



Monitoraggio del territorio mediante stazioni GNSS permanenti

Nicola Cenni

Sezione di Geologia

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e
dell'Ambiente

Università degli Studi di Bologna



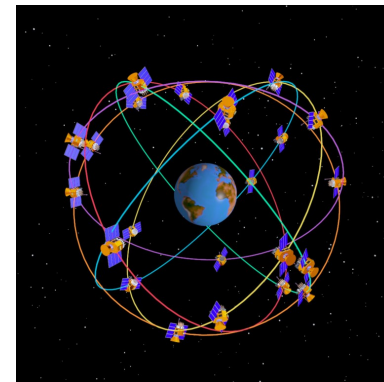
L'acronimo GNSS, ovvero Global Navigation Satellite Systems, indica l'insieme di tutte le costellazioni di satelliti artificiali utilizzate per stimare la posizione di un punto sulla superficie terrestre con elevata precisione.

- **G.P.S.** = Global Position System (U.S.A.)
- **Glonas** = GLObal'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (ex- U.R.S.S. - Federazione Russa)
- **Compass** = Repubblica Popolare Cinese
- **QZSS** = Giappone
- **IRNSS** = India
- **Galileo** = Comunità Europea.

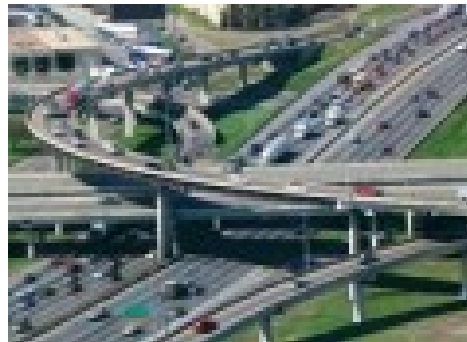


Ciascuno dei sistemi di posizionamento satellitare può considerarsi composto da **tre** differenti segmenti:

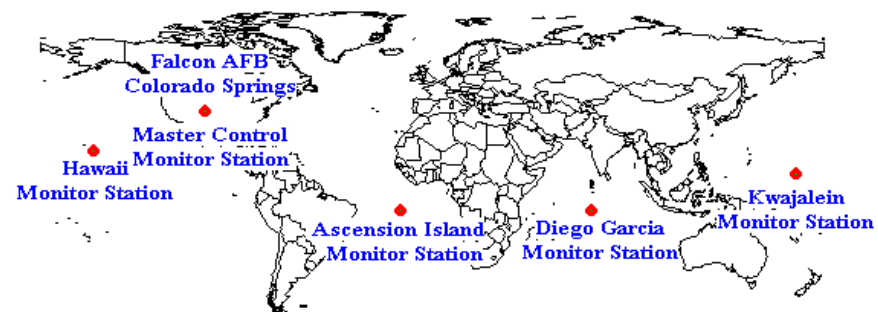
✓ spaziale formato dai **satelliti** in orbita



✓ **Utenti**



✓ **controllo** a terra, che si occupa del buon funzionamento del sistema e di fornire le orbite dei satelliti e tutti gli altri parametri necessari per il calcolo delle posizioni.



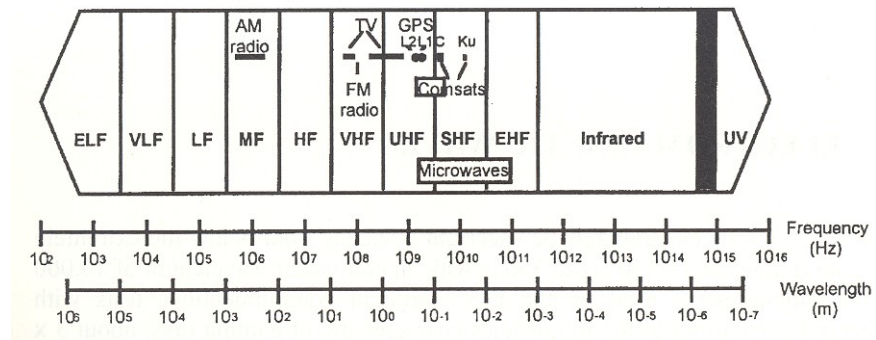
Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

Peter H. Dana 5/27/95



Il segnale **GPS** è composto da 3 parti fondamentali:

- **Fasi** costituite da 2 segnali sinusoidali chiamati L1 (15472.42 Mhz) e L2 (1227.60 Mhz).



- **Codici** alfanumerici chiamati C/A e P
- **Messaggio** contenente insieme a molte altre informazioni anche i parametri 'predetti' (effemeridi) che consentono di modellare l'orbita di ciascun satellite.

Più segnali si utilizzano maggiore è la precisione con cui si stima la posizione del punto e maggiori sono anche i tempi di calcolo e la loro complessità.



Un sistema di posizionamento satellitare è progettato per conoscere in ogni istante la posizione di un punto sul nostro pianeta.

Qualsiasi sia il sistema utilizzato il principio per il posizionamento è il medesimo:

la posizione di un punto sulla superficie terrestre viene stimata a partire dalla misura del tempo intercorso tra il momento in cui un particolare segnale radio viene inviato da un satellite e il momento in cui viene captato dall'antenna ricevente.



La precisione del sistema GPS è data dall'utilizzo di orologi atomici e dalla possibilità di sincronizzarli tra loro.

La misura GPS è una misura indiretta della posizione.

Partendo dalla misura del ***tempo*** che il segnale ha impiegato per raggiungere l'antenna ricevente è possibile stimare la distanza che separa l'antenna dal satellite ricostruendo il percorso seguito dal segnale GPS.



Le effemeridi dei satelliti:

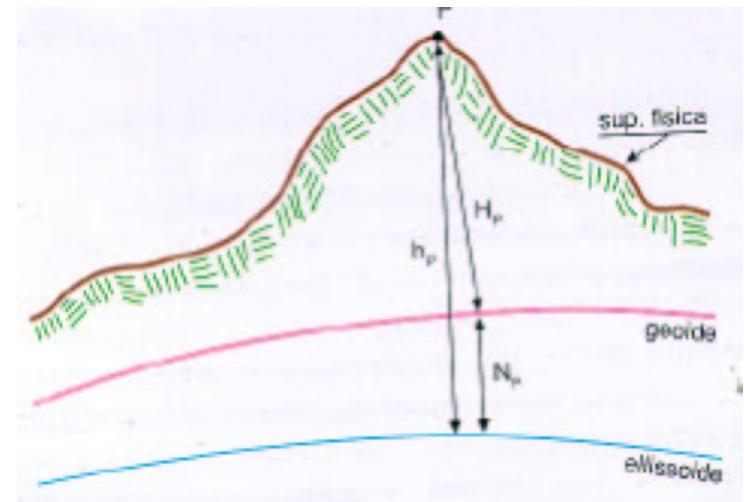
Insieme dei parametri necessari per ricostruire l'orbita dei satelliti e sapere in ogni istante dove si trovano.

Tipo	Incertezza	Disponibilità	
Predette	200 cm	Tempo reale	Trasmesse Calcolate dal segmento di controllo (IGS)
Ultrarapide	5 cm	6 ore	
Rapide	3 cm	Giornaliero	
Finali	< 3 cm	14 giorni	



Il sistema di riferimento GPS:

- ➔ La forma del pianeta viene modellata utilizzando l'ellissoide geocentrico **WGS84** (World Geodetic System 1984).
- ➔ Il sistema di riferimento ufficiale del GNSS è l'ITRS (International Terrestrial Reference System).
- ➔ Le effemeridi dei satelliti sono espresse in questo sistema di riferimento, da qui anche le posizioni dei punti sono nel medesimo riferimento.
- ➔ L'ellissoide è una superficie matematica non reale a differenza del geoide che è una superficie reale, per questo motivo le quote fornite dal GNSS non sono quote reali.





Il sistema di riferimento GPS:

Il sistema di riferimento ITRS – ITRF viene calcolato a partire dalla misure eseguite dai tre principali metodi di osservazione geodetica:

- VLBI: Very Long Baseline Interferometry
- SLR: Satellite Laser Ranging
- GNSS: Global Navigation Satellite System.

L'International Earth Rotation Service (IERS) è una commissione internazionale incaricata di stimare periodicamente i parametri del sistema di riferimento ITRS utilizzando le osservazioni acquisite e di pubblicare le nuove realizzazioni, che prendono il nome di **ITRF_{yy}**. ITRF sta per International Terrestrial Reference FRAME, mentre yy indica l'anno di pubblicazione della stima (ITRF08).



Il sistema di riferimento GPS:

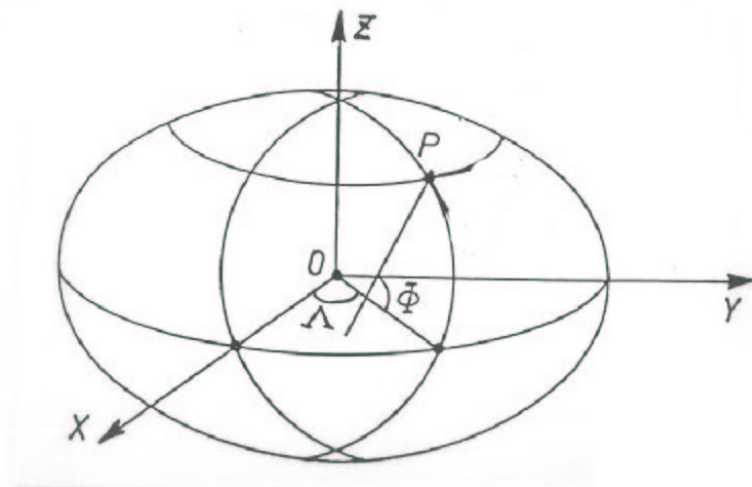
L'ellissoide WGS84 non coincide con quello utilizzato per la cartografia ufficiale nazionale che è quello di Hayford orientato localmente sul vertice di Roma Monte Mario.

Parametri	Hayford	WGS84
Semiasse maggiore	6378388 m	6378137 m
Eccentricità	$6.722670022 \cdot 10^{-3}$	$6.694379990 \cdot 10^{-3}$



Il sistema di riferimento GPS:

- **Cambiamento di sistema di riferimento (o di Datum):** è quando si passa da un ellissoide di riferimento ad un altro.
- **Trasformazione di coordinate:** all'interno di uno stesso sistema di riferimento (ad esempio WGS84) si passa ad esempio da coordinate cartesiane (X, Y, Z) prive di significato fisico a delle coordinate geografiche (longitudine, latitudine e quota).





La **precisione** con cui viene misurata la posizione di un punto sulla superficie terrestre mediante la tecnica GNSS dipende da:

- **Segnale acquisito** (codice e/o fase)
- **La qualità delle effemeridi** (predette, ... precise)
- **Tecnica del rilievo**
- **Durata del rilievo.**
- **Modalità del posizionamento**
- **Trattamento dati**



Le tecniche di rilievo GNSS si possono suddividere in:

- × **Statico:** l'antenna ricevente rimane posizionata sul punto monitorato per lungo tempo (da qualche giorno ad anni).
- × **Rapido Statico:** l'antenna ricevente rimane posizionata sul punto monitorato per un periodo di tempo breve (da pochi minuti a qualche ora).
- × **Cinematico:** l'antenna ricevente è in movimento, in pratica rimane posizionata sul punto monitorato per pochi secondi.



Il *posizionamento* GPS può avvenire seguendo **strategie** diverse :

→ **Assoluto**: viene utilizzato **un solo ricevitore**.

→ **Relativo**: vengono utilizzati almeno **due ricevitori** e determinate le componenti del vettore (*baseline*) che unisce due punti. In questo caso sono necessarie misure simultanee nei due punti.



Posizionamento Assoluto (1 ricevitore):

Si può eseguire utilizzando sia le osservazioni di codice che quelle di fase.

Secondo una regola empirica la precisione di una misura eseguita mediante la trasmissione di segnali può essere stimata come l' 1% della lunghezza d'onda λ del segnale:

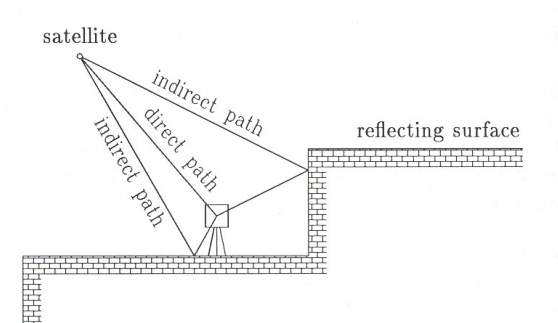
- Codice C/A: precisione = $0.01\lambda = 0.01 \cdot 300 \text{ m} = \pm 3 \text{ m}$
- Codice P: precisione = $0.01\lambda = 0.01 \cdot 30 \text{ m} = \pm 0.3 \text{ m}$
- Portanti L1 e L2: precisione = $0.01\lambda = 0.01 \cdot 0.2 \text{ m} = \pm 0.002 \text{ m}$

Purtroppo queste precisioni sono solo **teoriche** in quanto si devono considerare diverse fonti di errore.



Possibili fonti di errore nelle misure di **posizionamento assoluto**

- **Errori d'orologio dei satelliti e dei ricevitori accidentali:** possiamo dividere questo tipo di errore in due categorie: *asincronismo*, cioè la traslazione temporale dell'origine dei tempi tra gli orologi dei satelliti e quelli dei ricevitori e la *deriva* nel tempo di uno o più orologi dovuta ad un loro malfunzionamento.
- **Errori d'orbita:** errori sulla conoscenza precisa delle orbite dei satelliti, questo tipo di errore si ripercuote direttamente sulle coordinate da determinare della posizione dell'antenna perché come presupposto si ha la conoscenza precisa (almeno un centinaio di metri) delle effemeridi dei satelliti.
- **Errore di multipercorso o *multipath*:** si ha quando il segnale arriva all'antenna in maniera indiretta perchè riflesso da superfici metalliche.





Possibili fonti di errore nelle misure di posizionamento assoluto

- **Rifrazione troposferica:** la rifrazione del segnale GPS nella parte “bassa” dell’atmosfera (0-40 Km) definita *troposfera* provoca un ritardo (*ritardo troposferico*) nella trasmissione del segnale, per cui la misura della distanza satellite-antenna risulta essere sistematicamente più lunga. Il ritardo troposferico è indipendente dalle frequenze ed è dunque identico per le portanti L1 e L2. Dipende da parametri atmosferici e dall’elevazione sull’orizzonte del satellite. Poiché il ritardo troposferico aumenta notevolmente quando l’elevazione è inferiore a 15° , è consigliabile non acquisire dati con elevazioni inferiori.
- **Rifrazione ionosferica:** anche nella parte “alta” dell’atmosfera (40-100 Km), definita ionosfera, il segnale GPS viene rifratto, in questo caso però gli errori legati a questa rifrazione dipendono dalla frequenza del segnale e sono dunque diversi per le portanti L1 e L2. È possibile eliminare l’effetto del ritardo ionosferico mediante un’opportuna combinazione dei segnali presenti sulle due portanti.



Posizionamento Assoluto

Tipo di errore	Errore introdotto
Errori di orologio: •Satellite (con parametri di correzione) •Ricevitore	5÷10 m 10÷100 m
Errori d'orbita: • effemeridi predette (<i>broadcast</i>) • effemeridi a posteriori "precise"	20÷40 m 3÷5 m
Errori di rifrazione: • ionosferica • troposferica	20÷50 m 2÷10 m

Le tecniche di posizionamento assoluto sono affette da errori di varia natura che portano ad una precisione insufficiente per applicazioni di tipo scientifico e topografico. Per raggiungere precisioni più elevate si deve dunque utilizzare tecniche "differenziali", dove si considerano contemporaneamente due o più stazioni.



Posizionamento relativo

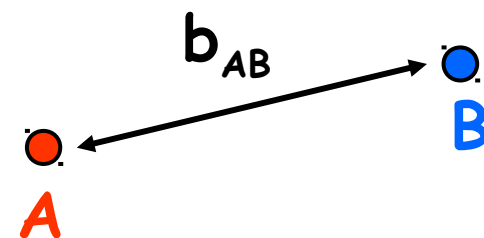
L'utilizzo di una tecnica differenziale per il posizionamento di un punto permette di stabilire la sua posizione rispetto ad un altro punto.

Nel posizionamento relativo, l'obiettivo è la determinazione delle componenti del vettore, definito "*baseline*" che unisce i due punti.

Il posizionamento relativo con le misure GPS è possibile solo a patto che siano state eseguite misure **simultanee** su almeno due punti.

Il posizionamento relativo può essere fatto utilizzando sia con le misure di codice che le misure di fase.

La maggior parte dei programmi di trattamento dei dati GNSS utilizzano queste combinazioni per i loro calcoli.





Posizionamento relativo - Misure Statiche

I due o più ricevitori stazionano sui punti da monitorare per un periodo di tempo che va da pochi giorni a diversi anni.

Passo di campionamento superiore al secondo (30/15 secondi).

Distanze tra le stazioni da pochi Km a centinaia di Km.

Misure di codice e fase elaborate solitamente in “*post-processing*” mediante programmi scientifici o commerciali.

Utilizzo:

- **Studi tettonici.**
- **Monitoraggio di fenomeni su scala locale/regionale (subsidenza)**
- **Monitoraggio di fenomeni di dissesto idrogeologico (frane).**
- **Monitoraggio di opere antropiche (dighe, discariche).**

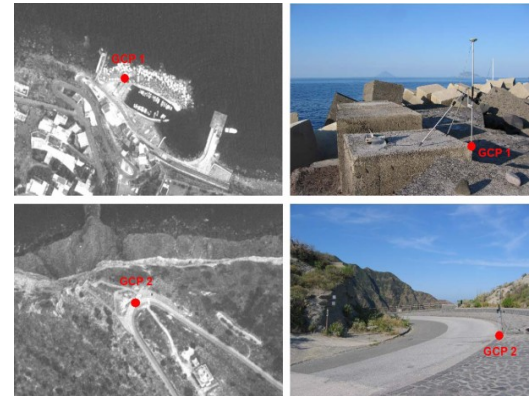


Posizionamento Relativo - Misure Rapido-Statiche

La misura viene eseguita su punti artificiali o naturali ben identificabili per un periodo di tempo che va da **alcuni minuti a poche ore**.

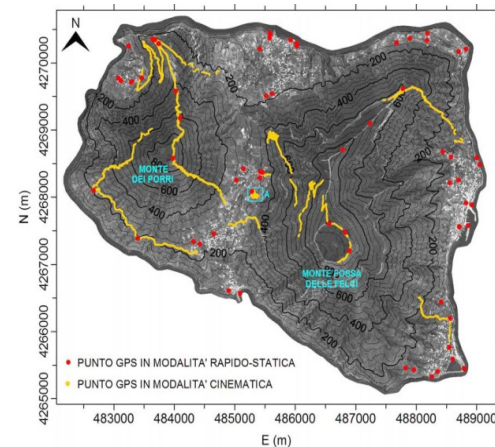
Passo di campionamento ≤ 15 secondi.

Distanze tra le stazioni pochi Km o centinaia di metri.



Utilizzo:

- Monitoraggio di fenomeni di dissesto idrogeologico.
- Monitoraggio di opere antropiche (dighe, discariche).
- Supporto ad altre tecniche (fotogrammetria).





Posizionamento relativo – Misure Cinematiche

Uno o più ricevitori sono in continuo movimento e almeno un ricevitore è posizionato fermo in un punto.

Passo di campionamento 1 secondo o inferiore .
Distanza tra le stazioni < 10 Km.



Misure di fase e di codice elaborate in in tempo reale (Virtual Reference Station o RTK) oppure in post-processing.

Utilizzo:

- **Monitoraggio di fenomeni di dissesto idrogeologico (frane).**
- **Monitoraggio di opere antropiche (dighe, discariche).**
- **Rilievo professionale.**



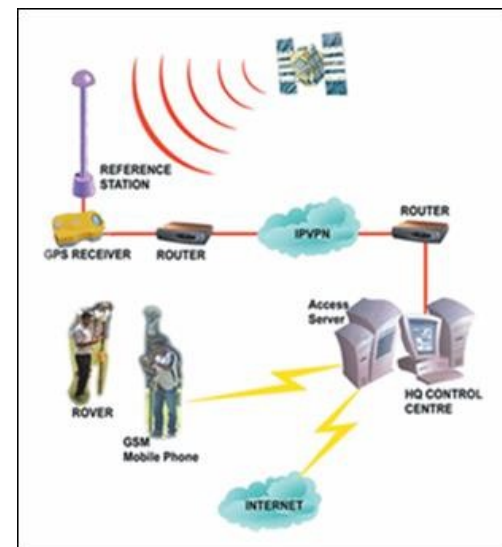


Posizionamento relativo – Misure Cinematiche

❑ **RTK (Real Time Kinematic):** due ricevitori: master e rover. Il master invia le diverse informazioni necessarie per il 'calcolo' in tempo reale della baseline al rover in movimento.



❑ **VRS (Virtual Reference Station):** utilizza un solo ricevitore, ma non è un posizionamento assoluto, è **relativo in tempo reale**. Le diverse informazioni necessarie per il calcolo in tempo reale vengono inviate da un apposito centro di calcolo a cui si deve essere costantemente collegati durante il rilievo. Il centro di calcolo in pratica crea un master virtuale vicino alla zona in cui si esegue il rilievo.





Tipo di Rilievo	Strategia	Osservabile	Precisione
Cinematico tempo reale	Assoluto	Codice	metri
Statico Post elaborazione	Assoluto	Fasi	Diversi cm
Cinematico tempo reale	Relativo	Codice	Metro
Cinematico tempo reale	Relativo (RTK, VRS)	Fasi	<10 cm
Cinematico Post elaborazione	Relativo	Fasi	Alcuni cm
Rapido Statico Tempo reale	Relativo	Fasi	Alcuni cm
Rapido Statico post elaborazione	Relativo	Fasi	Alcuni cm
Statico (1h) Post elaborazione	Relativo	Fasi	Dell'ordine del cm
Statico (>8 h)	Relativo	Fasi	< 1 cm



Posizionamento relativo - Misure Statiche

I due o più ricevitori stazionano sui punti da monitorare per un periodo di tempo che va da pochi giorni a diversi anni.

- **Stazioni Permanenti (CGPS)** la misura viene eseguita 24 ore su 24 e in tutti i giorni dell'anno, solitamente con un passo di campionamento di 30 secondi.
- **Campagne di misura:** la misura viene eseguita solo per un periodo di tempo che può andare da alcune ore a diverse settimane durante l'anno (passo di campionamento 30 secondi).

Le osservazioni (fase e codice) sono analizzate mediante programmi sviluppati sia in ambito scientifico (Bernese, Gamit-Globk, Gipsy) che commerciale.

Precisione raggiungibile nel posizionamento: **alcuni millimetri.**



STAZIONI PERMANENTI (CGPS Continuous GPS):

L'antenna è installata in modo permanente o su roccia oppure su edificio, osservano 24h con un passo di campionamento variabile (da 1 a 30 sec).

- **Stazioni scientifiche:** utilizzate per il monitoraggio tettonico e di fenomeni geologici e geofisici regionali/locali. Particolare attenzione nella scelta del punto ove installarla e nella scelta del supporto per l'antenna.



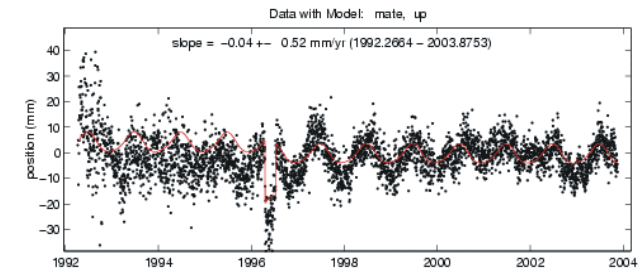
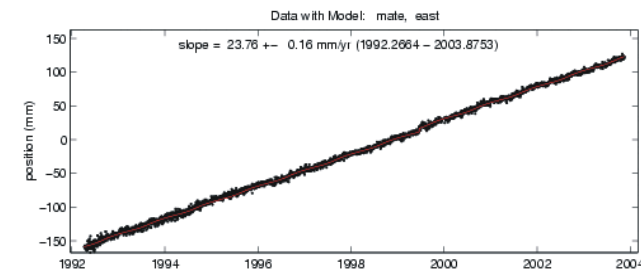
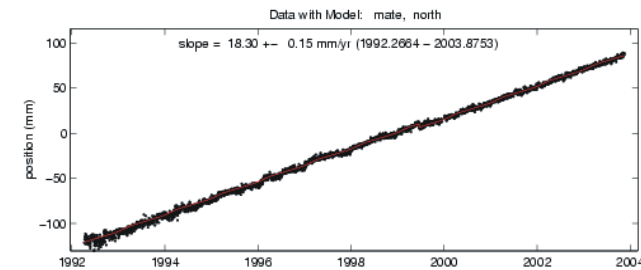
- **Stazioni commerciali:** sono utilizzate come indispensabile infrastruttura di supporto per il posizionamento in tempo reale (VRS). Supporto antenna di basso costo (staffa), poche attenzioni nella scelta del punto ove installare la stazione.





Stazioni Permanenti (CGPS Continuous GPS):

- x Osservazioni giornaliere (24h) con passo di campionamento 30 secondi (2880 osservazioni).
- x Per ogni giorno di osservazione i programmi di elaborazione determinano 1 posizione. In alcuni casi vengono stimate posizioni settimanali della stazione a partire da quelle giornaliere, in questo caso si avranno solo 54 punti in un anno rispetto ai 365 del caso delle posizioni giornaliere.
- x La posizione viene data nel sistema di riferimento ITRFyy (WGS84) utilizzando le coordinate geografiche (Nord, Est e Quota).
- x Serie temporali giornaliere delle 3 componenti.

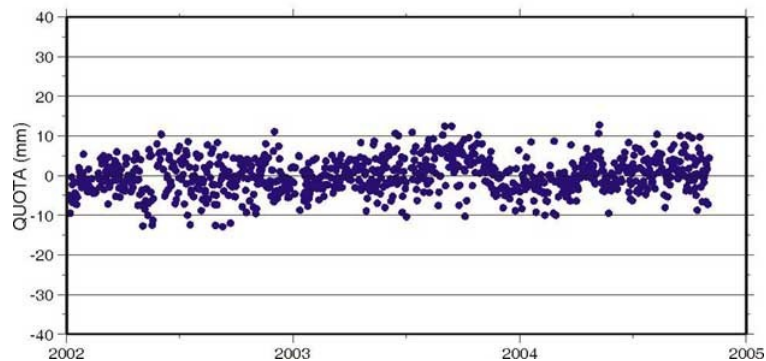
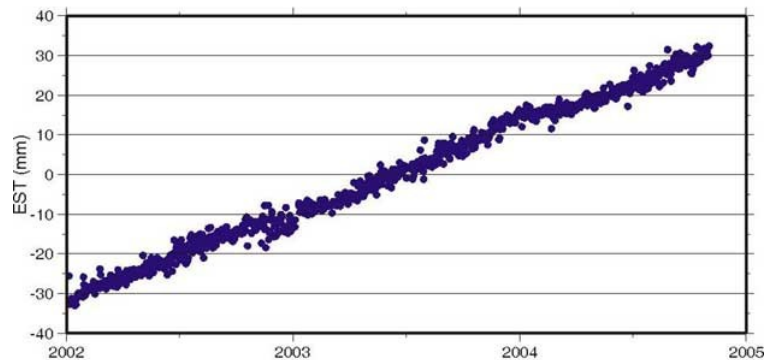
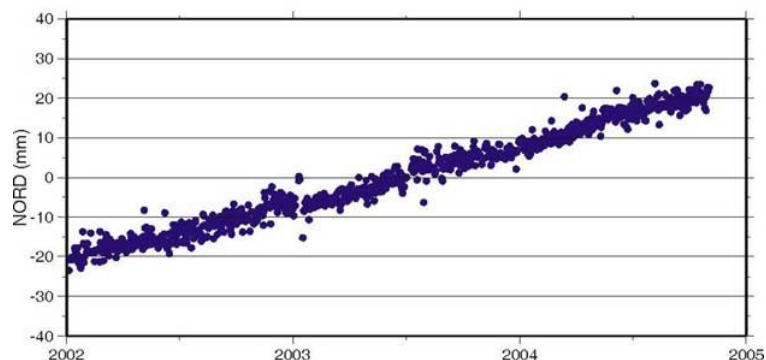




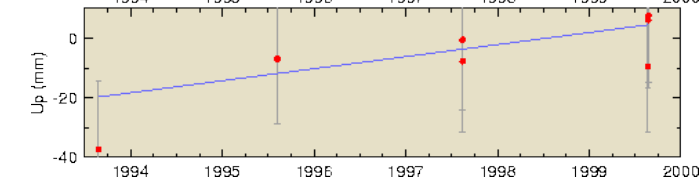
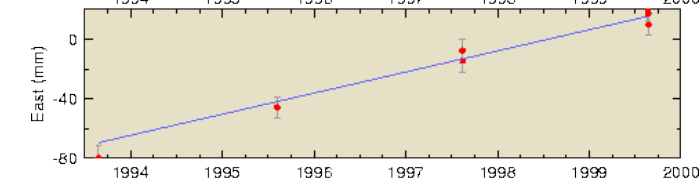
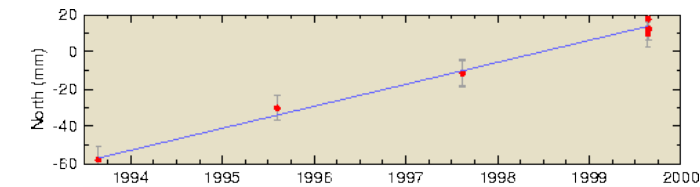
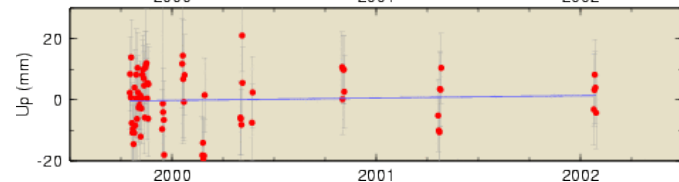
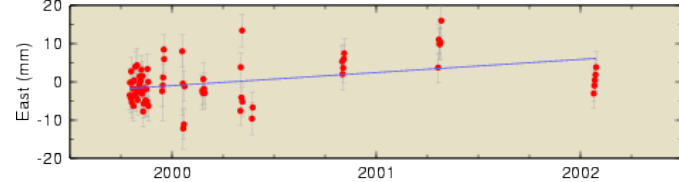
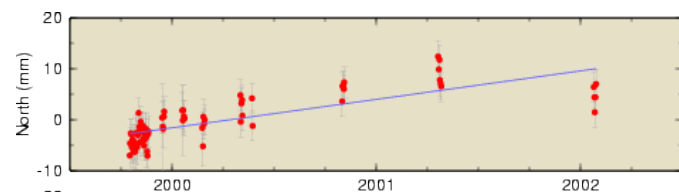
Confronto risultati stazioni permanenti – Campagne di misura

Stazioni Permanenti

BRAS



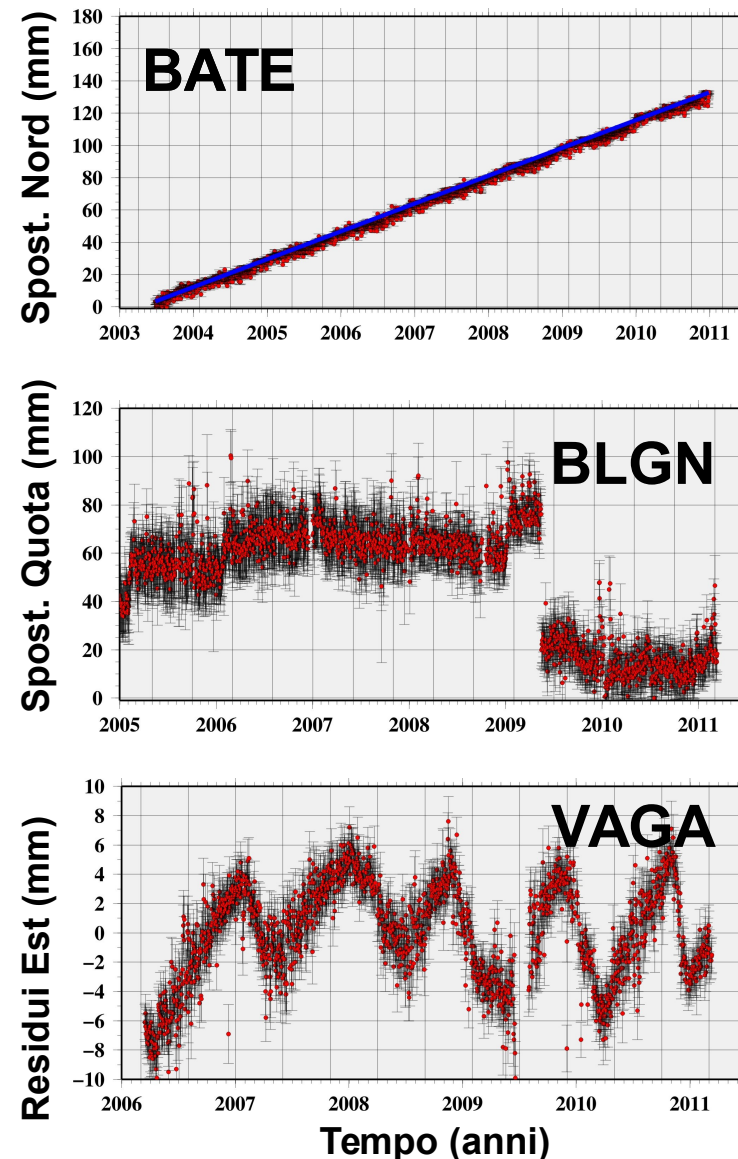
Campagne di Misura





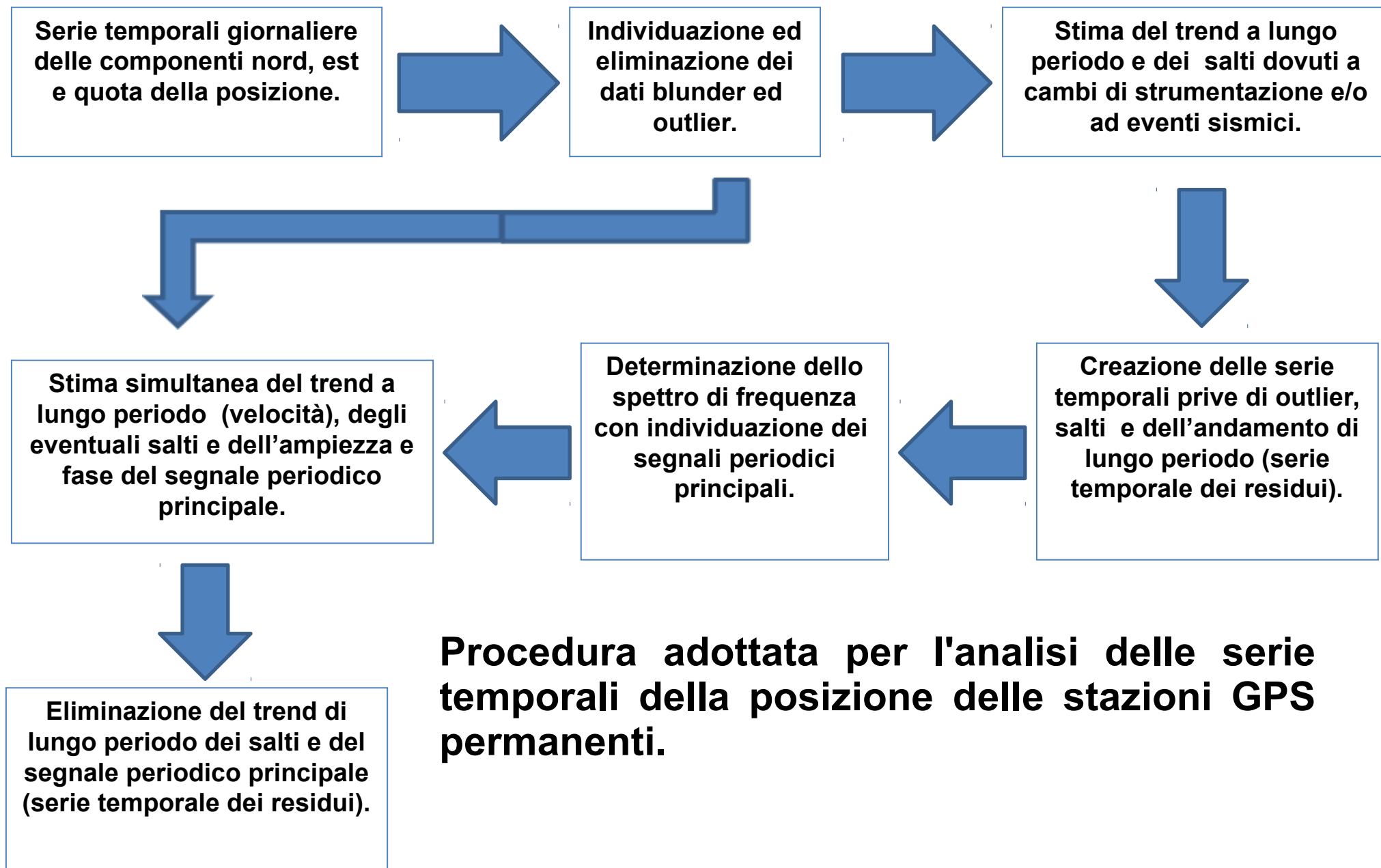
Serie temporale della posizione di una stazione GPS permanente:

- **Spostamento** che ipotizziamo sia lineare nel tempo, questo significa che la pendenza della retta che meglio approssima la serie temporale dei dati è la velocità con cui il punto si sposta.
- **Salti** prodotti da interventi di manutenzione o terremoti.
- **Segnali periodici** dovuti o a fenomeni geologici e geofisici (esempio scarica e ricarica di una falda, precipitazioni) oppure a una non completa modellazione di alcuni processi che interagiscono con la propagazione del segnale GPS (esempio: ritardo troposferico ed ionosferico, moto del polo terrestre).
- **Segnali non periodici** (cambi di velocità?).





Stazioni Permanenti (CGPS Continuous GPS):



Procedura adottata per l'analisi delle serie temporali della posizione delle stazioni GPS permanenti.



Incertezza sulla stima della velocità

Per la teoria dei minimi quadrati l'incertezza sulla stima della velocità è data da:

$$\sigma_v^2 = \frac{N \sum_{i=1}^N (y_i - a - bx_i)^2}{(N-2)N \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}$$

Questa stima all'aumentare del numero N di dati tende ad un numero molto piccolo, questo significa che teoricamente è possibile conoscere le velocità delle 3 componenti con grande precisione.

Esistono però diverse sorgenti di disturbo nelle serie temporali (rumore correlato nel tempo) che rendono purtroppo questa stima irrealistica e il metodo di calcolo molto più complesso e oggetto di continui studi.

Attualmente questi studi dimostrano che le reali stime di incertezza sono mediamente da 5 a 10 volte più alte delle semplici incertezze statistiche.

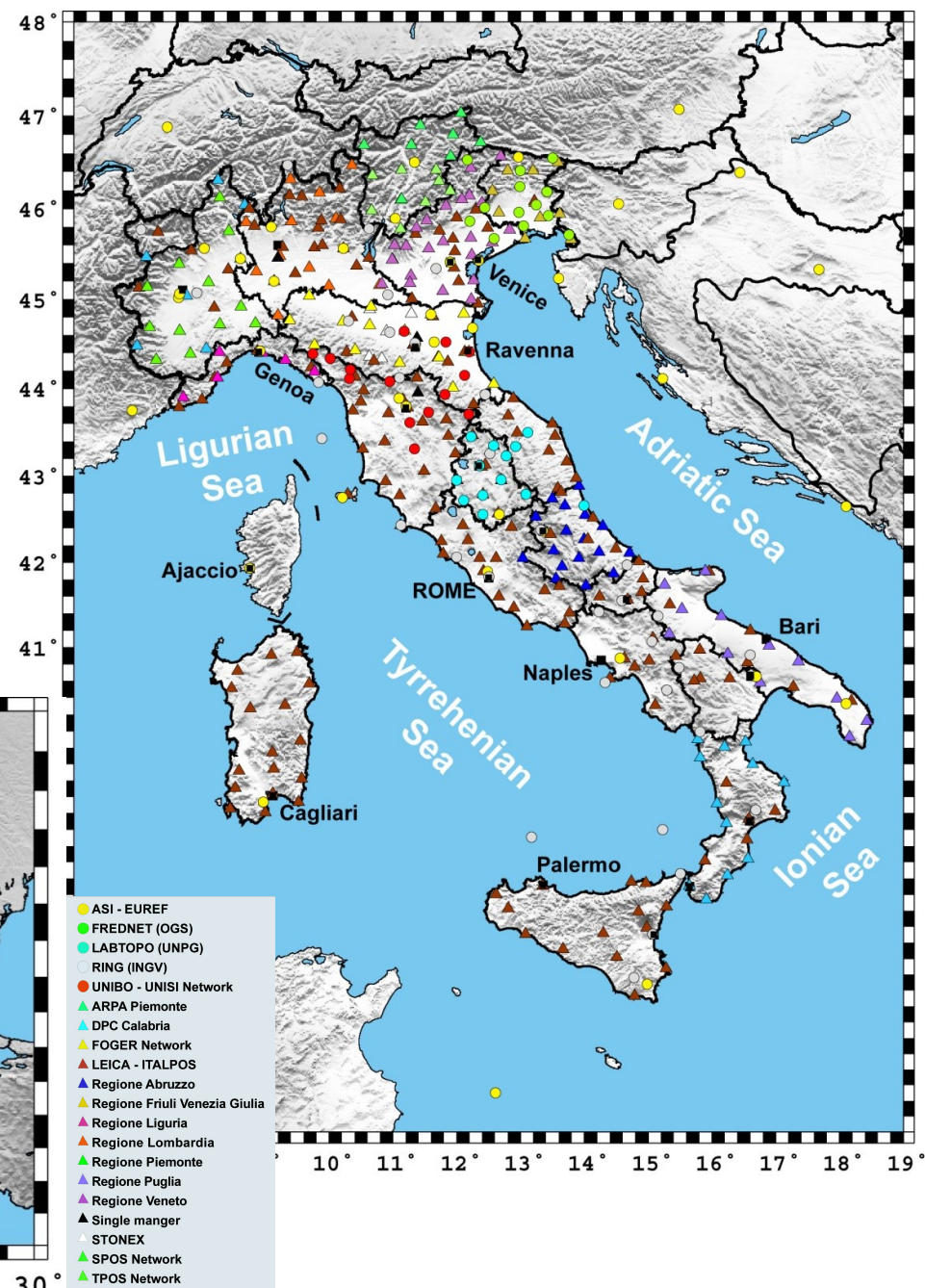
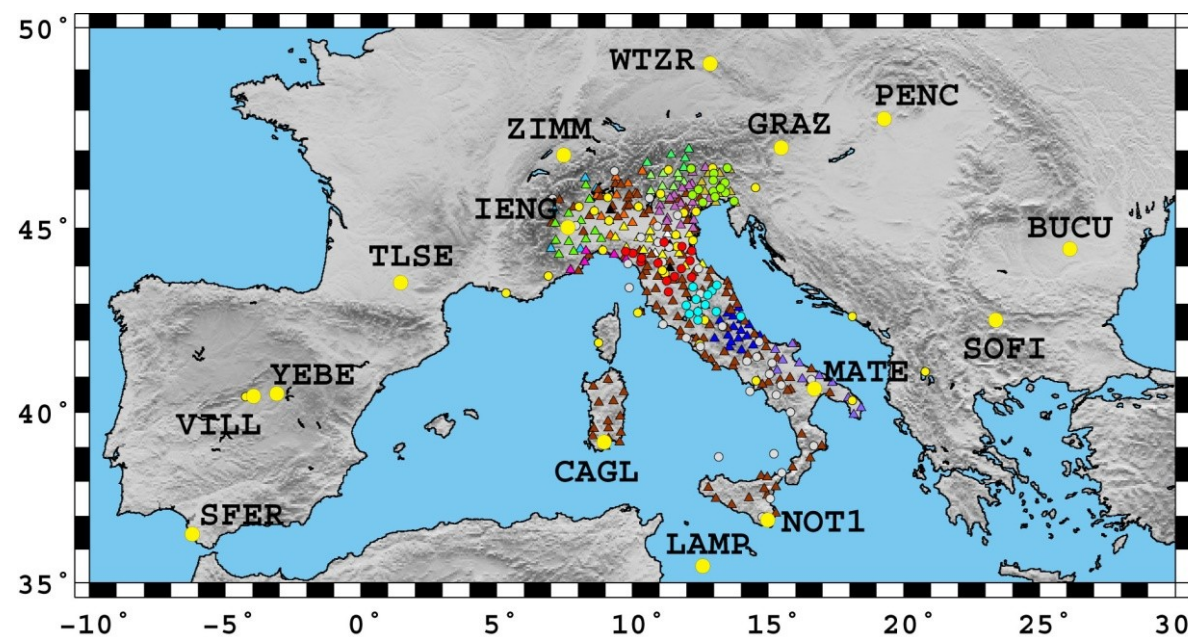
Incertezza posizione giornaliera = qualche mm.

Incertezza velocità = ~1 mm/anno (T > 2 anni, dipende dalla lunghezza della serie temporale T e)



Monitoraggio del territorio:

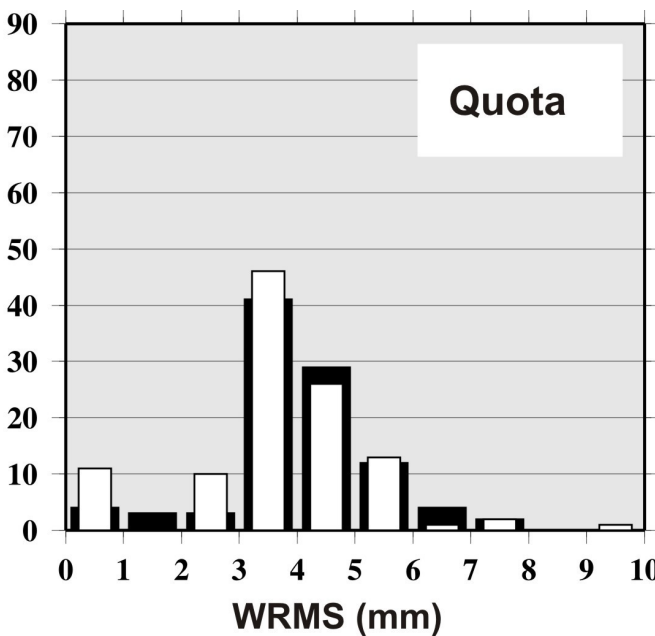
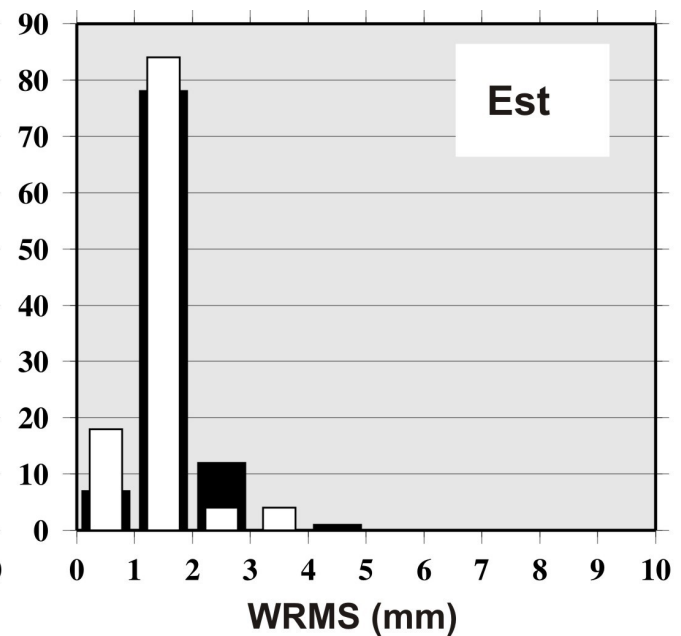
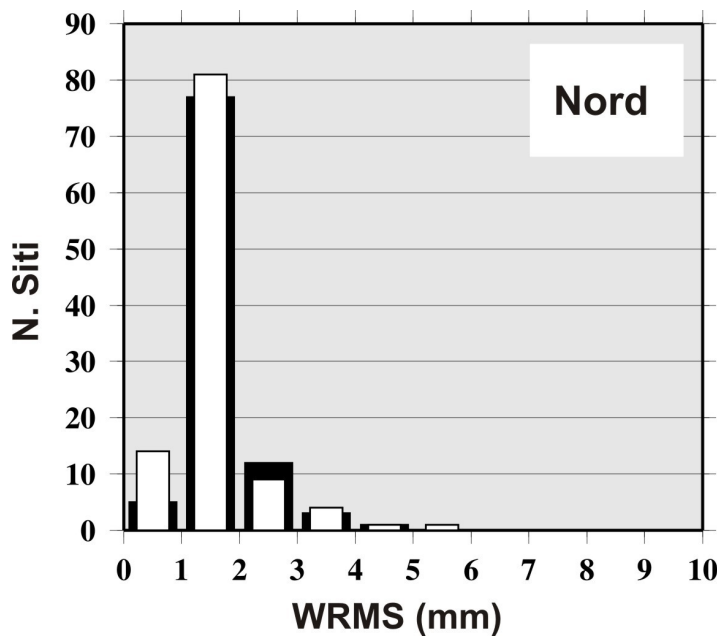
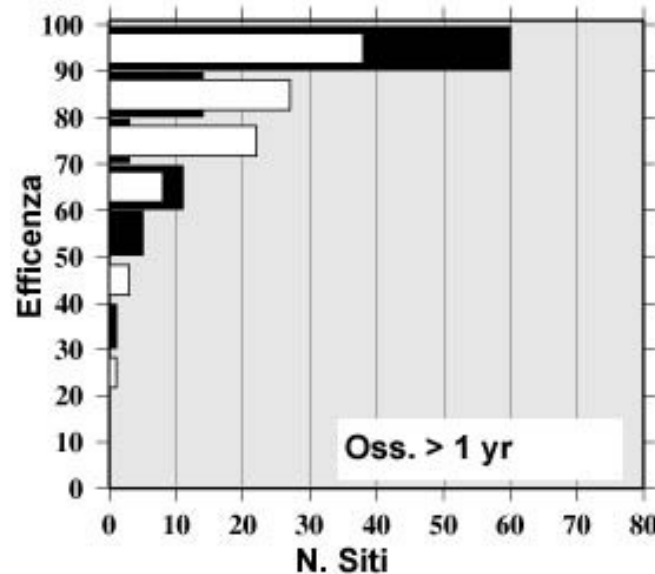
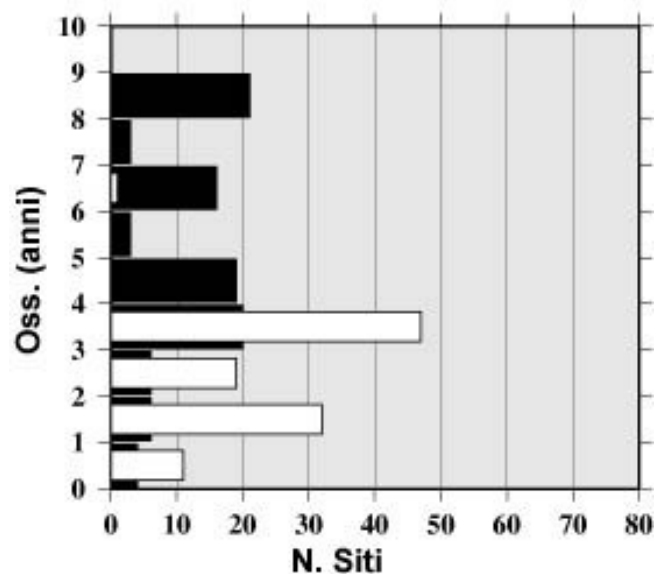
~ 500 Stazioni permanenti GPS
permanenti (scientifiche e
commerciali) attive.





Uso delle stazioni commerciali per il monitoraggio scientifico del territorio:

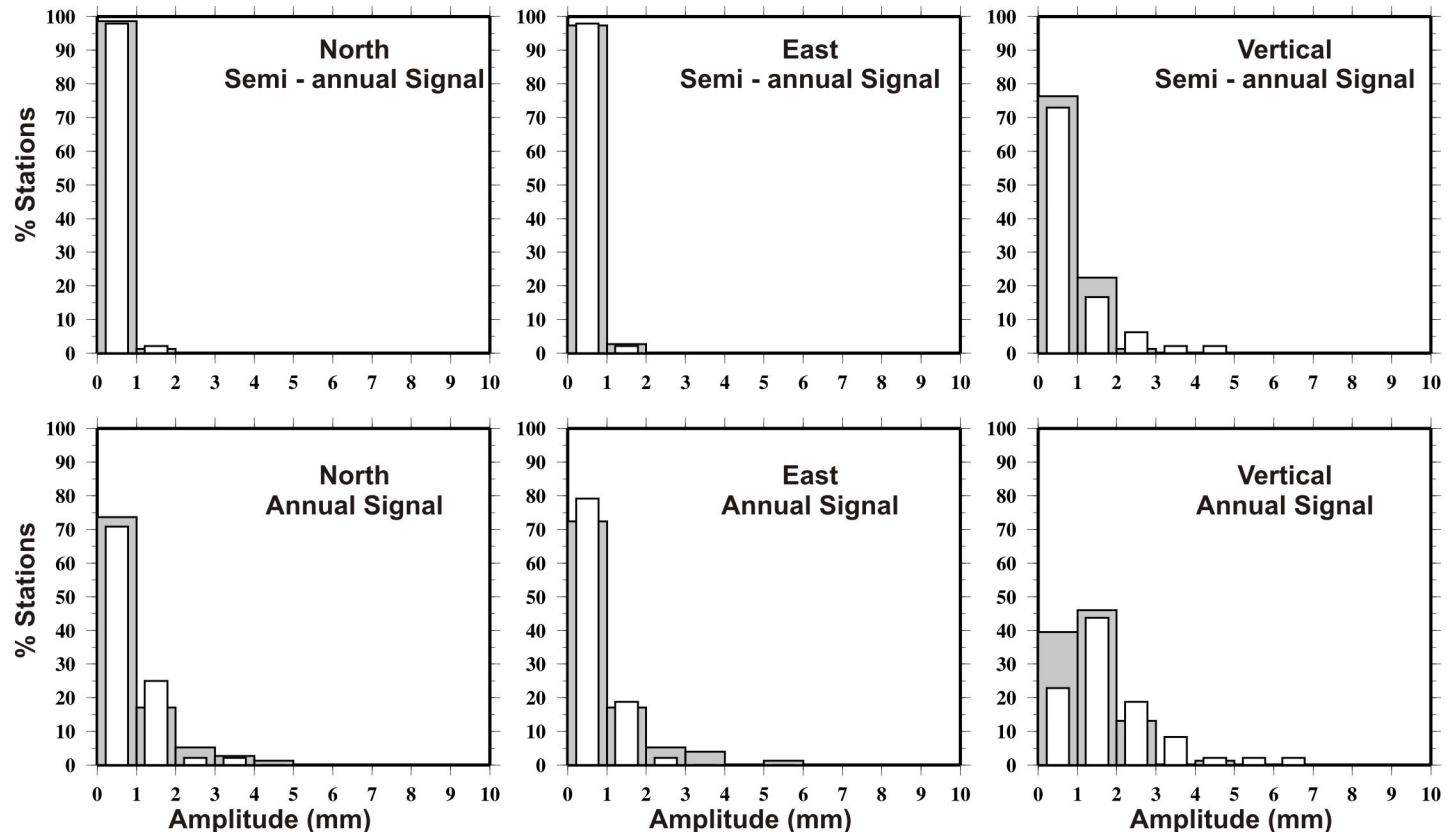
Nero = scientifiche
Bianco = commerciali





Uso delle stazioni commerciali per il monitoraggio scientifico del territorio:

Grigio = scientifiche
Bianco = commerciali



Baldi P., Casula G., Cenni N., Loddo F., Pesci A., 2009. GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy). Earth Planet. Sci. Lett., doi:10.1016 /j.epsl.2009.09.023.

Baldi P., Casula G., Cenni N., Loddo F., Pesci A. and Bacchetti M., 2011. Vertical and horizontal crustal movements in Central and Northern Italy. Boll.Soc.Geol.It. (Ital. J. Geosci.), 52 n.4 pp. 667-685.



Spostamento orizzontale (componenti Nord ed Est) della posizione di una stazione GPS permanente può considerarsi composto da:

- **Movimento della placca tettonica** su cui è installa la stazione (Italia da ~18 mm/anno per la componente nord e ~22 mm/anno per la componente Est).
- **Movimento tettonico regionale/locale**, cioè il punto della crosta terrestre monitorato ha un movimento non nullo regionale/locale rispetto agli altri punti che risiedono sulla medesima placca. Questo avviene soprattutto in aree dove vi è la collisione tra due o più placche tettoniche (Italia, collisione Africa – Eurasia – Anatolia movimenti ~ qualche mm/anno)
- **Fenomeni geologici, geofisici e climatici regionali/locali.**
- **Accelerazioni dovuti a terremoti e ...?**



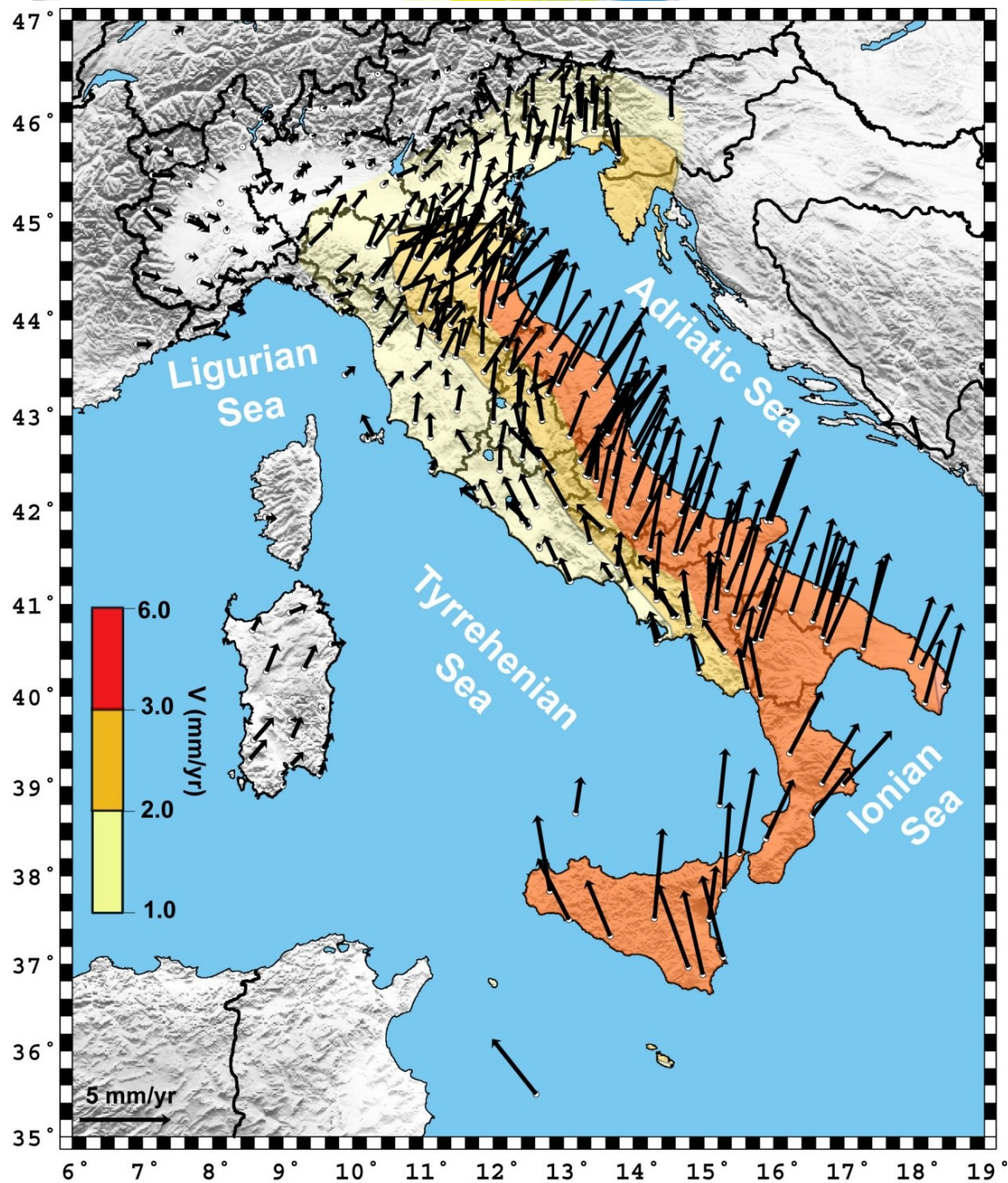
**Movimenti orizzontali (Nord -Est)
 'residui' rispetto alla placca
 Euroasiatica.**

**419 Stazioni
 con periodo
 di osservazione ≥ 2 anni
 2001-2013**

☐ **ITRF 2008**

☐ ***Moto della placca Euroasiatica
 modellato utilizzando il polo di
 rotazione proposto da Altamimi
 et al. (2011).***

☐ ***Algoritmo di interpolazione
 pesato su una griglia regolare di
 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (Fiegl et al. 1990; Shen
 et al. 1996).***



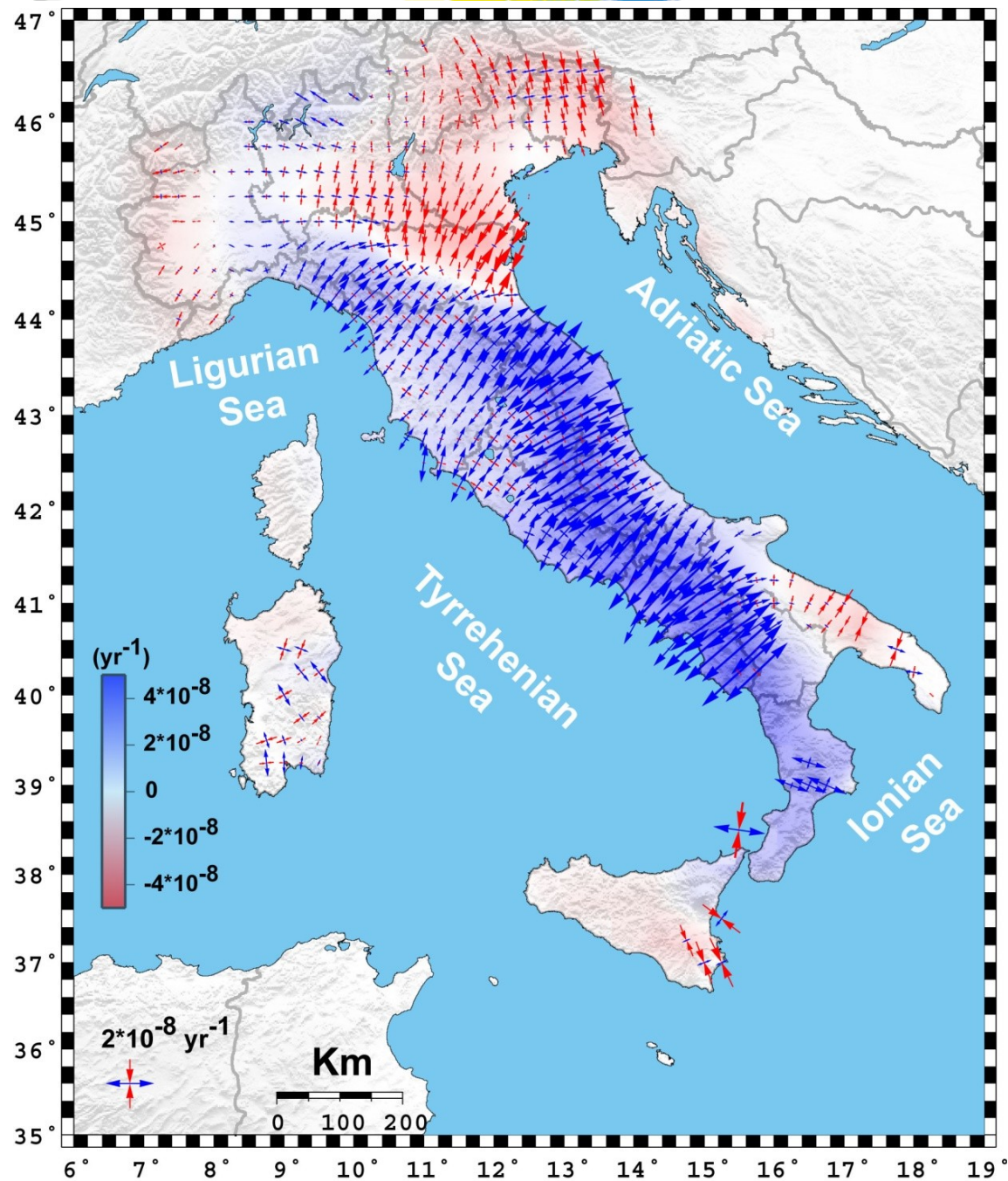


Quadro deformativo orizzontale 2001-2013

- ✓ **Algoritmo di interpolazione pesato** (Fiegl et al. 1990; Shen et al. 1996).
- ✓ **Griglia regolare $0.1^\circ \times 0.1^\circ$**
- ✓ **Distanza di decadimento = 50 Km**
(~ 3 volte l'interdistanza media tra le stazioni).

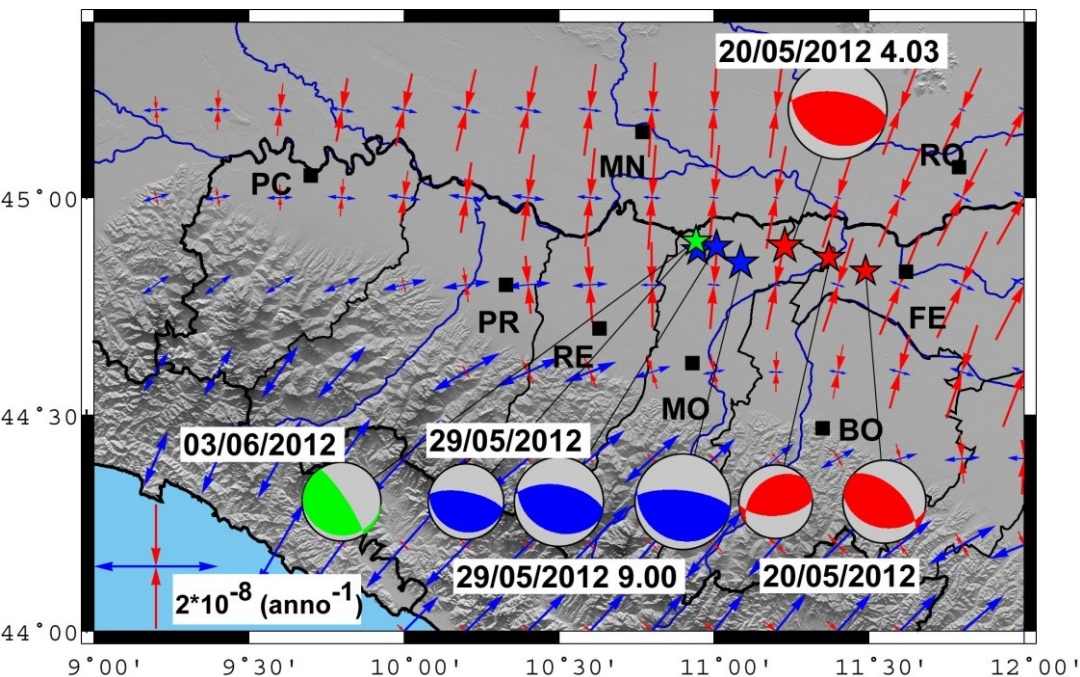
Blu = Distensione

Rosso = Compressione

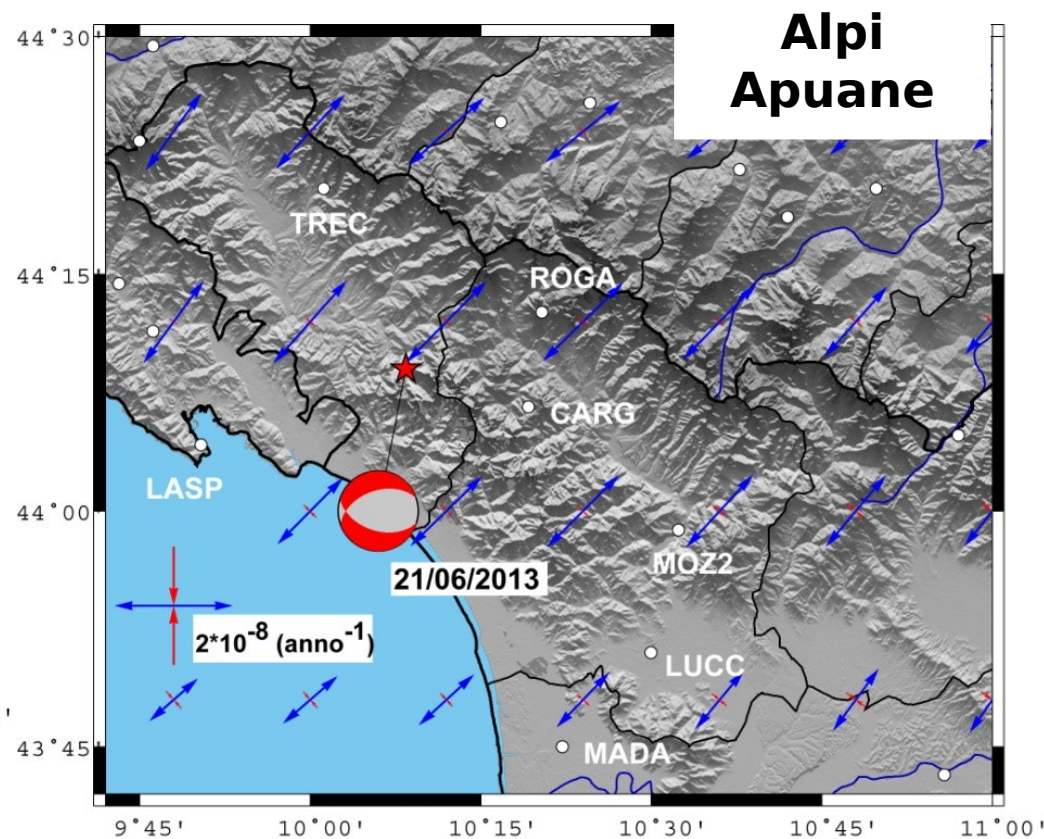




Eventi sismici e campo di deformazione GPS



La Sequenza emiliana

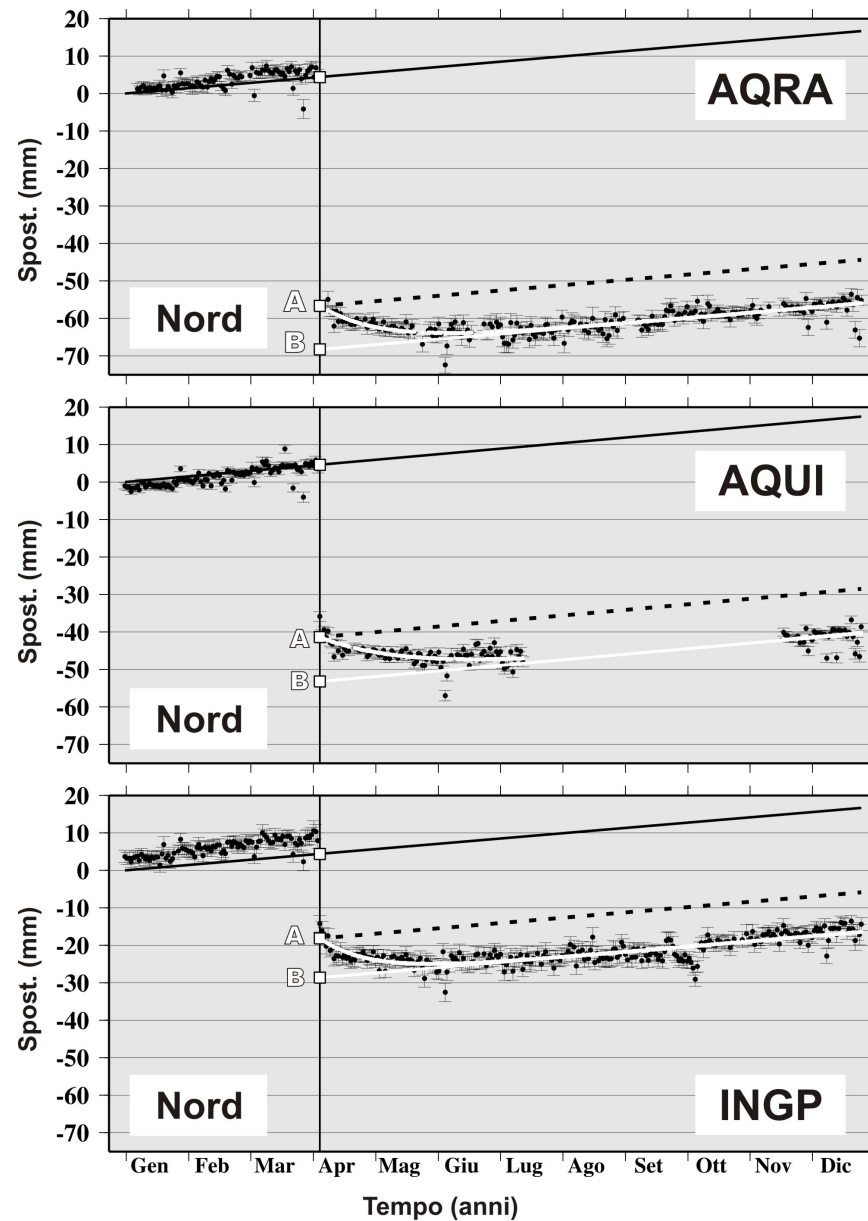
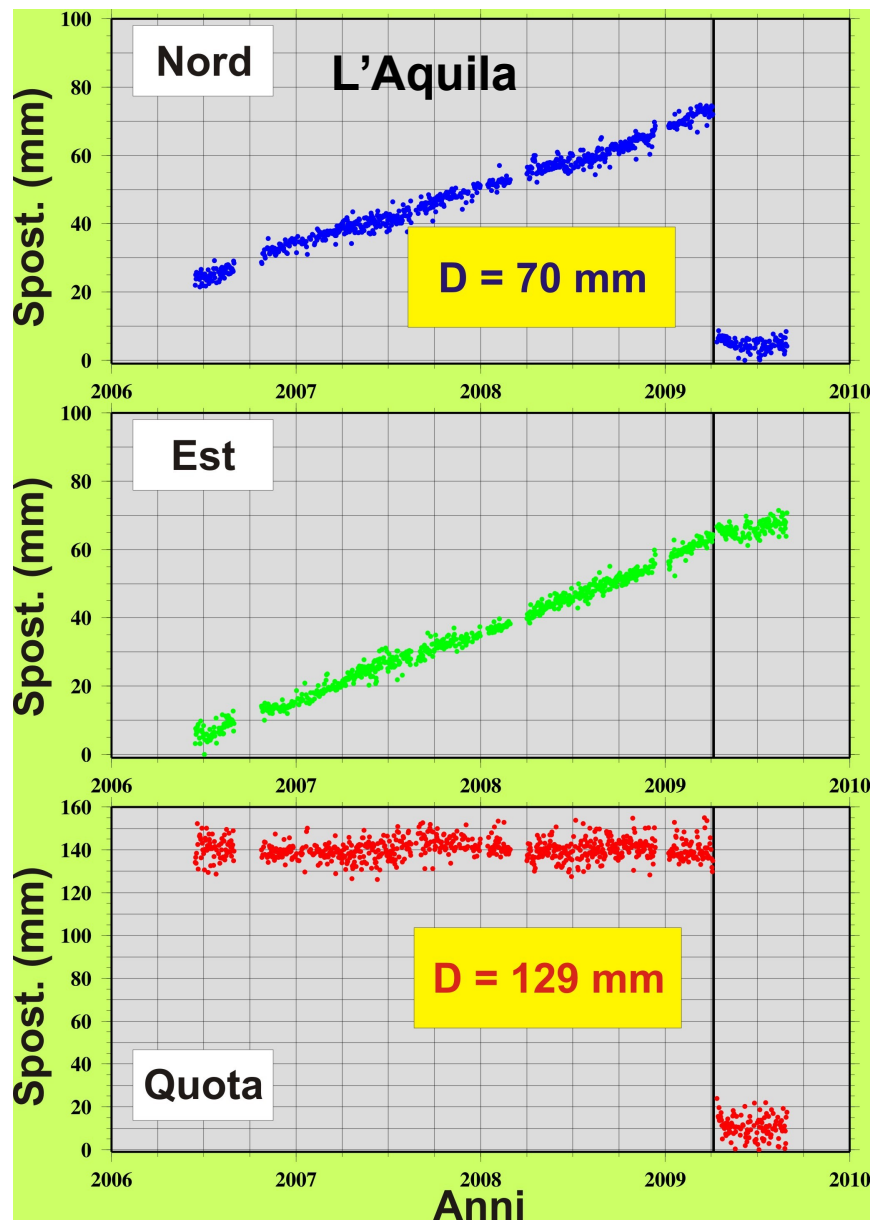


Alpi Apuane

Le frecce divergenti e convergenti indicano rispettivamente gli assi principali di allungamento e raccorciamento.



Variazioni del supposto andamento lineare nel tempo del movimento tettonico





Spostamento verticale (componente Quota) della posizione di una stazione GPS permanente può considerarsi composto da:

- **Movimento tettonico regionale/locale**, per quando riguarda questa componente al momento non vi è un modello geodinamico in grado di descrivere i movimenti verticali di un'intera placca tettonica come nel caso delle componenti orizzontali.
- **Fenomeni geologici, geofisici e climatici regionali/locali.**
- **Fenomeni antropici**
- **Accelerazioni dovuti a terremoti e ...?**

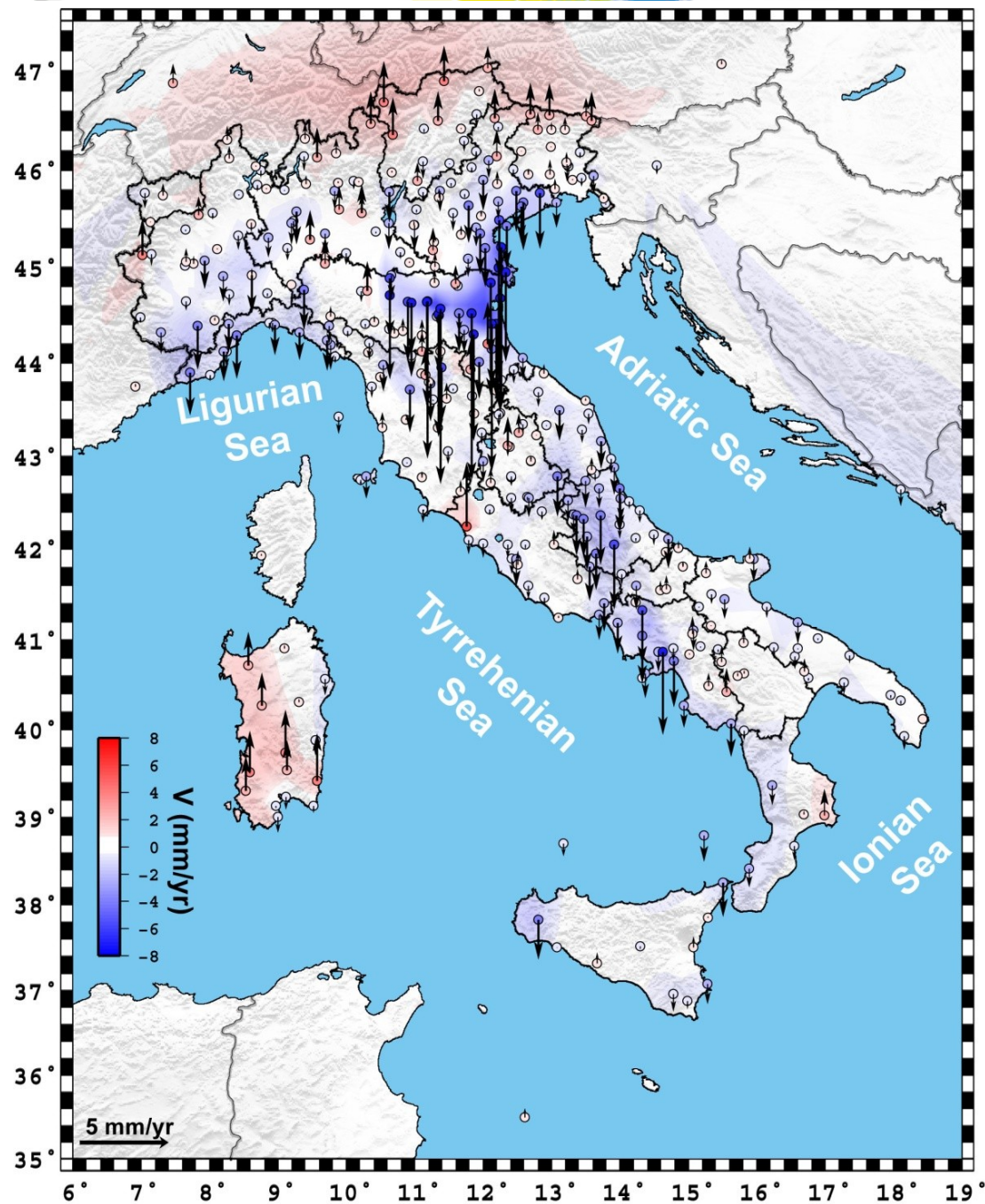


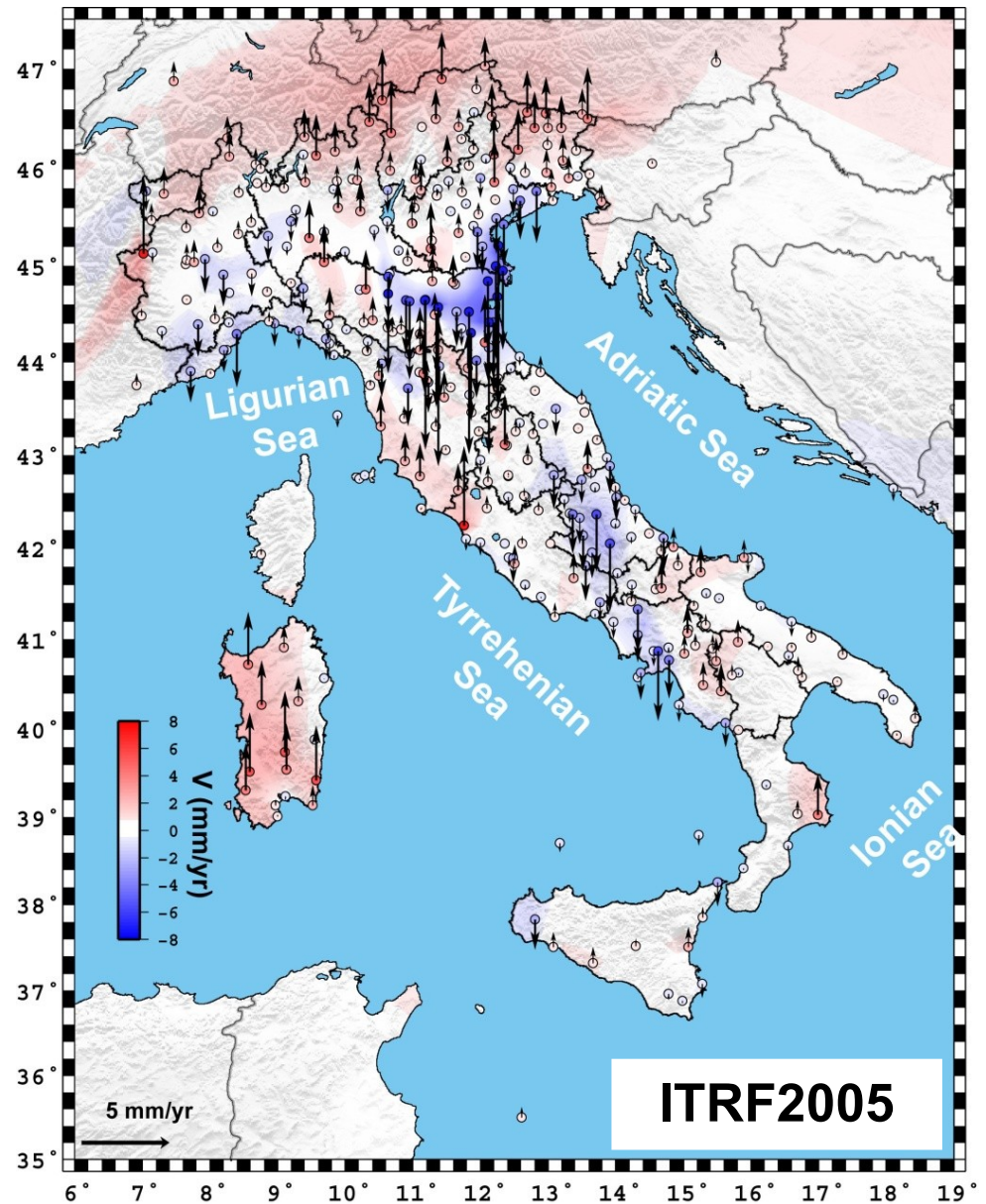
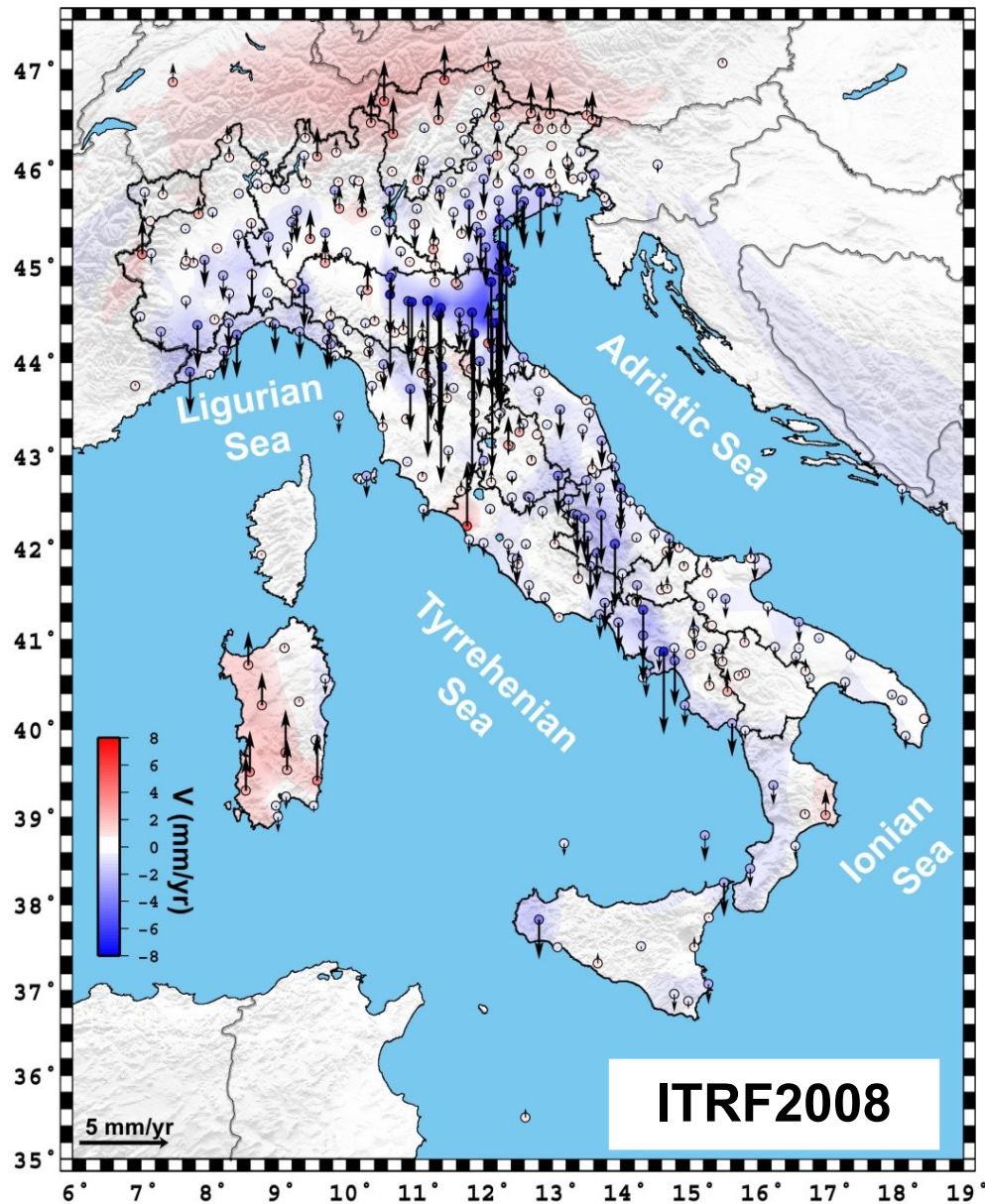
Movimenti verticali assoluti.

**419 Stazioni
con periodo
di osservazione ≥ 2 anni
2001-2013**

I movimenti verticali non sono 'depurati' del movimento della placca tettonica (non esiste un modello) per questo motivo si definiscono assoluti.

- ITRF2008
- Interpolazione statistica
- Griglia regolare $0.1^\circ \times 0.1^\circ$



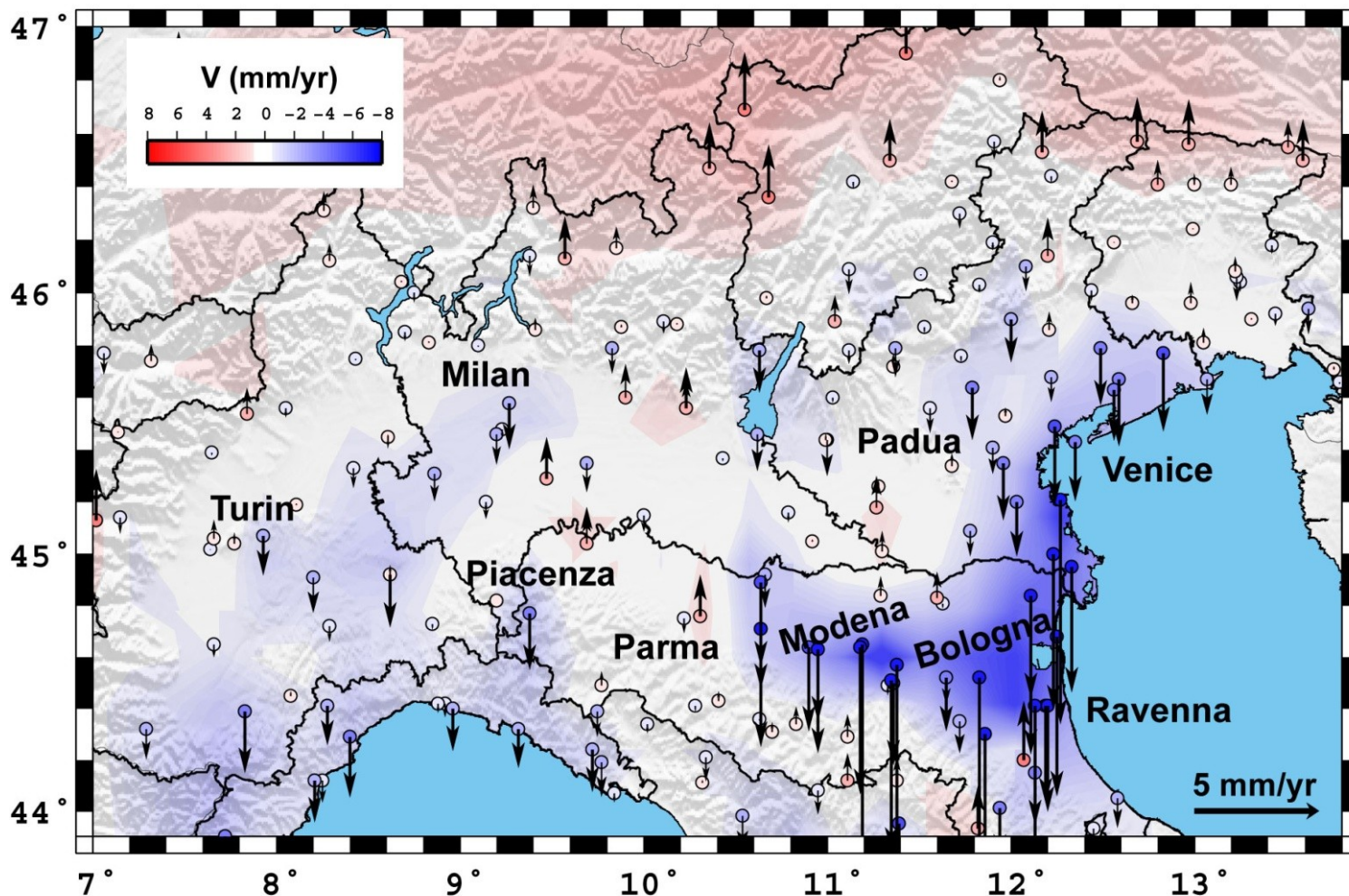


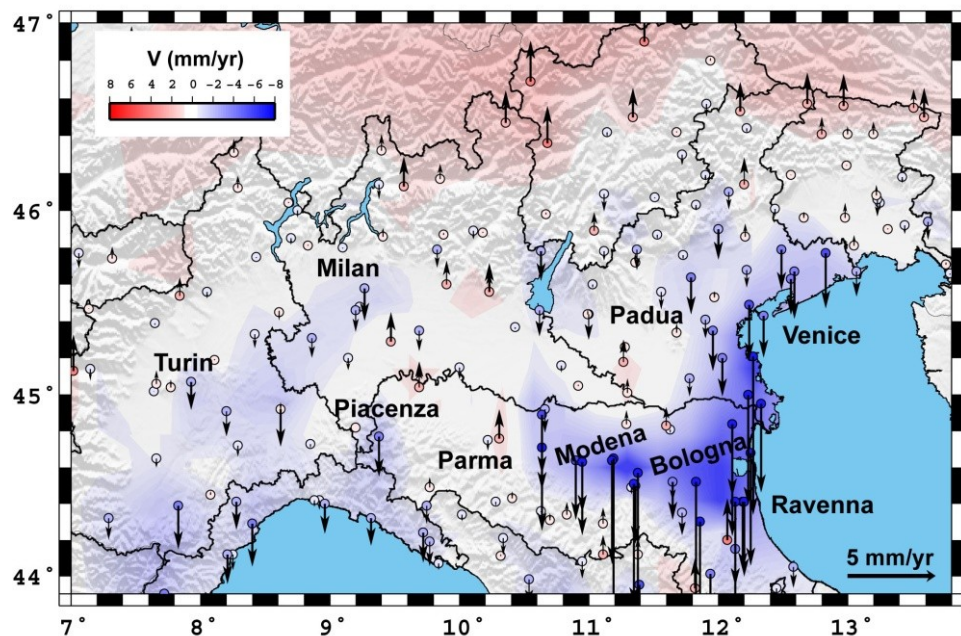
Media delle differenze (ITRF2008-ITRF2005) = (-0.6 ± 0.5) mm/yr



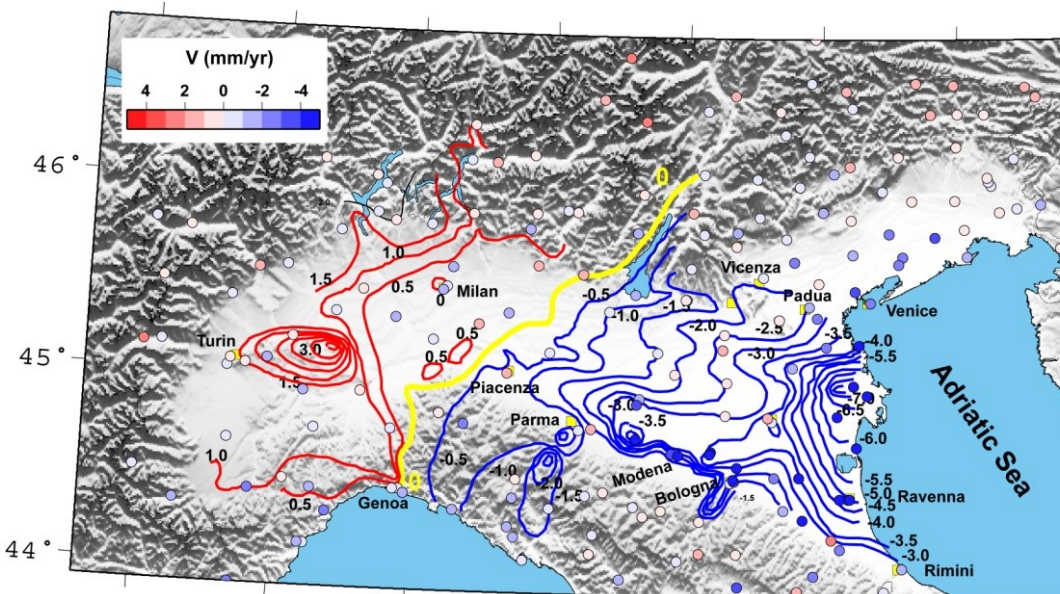
I movimenti verticali nell'Italia Centro- Settentrionale. (ITRF2008)

Le velocità di
abbassamento del
suolo più alte si
osservano nel
settore orientale
della Pianura
Padana.

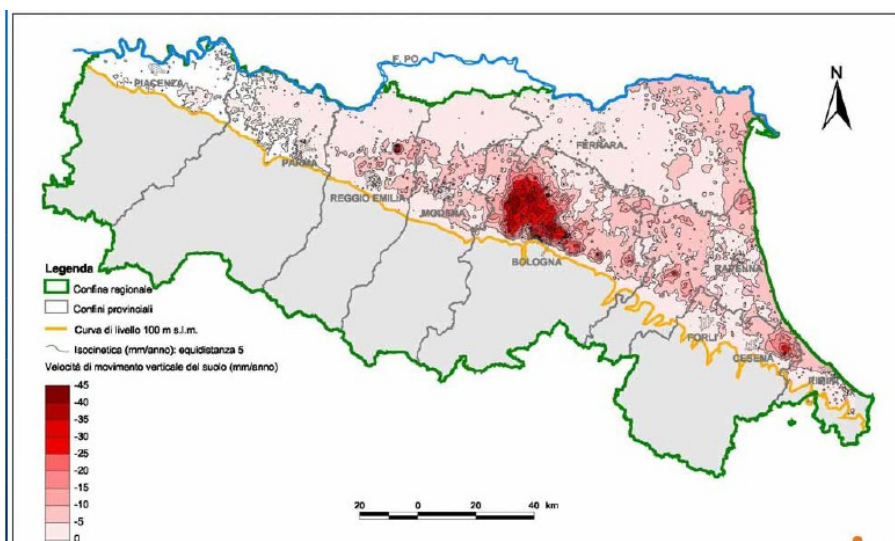




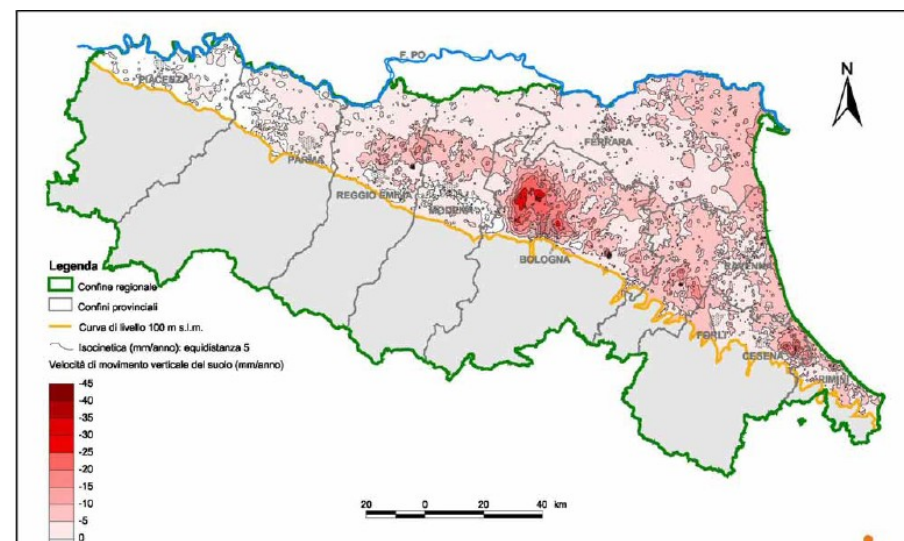
Dati geodetici (2001-2013)



Modificata da Arca e Beretta (1985). Dati di livellazione dal 1897 al 1957.



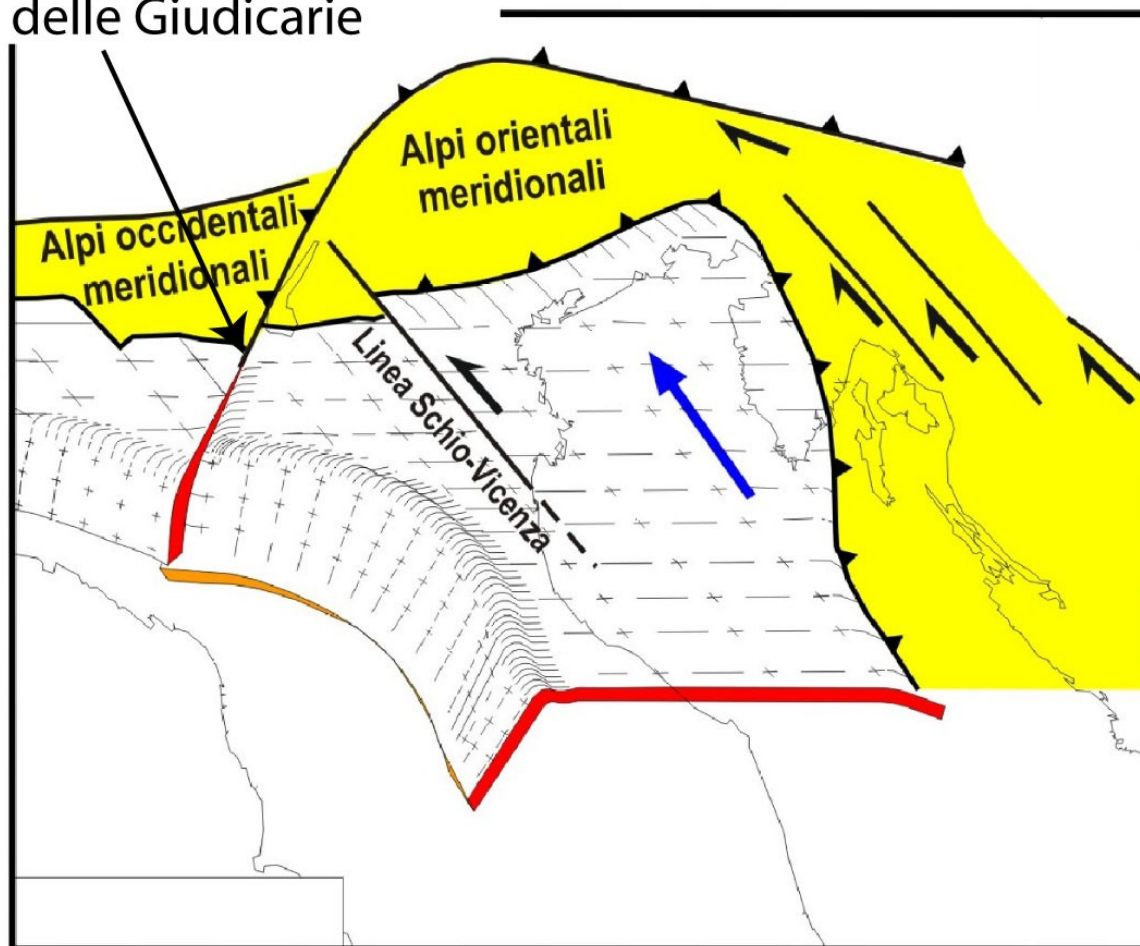
1992-2000 (ARPA – Emilia Romagna)



2002-2006 (ARPA – Emilia Romagna)



Zona di Sottoscorrimento delle Giudicarie



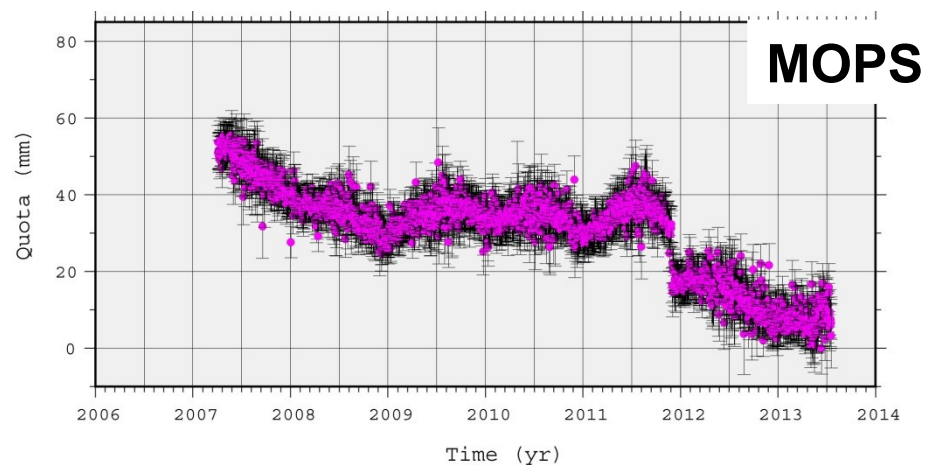
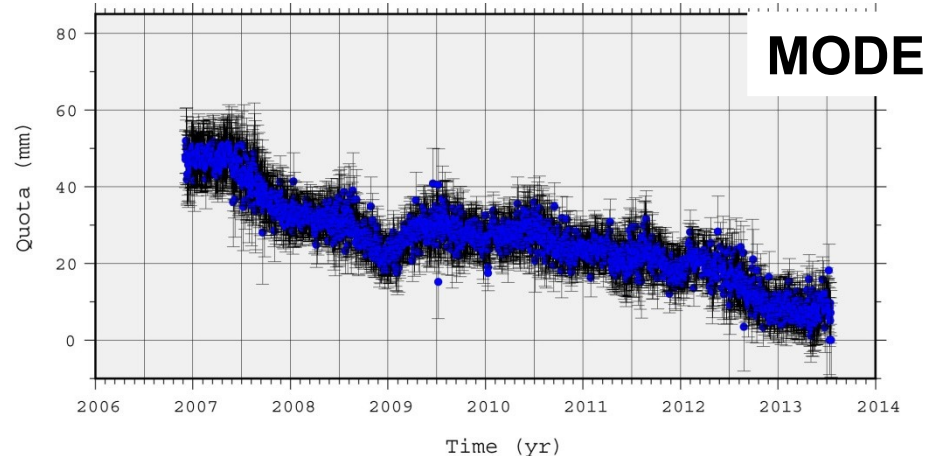
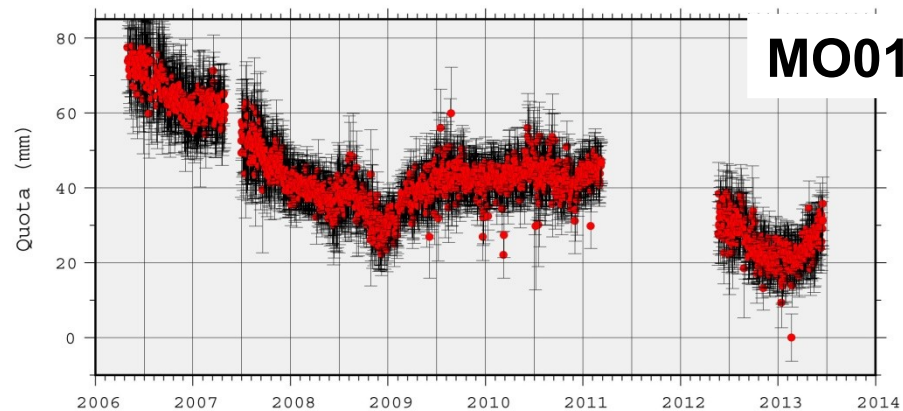
La subsidenza naturale della pianura emiliana può essere imputata a due cause una è il sovrascorrimento da parte del settore più mobile dell'Appennino settentrionale, che induce la flessione e il conseguente sprofondamento dell'avanfossa padana.

La seconda causa è legata al sottoscorrimento in atto nella discontinuità delle Giudicarie dove il settore orientale della placca adriatica padana scende sotto il settore occidentale

Principali discontinuità tettoniche attualmente attive nella parte settentrionale del promontorio adriatico.



Serie temporali delle componenti verticali delle stazioni permanenti ubicate nella città di Modena.



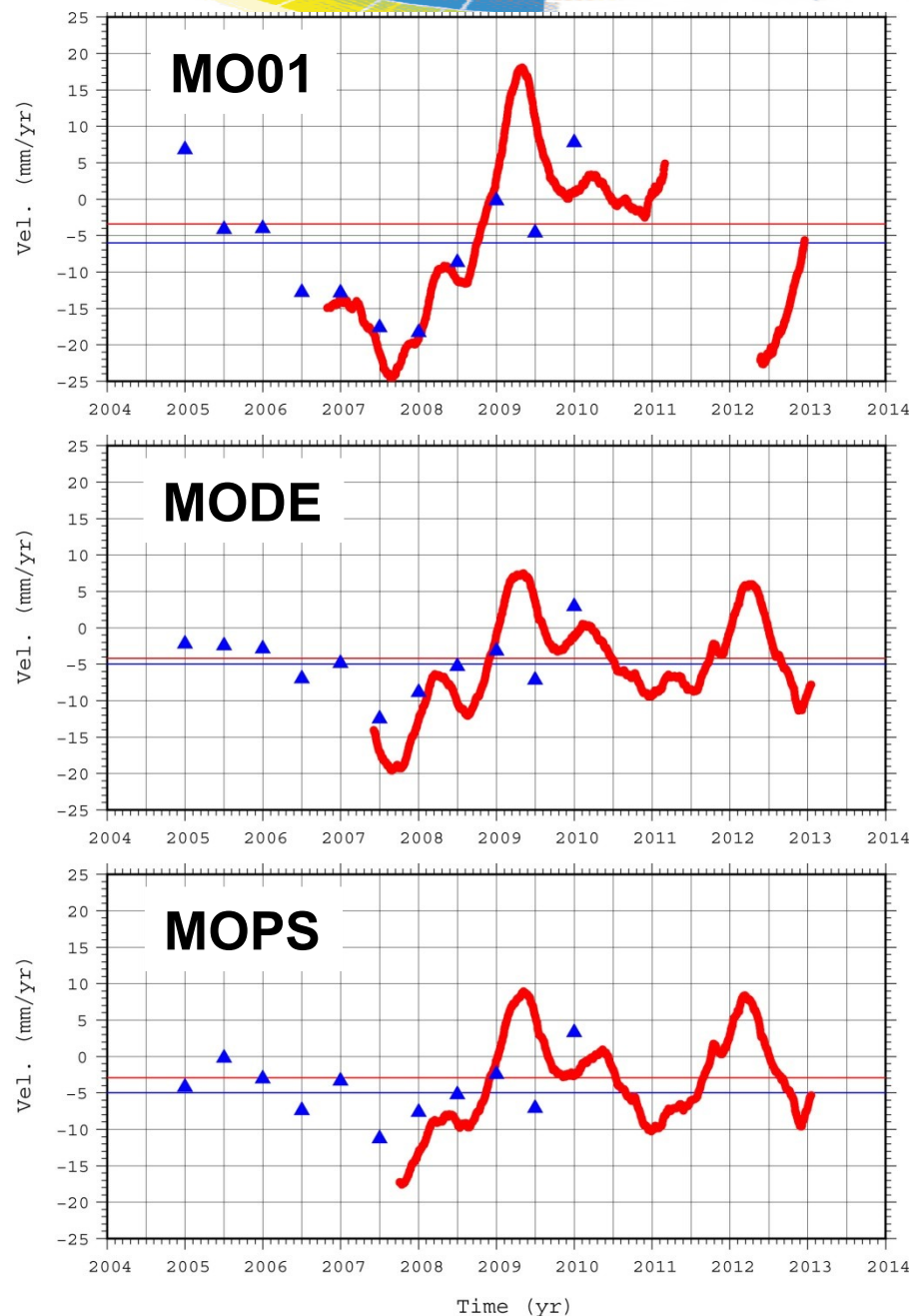


La velocità di spostamento può cambiare nel tempo.

Componente Verticale della
posizione delle stazioni
permanenti ubicate nella città di
Modena.

Rosso: Velocità GPS calcolata
con il metodo della finestra
mobile (360 giorni).

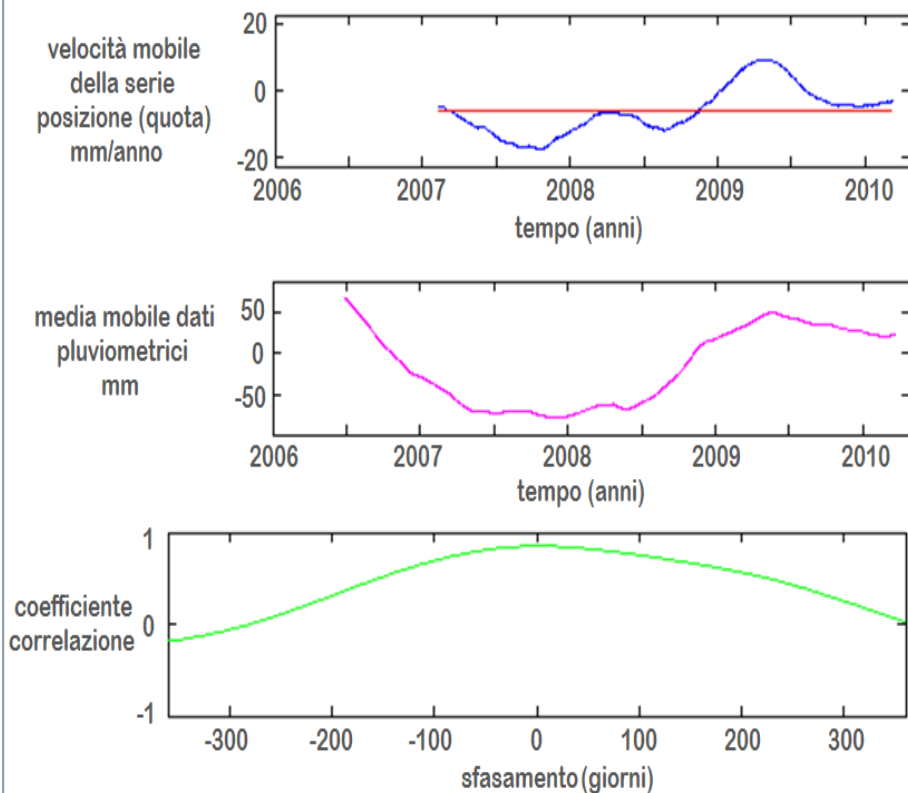
Blu: velocità annuale stimata
con la tecnica Sar (dati portale
Ministero dell'Ambiente).



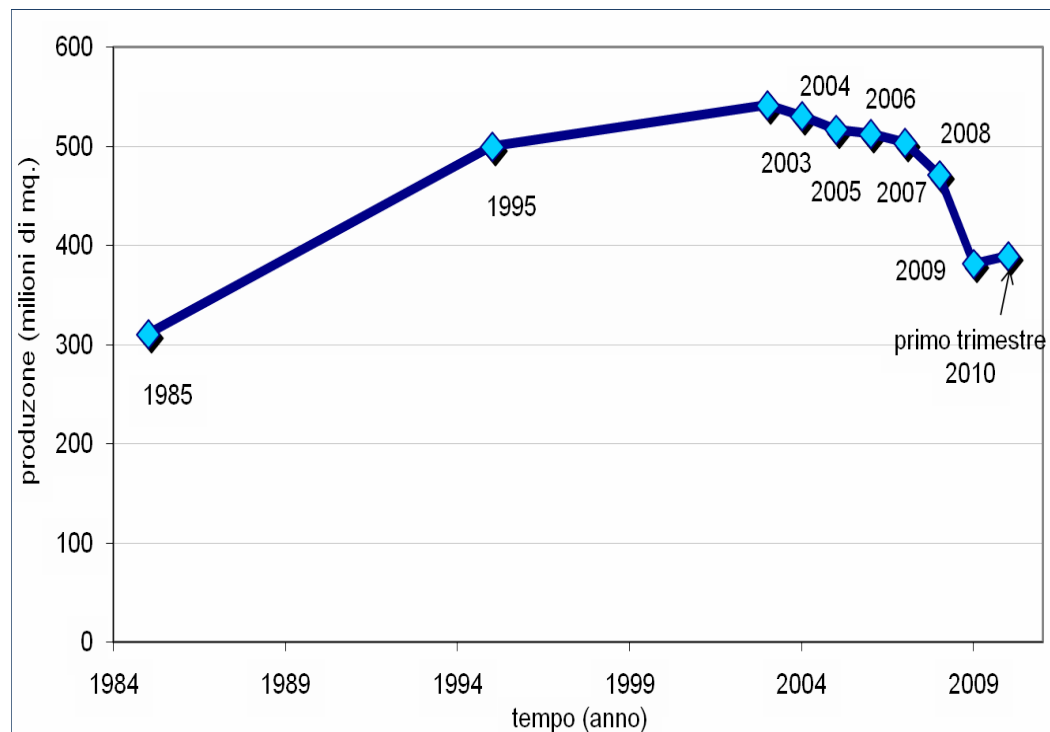


Possibili correlazioni

Quota MODE – Pioggia (finestra 360 giorni)



Attività industriale



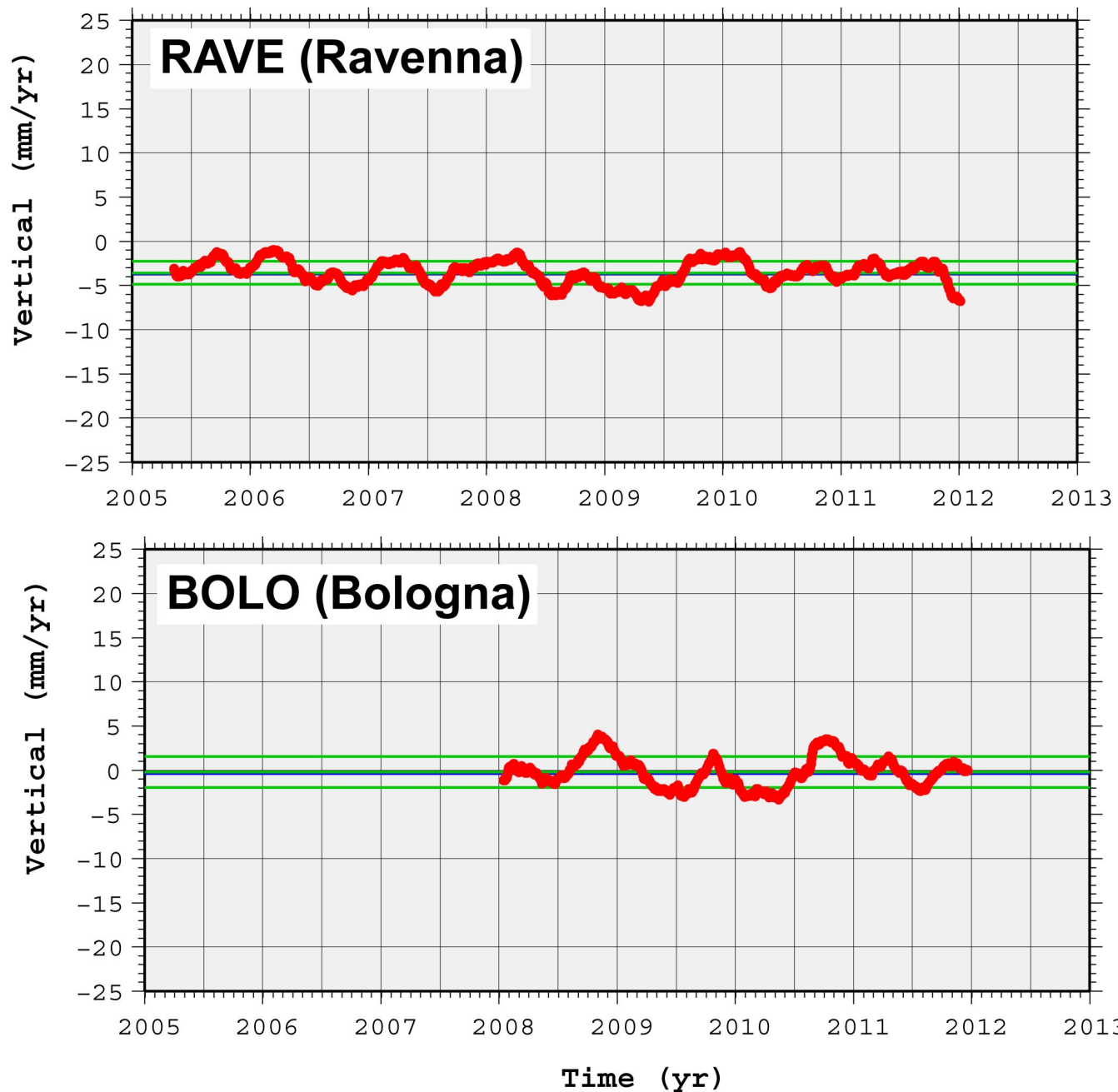
Istat, Confindustria Modena, Confindustria Ceramica, Sole 24 Ore, Il Corriere della Sera, Il Resto del Carlino di Modena, La Repubblica



La velocità di
spostamento può
cambiare nel tempo.

Componente Verticale
della posizione delle
stazioni permanenti
ubicate nella città di
Ravenna e Bologna.

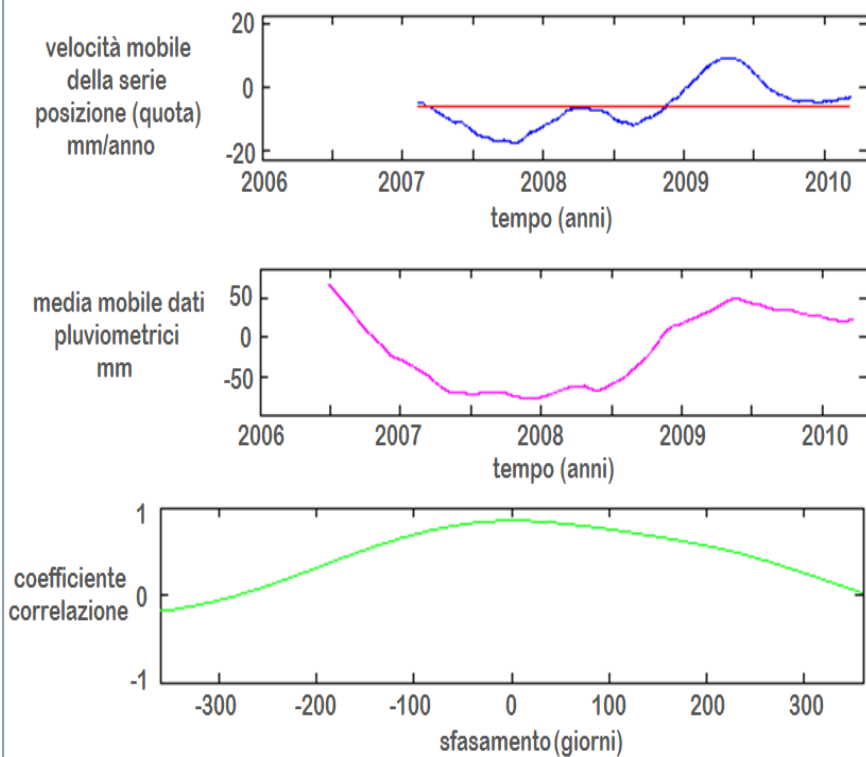
**Rosso: Velocità GPS
calcolata con il
metodo della finestra
mobile (360 giorni).**



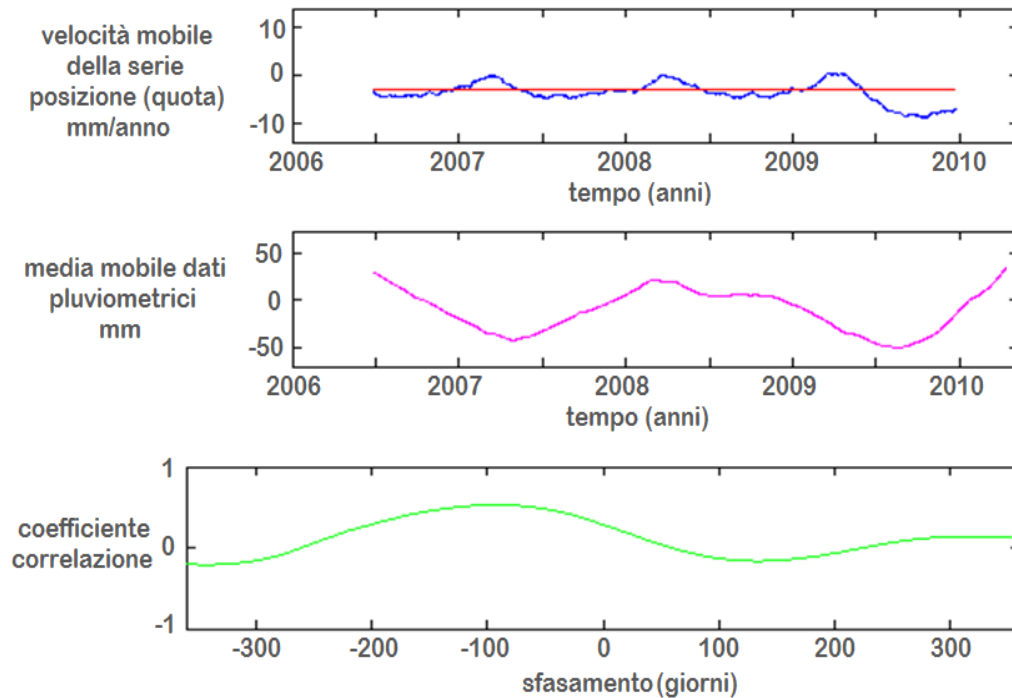


Possibili correlazioni

Quota MODE – Pioggia



Quota RAVE – Pioggia



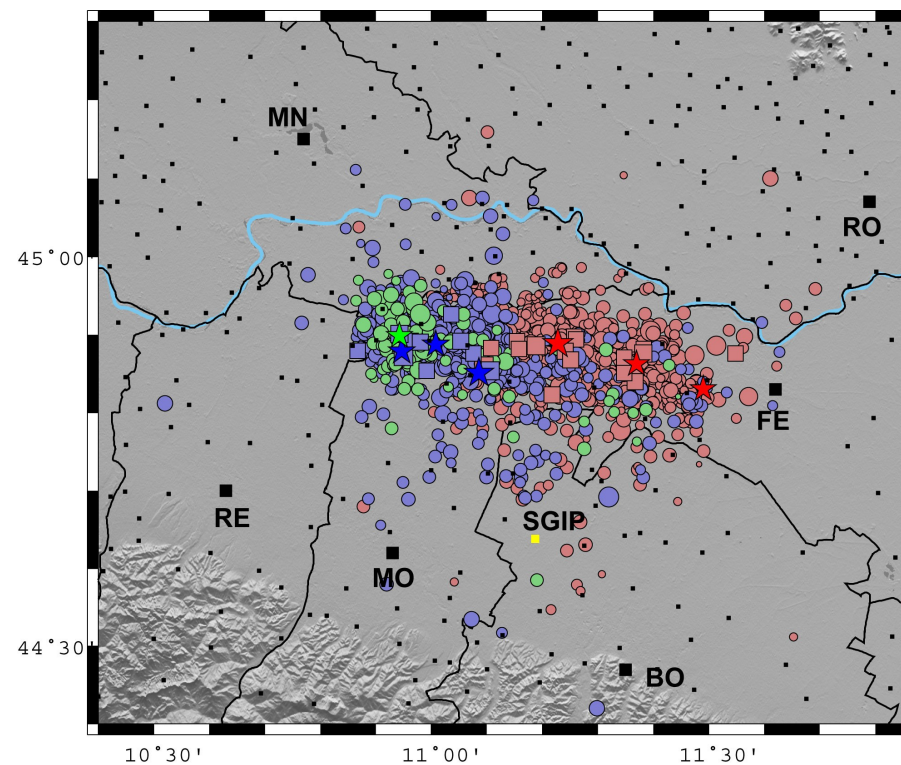
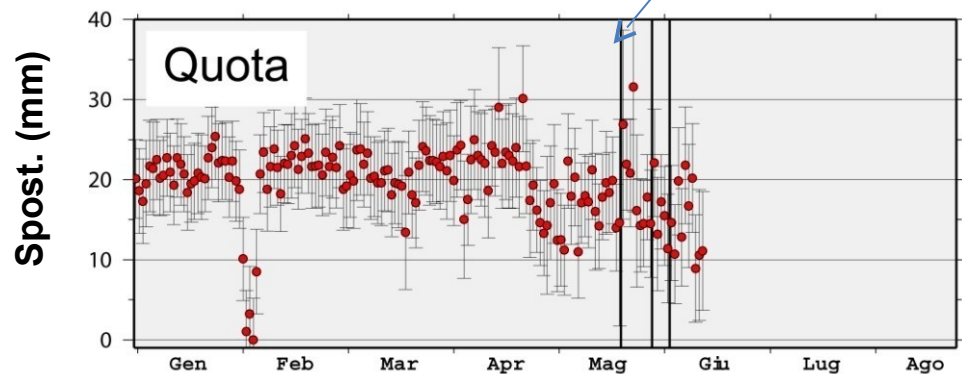
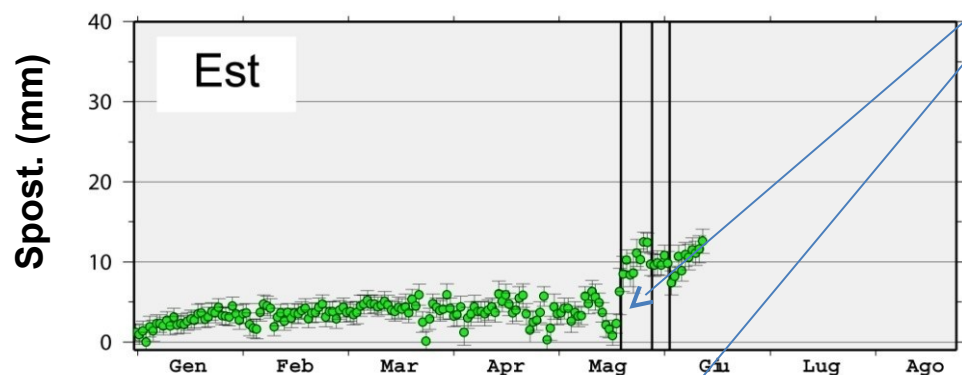
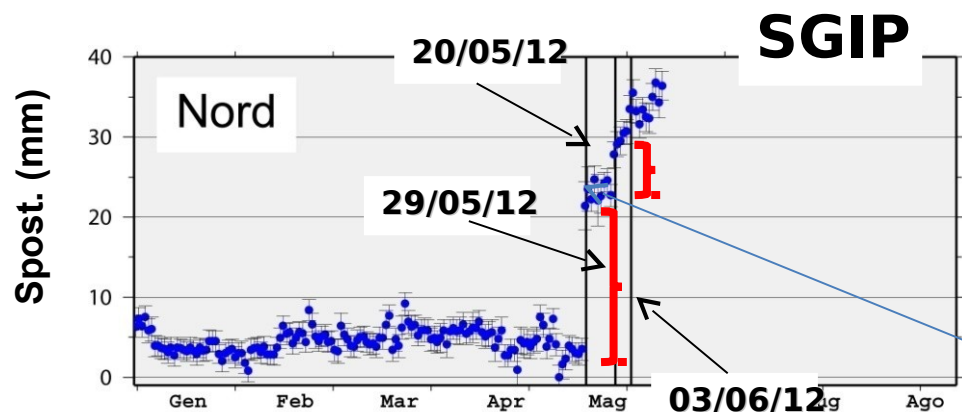
Finestra mobile di 360 giorni



Monitoraggio con stazioni GPS permanenti e il terremoto

Spostamento cosismico:

Spostamenti 'istantanei' avvenuti con il terremoto



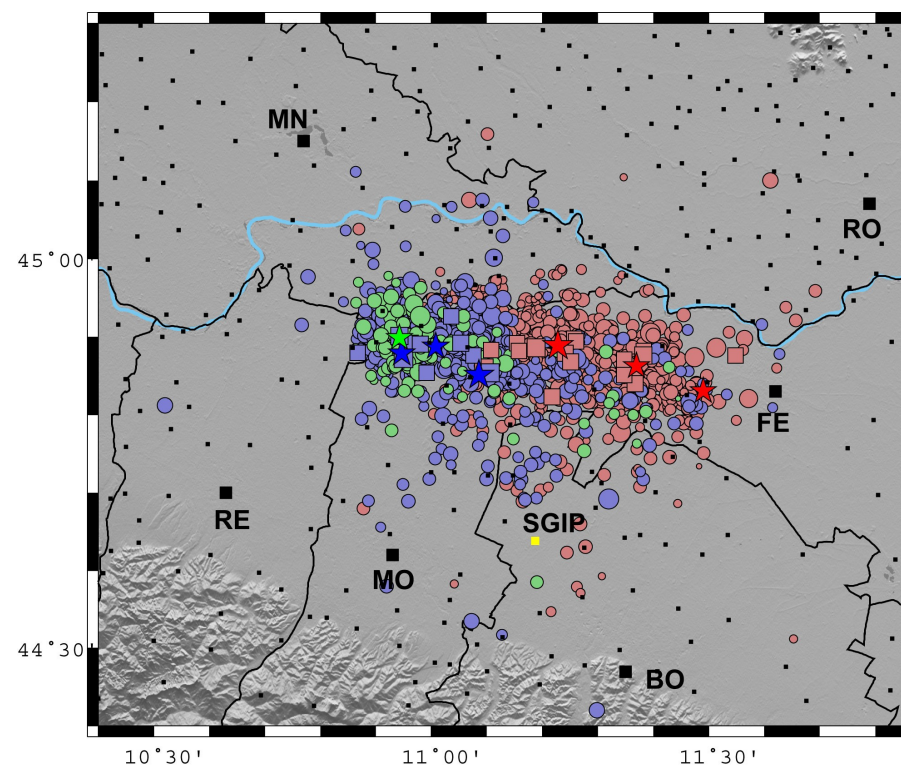
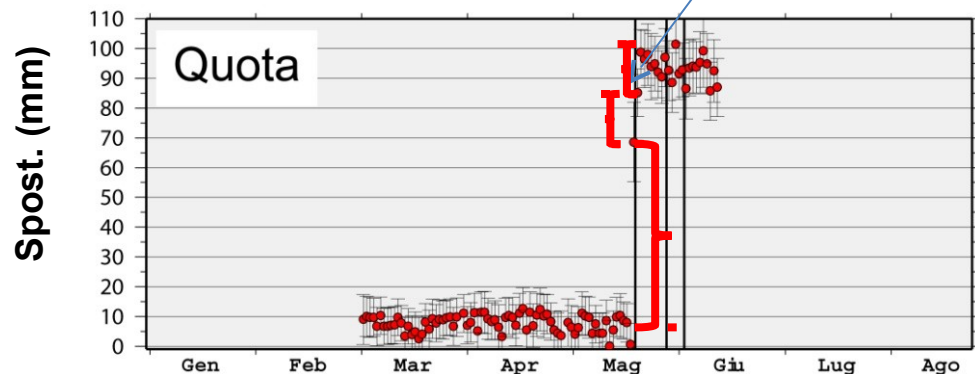
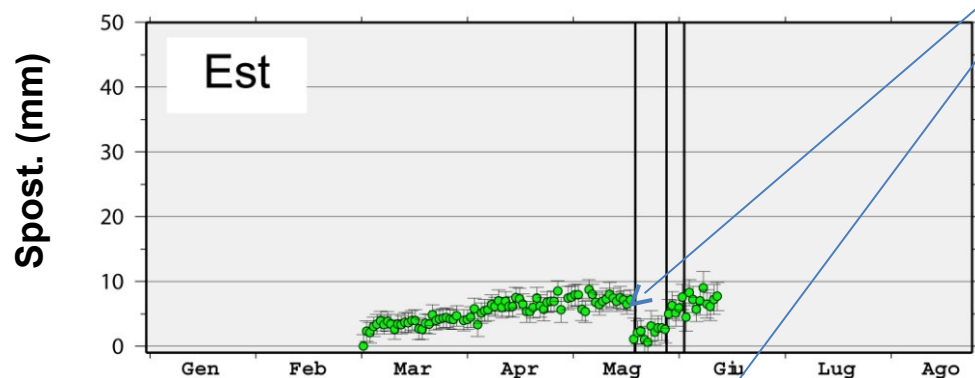
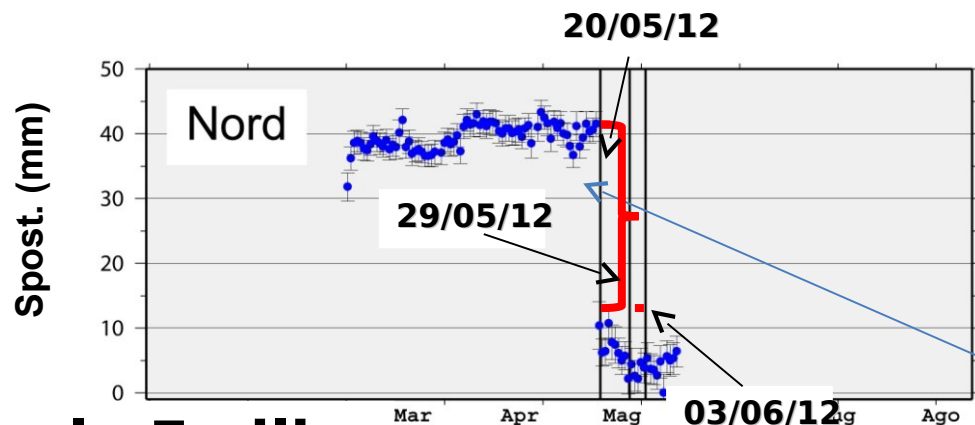


Monitoraggio con stazioni GPS permanenti e il terremoto

Spostamento cosismico:

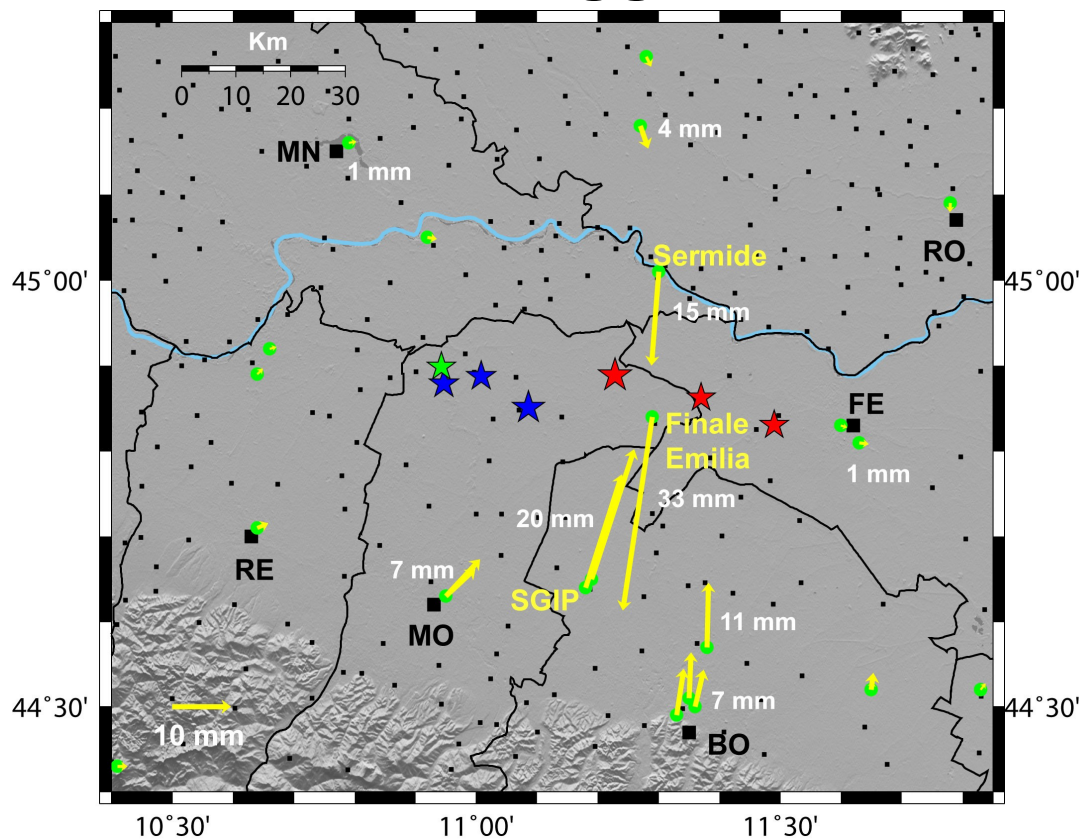
Spostamenti 'istantanei' avvenuti con il terremoto

Finale Emilia



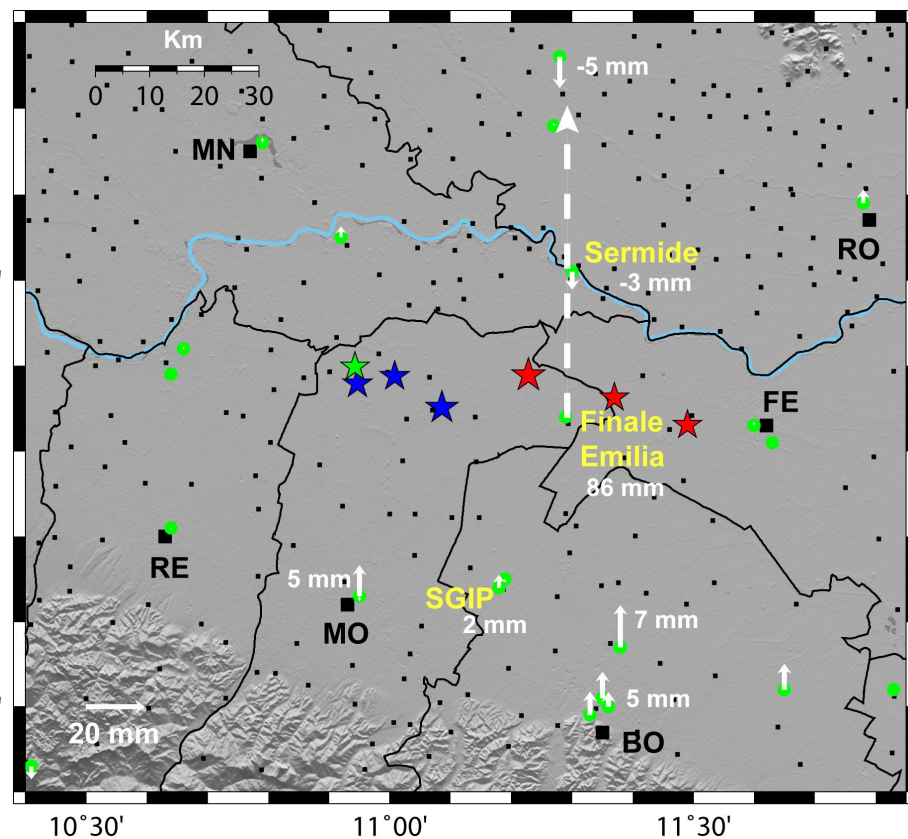


Evento del 20 maggio 2012



**Spostamento cosismico
orizzontale**

Monitoraggio con stazioni GPS permanenti e il terremoto

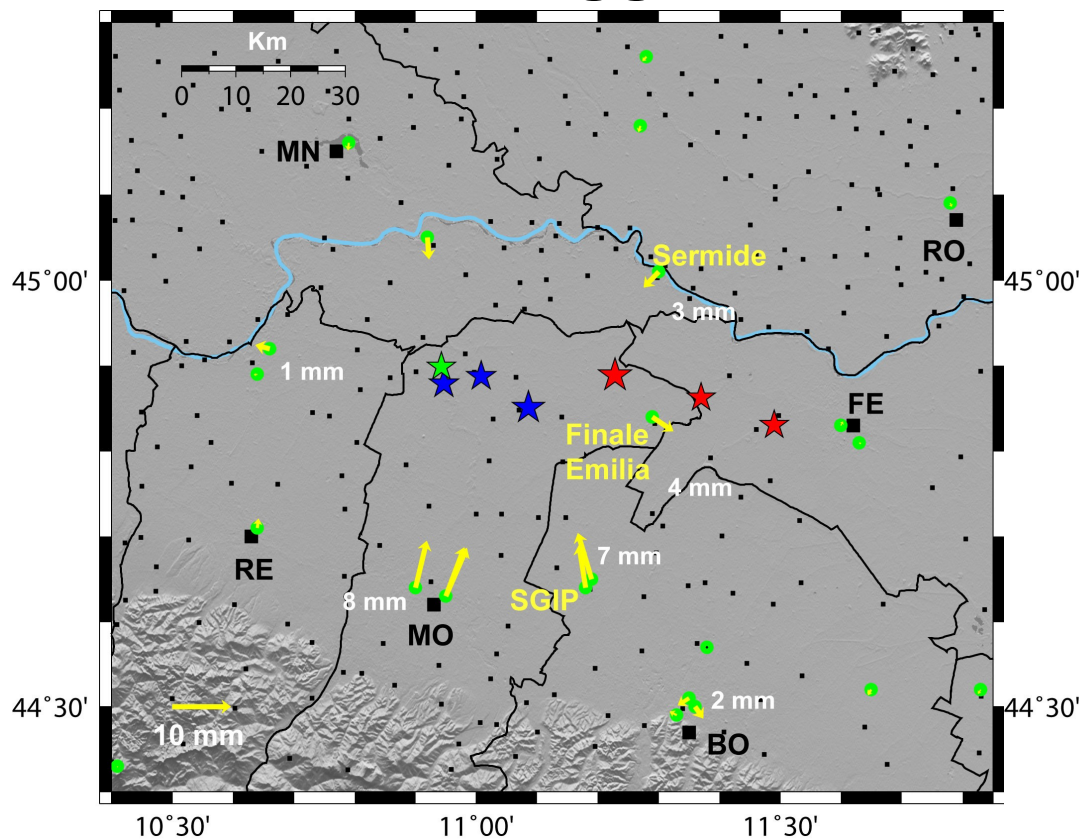


**Spostamento cosismico
verticale**

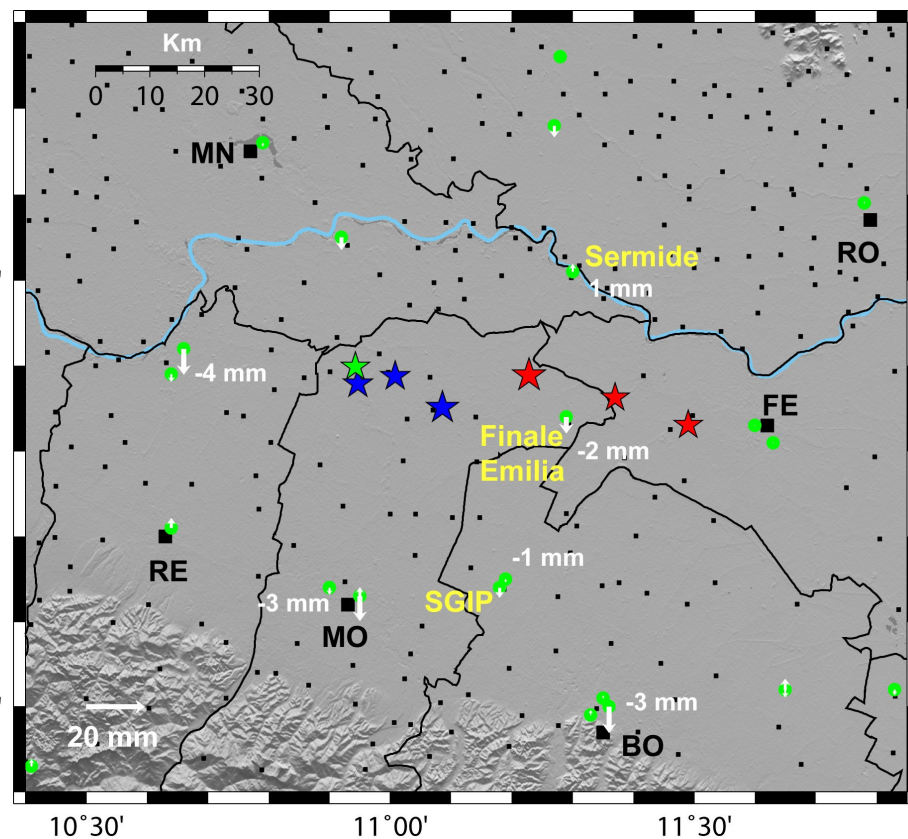


Evento del 29 maggio 2012

Monitoraggio con stazioni GPS permanenti e il terremoto



**Spostamento cosismico
orizzontale**



**Spostamento cosismico
verticale**



Considerazioni :

Il movimento di un punto sulla crosta terrestre monitorato mediante la tecnica GNSS può rappresentare la combinazione di diversi fenomeni:

- **Geodinamici**
- **Climatici**
- **Antropici**

Alcuni di questi fenomeni possono variare nel tempo sia in modo periodico che irregolare.

La precisione con cui viene misurata la posizione di un punto sulla superficie terrestre mediante la tecnica GNSS e la sua velocità dipende da diversi fattori (tipo di segnale, tecnica e durata del rilievo, modalità di posizionamento).



**Dipartimento Scienze Biologiche,
Geologiche ed Ambientali
Università degli Studi di Bologna**

*Prof. Giovanni Gabbianelli
Dr. Francesco Stecchi*

**Dipartimento
Fisica ed Astronomia
Università degli Studi di Bologna**

*Prof. Paolo Baldi
Massimo Bacchetti*



**Dipartimento di Ingegneria Civile
Ambientale, del Territorio
Edile e di Chimica
Università degli Studi di Bari**

Dr. Francesco Mancini (UNIBA)



**Dipartimento Scienze Fisiche,
della Terra e dell'Ambiente
Università degli Studi di Siena**

*Prof. Enzo Mantovani
Prof. Dario Albarello
Dr. Marcello Viti
Dr. Daniele Babbucci
Dr.ssa Caterina Tamburelli
Franca Falciani
Andrea Vannucchi*



**Istituto Nazionale
di Geofisica e Vulcanologia
Sezione di Bologna**

*Dr.ssa Fabiana Loddo
Dr. Giuseppe Casula*



Thank you
for your attention !

