

Subsidenza e gestione del territorio

Monitoraggio della subsidenza in Emilia-Romagna e tendenze in atto

Marco Marcaccio - Giacomo Zaccanti
Arpae Emilia-Romagna
Direzione Tecnica

www.labelab.it/ravenna2019

arpae
agenzia
prevenzione
ambiente energia
emilia-romagna

Fare i conti
con l'ambiente
Rifiuti acqua energia

>Rave
nna
8-9-10
maggio 2019



Monitoraggio ambientale in Arpae

Arpae gestisce 7 sistemi di monitoraggio e valutazione dello stato dell'ambiente, costituiti da oltre 20 reti di monitoraggio per la sorveglianza continua delle principali matrici ambientali che permettono di analizzare e valutare lo stato dell'ambiente.

- 1) Rete regionale di monitoraggio dei campi elettromagnetici
- 2) Reti di monitoraggio della radioattività ambientale
- 3) Reti di monitoraggio della qualità dell'aria
- 4) Reti di monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee
- 5) Reti di monitoraggio della qualità delle acque di transizione e marino costiere
- 6) Sistema di monitoraggio idrometeorologico
- 7) Reti di monitoraggio della subsidenza e della costa



Gestione della rete regionale di monitoraggio della subsidenza

Gestione della rete regionale topo-batimetrica di monitoraggio della costa

Monitoraggio della subsidenza

Principali attività svolte da Arpae sul tema subsidenza:

- Gestione della rete regionale di monitoraggio della subsidenza che prevede il rilievo periodico (quinquennale su specifico incarico della Regione) dei movimenti verticali del suolo sull'intero territorio di pianura della regione;
- Gestione della banca dati relativa alla rete di monitoraggio della subsidenza e ai suoi prodotti cartografici, integrata nel Portale cartografico di Arpae;
- Gestione di centraline automatiche per il monitoraggio in continuo della subsidenza (stazioni assestometriche) ubicate a Castel Maggiore (BO), Lido di Classe e Gorino;
- Supporto tecnico alla Regione sia nel corso delle istruttorie di VIA relative, in generale, ad istanze per attività di ricerca, coltivazione/stoccaggio di idrocarburi, sia nell'ambito della verifica dei monitoraggi prescritti nei siti già interessati dalle suddette attività;
- Produzione di reportistica e/o elaborazioni su richiesta di enti pubblici e privati;

In generale, la conoscenza delle dinamiche legate alle variazioni verticali del suolo è indispensabile come supporto alla pianificazione e gestione del territorio e delle risorse idriche.

Attività storiche monitoraggio subsidenza

1997-98 - Arpae su incarico della Regione, ha progettato ed istituito nella zona di pianura una **rete regionale di monitoraggio della subsidenza**, costituita da una **rete di livellazione geometrica di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e una rete di circa 60 punti GPS**. Ciò al fine di superare le disomogeneità esistenti nei rilievi effettuati precedentemente da diversi enti in porzioni limitate del territorio e non in modo sinottico;

1999 - La rete di monitoraggio della subsidenza è stata misurata per la prima volta;

2002 - Rilievo della sola rete GPS, aggiornando così le conoscenze sui movimenti verticali del suolo nel periodo 1999-2002;

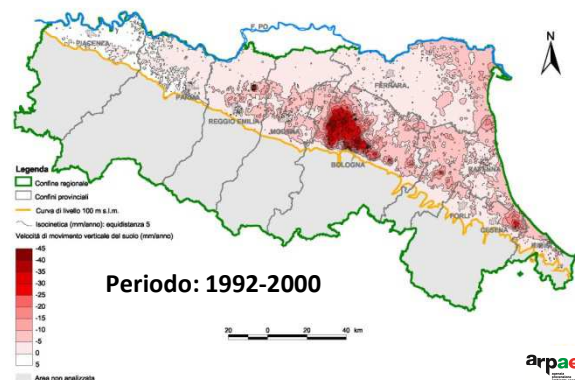
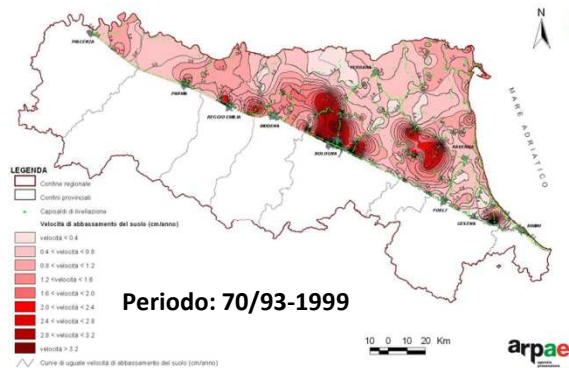
2005-07 - sono state aggiornate le conoscenze geometriche relative al fenomeno della subsidenza sull'intero territorio di pianura, tramite l'analisi interferometrica di dati radar satellitari con tecnica PSInSAR supportata da misure di livellazione geometrica di alta precisione su circa il 50% della rete;

2011 e 2016 - analisi interferometrica di dati radar satellitari con tecnica SqueeSAR™ supportata da stazioni GPS permanenti.

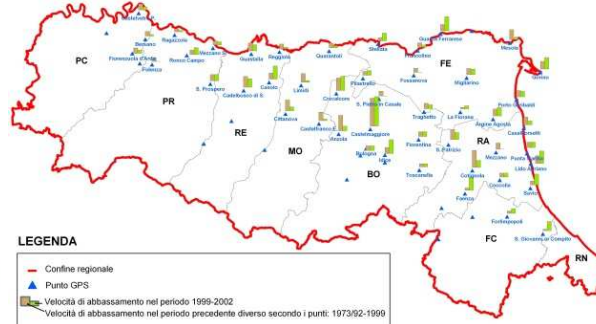
Attività storiche monitoraggio subsidenza

1997-98: istituzione della rete di monitoraggio della subsidenza (rete di livellazione e rete GPS)

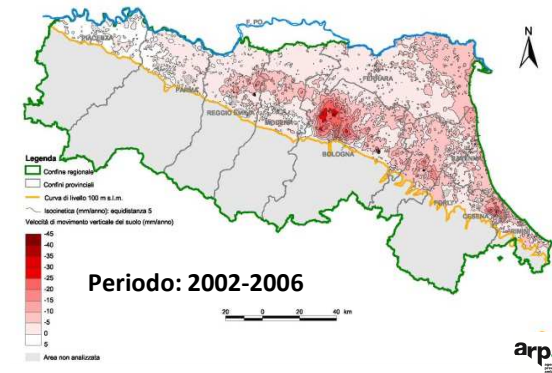
1999: primo rilievo delle due reti



2002: secondo rilievo della rete GPS



2005-07: analisi interferometrica supportata da misure di livellazione

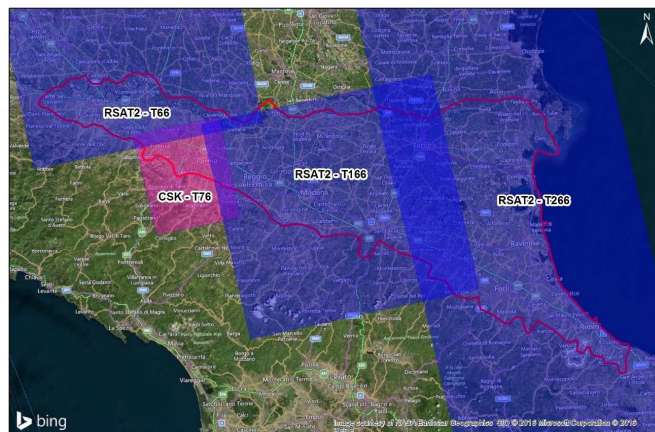


2011 e 2016: analisi interferometrica supportata da stazioni GPS permanenti



www.laueiaa.it/ravennaz019

Monitoraggio subsidenza 2011-2016



Immagini RADARSAT1-2 (RSAT) e COSMO-SkyMed (CSK) in geometria ascendente con risoluzione di 20x5 m e 3x3 m rispettivamente.

Sito	Satelliti	θ	N° Immagini	Periodo coperto
Piacenza	RSAT1 – RSAT2	34,1°	73	24/05/2011 – 09/05/2016
Parma	CSK	34°	66	03/05/2011 – 14/04/2016
Bologna	RSAT1 – RSAT2	34°	69	07/05/2011 – 16/05/2016
Mirandola	RSAT1 – RSAT2	34,7°	55	06/06/2012 – 16/05/2016
Ravenna	RSAT1 – RSAT2	33°	75	14/05/2011 – 23/05/2016
Rimini	RSAT1 – RSAT2	34,7°	70	02/05/2011 – 23/05/2016

Sito	Numero punti di misura	Densità media dei punti (N. punti/KM ²)	V_STDEV (mm/anno)	COHERENCE [0-1]
Piacenza	141 987	85	0,33	0,83
Parma	1 285 490	1 600	0,36	0,79
Bologna	166 358	55	0,31	0,85
Mirandola	34 262	25	0,39	0,90
Ravenna	325 871	56	0,29	0,83
Rimini	20 182	56	0,27	0,88
TOTALE	1 974 150			

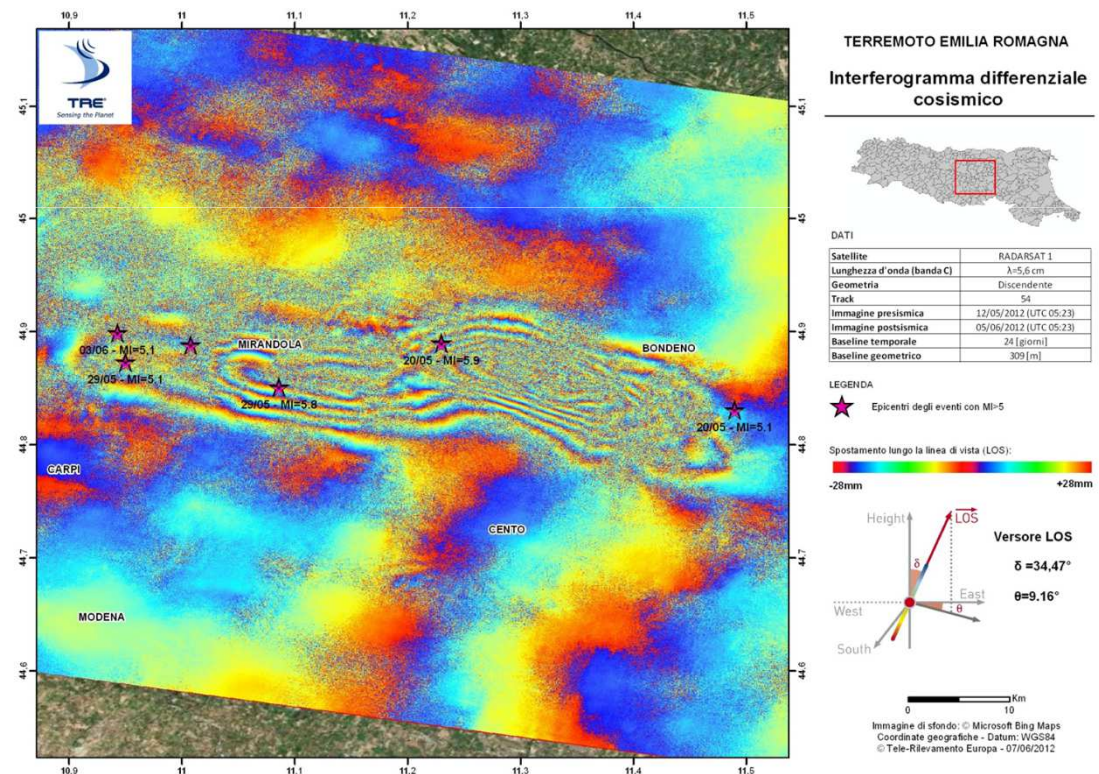


www.labelab.it/ravenna2019

Movimenti verticali e sisma del 20-29/5/2012

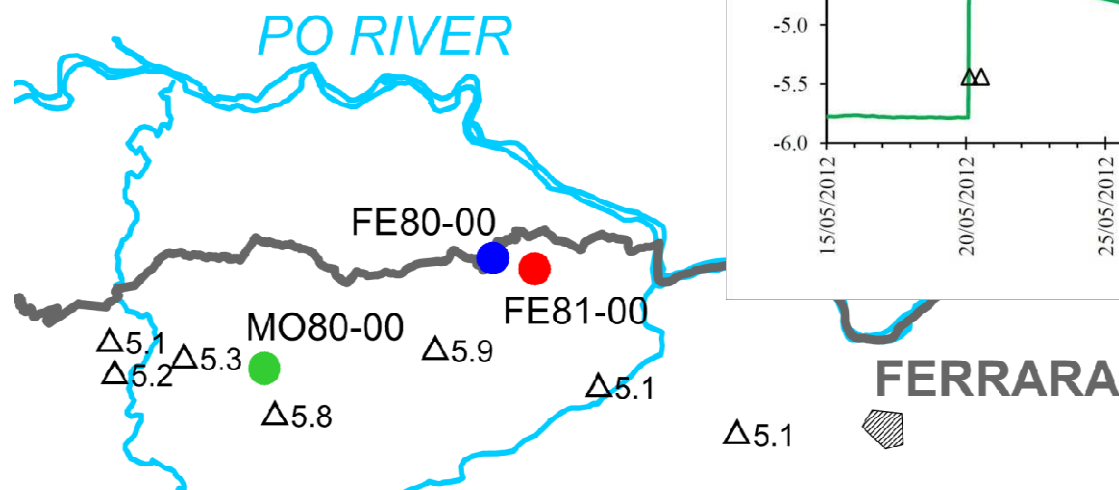
Dai dati DInSAR elaborati dopo gli eventi sismici, utilizzando le immagini acquisite dal satellite RSAT1 il 12/05/2012 ed il 05/06/2012, si osserva che nell'area di Mirandola il terreno ha subito un innalzamento di oltre 20 cm a seguito dei due principali eventi sismici del 20 maggio e 29 maggio 2012.

Le estese deformazioni che hanno interessato quest'area hanno impedito di effettuare un'elaborazione SqueeSAR™ a cavallo dell'evento, a causa dell'impossibilità di stimare correttamente l'entità del moto dall'interferogramma cosismico. Al fine di garantire un risultato SqueeSAR™ anche su questa area, è stato necessario elaborare unicamente le immagini acquisite dopo tali eventi sismici.



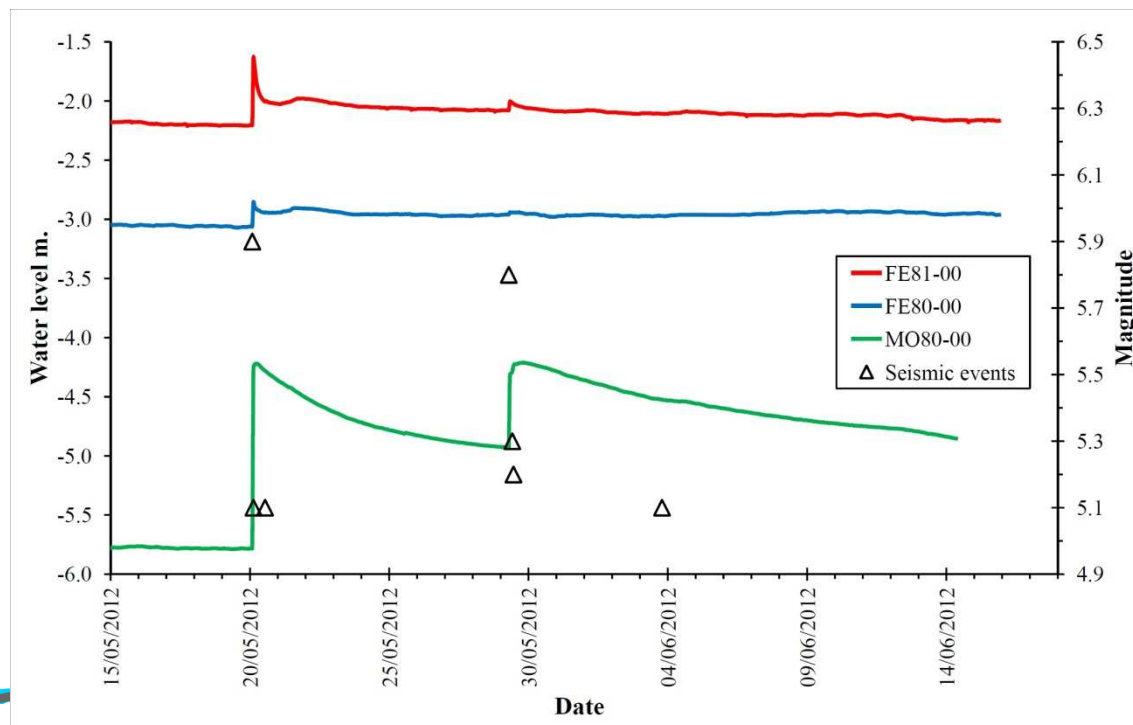
www.labelab.it/ravenna2019

Acque sotterranee - sisma 20-29/5/2012



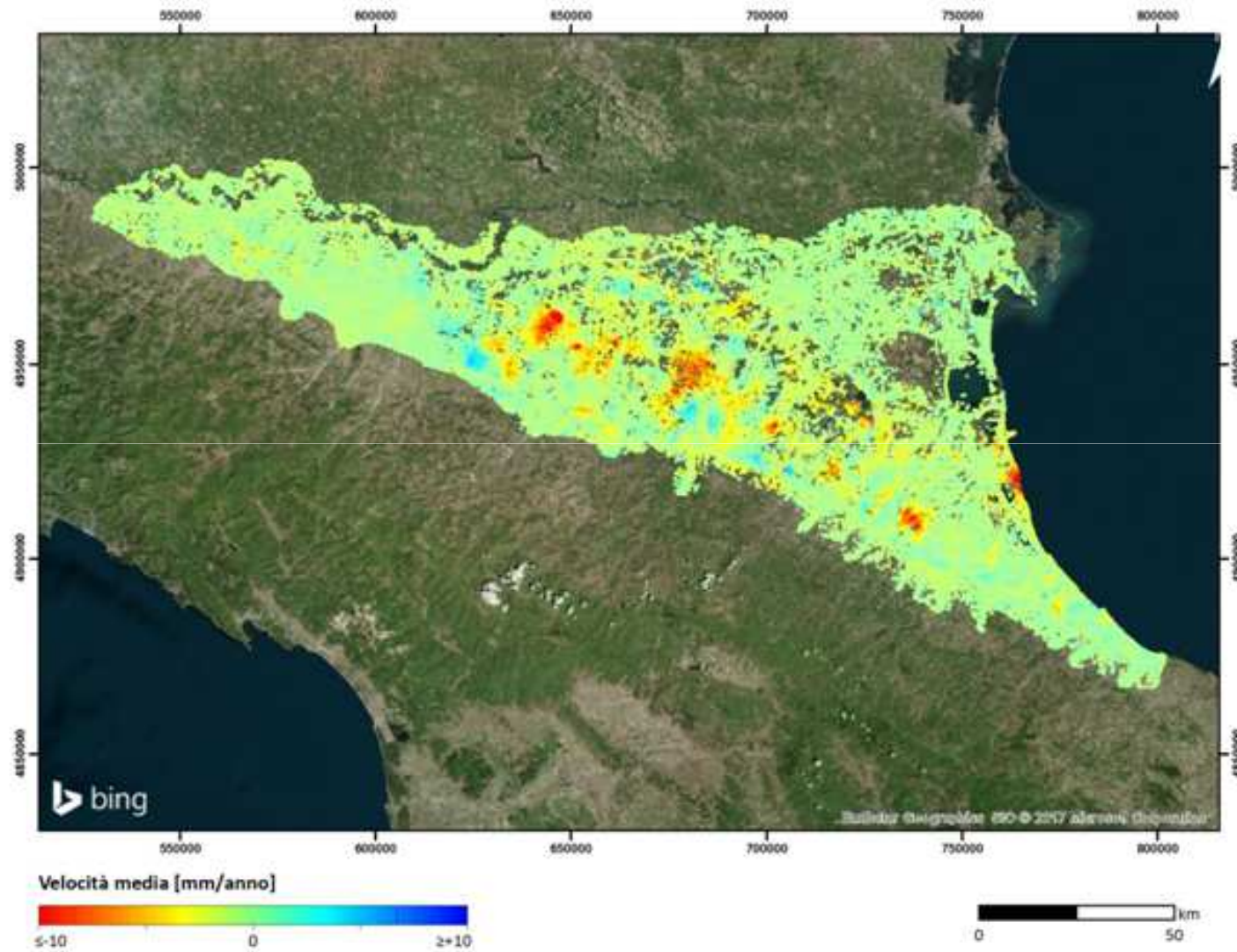
Δ5.8 Seismic events and related Magnitude

0km 10km 20km



Marcaccio & Martinelli, 2012. In Annals of Geophysics. Vol. 55, n. 4, 2012

Quadro di unione prima della calibrazione



www.iaueiao.it/ravenna2019

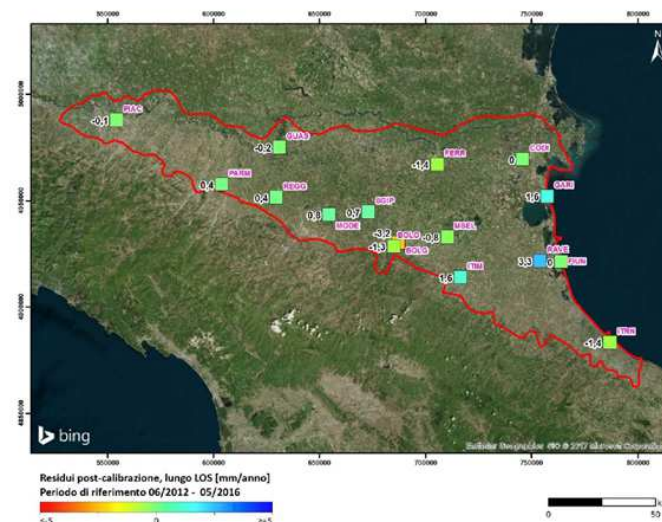
Calibrazione analisi interferometrica SqueeSAR™

- Definizione del periodo di riferimento per tenere conto del sisma 2012;
- Proiezione dati GPS lungo la direzione di LOS (Line Of Sight) utilizzando 16 stazioni GPS permanenti;
- Definizione della corrispondenza tra le stazioni GPS e i punti di misura SqueeSAR™;
- Confronto tra le misure di spostamento lungo LOS;
- Calibrazione dati interferometrici utilizzando altre 6 stazioni GPS permanenti.

Lo scarto quadratico medio sui residui post-calibrazione risulta pari a 1,51 mm/anno.

Il residuo medio sui 6 punti di controllo cieco è risultato pari a 0.09 mm/anno, con una deviazione standard di 1.29 mm/anno.

Il valore di incertezza complessiva dell'intera analisi di velocità di spostamento verticale può essere quantificato in circa ± 2 mm/anno, già quantificato anche nella precedente analisi 2006-2011.



www.labelab.it/ravenna2019

Verifica e validazione dei bersagli radar

E' stata inoltre effettuata un'analisi particolarmente accurata sull'insieme dei PS/DS al fine di selezionare i punti considerati non significativi rispetto al finalità del lavoro.

Sono state implementate procedure volte all'individuazione dei punti caratterizzati da velocità "anomale" rispetto al loro intorno, indicativi di fenomeni estremamente localizzati, legati in generale a cedimenti di singole strutture, all'assestamento di opere di recente costruzione, ecc. che non sono ritenuti significativi a descrivere il fenomeno della subsidenza e non sono supportati dal contesto circostante.

Le procedure di selezione implementate hanno portato ad un dataset finale pari a 1.912.781 punti, essendo stati scartati 3.254



www.labelab.it/ravenna2019

Elaborazione cartografica subsidenza

Nel periodo 2011-2016 si è potuto contare su 1.912.781 punti di misura rispetto ai precedenti 315.371 nel periodo 2006-2011. Occorre precisare che 1.285.490 punti sono relativi al solo sito di Parma, elaborato utilizzando le immagini del satellite COSMO-SkyMed ad alta risoluzione, poiché tale sito non risultava coperto da acquisizioni storiche RADARSAT-2. In ogni caso, anche senza contare il sito di Parma, il numero di punti complessivo risulta oltre il doppio rispetto ai punti del precedente rilievo.

Con i dati ritenuti significativi è stata realizzata la carta delle velocità di movimento verticale del suolo con isocinetiche di passo 2,5 mm/anno alla scala 1:250.000.

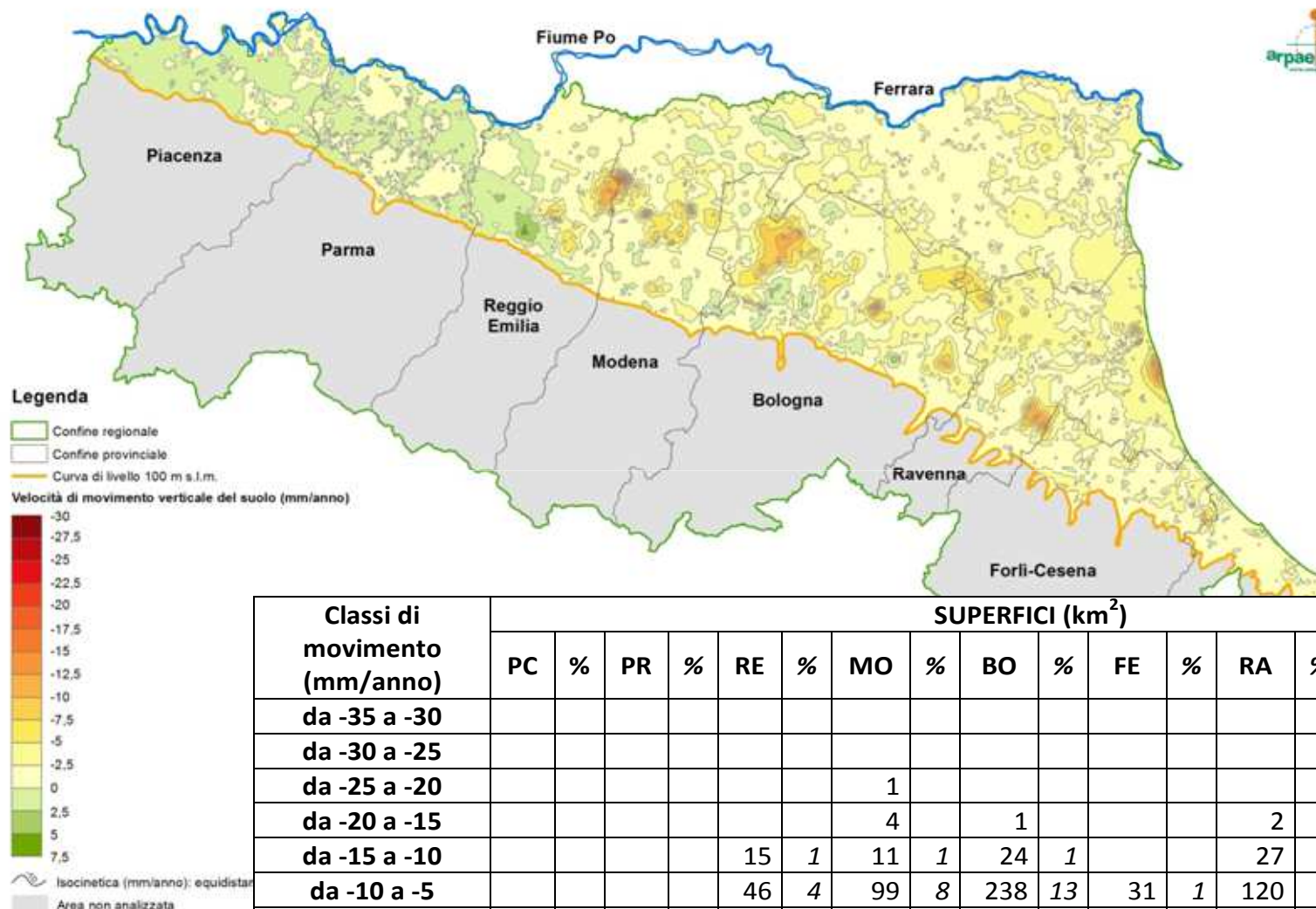
Il grid con il quale è stata elaborata la carta ha una maglia quadrata di lato 100 metri pari a quella utilizzata nel precedente rilievo per poter effettuare confronti. Le carte disponibili sono:

- Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2011-2016.;
- Carta delle variazioni delle velocità di movimento verticale del suolo dal periodo 2006-2011 al periodo 2011-2016;
- Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2011-2016. Provincia di Bologna. Scala 1:100.000;
- Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2011-2016. Zona costiera. Scala 1:100.000.

www.labelab.it/ravenna2019

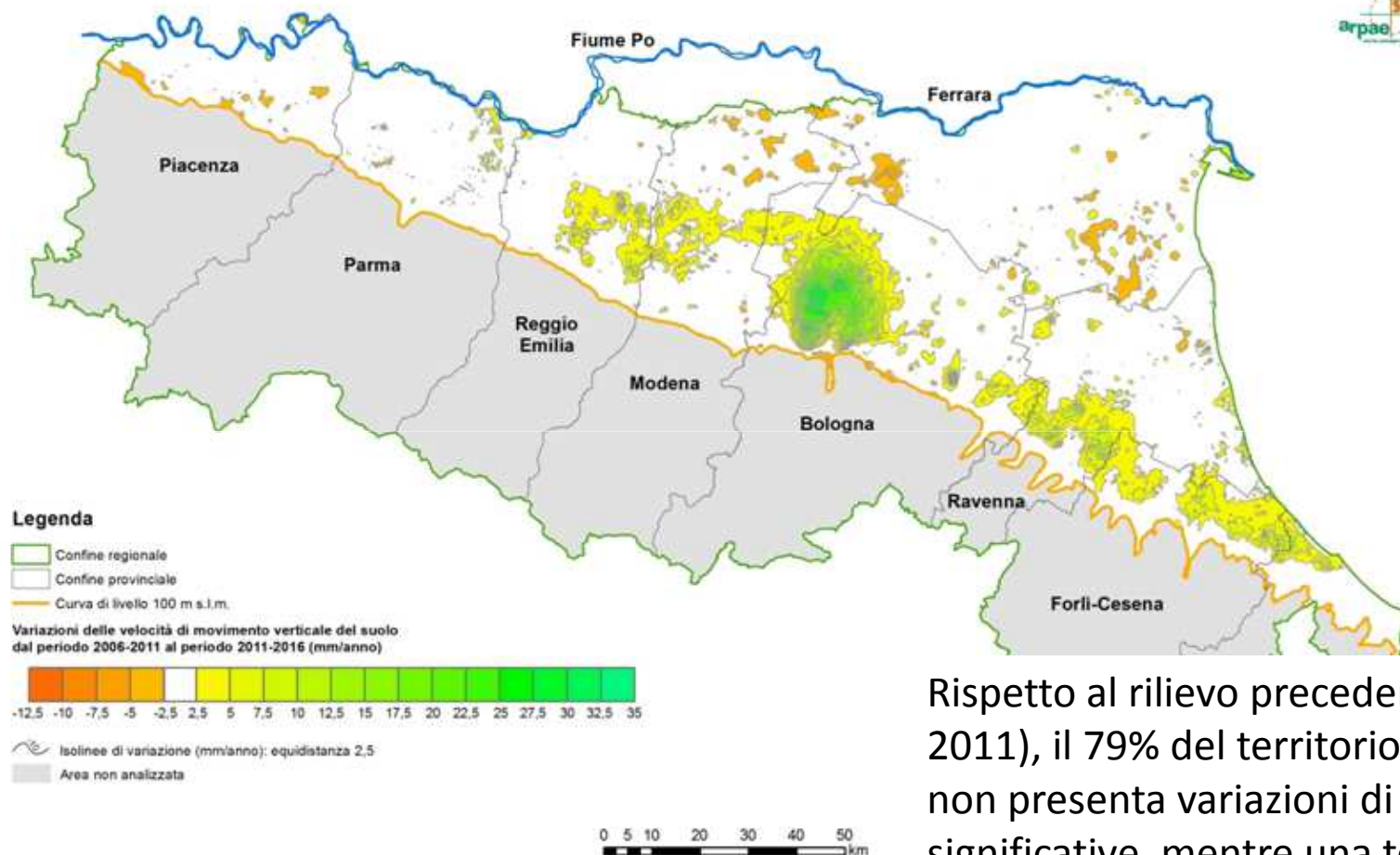
Movimenti verticali 2011-2016

>Rave
nna
2019
2.9.10
aggi



Classi di movimento (mm/anno)	SUPERFICI (km ²)																	
	PC	%	PR	%	RE	%	MO	%	BO	%	FE	%	RA	%	FC	%	RN	%
da -35 a -30																		
da -30 a -25																		
da -25 a -20							1											
da -20 a -15							4		1				2					
da -15 a -10					15	1	11	1	24	1			27	2	1			
da -10 a -5					46	4	99	8	238	13	31	1	120	8	16	3	4	1
da -5 a 0	252	32	476	51	657	64	1093	84	1479	80	2588	98	1379	90	564	96	316	99
da 0 a 5	543	68	451	49	302	30	93	7	111	6	11		5		6	1	1	
da 5 a 10					2													

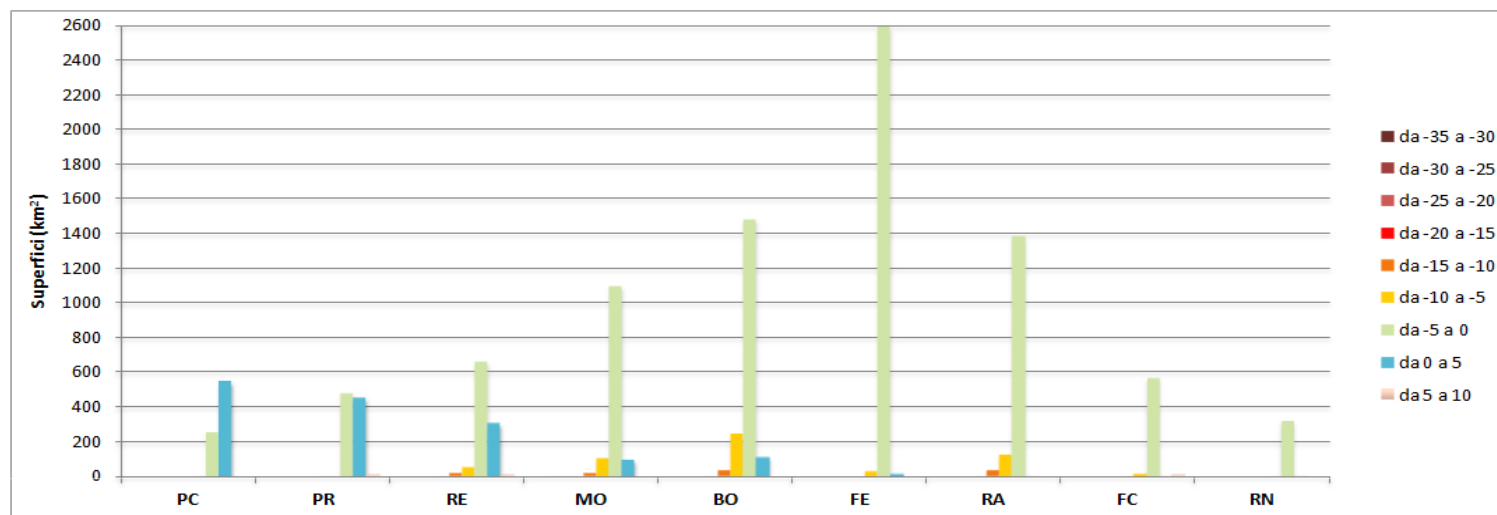
Variazione movimenti 2006-2011 e 2011-2016



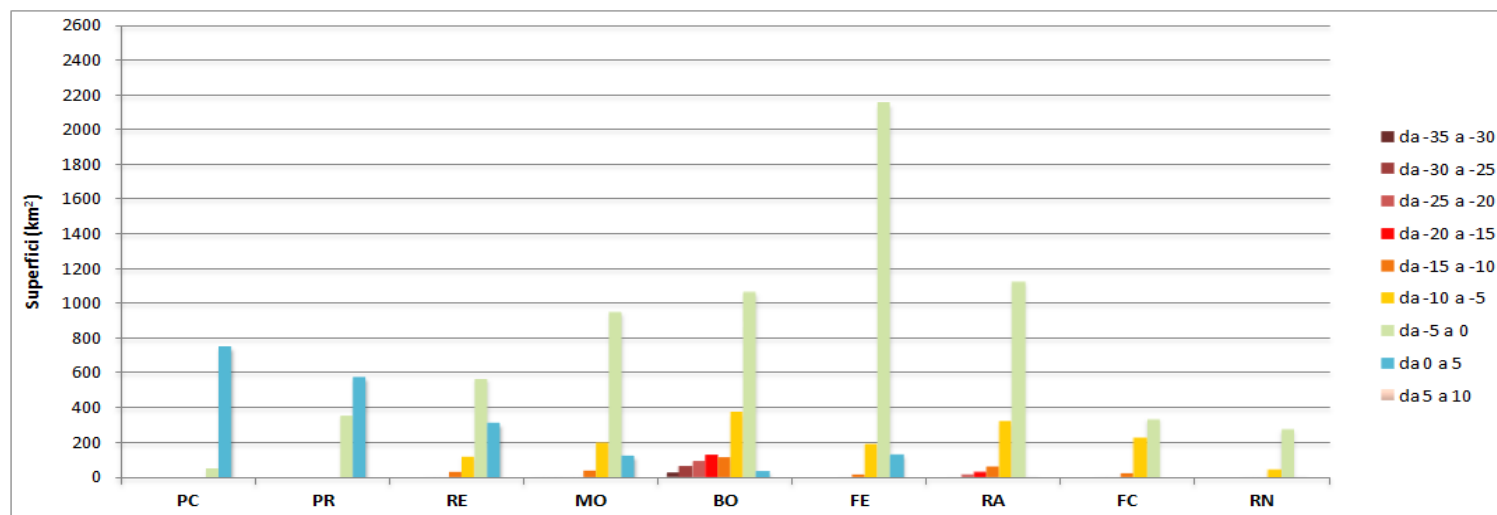
Rispetto al rilievo precedente (2006-2011), il 79% del territorio analizzato non presenta variazioni di tendenza significative, mentre una tendenza alla riduzione degli abbassamenti si evidenzia per il 18% della superficie.

Variazione movimenti 2006-2011 e 2011-2016

2011-2016



2006-2011

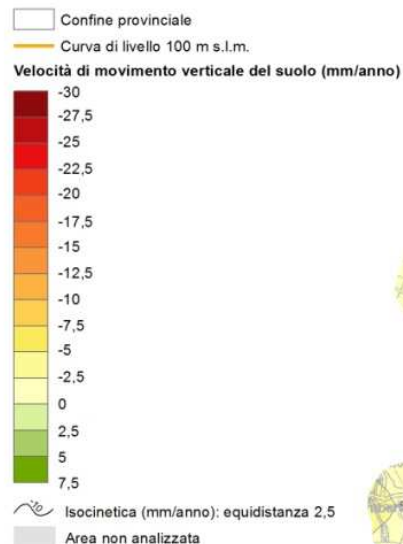


www.labelab.it/ravenna2019

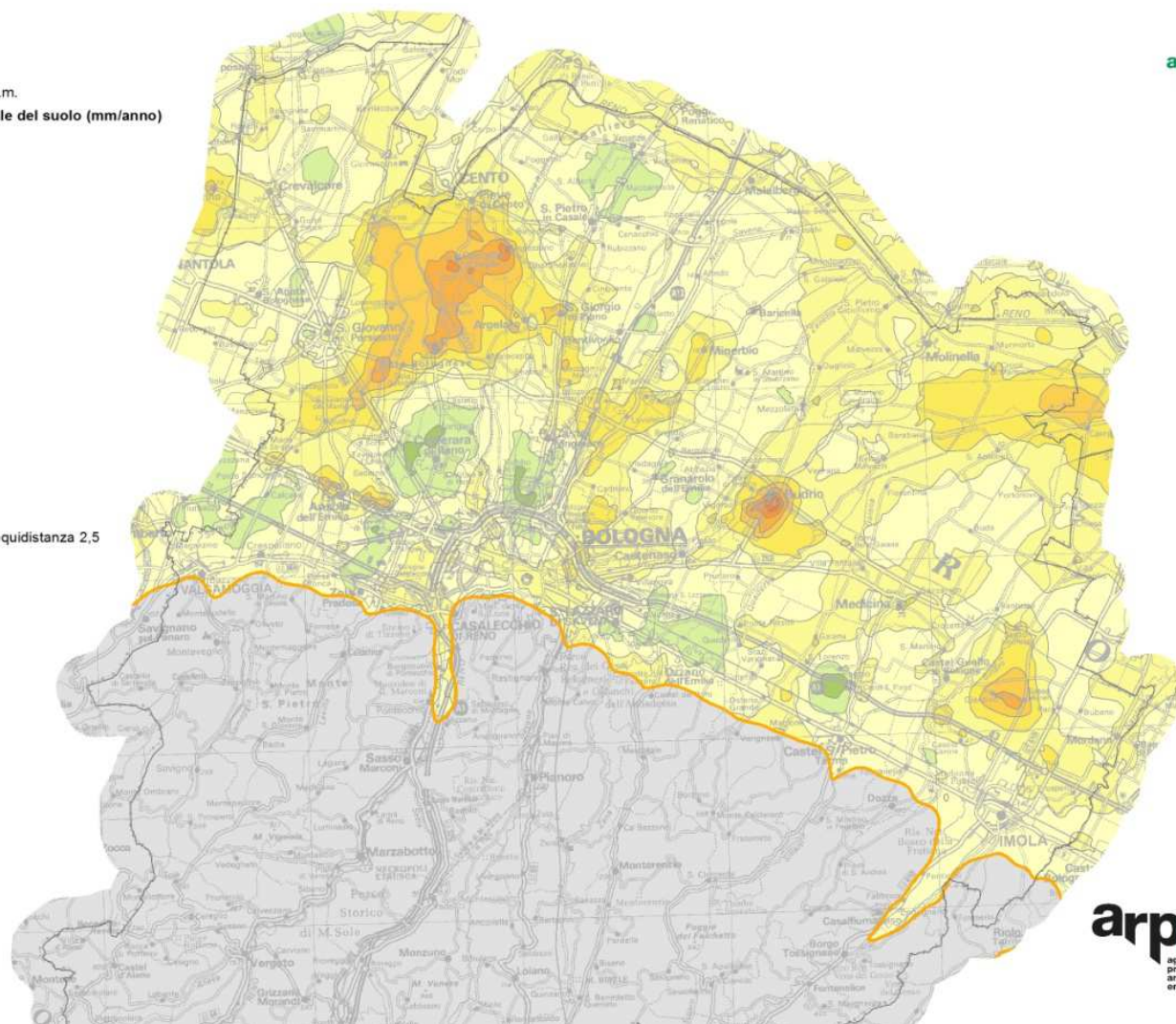
Movimenti verticali 2011-2016: Bologna

>Rave
nna
8-9-10
maggio 2019

Legenda



0 5 10 km



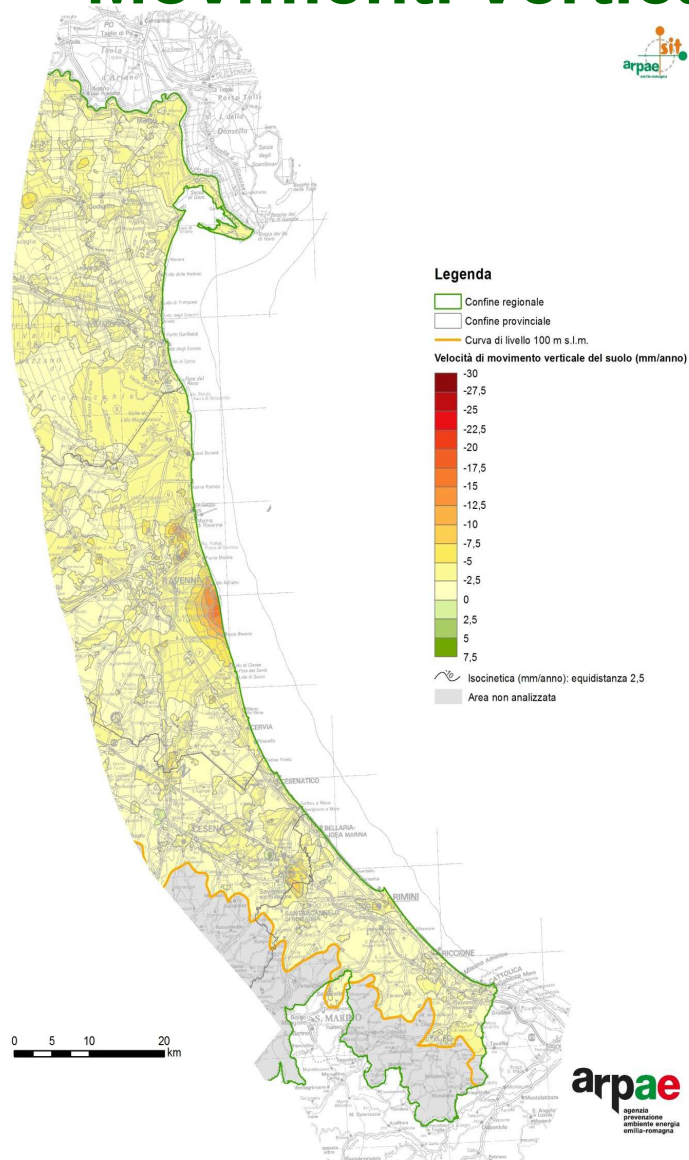
arpae
agenzia
prevenzione
ambiente energia
emilia-romagna

www.labelab.it/ravenna2019

arpae
agenzia
prevenzione
ambiente energia
emilia-romagna

Monitoraggio della subsidenza in Emilia-Romagna e tendenze in atto
Marco Marcaccio, Giacomo Zaccanti – Direzione Tecnica

Movimenti verticali 2011-2016: Costa



Località	Velocità di abbassamento nel periodo (mm/anno)					Abbassamen to totale 1984-2016 (cm)
	1984- 1987	1987-1999	1999-2005	2006-2011	2011-2016	
Cattolica	10	2	4	4	3	-12
Rimini	28	6	9	6	4	-27
Torre Pedrera	27	2	6	3	3	-17
Bellaria	36	6	8	5	2	-27
Gatteo a Mare	38	12	10	6	3	-37
Cesenatico	55	10	9	5	3	-38
Pinarella di Cervia	30	6	8	5	3	-26
Milano Marittima	35	9	10	7	5	-35
Lido di Savio	24	9	10	6	5	-30
Foce Bevano	17	8	11	11	11	-33
Lido di Dante	20	12	19	21	17	-53
Lido Adriano	23	13	15	14	11	-45
Punta Marina	21	11	10	5	4	-31
Marina di Ravenna	20	10	8	5	4	-27
Porto Corsini	24	15	13	7	8	-42
Casalborsetti	18	11	10	3	2	-27
Dosso degli Angeli	23	18	13	2	3	-40
Portogaribaldi	10	8	8	3	2	-21
Lido delle Nazioni	14	13	10	2	3	-29
Boscone della Mesola	10	11	7	5	3	-26
Goro	20	17	10	8	3	-39
Foce del Po di Goro	-	-	9	9	4	-

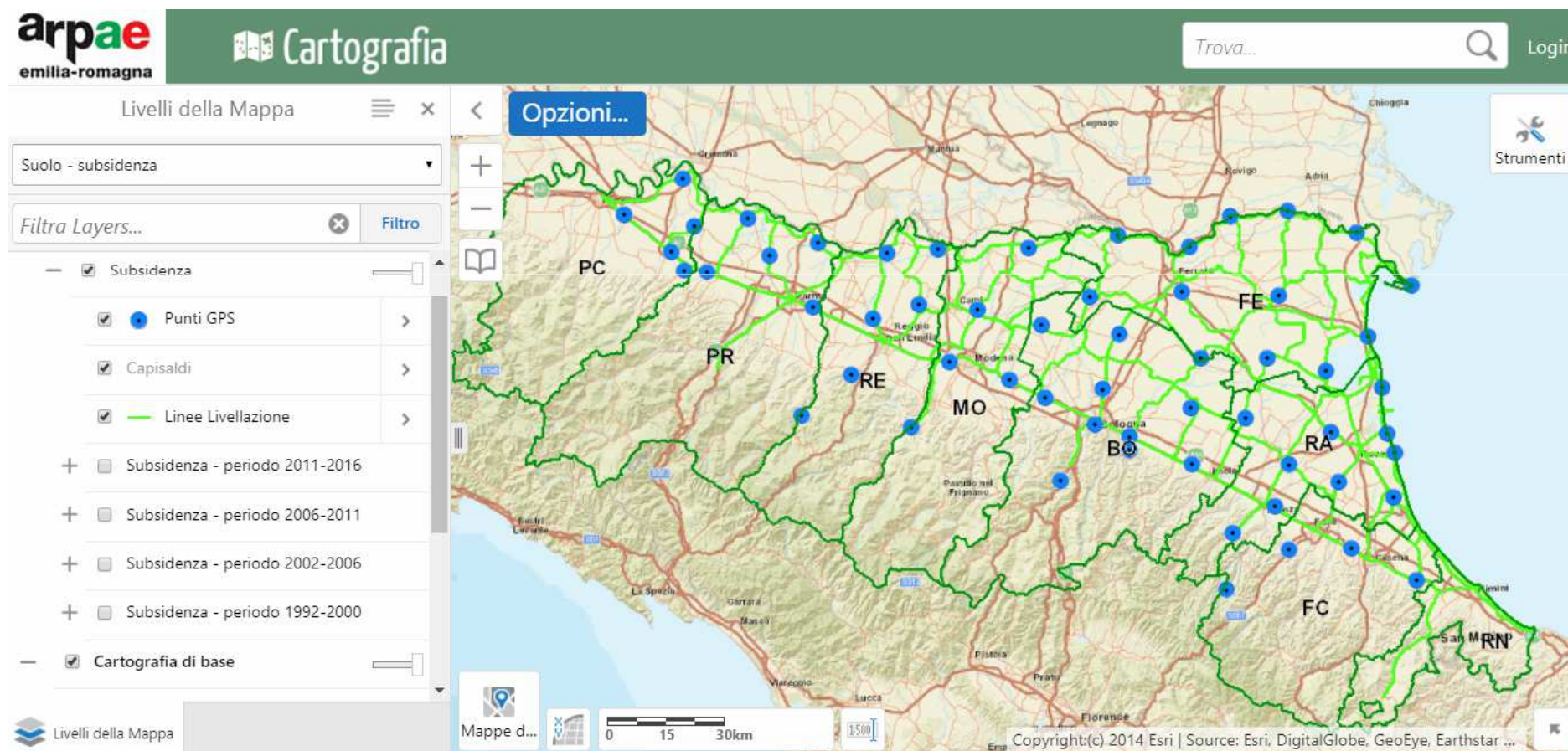
www.labelab.it/ravenna2019

Dati ed elaborazioni

Ravenna
8-9-10 maggio 2019

<https://www.arpae.it/index.asp?idlivello=1414>

<https://www.arpae.it/cartografia/>

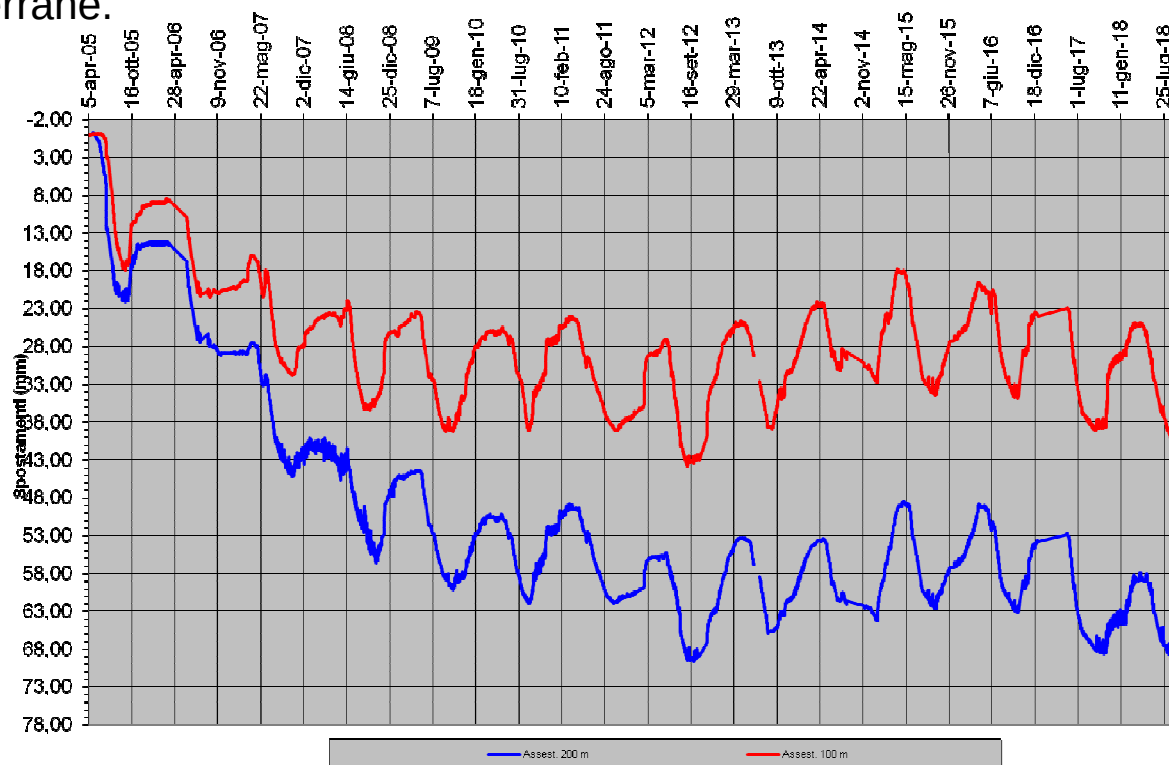
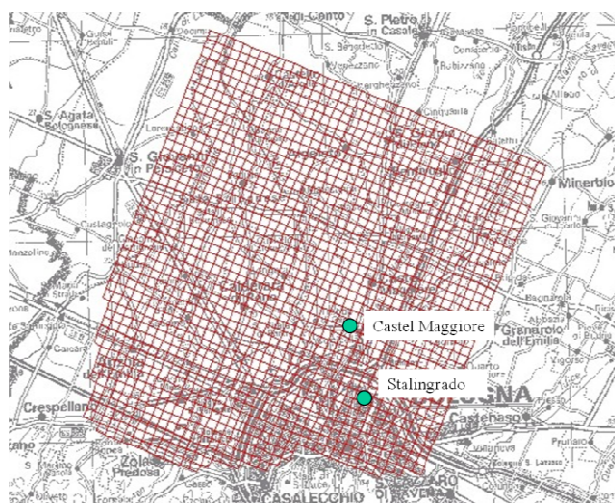


www.labelab.it/ravenna2019

Monitoraggio automatico subsidenza

Nel 2005 sono stati posizionati in comune di Castel Maggiore (BO) 2 assestimetri (prof. 100 e 200 m). Questa tipologia di monitoraggio era stata già sperimentata a Bologna in località Stalingrado negli anni '80 e attualmente viene spesso prescritta come monitoraggio nei siti dove vengono svolte attività Oil&Gas.

Il monitoraggio restituisce 2 misure al giorno e permette di ottenere la variazione verticale del suolo alle diverse profondità e fare valutazioni rispetto la velocità totale restituita dalla cartografia di subsidenza. Importanti correlazioni possono essere fatte con il monitoraggio automatico della rete regionale delle acque sotterranee.



Conclusioni

- Il monitoraggio della subsidenza nel periodo 2011-2016 ha permesso di aggiornare le conoscenze relative alle velocità di movimento verticale del suolo sull'intera area di pianura regionale, rispetto al precedente rilievo riferito al periodo 2006-2011.
- Il monitoraggio ha utilizzato l'analisi interferometrica, tramite la tecnica SqueeSAR™, con calibrazione dei risultati tramite i dati di movimento verticale di 16 stazioni permanenti GPS. Ulteriori 6 stazioni GPS permanenti sono state utilizzate per la validazione.
- Il *dataset* definitivo è stato usato per generare la carta delle velocità di movimento verticale attraverso l'interpolazione dei dati su un grigliato regolare (100x100 m). Le isocinetiche sono state elaborate con intervallo di 2,5 mm/anno.
- Dal confronto delle velocità di movimento degli ultimi 2 periodi (2006-2011 e 2011-2016) emerge che il 79% del territorio regionale non presenta variazioni di tendenza, il 18% della superficie evidenzia una riduzione della subsidenza e solo il 3% una accentuazione in zone localizzate.
- La provincia di Bologna, caratterizzata in passato dal più alto tasso di subsidenza a livello regionale, presenta un forte ridimensionamento del fenomeno, le cui ragioni sono legate principalmente alla riduzione degli emungimenti.
- Sul litorale, continua la tendenza, già manifestatasi con il precedente rilievo, ad una diminuzione della subsidenza. Il litorale ravennate presenta abbassamenti fino a circa 5 mm/anno, fatta eccezione per un'area di depressione che interessa la zona da Lido Adriano fino alla Bocca del T. Bevano, con un massimo di oltre 15 mm/anno in corrispondenza della foce dei Fiumi Uniti.
- Il monitoraggio automatico della subsidenza permette di valutare l'evoluzione del fenomeno con la profondità e quindi verificare gli effetti sulla subsidenza delle variazioni dei livelli di falda attraverso le misure della rete regionale di monitoraggio delle acque sotterranee.

www.labelab.it/ravenna2019

Subsidenza e gestione del territorio

Monitoraggio della subsidenza in
Emilia-Romagna e tendenze in atto

Marco Marcaccio - Giacomo Zaccanti

mmarcaccio@arpae.it - gzaccanti@arpae.it

Arpae Emilia-Romagna

Direzione Tecnica

Fare i conti
con l'ambiente
Rifiuti acqua energia

>Rave
nna
8-9-10
maggio 2019

Grazie per l'attenzione

www.labelab.it/ravenna2019

arpae
agenzia
prevenzione
ambiente energia
emilia-romagna

