



# LAMP O

Lombardy-based  
Advanced Meteorological  
Predictions and Observations

Eugenio Realini, GReD

## Il monitoraggio GNSS del vapore acquoso atmosferico

Progetto di:



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

In collaborazione con:



Fondazione  
Politecnico  
di Milano



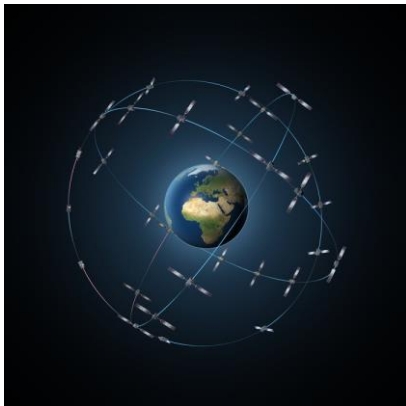
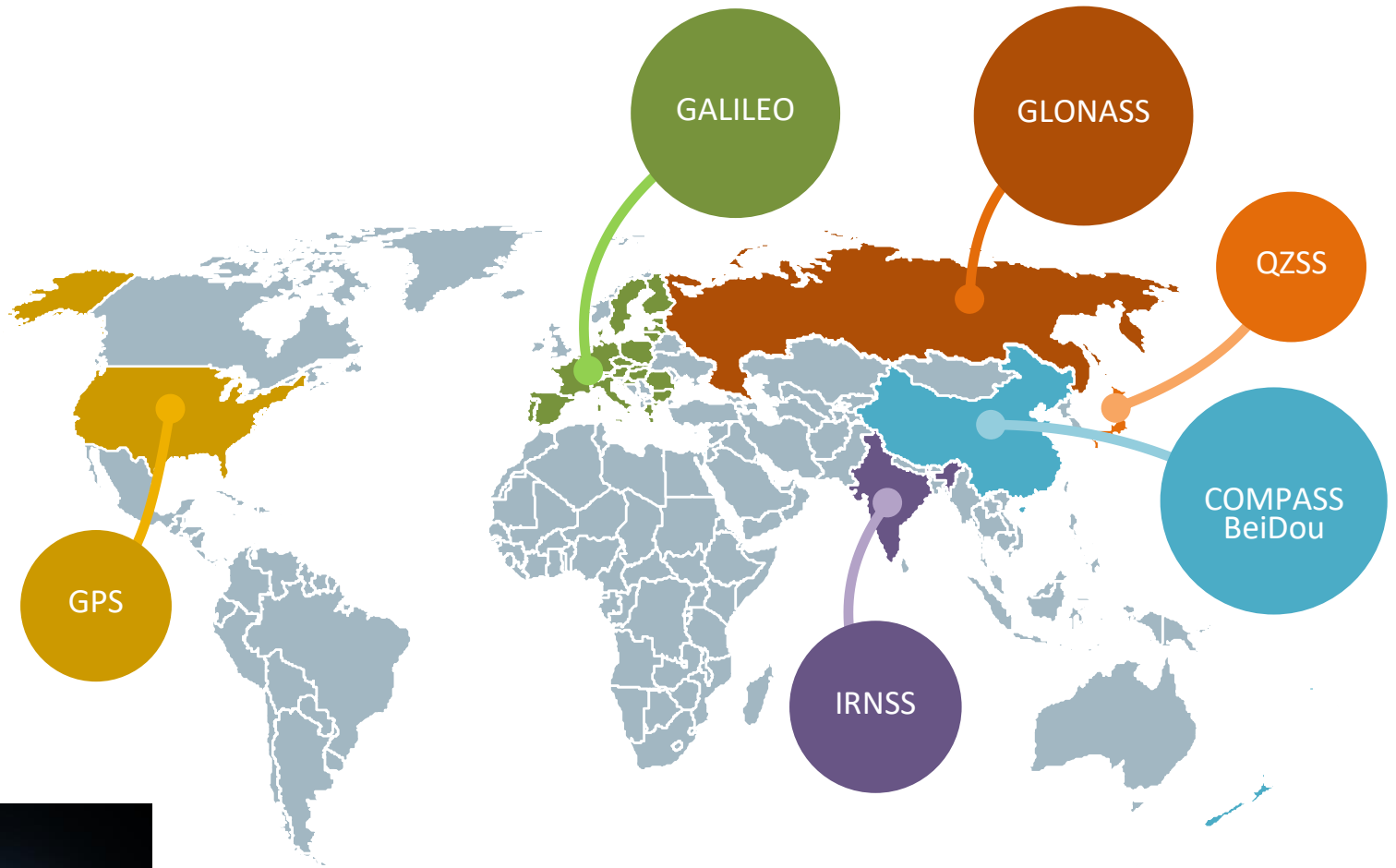
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Finanziato da:

Fondazione  
CARIPLO 



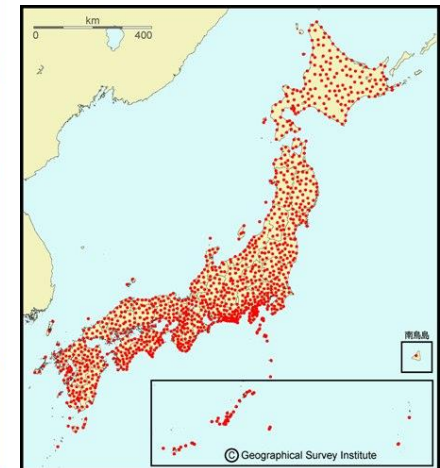
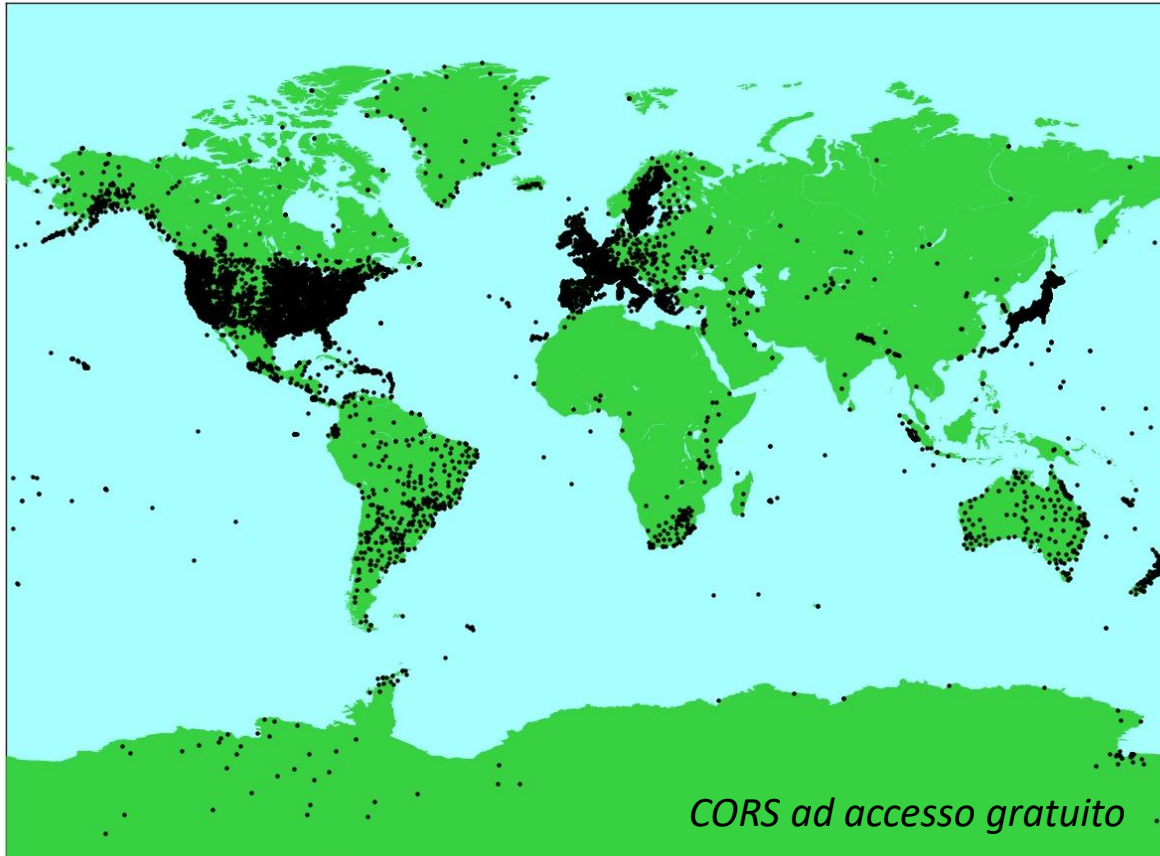
# GNSS





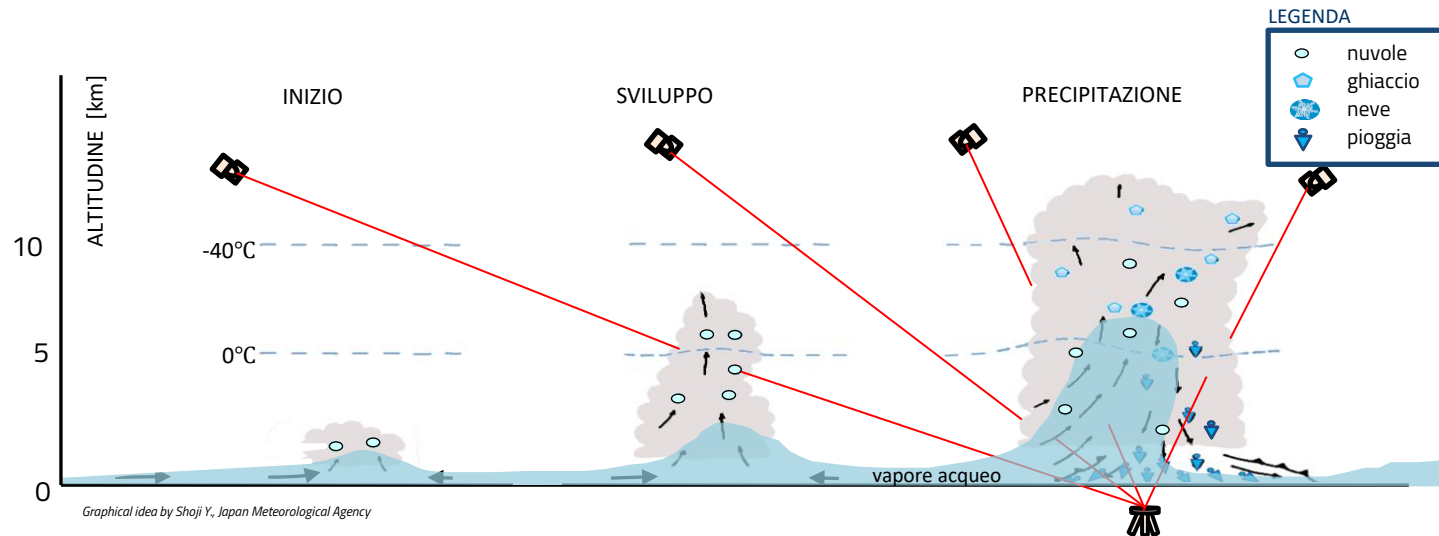
# Continuously Operating Reference Stations (CORS)

9317 GNSS stations

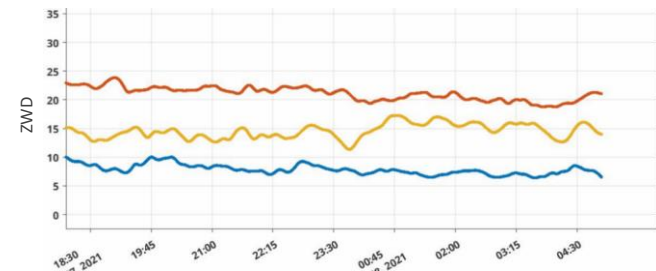




L'analisi dei segnali GNSS permette di stimarne il ritardo dovuto alla presenza di vapore acqueo in atmosfera. Le misure effettuate in direzione di diversi satelliti sono combinate in un unico valore di riferimento per la stazione, in direzione verticale: il ritardo troposferico (totale) zenitale (ZTD).

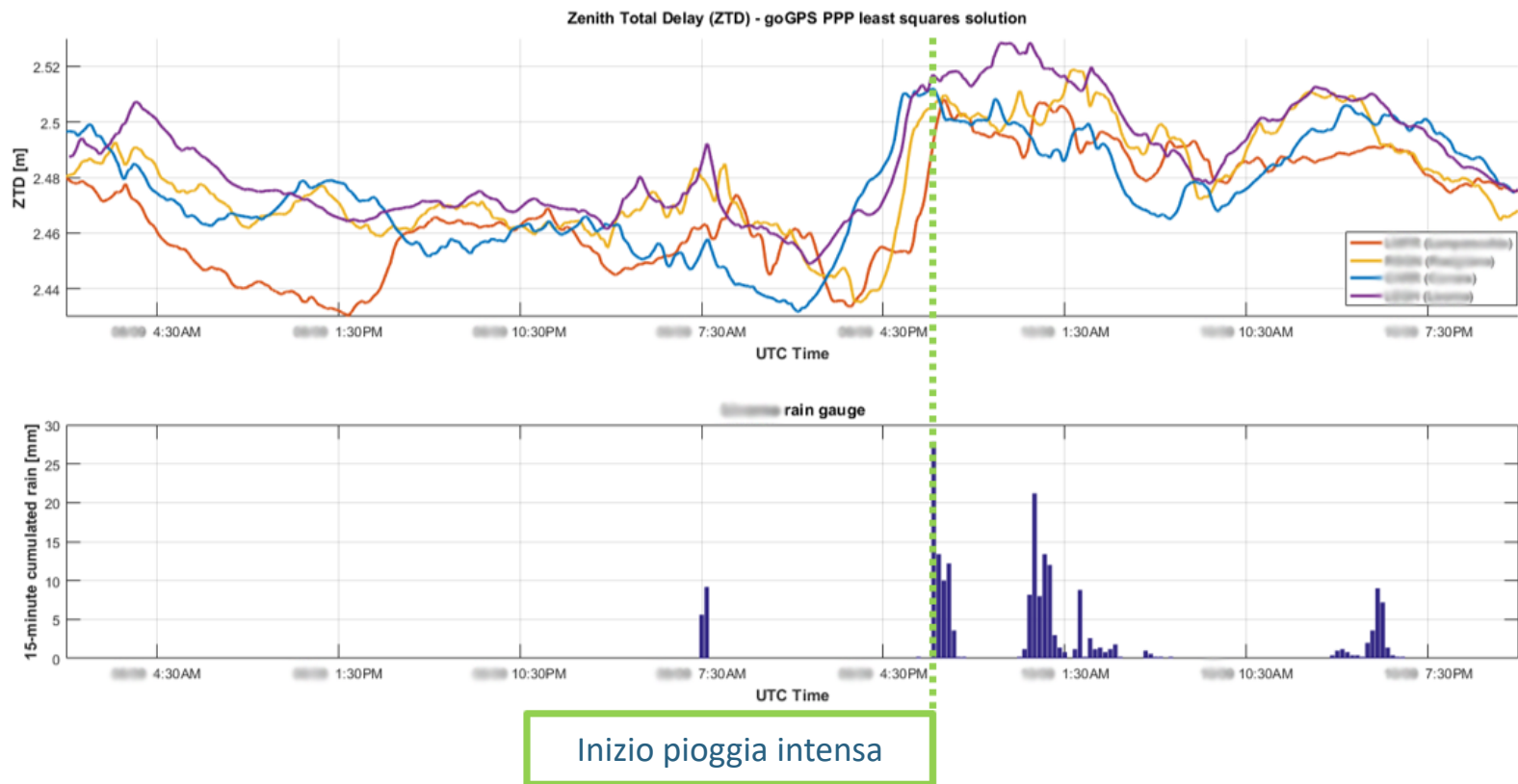


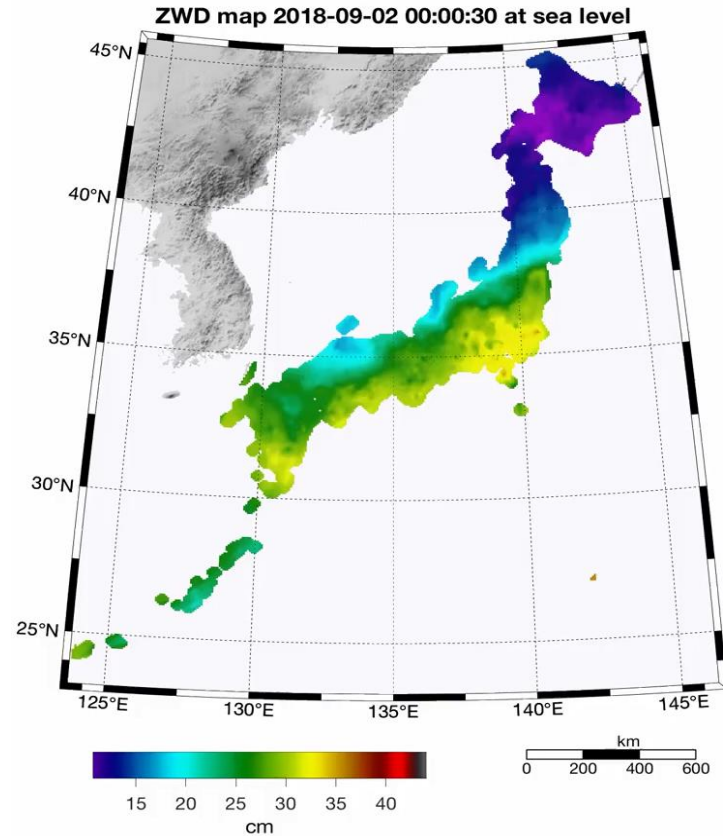
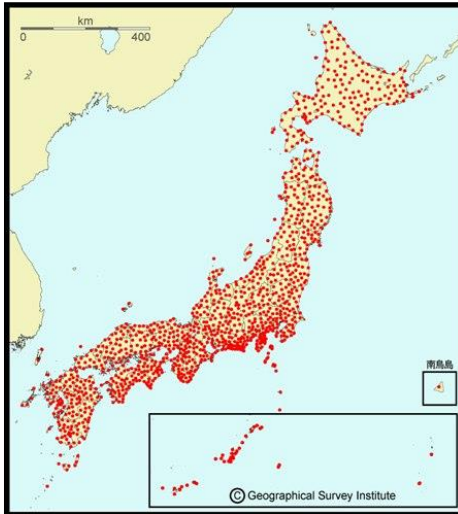
Tale stima effettuata in tempo (quasi) reale permette di monitorare la quantità integrata di vapore acqueo lungo la verticale sull'antenna GNSS.





Il vapore acqueo atmosferico è un ingrediente importante dei processi fisici che conducono a fenomeni di precipitazione. Spesso si nota una crescita del vapore monitorato da GNSS prima dell'inizio della pioggia.



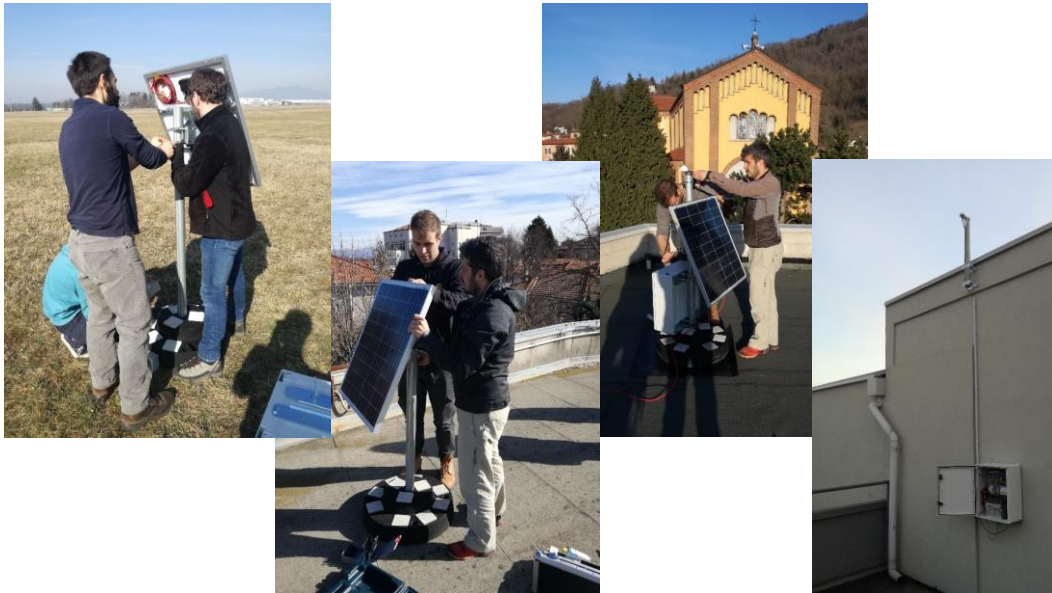


Mapa animata del ritardo GNSS dovuto al vapore acqueo (ZWD) stimato dall'intera rete GNSS giapponese (GEONET, ~1300 stazioni) durante il passaggio del tifone Jebi.



# LAMPO – Progettazione rete & installazione stazioni

- Dislocazione stazioni: aree sensibili individuate da ARPA Lombardia & copertura GNSS pre-esistente
- Potenziali siti di installazione individuati in base a requisiti GNSS & praticità: coperture di edifici pubblici (edifici comunali, scuole, ...), campi volo/aeroporti, ...



## CAMPO VOLO DI VENEGONO INFERIORE

INDIRIZZO: Via Ferrarin, 21040 Venegono Inferiore VA

POSIZIONE SENSORE: prato accanto all'hangar 11

CONTATTI: [redacted]@clubvarese.it

COORDINATE INDICATIVE: 45°44'09.2"N 8°53'21"

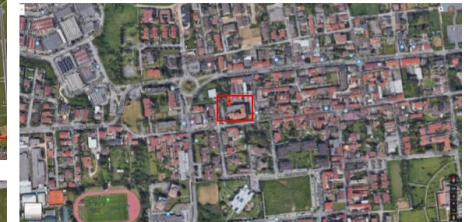
## STAZIONE URBANA DI CESANO MADERNO

INDIRIZZO: Via San Bernardo / Piazza Formenti, 20811 Cesano Maderno (MB)

POSIZIONE SENSORE: sul tetto della scuola L. Minotti (accesso tramite scala esterna)

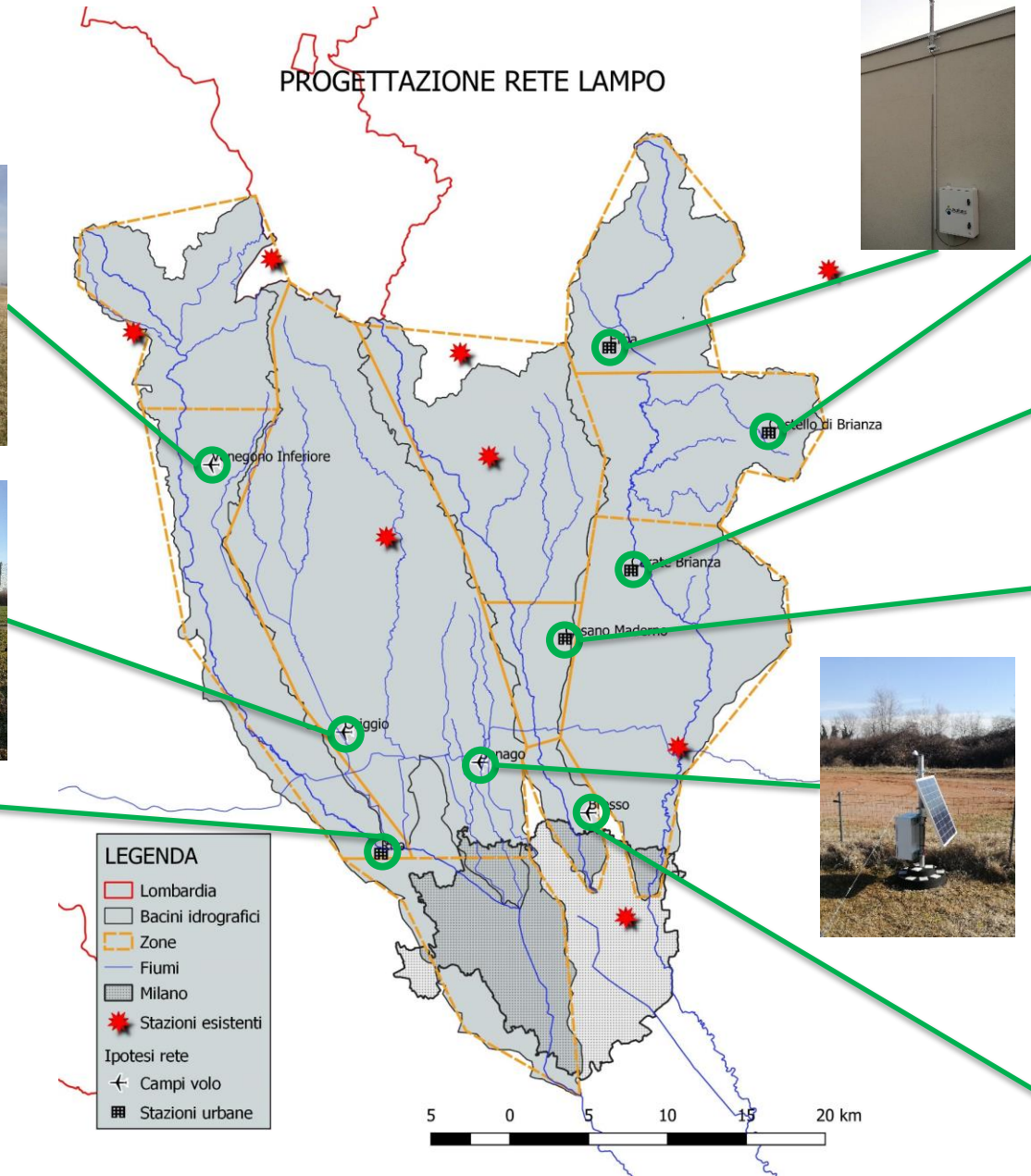
CONTATTI: [redacted]@comune.cesano-maderno.mb.it

COORDINATE INDICATIVE: 45°38'20.0"N 9°10'49.8"E





# PROGETTAZIONE RETE LAMPO



**LEGENDA**

- ▬ Lombardia
- Bacini idrografici
- Zone
- Fiumi
- Milano
- ★ Stazioni esistenti
- Ipotesi rete**
- ↖ Campi volo
- Stazioni urbane

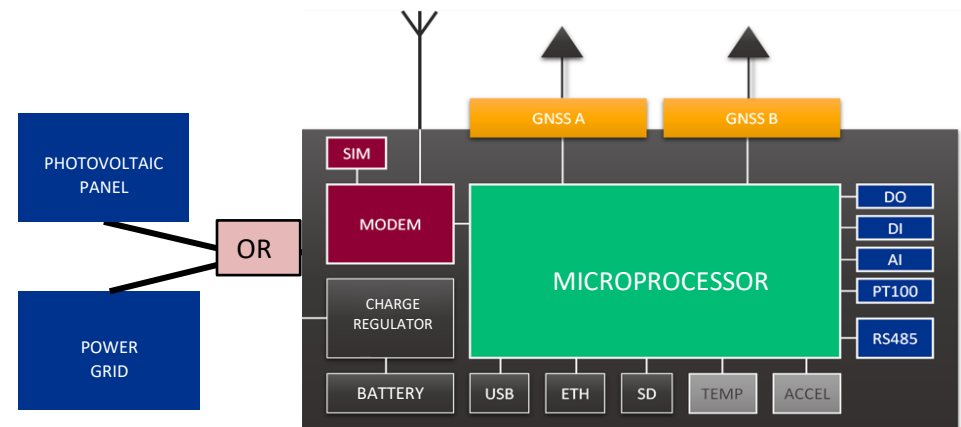






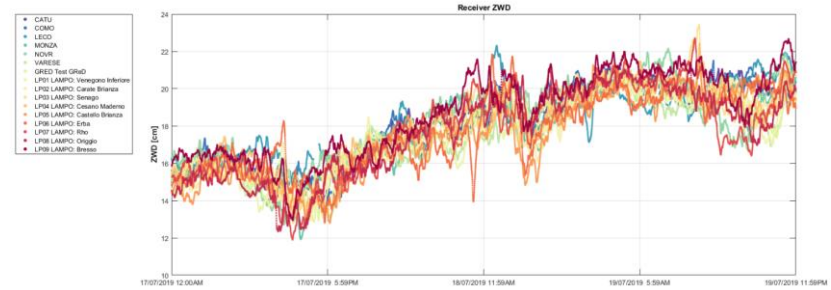
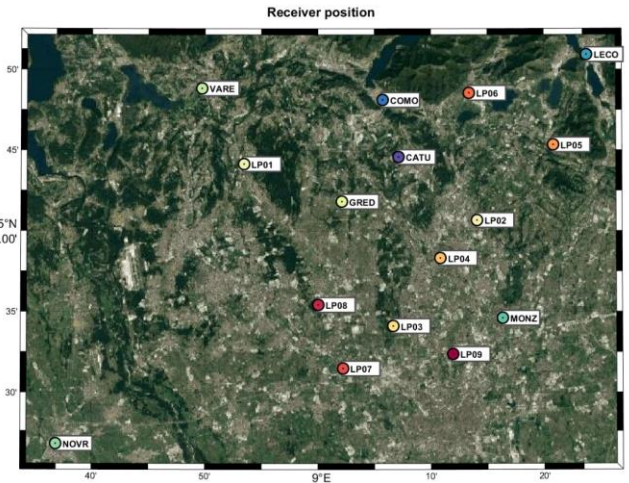
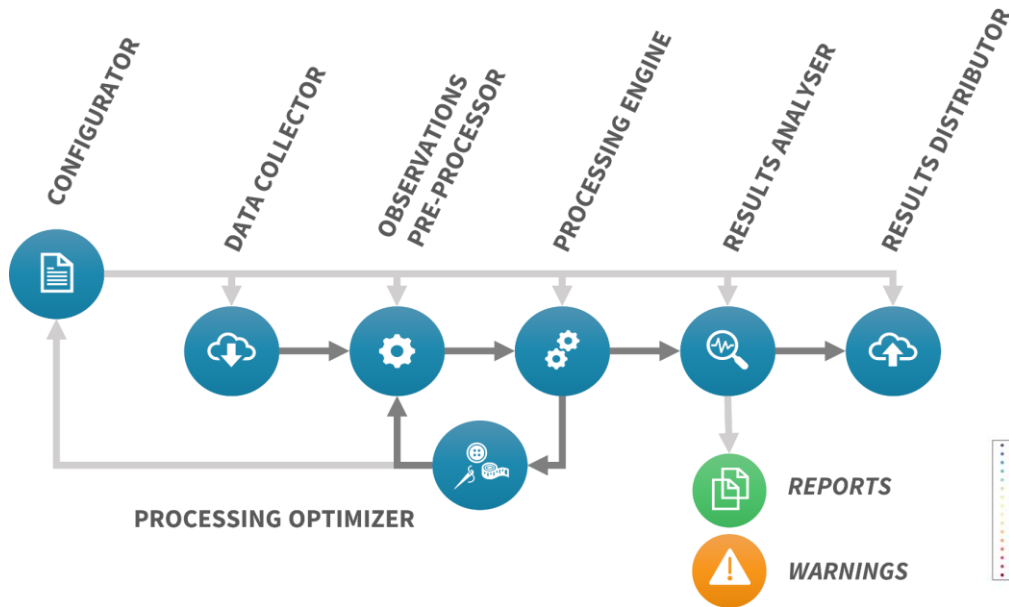
# Stazione LAMPO

- Hardware GeoGuard®
- Ricevitore GNSS singola frequenza (L1) → *interpolazione ionosfera!*
- Antenna L1 con dome
- Modem 3G per trasmissione dati
- Scheda SD per raccolta dati in caso di assenza connettività
- Pannello fotovoltaico / connessione rete elettrica
- Batteria tampone per continuità alimentazione
- Base in gomma riciclata e blocchetti in cemento
- Peso totale della stazione: 90 kg





Il processamento dei dati grezzi GNSS è stato effettuato mediante il software **Breva**, sviluppato da GReD. Dati provenienti sia da stazioni LAMPO che da stazioni appartenenti alla rete interregionale SPIN.





## Parametri di configurazione del processamento.

Software	Breva
Processing technique	PPP
Adjustment method	Joint least squares
Constellations	GPS
Observation rate	30 sec
Mapping function	Vienna Mapping Function 1
A-priori model	Vienna Mapping Function 1
<b>Estimated ZTD</b>	<b>1 per epoch (30 sec)</b>
<b>ZTD constraint</b>	<b>1.5 cm/hour</b>
<b>Estimated ZTD gradients</b>	<b>North, East</b>
Ocean loading	Yes (FES2004)
Atmospheric loading	Yes
Pole Tides	Yes
Shapiro delay	Yes

Results validated  
against ZTD from  
radiosondes:

**RMSE < 2 cm**

Dati GNSS d'archivio  
post-processati (da  
stazioni pre-  
esistenti) per  
addestramento rete  
neurale:

**11 anni**  
(2010-2020)



Schema del sistema di monitoraggio, dalla raccolta dati a livello delle stazioni GNSS, fino alla trasmissione dei risultati all'utente finale.

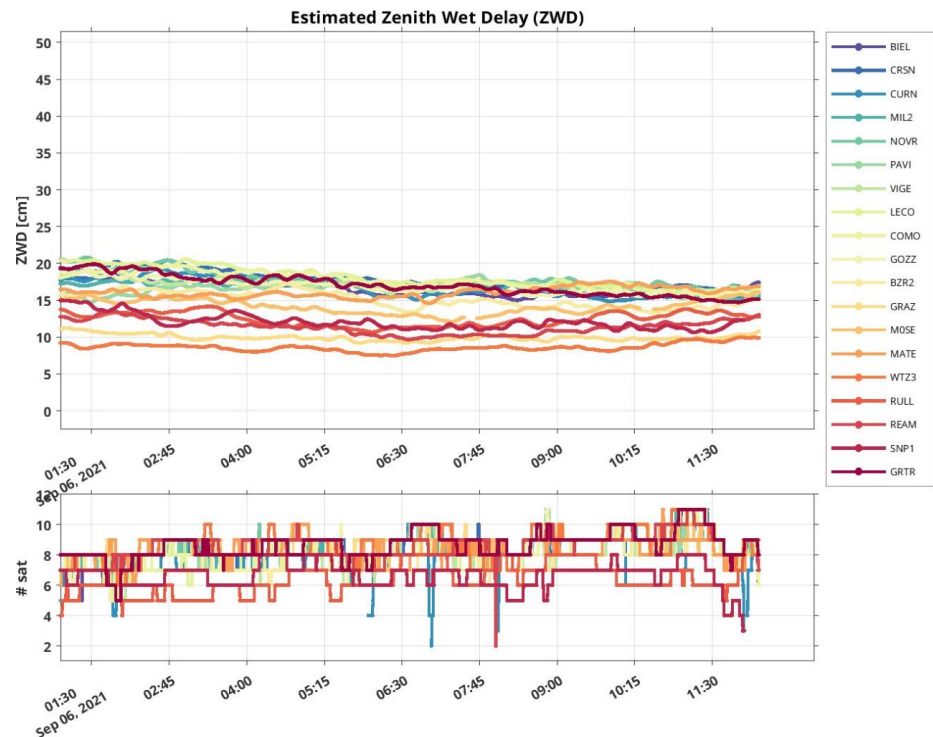


Periodo di monitoraggio: **Marzo 2019 – Ottobre 2020**



Esempio di monitoraggio in tempo quasi reale (NRT) dello ZWD da 12 stazioni in Italia ed Europa (inclusa un'unità di monitoraggio GeoGuard **a doppia frequenza**).

- Software Brevia di GReD
- Aggiornamento dello ZWD ogni ora
- Latenza di processamento: meno di 10 minuti
- Utilizzo di stream real-time da stazioni GNSS (protocollo NTRIP)
- Utilizzo correzioni di orbite e clock dei satelliti real-time del CNES





# Conclusioni

Il progetto LAMPO ha permesso, per la prima volta in Italia, l'installazione e l'utilizzo continuo per più di un anno di una **rete di stazioni GNSS a basso costo**

Sono stati effettuati sia **processamenti di dati d'archivio (11 anni)** da stazioni pre-esistenti, sia **processamenti in quasi tempo reale** dalle stazioni LAMPO e da stazioni pre-esistenti

I risultati del processamento di dati GNSS d'archivio sono stati utilizzati (insieme ad altre grandezze meteorologiche) per **addestrare una rete neurale** con l'obiettivo di predire fenomeni di pioggia intensa

I risultati del processamento GNSS in quasi tempo reale sono stati **interfacciati con i sistemi operativi** di ARPA Lombardia

Contatti:

[eugenio.realini@g-red.eu](mailto:eugenio.realini@g-red.eu)



[www.lampo.polimi.it](http://www.lampo.polimi.it)



[www.facebook.com/Lampo.Polimi](https://www.facebook.com/Lampo.Polimi)



[www.twitter.com/Lampo Polimi](https://www.twitter.com/Lampo Polimi)