



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E  
GEOSCIENZE

Corso di Monitoraggio Geodetico e  
Telerilevamento

# Earth Sciences Analytics project - 2021/2022

Flavia De Santis



climate.nasa.gov – Il ghiacciaio Columbia in Alaska. La prima foto è del 1986, la seconda del 2014.

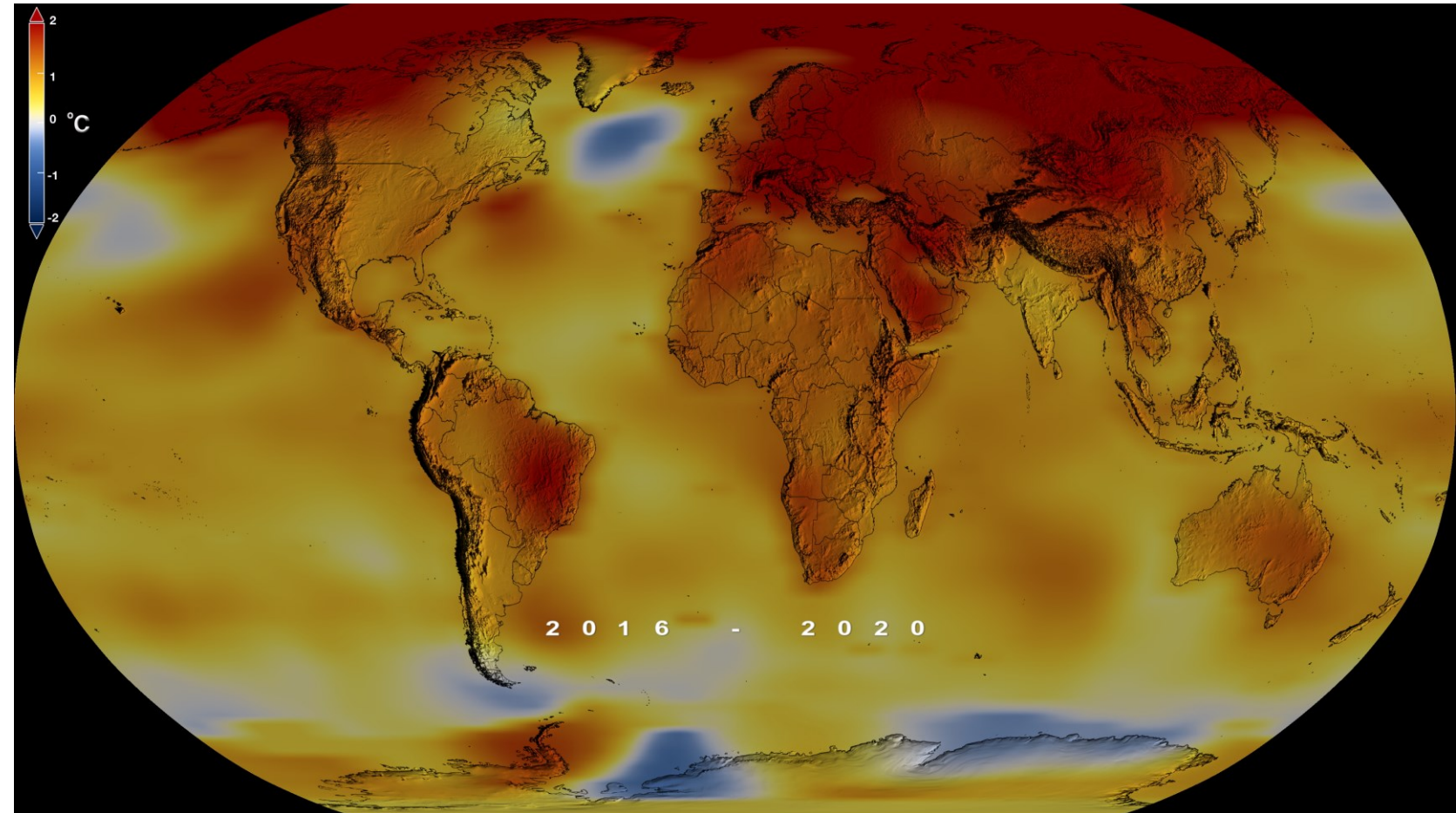
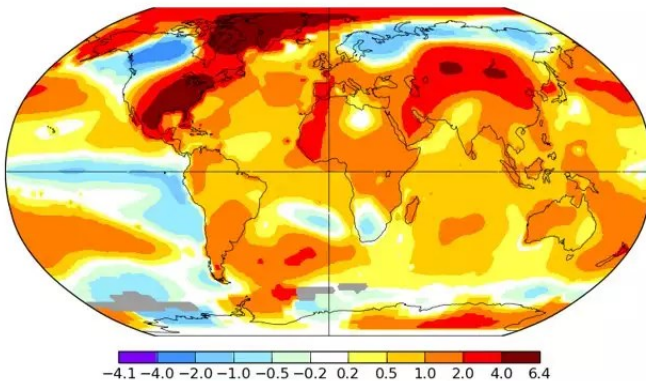


# Il cambiamento climatico

- 17 dei 18 anni più caldi misurati sono successivi al **2000**

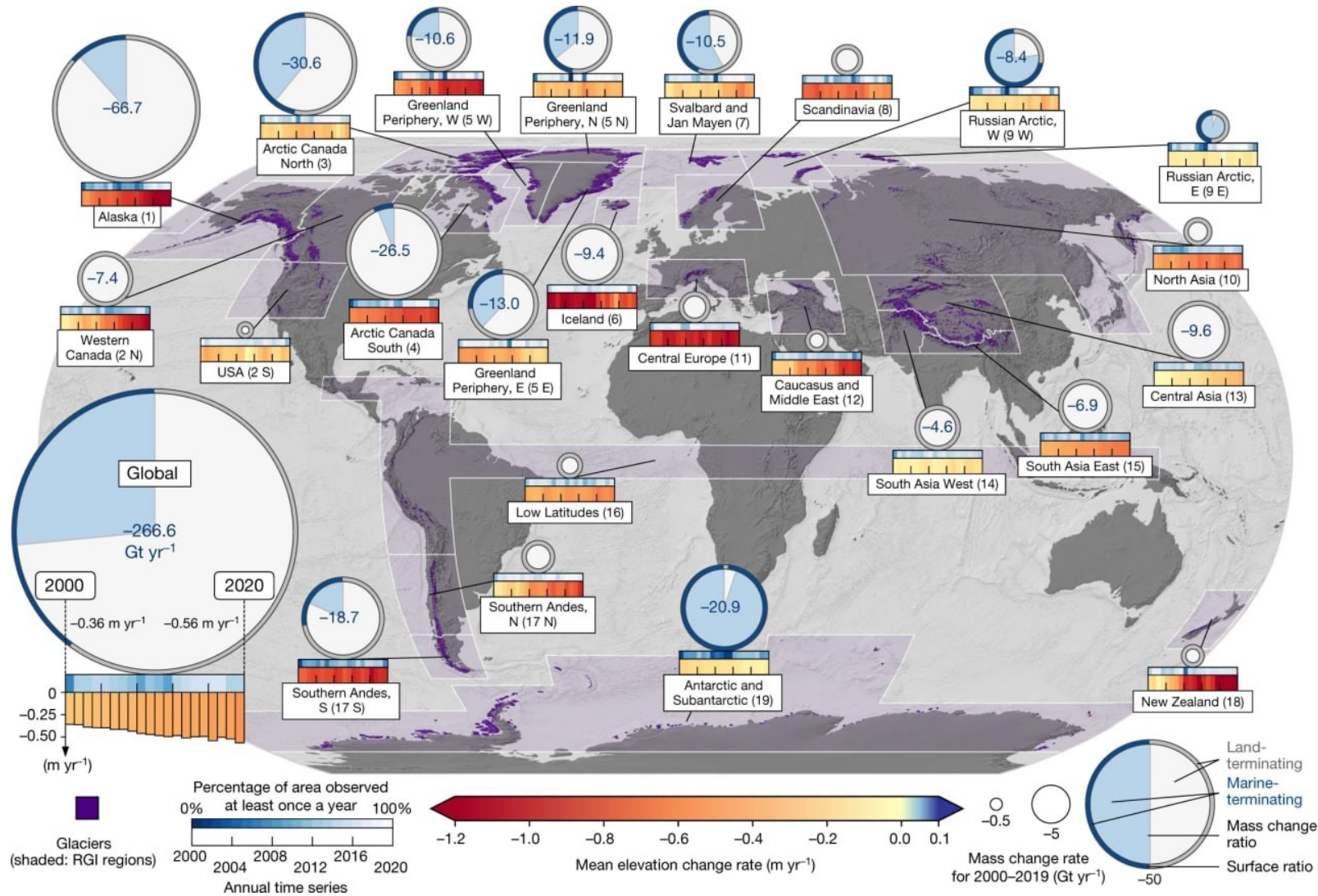
- Il cambiamento climatico ha comportato il rialzo della temperature media del pianeta di circa **+1 °C** rispetto all'epoca pre-industriale

December 2021 L-OTI(°C) Anomaly vs 1951-1980 0.86



Anomalie globali di temperature per il 2020, dall'analisi GISS della NASA.  
Credits: NASA

# I ghiacciai e il clima



Hugonnet, R. et al., 2021.

L'estensione dei ghiacciai è un indicatore percepibile del cambiamento climatico. A qualsiasi altitudine o latitudine, i ghiacciai si stanno sciogliendo ad un ritmo senza precedenti documentati, dalla metà del XX secolo.

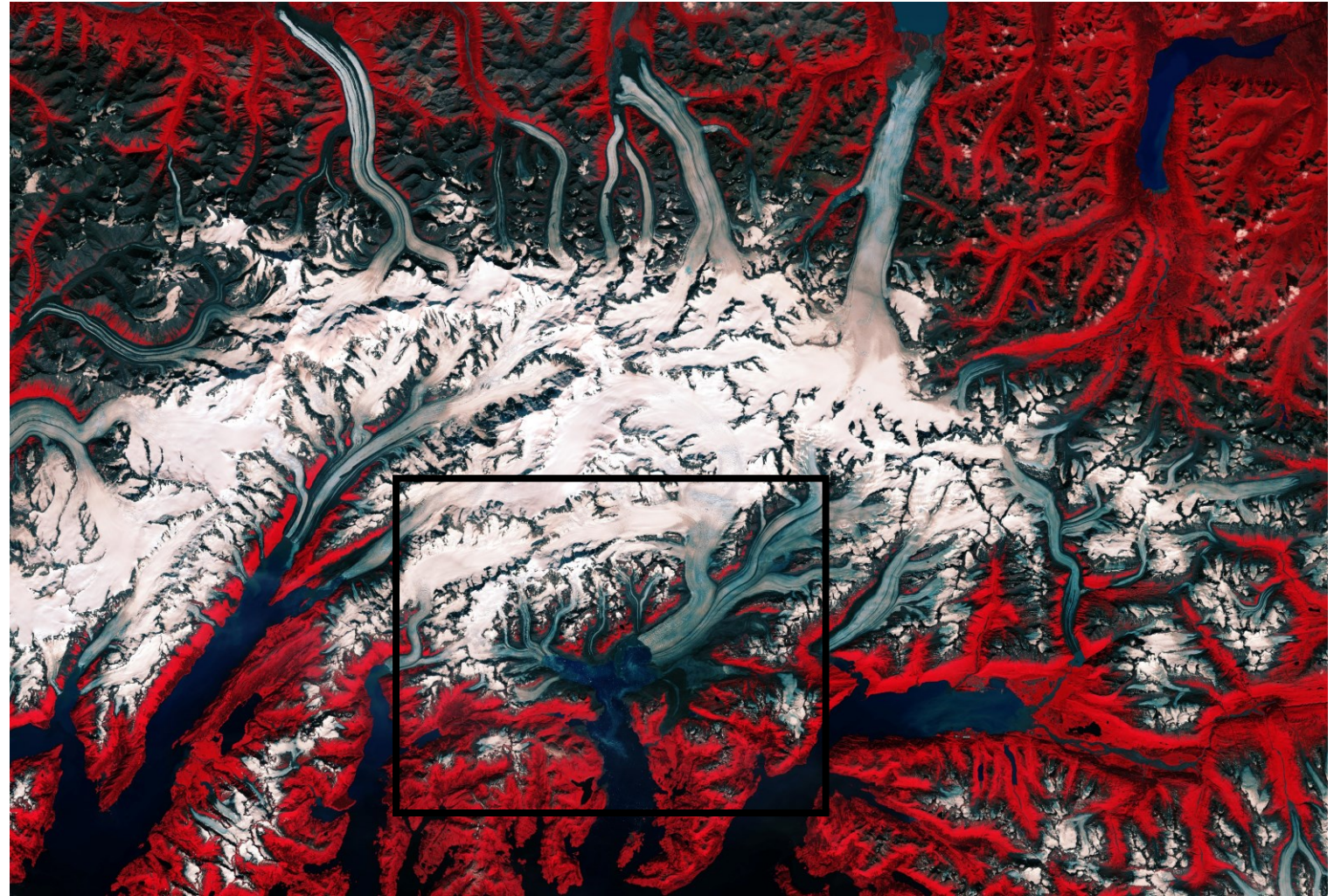
Un team di ricerca guidato dall'ETH di Zurigo e dall'Università di Tolosa con la partecipazione del WSL, è autore di uno studio sul **ritiro globale dei ghiacciai**, pubblicato su Nature il 28 aprile 2021, che include dati su quasi tutti i ghiacciai del mondo (circa 220.000).



# Il ghiacciaio Columbia

In particolare, il **ghiacciaio Columbia** scorre lungo i pendii dei Monti Chugach verso lo Stretto di Prince Williams, nel sud-est dell'Alaska.

Negli ultimi **tre decenni**, questo ghiacciaio di acqua di marea si è ritirato di oltre **20 km** ed ha perso circa la metà del suo spessore e del suo volume totali. Si ritiene che il cambiamento climatico lo abbia portato a ritirarsi negli anni '80, causando la rottura della sua parte terminale con la formazione di iceberg.



Il ghiacciaio Columbia da una recente acquisizione del satellite Sentinel-2B.  
Credits: ESA



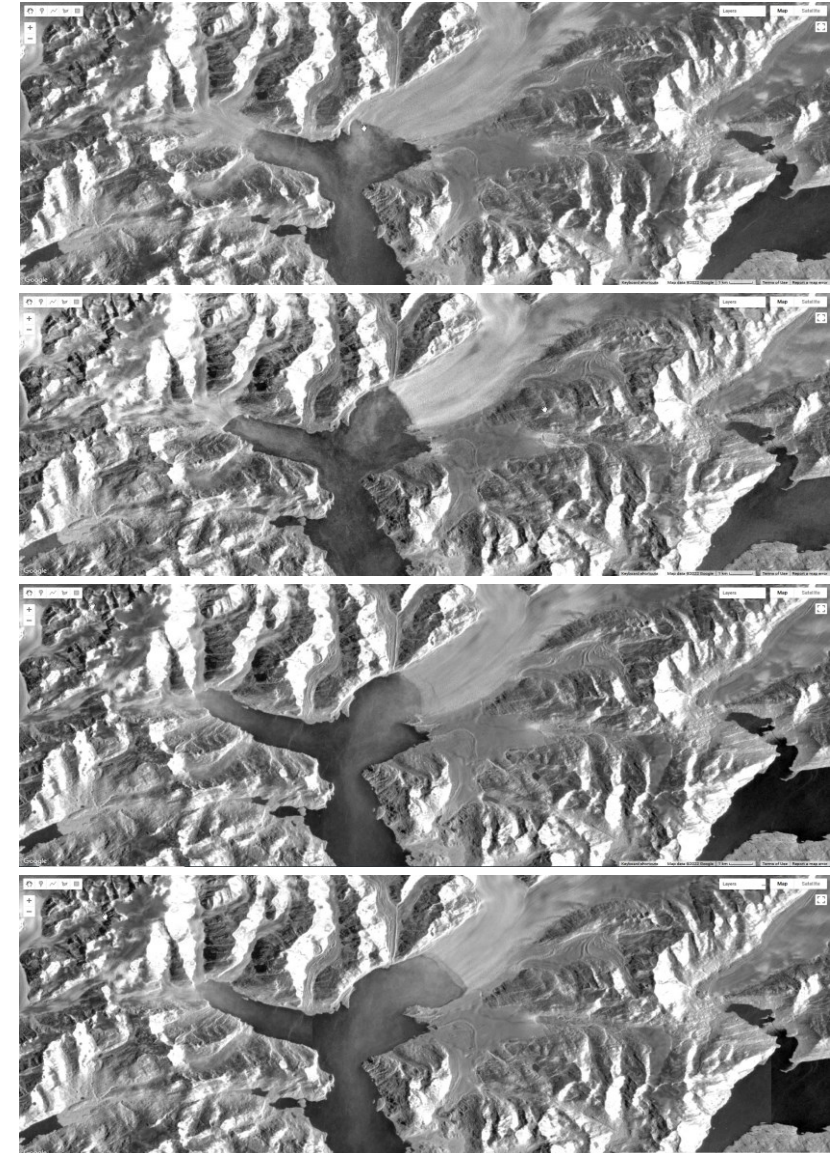
# Monitoraggio del ghiacciaio Columbia con Sentinel-1

Per il monitoraggio del ritiro del ghiacciaio Columbia ho scelto di concentrarmi sul periodo recente, dal 2015 al 2021, con acquisizioni di **media annuale**, utilizzando i dati provenienti dal satellite **Sentinel-1 SAR** (Synthetic Aperture Radar), in modalità di acquisizione **IW** (Interferometric Wide-Swath).

Inizialmente mi sono concentrata sui dati in polarizzazione **VV**; per lo studio dei ghiacciai spesso si utilizza la doppia polarizzazione HH + HV, ma i dati in HH coprono principalmente le zone polari e del ghiaccio marino, e per il ghiacciaio Columbia non c'erano dati disponibili per il periodo considerato.

La situazione del ghiacciaio è stata studiata per quattro periodi temporali successivi, con un intervallo di due anni l'uno dall'altro: la media annuale del **2015, 2017, 2019 e 2021**.

```
1 /* Script by Flavia De Santis, DSSC */
2
3 var geometry =
4 ee.Geometry.Point([-147, 61.150]); // Set the center of the map on Columbia glacier, Alaska, USA
5
6 // Get the VV collection from Sentinel-1 SAR.
7 var collectionVV = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
8   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) /// Filter to get images collected in interferometric wide swath mode.
9   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))
10  .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) // in descending mode we obtain a slightly better visualization
11  .select(['VV']);
12
13 // Create a 4 band stack by selecting from different periods (years)
14 var im1 = ee.Image(collectionVV.filterDate('2015-01-01', '2015-12-31').mean());
15 var im2 = ee.Image(collectionVV.filterDate('2017-01-01', '2017-12-31').mean());
16 var im3 = ee.Image(collectionVV.filterDate('2019-01-01', '2019-12-31').mean());
17 var im4 = ee.Image(collectionVV.filterDate('2021-01-01', '2021-12-31').mean());
18
19 // Center object on geometry and set zoom level
20 Map.centerObject(geometry, 11.5);
21 //Map.addLayer(im1.addBands(im2).addBands(im3).addBands(im4), {min: -25, max: 0}, 'VV stack1');
22
23 // Add layers for the VV collection, for each of the 4 years considered
24 Map.addLayer(im1, {min: -25, max: 0}, 'VV stack.2015', 0);
25 Map.addLayer(im2, {min: -25, max: 0}, 'VV stack.2017', 0);
26 Map.addLayer(im3, {min: -25, max: 0}, 'VV stack.2019', 0);
27 Map.addLayer(im4, {min: -25, max: 0}, 'VV stack.2021', 0);
28
```



Il ghiacciaio Columbia da Sentinel-1 SAR, dall'alto verso il basso: nel 2015, 2017, 2019 e 2021.



# Monitoraggio del ghiacciaio Columbia con Sentinel-1

Di seguito ho esplorato le differenze con i dati in polarizzazione **VH**, evidenziando le zone in cui il ghiacciaio si è ritirato dal **2015** al **2021** tramite la **differenza** delle due immagini dove questo valore è **maggiore di -8** (dB).

```
31
32 // Get the VH collection.
33 var collectionVH = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
34   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
35   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH'))
36   .select(['VH']);
37
```



```
41 // Filter Date on the VH collection and create variables before, after and diff = after-before
42 var before = collectionVH.filterDate('2015-01-01', '2015-12-31').mosaic();
43 var after = collectionVH.filterDate('2021-01-01', '2021-12-31').mosaic();
```



```
44 var diff = after.subtract(before).lt(-8); // LowerThan, mask any difference less than -8
45
```

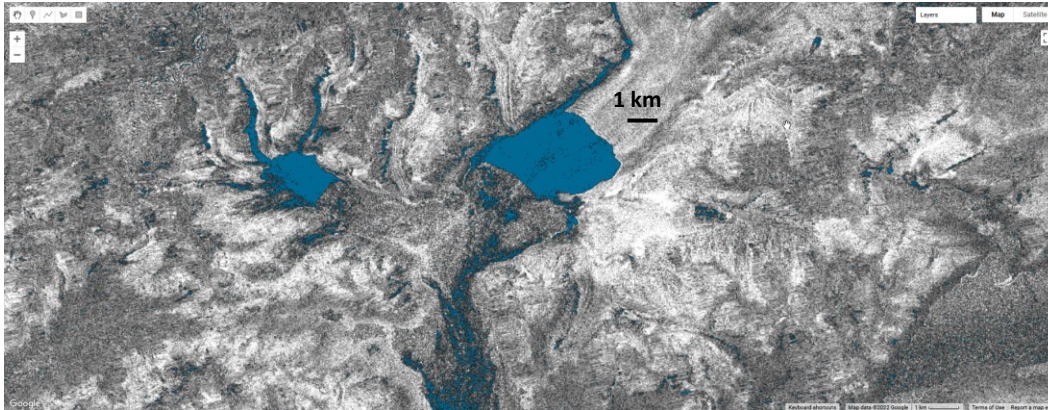


```
46 // Add layers for the VH collection, where before is mean value in 2015 and after is mean value in 2021
47 Map.addLayer(before, {min:-30, max:0}, 'Before', 0);
48 Map.addLayer(after, {min:-30, max:0}, 'After', 0);
49 Map.addLayer(after.subtract(before), {min:-10, max:10}, 'After-Before', 0);
```



# Monitoraggio del ghiacciaio Columbia con Sentinel-1

```
44 var diff = after.subtract(before).lt(-8); // LowerThan, mask any difference less than -8
```

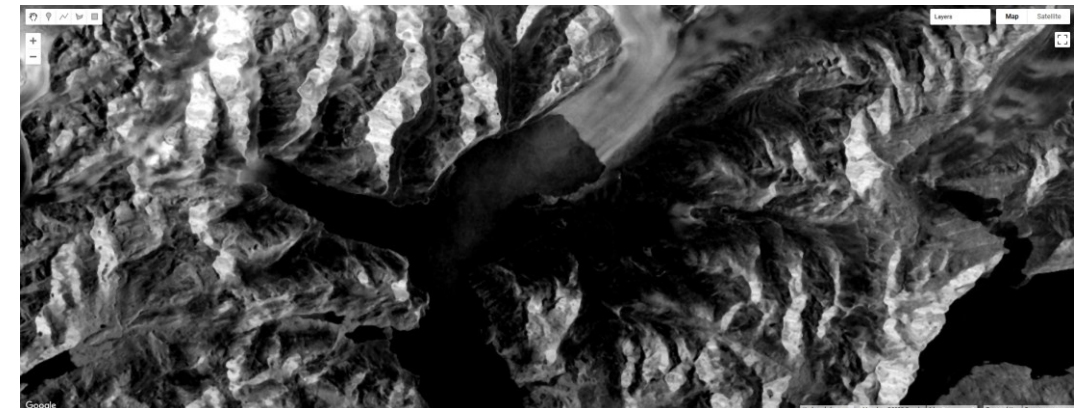


Infine ho deciso di colorare in **blu** le zone precedentemente evidenziate per una migliore visualizzazione.

```
50 Map.addLayer(diff.updateMask(diff), {palette:"006994"}, 'After the retreat', 1); // Show blue areas interested by the glacier's retreat
```

Un'ulteriore prova di visualizzazione della situazione attuale del ghiacciaio è stata fatta con Sentinel-1 SAR in modalità IW con i dati di doppia polarizzazione **VV + VH**, e combinando le modalità **ascendente** e **discendente** per la prima metà dell'anno **2022**.

```
52 // VV + VH dual polarization
53 var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
54   .filterDate('2022-01-01', '2022-06-01')
55   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
56   // Filter to get images with VV and VH dual polarization.
57   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))
58   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH'))
59   .filter(ee.Filter.bounds(geometry));
60
61 // Filter to get images from different look angles.
62 var collectionAscending = collection.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'ASCENDING'));
63 var collectionDescending = collection.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'));
64
65 var composite = ee.Image.cat([
66   collectionAscending.select('VH').mean(),
67   collectionAscending.select('VV').mean(),
68   collectionDescending.select('VH').mean()
69 ]).focal_median();
70 // Display as a composite of polarization and backscattering characteristics.
71 Map.addLayer(composite, {min: [-25], max: [0]}, 'composite');
72
```



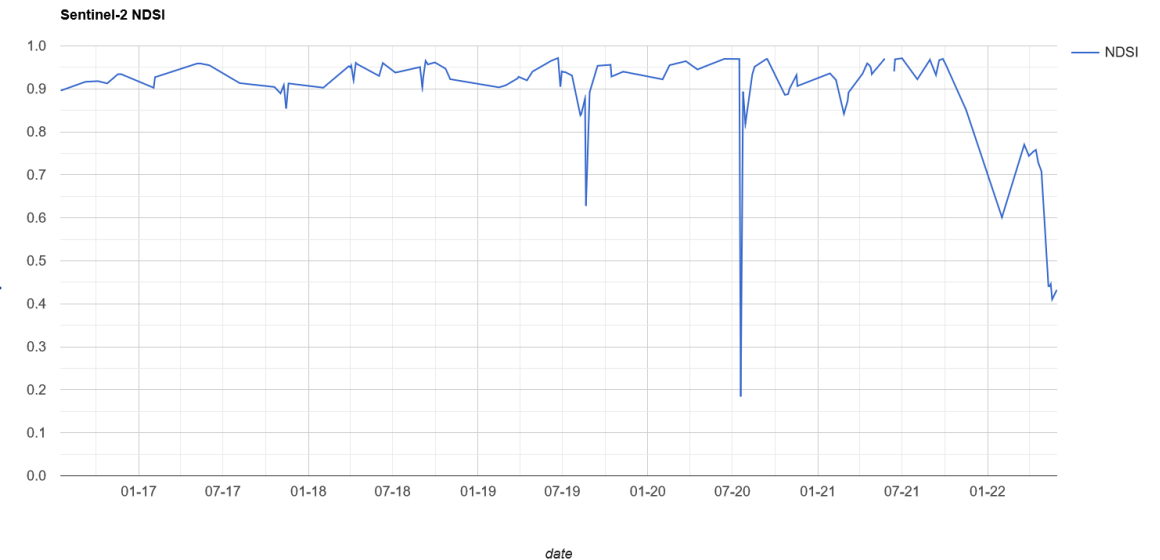
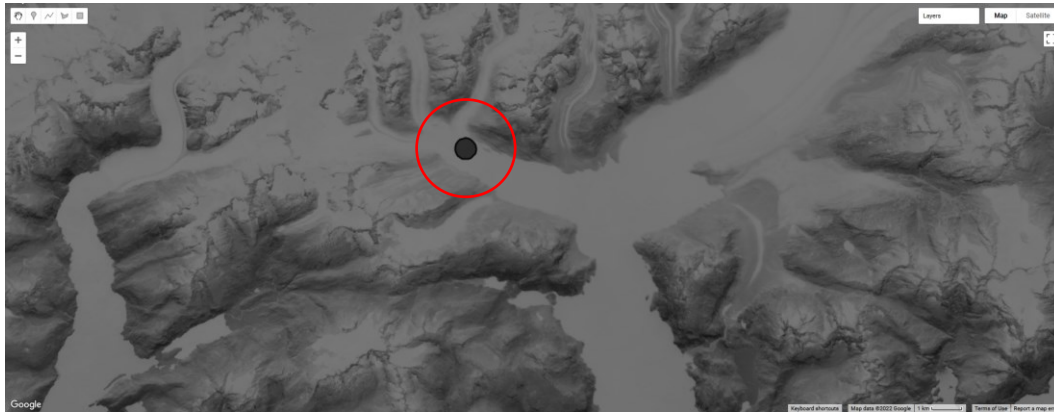


# Monitoraggio del ghiacciaio Columbia con Sentinel-2

Alcuni possibili miglioramenti dell'analisi, al fine di monitorare in maniera quantitativa il tasso di scioglimento, sono stati implementati in un successivo script (<https://code.earthengine.google.com/43e36e2f990d58d5ac60a5e2655f69a6>).

In particolare:

- Lo studio attraverso indice **NDSI** (Normalized Difference Snow Index) delle aree interessate dal ritiro del ghiaccio, utilizzando i dati provenienti dal satellite **Sentinel-2** per il periodo **2016 – 2022**;
- Il monitoraggio attraverso la **serie temporale** della variazione dell'indice NDSI in un'area definita.



In questo caso possiamo notare come l'indice NDSI nella regione grigia considerata, posizionata sulla attuale parte terminale del braccio ovest del ghiacciaio, **varia** con la stagionalità: in particolare nel 2019 e 2020 ha subito una pesante decrescita durante il periodo estivo rispetto agli anni precedenti, e nel 2022 anche durante la stagione fredda.

# Conclusioni

La piattaforma Google Earth Engine si è rivelata uno strumento ideale per il monitoraggio dell'evoluzione del ghiacciaio Columbia. In particolare, l'utilizzo del satellite **radar** Sentinel-1 ha permesso lo studio della zona senza dover considerare la copertura nuvolosa e in qualsiasi condizione atmosferica, sfruttando la differenza di riflettività tra acqua e ghiaccio.

L'utilizzo dei dati di Sentinel-2 ha invece consentito di monitorare il cambiamento con maggiore precisione puntuale, sfruttando la variazione temporale dell'indice **NDSI** (dato dalla differenza normalizzata delle bande *green* e *SWIR*, *B3* e *B11* in Sentinel-2, che varia da 0 a 1), che permette di quantificare la copertura nevosa di una zona a seconda del valore assunto:

- Valori di NDSI sotto la soglia di 0.20 sono considerati come '*no snow*' pixels;
- Valori di NDSI sopra la soglia di 0.42 sono considerati come '*snow*' pixels;
- Valori tra le due soglie sono considerati '*potentially snowy*' pixels.

In generale le osservazioni confermano quanto riportato in letteratura: il ghiacciaio si è ritirato significativamente negli ultimi anni. La parte terminale era in precedenza sostenuta da una morena; senza questa barriera, il ghiacciaio ha iniziato a fluire più rapidamente verso l'oceano, rilasciando grandi iceberg nello Stretto.

Questo ghiacciaio da solo rappresenta quasi la metà della perdita di ghiaccio dei Monti Chugach. Tuttavia, i ricercatori ritengono che il ghiacciaio Columbia, data la sua dinamica, si stabilizzerà di nuovo non appena la sua parte terminale si posizionerà in acque più basse, riguadagnando trazione.



# Bibliografia

- Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E. *et al.* Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature* **592**, 726–731 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z>
- <https://developers.google.com/earth-engine/>
- [https://esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Italy/Immagine\\_EO\\_della\\_Settimana\\_Il\\_ghiacciaio\\_Columbia](https://esa.int/Space_in_Member_States/Italy/Immagine_EO_della_Settimana_Il_ghiacciaio_Columbia)
- <https://nasa.gov/press-release/2021-tied-for-6th-warmest-year-in-continued-trend-nasa-analysis-shows>
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-2a/algorithm>
- <https://wsl.ch/it/>