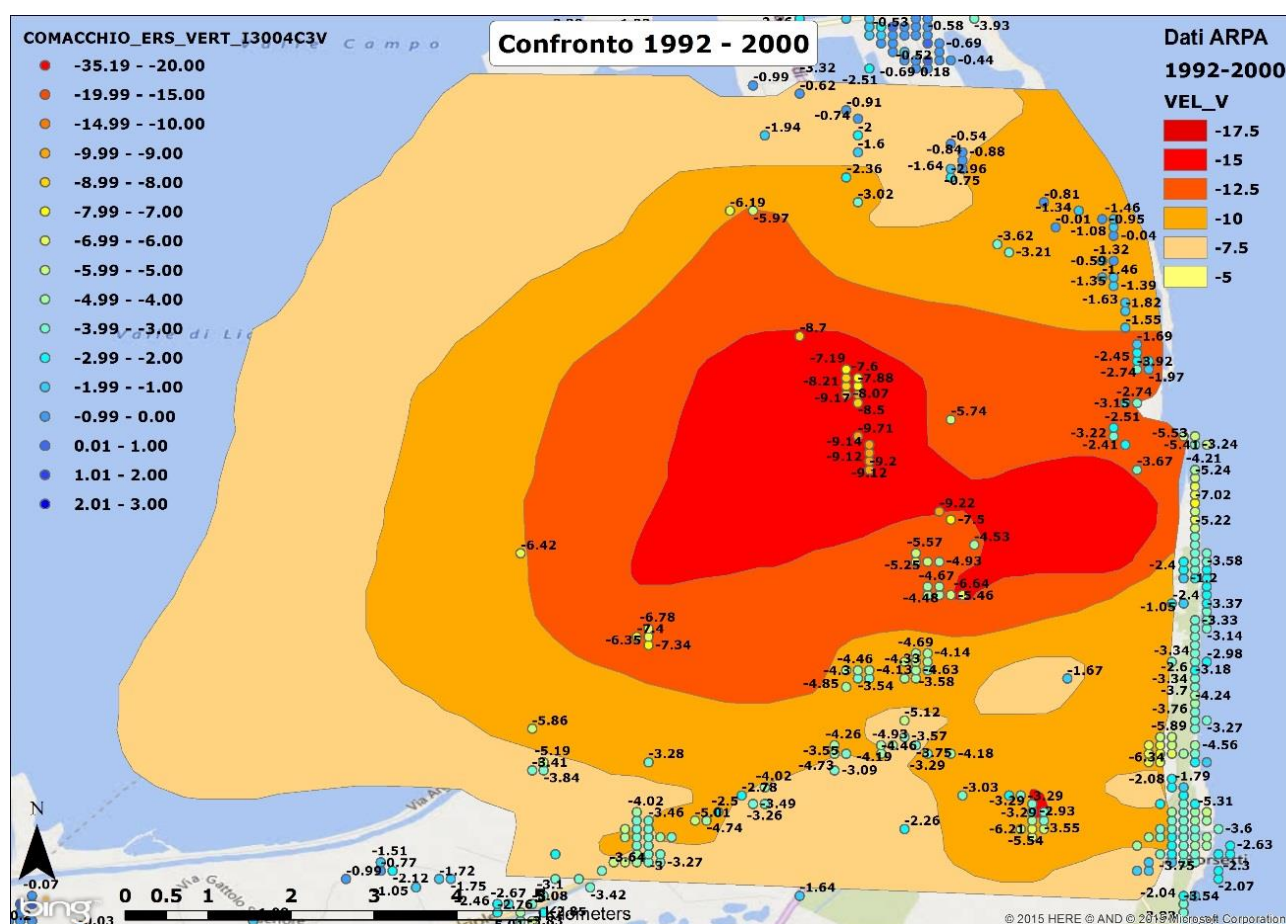


Fig. I9 - Confronto del dataset Eni (punti con associato il valore di velocità VERTICALE) con ARPA (mappa prodotta da interpolazione).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 30	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

È da ricordare che la componente verticale prodotta per il processing Eni, proviene da doppia geometria, per cui si superano anche tutti i probabili errori provenienti da deformazione geometrica in fase di acquisizione. Nello specifico, gli errori sono (Ferretti et al., 2007; Small D. et al., 1995):

- Foreshortening
- Layover
- Shadowing

Contestualmente, il processing prodotto da ARPA riguarda una sola geometria (discendente) e proietta la componente verticale derivata dalla singola geometria. Questo metodo può avere delle incertezze, considerando le problematiche di deformazione geometrica sopra-elencate.

La Fig. 19 mostra il confronto fra i due dataset. Come si può notare, si riscontra uno scostamento generale di circa 5 – 10 mm/anno. L'area che più risente del maggiore scostamento è quella in corrispondenza del giacimento di Dosso degli Angeli, in cui il processing Eni evidenzia dei valori che si attestano nell'intorno di -9 mm/anno contro -15 mm/anno di ARPA.

Tale differenza probabilmente è imputabile all'utilizzo di doppia geometria da parte di Eni contro la singola da parte di ARPA che contestualmente calibra il proprio dataset con la livellazione.

Per meglio comprendere i fenomeni in atto, vengono riportati i confronti delle due geometria e delle componenti verticale ed orizzontale del processing Eni, con la mappa interpolata di ARPA (vedi Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21 e Fig. 22).

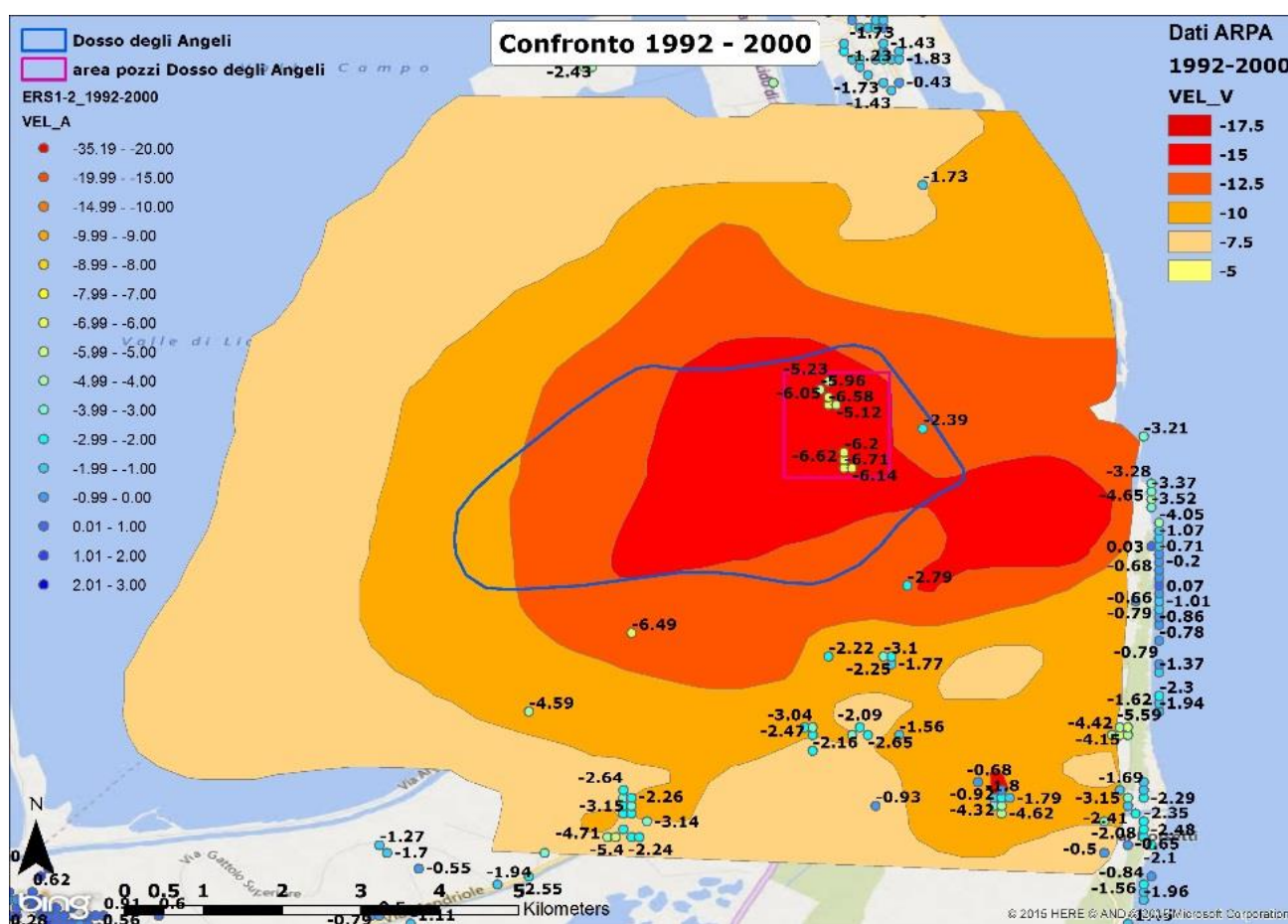


Fig. 20 - Confronto del dataset Eni (punti con associato il valore di velocità LOS - Ascendente) con ARPA (mappa prodotta da interpolazione).

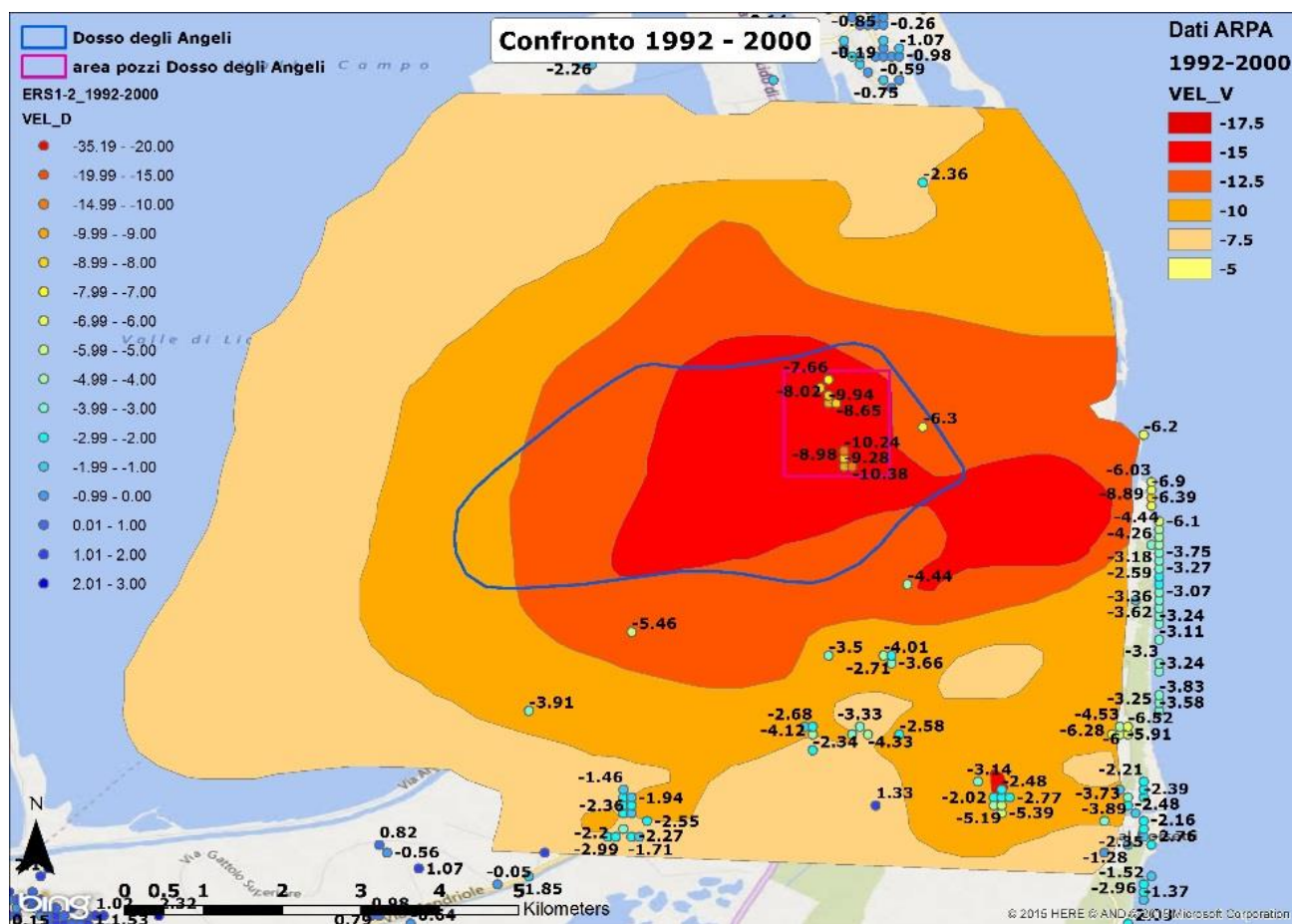


Fig. 21 - Confronto del dataset Eni (punti con associato il valore di velocità LOS - Discendente) con ARPA (mappa prodotta da interpolazione).

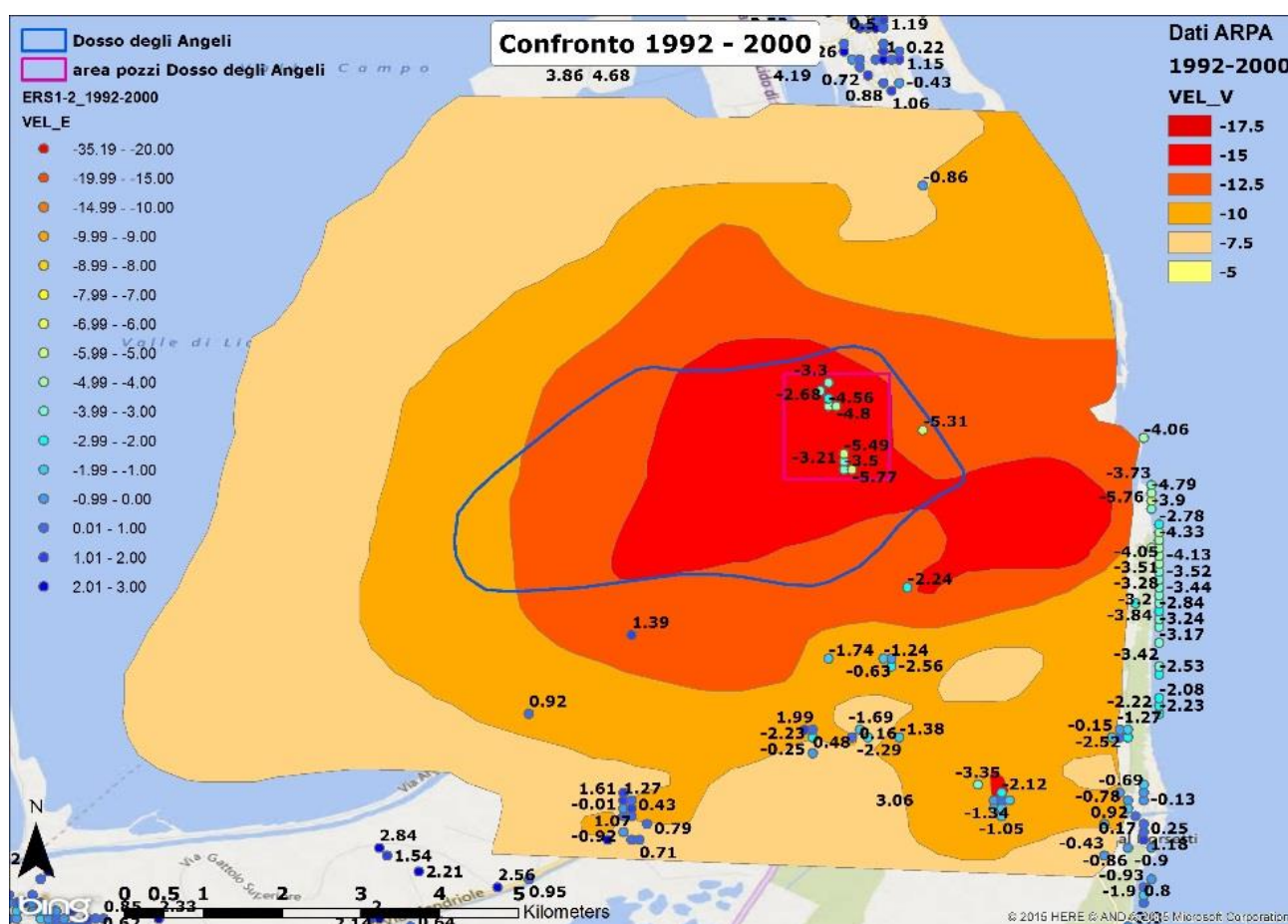


Fig. 22 - Confronto del dataset Eni (punti con associato il valore di velocità ORIZZONTALE) con ARPA (mappa prodotta da interpolazione).

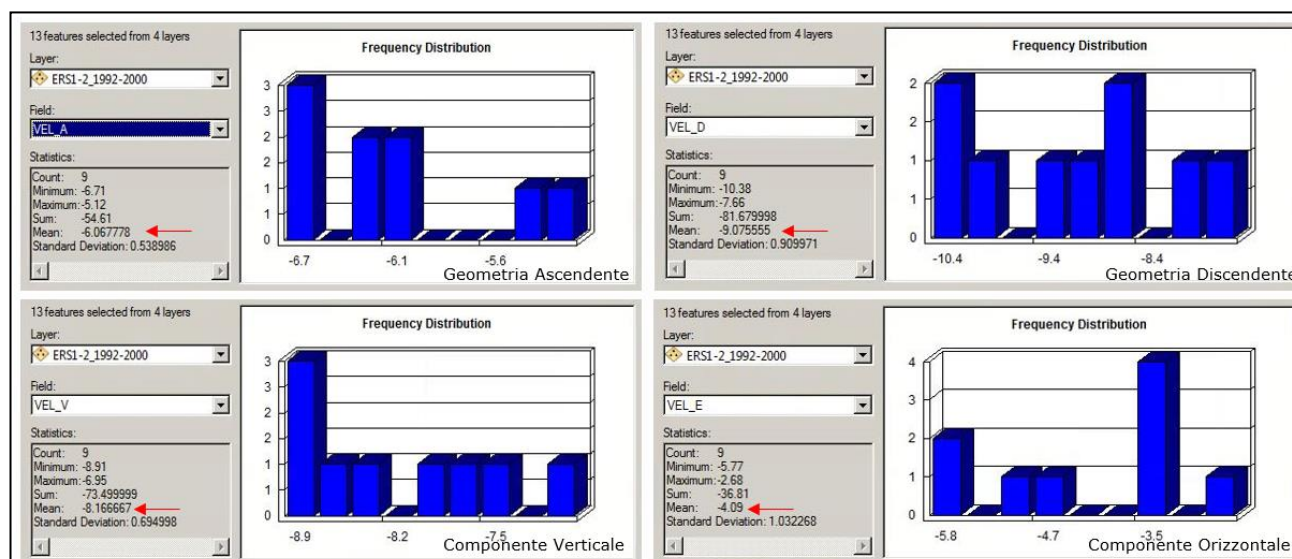


Fig. 23 - Le quattro tabelle mostrano (in alto le geometrie ASCE e DESCE, in basso le componenti VERTICALE ed ORIZZONTALE) le velocità dei punti che ricadono all'interno dell'area interpolata di valore -15 mm/anno della mappa prodotta da ARPA. I valori medi delle singole velocità sono evidenziati dalle frecce rosse.

Come mostrano dalle Fig. 19 alla Fig. 23 si osserva che su entrambe le geometrie si riscontrano delle velocità non trascurabili. Inoltre è possibile constatare che anche la componente orizzontale è interessata da deformazioni che si rischierebbe di trascurare, erroneamente, non avendo la possibilità di investigare l'area da due punti di vista opposti (doppia geometria).

2.4.2 RSAT-I periodo 2003 – 2006 (confronto della componente verticale)

Il dataset Eni proviene da RADARSAT I, in doppia geometria, dalla quale è stata estrapolata la componente verticale. Il dataset ARPA, proviene in questo caso da ENVISAT, anch'esso in doppia geometria e dalla quale è stata estrapolata la componente verticale. In questo caso, si tratta di due satelliti con tempo di rivisitazione e precisione orbitale differenti. Nel caso RADARSAT la rivisitazione dell'area è di 24 giorni per ogni geometria, per ENVISAT sono 35 giorni per ogni geometria (vedi § 1.4). La differenza di rivisitazione si ripercuote sul numero di immagini disponibili (vedi Fig. 2); maggiore è la frequenza di rivisitazione, maggiore sarà il numero di immagini e contestualmente maggiore sarà il dataset utilizzato per l'analisi.

Per quanto riguarda il dataset Eni, è stato calibrato utilizzando il CGPS di Smarlacca (vedi Fig. 25), situato all'interno del giacimento di Dosso degli Angeli. Il suddetto CGPS è stato installato nel 2002.

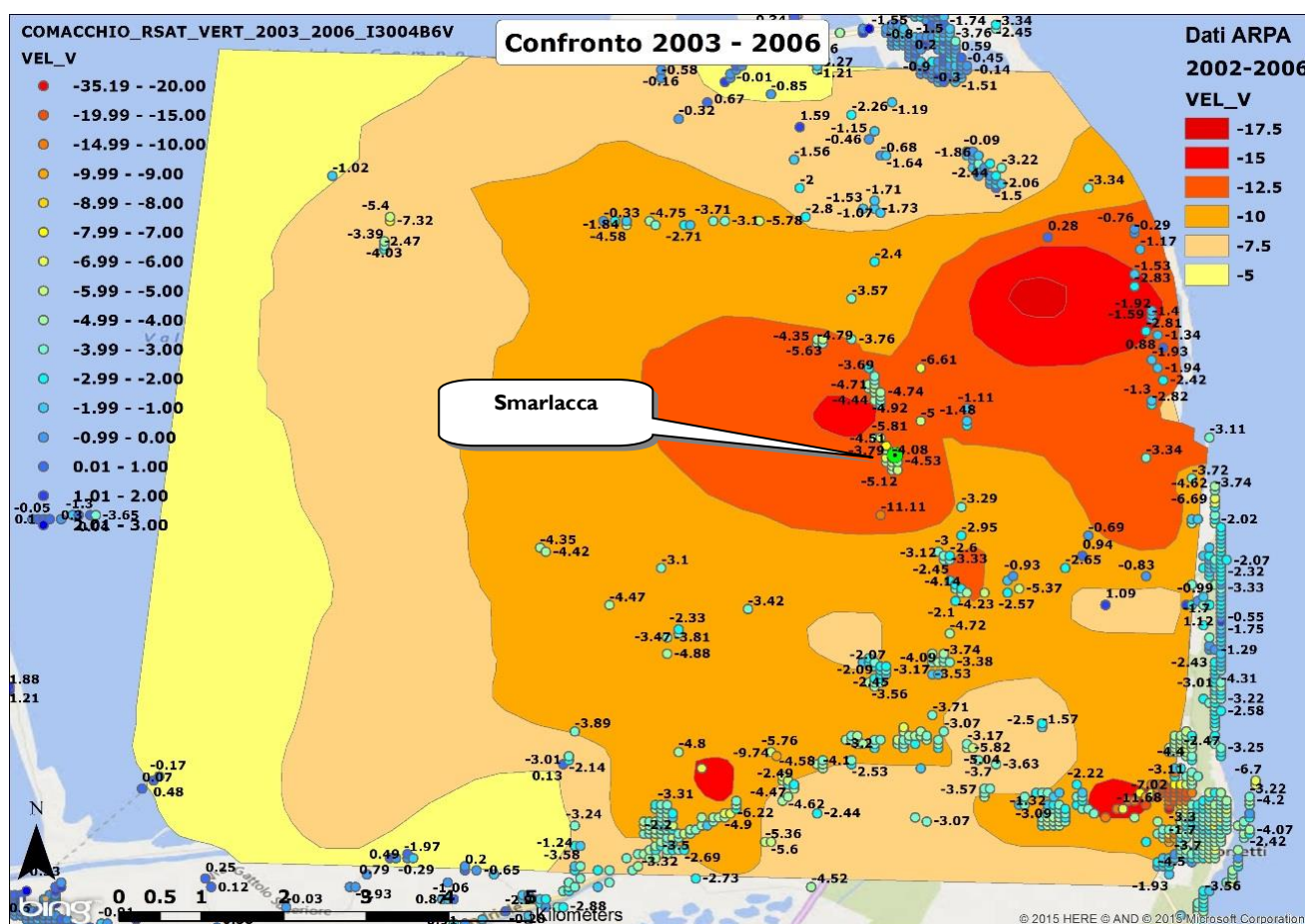


Fig. 24 - Confronto della componente VERTICALE dataset Eni (punti con associato il valore della velocità, non ancora calibrato con il CGPS di Smarlacca) e ARPA (area interpolata). Il punto in verde rappresenta il CGPS di Smarlacca (registra, per il periodo 2003 – 2006, una velocità verticale pari a - 8.18 mm/anno).

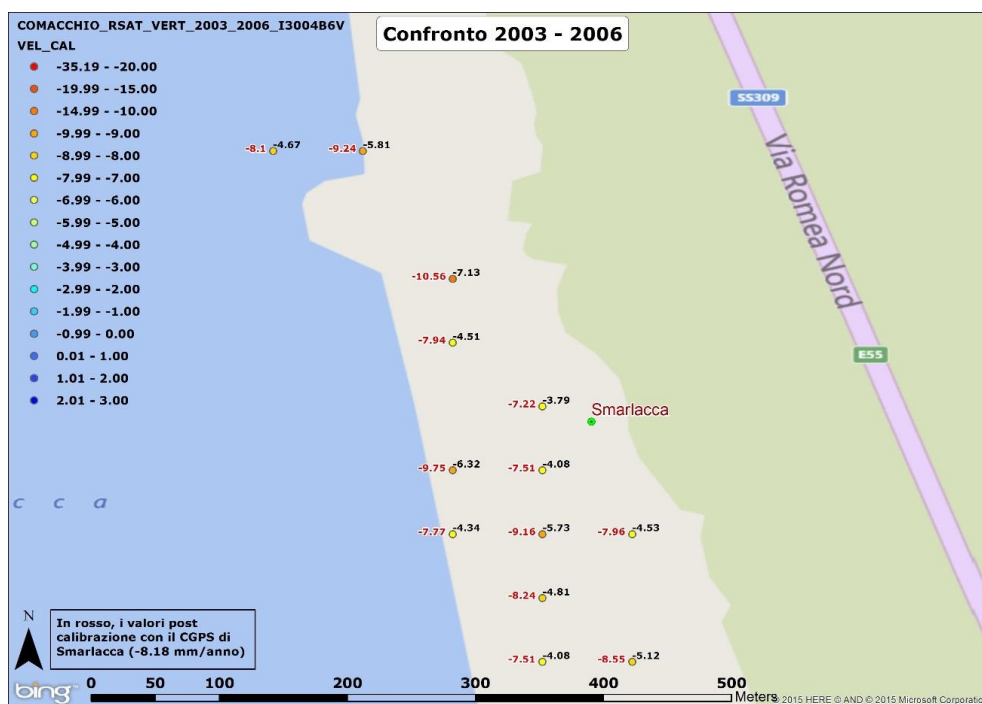


Fig. 25 - Valori di velocità VERTICALE, prima (nero) e dopo (rosso) la calibrazione con il CGPS di Smarlacca.

Per la calibrazione è stato considerato un raggio di indagine pari a 150 m. La media della velocità VERTICALE dei punti che ricadono all'interno del raggio è pari a -4.57 mm/anno. Per poter rendere assoluta la velocità, è stato aggiunto -3.43 mm/anno al dataset. L'immagine 24 mostra il confronto del dataset prima (i valori in nero) e dopo la calibrazione (i valori in rosso).

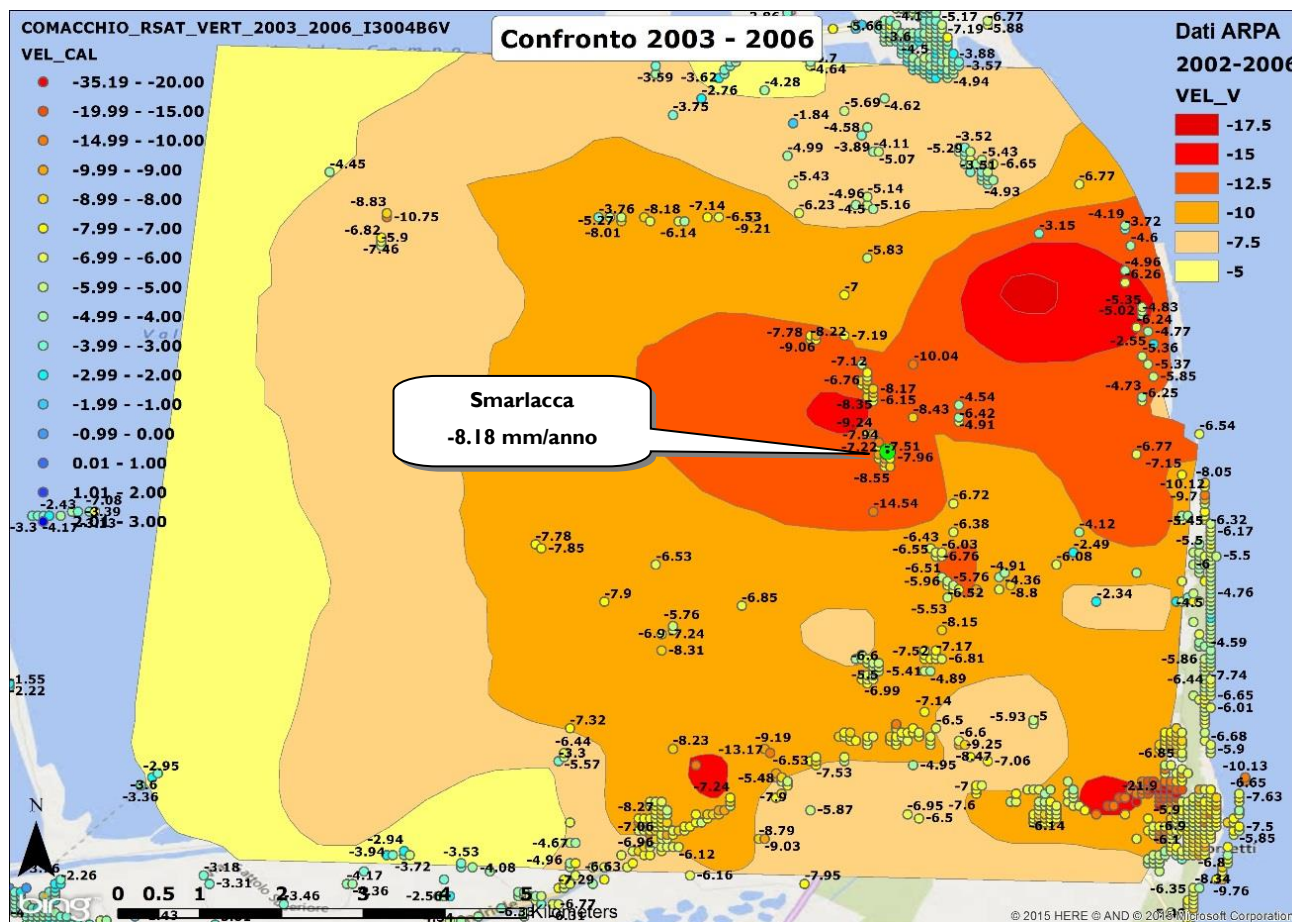


Fig. 26 - Confronto dei dati ARPA (mappa interpolata) con i dati Eni calibrati con il CGPS di Smarlacca.

Dalla Fig. 26, si nota che, se si considera l'area -12.5 mm/anno dell'interpolazione del dataset ARPA, si riscontra uno scostamento rispetto al dataset Eni superiore a -4 mm/anno. L'immagine mostra che il dataset SAR Eni calibrato è in accordo con il CGPS di Smarlacca, infatti nell'intorno del CGPS che indica una velocità pari a -8.18 mm/anno, la media dei punti è pari a -8.38 mm/anno (vedi Fig. 27).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 38	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

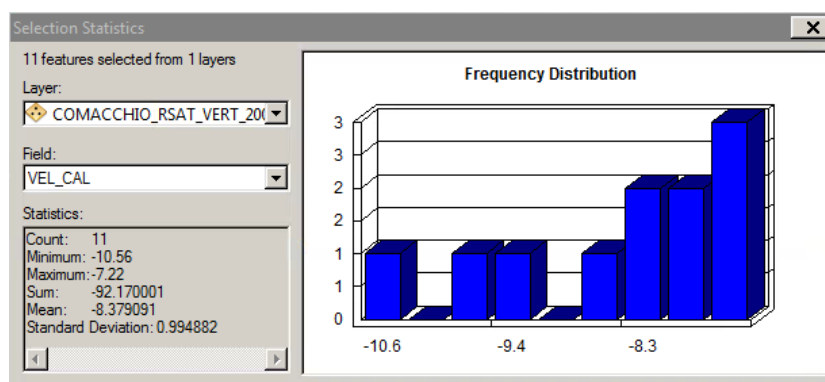


Fig. 27 - Statistica dei punti nell'intorno del CGPS di Smarlacca (raggio 150 m). La media dei punti indica un valore pari a -8.379 mm/anno.

2.4.3 RSAT-I periodo 2006 – 2011 (confronto della componente verticale)

Il confronto per il periodo 2006 – 2011 viene fatto su dati provenienti da RADARSAT I, sia per Eni che per ARPA. Il database Eni prevede l'intero pacchetto di immagini per entrambe le geometrie disponibili (ascendente e discendente) e la scomposizione del moto VERTICALE ed ORIZZONTALE.

Per quanto riguarda il database ARPA, come per il periodo 1992 – 2000, è stata acquisita una sola geometria (ascendente; vedi http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2012.pdf) e proiezione della verticale senza l'utilizzo dell'altra geometria (come per il processing 1992 – 2000).

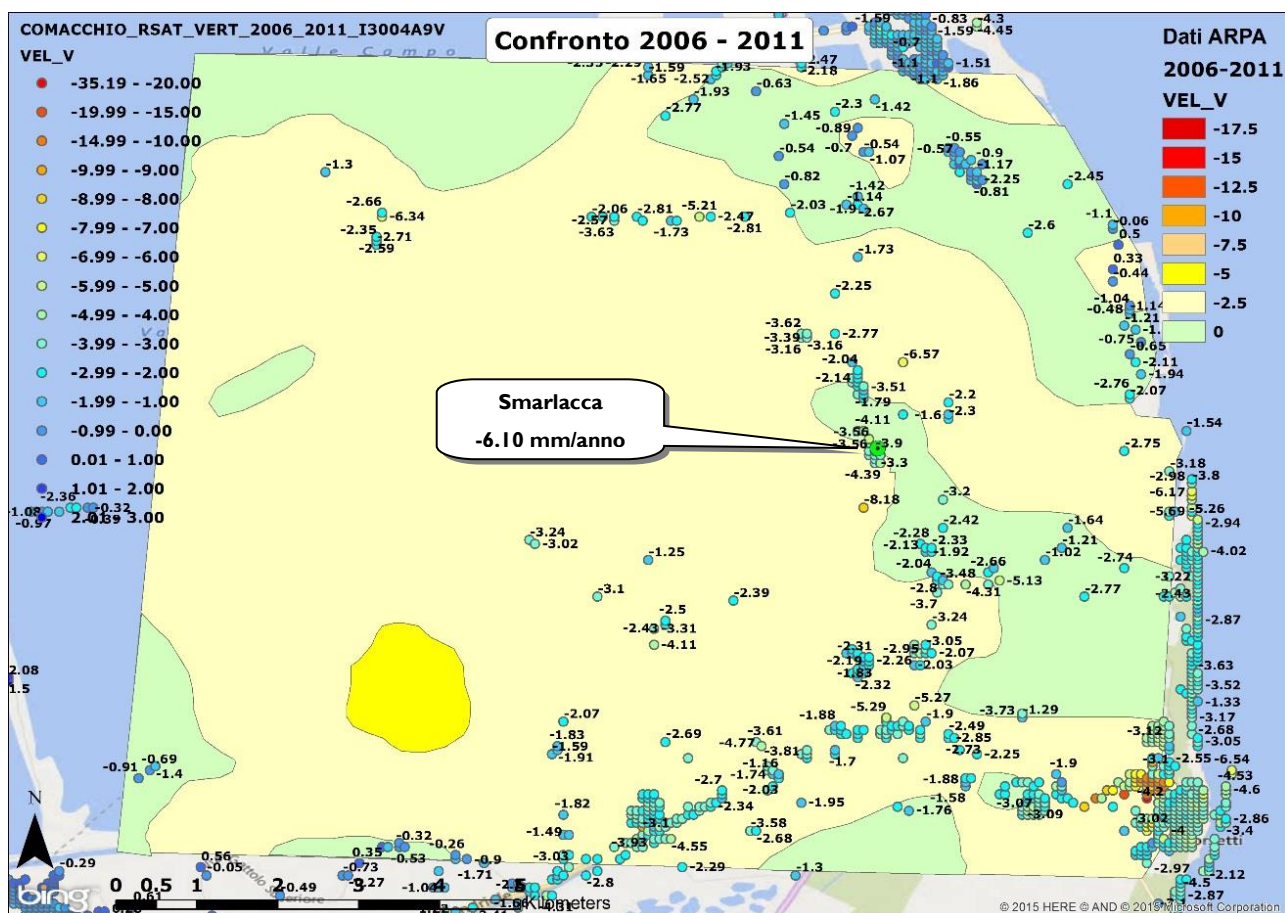


Fig. 28 - Confronto della componente VERTICALE dataset Eni (punti con associato il valore della velocità, non ancora calibrato con il CGPS di Smarlacca. La scomposizione del moto è ottenuta dall'utilizzo di entrambe le geometrie) e ARPA (area interpolata; componente VERTICALE proveniente dalla proiezione della sola geometria ascendente). Il punto in verde rappresenta il CGPS di Smarlacca (registra, per il periodo 2006 – 2011 una velocità verticale pari a -6.10 mm/anno).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 40	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

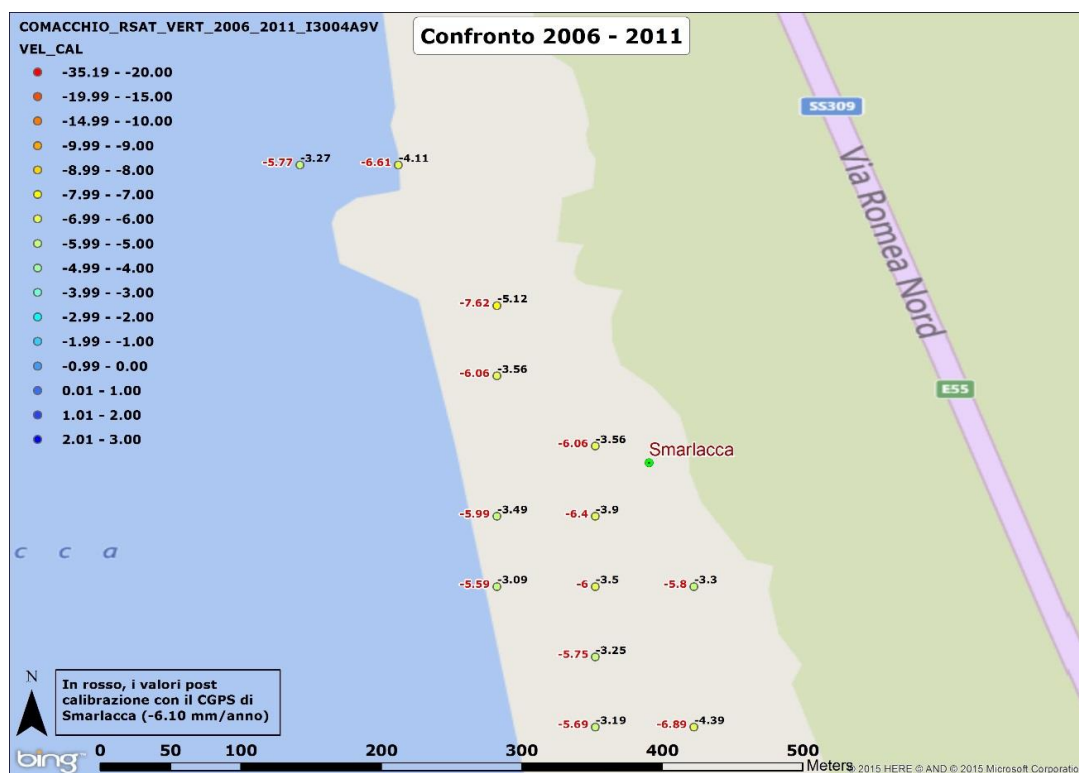


Fig. 29 - Valori di velocità della componente VERTICALE, prima e dopo la calibrazione con il CGPS di Smarlacca (-6.10 mm/anno per il periodo 2006 – 2011). I valori in rosso indicano le velocità post calibrazione con il CGPS, in nero le velocità VERTICALI originali.

Per quanto riguarda il dataset Eni, è stato calibrato utilizzando il CGPS di Smarlacca (vedi Fig. 29), situato all'interno del giacimento di Dosso degli Angeli. Il suddetto CGPS è stato installato nel 2002.

Per la calibrazione è stato considerato un raggio di indagine pari a 150 m. La media della velocità VERTICALE dei punti che ricadono all'interno del raggio è pari a -3.65 mm/anno. Considerando che per il periodo 2006 – 2011, il CGPS di Smarlacca aveva un valore pari a -6.10 mm/anno, per poter rendere assoluta la velocità, è stato aggiunto -2.50 mm/anno al dataset delle velocità verticali. L'immagine 28 mostra il confronto delle velocità prima (i valori in nero) e dopo la calibrazione (i valori in rosso).

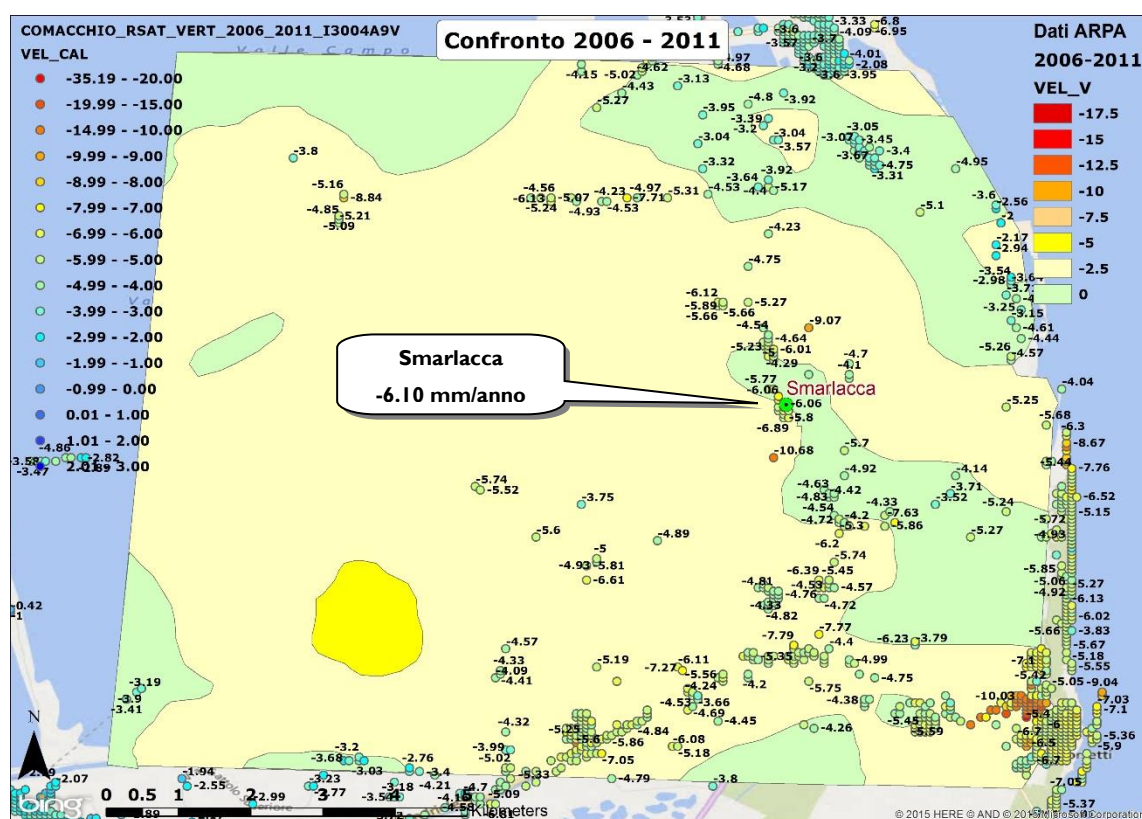


Fig. 30 - Confronto dei dati ARPA (mappa interpolata, la componente VERTICALE è la proiezione della sola geometria ascendente) con i dati Eni (componente VERTICALE proveniente dalla scomposizione del moto della geometria ascendente e discendente) calibrati con il CGPS di Smarlacca (per il periodo 2006 – 2011 indicava una velocità pari a -6.10 mm/anno).

Dall'immagine 29, si nota che, se si considerano le aree 0 e -2.5 mm/anno dell'interpolazione del dataset ARPA, si riscontra uno scostamento rispetto al dataset Eni compreso tra 3 e 5 mm/anno. L'immagine mostra che il dataset Eni calibrato è in accordo con il CGPS di Smarlacca, infatti nell'intorno del CGPS che indica una velocità pari a -6.10 mm/anno, la media dei punti è pari a -6.17 mm/anno (vedi Fig. 31).

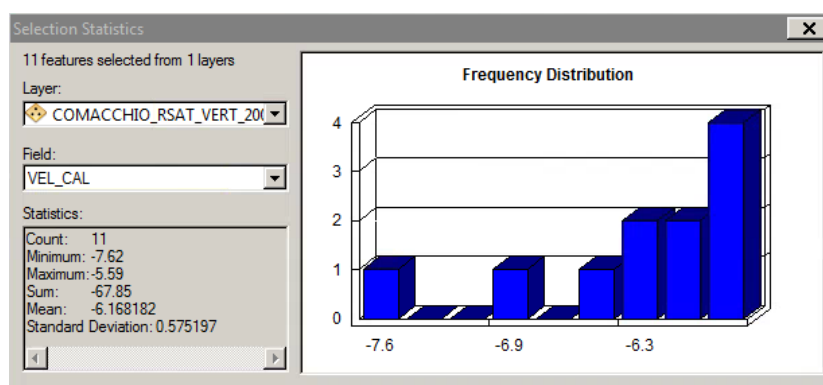


Fig. 31 - Statistica dei punti nell'intorno del CGPS di Smarlacca (raggio 150 m). La media dei punti indica un valore pari a -6.168 mm/anno.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 42	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

2.4.4 Status CGPS di Smarlacca

Il CGPS di Smarlacca, come tutti i CGPS di proprietà Eni, sono soggetti al rigido controllo e certificazione da parte dell'Università degli studi di Bologna, e nello specifico dal Dipartimento di Fisica e Astronomia. Suddetto dipartimento è incaricato per conto di ENI di certificare la qualità dei dati provenienti dalla rete Eni.

Nel caso specifico di Smarlacca, facendo riferimento al 4° Rapporto emesso in Agosto 2014 (Fig. 32), si evince dalle conclusioni che:

“La qualità dei dati raccolti dalle stazioni è stata esaminata e discussa nei rapporti precedenti. In generale, si può affermare che le stazioni GPS hanno acquisito dati di buona qualità.”

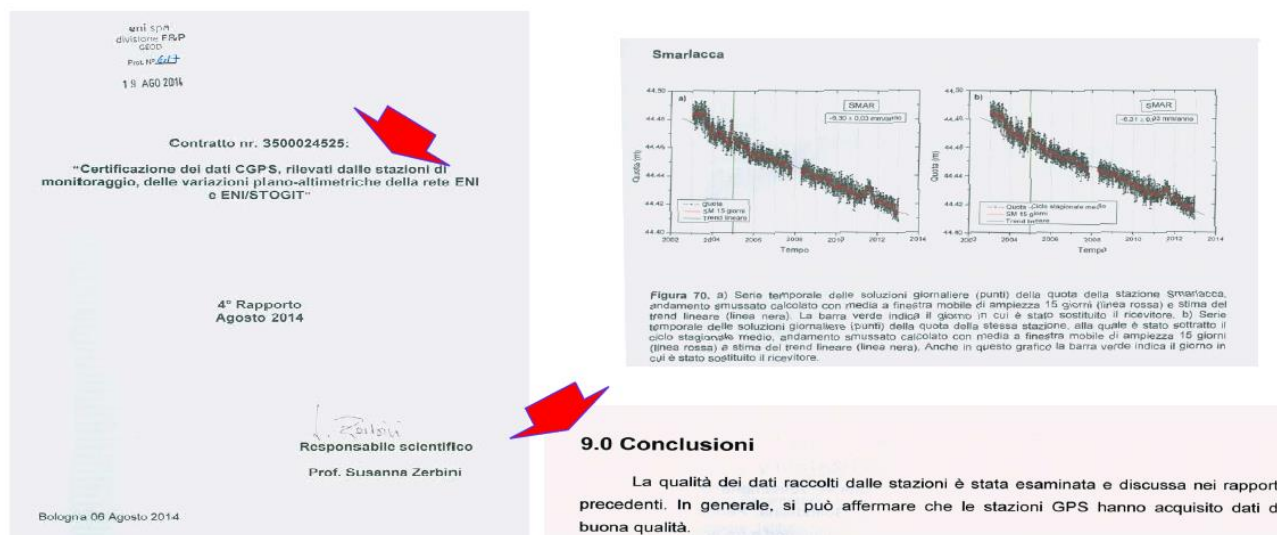


Fig. 32 - Spaccato che rappresenta la certificazione dei dati per il periodo compreso tra il 2002 ed il 2014. Sulla destra l'extrapolazione, per lo stesso periodo, della verticale registrata dal CGPS di Smarlacca. In basso a destra la parte conclusiva del rapporto.

Di seguito si riportano i grafici della serie storica per i periodi 2002 – 2006 (Fig. 33) e 2006 – 2011 (Fig. 34).

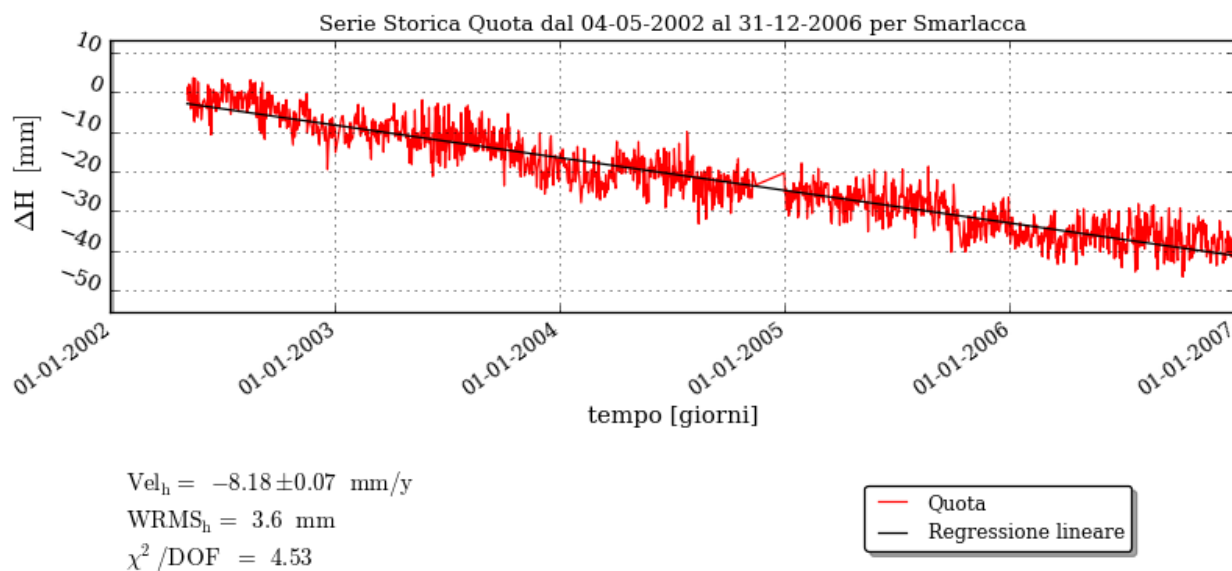


Fig. 33 - Serie storica della quota del CGPS di Smarlacca per il periodo 2002 – 2006.

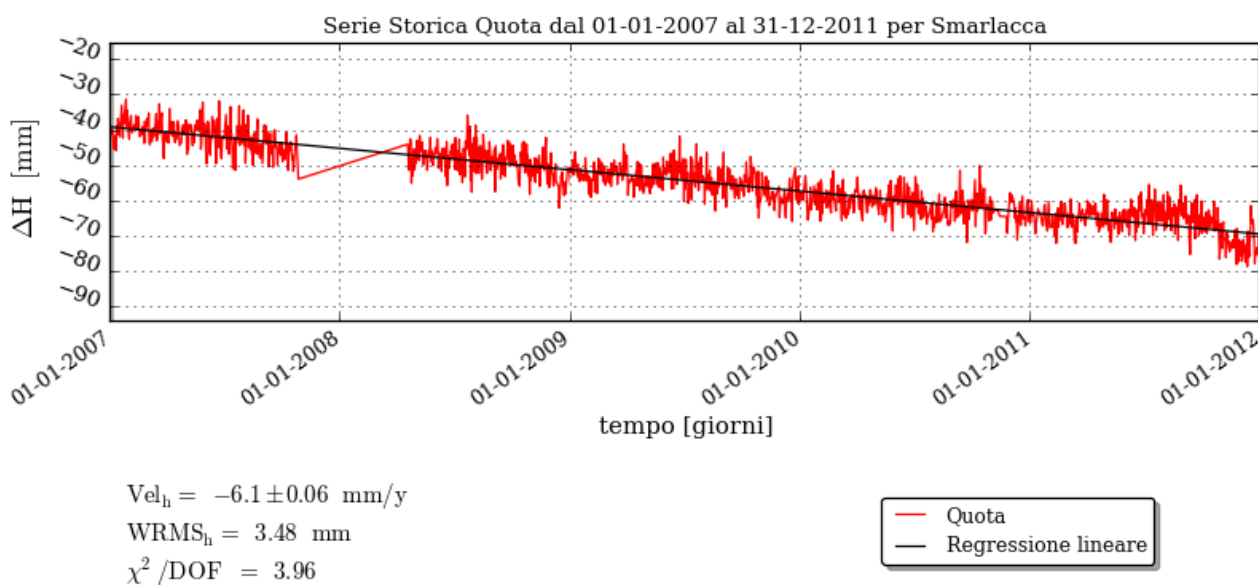


Fig. 34 - Serie storica della quota del CGPS di Smarlacca per il periodo 2007 – 2011 I.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 44	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

2.4.5 Considerazioni finali

Per il confronto tra il dataset Eni e ARPA, sono stati presi in considerazioni i seguenti periodi:

- 1992 – 2000
 - Eni: è stato utilizzato l'intero database disponibile dai satelliti ERS 1 e 2, utilizzando entrambe le geometrie di acquisizione (ascendente e discendente). Per semplificare la comprensione dei fenomeni in atto, è stata fatta la stima delle componenti Orizzontali e Verticali.
 - ARPA: è stato utilizzato il database dei satelliti ERS 1 e 2, sfruttando una sola geometria e proiettando questa sulla VERTICALE.
- 2003 – 2006
 - Eni: è stato utilizzato l'intero database disponibile dal satellite RADARSAT I (tempo di rivisitazione 24 giorni per singola geometria). Per semplificare la comprensione dei fenomeni in atto, è stata fatta la stima delle componenti Orizzontali e Verticali (quest'ultima successivamente calibrata con il CGPS di Smarlacca).
 - ARPA: è stato utilizzato l'intero database disponibile dal satellite ENVISAT (tempo di rivisitazione 35 giorni per singola geometria), utilizzando entrambe le geometrie di acquisizione (ascendente e discendente) e a seguito sono state scomposte anche le risultanti del moto (VERTICALE ed ORIZZONTALE). Per conoscere l'esatta ubicazione dei GPS utilizzati per la calibrazione della componente verticale, si rimanda al report conclusivo redatto nel 2012 (http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2012.pdf)
- 2006 – 2011
 - Eni: è stato utilizzato l'intero database disponibile dal satellite RADARSAT I (tempo di rivisitazione 24 giorni per singola geometria). Per semplificare la comprensione dei fenomeni in atto, è stata fatta la stima delle componenti Orizzontali e Verticali (quest'ultima successivamente calibrata con il CGPS di Smarlacca).
 - ARPA: è stato utilizzato il database disponibile dal satellite RADARSAT I (tempo di rivisitazione 24 giorni per singola geometria), sfruttando una sola geometria e proiettando questa sulla VERTICALE. Per conoscere l'esatta ubicazione dei GPS utilizzati per la calibrazione della componente verticale, si rimanda al report conclusivo redatto nel 2012 (http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2012.pdf)

I dati elaborati da Eni ed ARPA sono stati confrontati per poter comprendere al meglio la qualità e l'affidabilità delle tecniche utilizzate. In tutti i periodi si riscontra uno scostamento fra le due analisi compresa tra 3 ed 8 mm/anno.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 45	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

Considerando il solo dataset Eni, per i punti che ricadono all'interno del campo di Dosso degli Angeli, per una distanza inferiore a 150 m di raggio dal CGPS di Smarlacca, si hanno le seguenti velocità medie:

- 1992 – 2000: $\approx - 8$ mm/anno
- 2003 – 2006: $\approx - 8$ mm/anno (dati calibrati con il CGPS di Smarlacca, che per lo stesso periodo registra $- 8.18$ mm/anno)
- 2006 – 2011: $\approx - 6$ mm/anno (dati calibrati con il CGPS di Smarlacca, che per lo stesso periodo registra $- 6.10$ mm/anno)

3 Aggiornamento dati in Banda X

L'aggiornamento dati di monitoraggio sull'area di Agosta e Dosso degli Angeli, prevede l'utilizzo di sensori SAR in Banda X provenienti dal satellite COSMO – SkyMed. L'analisi, effettuata con algoritmo SqueeSAR™, ha previsto l'elaborazione di immagini radar acquisite sia in geometria Ascendente che in geometria Discendente, nel periodo compreso tra Febbraio 2012 e Ottobre 2015 (vedi Tab. 3). La combinazione delle due geometrie ha consentito il calcolo della componente Verticale ed Orizzontale (Est – Ovest).

Fig. 35 e Fig. 36, mostrano rispettivamente le aree di acquisizione per Agosta e Dosso degli Angeli (in fase di processing rinominata Casalborsetti, vedi Fig. 36/B).

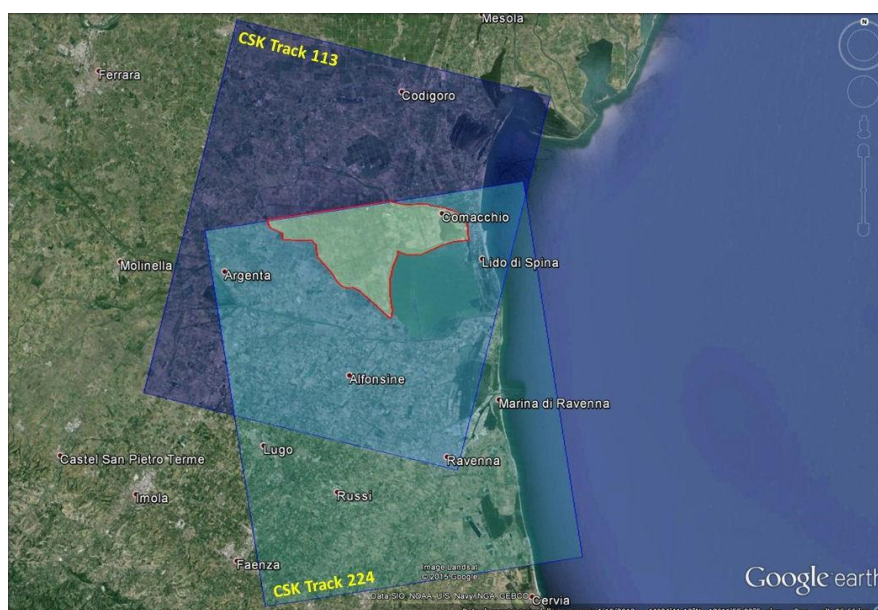


Fig. 35 - Copertura della Track CSK Ascendente (ASCE) e Discendente (DESCE) utilizzata per l'analisi dell'area denominata Agosta (vedi area evidenziata in rosso).

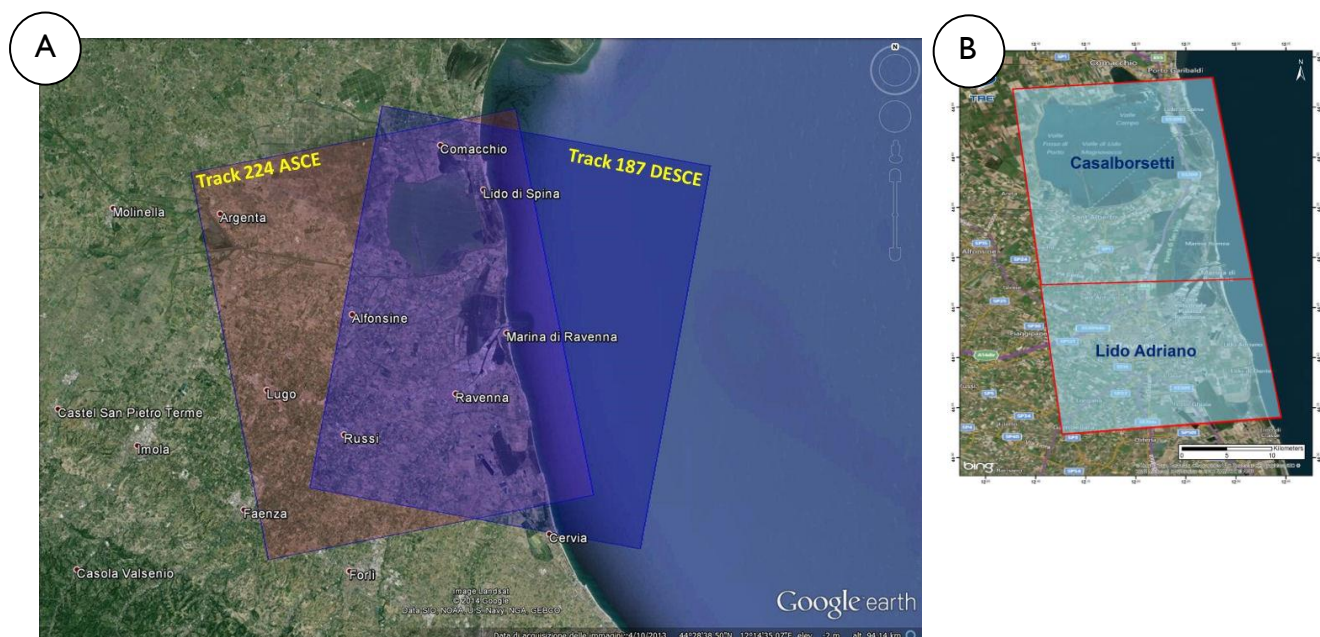


Fig. 36 - A) Copertura della Track CSK Ascendente (ASCE) e Discendente (DESCE) utilizzata per l'analisi dell'area denominata Dosso degli Angeli. B) Discretizzazione delle aree relative al campo di Dosso degli Angeli.

Area	Satellite	Geometria	Track	N° immagini	Periodo
Agosta	CSK	Ascendente	T224	128	29/02/2012 – 31/10/2015
	CSK	Discendente	T113	51	21/02/2012 – 11/10/2015
Dosso degli Angeli	CSK	Ascendente	T224	128	29/02/2012 – 31/10/2015
	CSK	Discendente	T187	75	13/03/2012 – 16/10/2015

Tabella 3 - Dataset elaborati per l'analisi.

3.1 Elaborazioni CSK ascendente e discendente

L'analisi SqueeSAR™ ha portato all'individuazione per l'area di Agosta, di un totale di oltre 64.000 punti di misura (MP) con l'elaborazione ascendente e 46.000 con la discendente. Per l'area di

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 47	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

dosso, sono stati individuati oltre 962.000 punti di misura (MP) con l'elaborazione ascendente e 919.000 con la discendente.

Le Fig. 36 e mostrano l'intero dataset Eni. la successiva calibrazione ed analisi verrà fatta considerando le aree in corrispondenza dei campi di Agosta e Dosso degli Angeli (Casalborsetti nella Fig. 36/B).

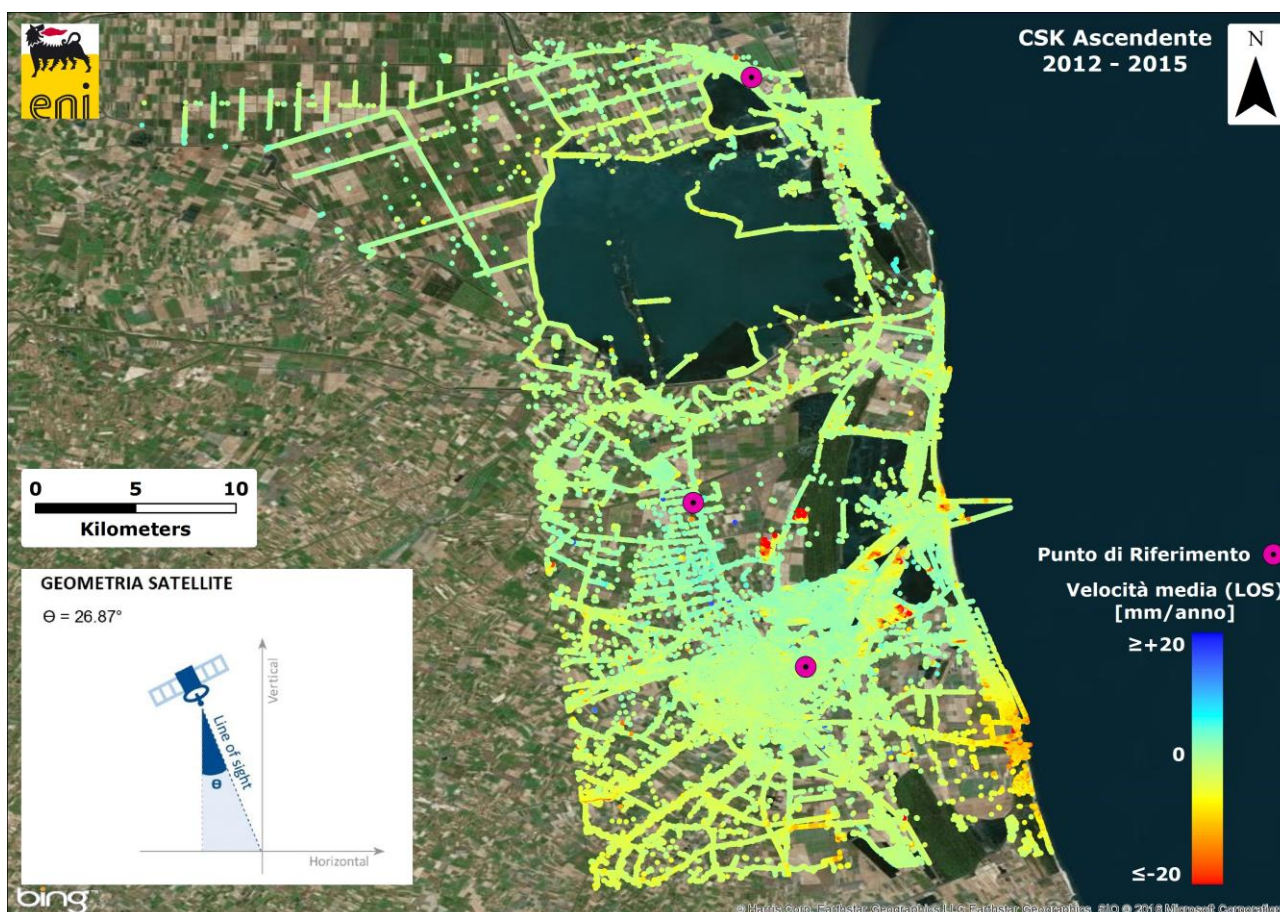


Fig. 37 - Distribuzione degli MP ottenuti dall'elaborazione CSK ascendente, per il periodo 2012 – 2015, visualizzati per velocità media.

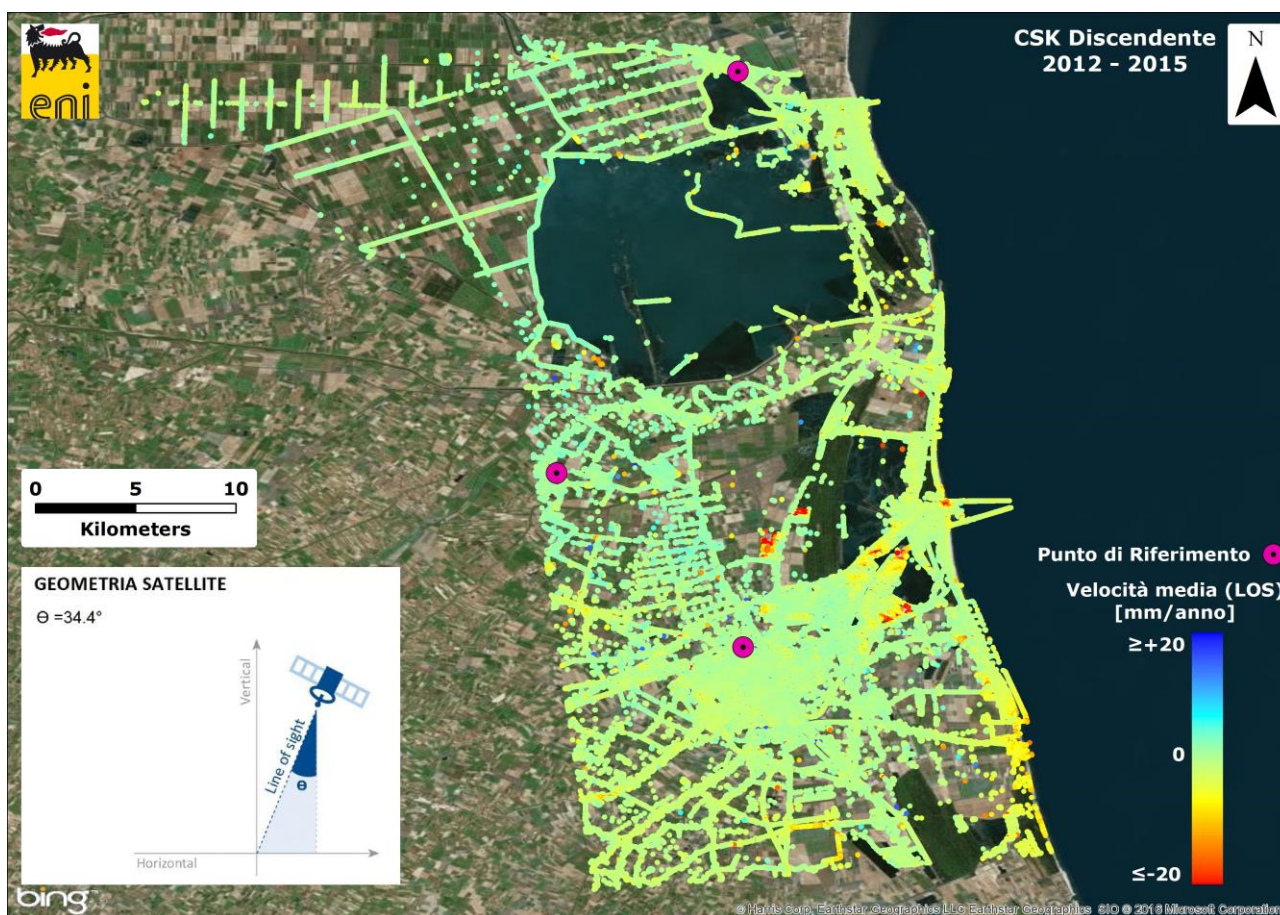


Fig. 38 - Distribuzione degli MP ottenuti dall'elaborazione CSK discendente, per il periodo 2012 – 2015, visualizzati per velocità media.

La distribuzione dei punti individuati rappresentati nelle Fig. 37e Fig. 38 indicano la velocità media lungo la linea di vista (LOS – Line of Sight). Inoltre, la densità dei punti non è omogenea sull'intera area: risulta elevata in corrispondenza di aree urbanizzate ed infrastrutture, si abbassa invece nelle zone vegetate e/o agricole. Le misure effettuate lungo la linea di vista sono tutte riferite ad un punto (scelto in fase di processing; rispondente a criteri di qualità riportati nel § 1.3) all'interno della scena analizzata. L'intero dataset ascendente, caratterizzato da un numero di immagini maggiore, possiede deviazioni standard di circa 0.7 mm, invece il dataset discendente è costituito da un numero di immagini inferiore, ed ha quindi la deviazione standard di circa 1 mm.

3.2 Componente verticale ed orizzontale est-ovest

Dalla combinazione dei risultati ascendenti e discendenti sono state calcolate le componenti verticale ed orizzontale (est-ovest) del moto.

Per la scomposizione viene utilizzata una griglia di campionamento di 50mx50m. Le Fig. 39e Fig. 40 mostrano i risultati ottenuti da suddetta scomposizione.

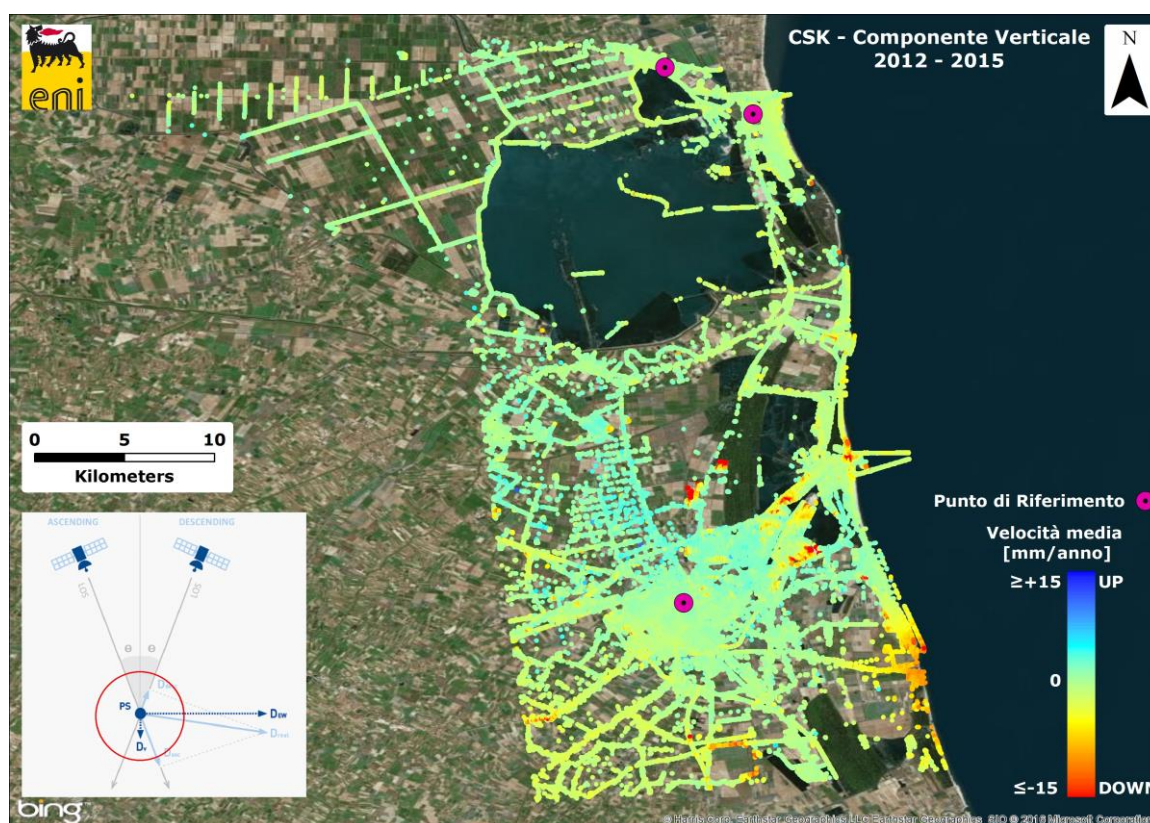


Fig. 39 - Componente Verticale ottenuta dalla scomposizione dei dati CSK ASCE e DESCE.

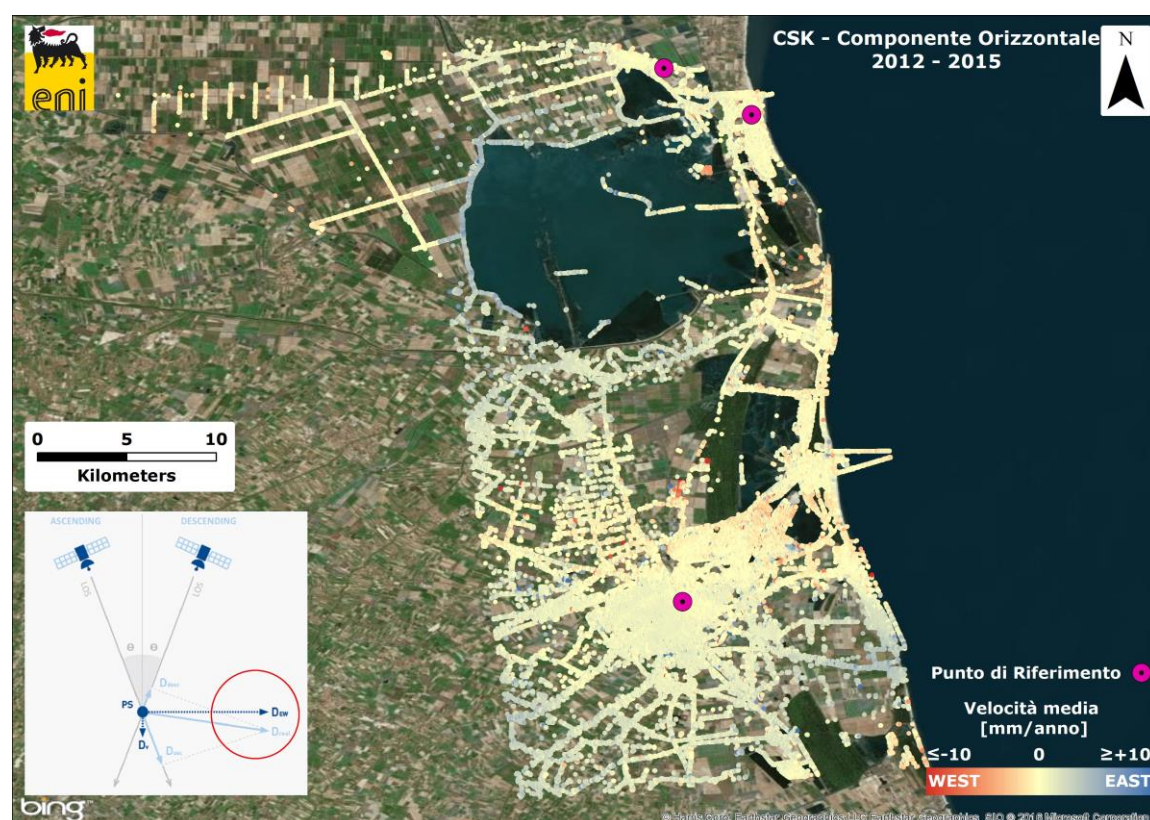


Fig. 40 - Componente orizzontale ottenuta dalla scomposizione dei dati CSK ASCE e DESCE.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 50	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

L'utilizzo dei dati in Banda X su tutta l'area ha permesso la generazione di oltre 1.990.000 punti di misura.

3.3 Calibrazione del dato

Per poter rendere l'analisi svincolata dal punto di riferimento, la componente verticale è stata calibrata con il CGPS di Smarlacca e successivamente confrontata con il CGPS di Spinaroni. La Fig. 41 mostra la posizione dei CGPS utilizzati.

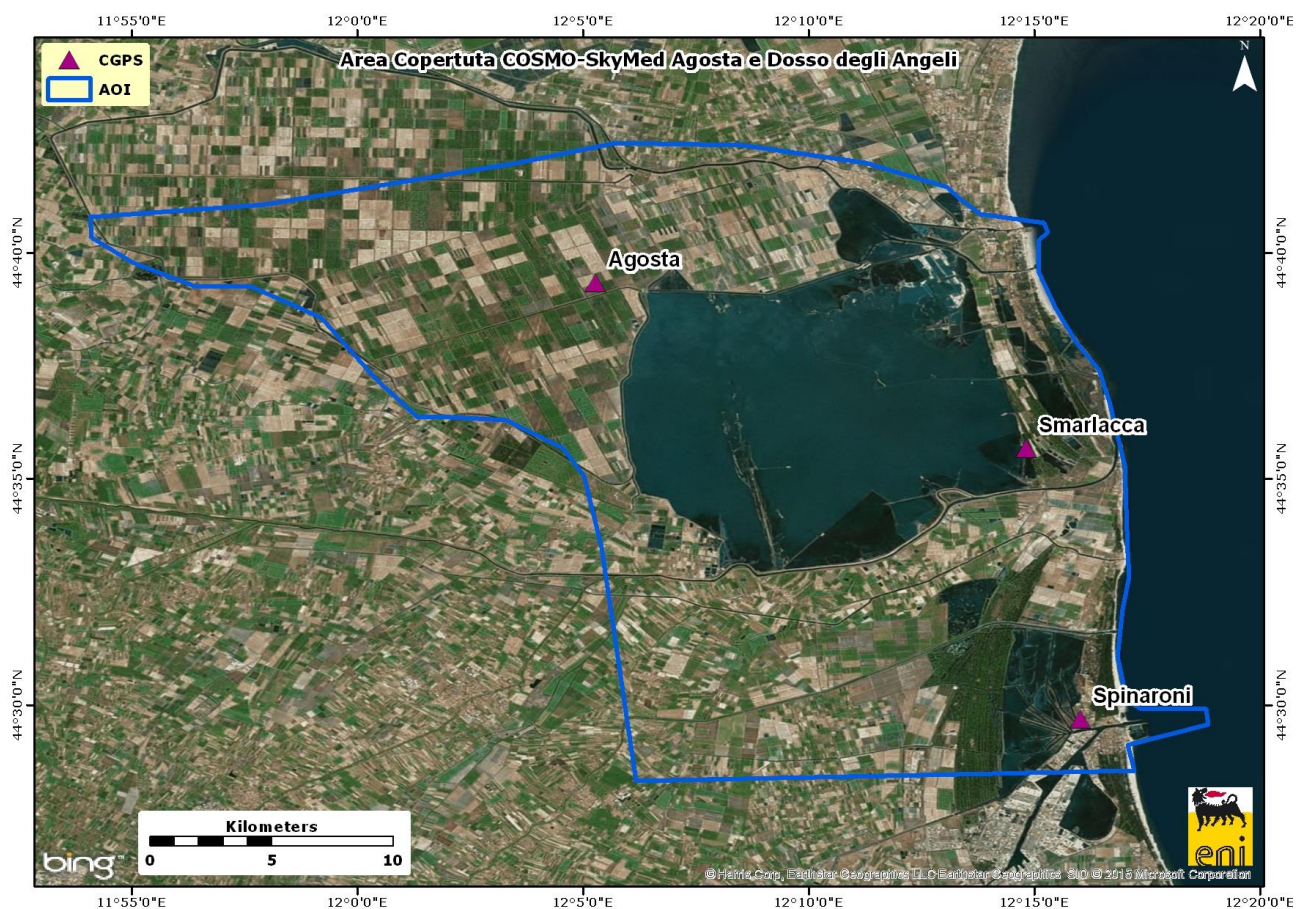


Fig. 41 - Area di interesse per la calibrazione della componente Verticale, con la posizione dei CGPS di Smarlacca e Spinaroni. Il CGPS di Agosta viene indicato a titolo puramente indicativo.

Il GCPS di Smarlacca, per il periodo 2002 – 2015, indica una velocità verticale pari a -6.48 mm/anno (vedi Fig. 42). Il CGPS di Spinaroni, per lo stesso periodo indica una velocità verticale pari a 7.58 mm/anno (vedi Fig. 43).

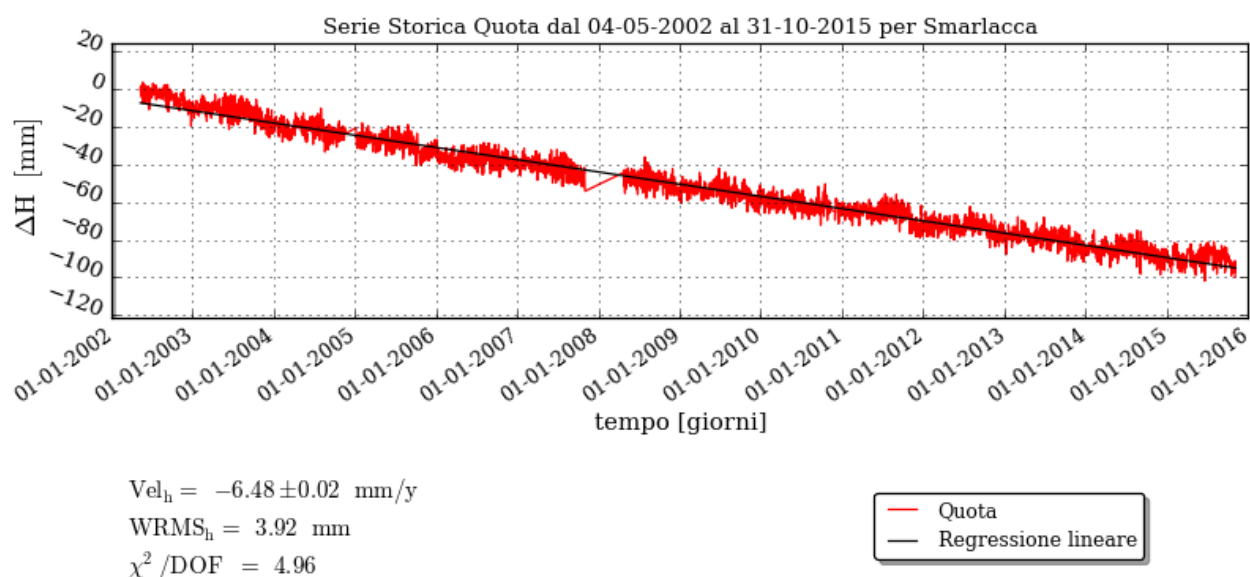


Fig. 42 - Serie storica della quota del CGPS di Smarlacca per il periodo 2002 – 2015.

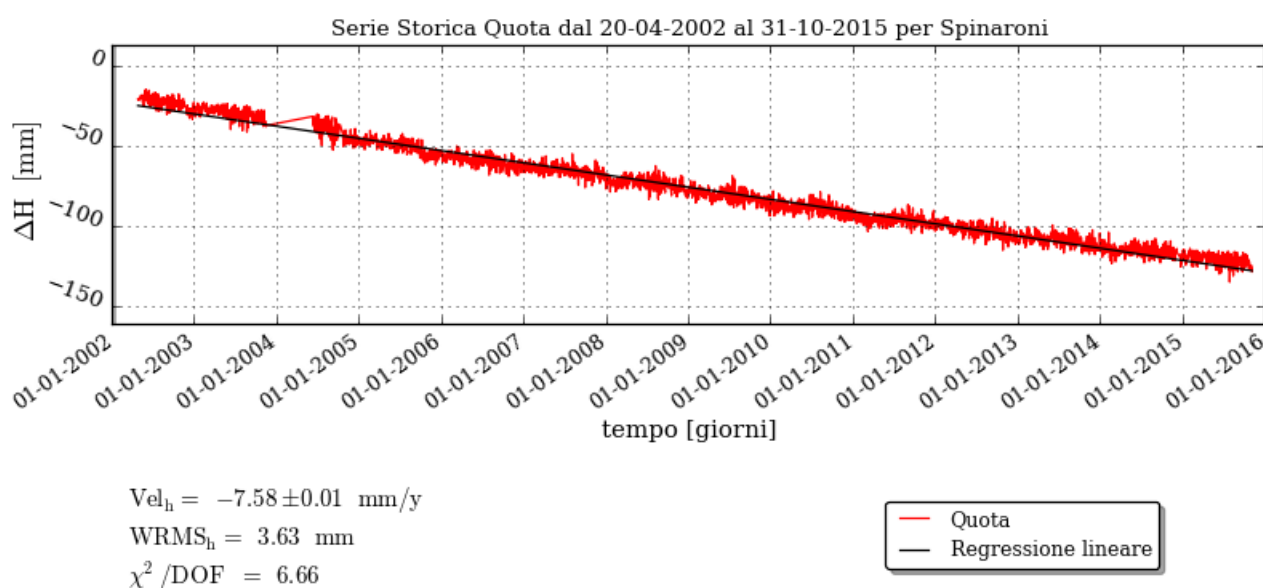


Fig. 43 - Serie storica della quota del CGPS di Spinaroni per il periodo 2002 – 2015.

Per la calibrazione del dato, è stato considerato un raggio di 100 m intorno al CGPS. La procedura ha previsto innanzitutto il confronto e la calibrazione della velocità verticale del Frame Casalborsetti (area di Dosso degli Angeli, vedi Fig. 36/B) e successivamente, nell'area in sovrapposizione (Fig. 51) la calibrazione del Frame Agosta.

I punti intorno al CGPS di Smarlacca (Fig. 44), hanno una velocità media pari a -1.56 mm/anno (Fig. 45), considerando che la velocità del CGPS di Smarlacca è pari a -6.48 mm/anno , per poter

calibrare la verticale del SAR e quindi riferirlo al CGPS, escludendo definitivamente il punto di riferimento, bisogna aggiungere alla velocità di ogni singolo PS/DS il valore -4.92 mm/anno.

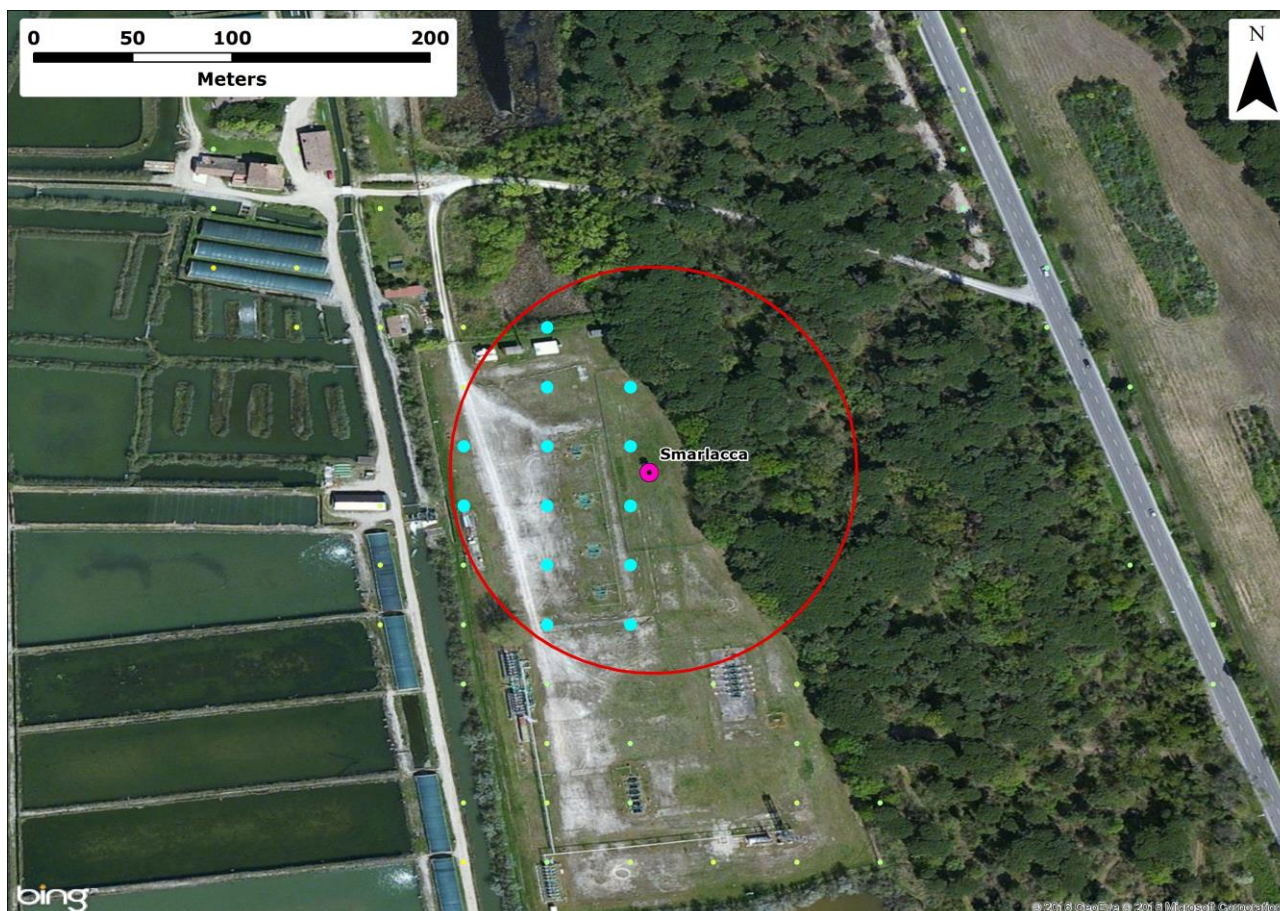


Fig. 44 - Punti che ricadono nel raggio di 100 m, utilizzati per il confronto con il CGPS di Smarlacca.

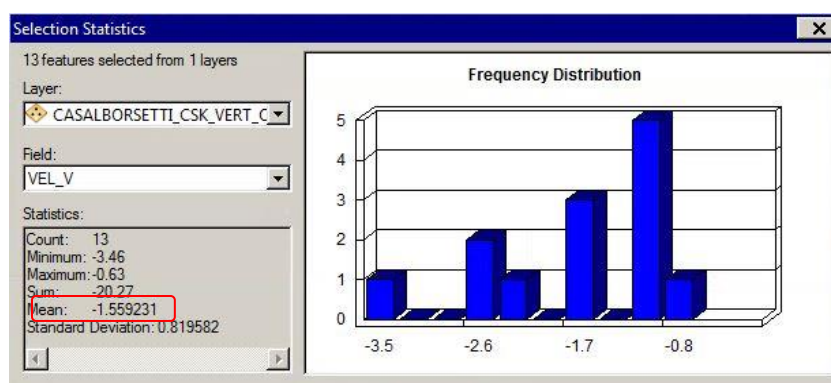


Fig. 45 - Media delle velocità verticali (rettangolo rosso) dei punti che ricadono nel raggio di 100 m, utilizzati per il confronto con il CGPS di Smarlacca.

Le Fig. 46 e Fig. 47 mostrano i dati dei punti nel raggio di 100 m dal CGPS di Sarlacca, calibrati secondo il metodo descritto nel presente paragrafo. Come si evince da entrambe le immagini, la calibrazione è andata a buon fine.

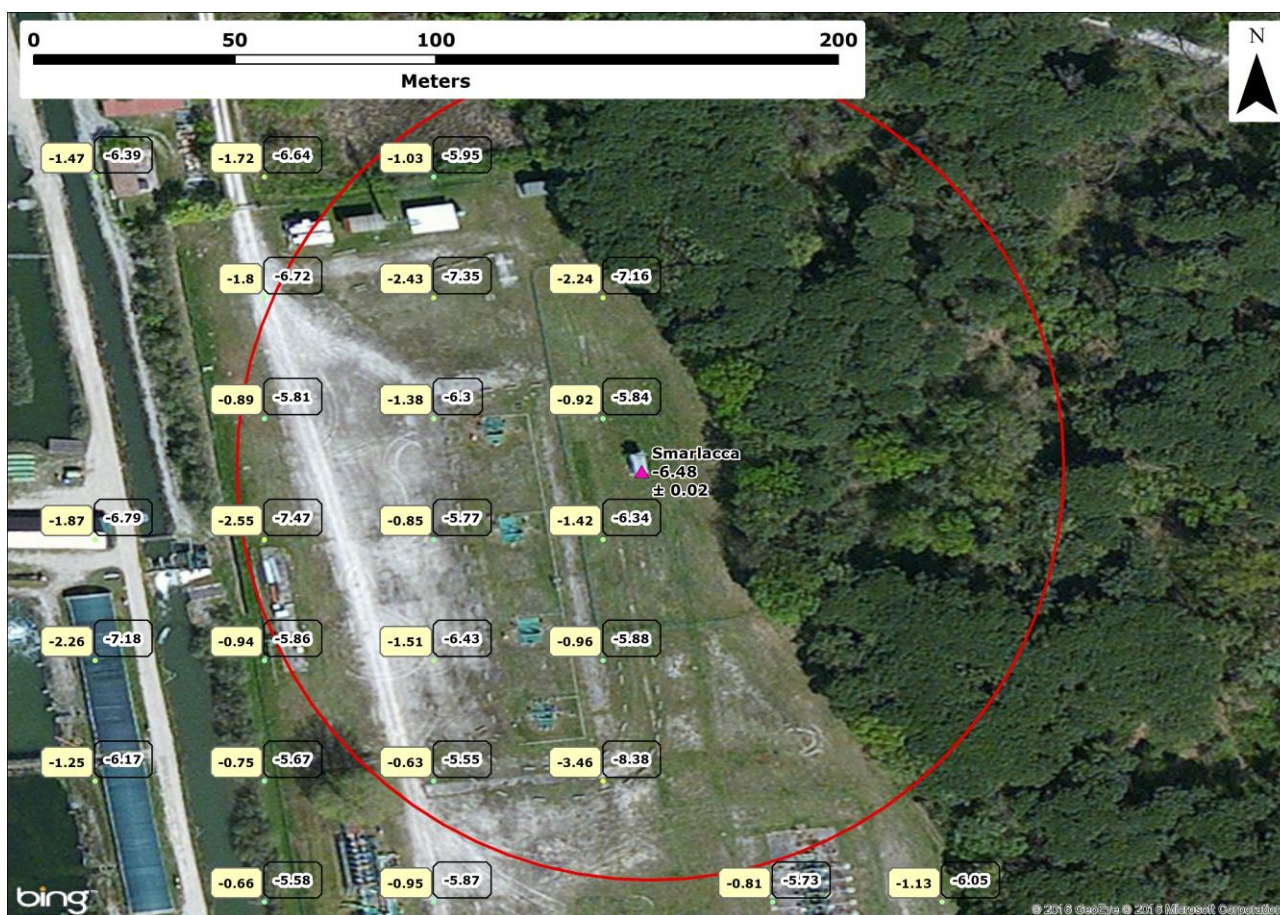


Fig. 46 - Rappresentazione delle velocità calibrate (rettangoli trasparenti) e non calibrati (rettangoli gialli), rispetto al CGPS di Smarlacca.

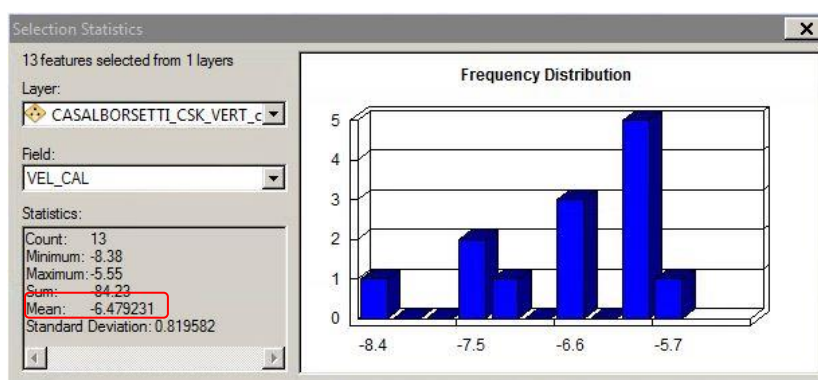


Fig. 47 - Media delle velocità verticali calibrate (rettangolo rosso) dei punti che ricadono nel raggio di 100 m, utilizzati per il confronto con il CGPS di Smarlacca.

Per confermare la bontà dell'operazione, le velocità (calibrate e non calibrate) sono state confrontate con i punti che ricadono all'interno del raggio di 100 m del CGPS di Spinaroni (vedi

Fig. 48 e Fig. 49). Il confronto mostra che i dati SAR sono in linea con quanto viene registrato dal CGPS di Spinaroni.



Fig. 48 - Confronto delle velocità calibrate (rettangoli trasparenti, calibrazione effettuata con il CGPS di Smarlacca) con il CGPS di Spinaroni.

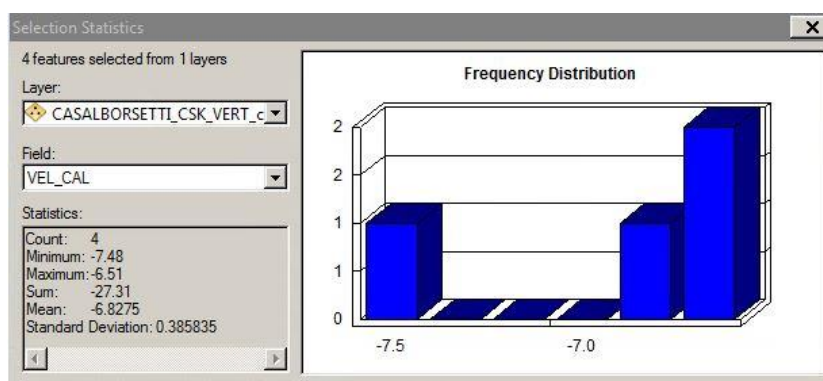


Fig. 49 - Media delle velocità verticali calibrate (rettangolo rosso) dei punti che ricadono nel raggio di 100 m del CGPS di Spinaroni.

A questo punto, per poter calibrare anche i dati del Frame di Agosta, è stata scelta un'area in sovrapposizione fra i due Frame (Agosta e Casalborsetti), il più lontano possibile dall'area di

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 55	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

influenza dei giacimenti di Agosta e Dosso degli Angeli (Fig. 50 e Fig. 51). La media delle velocità verticali calibrate, provenienti dal Frame di Casalborsetti, che ricadono all'interno della suddetta area in sovrapposizione è pari a -5.076 mm/anno (vedi Fig. 52).

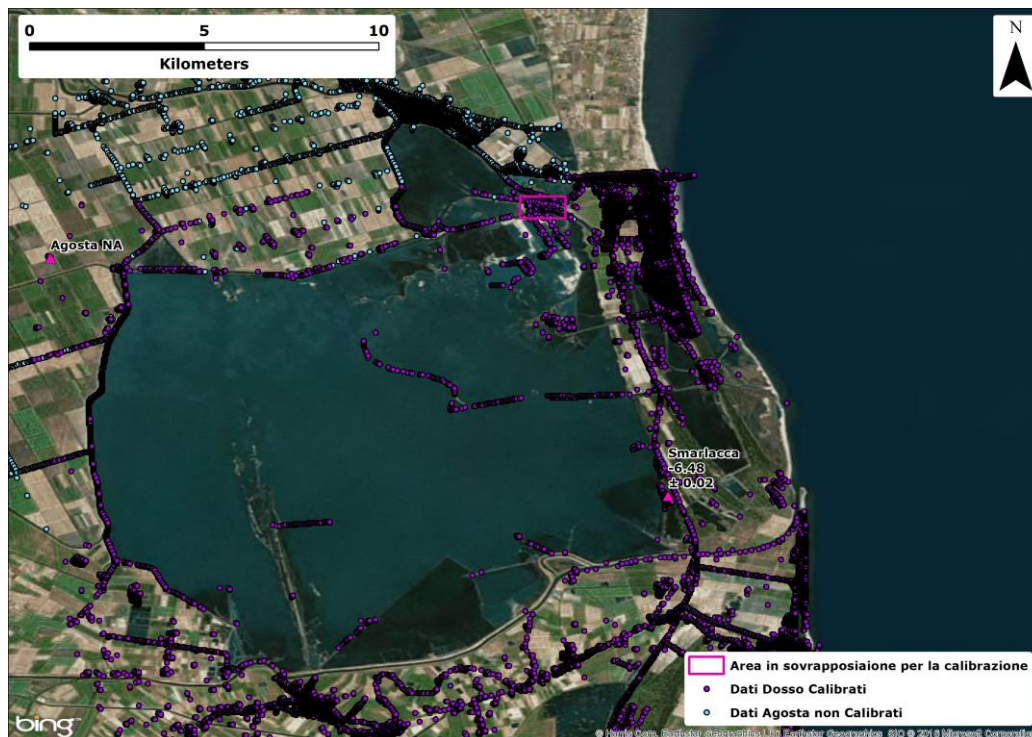


Fig. 50 - Mappa dell'area in sovrapposizione dei dati di Dosso (calibrati) con i dati di Agosta (non calibrati). Il quadrato rosa indica l'area scelta per il confronto delle velocità.

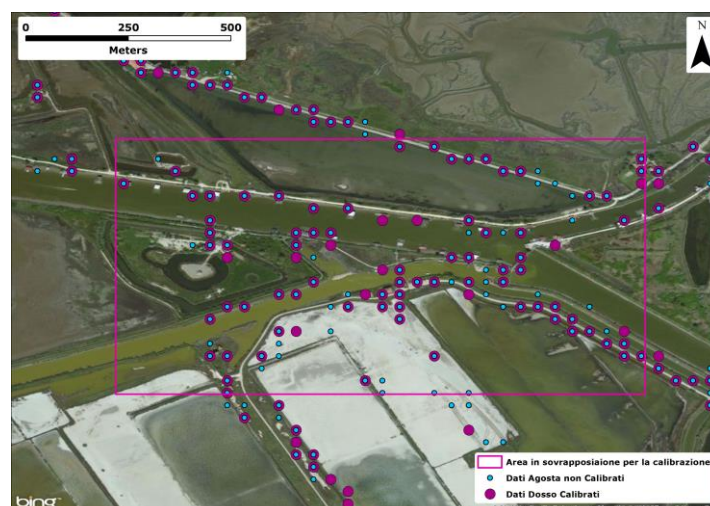


Fig. 51 - Zoom dell'area in sovrapposizione utilizzate per la calibrazione. I punti azzurri sono i PS/DS del Frame di Agosta, i punti rosa sono i PS/DS del Frame di Casalborsetti (Dosso degli Angeli).

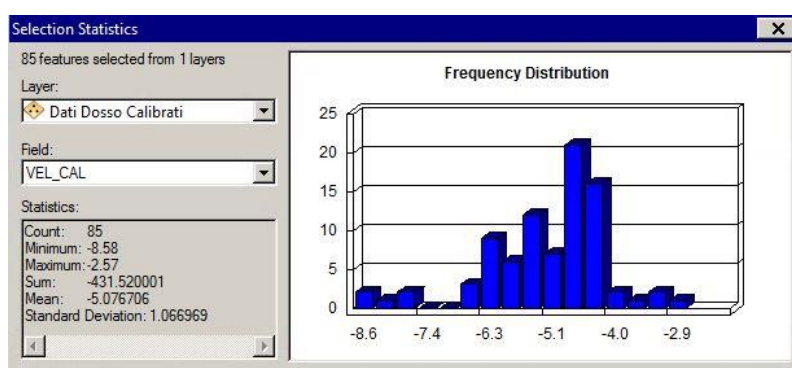


Fig. 52 - Media delle velocità verticali calibrate (rettangolo rosso) del Frame di Casalborsetti, dei punti che ricadono all'interno dell'area in sovrapposizione.

La media delle velocità verticali dei PS/DS del Frame di Agosta, che ricadono all'interno della stesa area di sovrapposizione è pari a -0.59 mm/anno (vedi Fig. 53).

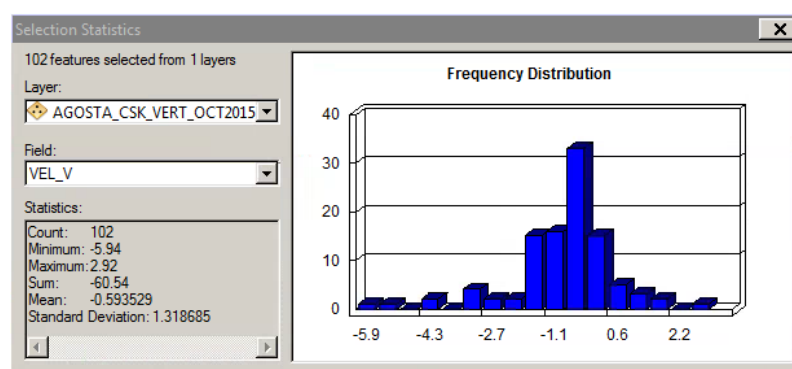


Fig. 53 - Media delle velocità verticali non calibrate (rettangolo rosso) del Frame di Agosta, dei punti che ricadono all'interno dell'area in sovrapposizione.

Per poter rendere il loro valore assoluto, considerando la differenza fra le due velocità, è stato aggiunto -4.49 mm/anno al dataset di Agosta. La Fig. 54 mostra la media delle velocità verticali del frame di Agosta che ricadono all'interno dell'area in sovrapposizione, post calibrazione.

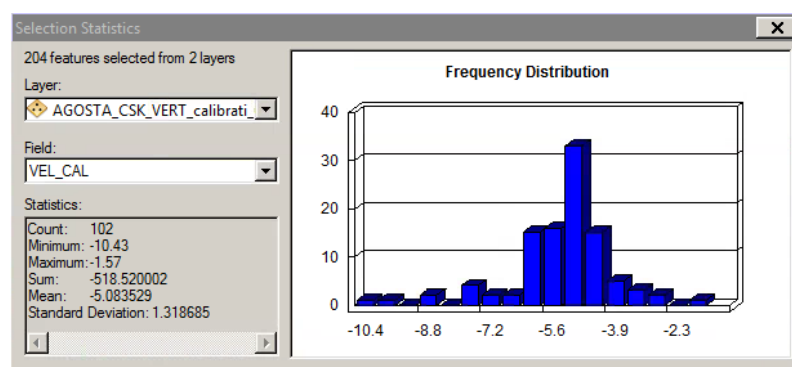


Fig. 54 - Media delle velocità verticali calibrate (rettangolo rosso) del Frame di Agosta, dei punti che ricadono all'interno dell'area in sovrapposizione.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 57	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

Considerando i valori delle velocità mostrate nelle Fig. 52 e Fig. 54, si può assumere che la calibrazione sia andata a buon fine.

Di seguito, si riporta la mappa delle velocità verticali calibrate (Fig. 55 e Fig. 56).

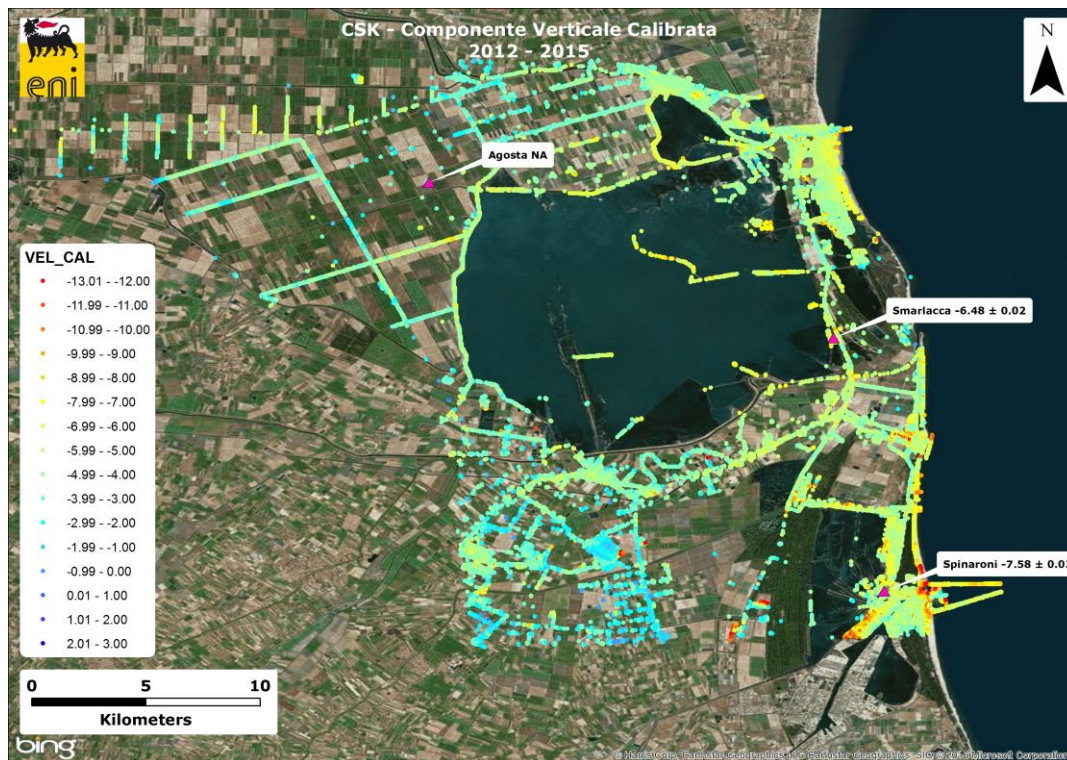


Fig. 55 - Velocità verticale calibrata [mm/anno] dei Frame di Agosta e Casalborgorsetti. I Triangoli indicano i CGPS.

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 58	of 62
---	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

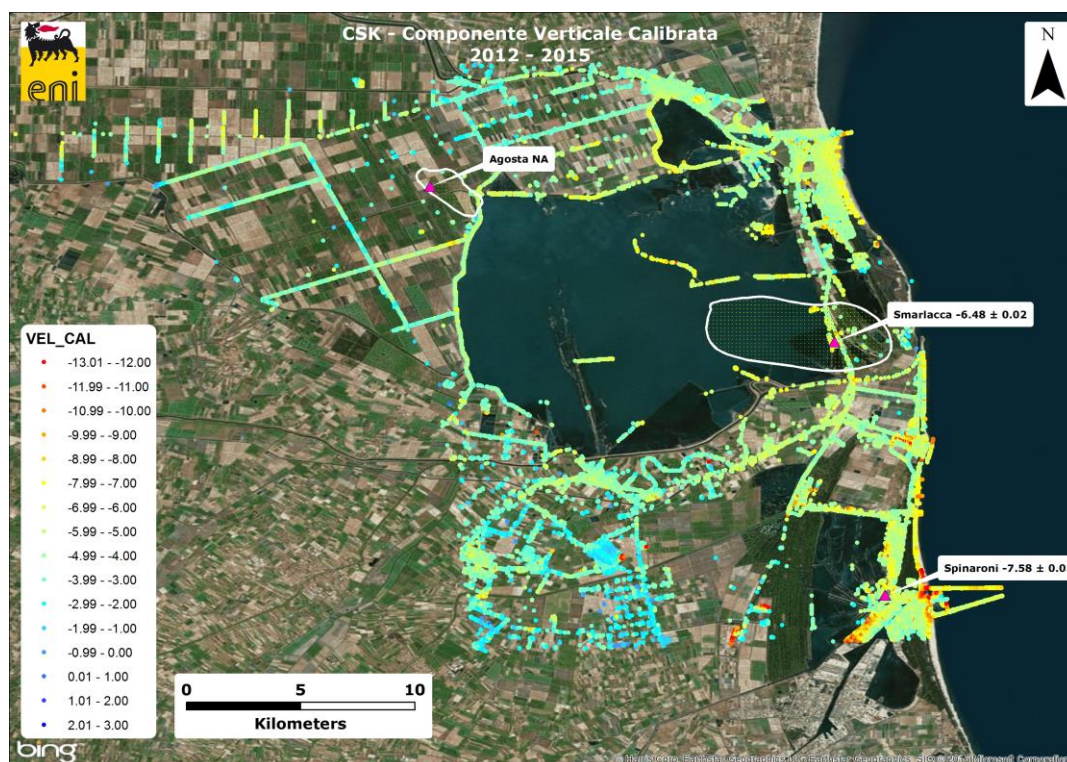


Fig. 56 - Velocità verticale calibrata [mm/anno] dei Frame di Agosta e Casalborsetti. I Triangoli indicano i CGPS. Viene rappresentata anche la posizione dei giacimenti di Agosta e Dosso degli Angeli.

Si riportano degli ingrandimenti in corrispondenza dei giacimenti di Agosta e Dosso degli Angeli, per comprendere al meglio le dinamiche per il periodo in esame (2012 – 2015).

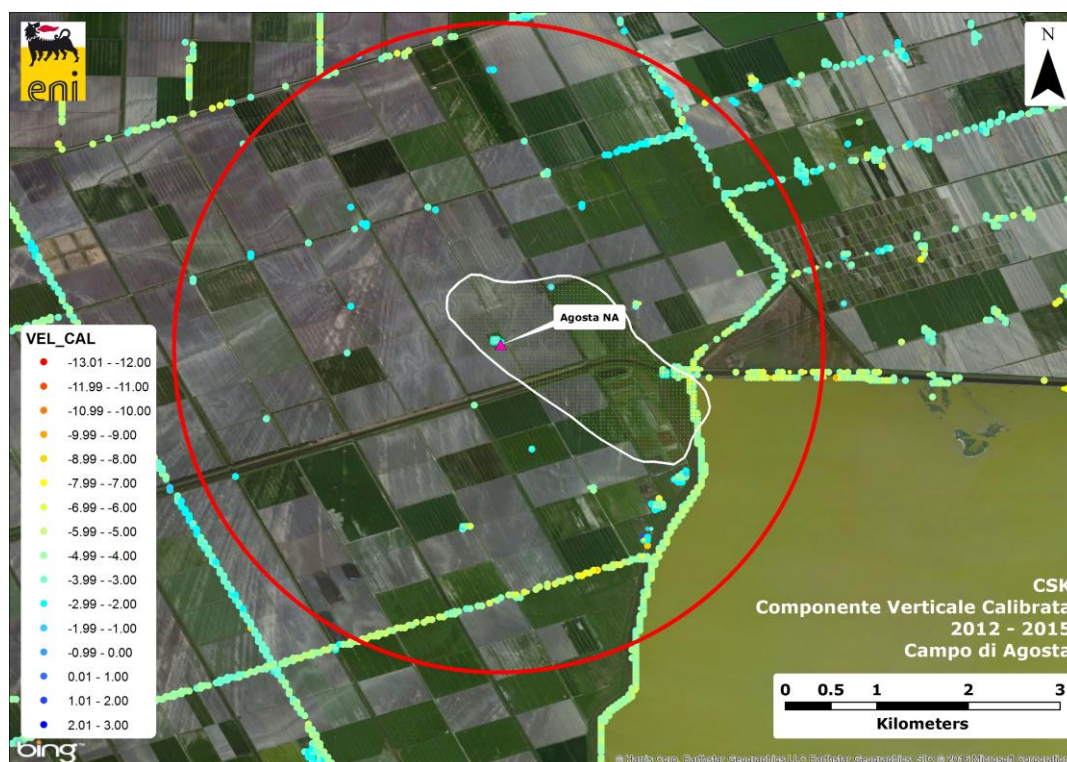


Fig. 57 – Ingrandimento, in corrispondenza del giacimento di Agosta, delle velocità verticali calibrate. L’analisi statistica è stata effettuata per i punti che ricadono all’interno del cerchio con raggio di circa 2 km.

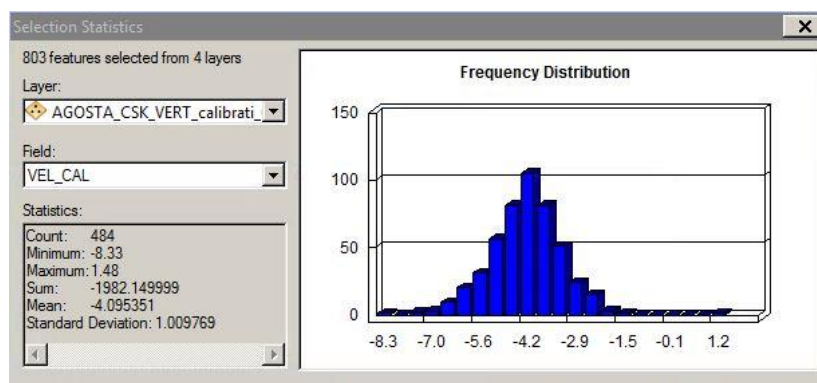


Fig. 58 - Rappresentazione statistica dei punti che ricadono all’interno del cerchio di 2 km di raggio. La velocità media è circa – 4mm/anno.

La media della velocità verticale dei PS/DS in corrispondenza del giacimento di Agosta è pari a circa -4 mm/anno (vedi Fig. 56 e Fig. 57).

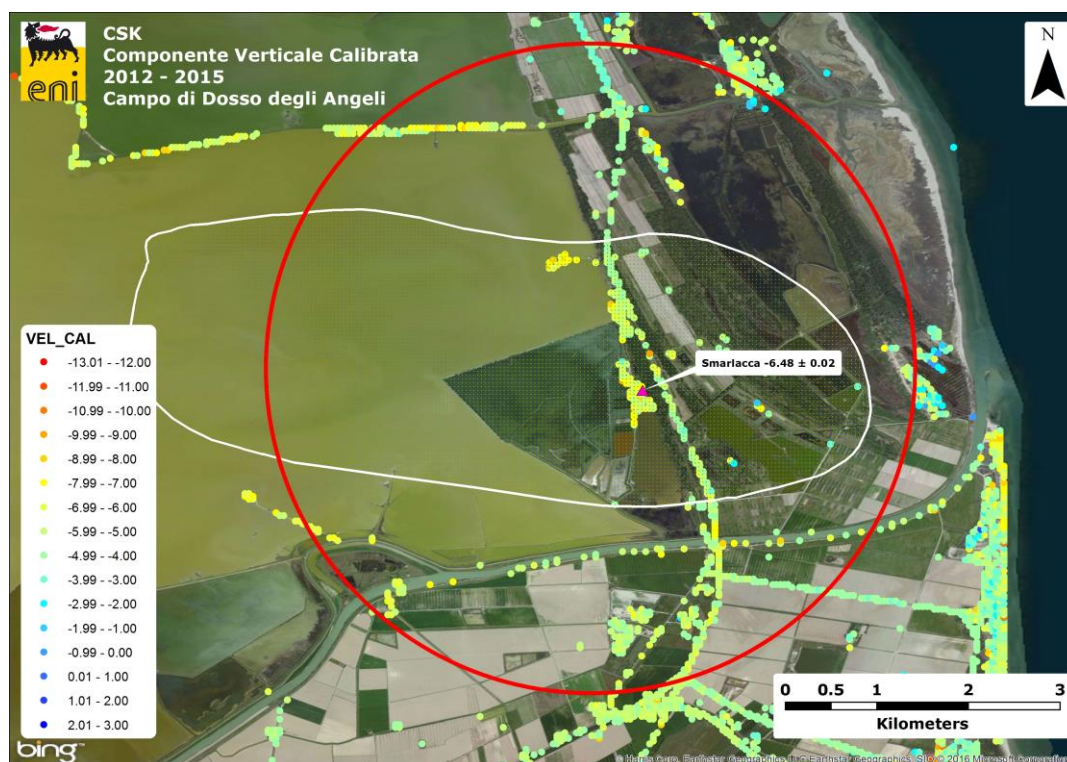


Fig. 59 - Ingrandimento in corrispondenza del giacimento di Dosso degli Angeli, delle velocità verticali calibrate. L'analisi statistica è stata effettuata per i punti che ricadono all'interno del cerchio con raggio di circa 2 km.

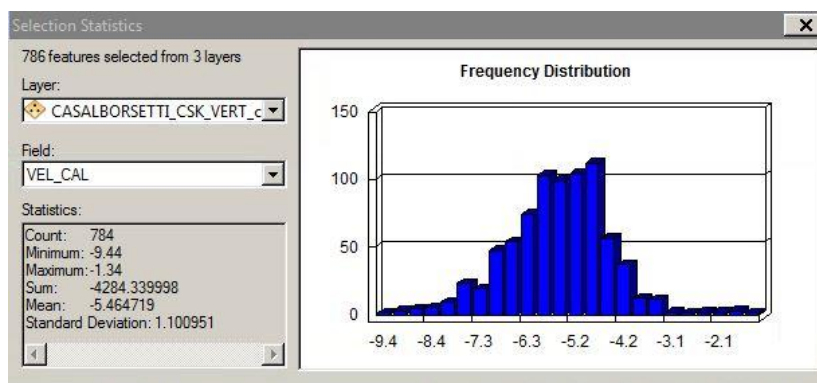


Fig. 60 - Rappresentazione statistica dei punti che ricadono all'interno del cerchio di 2 km di raggio. La velocità media è circa - 5.5 mm/anno.

La media della velocità verticale dei PS/DS in corrispondenza del giacimento di Dosso degli Angeli è pari a circa -5.5 mm/anno (vedi Fig. 59 e Fig. 60).

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 61	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

3.4 Conclusioni

L'analisi effettuata ha aggiornato ad ottobre 2015 le misure di spostamento superficiale delle aree di Agosta e Casalborsetti (Dosso degli Angeli).

L'utilizzo dei dati in Banda X, ad alta risoluzione spaziale, ha permesso di ottenere informazioni per un totale di oltre 1.990.000 punti di misura (PS/DS – Permanent Scatterers/Diffusion Scatterers). Le deviazioni standard sono di circa 1 millimetro.

La calibrazione della componente verticale è andata a buon fine, senza mostrare criticità rilevanti. Tale affermazione è stata confermata dal confronto con un CGPS differente da quello utilizzato per la calibrazione.

Facendo un ingrandimento sulle aree di Agosta e Dosso degli Angeli, e considerando la media delle velocità calibrate che ricadono in un raggio di circa 2 km, i valori riscontrati sono rispettivamente:

- -4.0 ± 1.5 mm/anno in corrispondenza del giacimento di Agosta
- -5.5 ± 1.5 mm/anno in corrispondenza del giacimento di Dosso degli Angeli

	Eni s.p.a. Upstream & Technical services	Date: June 2016	Doc. N°. GEOM-2016025-SG-RT-00	Rev. 00	Sheet 62	of 62
--	---	--------------------	-----------------------------------	------------	-------------	----------

4 Bibliografia

T.R.E. Tele-Rilevamento Europa – “Manuale SqueeSAR™”

FERRETTI A., MONTI – GUARNIERI A., PRATI C. & ROCCA F. – “InSAR Principles: Guidelines fo SAR Interferometry Processing and Interpretation”; http://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19_ptA.pdf

SMALL D., HOLECZ F. & NUESCH D. – “Combination of ascending/descending ERS-1 InSAR data for calibration and validation” " in: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995. IGARSS '95. 'Quantitative Remote Sensing for Science and Applications', International, Firenze, 1995, pp. 553-555 vol. I.

http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2012.pdf

http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2011.pdf

http://www.arpae.it/cms3/documenti/subsidenza/Relfin_2007_rid.pdf