



Università degli Studi di Ferrara

Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra

Corso di Laurea in Fisica

# Tecniche di spettroscopia gamma e di telerilevamento di dati SAR Sentinel-1 per la stima del contenuto d'acqua del suolo in agricoltura di precisione

Relatore:

Prof. Fabio Mantovani

Correlatrice:

Dott.ssa Virginia Strati

Laureanda:

Martina Natali

Anno Accademico 2019 – 2020



# SOMMARIO

Importanza dello studio del contenuto d'acqua del suolo

Misura del contenuto d'acqua

I satelliti Sentinel-1

Misura dello spettro gamma del  $^{40}\text{K}$

Coefficiente di backscattering radar

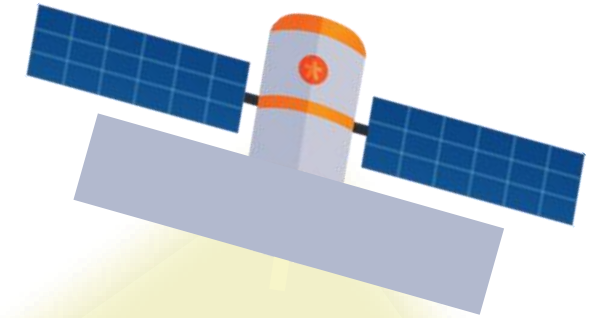
Campo di visione

Processamento delle immagini satellitari

Area e periodi di studio

Analisi dei dati

Conclusioni



Contributi originali

# SUOLO E ACQUA

Un **futuro** sostenibile dell'agricoltura si basa sulla **conoscenza** e **valorizzazione** del suolo e dell'acqua. L'uso di queste risorse è ottimizzato nell'**agricoltura di precisione**, grazie a tecniche innovative per il **monitoraggio continuo** del contenuto idrico del suolo.

- Il suolo è un sistema eterogeneo formato da particelle **organiche e inorganiche** in fase **solida, liquida e gassosa**. La fase liquida è una soluzione di acqua e ioni la cui quantità si misura in:

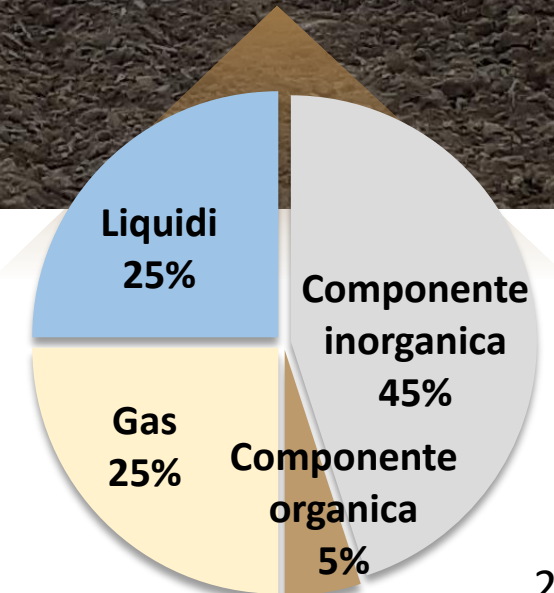
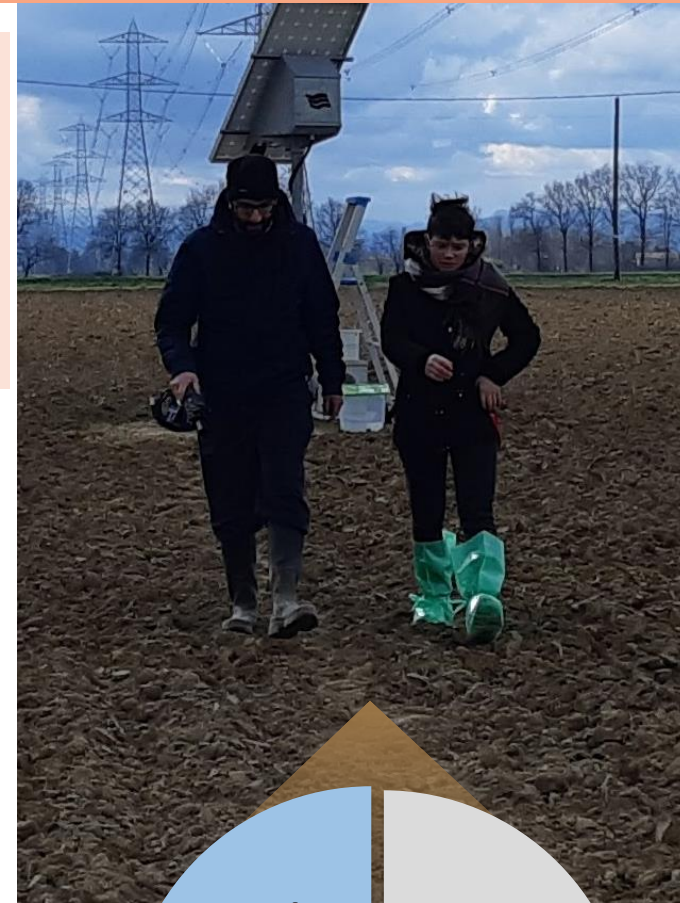
- contenuto d'acqua gravimetrico  $w$  [kg/kg]** =  
massa acqua  $M_a$  / massa solidi  $M_s$

$$w = \frac{M_a}{M_s}$$

- contenuto d'acqua volumetrico  $\theta$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]** =  
volume acqua  $V_a$  / volume totale  $V_t$

$$\theta = \frac{V_a}{V_t}$$

- In un suolo **saturo** l'acqua occupa tutti gli spazi liberi tra le particelle solide (pori interconnessi) e il contenuto d'acqua volumetrico in frazione varia generalmente tra 0.10 e 0.40 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.



\*Percentuali per un suolo medio.

# MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA

## Metodo gravimetrico

Campioni di suolo



Essiccazione in  
forno a 105° per  
24 h

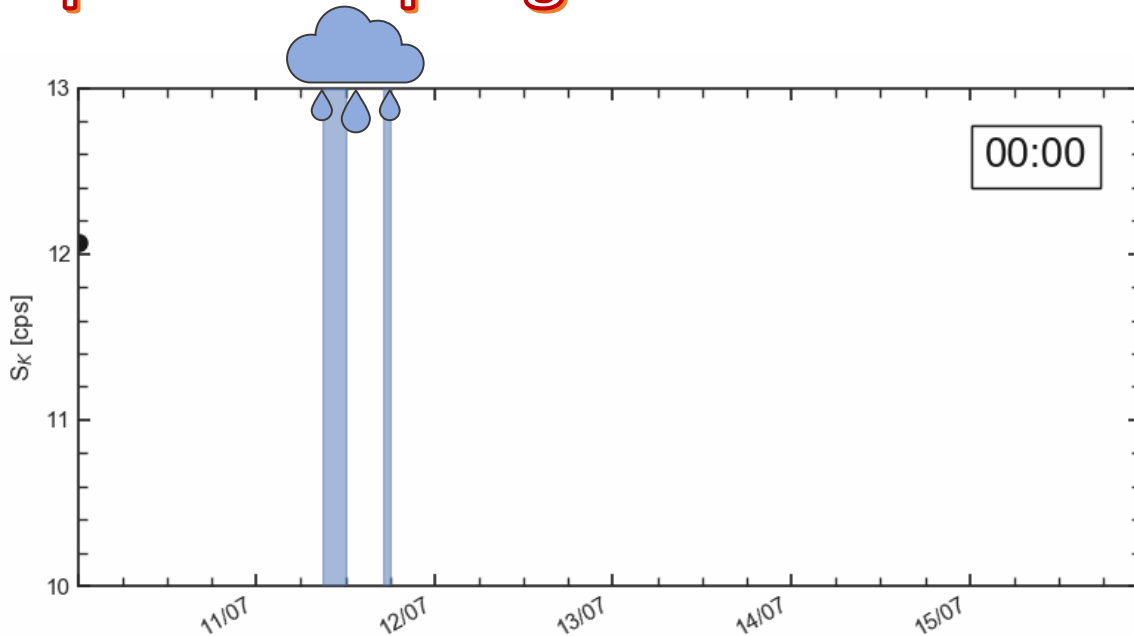


Massa acqua  
evaporata ( $M_a$ ):  
 $M_a = M_1 - M_2$



Contenuto d'acqua:  
 $w [kg/kg] = \frac{M_a}{M_1}$

## Spettroscopia gamma



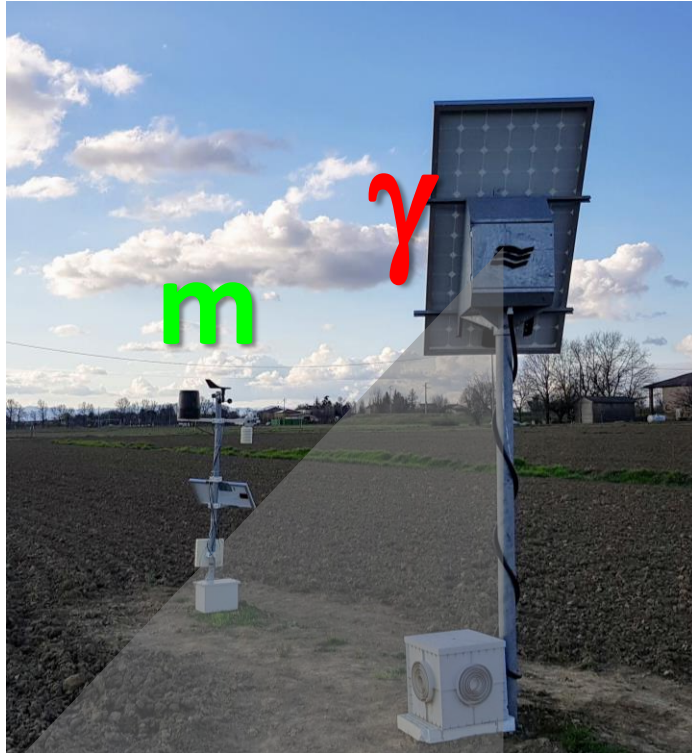
- **Coefficiente di assorbimento massico** dell'acqua è  $>$  di quello del suolo secco (per i raggi gamma)
- Esiste una **relazione inversa** tra il **segnale gamma misurato  $S(t)$**  e il **contenuto d'acqua  $w_\gamma(t)$** :

$$w_\gamma(t) = \frac{S^{Cal}}{S(t)} [\Omega + w^{Cal}] - \Omega$$

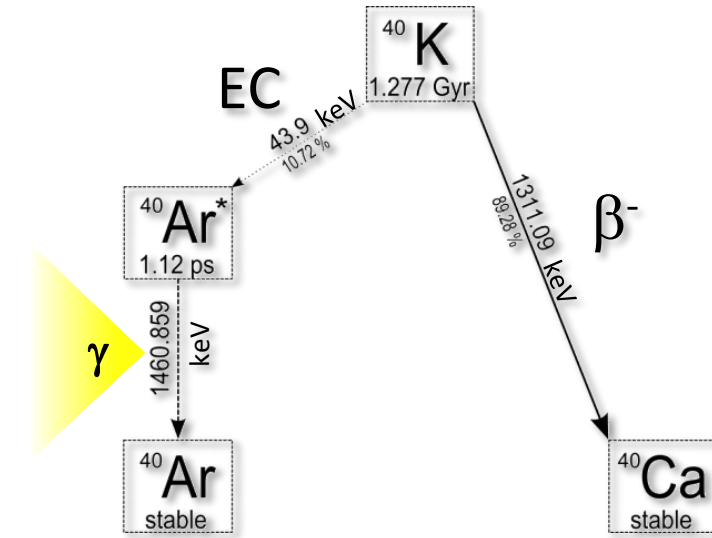
- Si studia il segnale del  $^{40}\text{K}$ , la cui concentrazione nei suoli agricoli è **costante ed omogenea**.



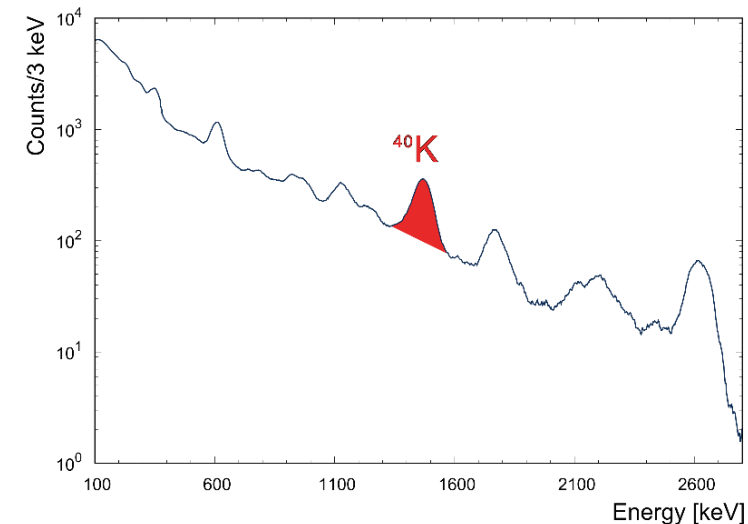
# MISURA IN SITU DELLA RADIOATTIVITÀ DEL $^{40}\text{K}$



- Il **potassio** è uno degli elementi più abbondanti nella crosta terrestre (2.6% in massa).
- Il  $^{40}\text{K}$  è un **radioisotopo** con abbondanza isotopica dello 0.012% e tempo di dimezzamento di  $1.3 \times 10^9$  anni, che decade con un' **emissione gamma a 1460 keV**.



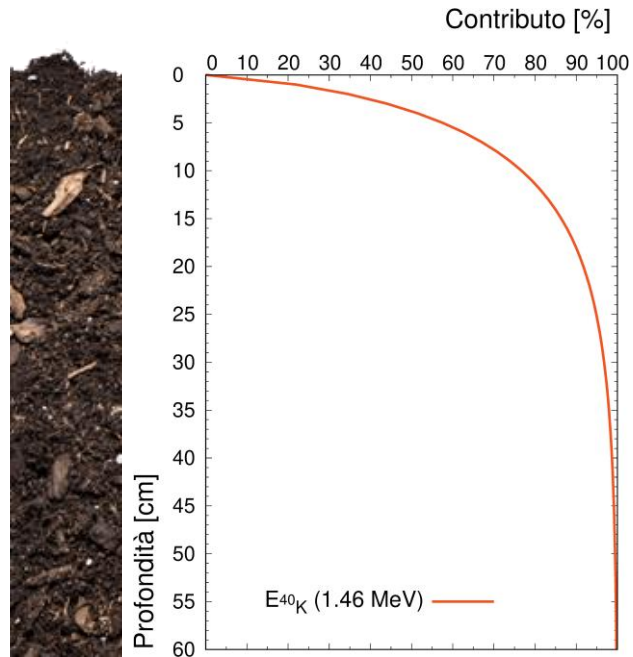
Nell'area test sono state installate una **stazione gamma ( $\gamma$ )** dotata di un rivelatore NaI(Tl) da 1 L, che misura il numero e l'energia dei fotoni emessi (**spettro gamma**), e una stazione agrometeorologica (**m**) per il monitoraggio dei parametri ambientali.



# STAZIONE GAMMA: CAMPI DI VISIONE...

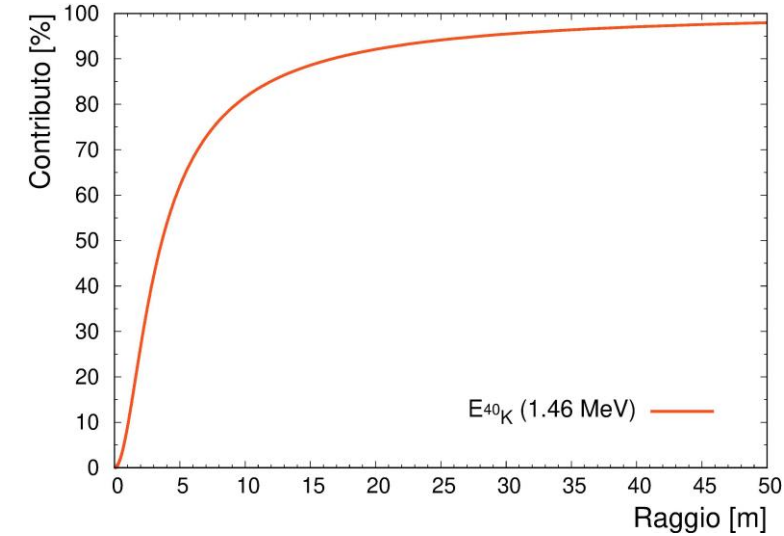
## VERTICALE

Il ~ 95% della radioattività misurata del  $^{40}\text{K}$  (1460 keV) proviene dai primi ~ **25 cm** di profondità del suolo.

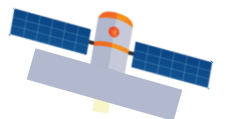
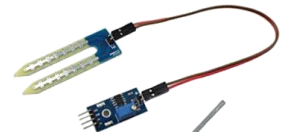


## ORIZZONTALE

Il ~ 95% della radioattività misurata del  $^{40}\text{K}$  (1460 keV) proviene dal suolo entro una distanza di ~ **25 m** dal rivelatore.



- Misura puntuale (~ cm):
- Spettroscopia gamma (~ 10 m):
- Satellite (~ 100 m):



Area test

Consorzio CER,  
Budrio (BO)



# OVERVIEW DI SENTINEL-1

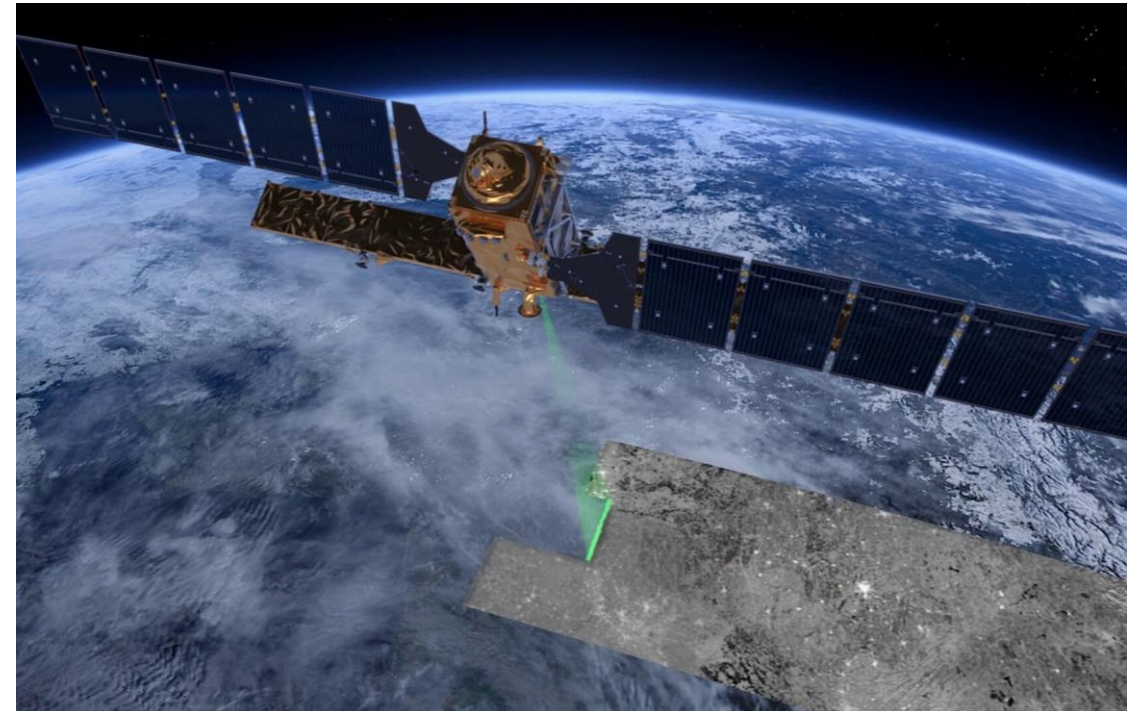
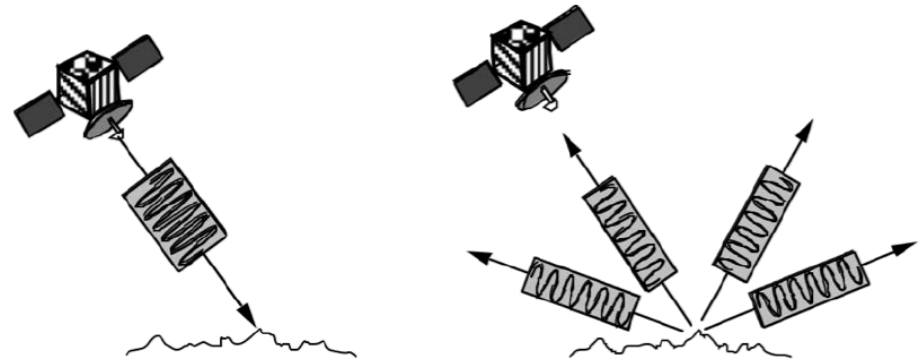
I due satelliti Sentinel-1 A e B (ESA) possiedono **un'antenna radar**, che **emette** un segnale e ne **riceve** la **parte riflessa** dalla superficie (eco): questa viene elaborata per creare un'**immagine digitale 2D della superficie terrestre**.

## Caratteristiche

- Antenna radar SAR-C, ad apertura sintetica in banda C (microonde, 5.4 GHz,  $\lambda \sim 6$  cm).
- Orbita quasi-polare eliosincrona a  $\sim 700$  km.
- Polarizzazione singola o doppia, orizzontale (H) o verticale (V), in emissione e ricezione.

## Vantaggi

- Frequenza di osservazione: 1 / 2 gg (media).
- Risente poco della copertura nuvolosa, non richiede illuminazione solare della superficie.
- Dati gratuiti.
- Pixel di dimensioni 10 m x 10 m.



# EQUAZIONE DEL RADAR E COEFFICIENTE DI BACKSCATTERING

L'equazione del radar definisce la potenza ricevuta  $W_R$  da un'antenna radar avete potenza  $W_T$  ad un distanza  $R$  dalla superficie:

$$W_R = \sigma_b \frac{W_T A^2 \alpha^2}{4\pi R^4 \lambda^2}$$

Dove  $\sigma_b$  è la sezione trasversa radar:

$$\sigma_b = \frac{4\pi P_R}{P_I}$$

$P_s$  è la densità di potenza riflessa per unità di angolo solido e  $P_i$  la densità superficiale di potenza incidente.

Il coefficiente di backscattering  $\sigma_0$  è dato dalla sezione trasversa radar  $\sigma_b$  normalizzata rispetto all'area  $S$  della superficie riflettente:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_b}{S}$$

Proprietà della superficie:

- **Permittività elettrica**
- Permittività magnetica
- Rugosità: variazioni di altezza della superficie  
 $\sim \lambda$  segnale

Geometria antenna - superficie:

- Elevazione superficie
- Campo di visione istantaneo antenna radar

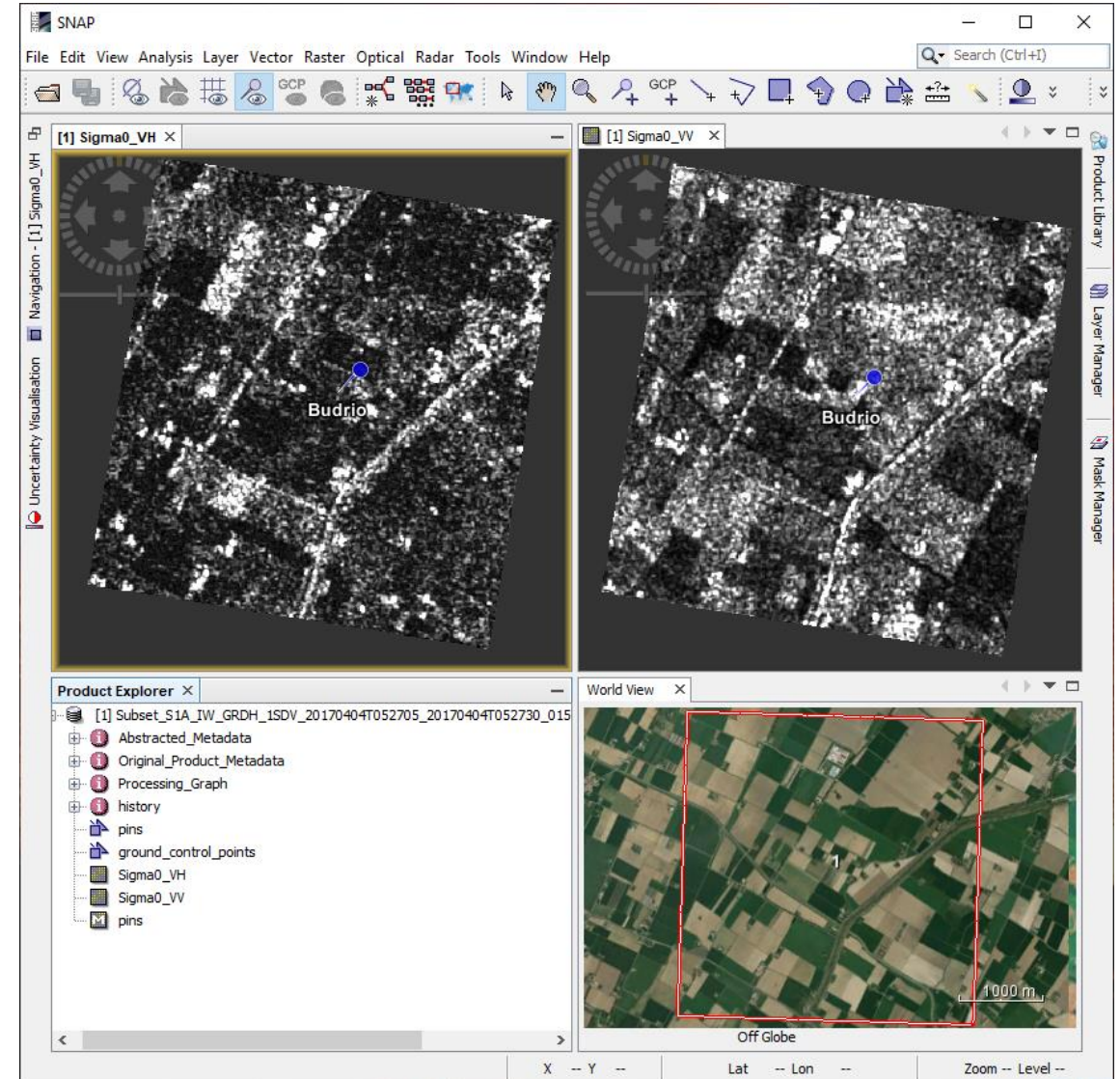
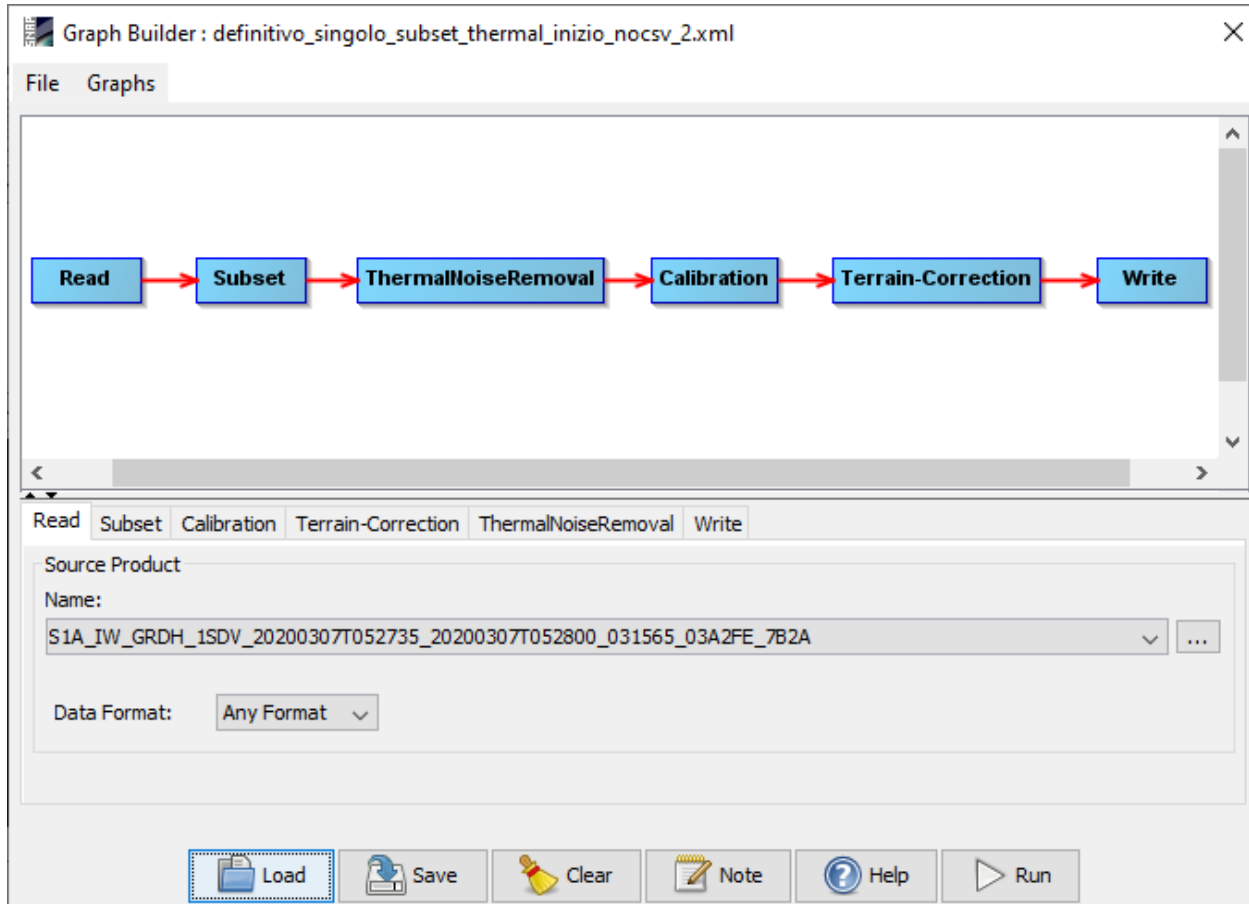
$\sigma_0 \sim$  permittività elettrica  $\epsilon_r$

$\epsilon_r$  acqua  $\gg$   $\epsilon_r$  suolo secco



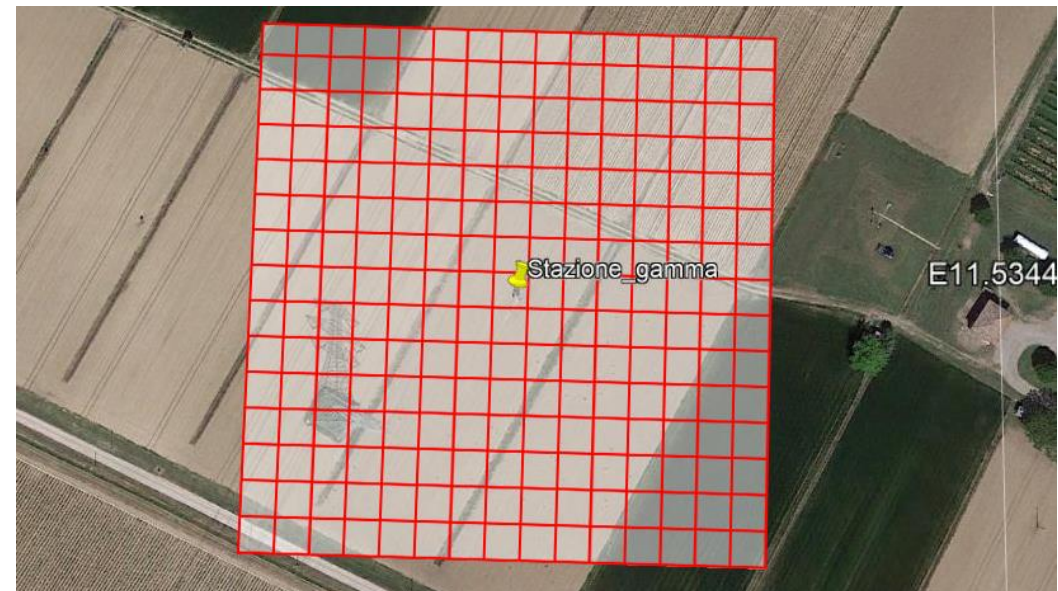
# PROCESSAMENTO DELLE IMMAGINI

- L'immagine satellitare radar è composta da **pixel in scala di grigi**.
- Il numero digitale di ogni pixel è proporzionale all'ampiezza del segnale misurato.

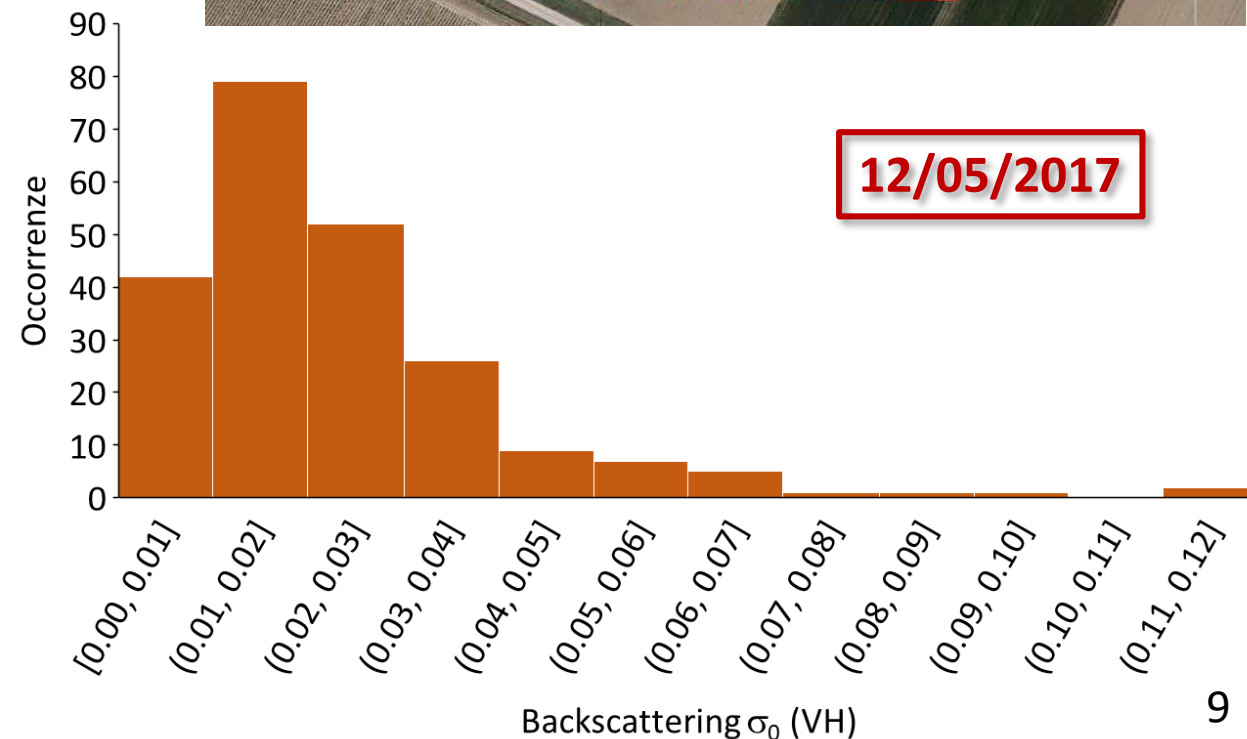


# PERIODI ED AREA DI STUDIO

Nome periodo	Intervallo temporale	Giorni totali	Numero di passaggi dei satelliti
Primavera_2017	Dal 04/04 al 22/05/2017	49	25
Autunno_2017	Dal 15/09 al 02/11/2017	49	25
Primavera_2020	Dal 05/03 al 24/03/2020	20	9



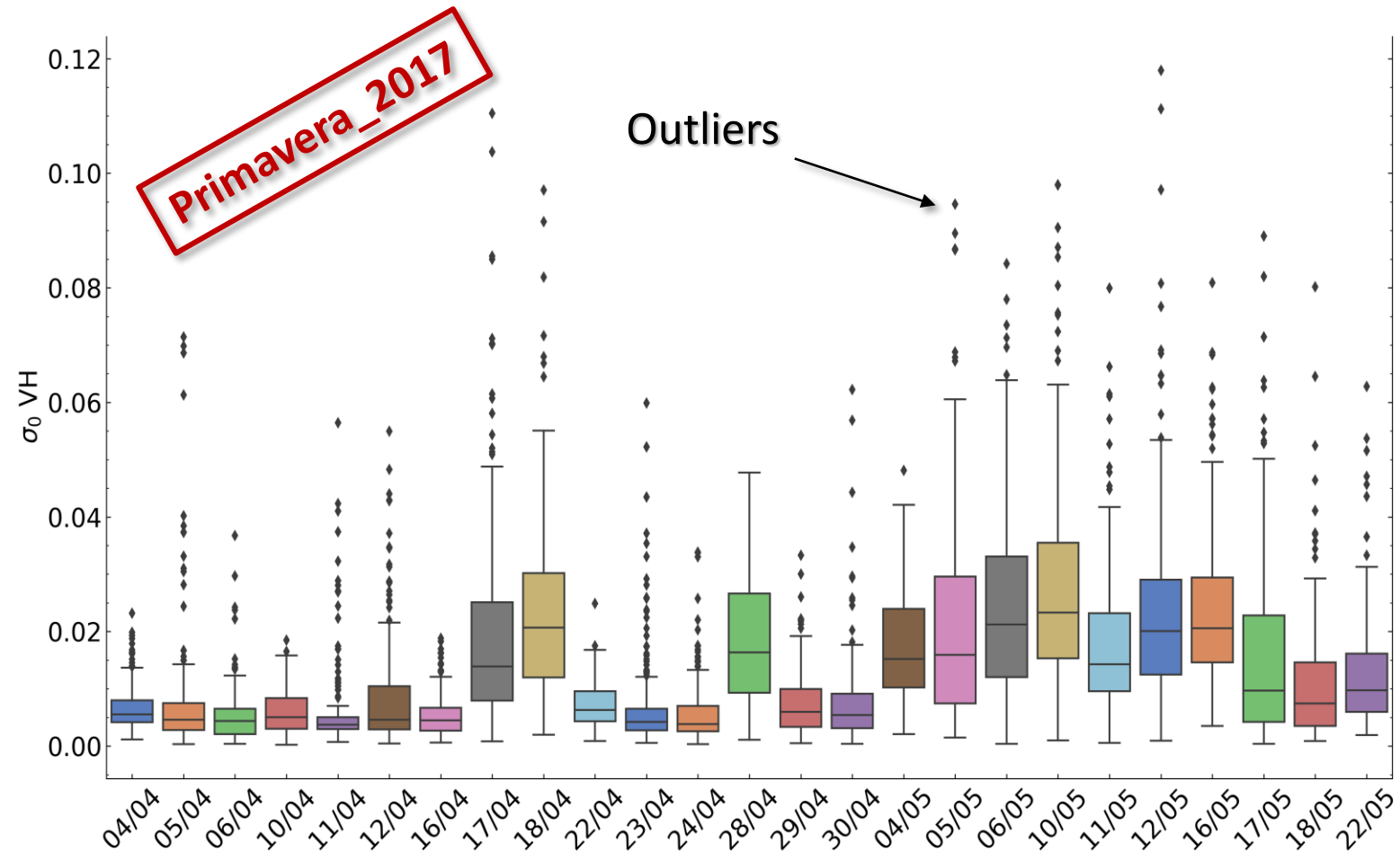
- Suolo non vegetato.
- Dopo uno studio della variabilità del **valor medio del backscattering** all'aumentare del numero di pixel è stata scelta un'area di 15x15 pixel (**150 m x 150 m**) centrata sulla stazione gamma.
- Fissata un'area si osserva **un'elevata variabilità** dei valori di backscattering  $\sigma_0$  dei pixel ed un istogramma di frequenza con **asimmetria positiva**.





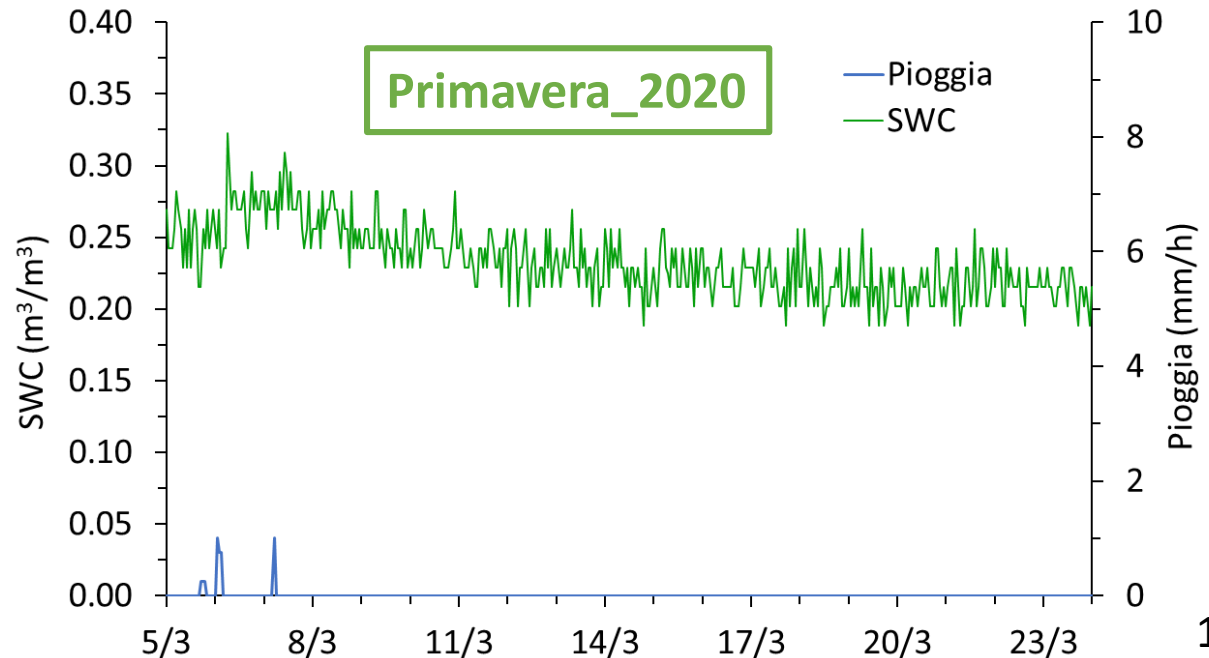
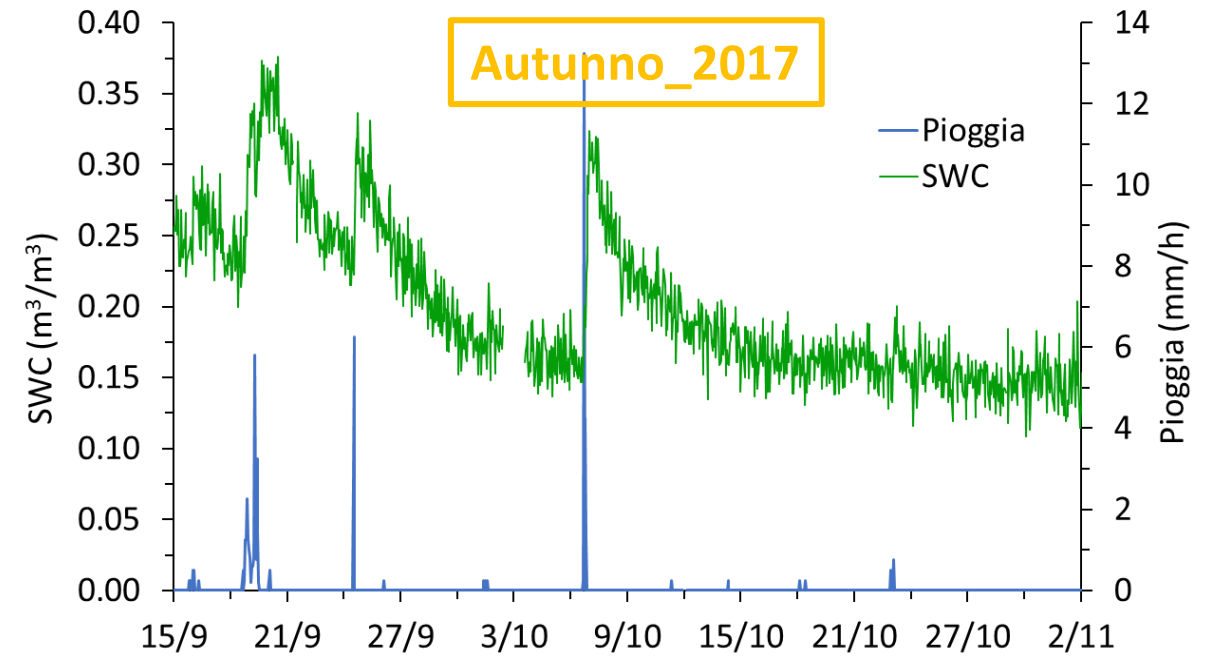
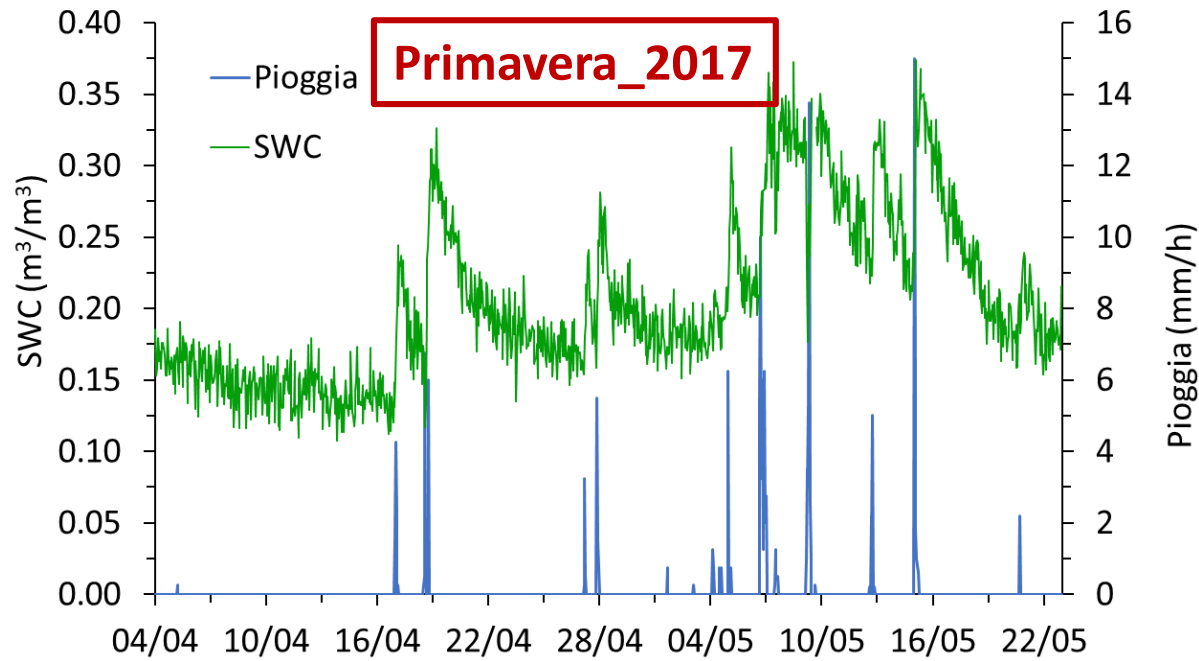
# INDIVIDUAZIONE DEGLI OUTLIERS

- Si è scelto il metodo del boxplot di Tukey per l'individuazione degli outliers (dati non statisticamente significativi).
- Fissata la mediana si individua la distanza interquartile:  
$$IQR = Q_3 - Q_1$$
contenente il 50% dati.
- Vengono individuate due soglie:  
$$S_i = Q_1 - 1.5 \times IQR$$
$$S_s = Q_3 + 1.5 \times IQR$$



Dopo aver individuato gli outliers (n. outliers < 15% per ciascun dataset), è stata studiata la distribuzione centrale, per la quale sono state calcolate la media e la deviazione standard del coefficiente di backscattering dell'area.

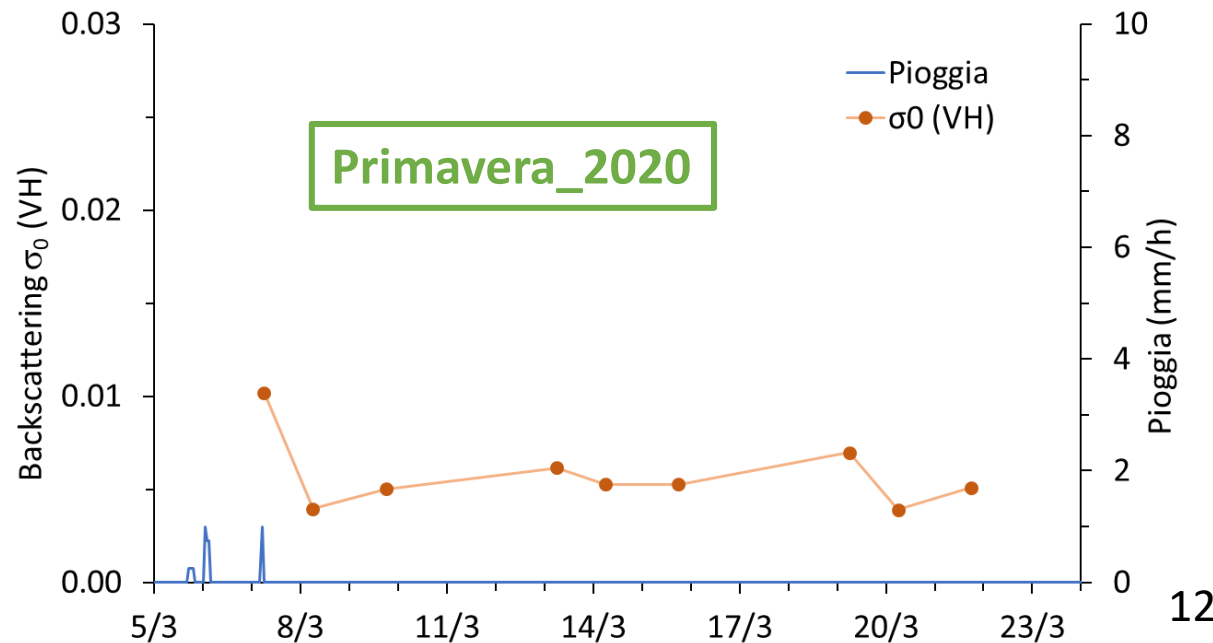
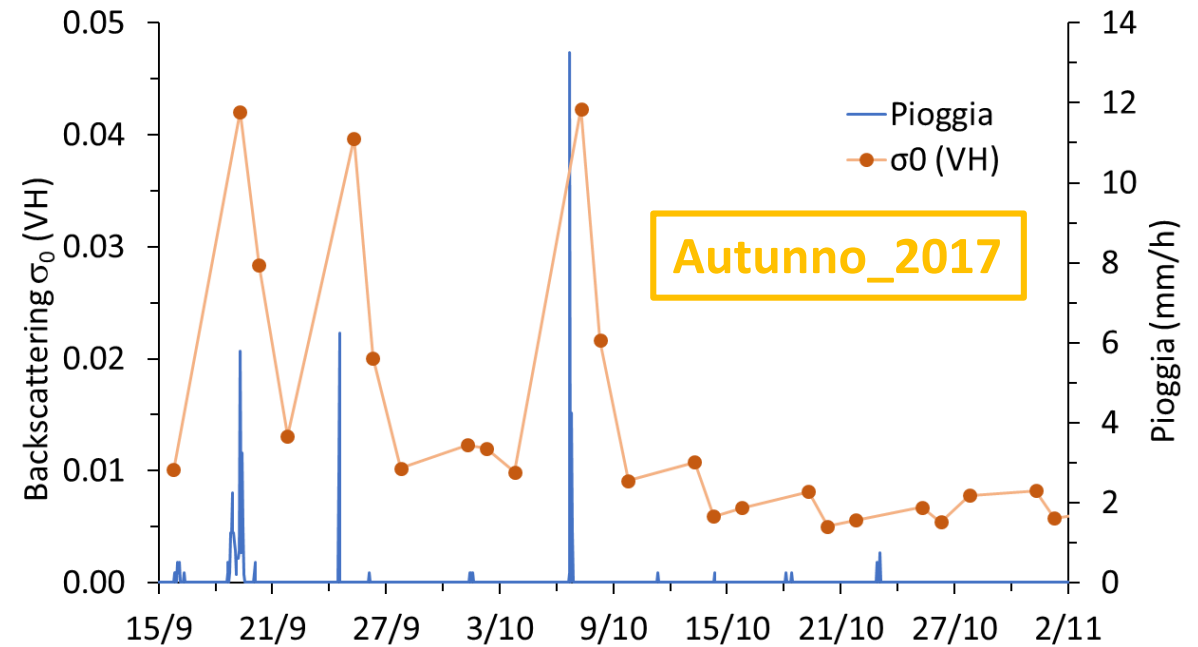
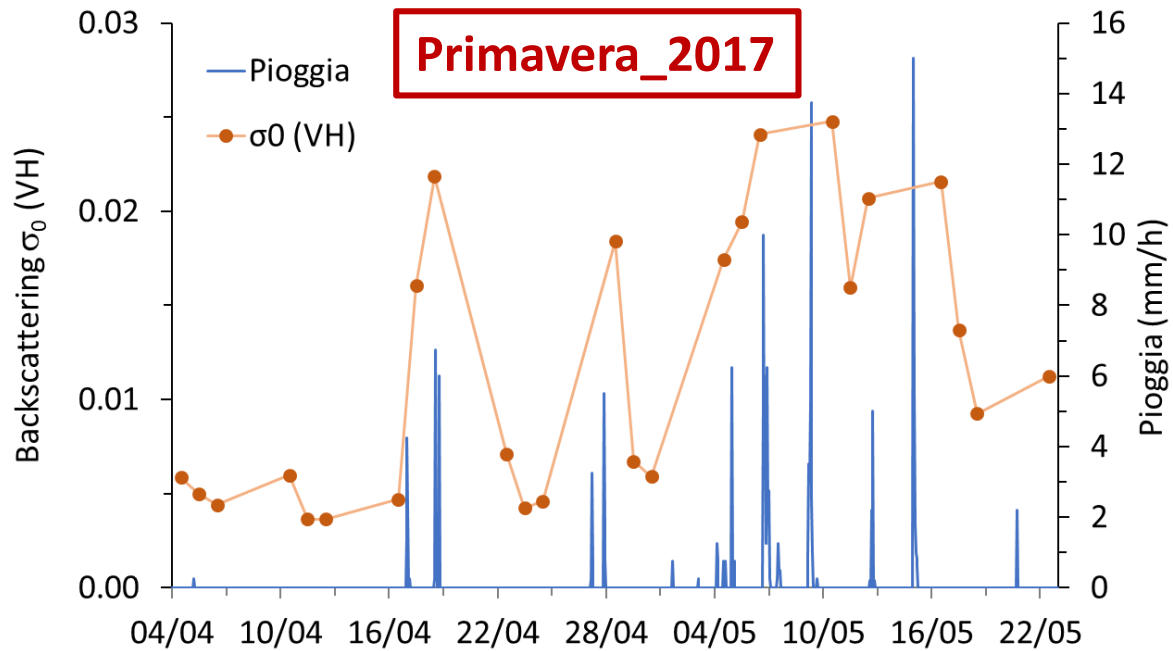
# CONTENUTO D'ACQUA MISURATO CON LA STAZIONE GAMMA



- Il *soil water content* (SWC) volumetrico in frazione misurato con cadenza oraria è riportato in funzione del tempo.
- Si osserva un'elevata sensibilità del segnale gamma rispetto agli eventi di pioggia.
- Per l'intero periodo:  $0.11 < \text{SWC} < 0.38$  (saturazione).

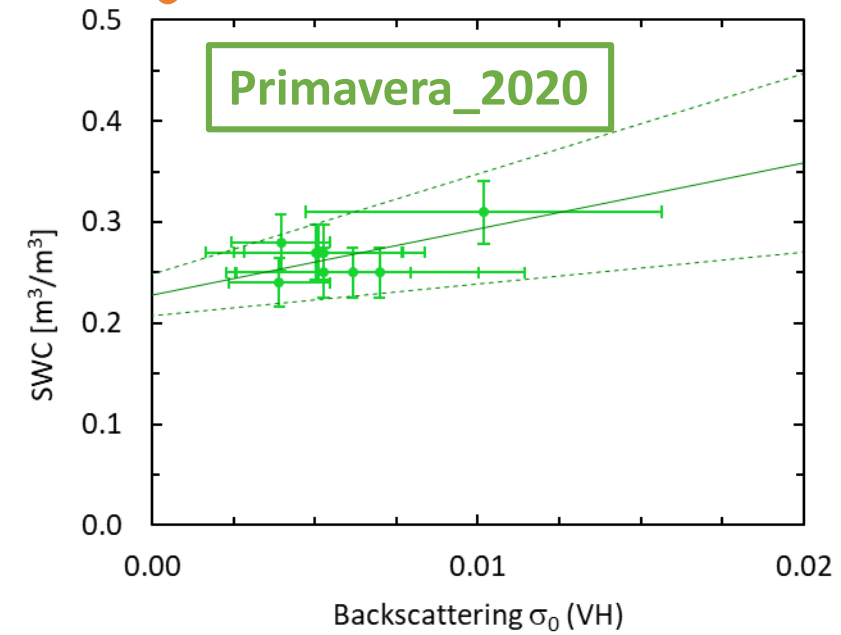
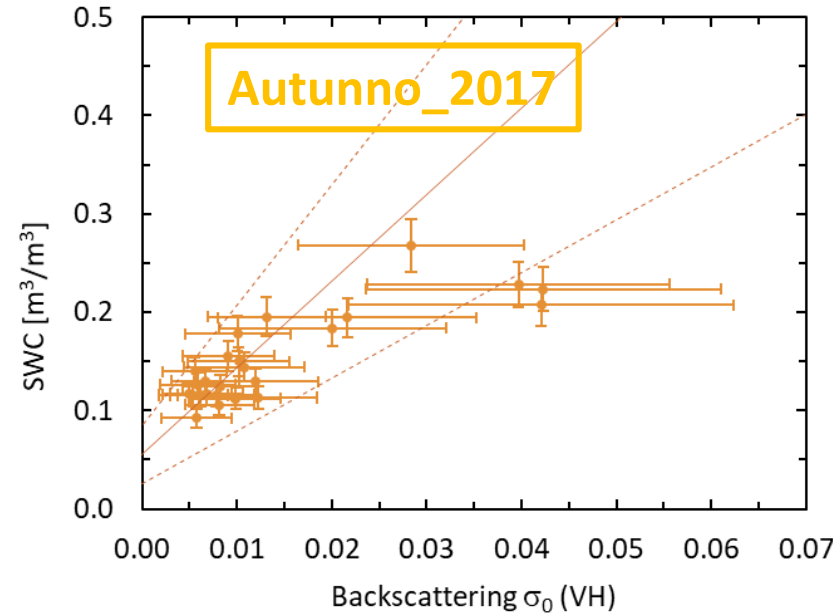
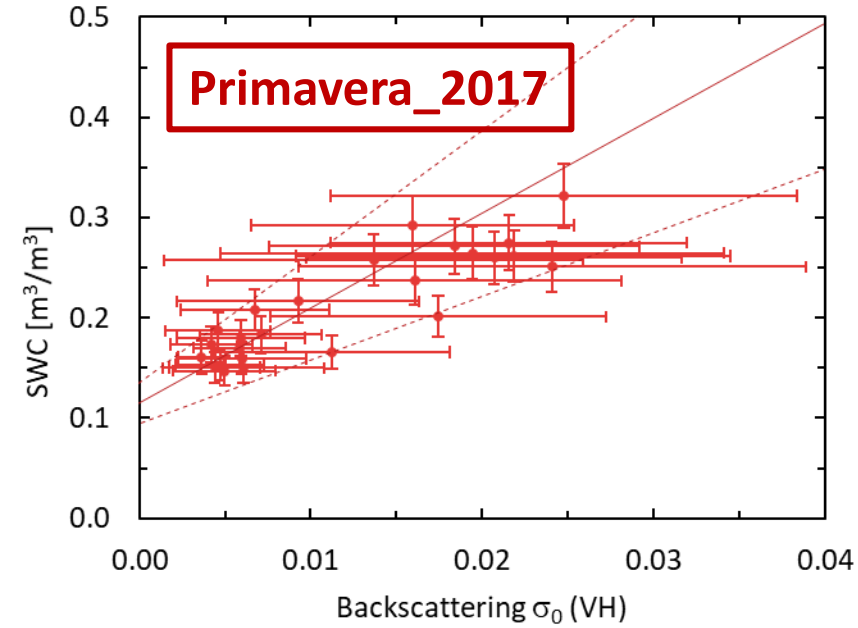


# BACKSCATTERING $\sigma_0$ E PIOGGIA



- Sono stati studiati backscattering  $\sigma_0$  VH e VV.
- Discreta sensibilità del backscattering rispetto agli eventi di pioggia.
- La bassa frequenza temporale impedisce di osservare strutture più risolte.
- Scarsa sensibilità a piogge poco intense.

# CORRELAZIONE TRA SWC E $\sigma_0$



- È stata studiata la correlazione lineare tra SWC e  $\sigma_0$ .
- Per i dati del 2017 si osserva un buon coefficiente di correlazione.
- Il coefficiente angolare è affetto di incertezze significative riconducibili all'elevata incertezza associata al  $\sigma_0$ .

Periodo	Numero dati	R <sup>2</sup>	m ± dm	q ± dq
Primavera_2017*	25	0.78	9.5 ± 3.1	0.11 ± 0.02
Autunno_2017*	25	0.69	8.8 ± 3.4	0.06 ± 0.03
Primavera_2020**	9	0.35	6.5 ± 3.4	0.23 ± 0.02

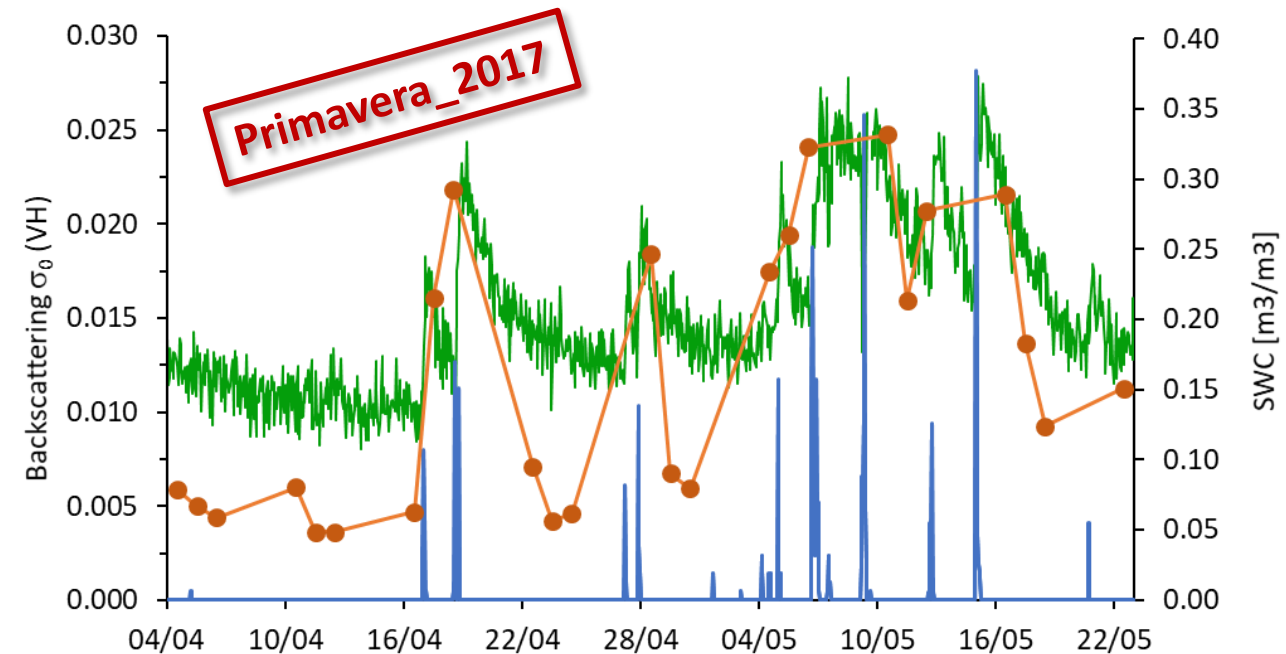
\* Regressione lineare che utilizza le incertezze sperimentali.

\*\* Regressione lineare che non utilizza le incertezze sperimentali.



# CONCLUSIONI

- Per la prima volta sono stati studiati i segnali gamma (0.2 ettari) ed il backscattering  $\sigma_0$  (2.2 ettari) come proxy del SWC di suoli non vegetati.
- Dopo aver processato immagini satellitari di Sentinel-1, è stata studiata la distribuzione dei valori di  $\sigma_0$  su una superficie 150 m x 150 m individuandone gli outliers.
- Le misure orarie di spettroscopia gamma risultano particolarmente sensibili agli eventi di pioggia.
- Il backscattering (VH e VV) è discretamente sensibile agli eventi di pioggia.

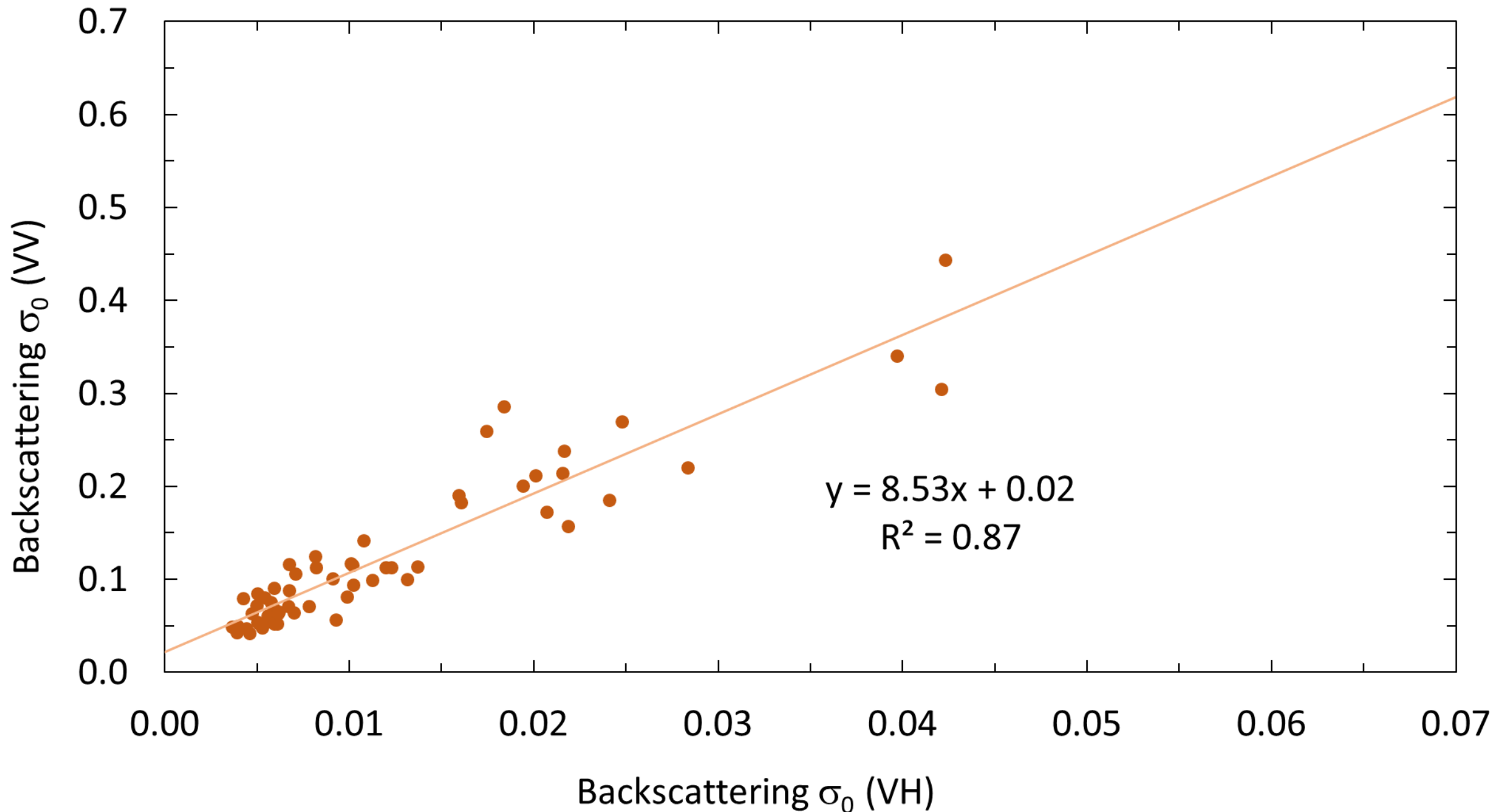


- Osservo una discreta correlazione lineare tra SWC( $\gamma$ ) e  $\sigma_0$  seppur con elevate incertezze sui coefficienti angolari.
- L'elevata variabilità di  $\sigma_0$  si ripercuote sull'incertezza dei parametri di correlazione tra SWC e  $\sigma_0$ : miglioramenti sono attesi dall'impiego di tecniche di telerilevamento SAR e NIR.

Grazie per l'attenzione!



# CORRELAZIONE TRA $\sigma_0$ (VH) E $\sigma_0$ (VV)





# RELAZIONE TRA SWC E $\sigma_0$ (VV)

