

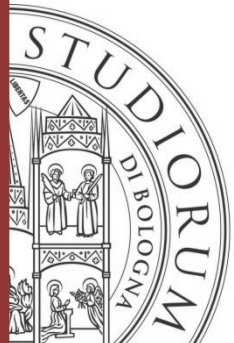


# Tecnologia GNSS per monitoraggio strutture

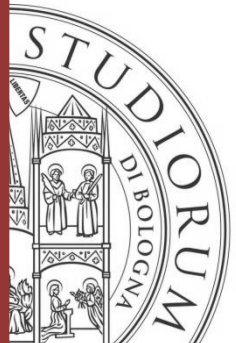
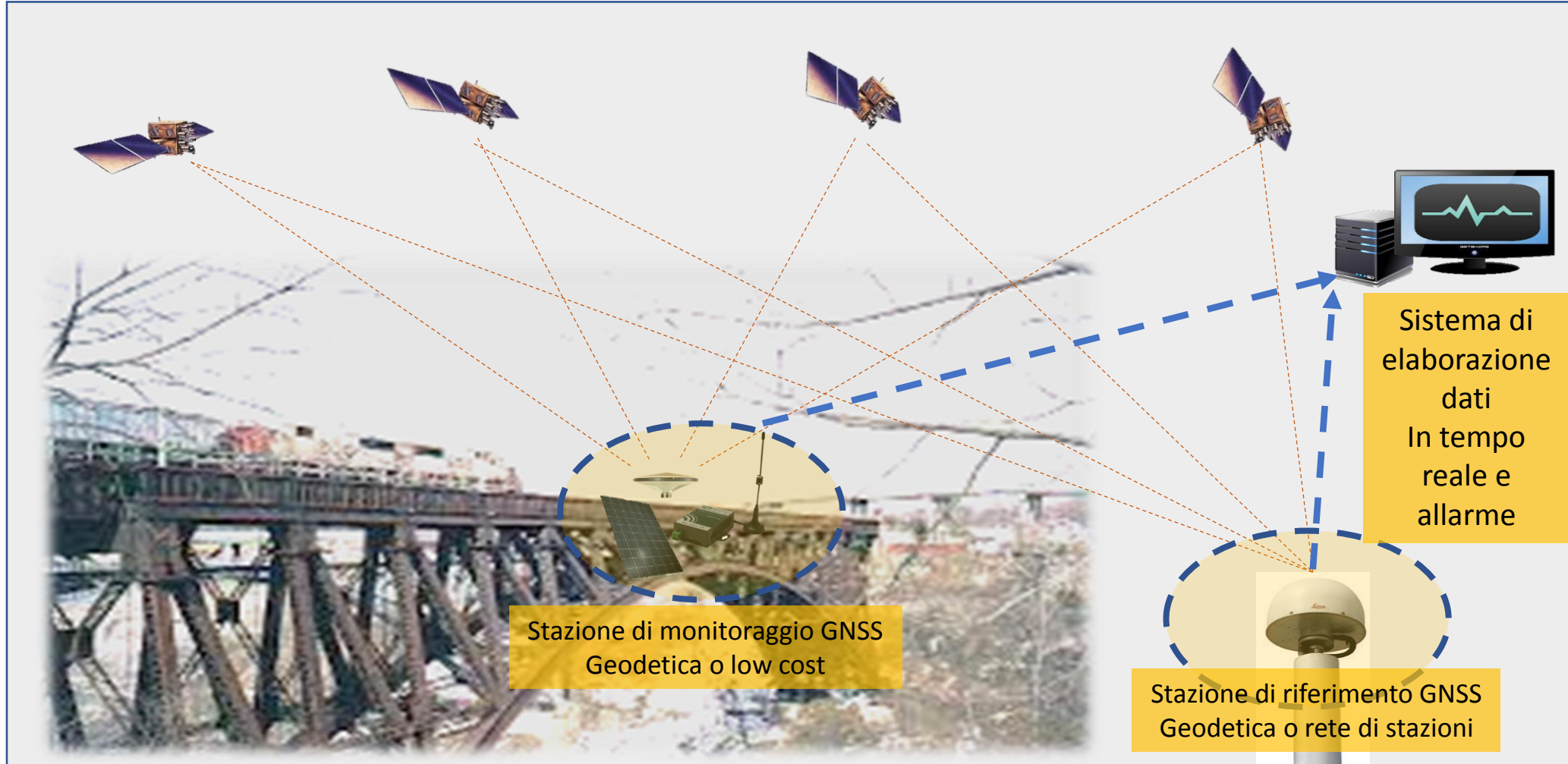
S. Gandolfi, L. Poluzzi, L. Tavasci, P. Borelli

Workshop finale, 22 – Marzo – 2018

Tecnopolo CNR Area della Ricerca Via Gobetti, Bologna



# Il progetto



# FASI DELLA RICERCA

1. Ricerca bibliografica su studi simili e strumentazioni a basso costo
  2. Individuazione delle componenti hardware necessarie (con dimensionamento sistema di alimentazione autonoma)
  3. Acquisto strumentazione
  4. Fase di test preliminare in «laboratorio»
  5. Progettazione del sistema di monitoraggio su area test
  6. Installazione
  7. Verifiche su area test
1. Sviluppo di procedure per la gestione da remoto di sistemi GNSS a basso costo
  2. Studio su metodi di elaborazione dati e analisi prestazioni software open source e gratuiti
  3. Analisi dei risultati e studio di metodologie per miglioramento delle soluzioni
  4. Valutazione di soglie di minimi movimenti individuabili al variare del tipo di soluzione

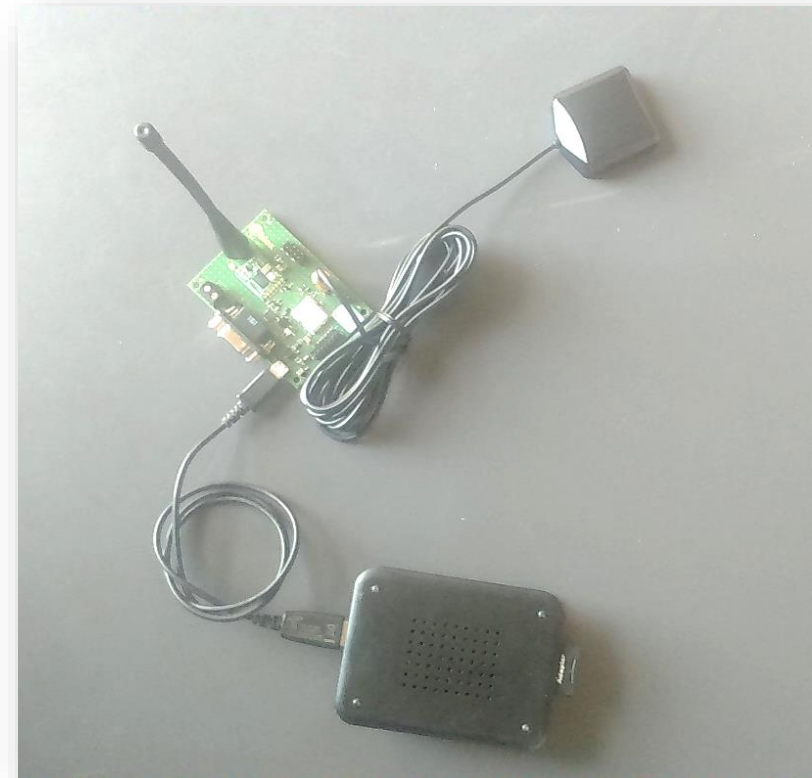
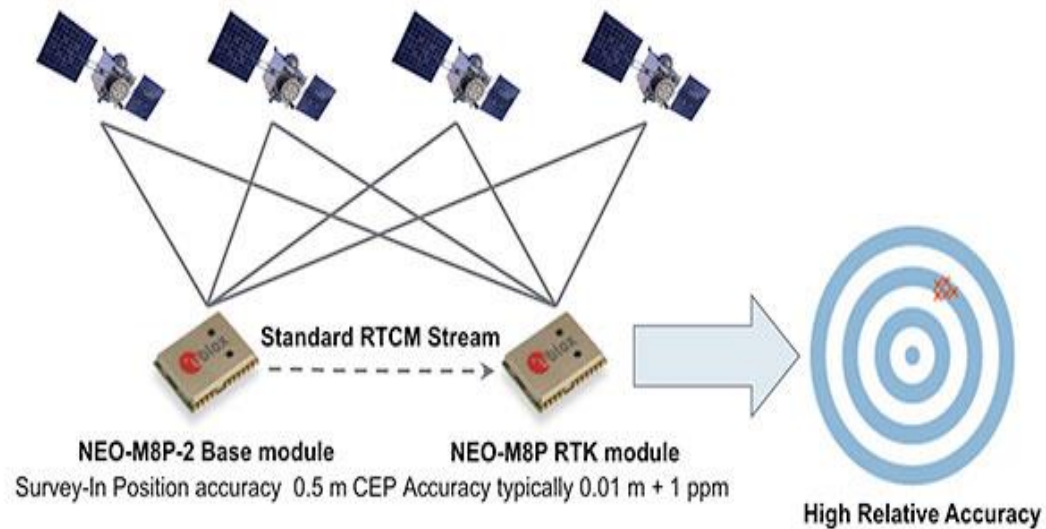


# Individuazione strumentazione per test:

- Strumentazione individuata:

U-Blox\_C94\_M8P

## Base and Rover module setup



Primi Test: Acquistate le componenti – 430€ la coppia

# Studio su sistema di alimentazione autonomo

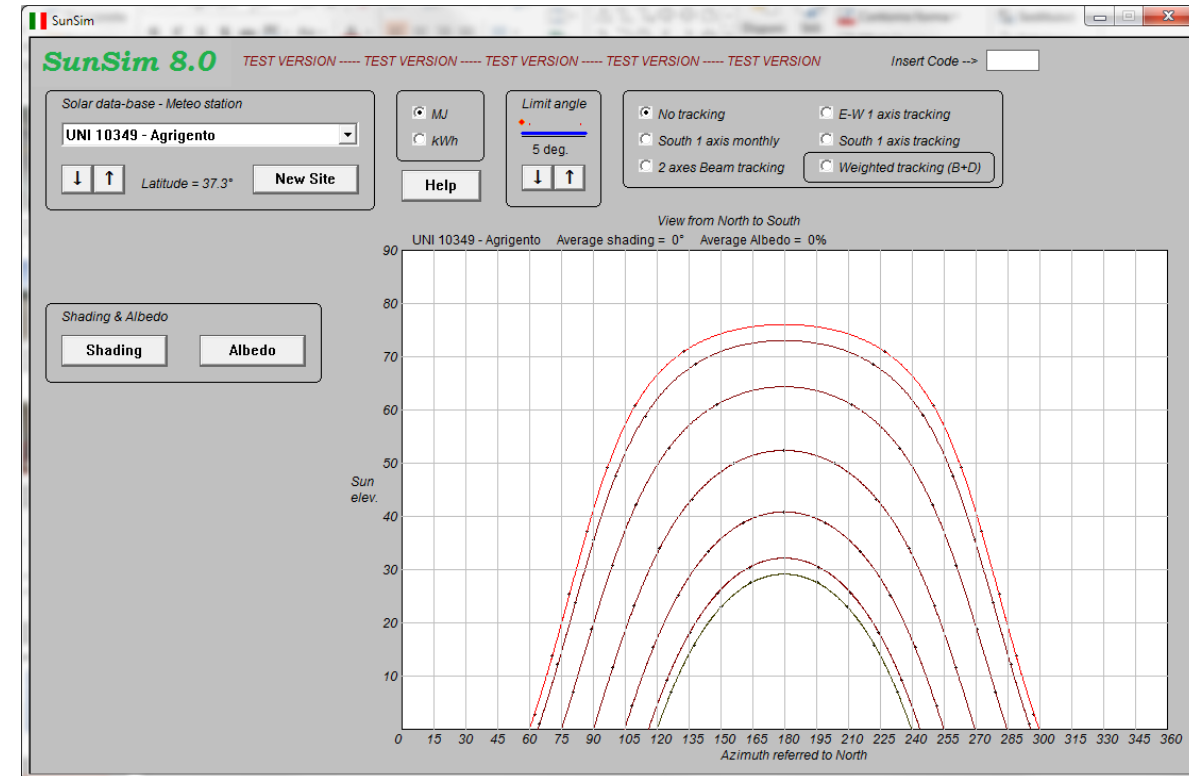
Valutazione assorbimento complessivo sistema

Valutazione condizione al contorno area di test

Consulto con Docenti DEI per dimensionamento corretto pannello fotovoltaico e batterie tampone

Dimensionamento impianto di alimentazione fotovoltaico

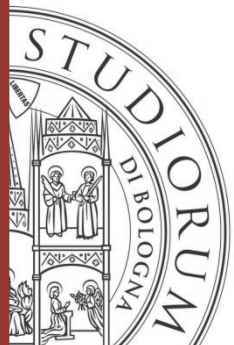
Utilizzatore	Tensione di funzionamento [Volt]	Intensità di corrente [A]	Consumo [Watt]	Ore di Utilizzo [Ore/gg]	Energia necessaria [Wh]
Raspberry Pi	5	1	5	24	120
NEO-M8P-2				24	0
Ublox C94-M8P				24	0
			0	24	0
<b>TOTALE [Wh]</b>					<b>120</b>



# Studio su sistema di alimentazione autonomo

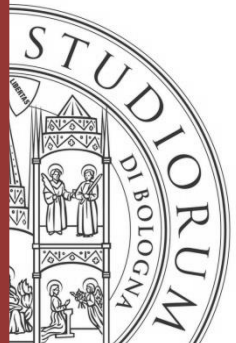
Dimensionamento Batteria di accumulo					
$A_h$ = Capacità della batteria					
Giorni medi di accumolo =		15			
Voltaggio dell'impianto =		12V			
$A_h$ =		100 Ampere/ora			
Dimensionamento Regolatore di carica:					
Numero di pannelli da installare =		1			
ISC =		4.84A		Corrente di corto circuito	
Corrente massima del regolatore =		4.84A			
Regolatore scelto =		10A			
Calcolo del FIL FACTOR					
Indicatore del rendimento del modulo fotovoltaico					
$FF = W_p / V_{oc} \times$					
$I_{sc}$		0.773826106			
$V_{oc} =$		21.36			

Costo indicativo circa 500€

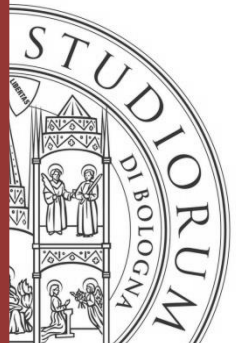
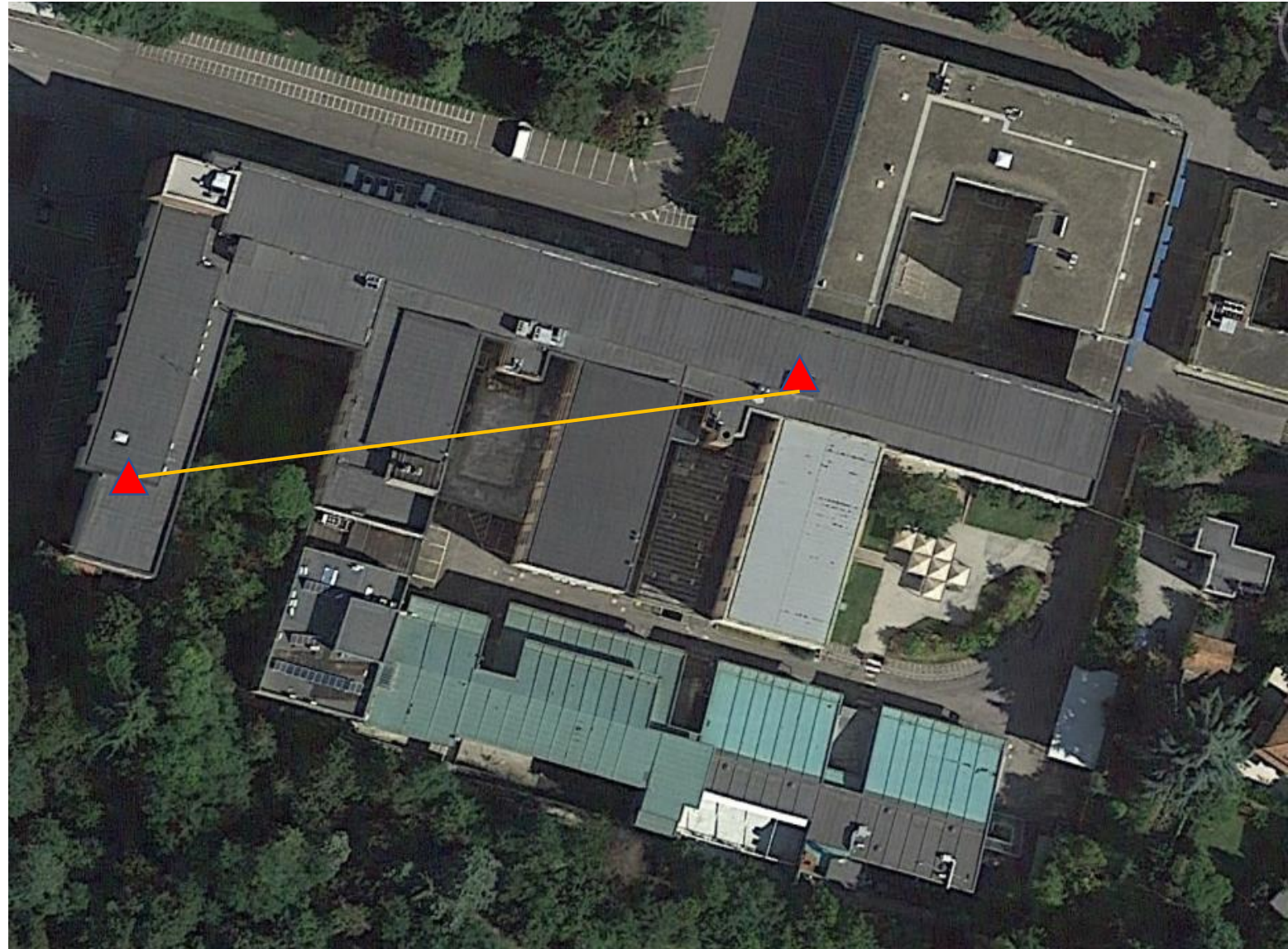


# Realizzazione poligono di prova (Luglio 2016 – oggi)

- Tetto Scuola di Ingegneria ed Architettura
- Base di circa 70 metri
- Una stazione di riferimento geodetica e una low cost
- Una stazione di monitoraggio low cost
- Ricevitori differenti
- Antenne di tipologie differenti (una settimana di acquisizione per tipologia di antenna)



# Posizione





## Test con antenna default

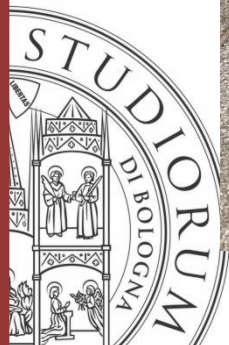


1 settimana di acquisizione continua

## Test con antenna geodetica



1 settimana di acquisizione continua



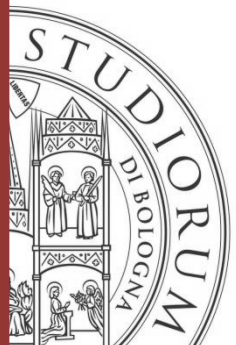
# Elaborazioni condotte

- 1 soluzione giornaliera (precisione massima)
- Soluzioni a 12, 6, 3, 2, 1 ora
- Software utilizzati: RTKLIB e GoGPS (entrambi liberi e open source)

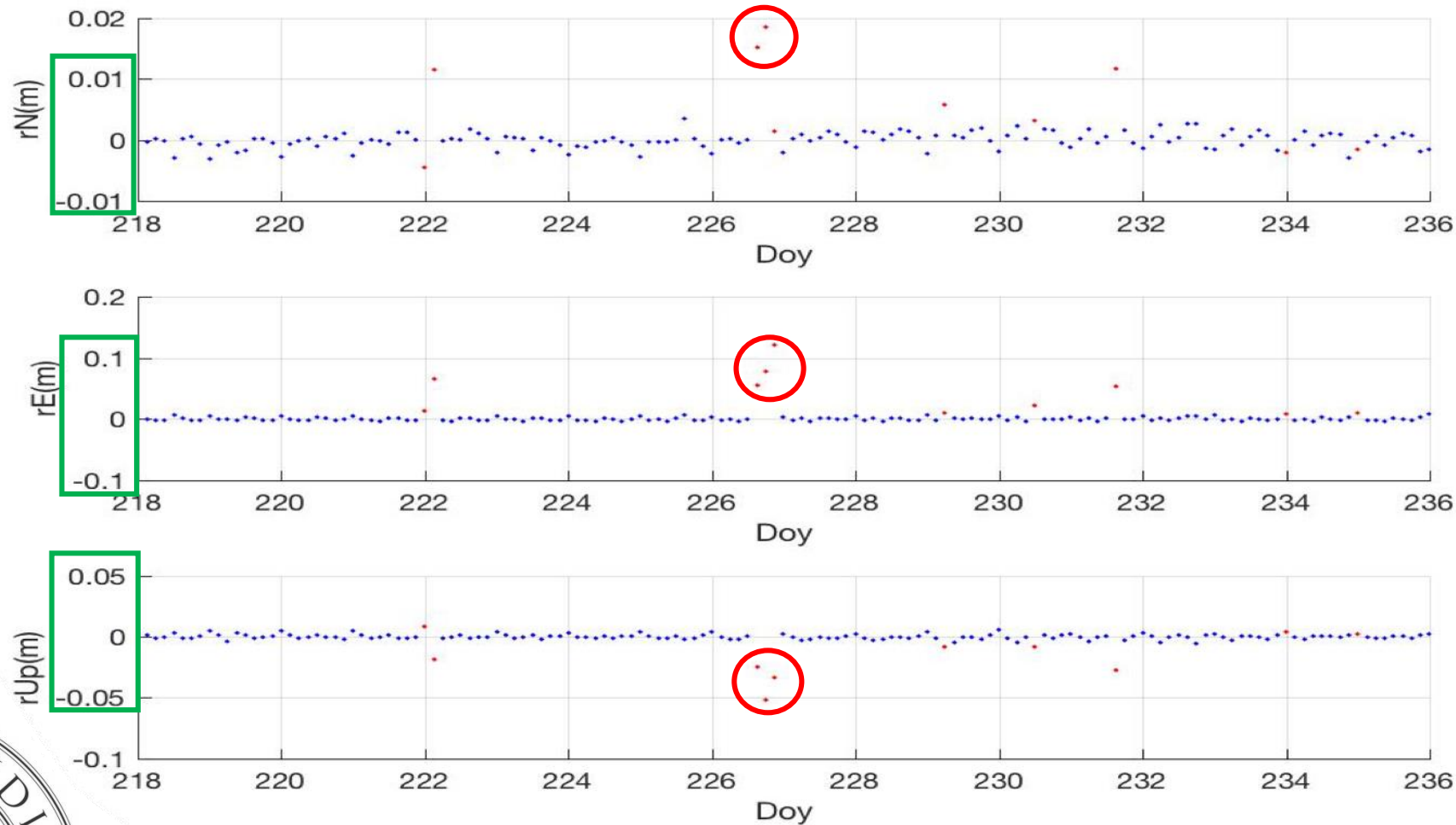
Le analisi dei RINEX con finestra temporale di lunghezza pari a 24 e 12 ore e campionamento pari a 1, 5, e 10 secondi non sono state effettuate in quanto precedenti studi hanno accertato che nel caso di finestre temporali lunghe l'influenza del campionamento è marginale.

		<i>Campionamento [s]</i>				
		1	5	10	15	30
<i>Finestra Temporale [ore]</i>	24					
	12					
	6					
	3					
	2					
	1					

<i>Analisi non effettuata</i>	
<i>Analisi effettuata</i>	



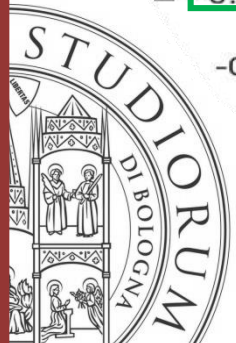
# Analisi dei risultati



Serie temporale relativa all'elaborazione della seguente combinazione:

- Ricevitore C94-M8P
- Antenna geodetica
- Campionamento pari a 15s
- finestra di osservazione pari a 3h

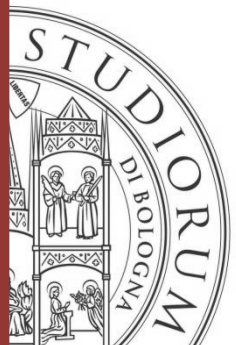
Procedura di pulizia degli outliers (punti rossi) mediante algoritmo di rigetto a  $3\sigma$

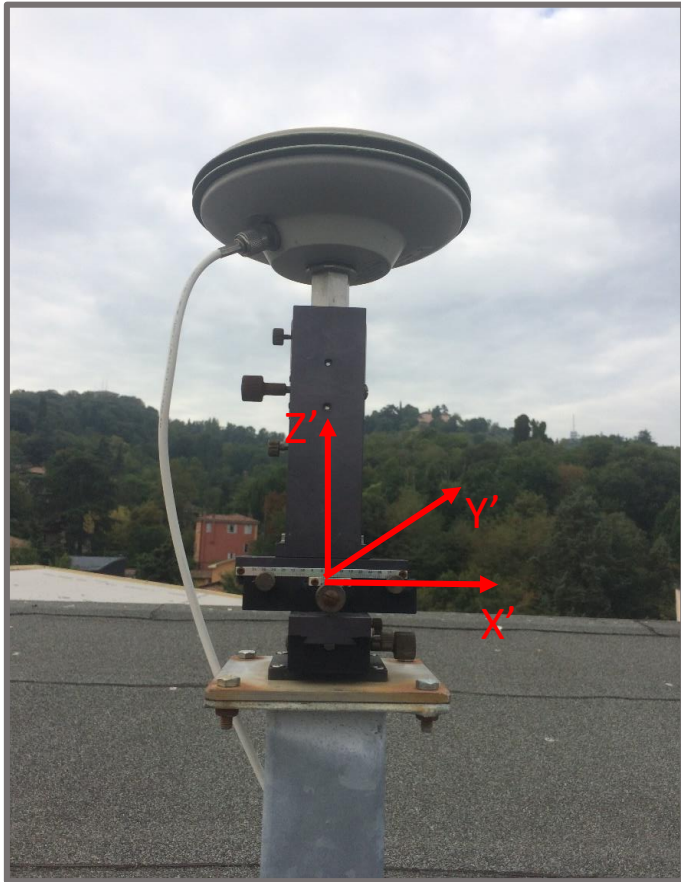


# Risultati della sperimentazione

C94-M8P e antenna Low-cost				C94-M8P e antenna Leica			
SOLUZIONE	RMS rN [mm]	RMS rE [mm]	RMS rUP [mm]		RMS rN [mm]	RMS rE [mm]	RMS rUP [mm]
01h_01sec	8	15	13	01h_01sec	5,1	14,5	5,1
02h_05sec	4	11	8	02h_01sec	1,3	4,7	2,0
03h_10sec	3	7	5	03h_01sec	0,7	2,8	1,0
06h_05sec	2	2	2	06h_05sec	0,4	1,1	0,6
12h_15sec	1	3	1	12h_15sec	0,3	0,3	0,3
24h_15sec	1	1	1	24h_15sec	0,3	0,3	0,2

Tabella con le precisioni (mm) relative ai test del ricevitore low cost Ublox C94-M8P accoppiato ai due tipi di antenne





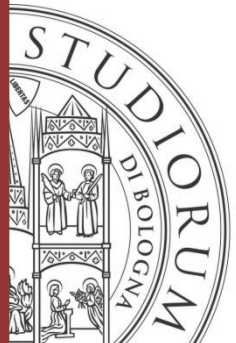
# Test di verifica

È stato imposto uno spostamento pari ad 1 centimetro lungo le direzioni X', Y' e Z' con intervalli di circa 24h.

$$Spostamento_{teorico} = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2 + 0,01^2} = 0,0173 \text{ m}$$

Data	Ora inizio acquisizione	Ora fine acquisizione	rN [m]	rE [m]	rUp [m]	Modulo spostamento misurato [m]	Modulo spostamento teorico [m]	Δ Modulo [mm]
21/09/16	12:01	23:59:30.000	0,00155	0,00226	-0,00263	0,01576	0,0173	1,56
22/09/16	12:01	23:59:30.000	-0,00476	-0,00829	0,00722			

Possiamo affermare che il test di calibrazione ha confermato gli ottimi risultati ottenuti durante la sperimentazione. Spostamenti sub-centimetrici possono essere rilevati con un'incertezza millimetrica.



# Prototipo stazione di monitoraggio



Sistema di alimentazione

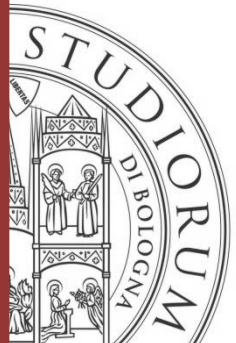


Ricevitore e antenna GNSS Lowcost



Sistema di gestione in sito

Sistema di gestione e archiviazione dati



# Sito Test: Ponte Motta di Cavezzo



**Power supply:**  
1 Solar Panel  
Regulator charger  
Batteries

~ 600 €

**Master Station:**  
Ublox + Bullet  
Raspberry PI 3  
Dongle 4G

**Rover Station:**  
Ublox + Bullet  
Raspberry PI 3  
Dongle 4G

~ 1000 €

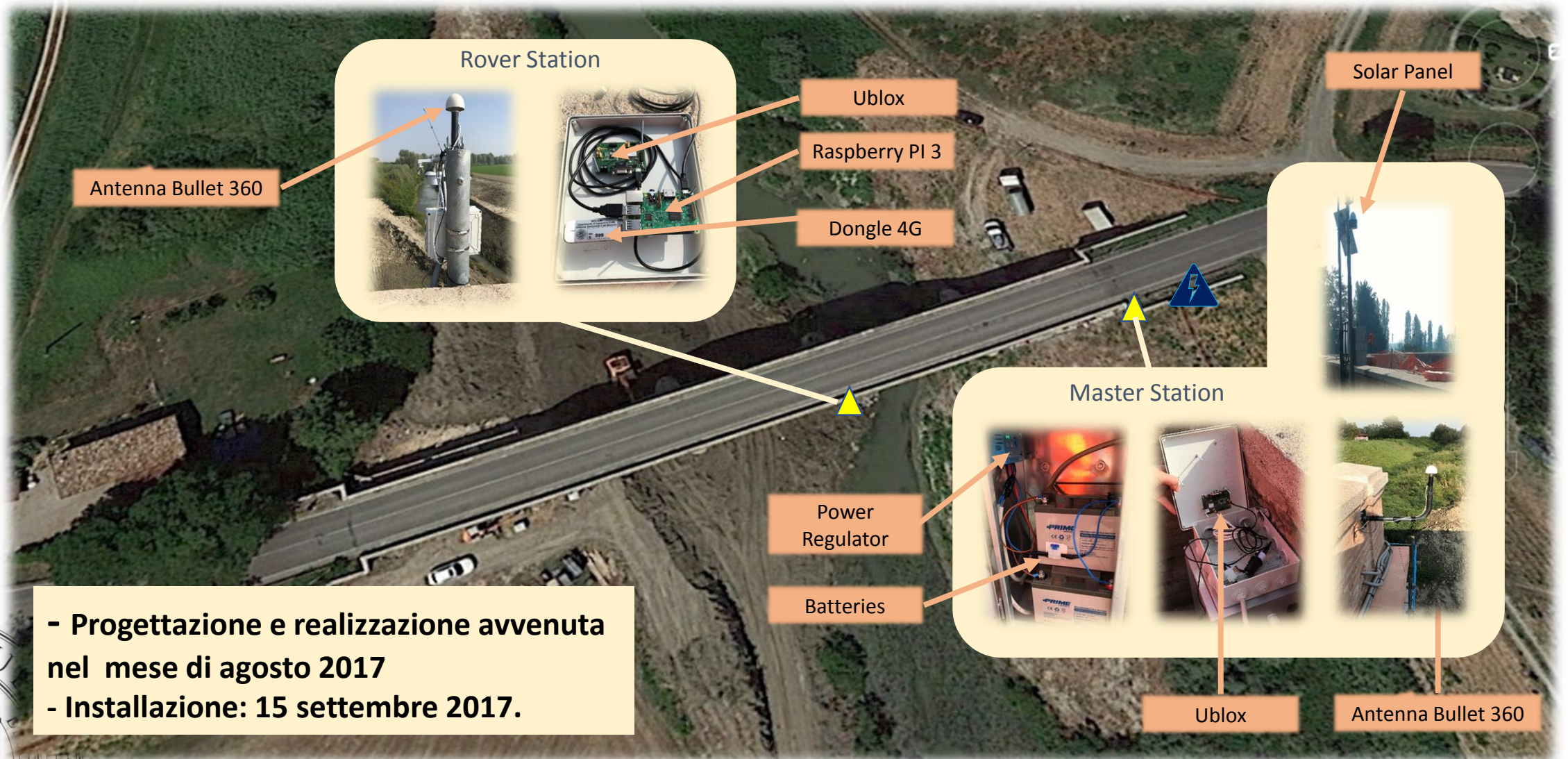
**Data Processing:**

- 1) Embadded RT data processing
- 2) RT data processing using RTKLIB
- 3) Quasi RT data processing using RTKLIB or GoGPS

~ 0 €

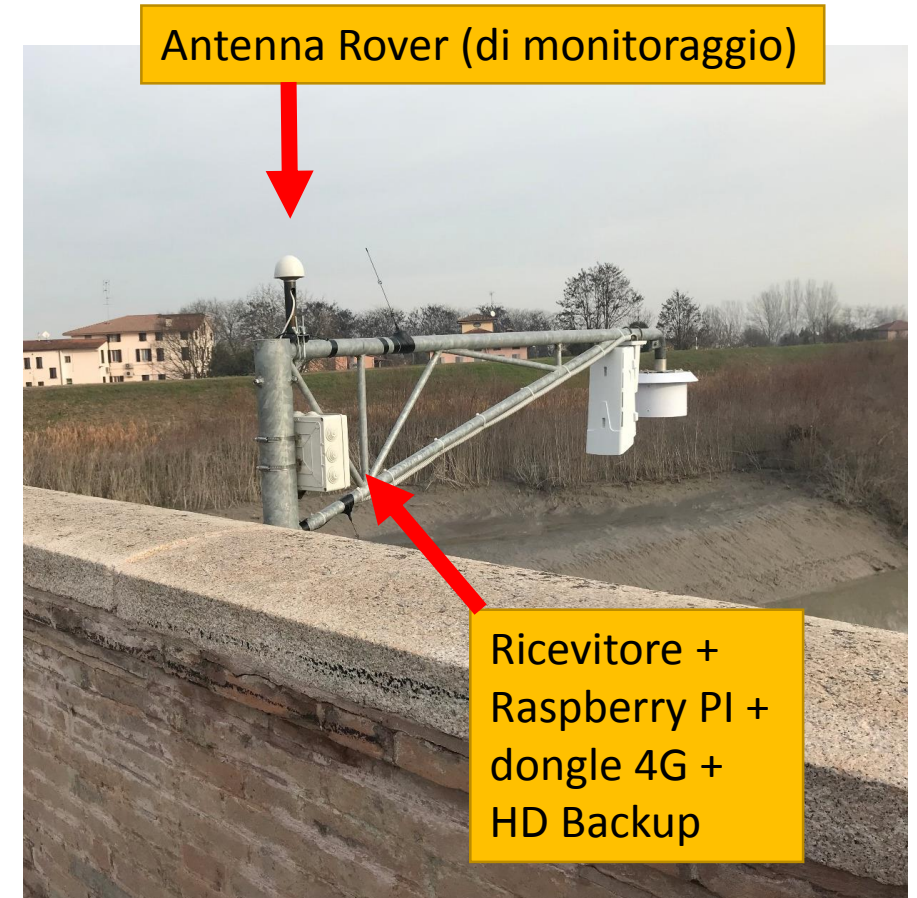


# Installazione strumentazione

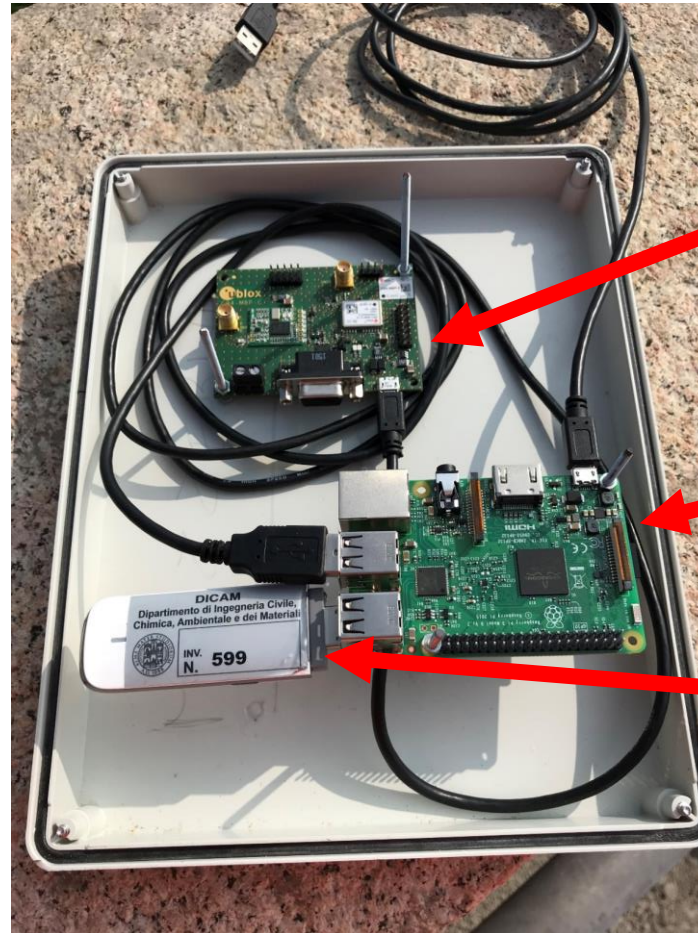




# Dettagli sulla installazione



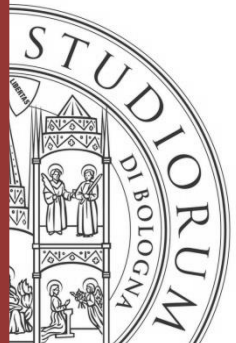
# Dettaglio del prototipo



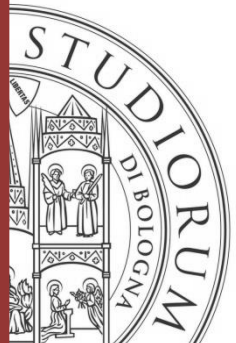
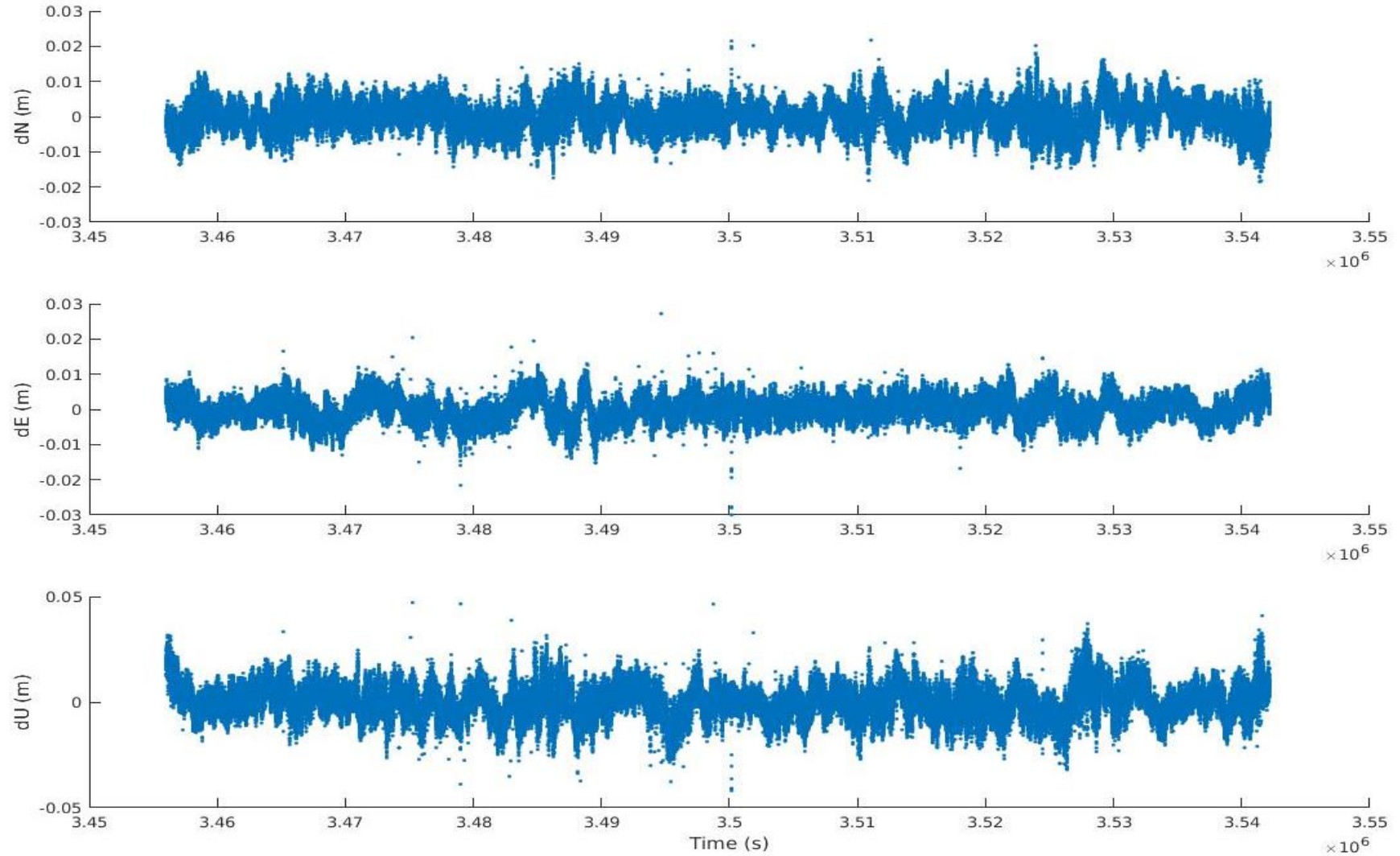
Ricevitore U-BLOX

Raspberry PI

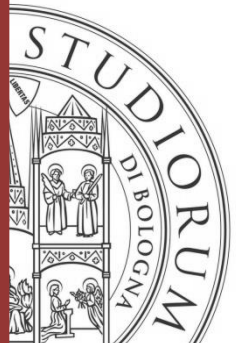
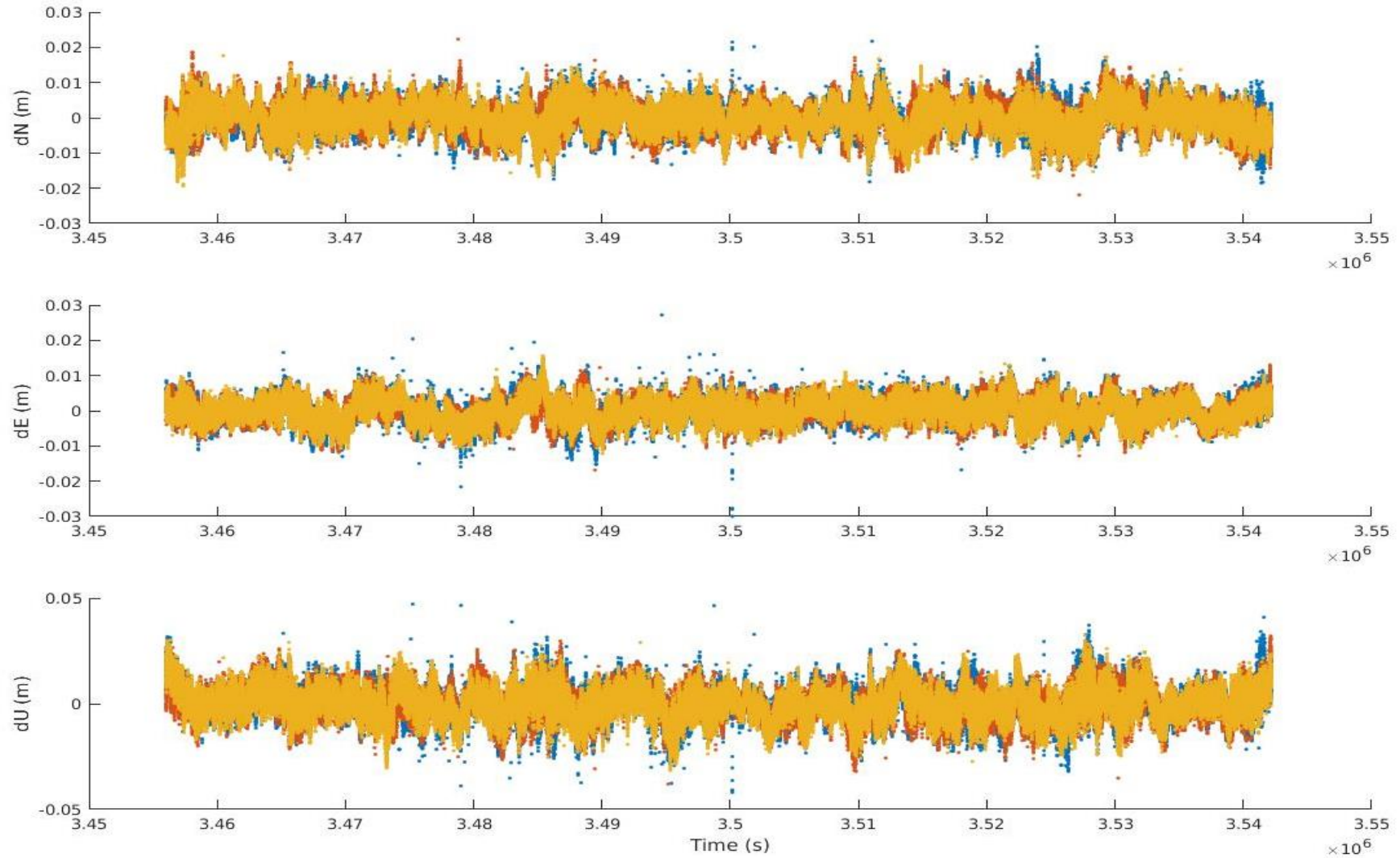
Dongle 4G



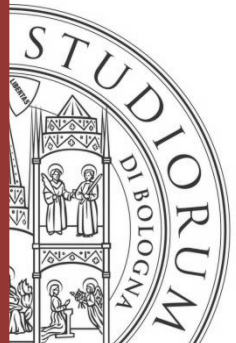
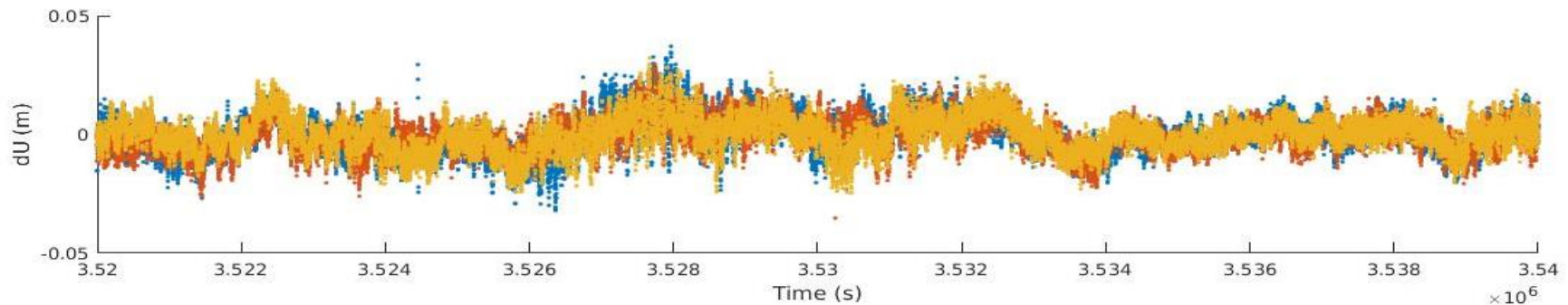
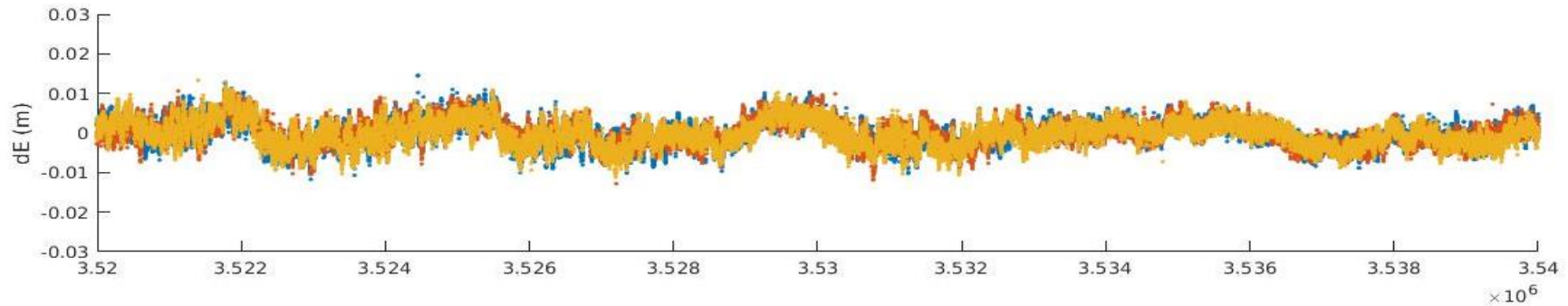
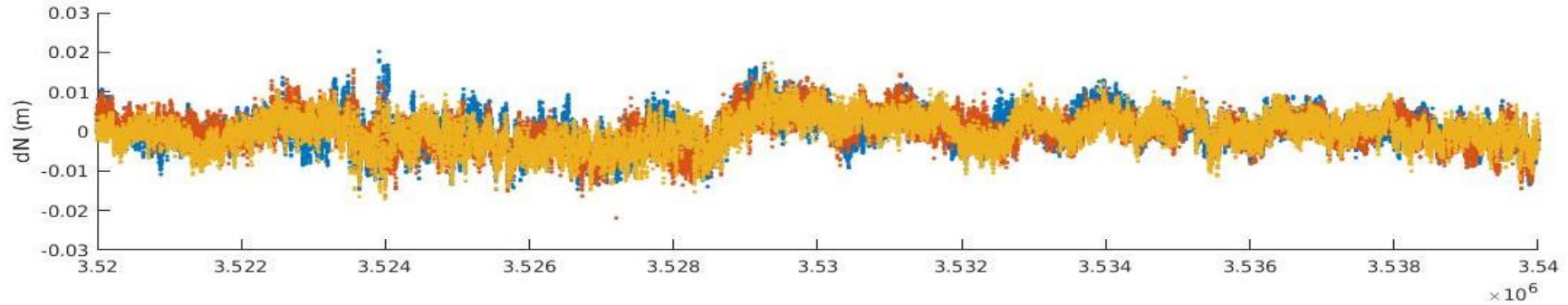
# Serie Temporalì giornaliere (frequenza 1Hz)



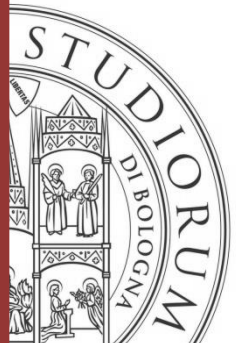
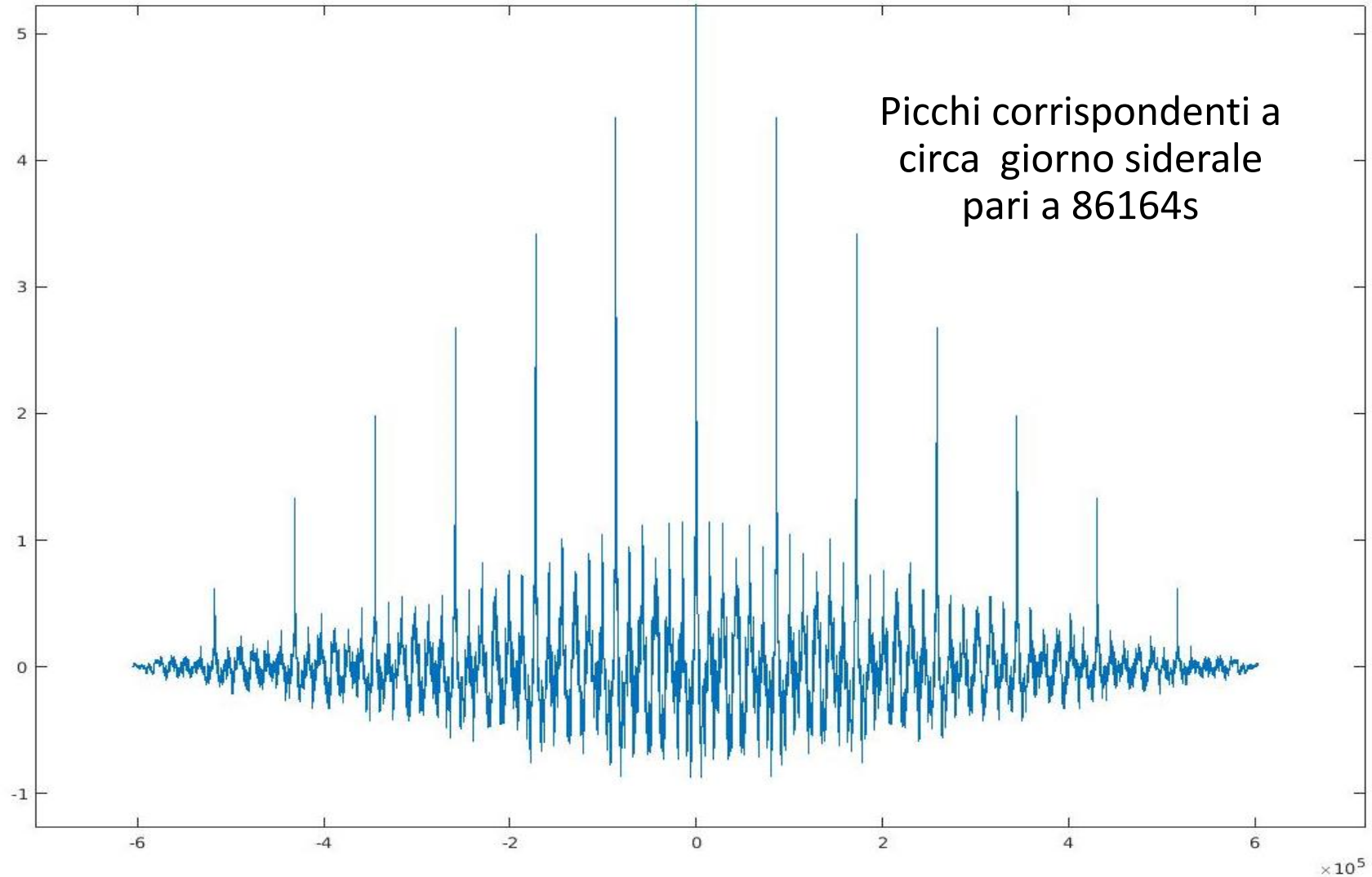
# Sovrapposizione di 3 giorni siderali consecutivi



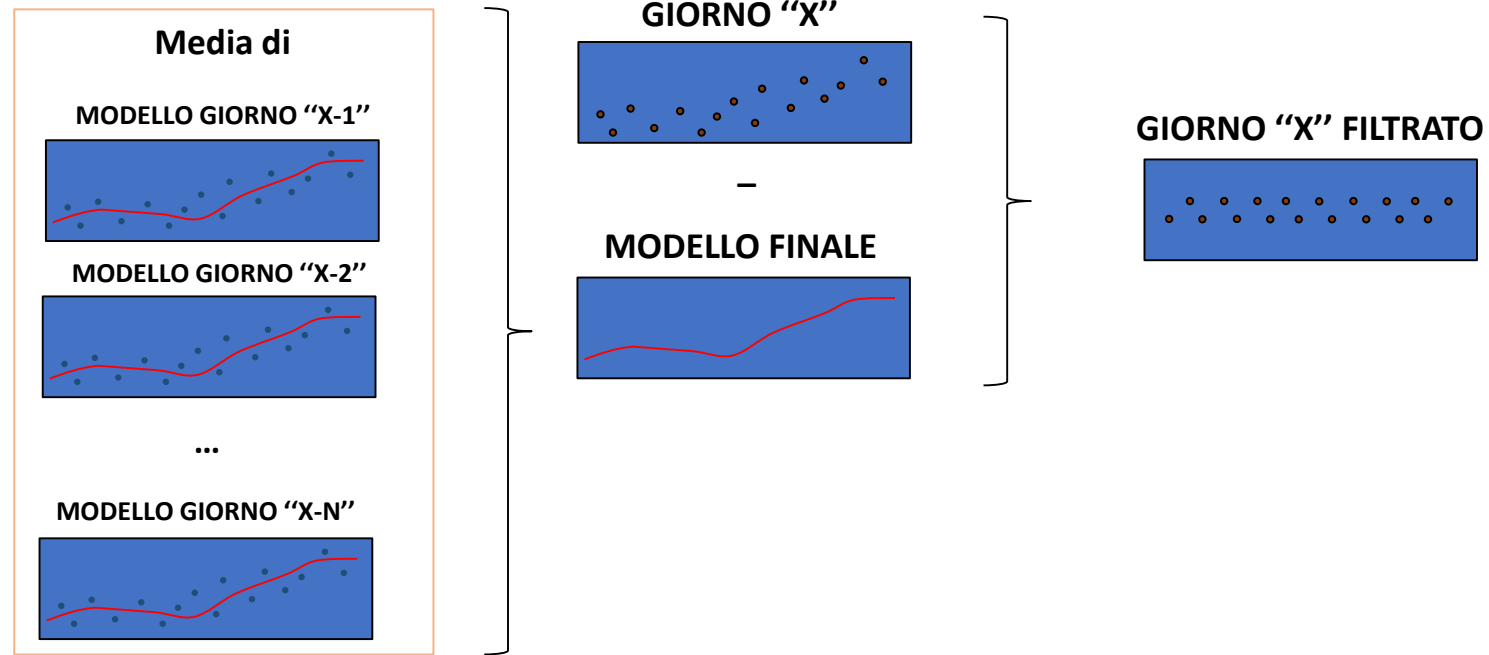
# Dettaglio delle serie temporali dei 3 giorni siderali



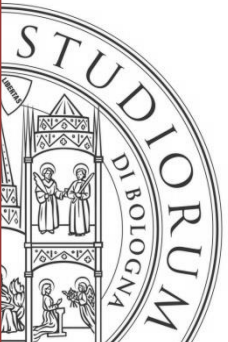
# Funzione di Autocorrelazione



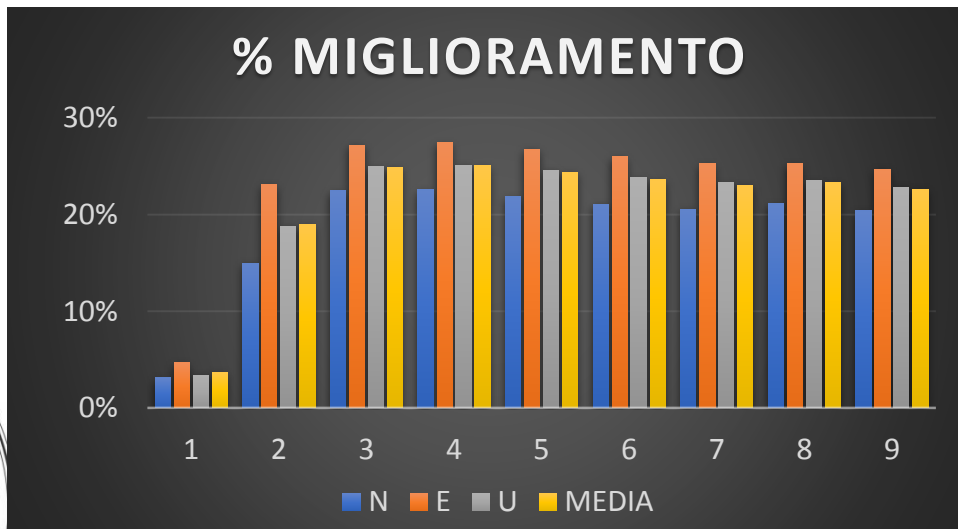
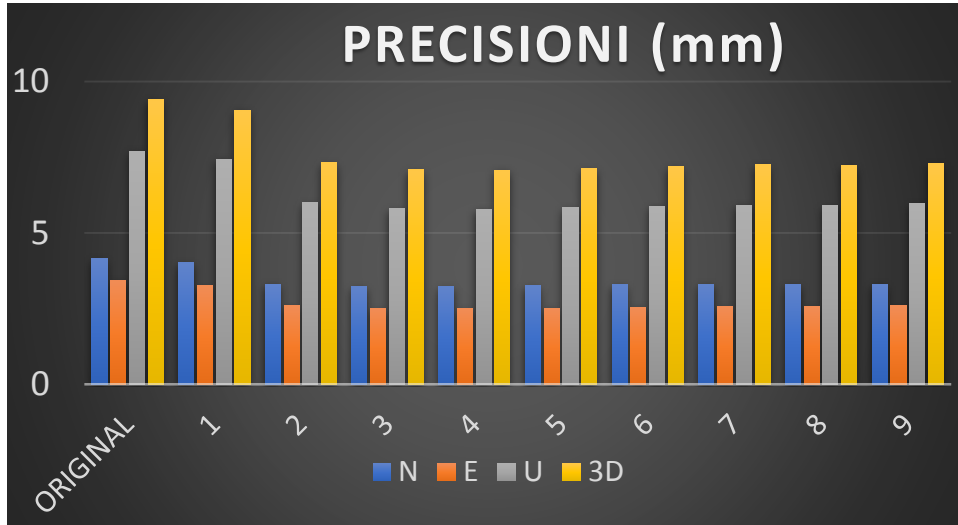
# Costruzione del modello di correzione



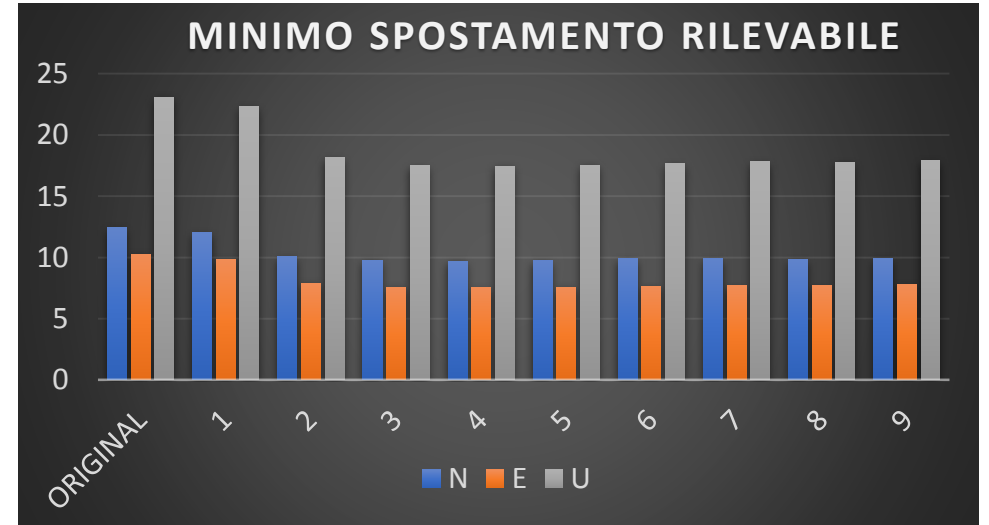
1. Modello Giornaliero: media mobile ponderata per ogni soluzione
2. Modello Finale: media degli N modelli giornalieri precedenti
3. Soluzione Filtrata: Applicazione del modello finale alla relativa soluzione



# Sintesi elaborazioni

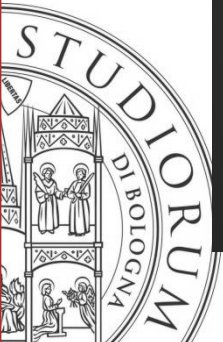


In Tempo reale applicando il modello



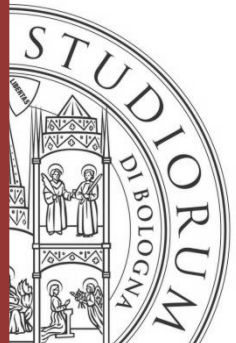
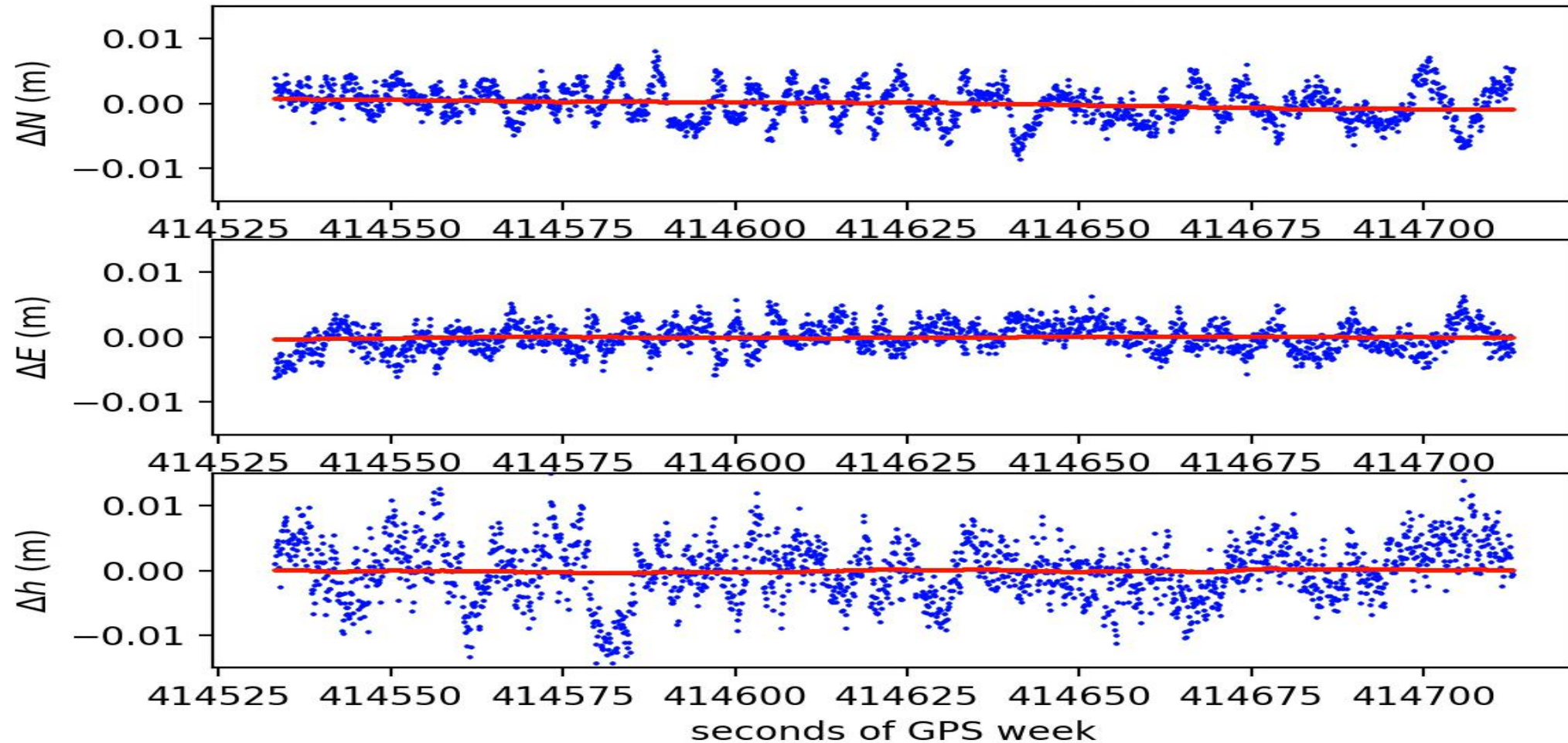
➔ < 2 cm in Quota

➔ ~ 1 cm in Planimetria



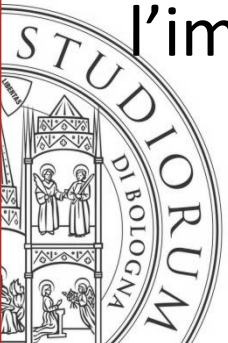


# Campionamento a 1Hz e media mobile a 2 minuti dopo rimozione del modello (4 giorni)



# Conclusioni

- Il sistema realizzato è conforme alle attese sia sotto l'aspetto della qualità dei risultati ottenuti sia sotto l'aspetto del parametro economico.
- Le sperimentazioni condotte anche in sito si sono rivelate fondamentali per poter evidenziare alcune criticità principalmente legate al sistema di trasferimento dati in tempo reale poi risolte.
- Attualmente sono ancora in corso le acquisizioni sia sul Ponte Motta di Cavezzo sia sul test site collocato sul tetto della Scuola di Ingegneria utili per svolgere ulteriori analisi dati in differenti modalità e per valutare l'impatto di strategie e software di calcolo differenti sulle soluzioni finali



# Ringraziamenti

Il Gruppo di Lavoro:  
Prof. Stefano Gandolfi

Ing. Luca Poluzzi (PhD)

Ing. Pierluigi Borelli

Ing. Michele Solimando

Ing. Luca Tavasci (PhD)

