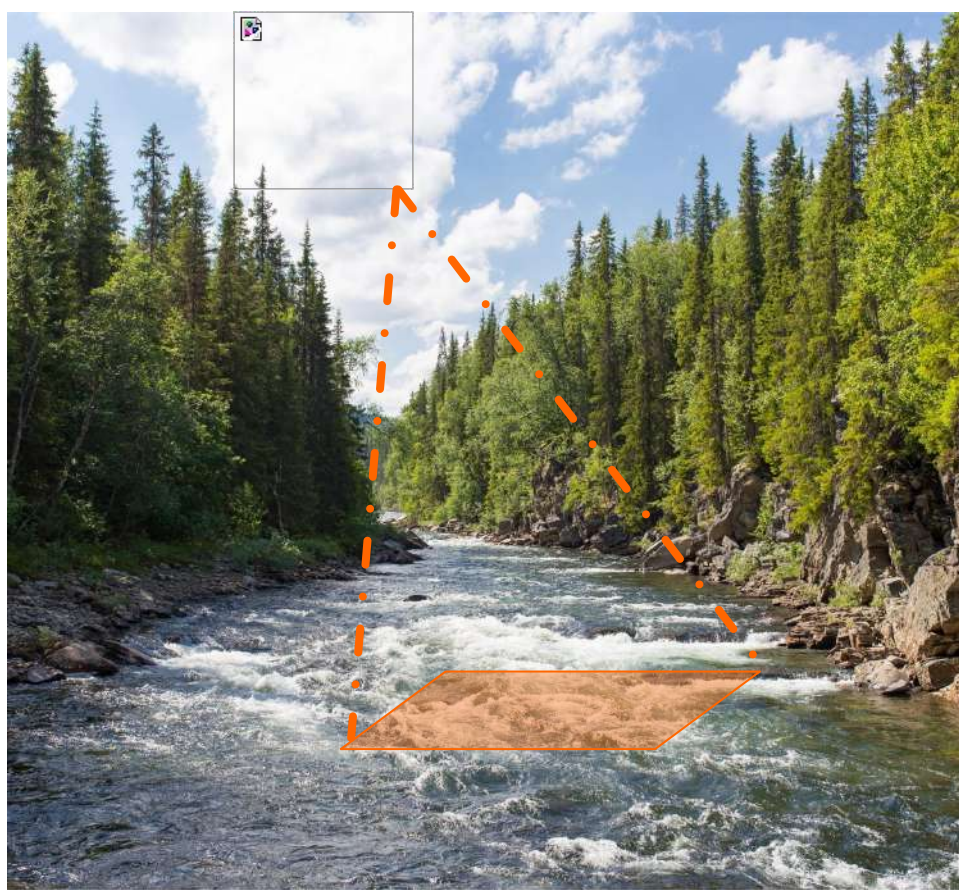




WATERJADE
value in every drop

L'utilizzo dei dati satellitari per la stima di parametri idrologici in fiumi e invasi per applicazioni idroelettriche

Dr. Federico Di Paolo, PhD



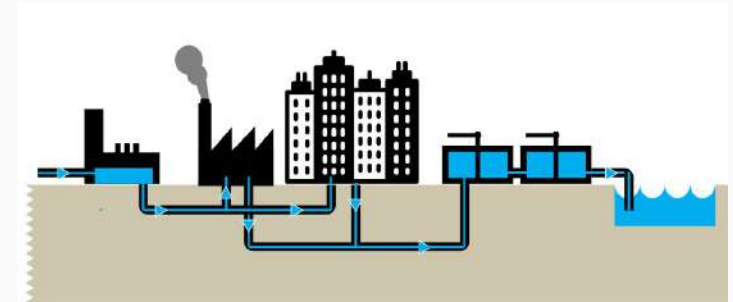
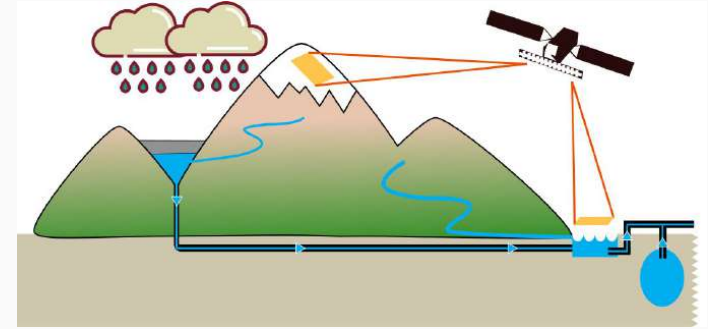
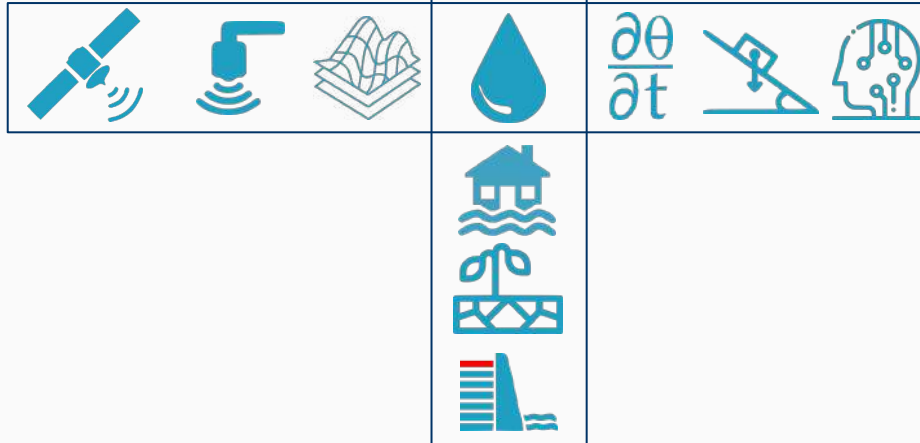
Waterjade® – by MobyGIS S.r.l

Sede legale: Via Guardini 24, I-38122 Trento | Headquarters: Viale Dante 300, I-38157 Pergine Vals. (TN)
+39.0461.1560037 | info@waterjade.com | www.waterjade.com

Chi siamo



Chi siamo



Soluzioni digitali per l'ottimizzazione
dell'approvvigionamento idrico

L'acqua nelle applicazioni industriali

Quanta ACQUA c'è?



E **quando** sarà disponibile?



L'acqua nelle applicazioni industriali

Quanta ACQUA c'è?



E **quando** sarà disponibile?



L'acqua nelle applicazioni industriali

Quanta ACQUA c'è?



E **quando** sarà disponibile?



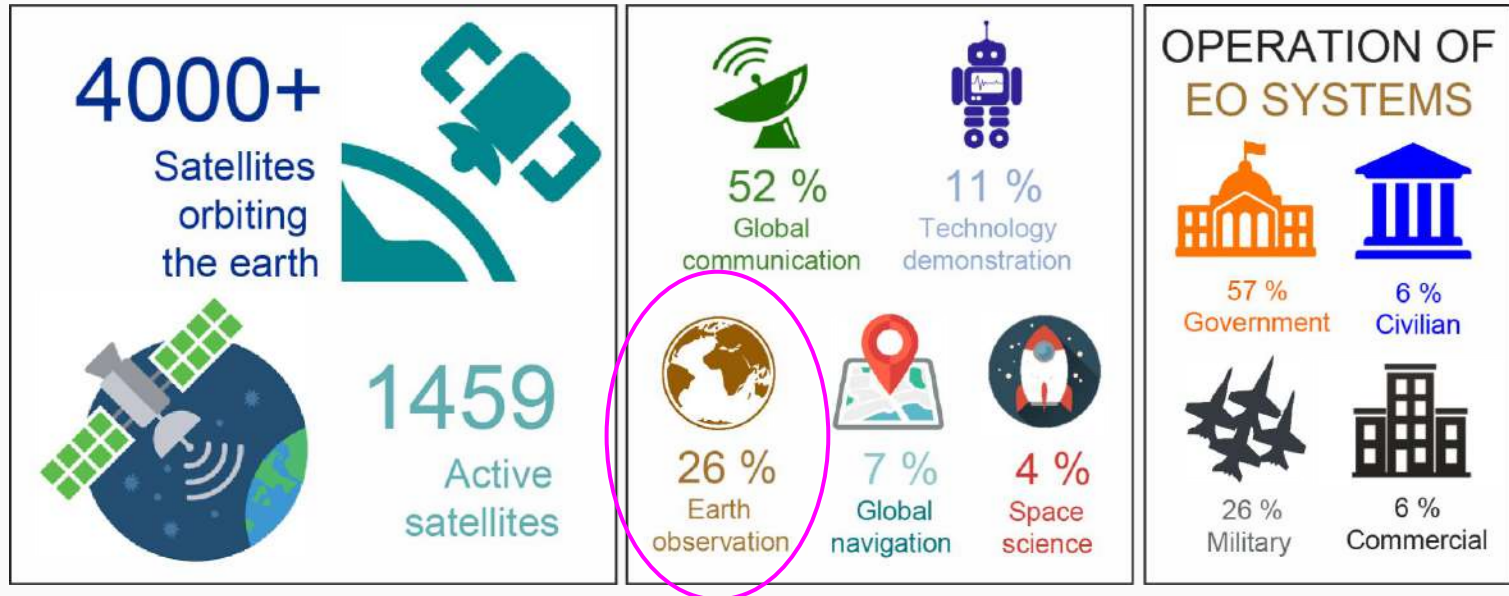
No installazione



No infrastruttura

EO e Idrologia

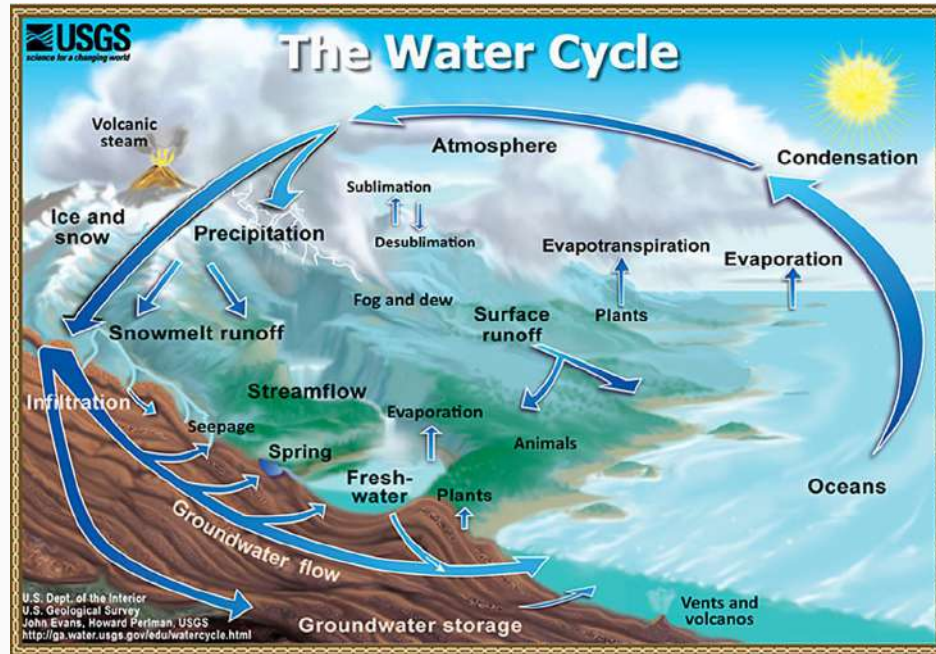
Differenti tecniche di remote sensing permettono una continua osservazione della terra



McCabe et al., Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017, 21, 3879–3914; doi:10.5194/hess-21-3879-2017

EO e Idrologia

Tra queste, molte sono dedicate/utilizzabili per fini idrologici



Chen & Wang, Big Earth Data. 2018, 2(1), 86-107; doi:10.1080/20964471.2018.1435072

EO e Idrologia

Hydrological variable	Missions/ instruments	Standard spatial resolution (km)	Standard temporal resolution (days)	Launch year	Dedicated measurement
Rainfall	GPM	5	0.125	2014	Y
Snowfall	GPM	5	0.125	2014	N
Evaporation	Terra/MODIS	0.5	1	1999	N
	Aqua/MODIS			2002	
	Suomi/VIIRS			2013	
Runoff	Landsat 8	0.1	11	2013	Y
	Landsat 9			2023	
Snow cover	Terra/MODIS	0.5	1	1999	Y
	Aqua/MODIS			2002	
	Suomi/VIIRS			2013	
Snow density, depth, or water equivalent	GCOM-W/AMSR2	30	1	2012	N
Surface soil moisture	SMOS	36	3	2009	Y
	SMAP (radiometer)	36	3	2015	Y
	ASCAT	25	1	2006	N
	GCOM-W/AMSR2	50	1	2012	N
	Sentinel-1A	0.1–0.005	12	2014	N
Deep soil moisture	Sentinel-1B			2016	N
	Biomass	0.2	18 days yr ⁻¹	2021	N

McCabe et al., Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017, 21, 3879–3914;
doi:10.5194/hess-21-3879-2017

Surface water elevation	Jason-3	10	10	2016	N
	SARAL	10	35	2013	N
	SWOT	0.1	11	2021	Y
	ICESat-2	1.5	90	2018	N
Depth to groundwater	–	–	–	–	–
Total groundwater storage	–	–	–	–	–
Terrestrial water storage change	GRACE	220	30	2002	Y
	GRACE-FO	180	30	2017	Y
Water consumption	–	–	–	–	–
Water quality	–	–	–	–	–
Vegetation/land cover/ irrigated area	Terra/MODIS	0.5	1	1999	Y
	Aqua/MODIS			2002	
	Suomi/VIIRS			2013	
	Landsat 8	0.03	16	2013	Y
	Landsat 9			2023	
Vegetation stress	Sentinel-2A	0.02	10	2015	Y
	Sentinel-2B	0.02	10	2017	Y
	Sentinel-3A	0.3	2	2016	Y
	Proba-V	0.35	2	2013	Y
	ISS/ECOSTRESS	0.07	4	2018	Y
Photosynthesis	FLEX	0.3	0.5	2022	Y
Water vapour	Aqua/AIRS	13.5	1	2002	N
Integrated water budget	–	–	–	–	–

EO e Idrologia

Hydrological variable	Missions/ instruments	Standard spatial resolution (km)	Standard temporal resolution (days)	Launch year	Dedicated measurement
Rainfall	GPM	5	0.125	2014	Y
Snowfall	GPM	5	0.125	2014	N
Evaporation	Terra/MODIS	0.5	1	1999	N
	Aqua/MODIS			2002	
	Suomi/VIIRS			2013	
Runoff	Landsat 8	0.1	11	2013	Y
	Landsat 9			2023	
Snow cover	SWOT	0.1	11	2021	Y
Snow density, depth, or water equivalent	Terra/MODIS	0.5	1	1999	Y
	Aqua/MODIS			2002	
	Suomi/VIIRS			2013	
Surface soil moisture	GCOM-W/AMSR2	30	1	2012	N
	SMOS	36	3	2009	Y
	SMAP (radiometer)	36	3	2015	Y
	ASCAT	25	1	2006	N
	GCOM-W/AMSR2	50	1	2012	N
Deep soil moisture	Sentinel-1A	0.1–0.005	12	2014	N
	Sentinel-1B			2016	N
Deep soil moisture	Biomass	0.2	18 days yr ⁻¹	2021	N

McCabe et al., Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017, 21, 3879–3914;
doi:10.5194/hess-21-3879-2017

Surface water elevation	Jason-3	10	10	2016	N
	SARAL	10	35	2013	N
	SWOT	0.1	11	2021	Y
	ICESat-2	1.5	90	2018	N
Depth to groundwater	–	–	–	–	–
Photosynthesis	FLEX	0.5	0.5	2022	–
					Y
					Y
					Y
					Y
Water vapour	Aqua/AIRS	13.5	1	2002	N
Integrated water budget	–	–	–	–	–



EO e Idrologia

Hydrological variable	Missions/ instruments	Standard spatial resolution (km)	Standard temporal resolution (days)	Launch year	Dedicated measurement
Rainfall	GPM	5	0.125	2014	Y
Snowfall	GPM	5	0.125	2014	N
Evaporation	Terra/MODIS	0.5	1	1999	N
	Aqua/MODIS			2002	
	Suomi/VIIRS			2013	
	Landsat 8 Landsat 9			2013 2023	
Runoff	SWOT	0.1	11	2021	Y
Snow cover	Terra/MODIS	0.5	1	1999	Y
	Aqua/MODIS Suomi/VIIRS			2002 2013	
Snow density, depth, or water equivalent	GCOM-W/AMSR2	30	1	2012	N
Surface soil moisture	SMOS	36	3	2009	Y
	SMAP (radiometer)	36	3	2015	Y
	ASCAT	25	1	2006	N
	GCOM-W/AMSR2	50	1	2012	N
	Sentinel-1A Sentinel-1B	0.1–0.005	12	2014 2016	N N
Deep soil moisture	Biomass	0.2	18 days yr ⁻¹	2021	N

McCabe et al., Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017, 21, 3879–3914;
doi:10.5194/hess-21-3879-2017

	Jason-3	10	10	2016	N
Surface					N
Depth to					N
Total g					Y
Terrest					N
storage					–
Water c					Y
Water c					Y
					–
					–
					–
Vegetat					Y
irrigate					Y
					Y
					Y
					Y
					Y
	Proba-V	0.55	2	2013	Y
Vegetation stress	ISS/ECOSTRESS	0.07	4	2018	Y
Photosynthesis	FLEX	0.3	0.5	2022	Y
Water vapour	Aqua/AIRS	13.5	1	2002	N
Integrated water budget	–	–	–	–	–

EO e Idrologia

Hydrological variable	Missions/instruments	Standard spatial resolution	Standard temporal resolution	Launch year	Dedicated measurement
Rain					Y
Snow					N
Evap					N
Runoff					Y
Snow					Y
Snow water					N
Surface soil moisture					Y
					Y
					N
	GCOM-W/AMSR2	50	1	2012	N
Deep soil moisture	Sentinel-1A			2014	N
	Sentinel-1B	0.1-0.005	12	2016	N
	Biomass	0.2	18 days yr ⁻¹	2021	N



McCabe et al., Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017, 21, 3879–3914;
doi:10.5194/hess-21-3879-2017

Surface water elevation	Jason-3	10	10	2016	N
	SARAL	10	35	2013	N
	SWOT	0.1	11	2021	Y
	ICESat-2	1.5	90	2018	N
Depth to groundwater	–	–	–	–	–
Total groundwater storage	–	–	–	–	–
Terrestrial water storage change	GRACE	220	30	2002	Y
	GRACE-FO	180	30	2017	Y
Water consumption	–	–	–	–	–
Water quality	–	–	–	–	–
Vegetation/land cover/irrigated area	Terra/MODIS			1999	
	Aqua/MODIS	0.5	1	2002	Y
	Suomi/VIIRS			2013	
	Landsat 8			2013	Y
	Landsat 9	0.03	16	2023	
	Sentinel-2A	0.02	10	2015	Y
	Sentinel-2B	0.02	10	2017	Y
	Sentinel-3A	0.3	2	2016	Y
Vegetation stress	Proba-V	0.35	2	2013	Y
	ISS/ECOSTRESS	0.07	4	2018	Y
Photosynthesis	FLEX	0.3	0.5	2022	Y
Water vapour	Aqua/AIRS	13.5	1	2002	N
Integrated water budget	–	–	–	–	–

EO e Idrologia

Hydrological variable	Missions/instruments	Standard spatial resolution (km)	Standard temporal resolution (days)	Launch year	Dedicated measurement
Re...	GRACE	5	6-125	2014	N
St...					
Ev...					
Re...					
St...					
St...					
St...					
St...					
St...					
St...	Sentinel-1B	0.2	18 days yr ⁻¹	2010	N
Deep soil moisture	Biomass	0.2	18 days yr ⁻¹	2021	N

McCabe et al., Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017, 21, 3879–3914;
doi:10.5194/hess-21-3879-2017

Surface water elevation	Jason-3	10	10	2016	N
	SARAL	10	35	2013	N
	SWOT	0.1	11	2021	Y
	ICESat-2	1.5	90	2018	N
Depth to groundwater	–	–	–	–	–
Total groundwater storage	–	–	–	–	–
Terrestrial water storage change	GRACE	220	30	2002	Y
	GRACE-FO	180	30	2017	Y
Water consumption	–	–	–	–	–
Water quality	–	–	–	–	–
Vegetation/land cover/irrigated area	Terra/MODIS	0.5	1	1999	Y
	Aqua/MODIS			2002	
	Suomi/VIIRS			2013	
	Landsat 8	0.03	16	2013	Y
	Landsat 9			2023	
	Sentinel-2A	0.02	10	2015	Y
	Sentinel-2B	0.02	10	2017	Y
	Sentinel-3A	0.3	2	2016	Y
	Proba-V	0.35	2	2013	Y
Vegetation stress	ISS/ECOSTRESS	0.07	4	2018	Y
Photosynthesis	FLEX	0.3	0.5	2022	Y
Water vapour	Aqua/AIRS	13.5	1	2002	N
Integrated water budget	–	–	–	–	–

EO e Idrologia

Hydrological variable	Missions/ instruments	Standard spatial resolution (km)	Standard temporal resolution (days)	Launch year	Dedicated measurement
Rainfall	GPM	5	0.125	2014	Y
Snowfall	GPM	5	0.125	2014	N
	Terra/MODIS			1999	
Evapotranspiration					
River discharge					
Snow water equivalent					
Surface water					
Soil moisture					
Deep soil moisture	Biomass	0.2	18 days yr ⁻¹	2021	N

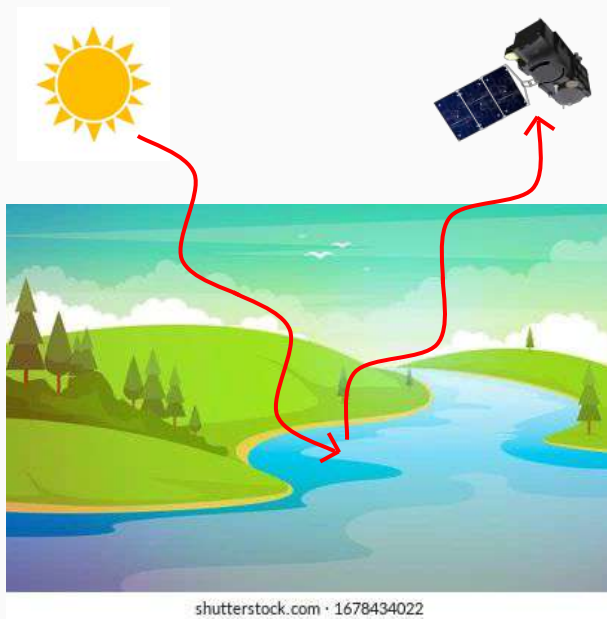


McCabe et al., Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017, 21, 3879–3914;
doi:10.5194/hess-21-3879-2017

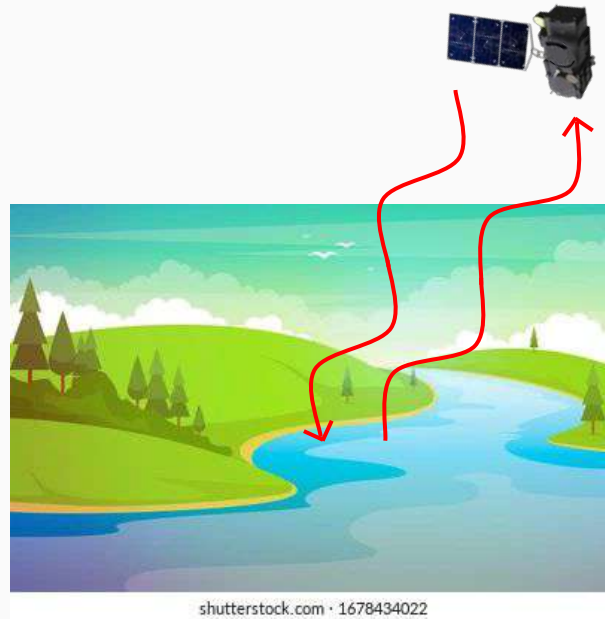
Surface water elevation	Jason-3	10	10	2016	N
	SARAL	10	35	2013	N
	SWOT	0.1	11	2021	Y
	ICESat-2	1.5	90	2018	N
Depth to groundwater	–	–	–	–	–
Total groundwater storage	–	–	–	–	–
Terrestrial water storage change	GRACE	220	30	2002	Y
	GRACE-FO	180	30	2017	Y
Water consumption	–	–	–	–	–
Water quality	–	–	–	–	–
	Terra/MODIS			1999	
	Aqua/MODIS	0.5	1	2002	Y
	Suomi/VIIRS			2013	
Vegetation/land cover/ irrigated area	Landsat 8			2013	Y
	Landsat 9	0.03	16	2023	
	Sentinel-2A	0.02	10	2015	Y
	Sentinel-2B	0.02	10	2017	Y
	Sentinel-3A	0.3	2	2016	Y
	Proba-V	0.35	2	2013	Y
Vegetation stress	ISS/ECOSTRESS	0.07	4	2018	Y
Photosynthesis	FLEX	0.3	0.5	2022	Y
Water vapour	Aqua/AIRS	13.5	1	2002	N
Integrated water budget	–	–	–	–	–

EO e Idrologia

Differenti tecniche di remote sensing permettono di stimare **parametri idrologici** da satellite.



Techine passive



Techine attive

Introduzione

Differenti tecniche di remote sensing permettono di stimare **parametri idrologici** da satellite

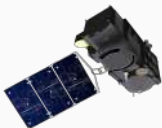
Fiumi: Livello, portata

Invasi: Livello, volume

Considerando la disponibilità gratuita di dati il monitoraggio da remoto può consentire una notevole **riduzione di costi** di mantenimento di stazioni a terra.

Altimetro (tecnica attiva):

- Livello di acqua (misura diretta)



<https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-3>

Multispettrale (tecnica passiva)

- Riflettanza (misura indiretta)



<https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>

Synthetic Aperture Radar (SAR) (tecnica attiva)

- Riflettanza (misura indiretta)



<https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-1>

Altimetro

Vantaggi

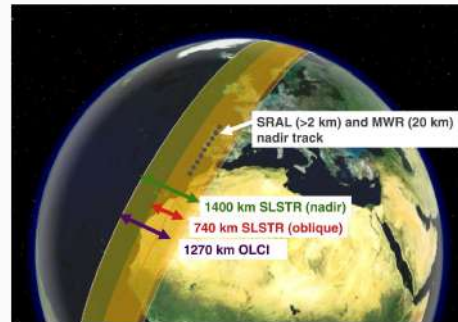
- *Misura diretta*
(livello acqua)
- *Indipendente da condizioni meteo*



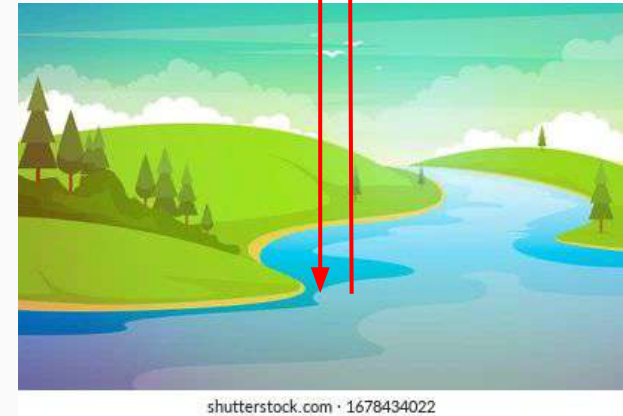
Limitazioni

- *Poche “stazioni virtuali”*
(misura al nadir)
- *Lunghi revisit time*
(Sentinel-3 - 27 giorni)

Sentinel-3



<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3/satellite-description/geographical-coverage>

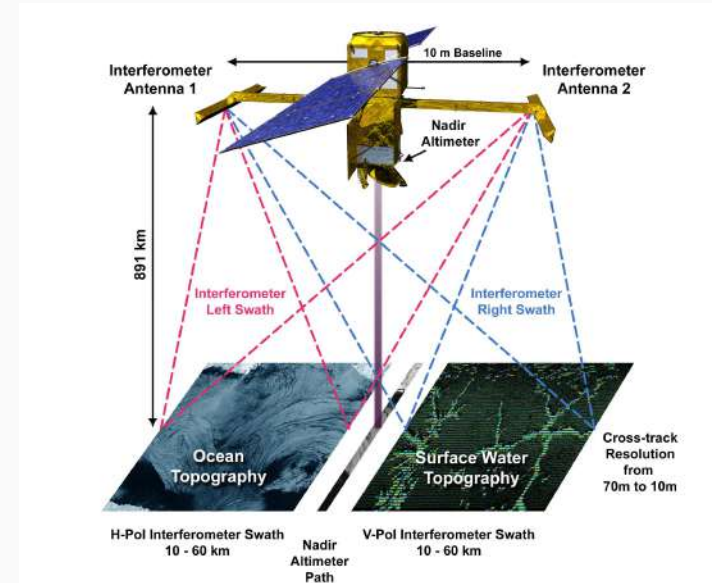
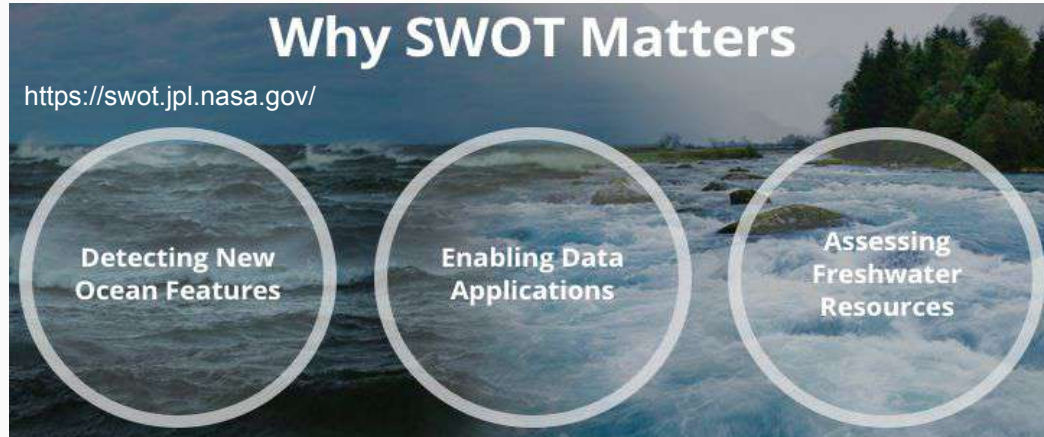


shutterstock.com · 1678434022

Altimetro

Il prossimo anno sarà lanciata la missione SWOT (Surface Water and Ocean Topography), un altimetro dedicato a misure idrologiche.

Fiumi > 50 m

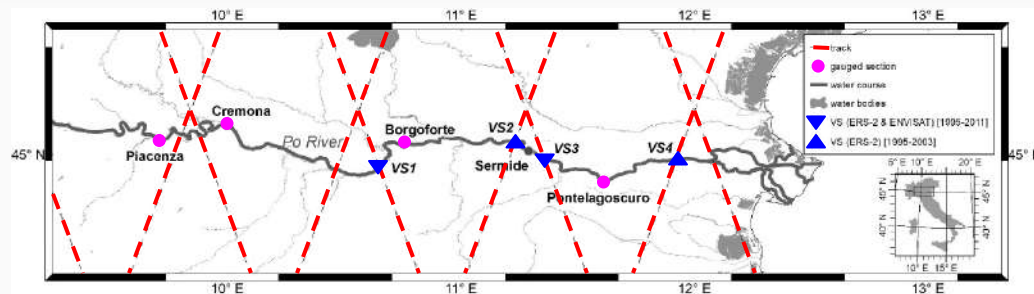


<https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/s/swot>

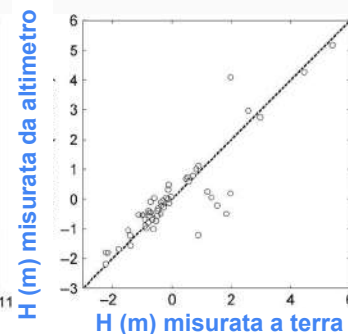
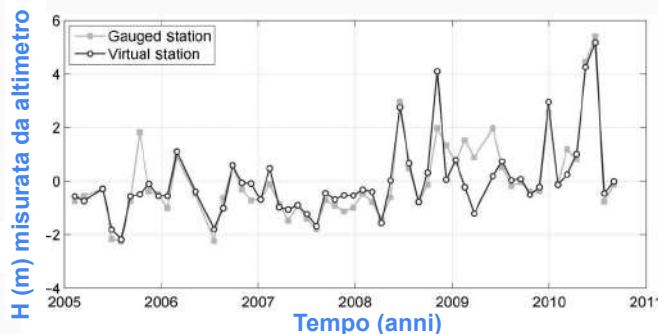
Altimetro

Studi di letteratura mostrano come sia possibile stimare il **livello** di acqua nei fiumi tramite altimetro, confrontando i risultati con misure a terra.

Risultati ottenuti usando i dati di **ERS-2** ed **ENVISAT** sul Po



Tarpanelli et al., *Remote Sens.* 2013, 5, 4145-4162; doi:10.3390/rs5094145

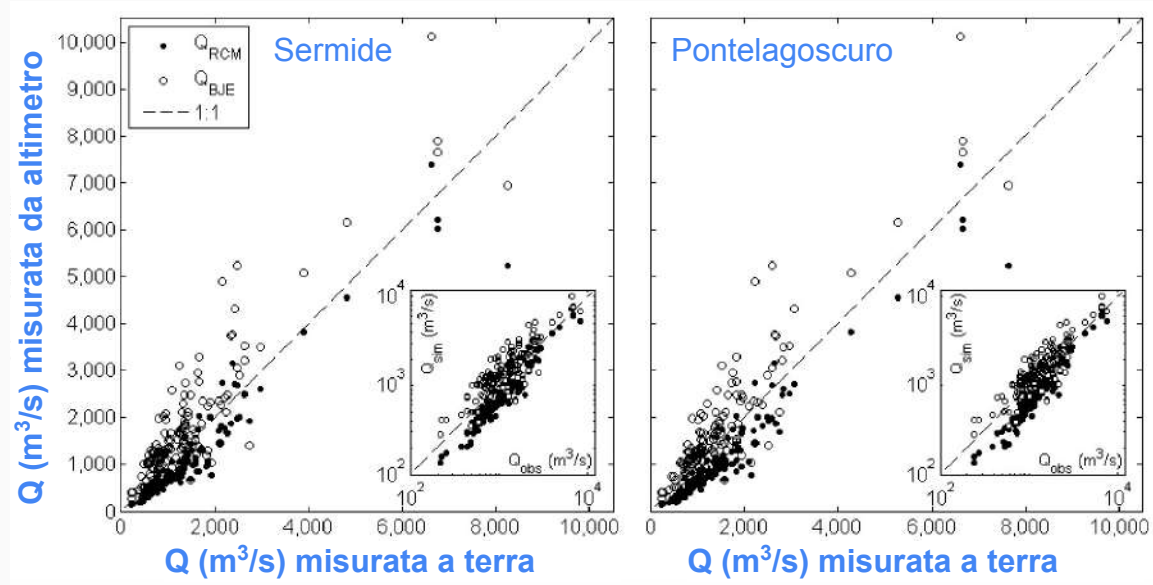


Tarpanelli et al., *JSTARS* 2015, 8(1), 141-148; doi:10.1109/JSTARS.2014.2320582

Altimetro - Fiumi

Tramite opportuni modelli idrologici e/o formule empiriche, è possibile stimare la **portata** di fiumi dalla misura di **altezza** dell'acqua effettuata tramite altimetro.

H (m) ➔ Q (m³/s)

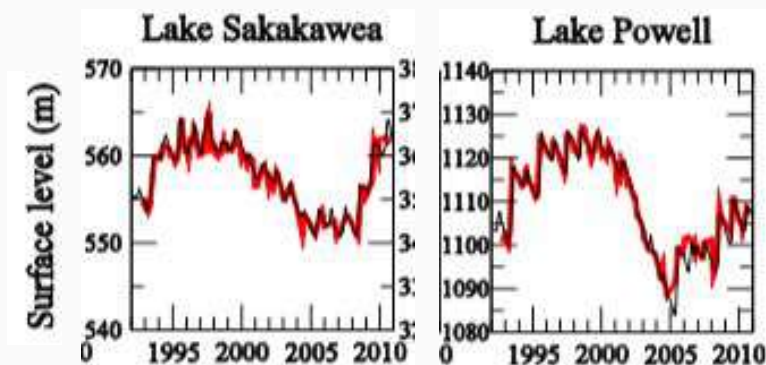


Tarpanelli et al., *Remote Sens.* 2013, 5, 4145-4162; doi:10.3390/rs5094145

Altimetro - Laghi

Studi di letteratura mostrano come sia possibile stimare il **livello** di acqua nei laghi tramite altimetro, confrontando i risultati con misure a terra.

Da tali misure si può estrapolare il **volume** di acqua negli invasi.



Livello dell'acqua nel lago

— Misurato a terra
— Misurato da altimetro

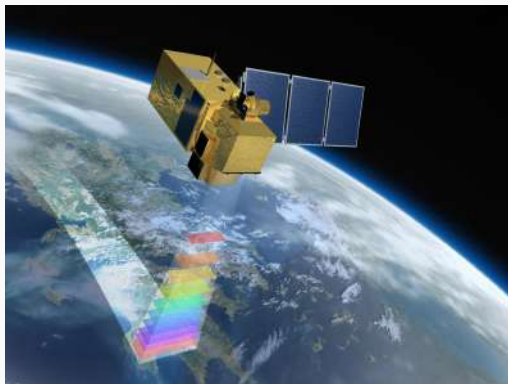
Gao et al., Water Resour.Res. 2012, 48(9); doi:10.1029/2012WR012063

N.B. Lo strumento deve passare esattamente al di sopra del lago!

Multispettrale

Vantaggi

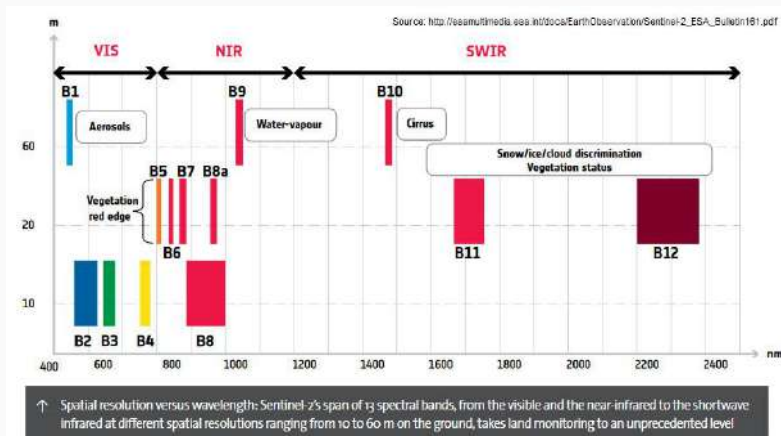
- *Alta risoluzione spazio/temporale*
(Sentinel-2 - 10 m, 5 giorni)
- *Ampia copertura spaziale*
(footprint, immagini)



<https://www.cls.fr/en/sentinel-2-environmental-studies/>

Limitazioni

- *Condizioni meteo*
- *Misura indiretta*
(riflettanza)



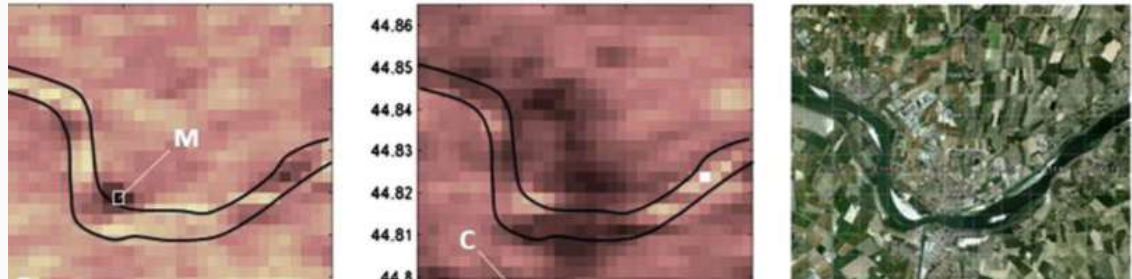
https://www.geosage.com/highview/figures/Sentinel2_Spectral_Bands.jpg



Multispettrale - Fiumi

Studi di letteratura mostrano come sia possibile stimare la **portata** di fiumi da misure effettuate con sensori ottici multispettrali.

In particolare, si utilizza la banda del NIR (842 nm - Sentinel-2).



Tarpanelli et al., *Remote Sens. Environ.* 2013, 136, 47-55; doi:10.1016/j.rse.2013.04.010

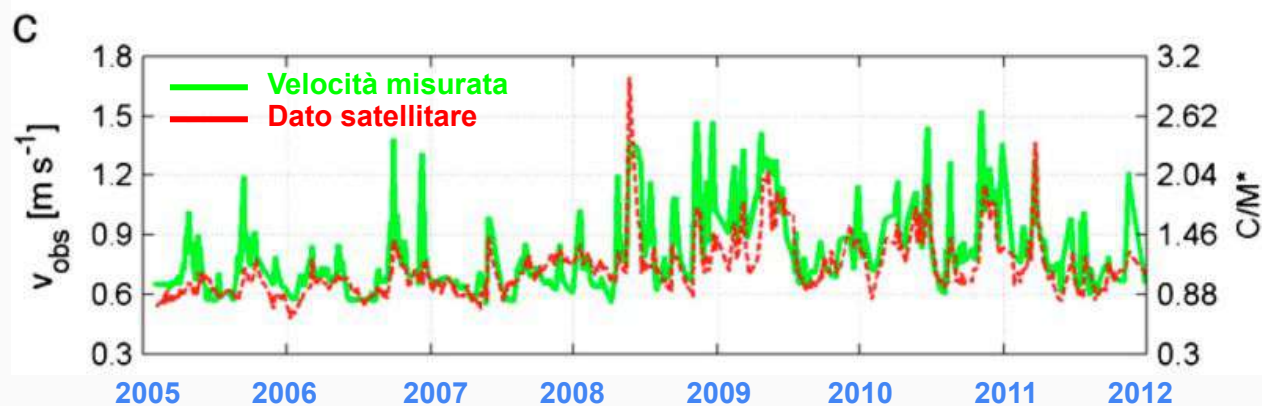
Risultati ottenuti usando i dati di **MODIS** sul Po.

La misura viene effettuata nel punto in cui le variazioni di portata del fiume risultano più significative.

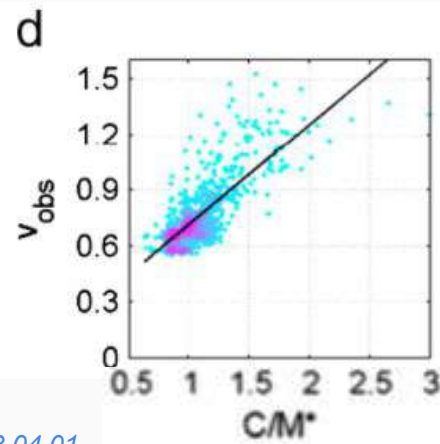
Multispettrale - Fiumi

Studi di letteratura mostrano come sia possibile stimare la **portata** di fiumi da misure effettuate con sensori ottici multispettrali.

In particolare, si utilizza la banda del NIR (842 nm - Sentinel-2).



Tarpanelli et al., *Remote Sens. Environ.* 2013, 136, 47-55; doi:10.1016/j.rse.2013.04.01



C/M (Dato satellitare) $\longrightarrow$ v (m/s), Q (m³/s)

Multispettrale - Laghi

Si misura l'**area** della zona ricoperta d'acqua.
Si utilizzano combinazioni di bande.

Le più utilizzate sono:

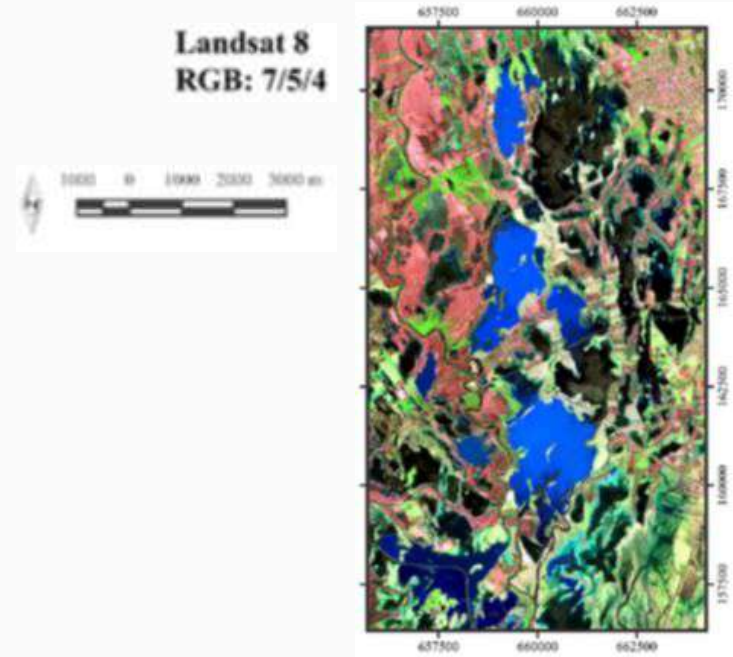
Normalized Difference Water Index:

$$NDWI = \frac{\text{Green} - \text{NIR}}{\text{Green} + \text{NIR}}$$

Modified Normalized Difference Water Index:

$$MNDWI = \frac{\text{Green} - \text{SWIR}}{\text{Green} + \text{SWIR}}$$

Sentinel-2: Green (560 nm), NIR (842 nm), SWIR (1610 nm)



Gulácsi and Kovács, *Remote Sens.* 2020, 12, 1614; doi:10.3390/rs12101614

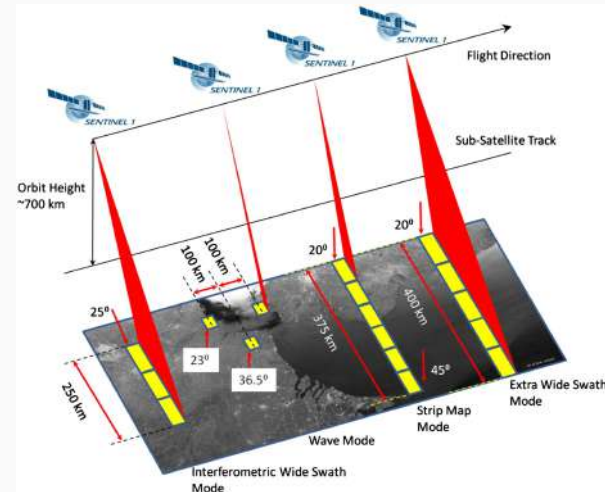
Vantaggi

- *Alta risoluzione spazio/temporale*
(Sentinel-1 - 10 m, 6 giorni)
- *Ampia copertura spaziale*
("immagini")
- *Indipendente da condizioni meteo*



Limitazioni

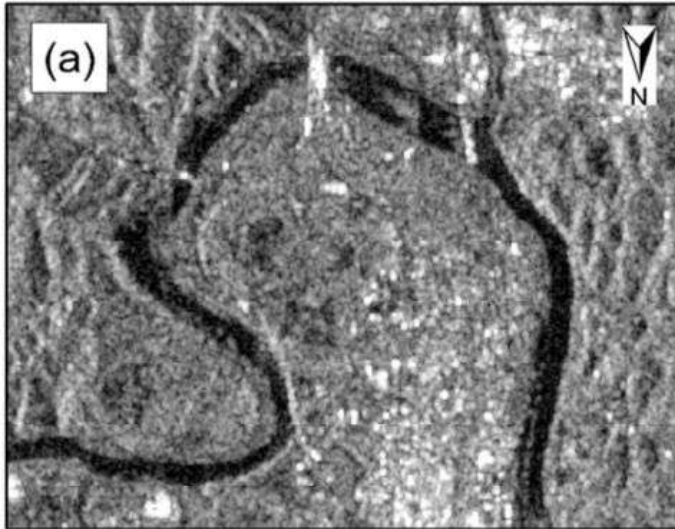
- *Processing*
- *Misura indiretta*



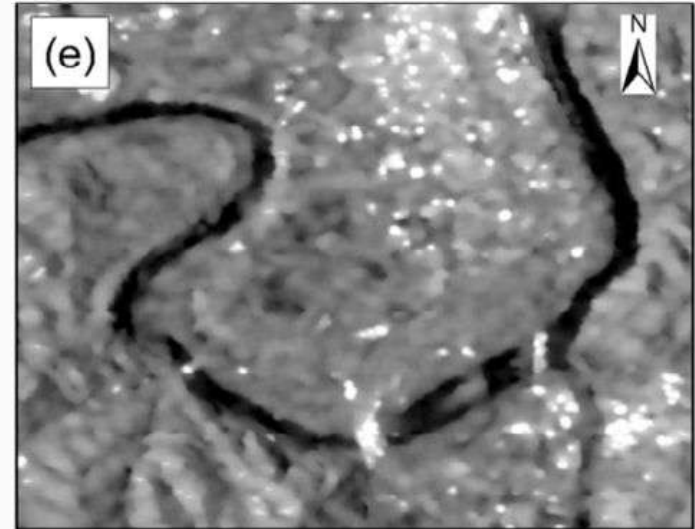
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload>

SAR - Fiumi

Considerando gli angoli di vista solitamente utilizzati, l'intensità della riflessione del segnale radar su una superficie ricoperta d'acqua, è molto inferiore di quella proveniente dal terreno.



Thermal noise filtering
Radiometric calibration
Speckle filtering
Terrain correction



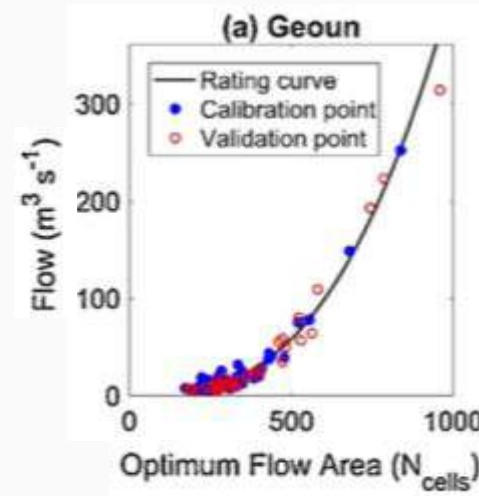
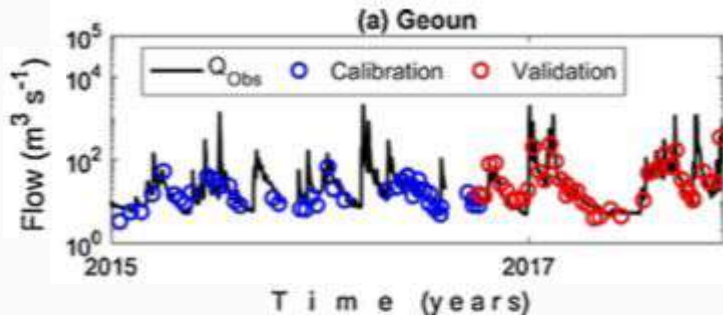
Ahmad and Kim, *Int. J. Appl. Earth. Obs. Geoinformation* 2019, 83, 101930; [doi:10.1016/j.jag.2019.101930](https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101930)

SAR - Fiumi

Studi di letteratura mostrano come sia possibile stimare la **portata** di fiumi da misure effettuate da SAR.

La misura è correlata all'**area** del fiume stimata da satellite.

Fiume Han (Corea)

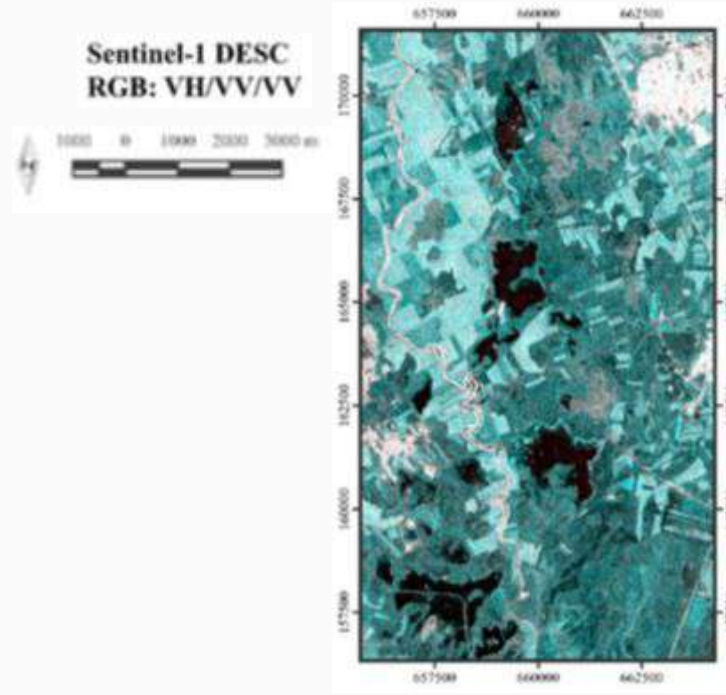


Ahmad and Kim, *Int. J. Appl. Earth. Obs. Geoinformation* 2019, 83, 101930; [doi:10.1016/j.jag.2019.101930](https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101930)

SAR - Laghi

Si misura l'**area** della zona ricoperta d'acqua.

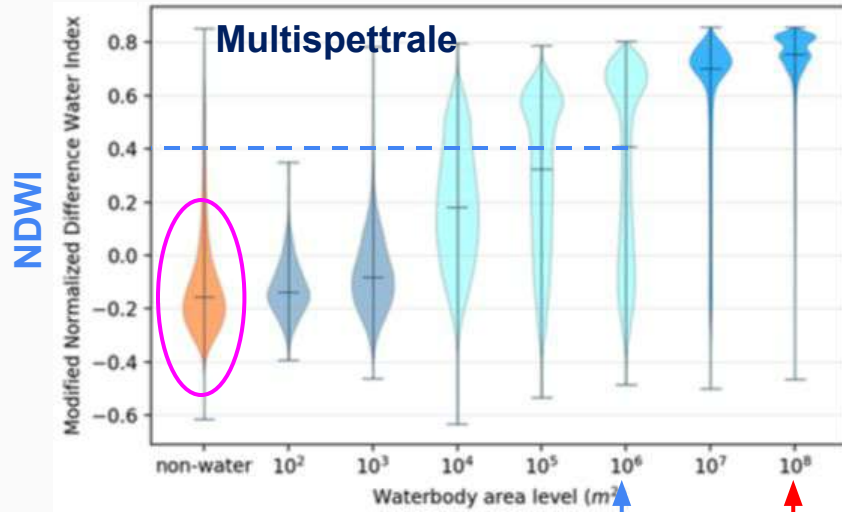
La misura è correlata a **livello** e **volume** dell'acqua nell'invaso.



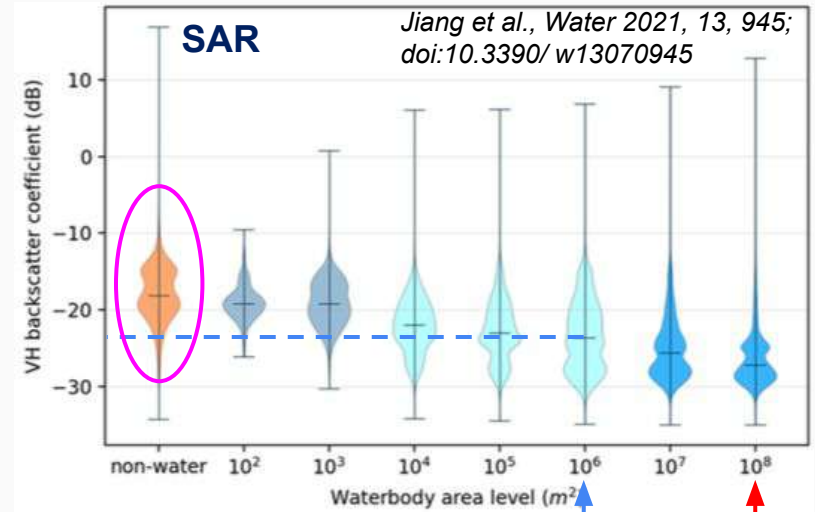
Gulácsi and Kovács, *Remote Sens.* 2020, 12, 1614; doi:10.3390/rs12101614

Accuratezza

Sensori multispettrali e SAR sono potenzialmente in grado di identificare reservoir di dimensioni superiori a 10^4 m^2 .



Lago di Braies
(33 km^2)



Lago di Garda
(370 km^2)

Le tre tecniche a confronto

Distribuzione spaziale

Risoluzione temporale

Condizioni meteo

Accuratezza

Livello acqua

Portata

Processing

Fiumi "piccoli"

Altimetro								
Multispettrale								
SAR								

Conclusioni

- Tramite misure satellitari è possibile stimare parametri idrologici
- MobyGIS sta implementando tali metodologie atte alla stima di parametri idrologici in fiumi e invasi
- ...per maggiori informazioni, vi aspettiamo al nostro stand!



SAR - Fiumi

Studi di letteratura mostrano come sia possibile stimare la **portata** di fiumi da misure effettuate da SAR.

Considerando gli angoli di vista solitamente utilizzati, l'intensità della riflessione del segnale radar su una superficie ricoperta d'acqua, è molto inferiore di quella proveniente dal terreno.

La misura è correlata all'**area** del fiume misurata da satellite.

Vantaggi

- *Alta risoluzione spazio/temporale*
(Sentinel-1 - 10 m, 6 giorni)
- *Ampia copertura spaziale*
("immagini")
- *Indipendente da condizioni meteo*



Limitazioni

- *Processing*
- *Misura indiretta*
(area)

Altimetro

Studi di letteratura mostrano come sia possibile stimare il **livello** di acqua nei fiumi tramite altimetro, confrontando i risultati con misure a terra.

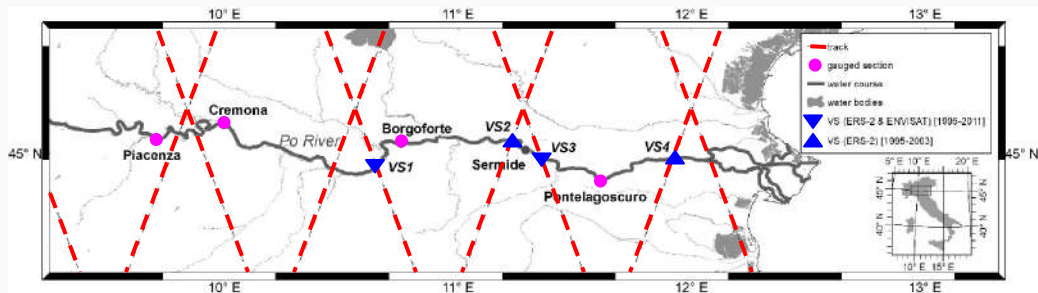
Vantaggi

- Misura diretta
- Indipendente da condizioni meteo

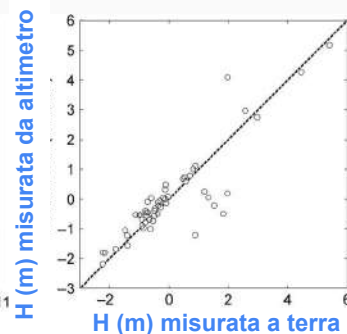
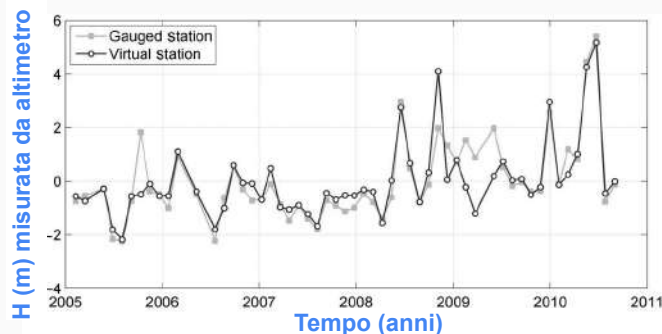


Limitazioni

- Poche “stazioni virtuali” (●) (misura al nadir)
- Lunghi revisit time (Sentinel-3 - 27 giorni)



Tarpanelli et al., *Remote Sens.* 2013, 5, 4145-4162; doi:10.3390/rs5094145



Tarpanelli et al., *JSTARS* 2015, 8(1), 141-148; doi:10.1109/JSTARS.2014.2320582