

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA

Anno accademico 2020-2021

CORSO DI LAUREA IN

INGEGNERIA INFORMATICA E DELLE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE

ELABORATO FINALE DI MICROONDE

Raimondi Maria Grazia	61191
Zampino Cristian	60857
D'Emilio Marco	59973
Biancospino Flavio	59974
D'Acunto Andrea	61006
Catena Rosario	59290
Guerra Leonardo	61190
Mounsif Anas	59465

Radar ad apertura sintetica (SAR)	4
Definizione e principi base	4
Differenza tra telerilevamento attivo e passivo	5
Risoluzione geometrica e radiometrica	5
Contenuto dell'immagine SAR	6
Single Look Complex (SLC)	7
Ground Range Detected (GRD)	7
Interferometria	7
Interferometria differenziale	8
Errori di acquisizione	9
Polarimetria	11
Speckle	13
Risoluzione dello speckling	14
Multi-look	14
Satelliti presi in esame: Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat	15
Analisi a microonde per evidenziare cambi	20
Analisi e processamento dati satellite Sentinel-1	24
Media mensile	27
Analisi di serie temporali	31
Analisi e processamento dati satellite Sentinel-2	39
Indici NBR e dNBR	39
NDVI	44
Analisi e processamento dati satellite Landsat	46
Classificazione	46
Classificazione supervisionata	46
Classificazione non supervisionata	52
Analisi interferometrica	57
Sentinel-1 Interferometric Wide Swath(IW)	58
Installazione plug-in snaphu	59
Apertura e visualizzazione dei prodotti	59
Coregistrazione	61
TOPS Split	61
Applying Orbit Information	62
Back Geocoding e Enhanced Spectral Diversity	63
Interferogram Formation e Coherence Estimation	64
TOPS Deburst	68
Goldstein Phase Filtering	68
Subset	69
Phase Unwrapping	70

Phase to Displacement	71
Terrain Correction	72
Esportazione in Google Earth	74
Analisi temporale	74

Radar ad apertura sintetica (SAR)

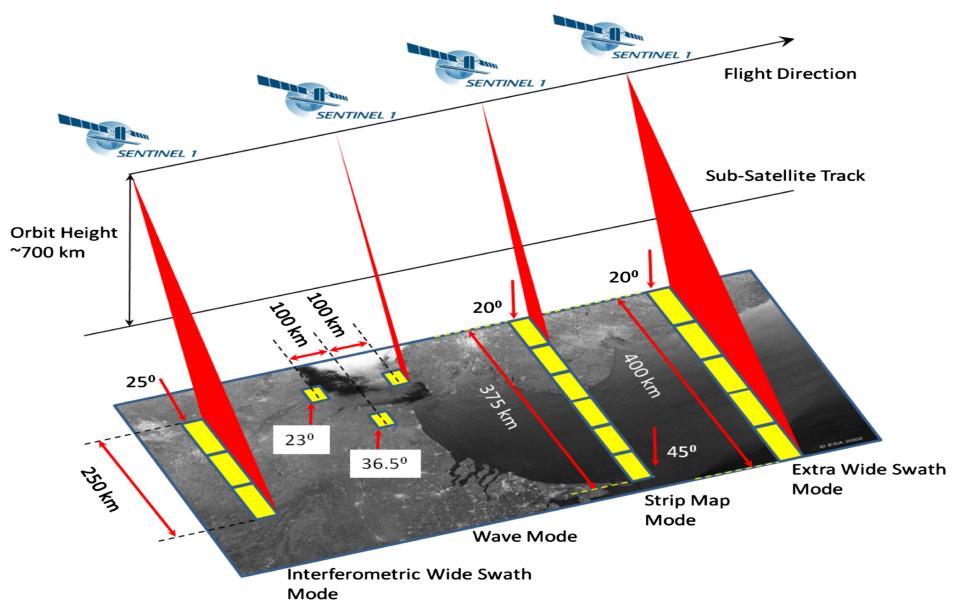
Definizione e principi base

I **radar ad apertura sintetica** (*Synthetic Aperture Radar - SAR*) sono dei radar che permettono di ottenere immagini ad alta risoluzione da grande distanza utilizzando le microonde. Uno dei vantaggi di tali sistemi è la capacità di acquisire immagini sia di giorno che di notte, anche quando il cielo è coperto da nuvole, data la capacità delle microonde (lunghezza d'onda compresa tra 1 m e 1 mm) di attraversare le nubi. La caratteristica più importante di queste tecniche è che permettono di misurare piccolissime deformazioni del suolo, anche dell'ordine del centimetro, e di seguire l'evoluzione temporale della deformazione.

A differenza di un radioaltimetro, che invia gli impulsi verso il nadir, il sistema **SAR** invia gli impulsi radar lateralmente. Grazie a questo principio di osservazione laterale, il radar restituisce al sensore i segnali che colpiscono i diversi oggetti sulla Terra in momenti differenti.

Questo consente di distinguere gli oggetti. Gli impulsi laterali del radar formano le linee dell'immagine, ossia la dimensione in range. L'altra dimensione dell'immagine, la dimensione in azimuth, viene formata dal movimento e dalla direzione del sensore, che invia e riceve continuamente gli impulsi radar.

Le immagini SAR sono utili per lo studio delle caratteristiche del ghiaccio e della neve, e per valutare i loro cambiamenti nel tempo. Oltre a questo, è possibile misurare lo scorrimento dei ghiacciai utilizzando immagini SAR ripetute con la tecnica della correlazione delle immagini (che per le immagini SAR viene spesso denominata "speckle tracking").



Differenza tra telerilevamento attivo e passivo

Gli strumenti utilizzati per l'acquisizione possono fornire misure singole di radianza, come radiometri o spettroradiometri, o insiemi di misure di radianza (immagini digitali), come macchine fotografiche, termocamere o dispositivi a scansione.

Tali strumenti sono detti:

- sensori passivi, se misurano la radiazione elettromagnetica emessa o riflessa, proveniente dalle superfici analizzate;
- sensori attivi, se provvedono essi stessi all'illuminazione delle superfici, captando poi la radiazione elettromagnetica di ritorno.

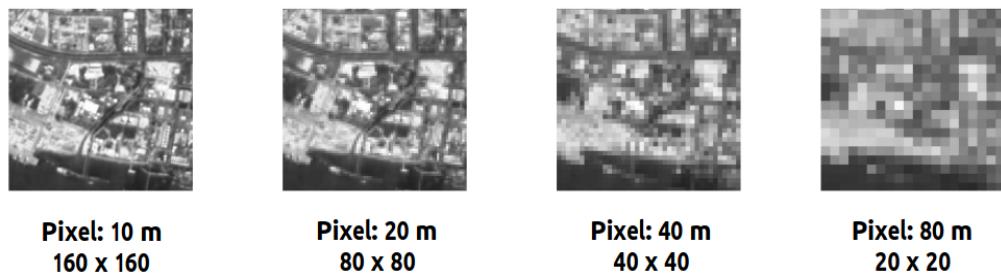
Nei sistemi di telerilevamento **passivi**, la sorgente di energia è rappresentata dal sole che irradia la superficie terrestre con una gamma continua di radiazioni elettromagnetiche che vanno dai raggi cosmici alle onde radio. Il vantaggio è che non richiedono apparati per emettere radiazione e consumano poca potenza mentre lo svantaggio è che dipendono dalla sorgente esterna, quindi non tutte le bande sono disponibili e risentono delle condizioni meteorologiche. Convengono se si ha disponibilità di sorgente esterna o di emissione significativa, senza necessità di controllo dell'illuminazione.

Nei sistemi **attivi**, la fonte di radiazioni non è più rappresentata dal sole ma da altra sorgente come ad esempio il lampo di un flash o dal trasmettitore di impulsi di un radar. Il vantaggio è che non dipendono da sorgenti esterne mentre lo svantaggio è che richiedono apparecchiature emittenti ed una grande potenza a disposizione. Si usano quando occorre controllare l'illuminazione del bersaglio, o quando i sensori passivi sono penalizzati.

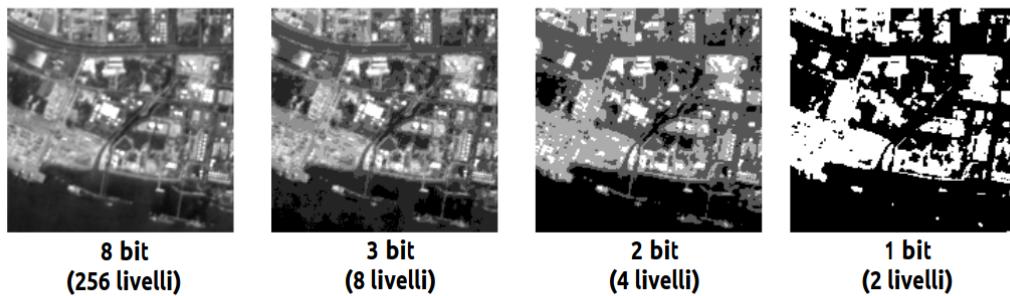
Nel caso specifico dei radar ad apertura sintetica SAR viene adottato un sistema di telerilevamento attivo.

Risoluzione geometrica e radiometrica

La **risoluzione geometrica** quantifica il livello dei dettagli riconoscibili al suolo ed esprime il dettaglio raggiungibile da un certo sistema di ripresa. Tale concetto è relativo alle dimensioni degli oggetti rilevabili in una scena e può essere quindi intesa come la dimensione dell'elemento più piccolo distinguibile a terra. A livello pratico, la risoluzione geometrica viene espressa come la dimensione coperta al suolo da ogni singolo pixel ed è legata alla capacità di discriminare in modo distinto due oggetti vicini.



La **risoluzione radiometrica** rappresenta la sensibilità della misura, ovvero la variazione minima nella misura che il sistema riesce a rilevare. È legata al numero dei livelli con cui viene quantizzato il segnale nella conversione da analogico a digitale; tali livelli discreti rappresentano i livelli di grigio assegnati ai pixel, noti con il nome di **Digital Number (DN)**. Operativamente, quindi, la risoluzione radiometrica esprime il numero di livelli di grigio impiegati nella rappresentazione della scena osservata: maggiore è il numero dei livelli di discretizzazione, migliore sarà la risoluzione radiometrica, la capacità descrittiva del sistema di acquisizione e quindi anche la capacità di estrarre informazioni dalla scena. I sensori operanti sulle più comuni piattaforme satellitari del passato presentavano una risoluzione radiometrica di 8 bit (ossia 1 byte), cui corrispondono 256 livelli per la rappresentazione dei **DN**; i sensori più moderni hanno frequentemente risoluzioni più elevate, in genere a 12 bit.



Contenuto dell'immagine SAR

Le immagini acquisite dal SAR contengono due tipi di informazione: la fase, che indica la distanza sensore-bersaglio e l'ampiezza, che rappresenta l'ampiezza del segnale riflesso dal terreno.

L'ampiezza individua la parte di campo elettromagnetico incidente che viene riflessa verso il sensore e viene utilizzata per valutare cambiamenti sulla superficie in esame, nel corso del tempo. Quindi l'ampiezza dipende sostanzialmente dal tipo di

superficie su cui l'onda incide (rugosità) e dalle costanti dielettriche che, passando da un mezzo all'altro, subiscono cambiamenti (umidità).

La fase viene utilizzata per ricavare informazioni sugli spostamenti del terreno e quindi per esempio fenomeni come subsidenza o frane. Si utilizza nell'ambito delle applicazioni interferometriche. In particolare, se osservando uno stesso oggetto, nella stessa area questo mostra differenze di fase, e quindi differenze nel segnale retrodiffuso, in due istanti di tempo diversi, questo è indice del fatto che l'oggetto si è spostato.

Nella fase di analisi, per quanto riguarda l'ampiezza è sufficiente avere a disposizione una sola immagine, nel caso della fase invece abbiamo bisogno di un minimo di due immagini, ma è preferibile averne a disposizione molte di più, poiché trattandosi di segnali periodici, anche la fase è periodica.

Single Look Complex (SLC)

I prodotti **SLC** (*Single Look Complex*) di livello 1 sono costituiti da dati SAR focalizzati, georeferenziati utilizzando i dati di orbita e di assetto del satellite.

Ogni pixel dell'immagine è rappresentato da un valore di magnitudine complesso (con componenti in fase I e quadratura Q) e quindi contiene sia ampiezza che informazioni di fase.

I prodotti includono l'intera larghezza di banda del segnale disponibile e valori complessi (reali e immaginari) che preservano le informazioni di fase. Le immagini SLC vengono distribuite come file GeoTIFF per ogni polarizzazione.

Ground Range Detected (GRD)

I prodotti di livello 1 **GRD** (*Ground Range Detected*) sono costituiti da dati SAR focalizzati che sono stati acquisiti, corretti con il multi-look e proiettati alla portata del suolo utilizzando il modello ellissoide terrestre WGS84. La proiezione ellissoidale dei prodotti GRD viene corretta utilizzando l'altezza del terreno specificata nell'annotazione generale del prodotto.

In questi prodotti, l'informazione sulla fase viene persa.

Interferometria

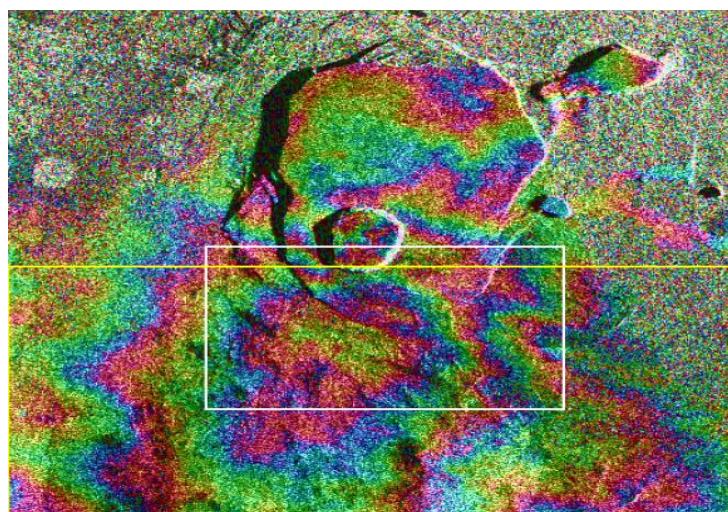
L'interferometria si basa sulla misura delle variazioni di fase tra due acquisizioni del satellite nello stesso punto. Il satellite passa su un certo punto e acquisisce un

segna la cui fase dipende dalla distanza sensore-bersaglio in quel momento. In caso di movimento del terreno la distanza sensore-bersaglio aumenta e di conseguenza la fase subisce una variazione che possiamo misurare. In particolare, si considera il movimento positivo se avviene verso il satellite lungo la congiungente sensore-bersaglio, negativo se invece si allontana dal satellite. **L'Interferometria SAR Terrestre (TInSAR)** è una tecnica di monitoraggio che permette di individuare degli spostamenti dovuti a versanti, frane e altro.

Interferometria differenziale

Con la tecnica dell' **Interferometria Differenziale SAR (DInSAR)**, si confrontano (si fanno "interferire") due immagini acquisite da posizioni leggermente differenti (baseline spaziale) e in tempi diversi (baseline temporale) e si ottengono immagini tridimensionali della superficie terrestre, misurandone anche la topografia. Se qualcosa è cambiato, nell'intervallo di tempo tra le due acquisizioni, ossia se si rileva una deformazione del terreno tra i due passaggi successivi del sensore, questa viene visualizzata mediante una serie di strisce colorate, le cosiddette frange di interferenza o interferogramma. Le onde elettromagnetiche utilizzate sono caratterizzate da un'alternanza di creste distanziate di circa mezza lunghezza d'onda. È proprio "contando" queste creste che il radar riesce a capire a quale distanza si trova l'oggetto che sta osservando. Non solo, se l'oggetto, che può trovarsi anche a centinaia di chilometri di distanza, si sposta di appena qualche centimetro il numero di creste che caratterizzano le onde elettromagnetiche cambierà, consentendo di rilevare e misurare lo spostamento con accuratezza, appunto, centimetrica.

Le tecniche interferometriche generano non solo le mappe di deformazione del suolo misurata lungo la linea di vista del sensore, ma usufruendo di una serie di immagini (invece di due sole) acquisite nel corso del tempo, consentono di seguire l'evoluzione temporale della deformazione stessa.



I dati che ci servono per procedere con le analisi interferometriche sono quelli di tipo SLC ovvero dati che contengono sia il contenuto di informazione relativo all'ampiezza che quello relativo alla fase a cui siamo interessati per questo tipo di analisi.

Errori di acquisizione

I cambiamenti di superficie, nel caso dell'interferometria rappresentano rumore. Infatti se osserviamo zone con una vegetazione piuttosto ricca, bisogna prestare attenzione a se i cambiamenti osservati sono relativi a semplici cambiamenti superficiali o se effettivamente sono dovuti ai fenomeni di spostamento del terreno a cui siamo interessati. Per riuscire a distinguere i due fenomeni, e quindi se è opportuno proseguire con le analisi o se i risultati che otterremmo sarebbero influenzati da questo rumore, è opportuno calcolare la coerenza. Il valore della coerenza ci permette di valutare quanto il segnale è coerente nel tempo, quindi se e quanto è cambiato rispetto a se stesso nel corso del tempo.

La coerenza di due immagini SAR, che indichiamo con γ , si definisce come il coefficiente di correlazione ottenuto facendo il rapporto tra le sommatorie coerenti e incoerenti calcolate per ogni punto delle due immagini.

$$\gamma = \frac{|\sum s_1(x) \cdot s_2(x)^*|}{\sum |s_1(x)|^2 \cdot \sum |s_2(x)|^2}$$

dove **s1** e **s2** rappresentano i valori complessi dei singoli pixel e * rappresenta il complesso coniugato.

Il suo valore va da 0 (abbiamo solo rumore) a 1 (completa assenza di rumore). Le aree edificate e rocciose (meno soggette a cambiamento nel tempo) saranno più vicine ad 1, mentre quelle con vegetazione e corsi d'acqua avranno valori vicini allo 0.

Quando si lavora con la fase bisogna tener conto di alcuni fattori:

- **contributo atmosferico:** in alcune bande il segnale può interagire con le particelle atmosferiche, a causa di lunghezze d'onda simili, e subire un ritardo di fase.
- **coregistrazione:** poiché lavoriamo con immagini acquisite nel tempo, che presentano varie differenze, per esempio a livello di orbita, dobbiamo effettuare l'operazione di coregistrazione. Le orbite a cui avvengono le acquisizioni sono simili tra di loro, ma non perfettamente uguali, pertanto si fanno degli aggiustamenti per poter effettuare le analisi in modo preciso.

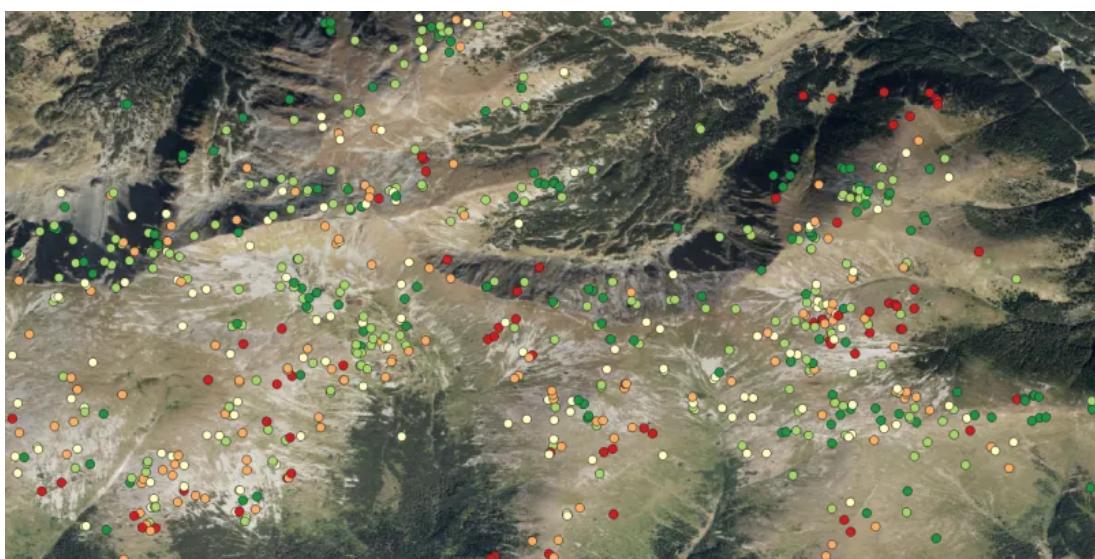
- **contributo di Terra piatta:** le analisi che vogliamo effettuare sono su superfici piane, ma poiché il satellite osserva la Terra a grande distanza, la vede pressoché sferica, nello specifico osserva la naturale curvatura terrestre e la interpreta come un movimento di superficie, pertanto rileva una variazione di fase, che in realtà non c'è. Quindi, risulta necessario attenuare questo contributo.
- **sottrazione della fase topografica:** l'attenuazione del contributo di Terra piatta può comportare l'appiattimento di superfici che presentano rilievi, per questo è opportuno effettuare una correzione sfruttando un modello digitale del terreno.

Il prodotto delle analisi interferometriche è un interferogramma che si ottiene calcolando il prodotto fra l'immagine slave (acquisizioni che facciamo nel tempo) e il complesso coniugato dell'immagine master (acquisizione che prendiamo come riferimento). Essendo entrambi valori complessi il risultato sarà appunto una differenza di fase.

Per valutare meglio eventuali spostamenti si fa riferimento ai **Permanent Scatter** (**PS**), che possono essere singoli o distribuiti. Per **PS** si intendono quei punti che non subiscono cambiamenti e che quindi sono una sorta di "GPS virtuale", per esempio i palazzi, che non si spostano e se si verifica uno spostamento viene rilevato.

Con l'interferometria riusciamo a rilevare anche gli spostamenti millimetrici, poiché lavoriamo con lunghezze d'onda del centimetro. L'analisi degli spostamenti è tanto più affidabile quanti più PS abbiamo.

Parliamo di PS distribuiti nel caso, per esempio di deserti rocciosi, dove non avvenendo grossi cambiamenti possiamo considerare vaste aree come PS.



L'ultima operazione da effettuare è il **phase unwrapping** (srotolamento della fase) che ci permette di valutarne la periodicità.

Polarimetria

La polarimetria è una tecnica che utilizza sistemi radar in grado di trasmettere e di ricevere sia polarizzazione orizzontale che verticale, così è possibile acquisire e processare le quattro combinazioni di polarizzazione. Il termine polarizzazione si riferisce all'orientamento del vettore campo elettrico di un'onda elettromagnetica. Si considera solo il campo elettrico perché quello magnetico è vincolato di conseguenza.

Tipicamente, gli stati di polarizzazione impiegati sono:

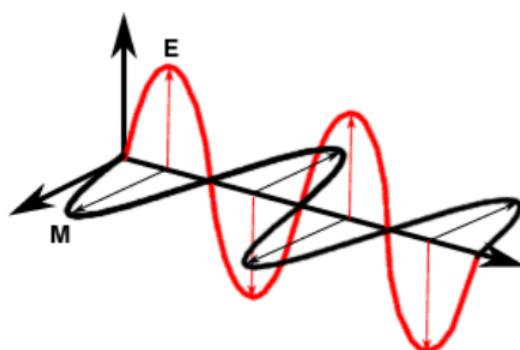
- Orizzontale e verticale (H/V);
- Circolare destrorsa e circolare sinistrorsa (RHC, LHC).

Esempi di radar polarimetrici sono alcuni radar meteorologici, ed alcuni radar ad apertura sintetica (SAR).

I sistemi SAR convenzionali operano con una singola antenna a polarizzazione fissa sia per la trasmissione e sia per la ricezione dei segnali di radiofrequenza. In questo modo viene misurata una singola riflettività radar, per una specifica combinazione di polarizzazione di trasmissione e ricezione, per ogni elemento di risoluzione dell'immagine.

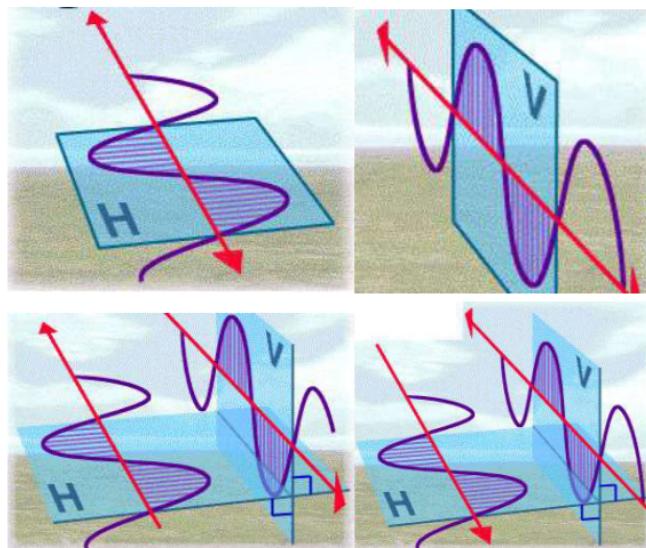
Un risultato di questa implementazione è che l'onda riflessa, una quantità vettoriale, viene misurata come una quantità scalare e qualsiasi informazione aggiuntiva sul processo di dispersione contenuta nelle proprietà di polarizzazione del segnale diffuso viene persa.

Nell'immagine è possibile notare la polarizzazione che fa riferimento all'orientamento del piano del vettore campo elettrico (E), perpendicolare al vettore campo magnetico (M).



Generalmente i sensori radar destinati al telerilevamento sono costruiti per trasmettere e ricevere radiazioni con polarizzazione sia orizzontale che verticale. Per definire la direzione di polarizzazione si utilizzano la lettera **H** (*Horizontal*) per la polarizzazione orizzontale e **V** per quella verticale (*Vertical*). Pertanto, un sensore

con polarizzazione del tipo **HH** genera e riceve un segnale con polarizzazione orizzontale. Nel caso di polarizzazione **VV**, sia il segnale trasmesso che quello ricevuto avranno polarizzazione verticale. I radar del tipo **HV** hanno una trasmissione con polarizzazione orizzontale e ricezione verticale, mentre per i **VH** avviene esattamente il contrario.



Quando le polarizzazioni del segnale trasmesso e ricevuto sono uguali (HH e VV) si parla di co-polarizzazioni, mentre nel caso di HV e VH, ossia di segnali di trasmissione e ricezione ortogonali tra loro, si è in presenza di polarizzazioni incrociate. Queste ultime provocano una dispersione multipla del segnale retrodiffuso dal bersaglio e pertanto il segnale ricevuto di ritorno risulta più debole se paragonato ai segnali co-polarizzati. Per questo i segnali con polarizzazione incrociata non sono ottimali per la produzione di immagini da satellite in considerazione dei segnali troppo deboli, pertanto i satelliti montano generalmente radar con polarizzazione HH e/o VV.

Tutte queste modalità di polarizzazione trovano numerose applicazioni e ciascuna è preferibile in particolare condizioni.

La polarizzazione HH è generalmente preferibile nello studio dell'umidità del terreno se non siamo interessati alle coltivazioni, infatti le colture che crescono verticalmente vengono attraversate più facilmente da segnali con polarizzazione HH. In questo modo il segnale retro-diffuso è rappresentativo delle quantità d'acqua al suolo e non della geometria delle coltivazioni, è inoltre ottimale per rilevare separatamente il ghiaccio e l'acqua del mare in quanto è poco sensibile alla rugosità dell'acqua rispetto alla polarizzazione VV. Per la stessa ragione è utilizzata per rilevare imbarcazioni in mezzo al mare.

La polarizzazione VV è più adeguata per studiare rugosità di piccola scala, come le onde sugli specchi d'acqua. Poiché la retrodiffusione delle superfici d'acqua è fortemente ridotta in presenza di polarizzazioni incrociate HV e VH, queste sono

adatte a rilevare bersagli negli specchi d'acqua, come barche, deformazioni dei ghiacci.

Per lo studio di suolo spoglio, in cui l'attenzione si focalizza sull'umidità del terreno e sulla sua rugosità, l'uso di diverse polarizzazioni può migliorare la definizione dei parametri del suolo. Molti studi sulla vegetazione utilizzano diverse polarizzazioni, in particolare polarizzazioni incrociate per migliorare la distinzione tra la vegetazione che causa una retro-diffusione volumetrica e il suolo che provoca una diffusione di superficie.

Speckle

Le immagini radar ad apertura sintetica (SAR) sono influenzate da un rumore correlato spazialmente e dipendente dal segnale chiamato speckle, che è molto grave e può ostacolare l'utilizzo dell'immagine. Tale interferenza corrisponde al fenomeno del "Salt&Pepper".

Viene evidenziato come una struttura casuale di elementi dell'immagine (*pixel*) causata dall'interferenza di onde elettromagnetiche diffuse da superfici o oggetti.

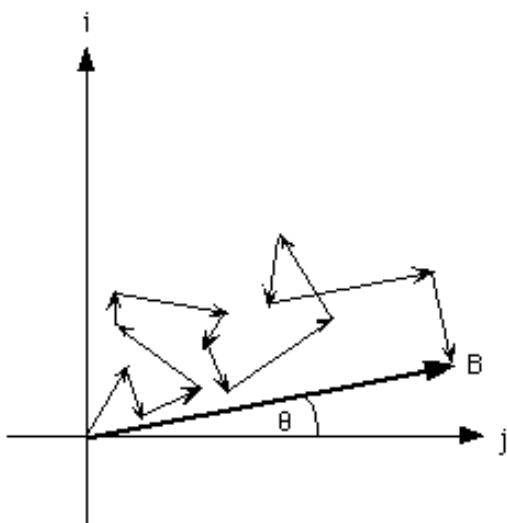
Quando illuminato dal SAR, ogni bersaglio contribuisce all'energia di backscattering che, insieme ai cambiamenti di fase e di potenza, viene sommata in modo coerente per tutti gli oggetti.



Risoluzione dello speckling

Il *De-Speckling* è un'attività importante che mira a rimuovere tale rumore, in modo da migliorare l'accuratezza di tutte le attività di elaborazione delle immagini.

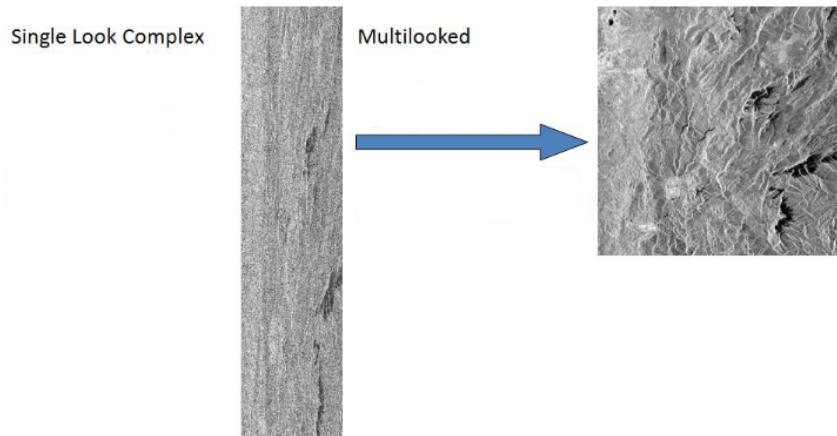
Le immagini SAR sono intrinsecamente macchiate in natura. Lo speckle è una distribuzione granulare di pattern, solitamente modellata come un rumore moltiplicativo che colpisce le immagini SAR. Pertanto, gli approcci di despeckling sono necessari per migliorare la qualità delle immagini SAR. Tuttavia, c'è un compromesso tra la riduzione delle macchioline e la conservazione dei dettagli nell'immagine SAR. La riduzione del rumore speckle senza perdere i dettagli dell'immagine SAR è un compito difficile.



Multi-look

Nelle immagini SAR le risoluzioni spaziali azimuth sono diverse. L'obiettivo del *multi-looking* è riportare l'immagine ad una geometria confrontabile con la realtà a terra, cioè creare una risoluzione con un pixel quadrato. Per fare questo vengono ricampionati i dati riguardanti tanti pixel in direzione azimuth.

Il multi-look è un filtraggio che sfrutta il calcolo delle medie, nello specifico va a sostituire al pixel centrale la media di quelli che lo circondano.



Satelliti presi in esame: Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat

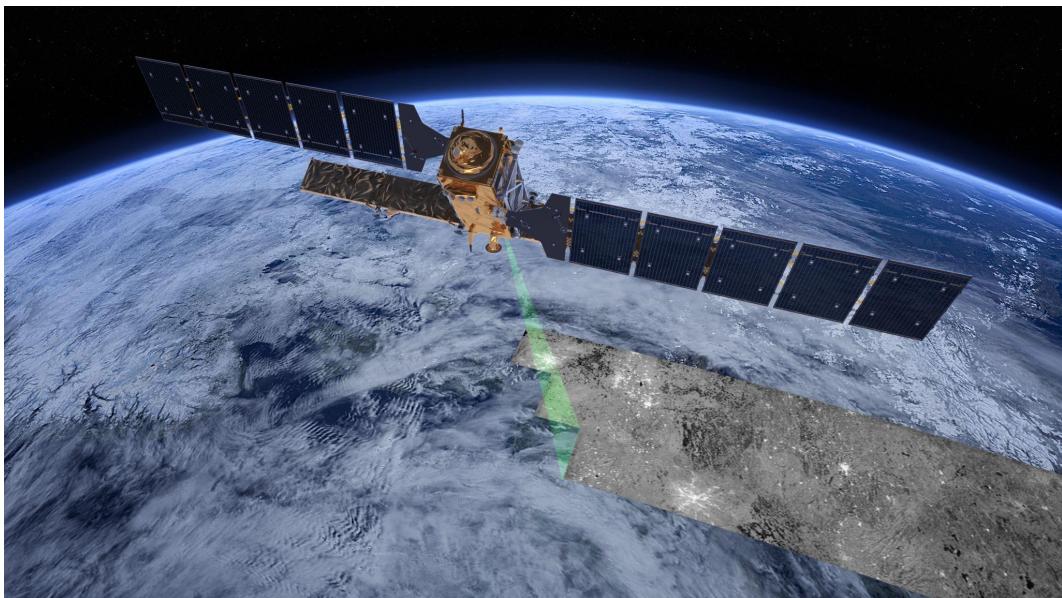
I Sentinel sono una famiglia di missioni sviluppate dall'ESA per far fronte alle esigenze operative del programma Copernicus. Ogni missione è dotata di una diversa gamma di tecnologie e si concentra su aspetti diversi dell'Osservazione della Terra: il monitoraggio atmosferico, quello oceanico e quello terrestre; i dati raccolti vengono utilizzati per un'ampia gamma di applicazioni.

La missione **Sentinel-1** è composta da una costellazione di due satelliti che condividono lo stesso piano orbitale e sono dotati di un'avanzata strumentazione radar che consente loro di acquisire immagini, di giorno e di notte in tutte le condizioni meteorologiche, utili al monitoraggio marittimo e terrestre, ai servizi di risposta alle emergenze, all'osservazione del cambiamento climatico e alla sicurezza.

La missione Sentinel-1 prevede:

- **Lancio:** Sentinel-1A: 03/04/2014, Sentinel-1B: 25/04/2016;
- **Orbita:** Polare, eliosincrona con altitudine di 693 km;
- **Intervallo di copertura:** orbita distanziata di 180°, forniscono così immagini della Terra intera ogni sei giorni (all'equatore);
- **Strumento:** Radar ad Apertura Sintetica (SAR) in banda C;
- **Obiettivo:** Monitoraggio dei ghiacciai marini, perdite di petrolio, venti, onde e correnti, cambiamenti di destinazione del terreno e gestione delle emergenze.

Missione	Copertura Spaziale	Strumento	Dominio Applicativo	Livelli di lavorazione	Tipo di prodotto
Sentinel-1A	Globale	SAR-C	Terrestre, Marittimo	L0, L1, L2	RAW, SLC*, GRD, OCN
Sentinel-1B	Globale	SAR-C	Terrestre, Marittimo	L0, L1, L2	RAW, SLC*, GRD, OCN

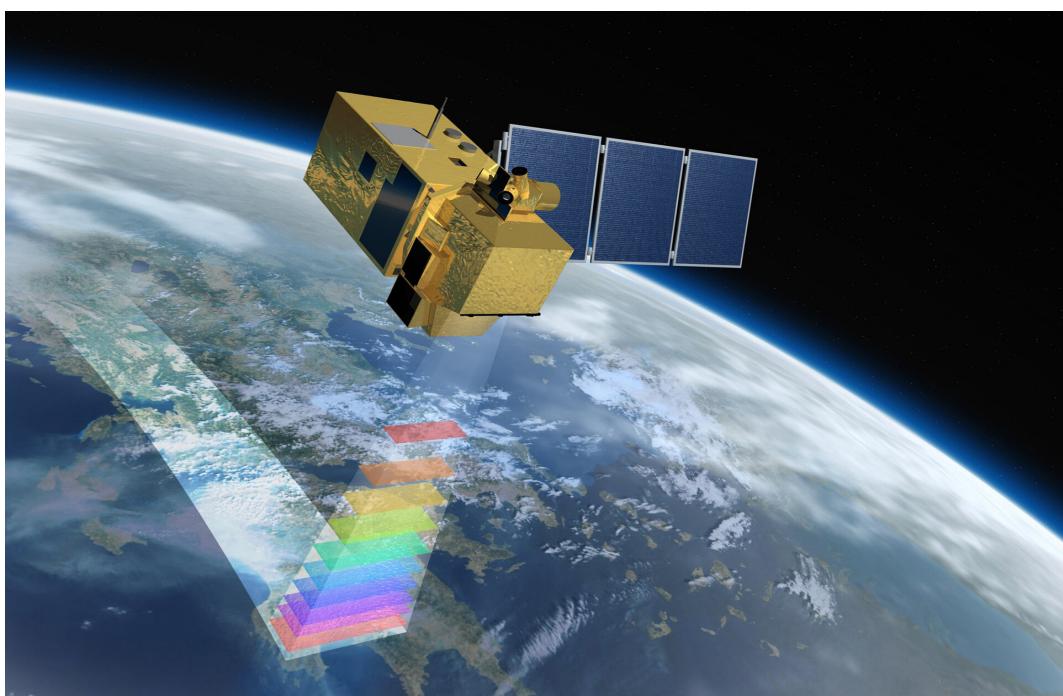


La missione **Sentinel-2** si basa su una costellazione di due satelliti identici posizionati sulla stessa orbita al fine di ottenere copertura e trasmissione dei dati ottimali. Entrambi possiedono una strumentazione ottica che fornisce informazioni destinate principalmente alle pratiche agricole e forestali da un lato, e al supporto della gestione della sicurezza alimentare dall'altro.

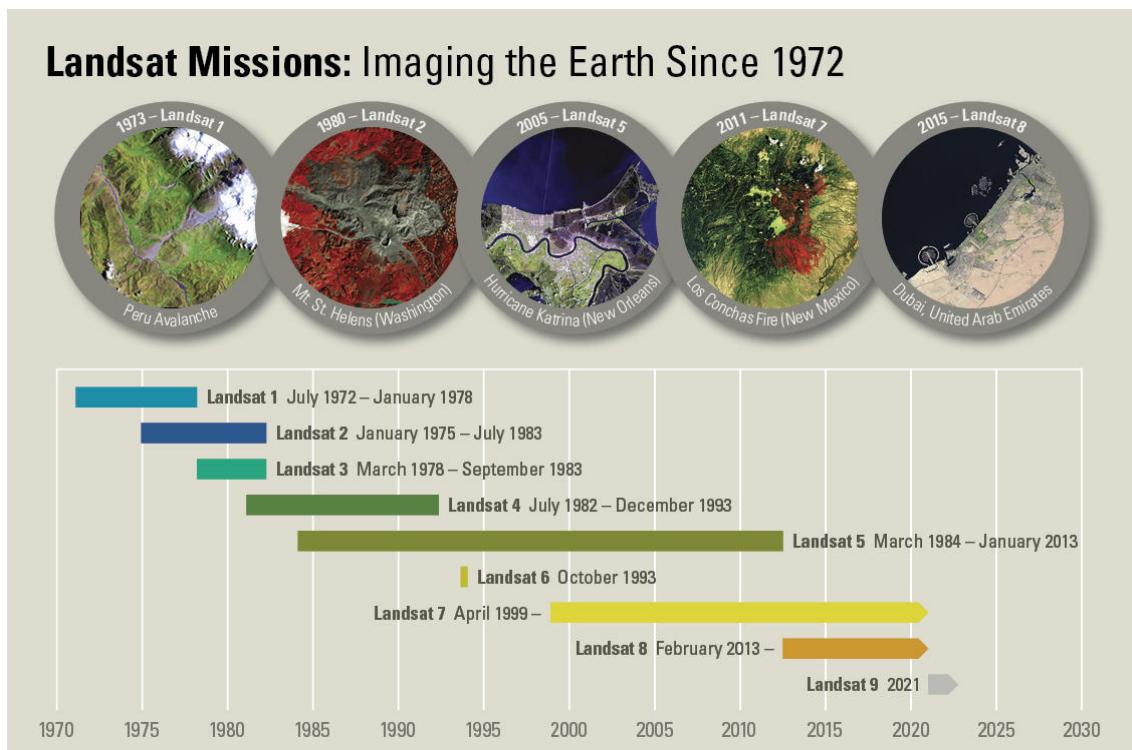
La missione Sentinel-2 prevede:

- **Lancio:** Sentinel-2A: 23 giugno, Sentinel-2B: 7 marzo 2017;
- **Orbita:** Polare, eliosincrona con altitudine di 786 km;
- **Intervallo di copertura:** orbita distanziata di 180°, in modo tale che lo stesso punto al di sopra dell'equatore viene coperto ogni cinque giorni;
- **Strumento:** Sistema di imaging multispettrale (**MSI**, *Multispectral Imager*);
- **Obiettivo:** Monitoraggio di terreni agricoli e foreste, rilevazione del cambio di destinazione d'uso del suolo, mappatura delle variabili biofisiche (contenuto di clorofilla nel fogliame), monitoraggio costiero e altro.

Missione	Copertura Spaziale	Strumento	Dominio Applicativo	Livelli di lavorazione	Tipo di prodotto
Sentinel-2A	Globale	MSI	Terrestre	L1C, L2A	MSI1C, MSI2A, MSI2Ap
Sentinel-2B	Globale	MSI	Terrestre	L1C, L2A	MSI1C, MSI2A, MSI2Ap



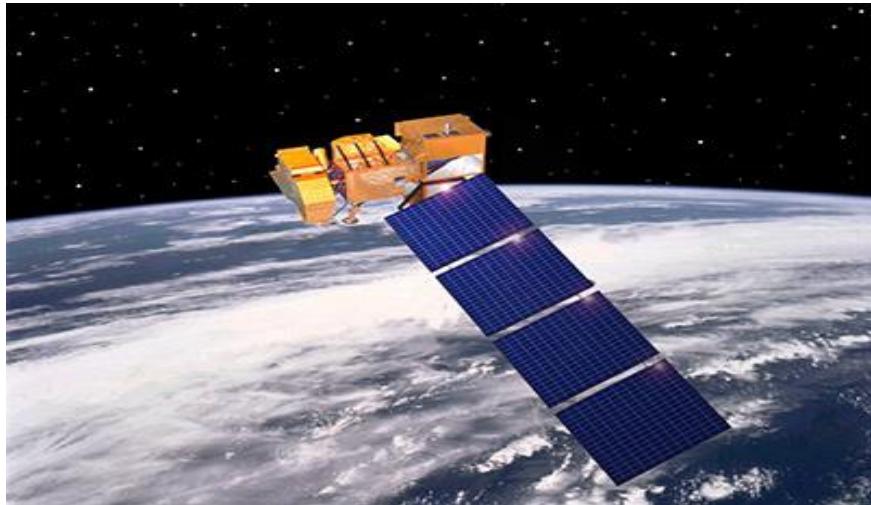
Landsat è una costellazione di satelliti per telerilevamento che osservano la Terra: i dati da loro collezionati vengono usati per studiare l'ambiente, le risorse, e i cambiamenti naturali e artificiali avvenuti sulla superficie terrestre.



Nel nostro caso di studio, abbiamo focalizzato la nostra attenzione sull'analisi dei satelliti da noi utilizzati; questi sono il Landsat 7 e il Landsat 8.

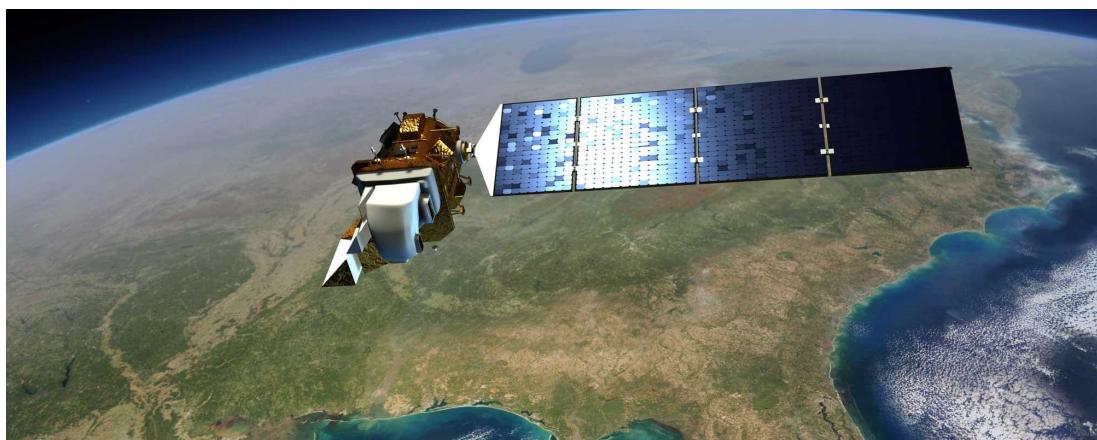
Il **Landsat 7** è un satellite per il telerilevamento progettato con un'aspettativa di vita di circa cinque anni. Ha la possibilità di acquisire e trasmettere a terra fino a 532 immagini al giorno. Orbita attorno al nostro pianeta secondo una traiettoria polare e eliosincrona che gli permette di scandire l'intero globo terrestre in circa 16 giorni (232 rivoluzioni).

La sua altitudine varia tra i 700 e 710 km. Il satellite pesa 1973 kg, è lungo 4,04 metri e ha un diametro di 2,74 metri. A differenza dei suoi predecessori, il Landsat 7 ha una memoria allo stato solido di 378 gigabit, che permette di memorizzare all'incirca un centinaio di immagini. Lo strumento di bordo principale è l'**ETM+** (*Enhanced Thematic Mapper Plus*).



Landsat 8 è l'ottavo satellite del programma Landsat, lanciato in orbita il 13 Febbraio 2013 e realizzato dalla collaborazione tra la NASA e la USGS (United States Geological Survey, l'agenzia di rilevamento geologico degli Stati Uniti), ad oggi è il più longevo programma di imaging continuativo nella storia. Ha un' orbita quasi polare eliosincrona ad un'altitudine di 705 km con la possibilità di percorrere un'orbita completa in circa 99 minuti.

Il satellite porta a bordo due sensori, ovvero il sistema di imaging terrestre operativo (*Operational Land Imager*) e il sensore termale a infrarossi (*Thermal Infrared Sensor*), che forniscono immagini a media risoluzione – da 15 a 100 metri – della superficie terrestre e delle regioni polari. Landsat 8 acquisisce più di 700 immagini al giorno, aumentando la probabilità di catturare immagini senza nuvole ai fini di migliorare la copertura stagionale della superficie terrestre. Viene utilizzato in svariati campi di applicazione come il cambiamento di destinazione d'uso e di copertura del suolo, l'agricoltura, la silvicoltura, la geologia, l'idrologia, le risorse costiere e il monitoraggio ambientale.

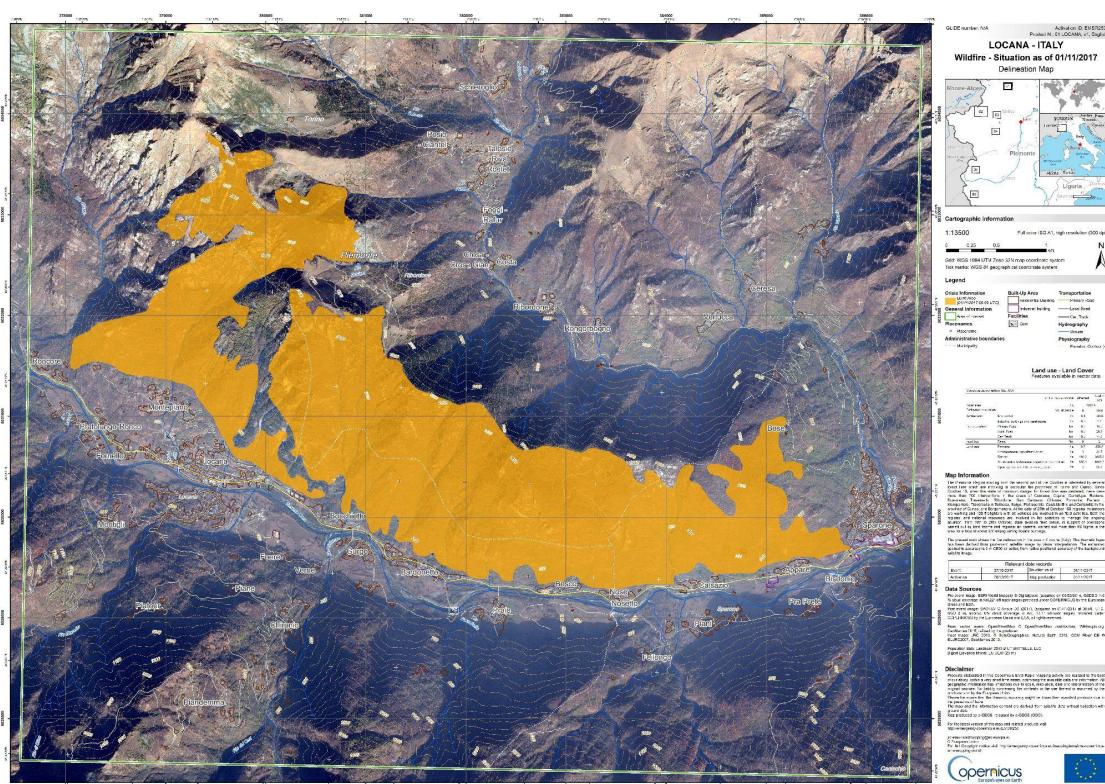


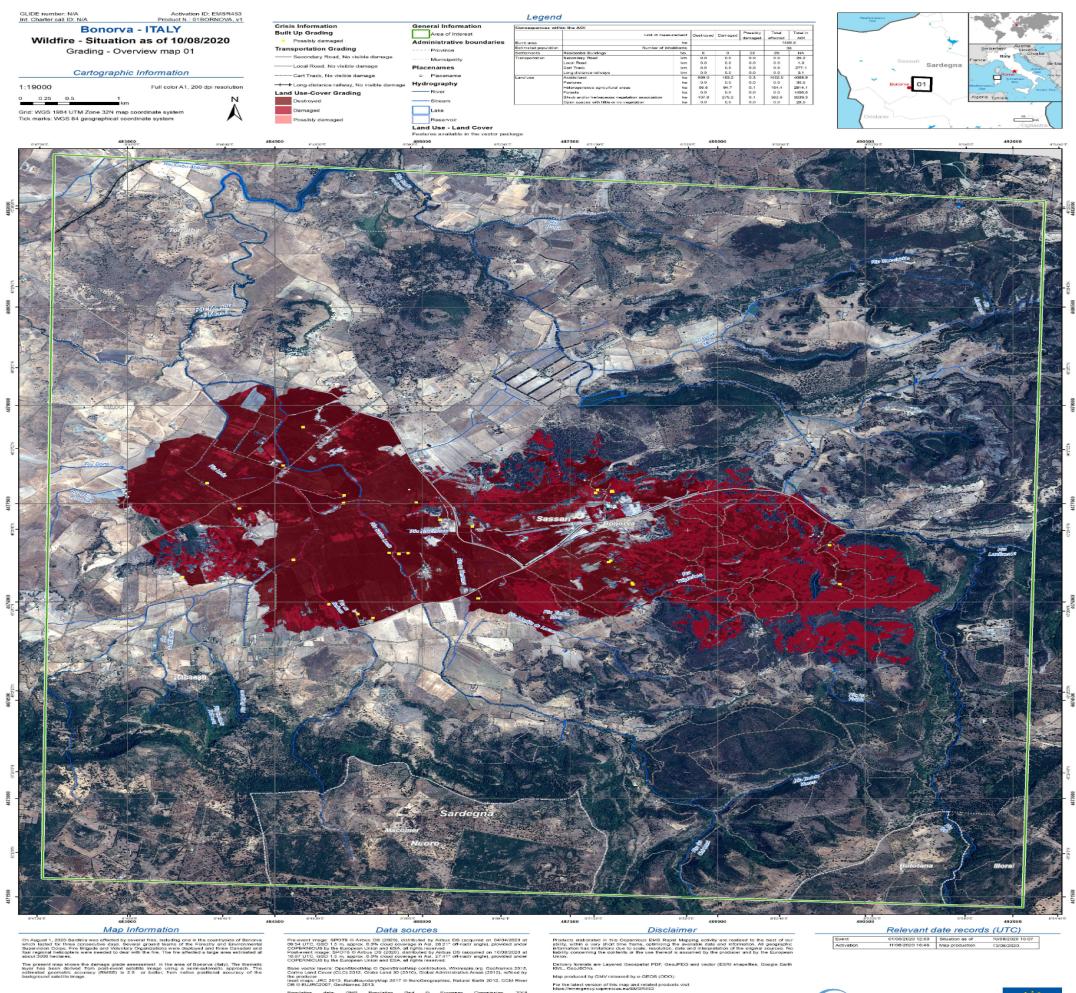
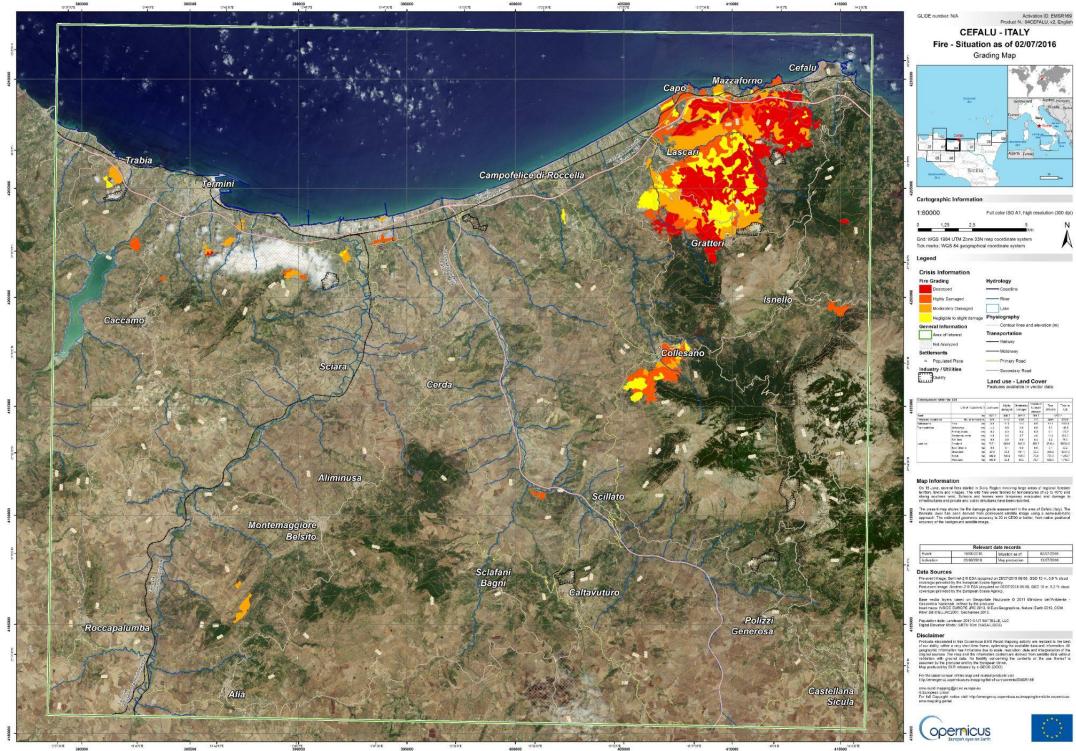
Analisi a microonde per evidenziare cambi

Nel lavoro progettuale si propone di caratterizzare e analizzare la severità di diversi incendi avvenuti nelle zone di Cefalù il 16 giugno 2016, in Piemonte nell'Ottobre del 2017 (nella regione sono avvenuti più incendi ma nella relazione considereremo solo quello avvenuto nella zona di Locana il 10 Ottobre 2017) e a Bonorva il 1 Agosto 2020.

L'analisi è stata effettuata sfruttando i dati SAR e i dati ottici per il calcolo degli indici spettrali che permettono di individuare lo stato della vegetazione prima e dopo l'incendio, verranno analizzati i dati con diverse polarizzazioni ed effettuare varie operazioni di media e filtraggio al fine di ottenere un'analisi dei cambiamenti morfologico-ambientali causati dall'incendio.

I dati relativi alle coordinate delle aree interessate dai fuochi sono stati reperiti dal sito [Emergency Management Service](#), il quale raggruppa le informazioni relative a eventi imprevisti e di emergenza in varie parti del mondo.





Lo strumento utilizzato per l'acquisizione dei dati è *Google Earth Engine* (da ora in avanti riferito attraverso l'acronimo **GEE**), un servizio cloud per l'analisi delle immagini satellitari in formato GRD, ovvero immagini georeferenziate con correzione delle distorsioni topografiche. GEE permette l'utilizzo delle imponenti capacità di calcolo e archiviazione di Google per eseguire l'analisi e la visualizzazione di immagine su scala globale.

Le API messe a disposizione dalla piattaforma sono disponibili sia per **JavaScript** che per **Python**, in modo da offrire la possibilità di effettuare le analisi al maggior numero di utenti a seconda delle loro preferenze.

In aggiunta al servizio offerto da GEE, si è scelto di utilizzare anche il servizio **Google Colab**. Google Colab è una piattaforma gratuita di Google che permette di scrivere ed eseguire codice Python attraverso un browser. Vantaggio notevole di questa soluzione è la possibilità di collaborare in più persone allo stesso documento.

Per eseguire codice, Google Colab sfrutta i cosiddetti *Jupyter Notebook*. Questi non sono altro che documenti interattivi nei quali è possibile scrivere ed eseguire il codice. Tali documenti permettono di suddividere il codice in celle, ognuna delle quali può contenere anche del testo informativo.

```

File Modifica Visualizza Inserisci Runtime Strumenti Guida Tutte le modifiche sono state salvate
+ Codice + Testo
Import the API
[ ] 1 # pip install geemap
2 pip install geetools
3 pip install ipygee
4
5 from ipygee import *
6 import geetools
7 import geemap
8 import math
9 import time
10 import ee
11
12 locana.coords = [
13     [ 7.549054929200038, 45.391063956000039 ],
14     [ 7.549054929200038, 45.456384209000078 ],
15     [ 7.43563984000068, 45.456384209000078 ],
16     [ 7.43563984000068, 45.391063956000039 ],
17     [ 7.549054929200038, 45.391063956000039 ]
18 ]
19 condove_1.coords = [
20     [ 7.405436743000053, 45.106641106600004 ],
21     [ 7.403898570000024, 45.172752674000037 ],
22     [ 7.288232298000025, 45.1710771198000042 ],
23     [ 7.290489332000005, 45.104637303000063 ],
24     [ 7.405436743000053, 45.1066411066000041 ]
25 ]
26
27 casteldelfino.coords = [
28     ...
]

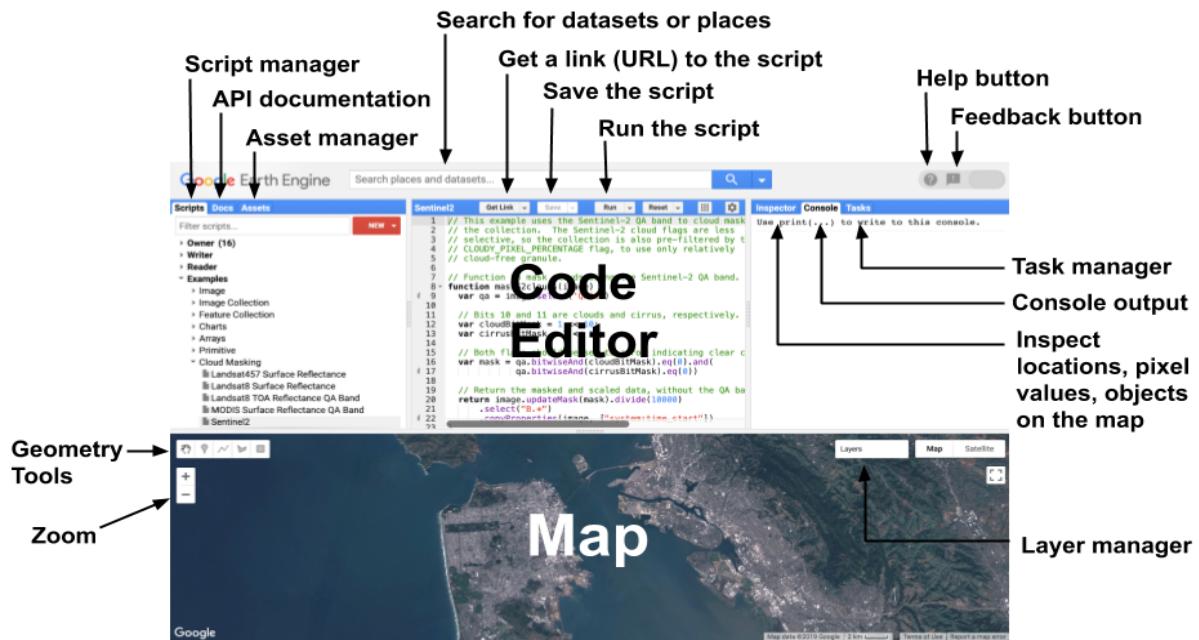
```

GEE consente agli utenti di eseguire algoritmi su immagini georeferenziate e vettori memorizzati sull'infrastruttura di Google.

L'API di GEE fornisce una libreria di funzioni che possono essere applicate alle immagini per la visualizzazione e l'analisi.

L'interfaccia di tale piattaforma contiene un IDE che presenta i seguenti elementi:

- Editor di codice JavaScript;
- Mappa per la visualizzazione di set di dati geospaziali;
- Documentazione di riferimento API (scheda Documenti);
- Gestore di script basato su git (scheda Script);
- Uscita console (scheda Console);
- Task manager (scheda Attività) per gestire query a esecuzione prolungata;
- Query mappa interattiva (scheda Impostazioni);
- Ricerca dell'archivio dati o degli script salvati;
- Strumenti per disegnare geometrie.



Le varie analisi e i vari processamenti sono stati effettuati ricavando i dati dai satelliti evidenziati precedentemente. Per ognuno di questi sono stati sfruttati diversamente i vari dati forniti in modo tale da effettuare differenti analisi.

Analisi e processamento dati satellite Sentinel-1

La missione **Sentinel-1** fornisce dati raccolti da un radar ad apertura sintetica con doppia polarizzazione operante nella banda C (dai 3.75 ai 7.5 GHz di frequenza, con una lunghezza d'onda dai 4 ai 7 cm). Questi sono dati di livello 1 e consistono di acquisizioni SAR che sono state trattate e proiettate al livello del suolo utilizzando un modello ellissoideale del pianeta in modo tale da generare dei prodotti calibrati e orto-corretti. I dati raccolti sono aggiornati con frequenza giornaliera.

Ogni acquisizione ha una risoluzione tra 10, 25 e 40 metri, 4 combinazioni di bande e 3 modalità d'uso dello strumento. Le combinazioni di bande possibili sono a singola banda VV e HH e a doppia banda VV + VH e HH + HV:

1. **VV**: trasmissione con polarizzazione verticale, ricezione con polarizzazione verticale;
2. **HH**: trasmissione con polarizzazione orizzontale, ricezione con polarizzazione orizzontale;
3. **VV + VH**: trasmissione con polarizzazione verticale, ricezione con polarizzazione orizzontale;
4. **HH + HV**: trasmissione con polarizzazione orizzontale, ricezione con polarizzazione verticale.

I dati acquisiti dal satellite Sentinel-1 sono stati filtrati per:

- modalità d'uso dello strumento, impostata come *Interferometric Wide Swath (IW)*;
- polarizzazione dell'onda elettromagnetica in trasmissione e ricezione, impostata come VV o VH;
- per tipologia di orbita, impostata come discendente.

Nel caso di Locana (in Piemonte) per effettuare le varie operazioni di acquisizione dei dati in Python sono state effettuate le seguenti operazioni, ponendo particolare attenzione alla data di inizio e fine degli incendi e all'anno di riferimento:

```

1 map = geemap.Map(location=[coords[0][1], coords[0][0]], zoom_start=13)
2
3 date_prefire = "2016-01-01"
4 date_postfire = "2018-01-01"
5
6 prefire_date_start = '2016-11-01'
7 prefire_date_end = '2016-11-30'
8
9 postfire_date_start = '2017-11-01'
10 postfire_date_end = '2017-11-30'
11
12 aoi = ee.Geometry.Polygon(coords)
13
14 collectionVV_prefire = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') \
15   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) \
16   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV')) \
17   .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) \
18   .filterDate(prefire_date_start, prefire_date_end) \
19   .select(['VV'])
20
21 collectionVH_prefire = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') \
22   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) \
23   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH')) \
24   .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) \
25   .filterDate(prefire_date_start, prefire_date_end) \
26   .select(['VH'])
27
28 collectionVV_postfire = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') \
29   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) \
30   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV')) \
31   .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) \
32   .filterDate(postfire_date_start, postfire_date_end) \
33   .select(['VV'])
34
35 collectionVH_postfire = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') \
36   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) \
37   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH')) \
38   .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) \
39   .filterDate(postfire_date_start, postfire_date_end) \
40   .select(['VH'])
41
42 collectionVV_year_prefire = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') \
43   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) \
44   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV')) \
45   .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) \
46   .filterDate(ee.Date(date_prefire), ee.Date(date_prefire).advance(12, unit="month")) \
47   .select(['VV'])
48
49 collectionVH_year_prefire = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') \
50   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) \
51   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH')) \
52   .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) \
53   .filterDate(ee.Date(date_prefire), ee.Date(date_prefire).advance(12, unit="month")) \
54   .select(['VH'])
55
56 collectionVV_year_postfire = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') \
57   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) \
58   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV')) \
59   .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) \
60   .filterDate(ee.Date(date_postfire), ee.Date(date_postfire).advance(12, unit="month")) \
61   .select(['VV'])
62
63 collectionVH_year_postfire = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') \
64   .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) \
65   .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH')) \
66   .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) \
67   .filterDate(ee.Date(date_postfire), ee.Date(date_postfire).advance(12, unit="month")) \
68   .select(['VH'])

```

Nel caso invece di Cefalù (in Sicilia) e di Bonorva (in Sardegna), per effettuare le varie operazioni di acquisizione dei dati in GEE utilizzando Java Script sono state effettuate le seguenti operazioni:

```

var areal = ee.FeatureCollection(roi);

var sentinel1 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
    .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
    .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))
    .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH'))
    .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
    .filterBounds(areal)

var preFire_collection = sentinel1.filterDate('2016-05-15', '2016-06-15');
var postFire_collection = sentinel1.filterDate('2016-06-19', '2016-07-05');

var beforeVV = preFire_collection.select('VV').mosaic().clip(roi);
var afterVV = postFire_collection.select('VV').mosaic().clip(roi);
var beforeVH = preFire_collection.select('VH').mosaic().clip(roi);
var afterVH = postFire_collection.select('VH').mosaic().clip(roi);

Map.addLayer(beforeVV, {min:-15,max:0}, 'Before fire VV', 0);
Map.addLayer(afterVV, {min:-15,max:0}, 'After fire VV', 0);
Map.addLayer(beforeVH, {min:-25,max:0}, 'Before fire VH', 0);
Map.addLayer(afterVH, {min:-25,max:0}, 'After fire VH', 0);
Map.addLayer(beforeVH.addBands(afterVH).addBands(beforeVH), {min: -25, max: -8},
'BVH/AVV/AVH composite', 0);

```

```

Sardegna - incendio
Get Link Save Run Reset Apps
62 // LOGIC
63 app.operators = function() {
64
65 app.filterCollection = function(collection, instrument, polarisation, orbit, resolution,
66   return ee.ImageCollection(collection)
67     .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', instrument))
68     .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', polarisation))
69     .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', orbit))
70     .filterMetadata('resolution_meters', 'equals', resolution)
71     .filterBounds(aoi)
72     .select([polarisation]);
73 }
74
75 app.updateDate = function() {
76   if(Map.layers().length() === 0){
77     // No Layers in Map.
78     return;
79   }
80   Map.layers().reset();
81   app.foo();
82 }
83
84 app.clearGeometry = function() {
85   var drawingTools = Map.drawingTools();
86   var layers = drawingTools.layers();

```

```

20 var beforeVV = collectionVV.filterDate('2020-07-23', '2020-07-31').mean().clip(roi);
21 var afterVV = collectionVV.filterDate('2020-08-05', '2020-08-12').mean().clip(roi);
22 var beforeVH = collectionVH.filterDate('2020-07-23', '2020-07-31').mean().clip(roi);
23 var afterVH = collectionVH.filterDate('2020-08-05', '2020-08-12').mean().clip(roi);
24
25 Map.centerObject(roi, 11);
26 Map.addLayer(beforeVV, {min: -15, max: 0}, 'Before fire VV');
27 Map.addLayer(afterVV, {min: -15, max: 0}, 'After fire VV');
28 Map.addLayer(beforeVH, {min: -15, max: 0}, 'Before fire VH');
29 Map.addLayer(afterVH, {min: -15, max: 0}, 'After fire VH');
30
31 Map.addLayer(beforeVH.addBands(afterVH).addBands(beforeVH), {min: -25, max: -8}, 'Composite');
32

```

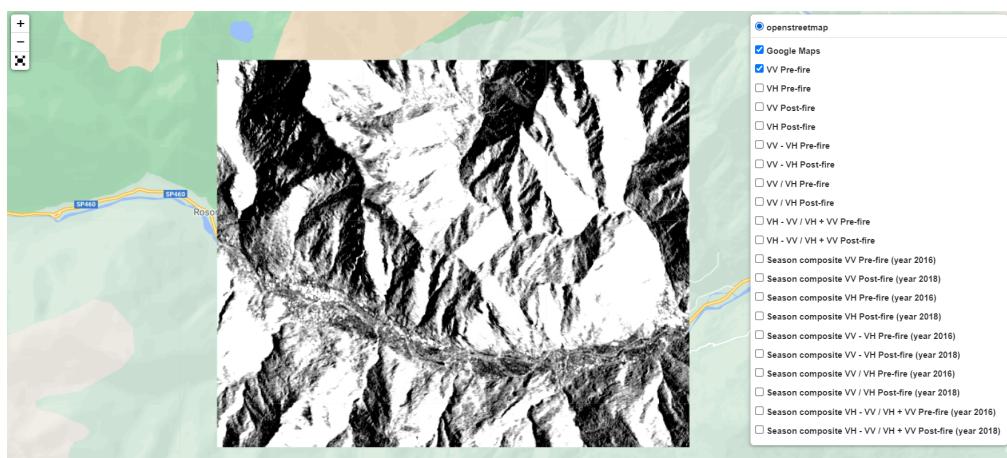
Media mensile

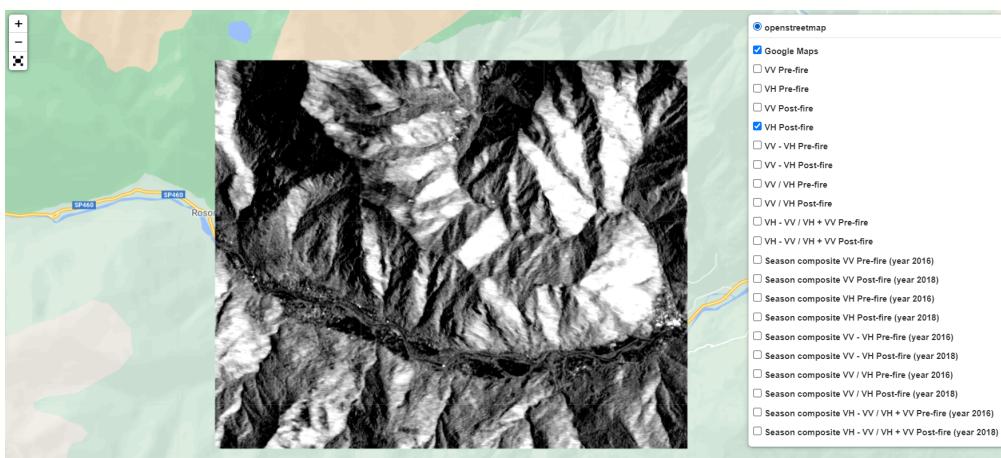
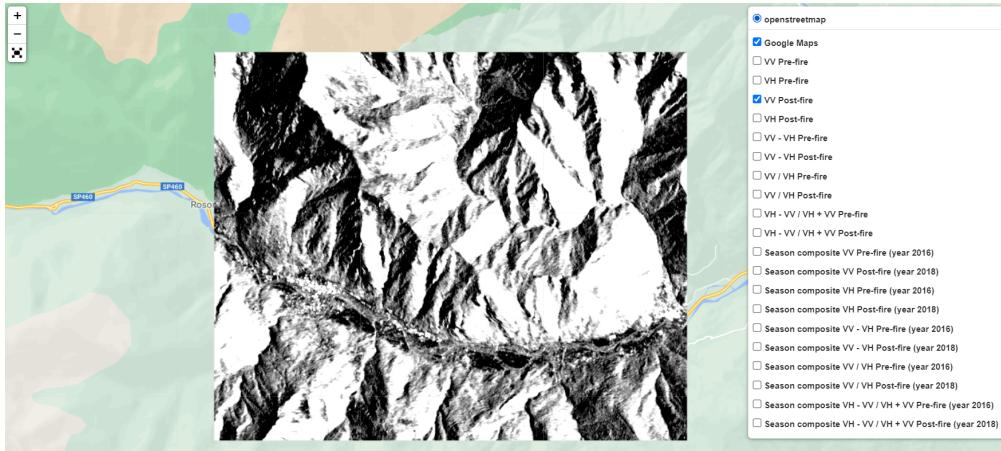
In riferimento alle immagini campionate negli intervalli temporali mensili pre-incendio e post-incendio, la visualizzazione è stata realizzata facendo una media mensile sulle collezioni. Il codice Python per effettuare le elaborazioni della zona di Locana è il seguente:

```

70 VV_prefire = ee.Image(collectionVV_prefire.mean()).clip(aoi)
71 map.add_layer(VV_prefire, {'min': -14, 'max': -7}, 'VV Pre-fire')
72
73 VH_prefire = ee.Image(collectionVH_prefire.mean()).clip(aoi)
74 map.add_layer(VH_prefire, {'min': -20, 'max': -7}, 'VH Pre-fire')
75
76 VV_postfire = ee.Image(collectionVV_postfire.mean()).clip(aoi)
77 map.add_layer(VV_postfire, {'min': -14, 'max': -7}, 'VV Post-fire')
78
79 VH_postfire = ee.Image(collectionVH_postfire.mean()).clip(aoi)
80 map.add_layer(VH_postfire, {'min': -20, 'max': -7}, 'VH Post-fire')

```

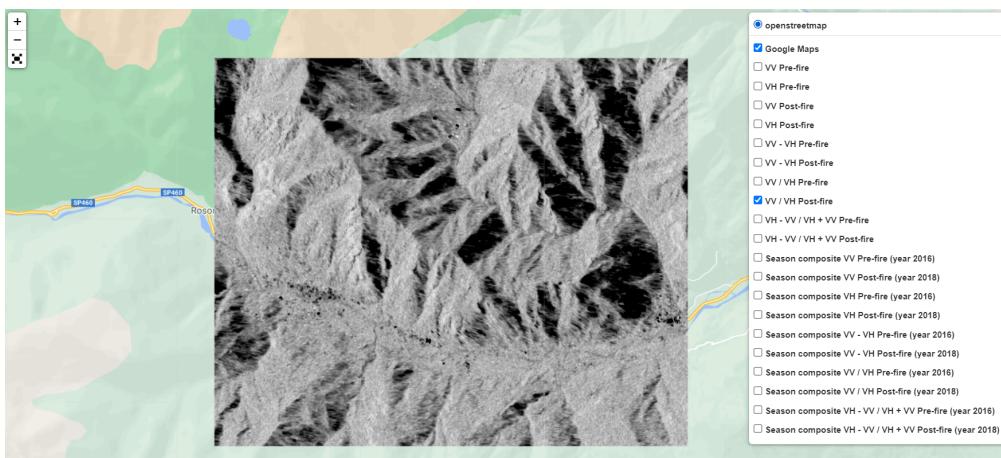
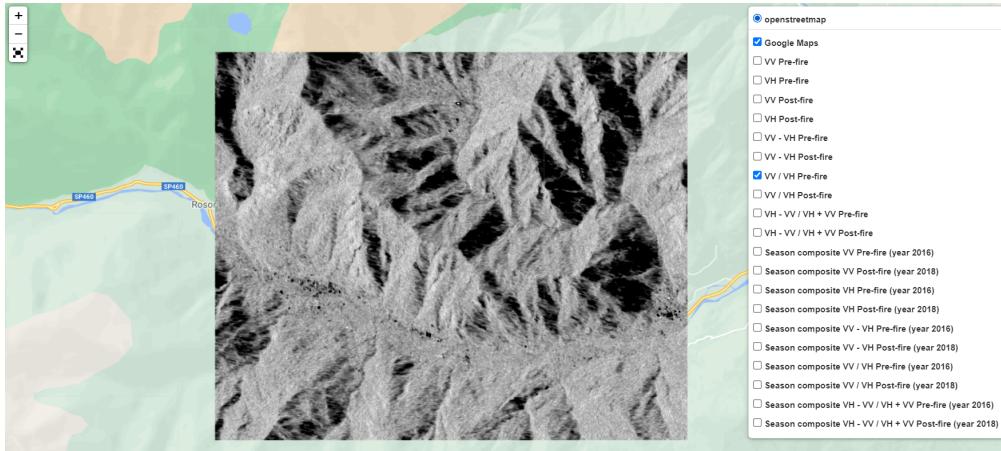




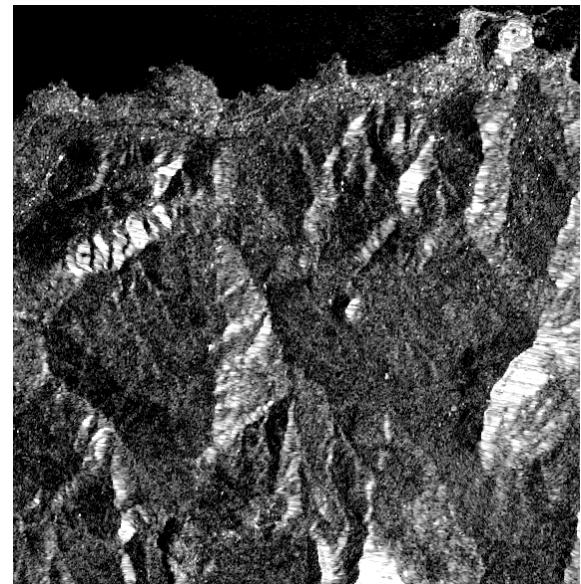
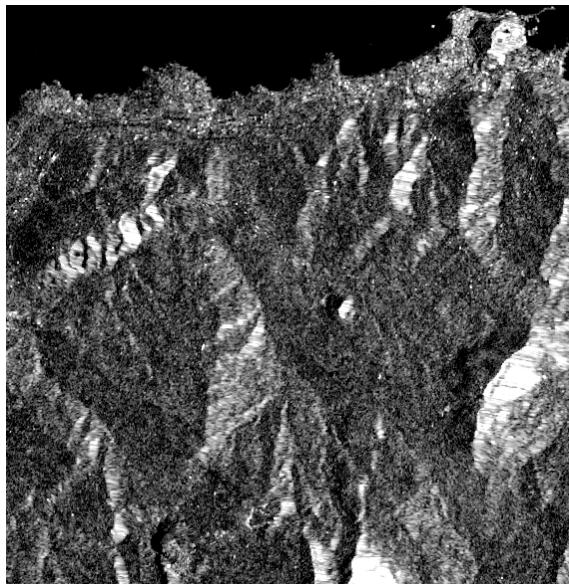
```

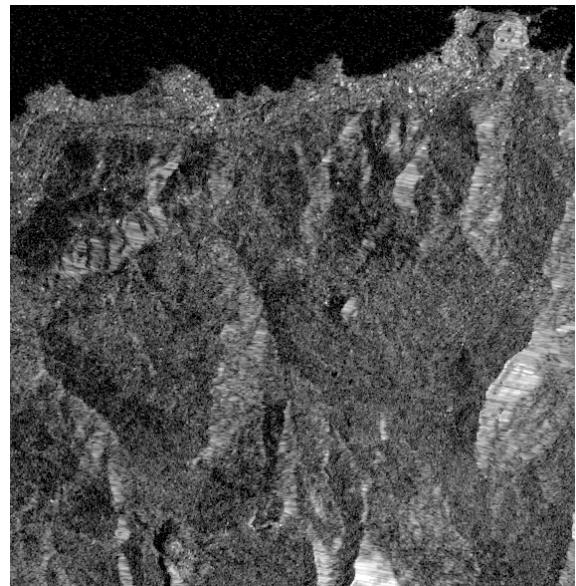
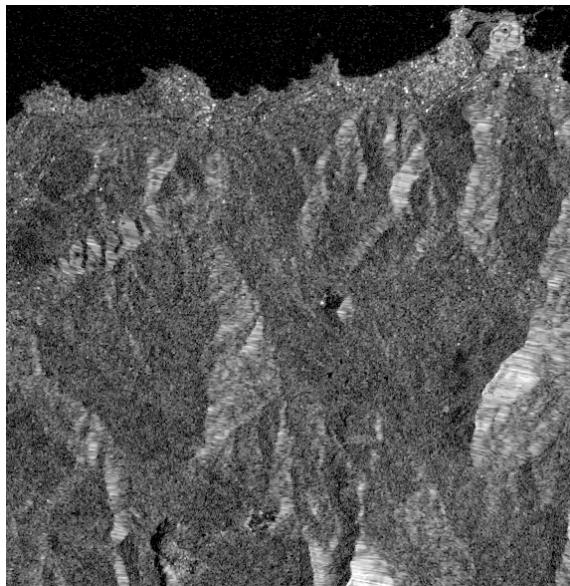
88 VV_over_VH_prefire = VV_prefire.divide(VH_prefire)
89 map.add_layer(VV_over_VH_prefire, {'min': 0, 'max': 1}, 'VV / VH Pre-fire')
90
91 VV_over_VH_postfire = VV_postfire.divide(VH_postfire)
92 map.add_layer(VV_over_VH_postfire, {'min': 0, 'max': 1}, 'VV / VH Post-fire')

```



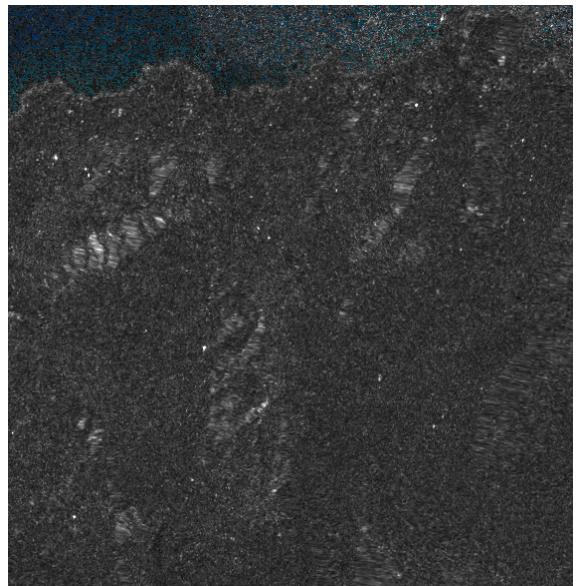
I risultati relativi alle zone di Cefalù e Bonorva sono i seguenti:

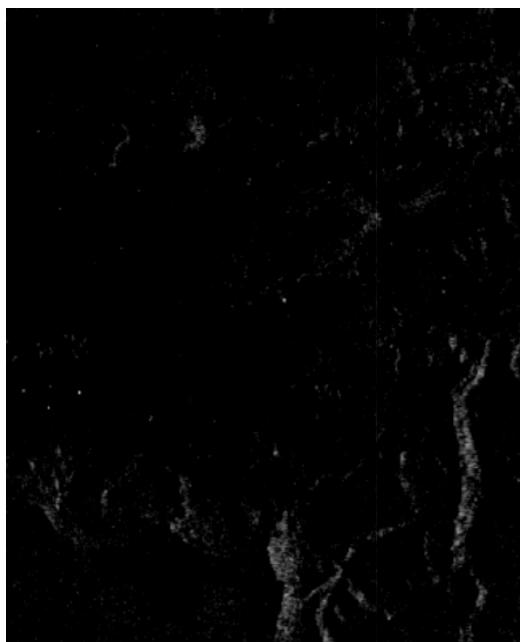
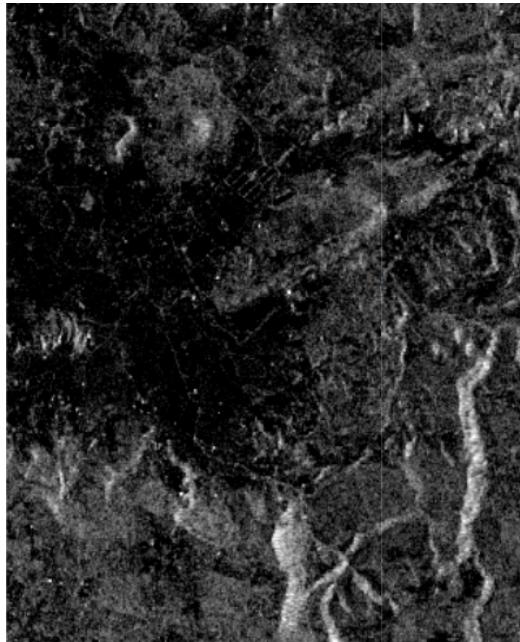




```
var preFire = preFire_collection.map(conversioneLineare).reduce(ee.Reducer.mean())
.rename(['VV','VH','VV/VH']).clip(roi);
var postFire = postFire_collection.map(conversioneLineare).reduce(ee.Reducer.mean())
.rename(['VV','VH','VV/VH']).clip(roi);

Map.addLayer(preFire, {bands:'VV/VH', min: 0, max: 10}, 'Before VV/VH');
Map.addLayer(postFire, {bands:'VV/VH',min:0, max:10}, 'After VV/VH');
```



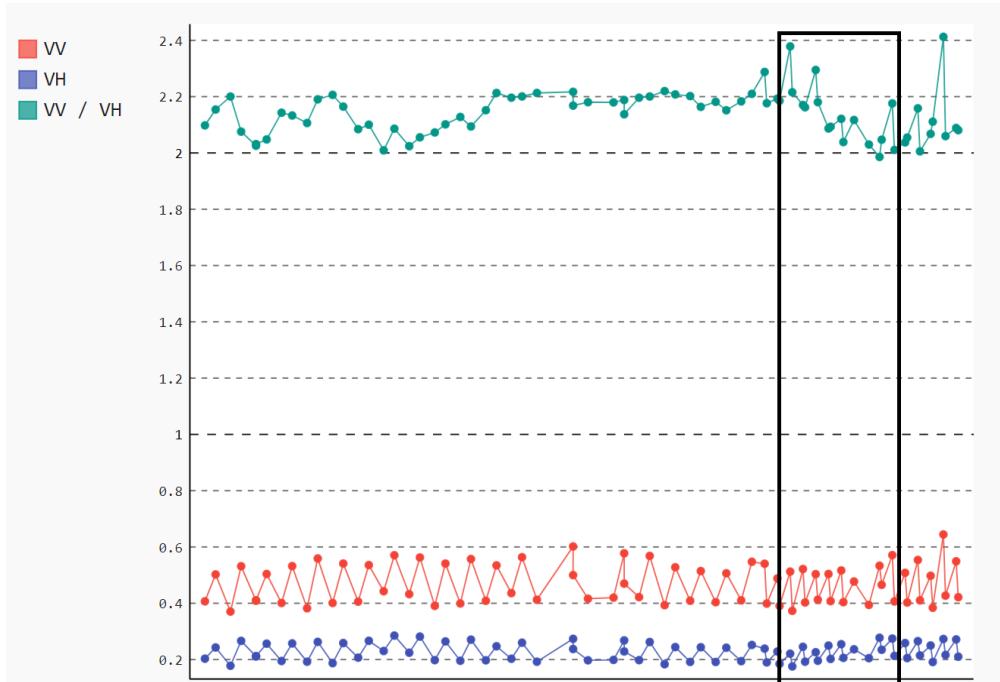


Analisi di serie temporali

Un riscontro più analitico dei cambiamenti avvenuti nelle zone interessate dai fuochi è dato dall'andamento temporale delle polarizzazioni VV, VH e VV / VH. Nel caso della zona di Locana sono illustrati due grafici: il primo rappresenta l'andamento temporale nel periodo che va dalla data 01/01/2016 alla data 31/12/2016, corrispondente all'anno dell'incendio; il secondo rappresenta l'andamento temporale nel periodo che va dalla data 01/01/2017 alla data 31/12/2017, corrispondente all'anno dopo l'incendio. Gli archi temporali di interesse sono annuali e l'obiettivo è

quello di individuare dei cambiamenti nelle polarizzazioni nelle date degli incendi. Nel dettaglio, ci aspettiamo che le polarizzazioni abbiano un picco minimo nel mese di Ottobre, evidenziato in nero nel grafico.

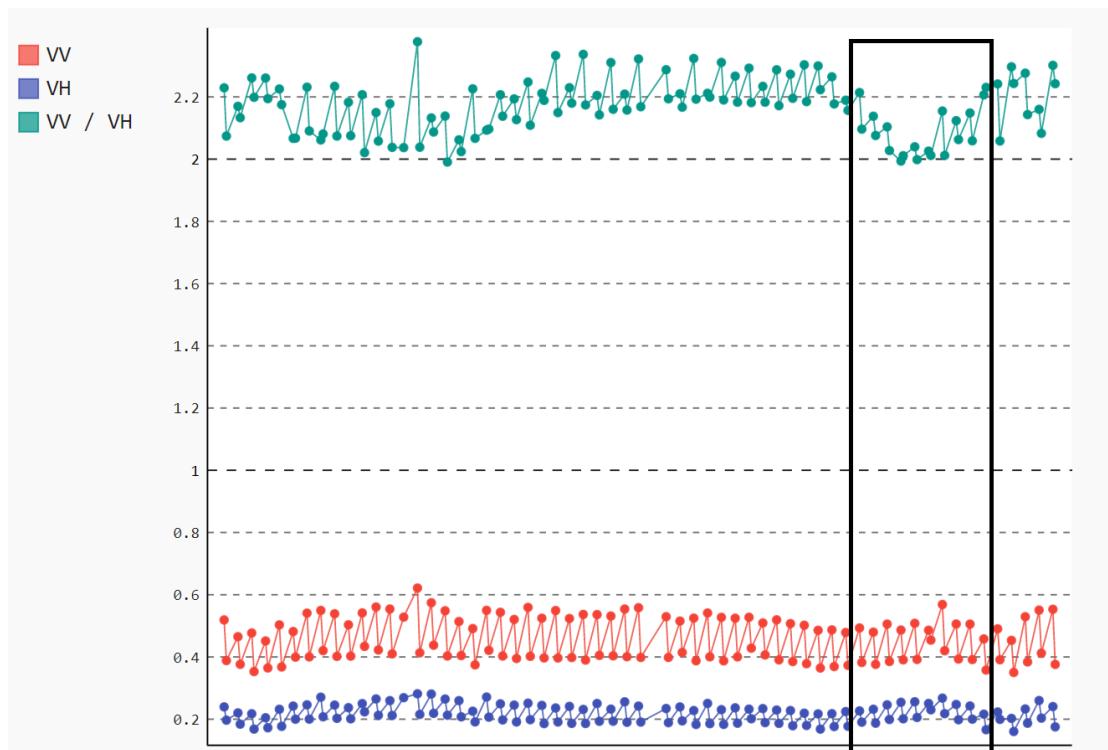
```
19 collection_prefire = collection_prefire.map(db2nat)
20
21 chart_prefire = chart.Image.series(**{
22     'imageCollection': collection_prefire,
23     'region': aoi,
24     'scale': 10,
25     'bands': ['VV', 'VH', 'VV / VH'],
26     'label_bands': ['VV', 'VH', 'VV / VH']
27 })
28
29 chart_prefire.renderWidget(width='50%')
```



```

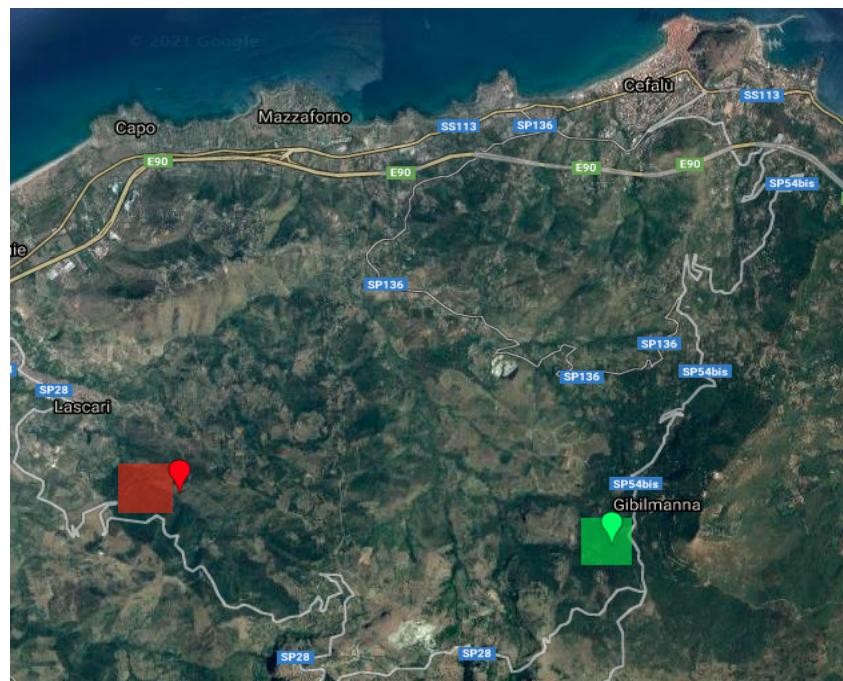
9 collection_postfire = collection_postfire.map(db2nat)
10
11 chart_postfire = chart.Image.series(**{
12     'imageCollection': collection_postfire,
13     'region': aoi,
14     'scale': 10,
15     'bands': ['VV', 'VH', 'VV / VH'],
16     'label_bands': ['VV', 'VH', 'VV / VH']
17 })
18
19 chart_postfire.renderWidget(width='50%')

```

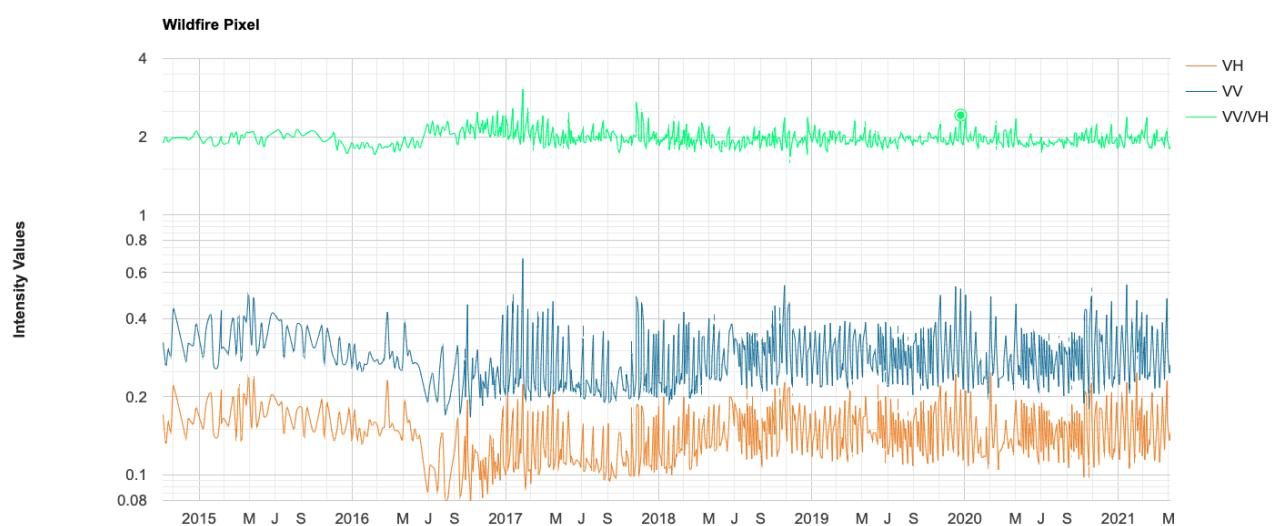


Per individuare la severità dell'incendio nella zona di Cefalù, sono state inseriti le seguenti **Region Of Interest**:

- Bruciato (pin e area in rosso);
- Non bruciato (pin e area in verde).



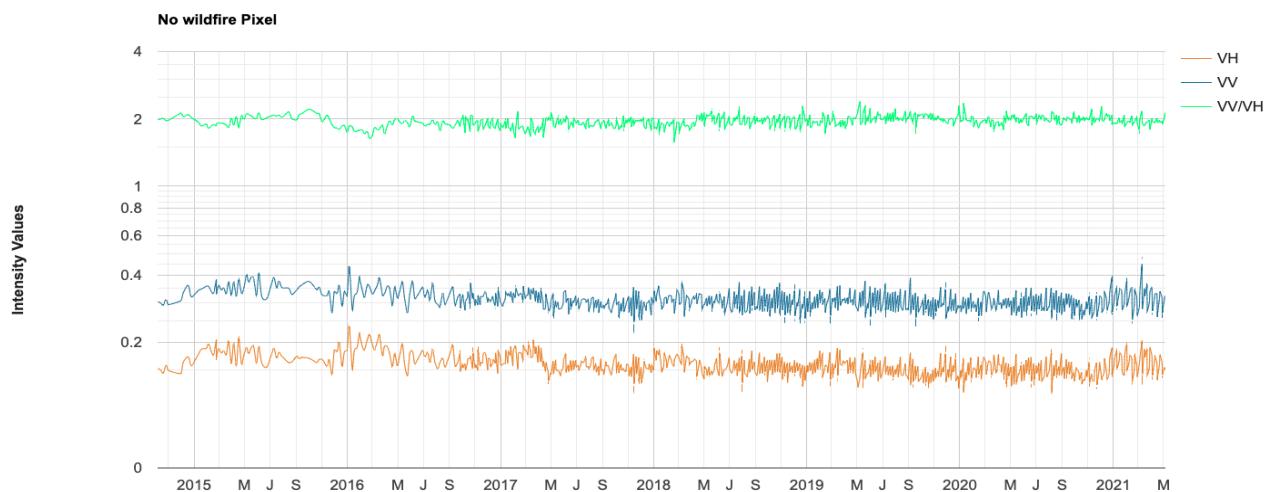
Attraverso l'introduzione di pins è stato possibile rappresentare graficamente l'andamento delle varie **ROI** nel tempo.

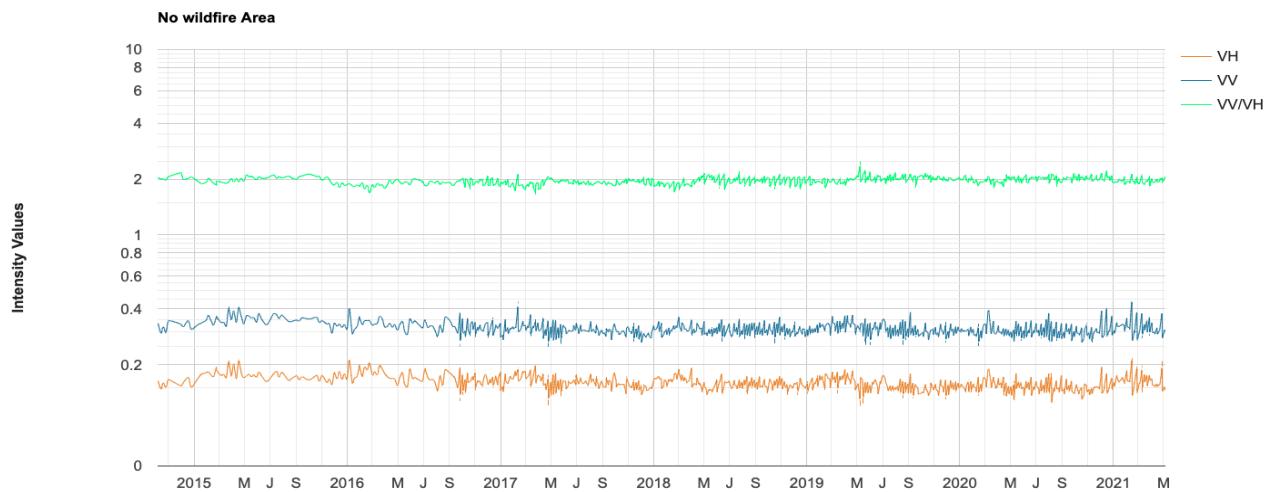




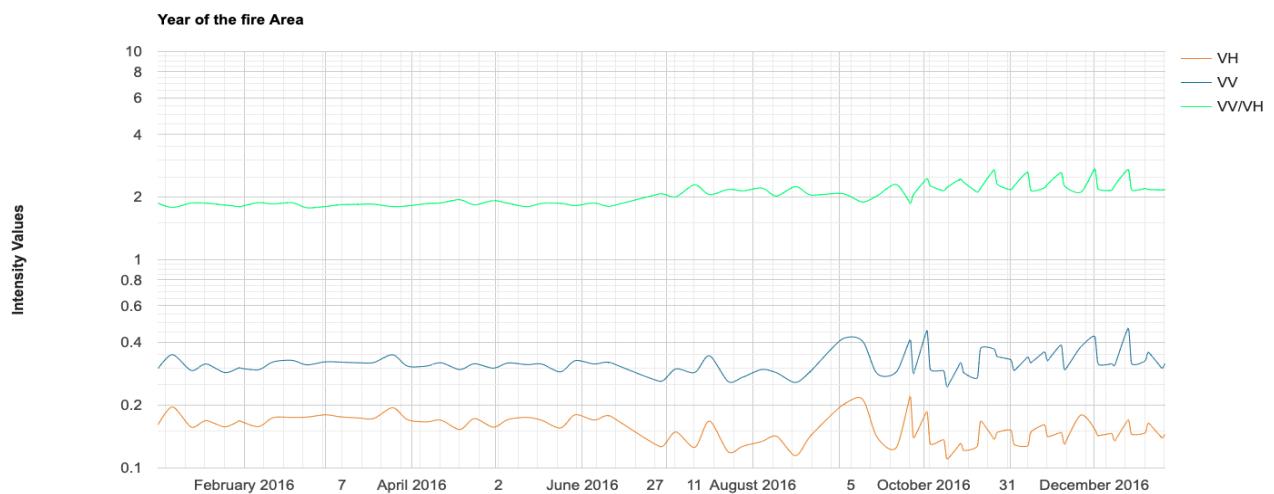
Dai grafici si può notare come gli andamenti delle curve nelle zone incendiate presentano una discontinuità tra il giugno del 2016 e il settembre dello stesso anno in cui si ha una notevole differenza di backscattering.

Osservando la curva del rapporto VV / VH, ad incendio concluso si può notare che la vegetazione ha subito ulteriori eventi. In particolare si noti una periodicità nella curva nel corso degli anni, probabilmente dovuta alla presenza di umidità.



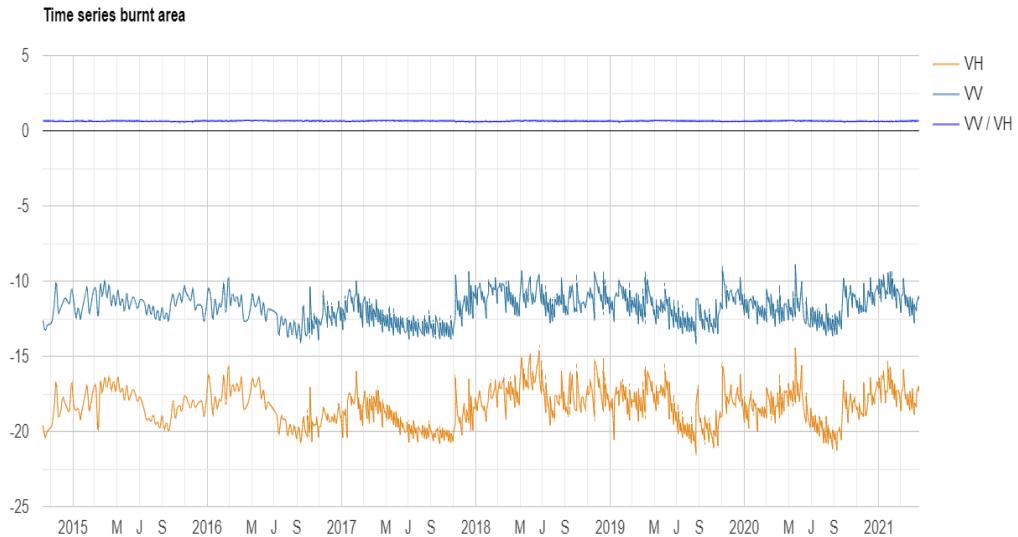


Da questi grafici si può notare come gli andamenti delle curve nelle zone non incendiate risultino essere lineari, indice del fatto che in queste zone non ci sono stati eventi di rilievo.



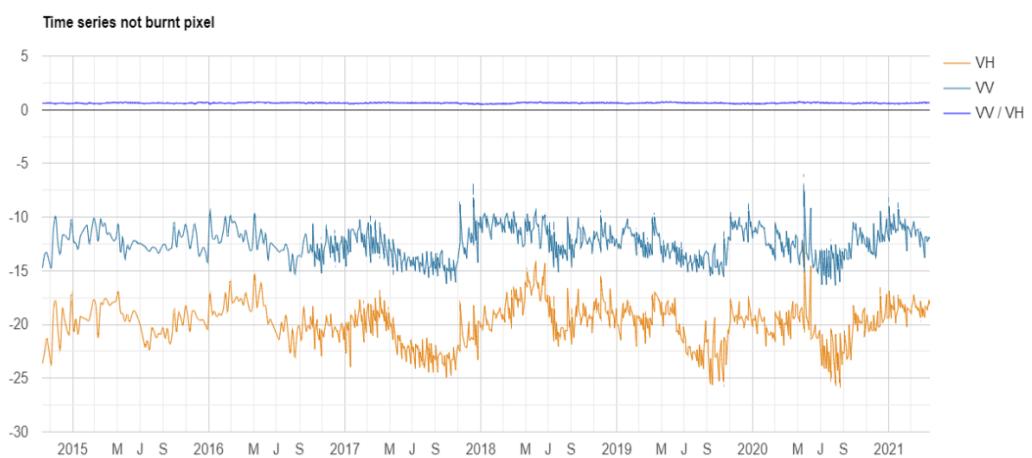
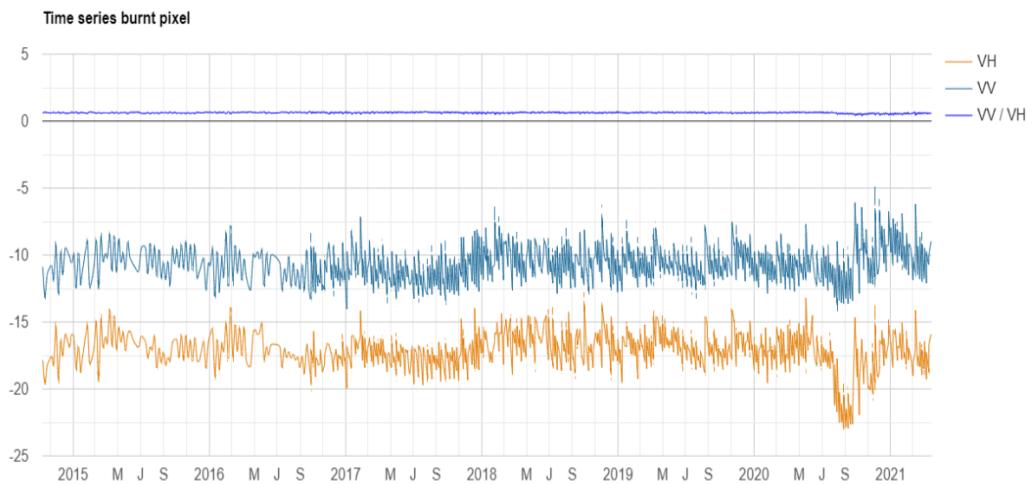
Infine si è rappresentato graficamente l'andamento dell'area incendiata per il solo anno 2016, in questo grafico si può notare una discontinuità nell'estate di quell'anno (giugno - settembre), periodo nel quale è avvenuto l'incendio.

Per quanto riguarda la zona di Bonorva è stato realizzato un grafico per l'intera area di interesse, in modo da avere una visione generale dei cambiamenti a partire dal 2015.



Si può notare che, in questo caso, le polarizzazioni VV e VH hanno mediamente un andamento molto simile, con alti e bassi dovuti ai cambi stagionali e a fenomeni come incendi o anche banalmente eventi atmosferici. L'andamento molto simile fa sì che il rapporto delle due polarizzazioni tenda ad assumere valori molto piccoli e quindi un andamento grafico costante. Si può chiaramente osservare come nell'estate 2020 e in concomitanza con l'incendio di interesse, entrambe le polarizzazioni assumono valori molto bassi.

Sono stati poi realizzati un grafico per un pixel individuato nell'area interessata dall'incendio e uno per un pixel in un'area non coinvolta, ma comunque abbastanza vicina, in modo da poter supporre di avere un paesaggio simile dal punto di vista morfologico e della vegetazione.



Nel grafico che rappresenta il pixel interessato dall'incendio, possiamo vedere come, nel periodo relativo all'estate del 2020, la polarizzazione VH subisce un brusco cambiamento, assumendo valori molto negativi, rispetto agli anni precedenti, mentre il pixel relativo alla zona non interessata, risulta abbastanza in linea con l'andamento degli altri anni.

Analisi e processamento dati satellite Sentinel-2

Sentinel-2 è una missione di imaging multispettrale ad alta risoluzione e ad ampio raggio che supporta gli studi di monitoraggio del territorio di Copernicus, compreso il monitoraggio della vegetazione, del suolo e della copertura idrica, nonché l'osservazione dei corsi d'acqua interni e delle aree costiere.

Le bande di rilevamento del satellite più rilevanti e utili ai fini dei nostri studi sono:

- **banda B2**, contenente le informazioni spettrali sul colore blu;
- **banda B3**, contenente le informazioni spettrali sul colore verde;
- **banda B4**, contenente le informazioni spettrali sul colore rosso;
- **banda B8**, contenente le informazioni spettrali sulle onde operanti nel vicino infrarosso (*NIR*);
- **banda B12**, contenente le informazioni spettrali sulle onde corte operanti nell'infrarosso (*SWIR* 2, lunghezza d'onda 2.11 - 2.29 μm).

Indici NBR e dNBR

L'indice **NBR** (*Normalized Burned Ratio*) è un indice che permette di evidenziare le aree sottoposte a incendi. E' possibile calcolare l'indice NBR utilizzando due informazioni: la prima relativa alle onde del vicino infrarosso (NIR), la seconda relativa alle onde corte dell'infrarosso. Nel dettaglio, l'indice è calcolabile attraverso la formula:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} .$$

La vegetazione rigogliosa mostra un alto livello di riflettanza al livello del vicino infrarosso e una bassa riflettanza al livello delle onde corte dell'infrarosso. Viceversa, aree recentemente soggette a incendi mostrano un basso livello di riflettanza al livello del vicino infrarosso e un alta riflettanza al livello delle onde corte dell'infrarosso. Si può concludere che la differenza tra le risposte spettrali in un'area contenente della vegetazione rigogliosa raggiunge il suo picco nelle regioni NIR e SWIR dello spettro.

Per trarre vantaggio dalla differenza spettrale, l'indice NBR utilizza il rapporto tra le bande NIR e SWIR. Un alto valore dell'indice NBR indica una vegetazione rigogliosa e in salute, mentre un basso valore indica che al livello del suolo la vegetazione è stata recentemente soggetta a incendi. Alle zone di vegetazione non interessate da incendi viene normalmente attribuito un valore NBR pari a zero.

Ai fini operativi, siamo interessati al calcolo dell'indice **dNBR** (*delta Normalized Burned Ratio*), che rappresenta la differenza normalizzata tra due indici NBR

calcolati in due periodi temporali differenti. Al fine di rappresentare l'indice dNBR attraverso dei colori che ne evidenziassero la severità, è stata utilizzata come riferimento la tabella proposta dalla *United States Geological Survey (USGS)* presentata nel seguito.

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10^3)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Per elaborare i dati ottici, la prima operazione da effettuare è eliminare la copertura nuvolosa; questo viene fatto attraverso un algoritmo di cloud-mask.

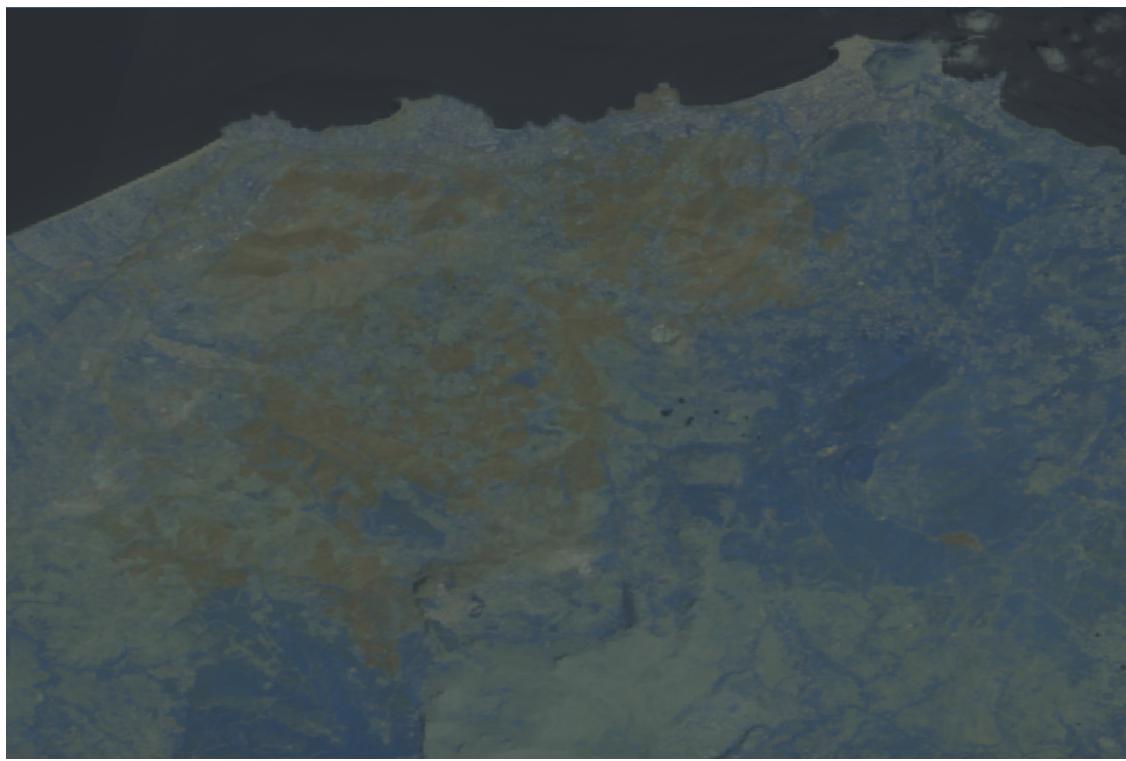
In Python questa operazione viene fatta attraverso la funzione “`geetools.cloud_mask.sentinel2()`”.

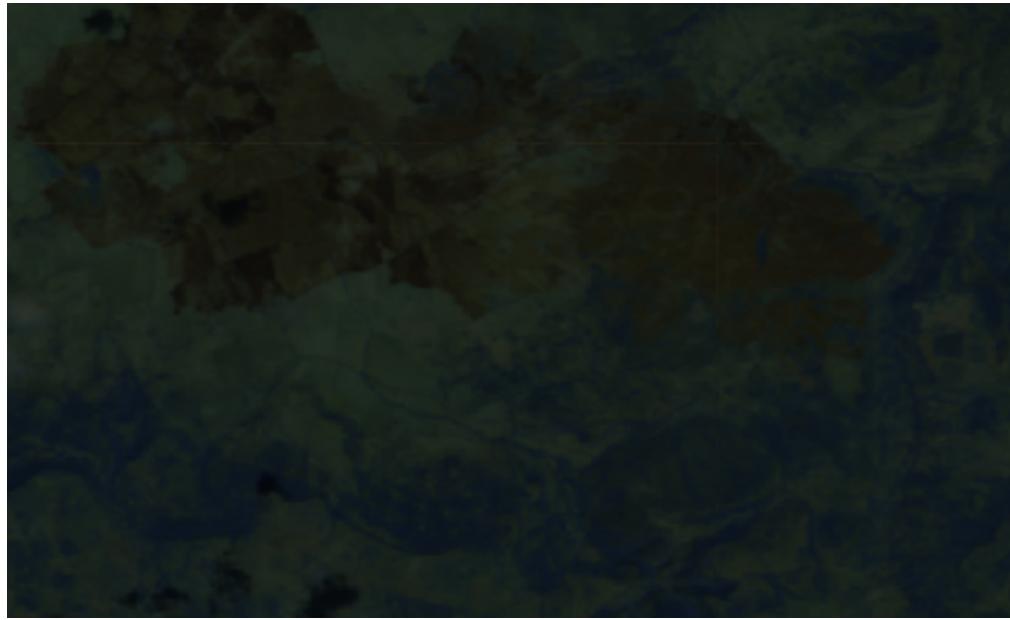
```
27 fcclouds = geetools.cloud_mask.sentinel2()
28 masked_pofire_ic = prefire_ic.map(fcclouds)
29 masked_postfire_ic = postfire_ic.map(fcclouds)
```

In Java Script viene utilizzato il seguente codice:

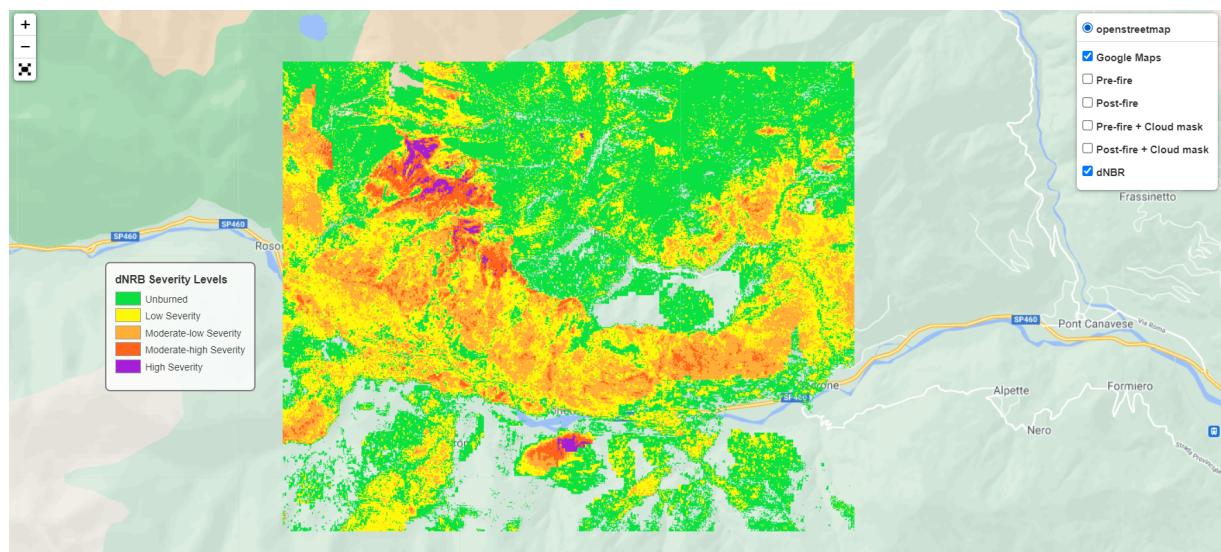
```
function maskS2sr(image) {
  var cloudBitMask = ee.Number(2).pow(10).int();
  var cirrusBitMask = ee.Number(2).pow(11).int();
  var qa = image.select('QA60');
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).
    and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).copyProperties(image, ["system:time_start"]);
}
```

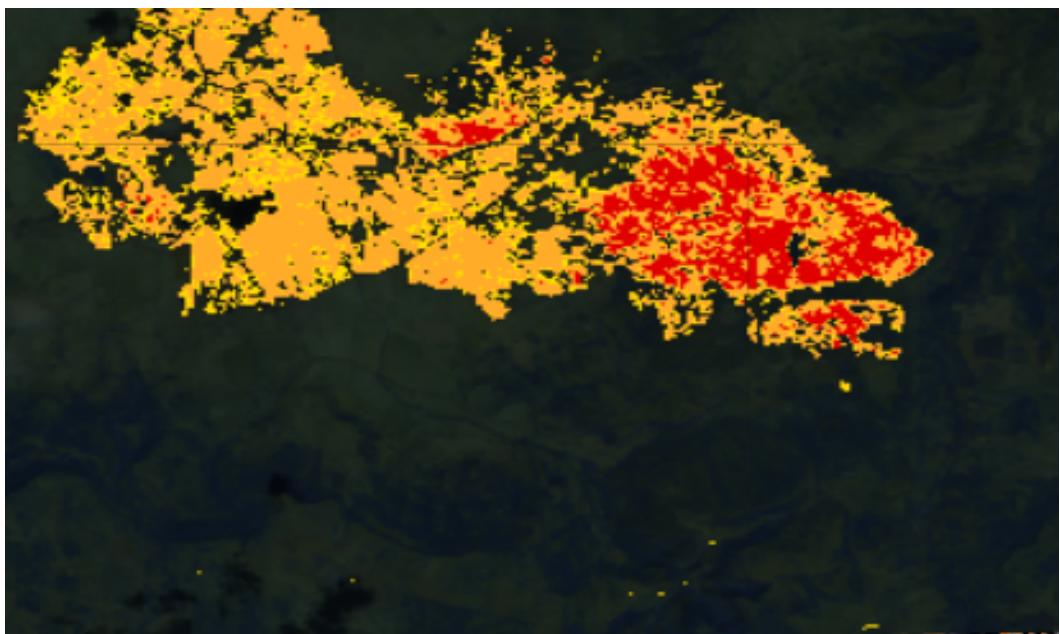
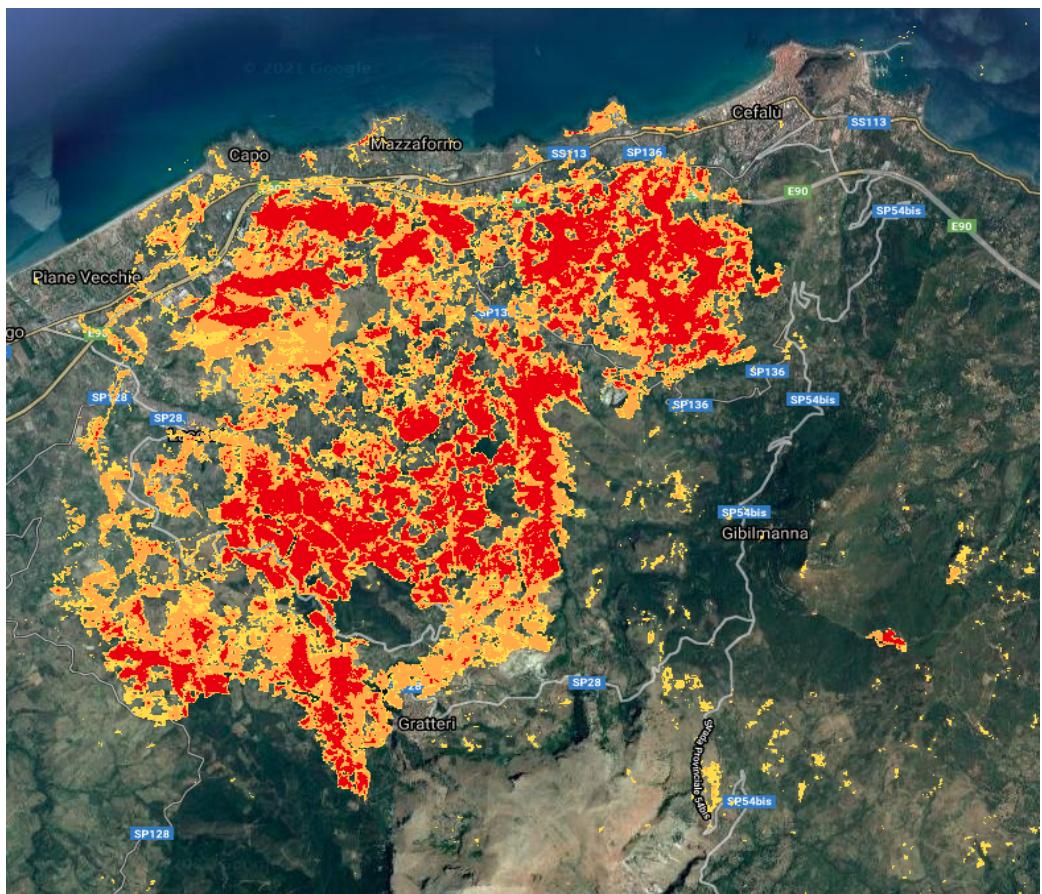
Di seguito vengono mostrate le immagini post-incendio pulite da questa funzione:





Per il calcolo dell'indice NBR e conseguentemente dell'indice dNBR sono state utilizzate le bande B8 e B12 che corrispondono al NIR e allo SWIR 2.





NDVI

L'indice **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*) è un indicatore che può essere utilizzato per valutare la presenza di attività fotosintetica. Tale indice mette in relazione lo spettro del rosso, in cui c'è assorbimento da parte della clorofilla, e lo spettro del vicino infrarosso, in cui le foglie riflettono la luce per evitare il troppo riscaldamento.

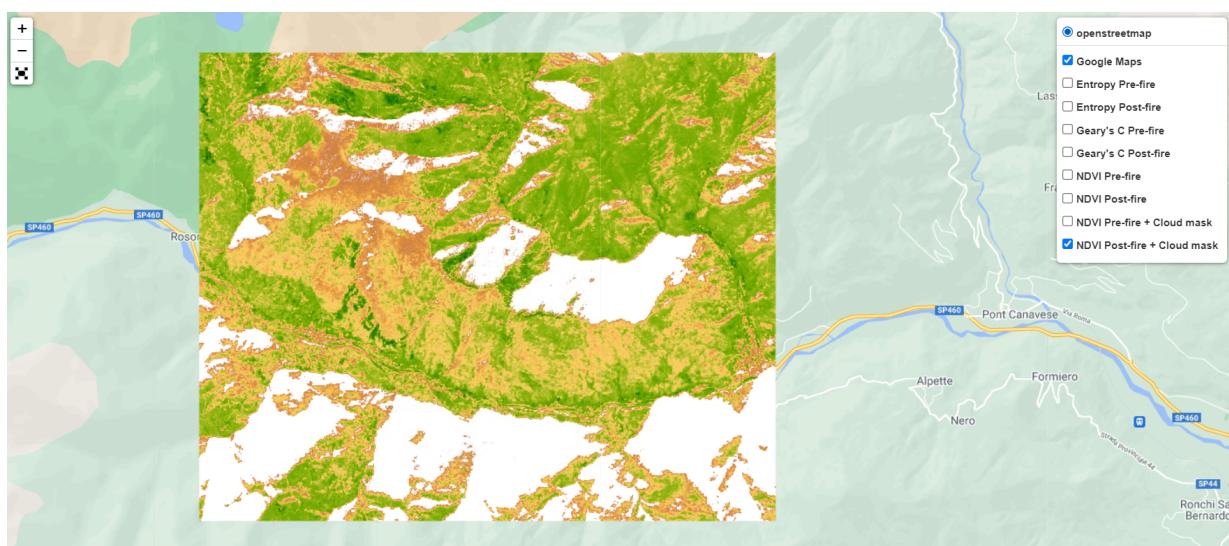
Tale indice può assumere valori compresi nell'intervallo -1 e 1. Valori dell'indice NDVI superiori a 0,2 sono indicatori della presenza di vegetazione nella zona di interesse.

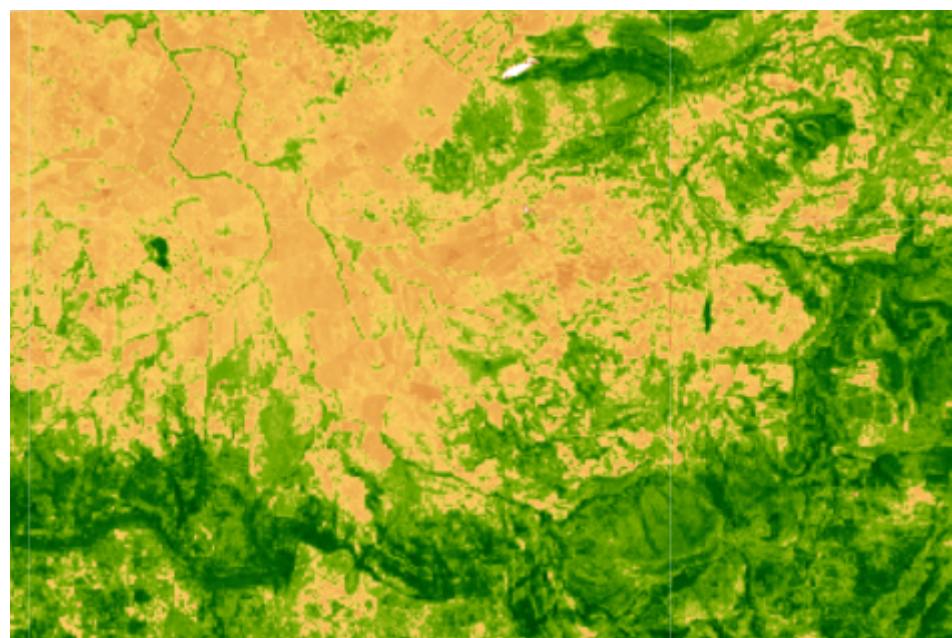
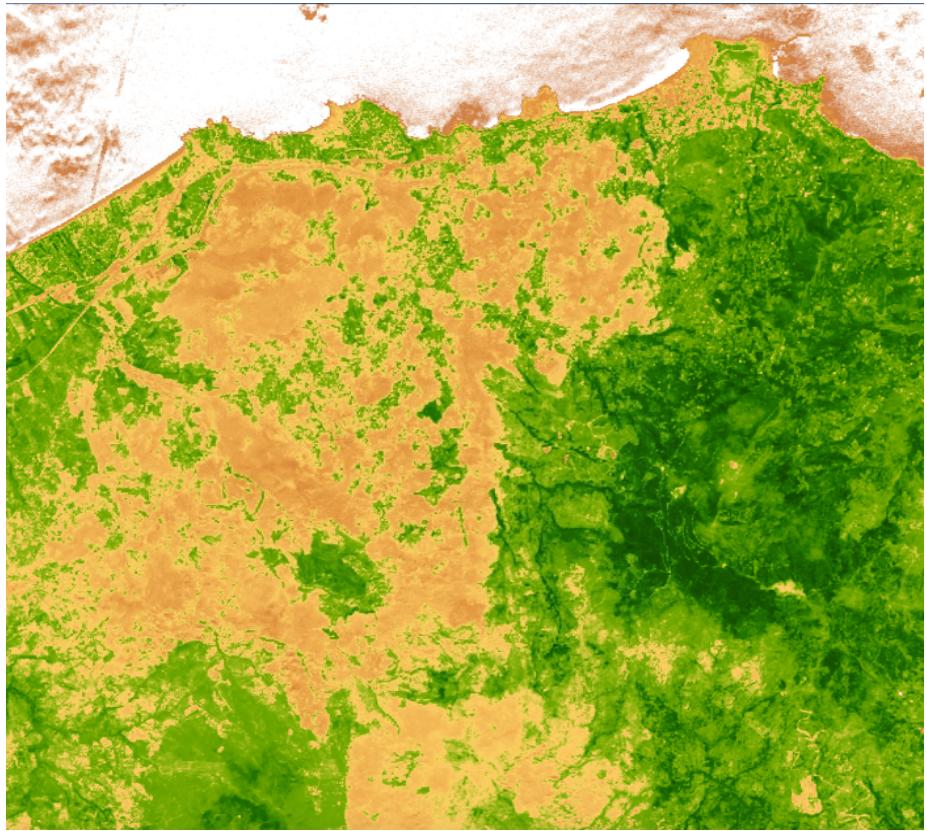
Formalmente, l'indice NDVI è calcolato come rapporto della differenza tra lo spettro del vicino infrarosso e lo spettro del rosso e la somma tra lo spettro del vicino infrarosso e lo spettro del rosso.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} .$$

Per il calcolo dell'indice NDVI sono state utilizzate le bande B8 e B4 che corrispondono al NIR e alle informazioni spettrali sul colore rosso.

Le immagini proposte fanno riferimento al calcolo dell'indice NDVI con l'applicazione della cloud-mask, dove è stata applicata un'apposita palette di colori per evidenziare le zone dove la vegetazione è rigogliosa (le zone verdi) e le zone colpite dall'incendio (le zone arancione scuro).





Analisi e processamento dati satellite Landsat

Landsat è una costellazione di satelliti per il telerilevamento che osservano la Terra: i dati da loro collezionati sono usati da oltre 30 anni per studiare l'ambiente, le risorse, e i cambiamenti naturali e artificiali avvenuti sulla superficie terrestre.

Nel dettaglio, le immagini studiate fanno riferimento ad acquisizioni del satellite Landsat.

Le bande di rilevamento del satellite più rilevanti e utili ai fini dei nostri studi sono:

- **banda B2**, contenente le informazioni spettrali sul colore blu;
- **banda B3**, contenente le informazioni spettrali sul colore verde;
- **banda B4**, contenente le informazioni spettrali sul colore rosso;
- **banda B5**, contenente le informazioni spettrali sulle onde operanti nel vicino infrarosso (*NIR*);
- **banda B6**, contenente le informazioni spettrali sulle onde corte operanti nell'infrarosso (*SWIR* 1, lunghezza d'onda 1.57 - 1.65 µm);
- **banda B7**, contenente le informazioni spettrali sulle onde corte operanti nell'infrarosso (*SWIR* 2, lunghezza d'onda 2.11 - 2.29 µm);
- **banda B10**, contenente informazioni spettrali sulle onde termiche operanti nell'infrarosso (lunghezza d'onda 10.60 - 11.19 µm);
- **banda B11**, contenente informazioni spettrali sulle onde termiche operanti nell'infrarosso (lunghezza d'onda 11.50 - 12.51 µm).

Classificazione

La **classificazione** è un problema che consiste nell'identificare a quale categoria appartiene un elemento in input sulla base della creazione di un modello di classificazione ottenuto in *apprendimento automatico* istruendo la macchina tramite l'apprendimento supervisionato, che utilizza un dataset di training contenente degli esempi classificati correttamente. Tuttavia, la classificazione può comunque essere realizzata anche tramite tecniche di *apprendimento non supervisionate*, senza etichette. Nel seguito verranno trattate le modalità di utilizzo di entrambe le tecniche di classificazione ai fini dell'analisi relativa agli incendi.

Classificazione supervisionata

In un problema di **classificazione supervisionata** l'obiettivo è quello di determinare un confine di decisione a partire da un insieme di dati di addestramento forniti con delle label, etichette che ne identificano la classe di appartenenza.

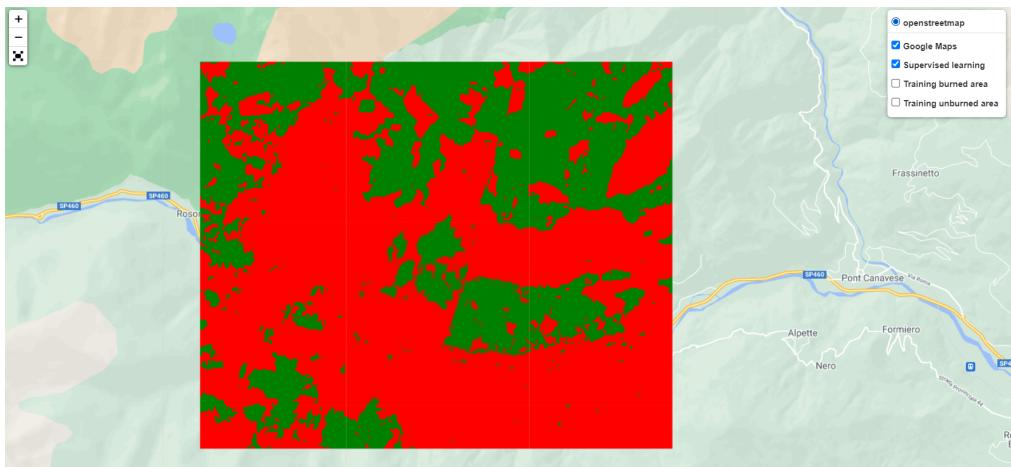
Attraverso le immagini acquisite dal satellite Landsat è stato possibile addestrare un algoritmo di apprendimento supervisionato in grado di classificare le zone interessate dagli incendi.

Il dataset che ha permesso l'addestramento è stato costruito come un insieme di geometrie rettangolari rappresentanti le zone di vegetazione bruciata e le zone di vegetazione non bruciata. L'algoritmo utilizzato per effettuare la classificazione è l'algoritmo **SVM** (*Support Vector Machine*), particolarmente efficace nella costruzione di confini di decisione ad ampio margine (i.e., resilienti ai falsi positivi o falsi negativi).

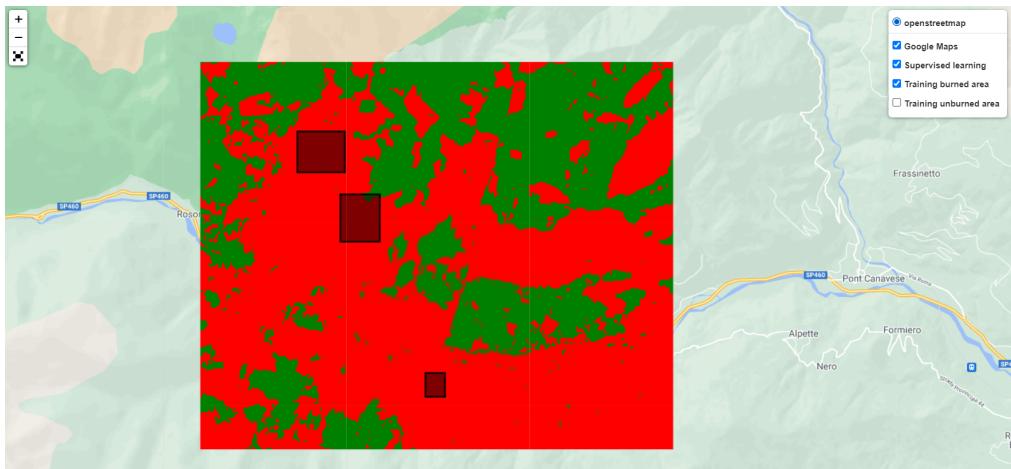
In codice Python tale operazione va effettuata evidenziando zone non colpite dall'incendio e zone colpite dall'incendio per addestrare l'algoritmo di classificazione. Fatto questo si procede ad assegnare le label per l'identificazione da fornire come training all'algoritmo. Le bande utilizzate per l'algoritmo di classificazione sono le B2, B3, B4, B5, B6, B7, B10 e B11.

```

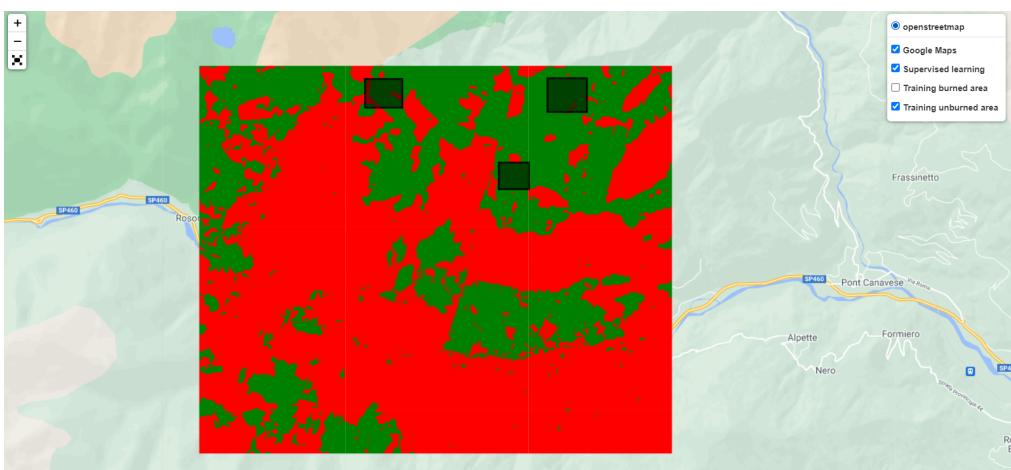
18 burned1 = ee.Geometry.Rectangle(7.4703, 45.4378, 7.4589, 45.4447)
19 burned2 = ee.Geometry.Rectangle(7.4693, 45.4348, 7.4786, 45.4261)
20 ...
21 burned18 = ee.Geometry.Rectangle(7.0386, 44.5982, 7.8446, 44.5874)
22
23 no_burned1 = ee.Geometry.Rectangle(7.5192, 45.4543, 7.5287, 45.4486)
24 no_burned2 = ee.Geometry.Rectangle(7.5876, 45.4481, 7.5148, 45.4356)
25 ...
26 no_burned18 = ee.Geometry.Rectangle(7.8738, 44.3512, 7.0999, 44.3456)
27
28 aoi_fire = ee.Geometry.Polygon(coords)
29
30 l8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1')
31
32 image = ee.Algorithms.Landsat.simpleComposite(
33   collection=l8.filterDate(postfire_date_start, postfire_date_end),
34   asFloat=True
35 )
36
37 bands = ['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B10', 'B11']
38
39 polygons = ee.FeatureCollection([
40   ee.Feature(burned1, {'class': 1}),
41   ee.Feature(burned2, {'class': 1}),
42   ...
43   ee.Feature(burned18, {'class': 1}),
44   ee.Feature(no_burned1, {'class': 0}),
45   ee.Feature(no_burned2, {'class': 0}),
46   ...
47   ee.Feature(no_burned18, {'class': 0}),
48 ])
49
50 training = image.sampleRegions(
51   collection=polygons,
52   properties=['class'],
53   scale=30
54 )
55
56 classifier = ee.Classifier.libsvm(
57   kernelType='RBF',
58   gamma=0.5,
59   cost=10
60 )
61
62 trained = classifier.train(training, 'class', bands)
63
64 classified = image.classify(trained)
65
66 burned_area = ee.FeatureCollection([
67   ee.Feature(burned1),
68   ee.Feature(burned2),
69   ...
70   ee.Feature(burned18)
71 ])
72
73 no_burned_area = ee.FeatureCollection([
74   ee.Feature(no_burned1),
75   ee.Feature(no_burned2),
76   ...
77   ee.Feature(no_burned18)
78 ])
79
80 map = geemap.Map(location=[coords[0][1], coords[0][0]], zoom_start=13)
81
82 map.addLayer(classified.clip(aoi_fire), {"min": 0, "max": 1, "palette": ['green', 'red']}, 'Supervised learning')
83 map.addLayer(burned_area, {}, 'Training burned area')
84 map.addLayer(no_burned_area, {}, 'Training unburned area')
```



L'immagine rappresenta il risultato della classificazione supervisionata in cui è possibile distinguere le due aree di interesse: in rosso la parte classificata come soggetta a incendi e in verde la parte non interessata da questi fenomeni.

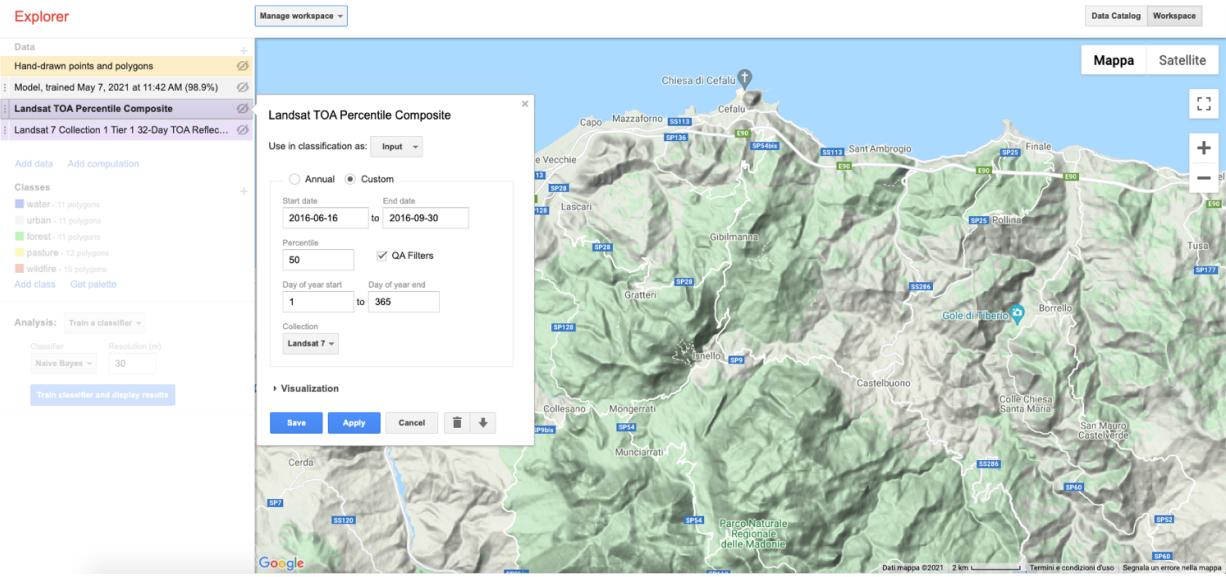


In questa immagine è possibile osservare le zone usate come dati di training per classificare le zone soggette a incendi.

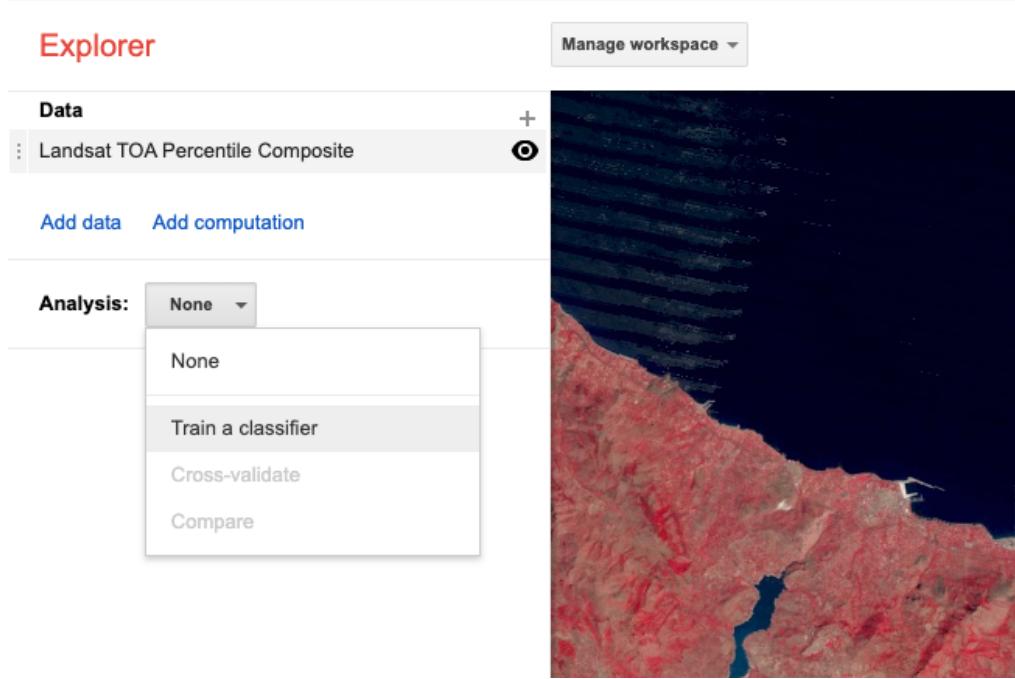


Al contrario, in questa immagine è possibile osservare le zone usate come dati di training per classificare le zone non soggette a incendi.

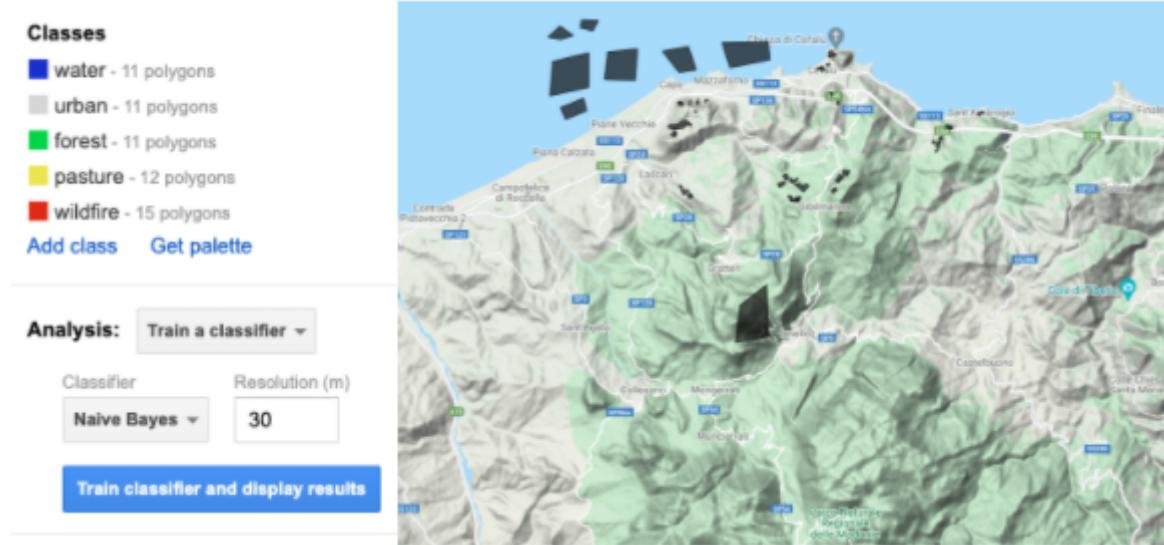
In Javascript, per questo tipo di analisi, è stato utilizzato il tool “*Google Earth Engine Explorer*”, questa è una semplice interfaccia web di Earth Engine. L’editor richiede un accesso “*trusted tester*” in cui l’utente deve accedere con il proprio account Gmail.



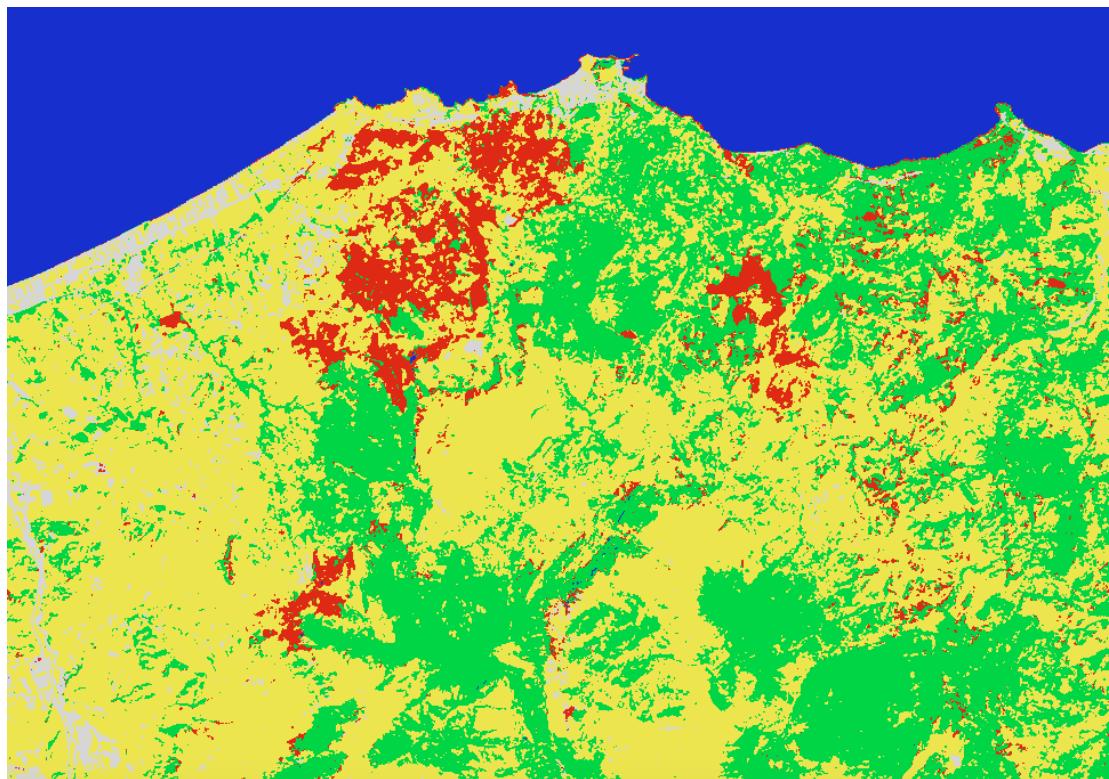
Nella casella “Analisi” troviamo la voce “*Train a classifier*”, ciò ci permetterà di eseguire una classificazione supervisionata. Si hanno a disposizione vari algoritmi di classificazione, noi andremo ad utilizzare il **Naive Bayes**.



Successivamente si procede alla creazione delle classi appropriate per il training. Nella barra di ricerca, selezioniamo *“Hand-drawn points and polygons”*.



Per l'area della Sicilia interessata dall'incendio sono state create cinque classi: **water (blu)**, **urban (grigio)**, **forest (verde)**, **pasture (giallo)**, **wildfire (rosso)**. Visualizziamo l'immagine classificata di output e i risultati della classificazione.



La seguente tabella contiene la validità complessiva percentuale così come una ripartizione di ogni classe con il numero di punti.

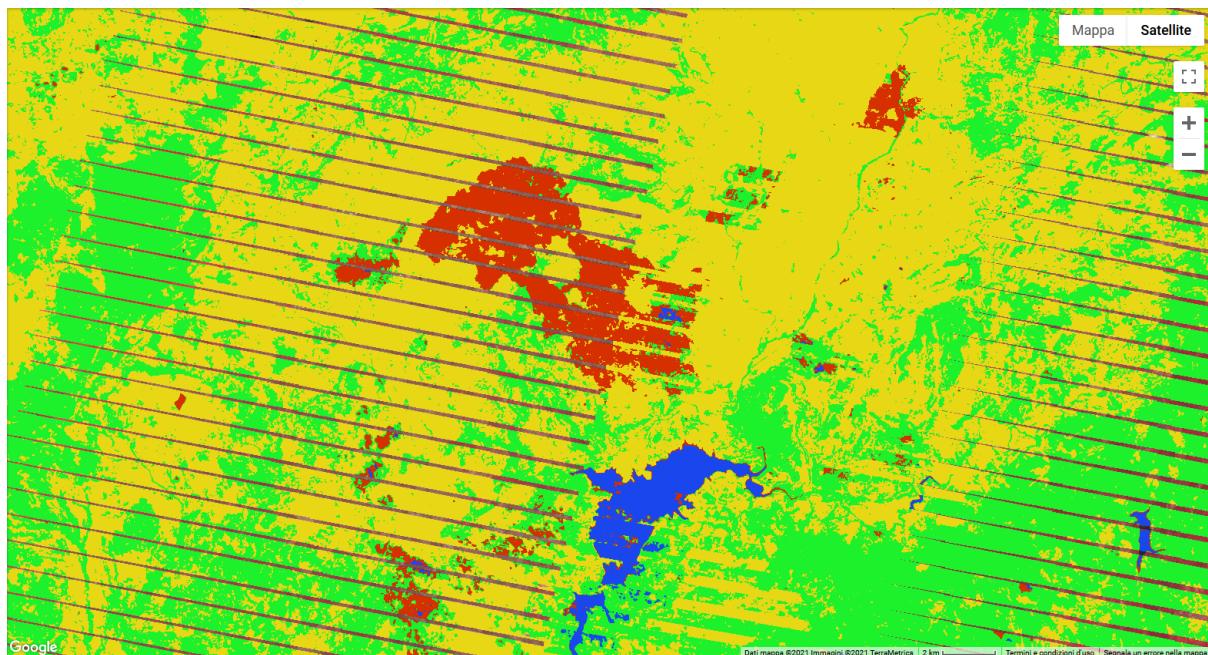
Model, trained May 7, 2021 at 11:42 AM

Overall validity: 98.9%

	# Points	water	urban	forest	pasture	wildfire
■ water	9513	100%	0%	0%	0%	0%
■ urban	1020	0%	89.41%	0.2%	10.39%	0%
■ forest	280	0%	0%	99.64%	0%	0.36%
■ pasture	3092	0%	0.06%	1.13%	98.71%	0.1%
■ wildfire	414	0%	0%	0%	2.17%	97.83%

Per la classificazione nell'area della Sardegna sono state considerate quattro classi: **post-fire (rosso)**, **vegetation (verde)**, **water (blu)** e **no-vegetation (giallo)**.

L'immagine risultante e la tabella di validità per le varie classi sono le seguenti:



Model, trained May 28, 2021 at 0:33 AM

Overall validity: 97.01%

	# Points	post-fire	vegetation	water	no-vegetation
post-fire	1143	99.83%	0%	0.17%	0%
vegetation	48	0%	100%	0%	0%
water	2568	4.21%	0.12%	95.68%	0%
no-vegetation	15	0%	0%	0%	100%

Cancel



Classificazione non supervisionata

In un problema di **classificazione non supervisionata** l'obiettivo è quello di determinare un confine di decisione a partire da un insieme di dati di addestramento forniti senza label. L'obiettivo ultimo è quello di determinare delle strutture intrinseche, pattern, nei dati. Gli algoritmi di clustering raggruppano i dati basandosi sulle feature contenute negli esempi di addestramento.

L'algoritmo di clustering più utilizzato è il **K-Means**, dove la **K** indica il numero di cluster in cui verranno suddivisi gli esempi di addestramento.

L'algoritmo K-Means funziona nel seguente modo:

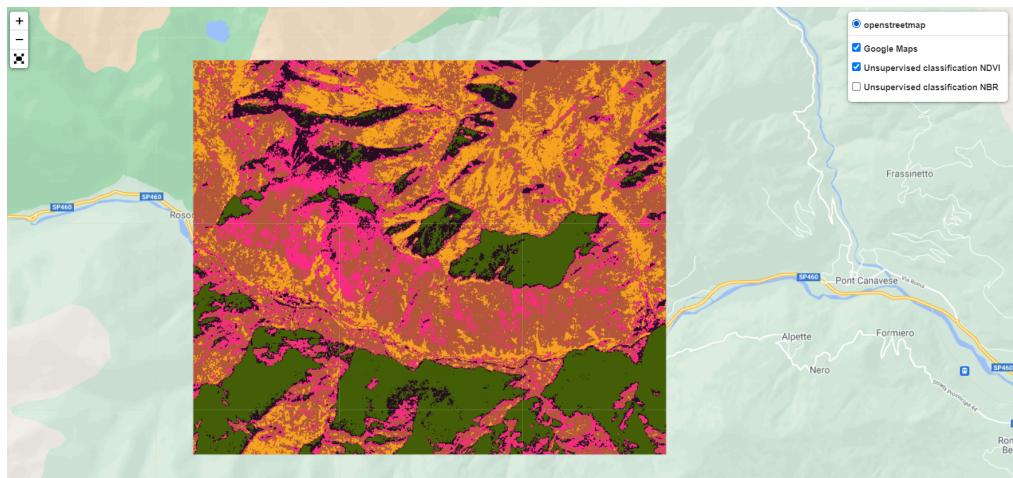
1. sceglie casualmente k pixels i cui campioni definiscono il centro dei cluster iniziali;
2. ogni pixel viene assegnato al centro del cluster più vicino (la vicinanza viene stabilita calcolando la distanza euclidea);
3. Viene calcolato nuovamente il centro;
4. Le operazioni svolte nei punti 2 e 3 vengono ripetute fino a quando l'algoritmo non converge.

Il criterio di convergenza viene soddisfatto quando viene superato il numero massimo di iterazioni specificato dall'utente o quando i centri assegnati a ciascun cluster restano invariati tra due successive iterazioni.

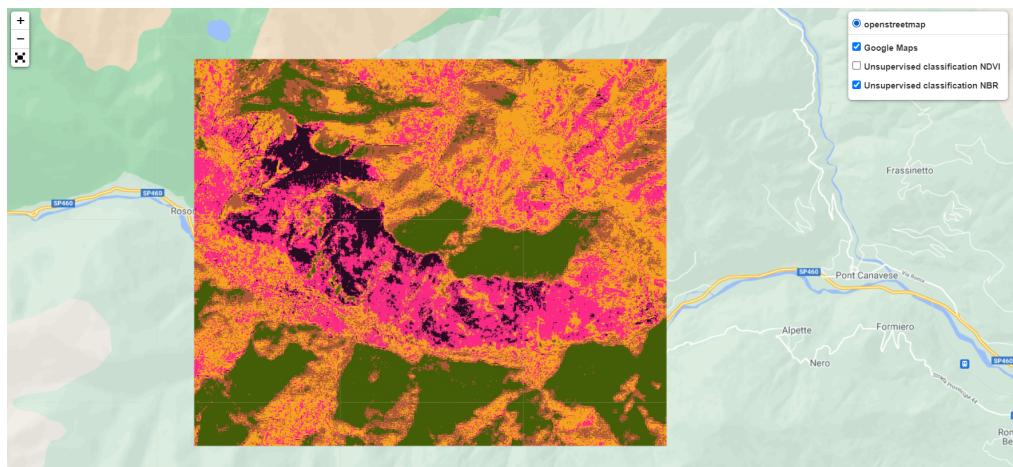
In questa fase abbiamo cercato di effettuare una classificazione in cluster utilizzando le bande **NDVI** e **NBR**, calcolate attraverso le bande di base del satellite.

Il codice Python per l'utilizzo del K-Means è il seguente:

```
9 input_ndvi = input.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI')
10
11 aoi = ee.Geometry.Polygon(coords)
12
13 training = input_ndvi.sample(
14     region=aoi,
15     scale=30,
16     numPixels=5000
17 )
18
19 clusterer = ee.Clusterer.wekaKMeans(5).train(training)
20
21 result = input_ndvi.cluster(clusterer).clip(aoi_fire)
22
23 map = geemap.Map(location=[coords[0][1], coords[0][0]], zoom_start=13)
24
25 map.addLayer(result.randomVisualizer(), {}, 'Unsupervised classification NDVI')
26
27 input_nbr = input.normalizedDifference(['B8', 'B12']).rename('NBR')
28
29 training = input_nbr.sample(
30     region=aoi,
31     scale=30,
32     numPixels=5000
33 )
34
35 clusterer = ee.Clusterer.wekaKMeans(5).train(training)
36
37 result = input_nbr.cluster(clusterer).clip(aoi_fire)
38
39 map.addLayer(result.randomVisualizer(), {}, 'Unsupervised classification NBR')
```



L'immagine rappresenta la classificazione non supervisionata utilizzando l'indice NDVI, in cui le zone in nero sono le aree che hanno subito più danni mentre le zone in verde sono le aree rimaste più illese.

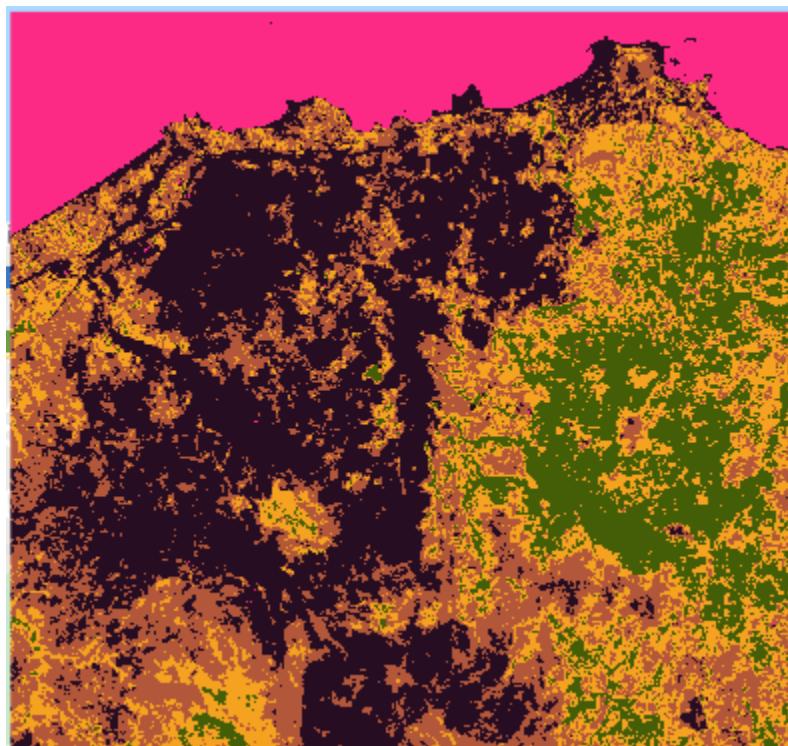


L'immagine rappresenta la classificazione non supervisionata utilizzando l'indice NBR, in cui le zone in nero sono le aree che hanno registrato un'alta intensità di calore dovuta all'incendio mentre le zone in verde sono le aree rimaste più illese.

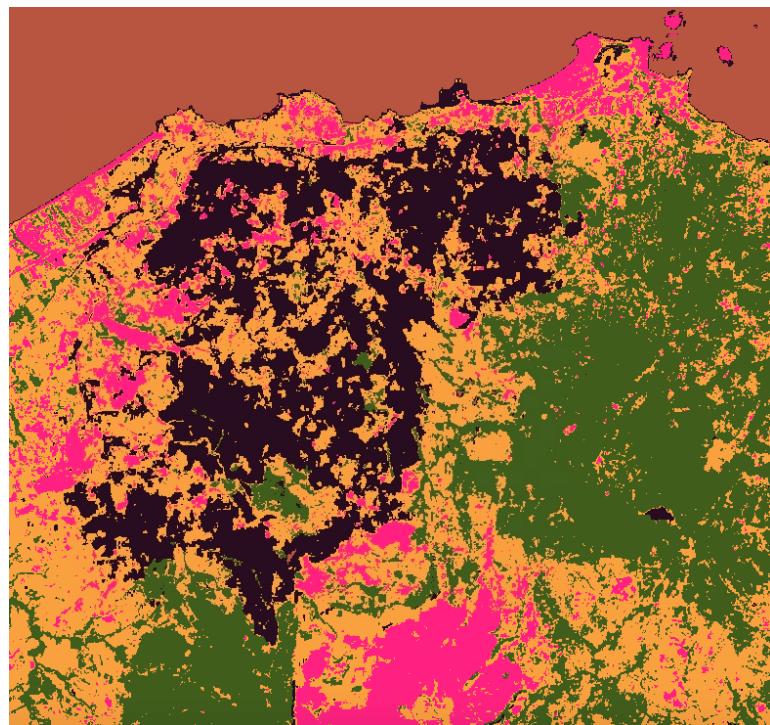
Il codice JavaScript per l'utilizzo del k-Means è il seguente:

```
115 //-----Unsupervised Classification-----
116
117
118 var input = post_cm_mos;
119 var region = area;
120 |
121
122 // Make the training dataset.
123 var training = input.sample({
124   region: region,
125   scale: 30,
126   numPixels: 5000
127 });
128
129 // Instantiate the clusterer and train it.
130 var clusterer = ee.Clusterer.wekaKMeans(5).train(training);
131
132 // Cluster the input using the trained clusterer.
133 var result = input.cluster(clusterer);
134
135 // Display the clusters with random colors.
136 Map.addLayer(result.randomVisualizer(), {}, 'clusters');
```

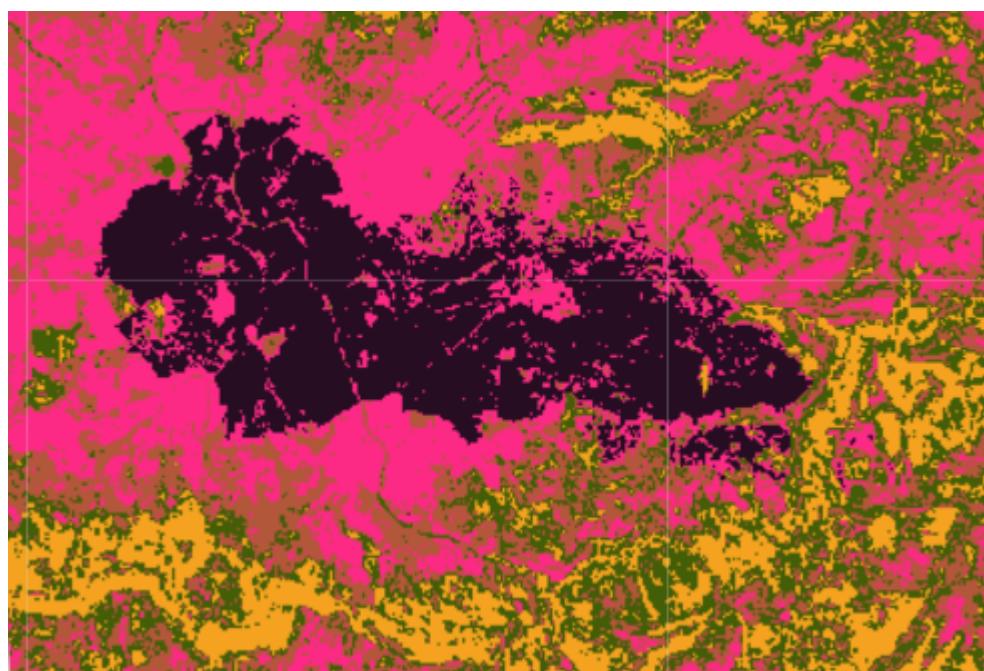
Nell'immagine che segue si può notare come la classificazione non supervisionata dell'indice NDVI evidenzi la diminuzione della vegetazione, colore nero, proprio nella zona interessata dall'incendio.



Nell'immagine che segue la classificazione effettuata sull'indice NBR, evidenzia le zone maggiormente colpite dall'incendio, di colore nero, quelle colpite in modo più lieve di colore viola ed arancione, ed infine le zone verdi non colpite dall'incendio.



Anche per l'immagine che segue la classificazione si basa sull'utilizzo dell'indice NBR. Le aree in nero sono quelle che hanno subito le maggiori conseguenze dell'incendio, mentre gli altri colori, rappresentano aree non interessate dall'evento.



Analisi interferometrica

Il **radar ad apertura sintetica interferometrica** (*InSAR*) sfrutta la differenza di fase tra due osservazioni radar complesse SAR prese da posizioni leggermente diverse dal sensore ed estrae informazioni sulla superficie terrestre.

Un segnale SAR contiene informazioni di ampiezza e fase. L'ampiezza è la forza della risposta radar e la fase è la frazione di un ciclo completo di onda sinusoidale (una singola lunghezza d'onda SAR). La fase dell'immagine SAR è determinata principalmente dalla distanza tra l'antenna montata sul satellite e i bersagli a terra.

Combinando la fase di queste due immagini dopo la coregistrazione, si può generare un interferogramma la cui fase è altamente correlata alla topografia del terreno. Nel caso dell'**interferometria differenziale** (*DInSAR*), questo contributo di fase topografica viene rimosso utilizzando un modello di elevazione digitale (*DEM*). La variazione rimanente nell'interferogramma può essere attribuita ai cambiamenti di superficie avvenuti tra le due date di acquisizione delle immagini, così come agli effetti atmosferici indesiderati.

Attraverso il software **SNAP** è possibile analizzare eventuali eventi catastrofici attraverso l'analisi della fase dell'immagine. SNAP (*Sentinel Application Platform*) è una piattaforma comune, finanziata dall'**ESA**, che racchiude i toolbox per i vari dati Sentinel e altri tool di processamento di dati di osservazione della terra.

I punti di forza dell'applicazione sono:

- Open Source, costantemente aggiornato;
- Pieno supporto a tutti i formati dei vari dati Sentinel;
- Tool dedicati a ciascuna missione Sentinel e a varie applicazioni tematiche (i.e. SAR/Ottiche, Terrestri, Marine, ecc.);
- Plug-in per aggiungere tool e funzionalità da parte di terze parti;

Offre la possibilità di utilizzare tutte le funzionalità della piattaforma attraverso scripting e linguaggio python per realizzare i propri tool.

Inoltre, attraverso il software SNAP, è possibile creare dei prodotti che contengono bande con all'interno informazioni sull'ampiezza di fase e sull'intensità. Con tali prodotti si possono creare delle immagini da analizzare per lo studio di eventuali rilevamenti. Le immagini da noi analizzate nello studio condotto sono prodotti SLC ricavati dal satellite Sentinel-1.

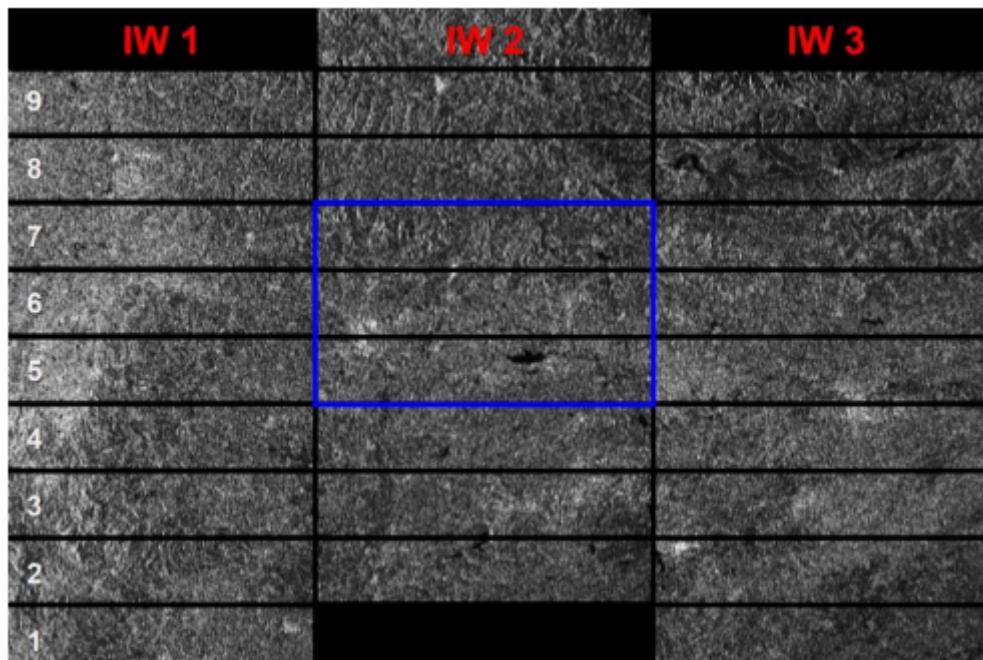
I dati a nostra disposizione sono stati scaricati dal sito [ASF Data Search](#).

Sentinel-1 Interferometric Wide Swath(IW)

La modalità **Interferometric Wide (IW)** swath è la principale modalità di acquisizione su terra per Sentinel-1. Acquisisce dati con una striscia di 250 km a 5 m per 20 m di risoluzione spaziale (look singolo). La modalità IW acquisisce tre sub-swath utilizzando l'osservazione del terreno con scansioni progressive SAR (**TOPSAR**).

Con la tecnica **TOPSAR**, oltre a dirigere il fascio nella gamma come in ScanSAR, lo dirige anche elettronicamente indietro e in avanti nella direzione azimutale per ogni burst ottenendo una qualità d'immagine omogenea in tutta la striscia.

La modalità TOPSAR sostituisce la modalità ScanSAR convenzionale, ottenendo la stessa copertura e risoluzione di ScanSAR, ma con un **SNR** (*Signal-to-Noise Ratio*) e **DTAR** (*Distributed Target Ambiguity Ratio*) quasi uniforme.



I prodotti IW SLC consistono in tre sub-swath per canale di polarizzazione, per un totale di tre polarizzazioni singole o sei doppie polarizzazioni d'immagini in un prodotto IW. Ogni immagine sub-swath consiste in una serie di burst, dove ogni burst è stato elaborato come un'immagine SLC separata.

I prodotti che sono stati presi in esame per la relazione sono:

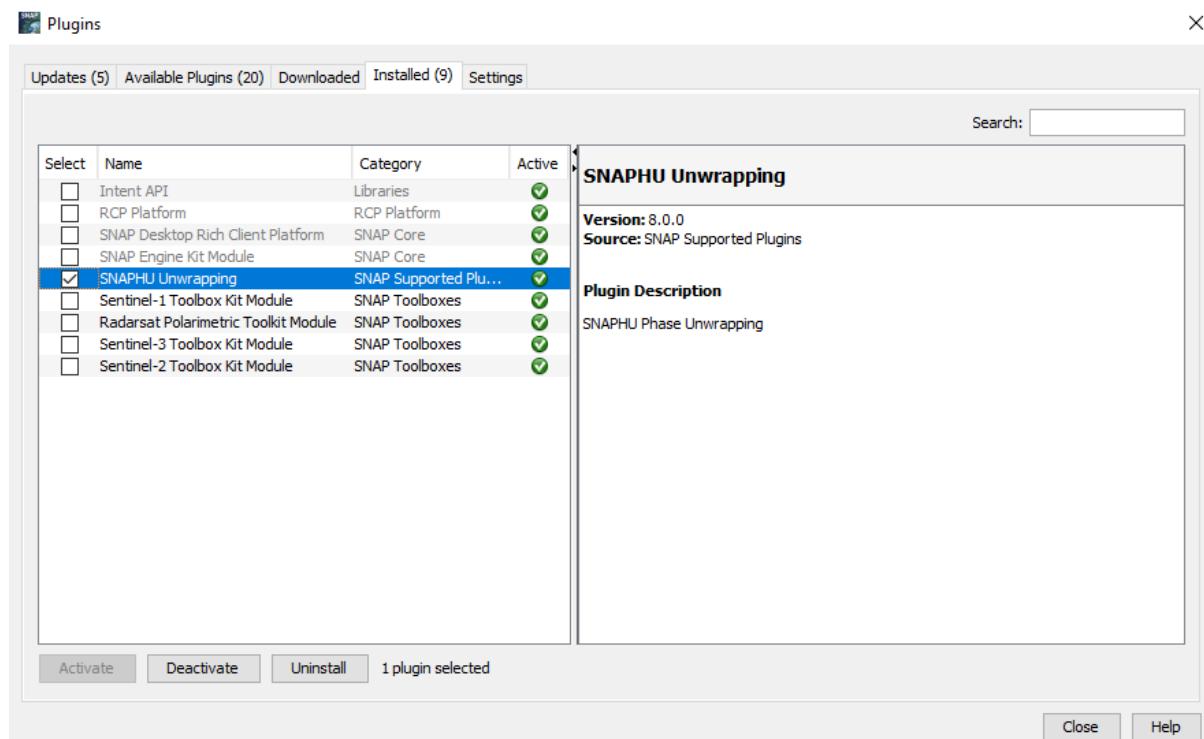
[S1A_IW_SLC_1SDV_20150131T164820_20150131T164847_004418_005666_2FD2.zip](#)

[S1A_IW_SLC_1SDV_20150804T165642_20150804T165709_007116_009B29_AD7D.zip](#)

Installazione plug-in snaphu

Per effettuare la nostra analisi, come pacchetto software esterno, deve essere installato separatamente **saphu**, algoritmo di flusso di rete a costo statistico per l'**unwrapping** di fase.

Per installare il plug-in in SNAP, bisogna andare su Plugins nel tab Tools e cercare "SNAPHU Unwrapping" nella scheda Available Plugins. Selezionarlo e cliccare su Install.



Apertura e visualizzazione dei prodotti

Per l'apertura e la visualizzazione dei prodotti bisogna usare il pulsante “Open Product” nella barra degli strumenti e cercare la posizione dei dati scaricati. Una volta selezionati i due file .zip bisogna premere “Open”. Così facendo i prodotti saranno visualizzabili. Ogni prodotto Sentinel-1 è composto da **metadati**, **dati vettoriali**, **griglie di vincoli**, **quicklooks** e **bande**, che contiene i dati raster, organizzati per polarizzazione e sub-swath.

Product Explorer X Pixel Info	
+	[1] S1A_IW_SLC__1SDV_20150131T164820_20150131T164847_004418_005666_2FD2
+	Metadata
+	Vector Data
+	Tie-Point Grids
+	Quicklooks
-	Bands
-	i_IW1_VH
-	q_IW1_VH
-	Intensity_IW1_VH
-	i_IW1_VV
-	q_IW1_VV
-	Intensity_IW1_VV
-	i_IW2_VH
-	q_IW2_VH
-	Intensity_IW2_VH
-	i_IW2_VV
-	q_IW2_VV
-	Intensity_IW2_VV
-	i_IW3_VH
-	q_IW3_VH
-	Intensity_IW3_VH
-	i_IW3_VV
-	q_IW3_VV
-	Intensity_IW3_VV
+	[2] S1A_IW_SLC__1SDV_20150804T165642_20150804T165709_007116_009B29_AD7D

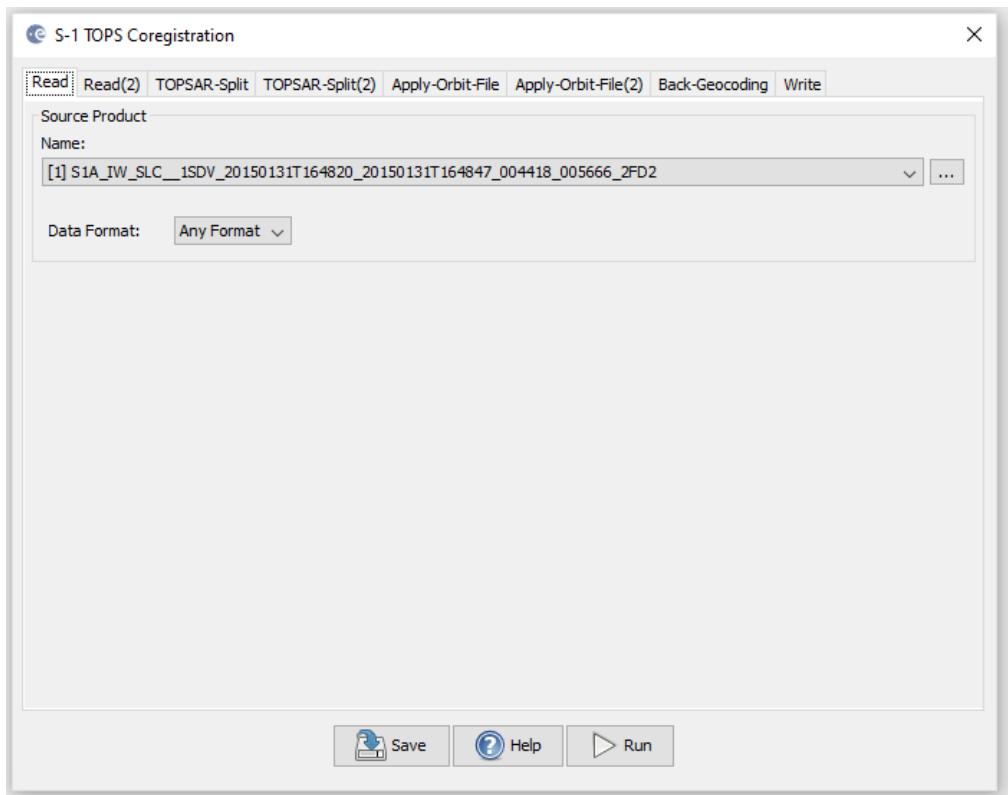
Product Explorer X Pixel Info	
+	[1] S1A_IW_SLC__1SDV_20150131T164820_20150131T164847_004418_005666_2FD2
-	Metadata
-	Vector Data
-	Tie-Point Grids
-	Quicklooks
-	Bands
-	i_IW1_VH
-	q_IW1_VH
-	Intensity_IW1_VH
-	i_IW1_VV
-	q_IW1_VV
-	Intensity_IW1_VV
-	i_IW2_VH
-	q_IW2_VH
-	Intensity_IW2_VH
-	i_IW2_VV
-	q_IW2_VV
-	Intensity_IW2_VV
-	i_IW3_VH
-	q_IW3_VH
-	Intensity_IW3_VH
-	i_IW3_VV
-	q_IW3_VV
-	Intensity_IW3_VV
+	[2] S1A_IW_SLC__1SDV_20150804T165642_20150804T165709_007116_009B29_AD7D



Coregistrazione

Per sfruttare la differenza di fase delle acquisizioni, deve essere prima creato uno stack contenente entrambi i prodotti. La coregistrazione fa uso delle statistiche dell'immagine per allineare entrambi i prodotti con una precisione sub-pixel. Mentre i prodotti radar Stripmap convenzionali possono essere coregistrati in un solo passaggio, i prodotti S1 TOPSAR richiedono una serie di passaggi, a causa della loro speciale forma di acquisizione.

SNAP permette di combinare tutti questi passaggi all'interno del “**S-1 TOPS Coregistration**” con operatore **ESD**.



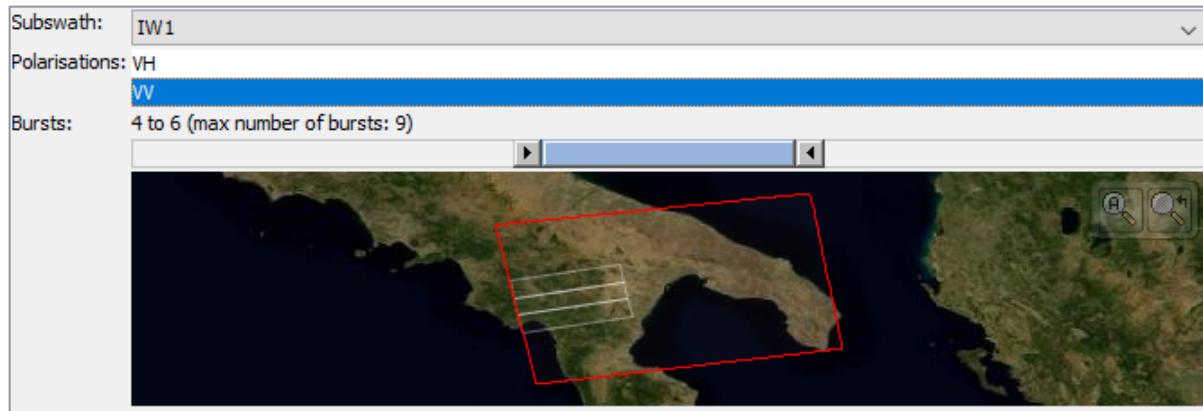
TOPS Split

S-1 TOPS Split viene applicato ai dati per selezionare solo i burst che sono necessari per l'analisi. Ogni sub-swath viene elaborato separatamente.

Se l'area di interesse copre diversi sub-swath, devono essere uniti con l'operatore **S-1 TOPS Merge**.

L'operatore S-1 TOPS Split lo si trova in Radar > Sentinel-1 TOPS. Nel nostro caso d'interesse abbiamo selezionato il sub-swath IW1 e la polarizzazione VV nel *Processing Parameters*. Si riducono poi i burst a 3 trascinando i triangoli grigi verso il centro e attraverso l'anteprima si può controllare la posizione dell'area selezionata.

Si possono combinare le immagini Sentinel-1A e Sentinel-1B anche se presentano orbite leggermente differenti. Per farlo è sufficiente selezionare gli stessi burst nella stessa area.



Applying Orbit Information

I dati ausiliari dell'orbita contengono informazioni sulla posizione del satellite durante l'acquisizione dei dati SAR. Vengono scaricati automaticamente per i prodotti Sentinel-1 da SNAP e aggiunti ai suoi metadati con l'operatore "Apply Orbit File", sotto la voce di menu Radar.

Il servizio *Precise Orbit Determination (POD)* per Sentinel-1 fornisce file di orbita ricostruiti e file **POE** (*Precise Orbit Ephemerides*). Questi ultimi coprono circa 28 ore e contengono vettori di stato dell'orbita valutati a intervalli di 10 secondi. I file sono generati e consegnati entro 20 giorni dopo l'acquisizione dei dati.

Se non sono disponibili orbite precise per il prodotto di interesse, si possono selezionare orbite rielaborate tenendo conto che l'accuratezza potrebbe essere inferiore.



Back Geocoding e Enhanced Spectral Diversity

L'operatore **S-1 Back Geocoding** (Radar > Coregistration > Sentinel-1 TOPS Coregistration) coregistra i due prodotti in base alle informazioni sull'orbita aggiunte nel passo precedente e alle informazioni ricavate da un modello di elevazione digitale (**DEM**) che viene scaricato da SNAP.

Digital Elevation Model:	SRTM 3Sec (Auto Download)
DEM Resampling Method:	BILINEAR_INTERPOLATION
Resampling Type:	BILINEAR_INTERPOLATION
<input checked="" type="checkbox"/> Mask out areas with no elevation	
<input type="checkbox"/> Output Deramp and Demod Phase	
<input type="checkbox"/> Disable Reramp	

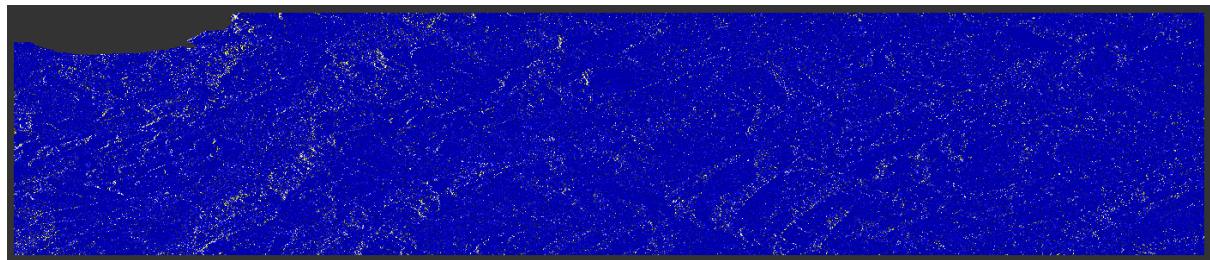
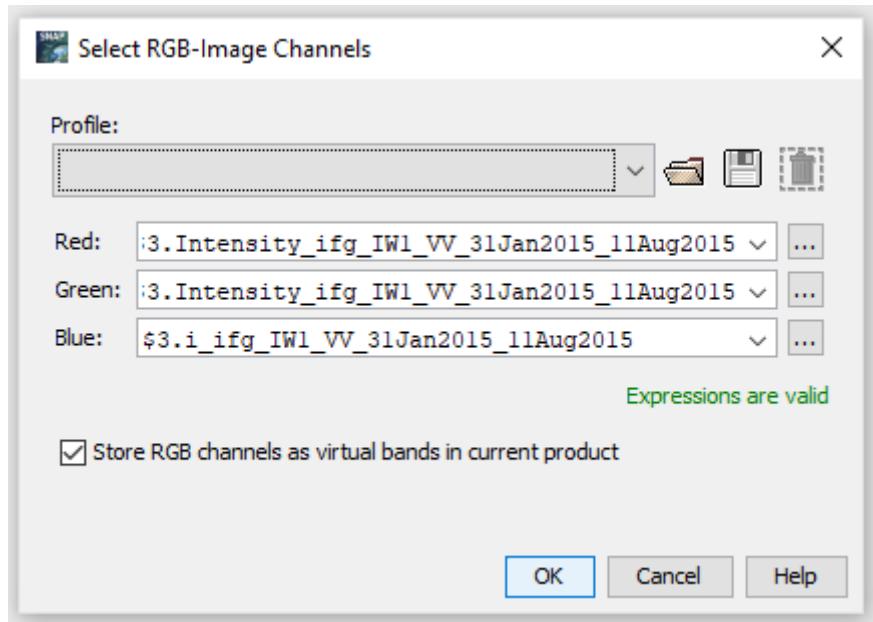
Per aumentare la qualità della coregistrazione si applica l'operatore **S-1 Enhanced Spectral Diversity (ESD)** (Radar > Coregistration > Sentinel-1 TOPS Coregistration) sullo stack generato dall'operazione di Back Geocoding che va ad applicare le correzioni di spostamento gamma e azimut all'immagine slave.

Registration Window Width:	512
Registration Window Height:	512
Search Window Accuracy in Azimuth Direction:	16
Search Window Accuracy in Range Direction:	16
Window oversampling factor:	128
Cross-Correlation Threshold:	0.1
Coherence Threshold for Outlier Removal:	0.3
Number of Windows Per Overlap for ESD:	10
ESD Estimator:	Periodogram
Weight function:	Inv Quadratic
Temporal baseline type:	Number of images
Maximum temporal baseline (inclusive):	4
Integration method:	L1 and L2
<input type="checkbox"/> Do not write target bands (store range and azimuth offsets in json files).	
<input type="checkbox"/> Use user supplied range shift (please enter it below)	
The overall range shift in pixels:	0.0
<input type="checkbox"/> Use user supplied azimuth shift (please enter it below)	
The overall azimuth shift in pixels:	0.0

Questo operatore è necessario solo quando si seleziona più di un burst. Se è stato selezionato solo un burst nel TOPS Split, non c'è bisogno dell'operatore ESD.

Dopo aver completato la coregistrazione, è consigliabile controllare visivamente la qualità dello stack. Questo può essere fatto con una rappresentazione RGB del prodotto master e slave che mostra se le immagini sono correttamente allineate. Si effettua selezionando il master per il rosso e il verde e lo slave per il blu.

Ingrandendo un'area con superfici distinte, per esempio il confine tra terra e acqua, l'immagine RGB dovrebbe essere chiara e nitida e non essere dominata da una delle immagini (giallo [rosso+verde] per il master o blu per l'immagine slave). L'unica eccezione sono i cambiamenti nella copertura del suolo o i meccanismi di dispersione che avvengono nel tempo tra la prima e la seconda acquisizione dell'immagine.



Interferogram Formation e Coherence Estimation

Un interferogramma è formato dalla moltiplicazione incrociata dell'immagine master con il coniugato complesso della slave. L'ampiezza di entrambe le immagini viene moltiplicata mentre la fase rappresenta la differenza di fase tra le due immagini. La fase interferometrica di ogni pixel dell'immagine dipende solo dalla differenza di percorso compiuto dall'onda che viaggia dal SAR al bersaglio. Di conseguenza, l'interferogramma calcolato contiene la variazione di fase φ costituita da diversi fattori già discussi nel paragrafo inerente agli errori di acquisizione.

$$\phi = \Phi_{DEM} + \Phi_{flat} + \Phi_{disp} + \Phi_{atm} + \Phi_{noise}$$

$$-\frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_n s}{R \tan \theta}$$

$$-\frac{\Delta q}{\sin \theta} \cdot \frac{B_n}{R_0} \cdot \frac{4\pi}{\lambda}$$

$$+\frac{4\pi}{\lambda} d$$

L'interferometria SAR differenziale cerca di stimare il contributo della superficie terrestre ϕ_{flat} e ϕ_{DEM} (che è considerato uguale per entrambe le acquisizioni dell'immagine) e di rimuoverlo dall'interferogramma in modo che la rimanente variazione di fase può essere attribuita ai cambiamenti di elevazione della superficie tra le due acquisizioni di immagini.

Questo funziona meglio se i contributi atmosferici e altri rumori sono mantenuti il più piccoli possibile, perché sono difficili da modellare ed è quindi consigliabile utilizzare immagini della stagione secca.

$$\Phi_{disp} + \Phi_{atm} + \Phi_{noise} = \phi - \Phi_{DEM} - \Phi_{flat}$$

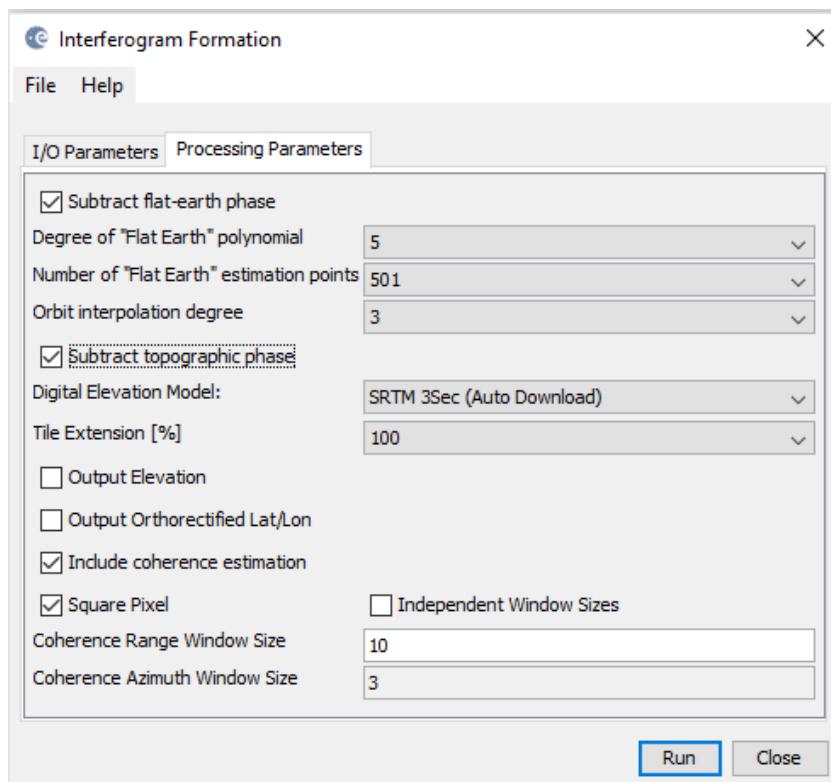
Oltre alla fase interferometrica, la coerenza tra l'immagine master e quella slave viene stimata come indicatore della qualità dell'informazione di fase. Fondamentalmente, mostra se le immagini hanno forti somiglianze e sono quindi utilizzabili per l'elaborazione interferometrica. La perdita di coerenza può produrre scarsi risultati interferometrici ed è causata da decorrelazione temporale (sopra la vegetazione e i corpi idrici), geometrica (errori o imprecisioni nei metadati dell'orbita) e volumetrica (potenziali meccanismi di scattering di strutture voluminose, come la vegetazione complessa o le superfici secche).

La coerenza è calcolata come una banda raster separata e mostra quanto è simile ogni pixel tra l'immagine slave e le immagini master in una scala da 0 a 1. Le aree con alta coerenza appariranno luminose mentre quelle con scarsa coerenza saranno scure.

Per calcolare l'interferogramma e le bande di coerenza, bisogna applicare l'operatore Interferogram Formation (in Radar > Interferometric > Products). Si procede prendendo come input lo stack generato dopo le operazioni di Back Geocoding e ESD e selezionando le caselle:

- **Subtract flat-earth phase:** la fase flat-earth è la fase presente nel segnale interferometrico dovuta alla curvatura della superficie di riferimento. Questa è stimata usando le informazioni dei metadati orbitali e sottratta dall'interferogramma complesso;

- **Subtract topographic phase:** il terreno piatto dovrebbe produrre una serie di frange parallele regolarmente distanziate. Qualsiasi deviazione da un modello di frange parallele può essere interpretata come variazione topografica. Se si vuole mantenere questa variazione topografica (ad esempio per la derivazione di un modello di elevazione digitale), non va sottratta la fase topografica. Se invece si vuole procedere con la rimozione della fase topografica si utilizza il SRTM 1Sec HGT;
- **Include coherence estimation:** produce una banda di coerenza nell'output calcolata sulla base di una finestra di 10x3 pixel in direzione range / azimut.

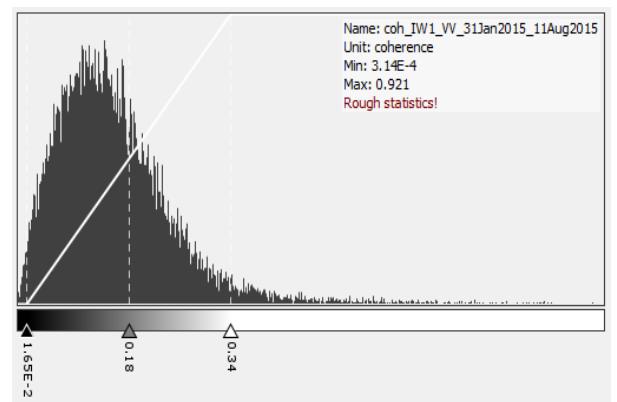
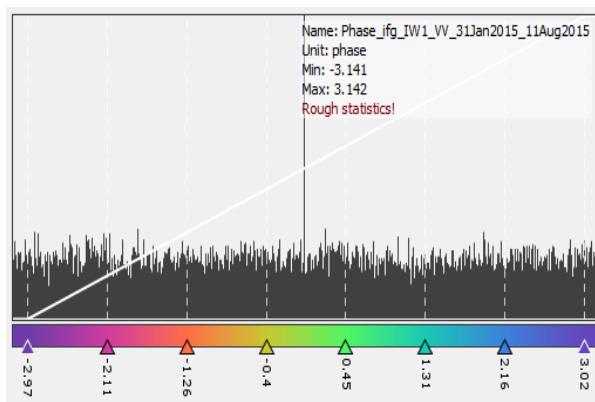
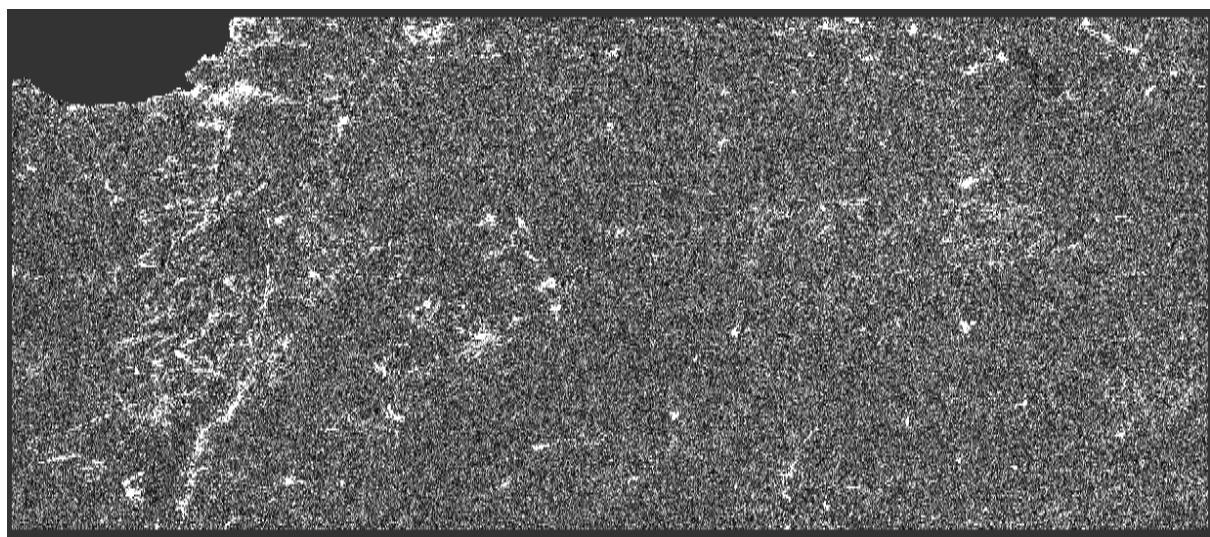
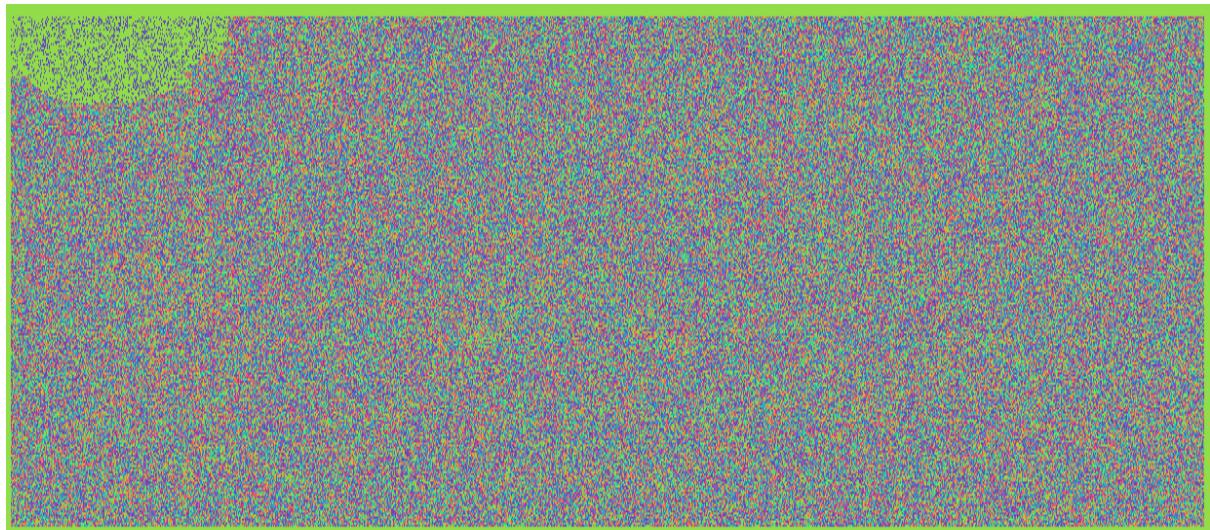


Il prodotto risultante conterrà l'interferogramma e la coerenza come bande separate. Entrambi i prodotti contengono ancora le linee nere che separano i singoli burst, che saranno rimosse nel passo successivo.

Poiché è stata applicata la rimozione della fase topografica, l'interferogramma, a questo punto, contiene solo variazioni dovute a spostamenti, atmosfera e rumore. Viene visualizzato in una scala di colori arcobaleno che va da $-\pi$ a $+\pi$. Le frange, rappresentano un ciclo completo di 2π e appaiono in un interferogramma come cicli di colori arbitrari, con ogni ciclo che rappresenta metà della lunghezza d'onda del sensore. Il movimento relativo del terreno tra due punti è poi ricavato contando le frange e moltiplicando per metà della lunghezza d'onda. Più vicine sono le frange, maggiore è la deformazione del terreno.

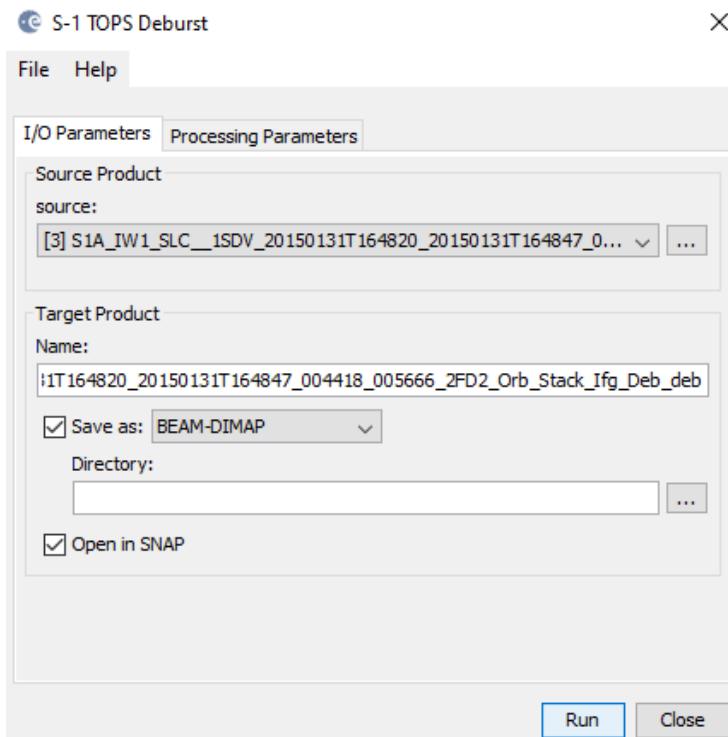
La coerenza mostra le aree in cui l'informazione di fase è coerente, il che significa che può essere usata per misurare la deformazione o la topografia.

Se le aree a bassa coerenza sono troppo dominanti nell'immagine, l'unwrapping effettuato successivamente fallirà e produrrà risultati errati o casuali.



TOPS Deburst

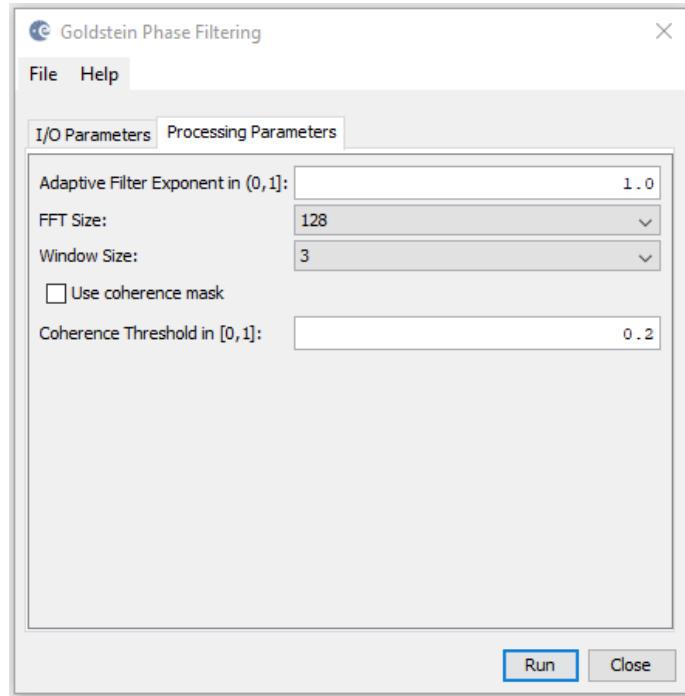
Per rimuovere le linee tra i singoli burst si utilizza l'operatore **S-1 TOPS Deburst** presente alla voce Radar > Sentinel-1 TOPS. Questo viene applicato al prodotto dell'interferogramma. Non richiede alcun input da parte dell'utente. L'output contiene le stesse bande dell'input, ma con i burst uniti.



Goldstein Phase Filtering

La fase interferometrica può essere corrotta dal rumore della decorrelazione temporale e geometrica, dallo scattering di volume e da altri errori di elaborazione. L'informazione di fase nelle aree decorrelate non può essere ripristinata, ma la qualità delle frange esistenti nell'interferogramma può essere aumentata applicando filtri di fase specifici, come il filtro **Goldstein** che utilizza una *Fast Fourier Transformation (FFT)* per migliorare il rapporto segnale-rumore dell'immagine. Questo è necessario per un adeguato unwrapping nella fase successiva.

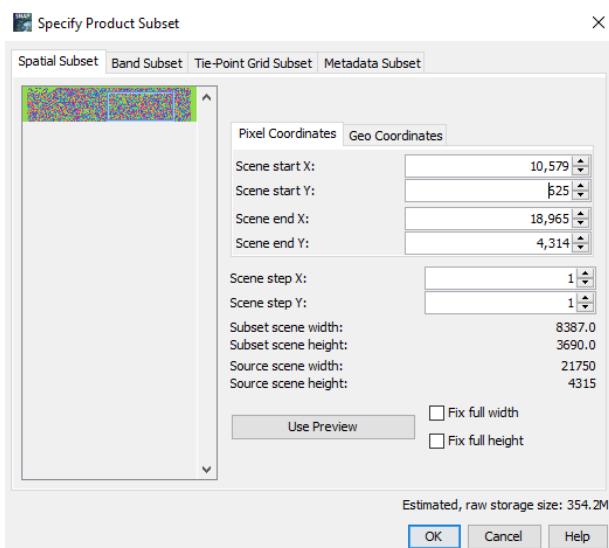
Questo filtraggio si applica Radar > Interferometric > Filtering all'immagine corrotta. L'output è un'immagine di fase filtrata.



Subset

Poiché i burst selezionati coprono un'area più grande di quella richiesta per questa analisi, è possibile generarne un sottoinsieme ricordando che questa operazione può essere effettuata solo dopo il TOPS Deburst. Tecnicamente, il sottoinsieme potrebbe essere applicato anche prima del filtraggio di fase, ma a volte i modelli diventano visibili solo dopo l'applicazione del filtro.

Per creare un sottoinsieme, si seleziona il prodotto filtrato in Product Explorer e successivamente Subset, nel tab Raster.

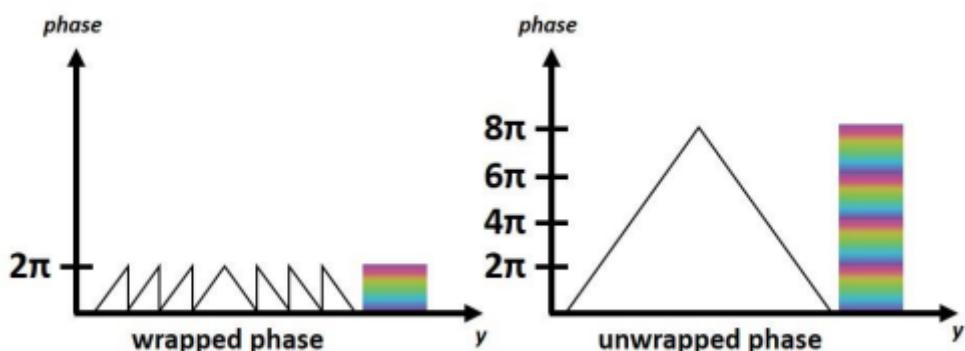


È anche possibile inserire delle coordinate geografiche o disegnare un rettangolo nell'anteprima dell'immagine.

Phase Unwrapping

Nell'interferogramma, la fase interferometrica è ambigua e conosciuta solo nella scala di 2π . Per essere in grado di mettere in relazione la fase interferometrica con l'altezza topografica, la fase deve prima essere scomposta. La quota di ambiguità è definita come la differenza di quota che genera un cambiamento di fase interferometrica di 2π dopo l'appiattimento dell'interferogramma.

L'unwrapping di fase risolve questa ambiguità integrando la differenza di fase tra i pixel vicini. La variazione di fase tra due punti sull'interferogramma appiattito fornisce una misura dell'effettiva variazione di altitudine. Di conseguenza, i risultati non elaborati dovrebbero essere interpretati come una relativa altezza/spostamento tra i pixel di due immagini.



Per ottenere risultati ottimali dall'operazione di unwrapping è opportuno filtrare l'interferogramma ed eventualmente applicare il **multi-looking** (Raster > SAR Utilities). Per la derivazione di mappe di spostamento su larga scala, dovrebbe essere considerato il multi-looking ad una risoluzione spaziale di 20 metri o inferiore. La qualità e l'affidabilità dei risultati unwrappati dipende molto dalla coerenza dell'input. Risultati affidabili possono essere ottenuti solo in aree ad alta coerenza. Anche se non esiste una soglia definita, il valore minimo di coerenza dovrebbe avere un valore pari a circa 0,3.

Il tool in SNAP segue tre fasi distinte:

1. **Export** della fase wrappata (e definizione dei parametri);
2. **Unwrapping** della fase (eseguito fuori da SNAP da snaphu);
3. **Import** della fase unwrappata in SNAP.

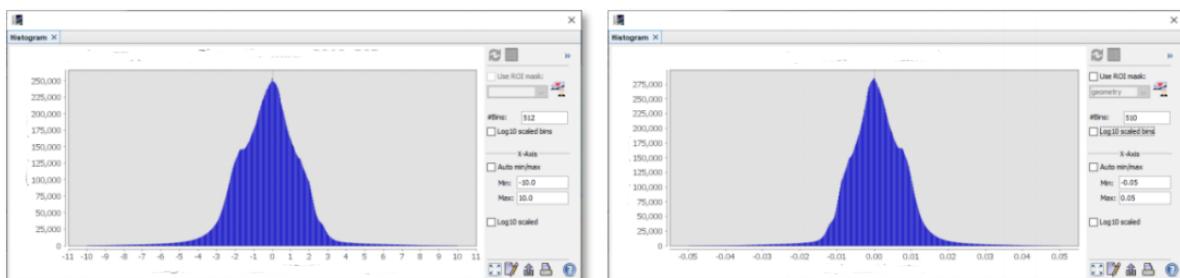
Poiché snaphu è un software indipendente, l'unwrapping viene eseguito al di fuori di SNAP, ma il plugin permette di utilizzare questa esecuzione anche all'interno del software.

A seconda delle capacità del sistema, l'unwrapping può richiedere una notevole quantità di tempo.

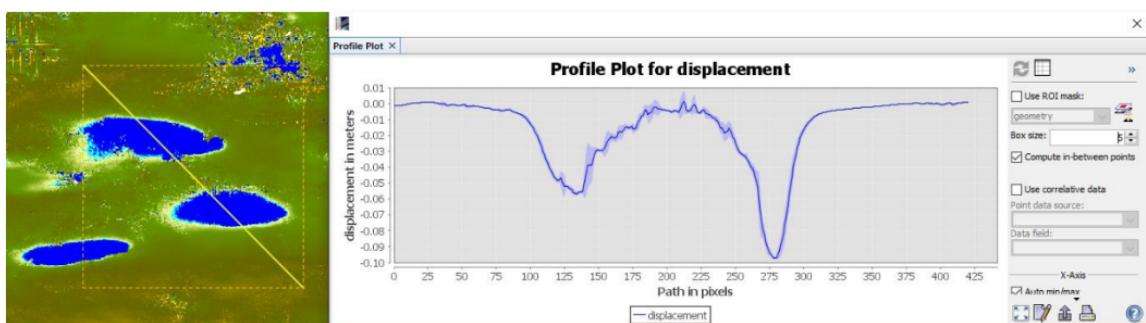
Tuttavia, snaphu supporta il multi-threading il che significa che il calcolo può essere distribuito su più core del processore.

Phase to Displacement

La fase unwrappata è ora un raster continuo, ma non ancora una misura in metri. Per effettuare la conversione in metri, si applica l'operatore **Phase to Displacement** presente in Radar > Interferometric > Product. Questo operatore traduce la fase in cambiamenti di superficie in metri lungo la congiungente sensore - pixel. Valori positivi indicano un sollevamento mentre valori negativi indicano subsidenza. L'operatore Phase to Displacement non ha parametri e viene applicato alla fase wrappata che è stata importata precedentemente. Produce un output che assomiglia alla fase wrappata, ma ora ogni pixel ha un valore in metri che indica il suo spostamento.



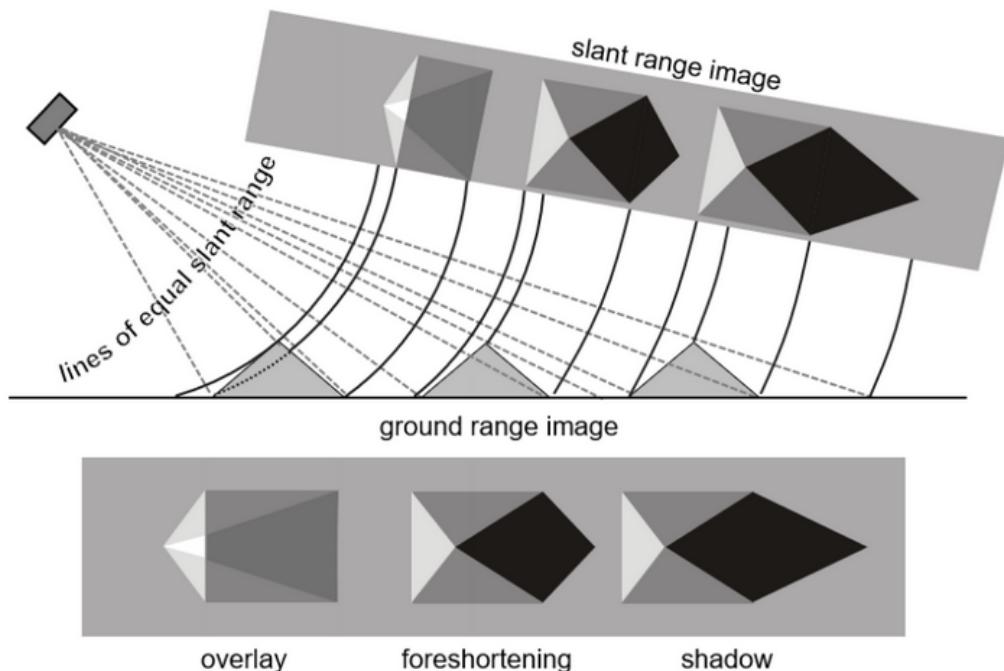
Si può procedere selezionando una linea sull'immagine e attraverso lo strumento *Profile Plot* visualizzare i singoli modelli di spostamento e i loro intervalli. Questo è un buon modo per controllare anche la quantità di rumore nelle aree a bassa coerenza.



Terrain Correction

La Terrain Correction geocodifica l'immagine correggendo le distorsioni geometriche del SAR utilizzando un modello di elevazione digitale (**DEM**) e produce un prodotto proiettato su mappa.

La geocodifica converte un'immagine dalla geometria dello slant range o del ground range in un sistema di coordinate sulla mappa. La geocodifica del terreno implica l'uso del DEM per correggere le distorsioni geometriche, come scorci, layover e ombre.



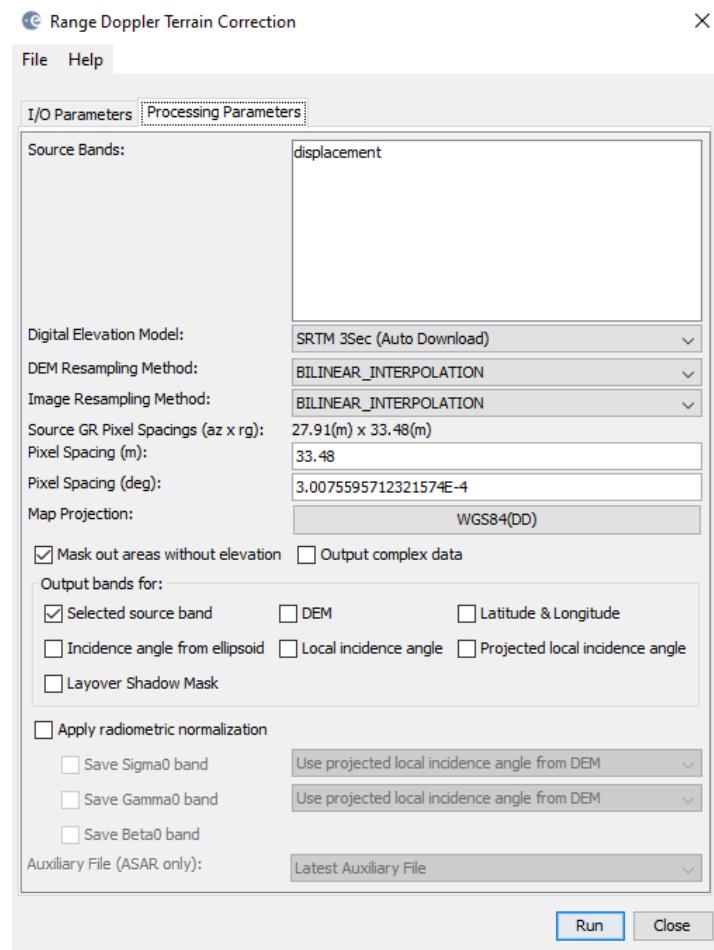
Per effettuare questa operazione si utilizza l'operatore Range Doppler Terrain Correction (Radar > Geometric > Terrain Correction). Come input si utilizza il prodotto risultante dal phase displacement.

Nella scheda Processing Parameters, si seleziona SRTM 1Sec HGT come input DEM.

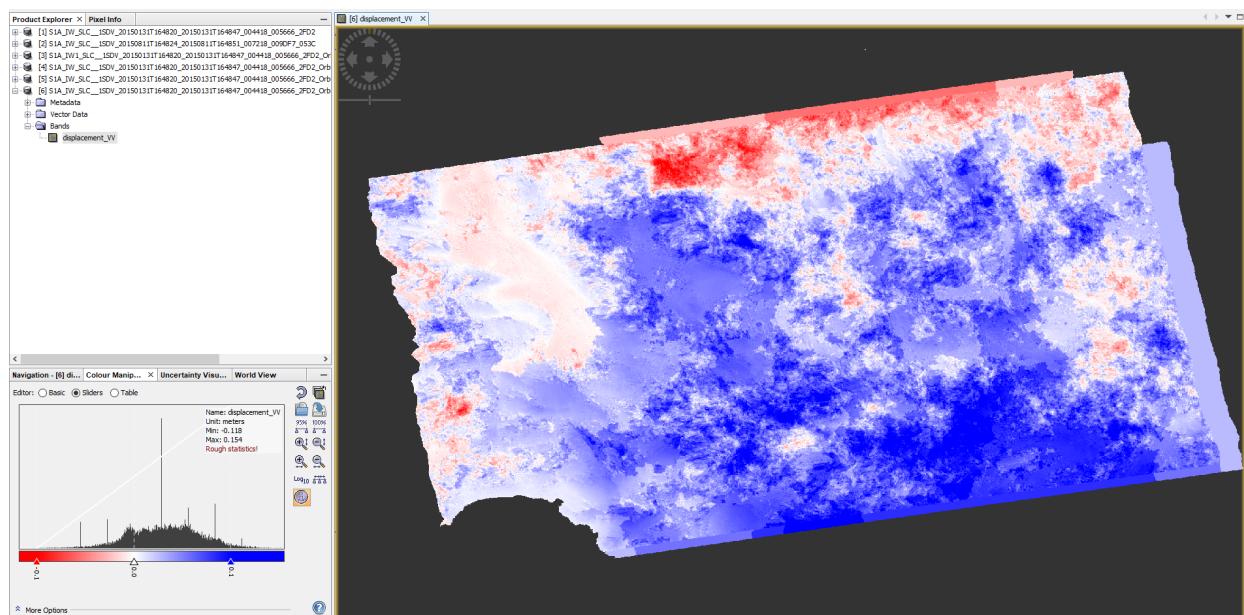
Si possono esportare i dati come file KMZ per visualizzarli in Google Earth selezionando WGS84 come Mappa di Proiezione.

Questa operazione si basa su coordinate geografiche, ossia la latitudine e la longitudine. Per l'uso successivo in un sistema informativo geografico (GIS), si può selezionare una proiezione di mappa metrica, come UTM.

Se non si selezionano le Source Band, tutte le bande dell'input vengono corrette geometricamente.



In questo caso è stata utilizzata una paletta di colori alternativa; gli spostamenti positivi vengono evidenziati dal colore blu, quelli negativi dal colore rosso e gli spostamenti neutri dal colore bianco.

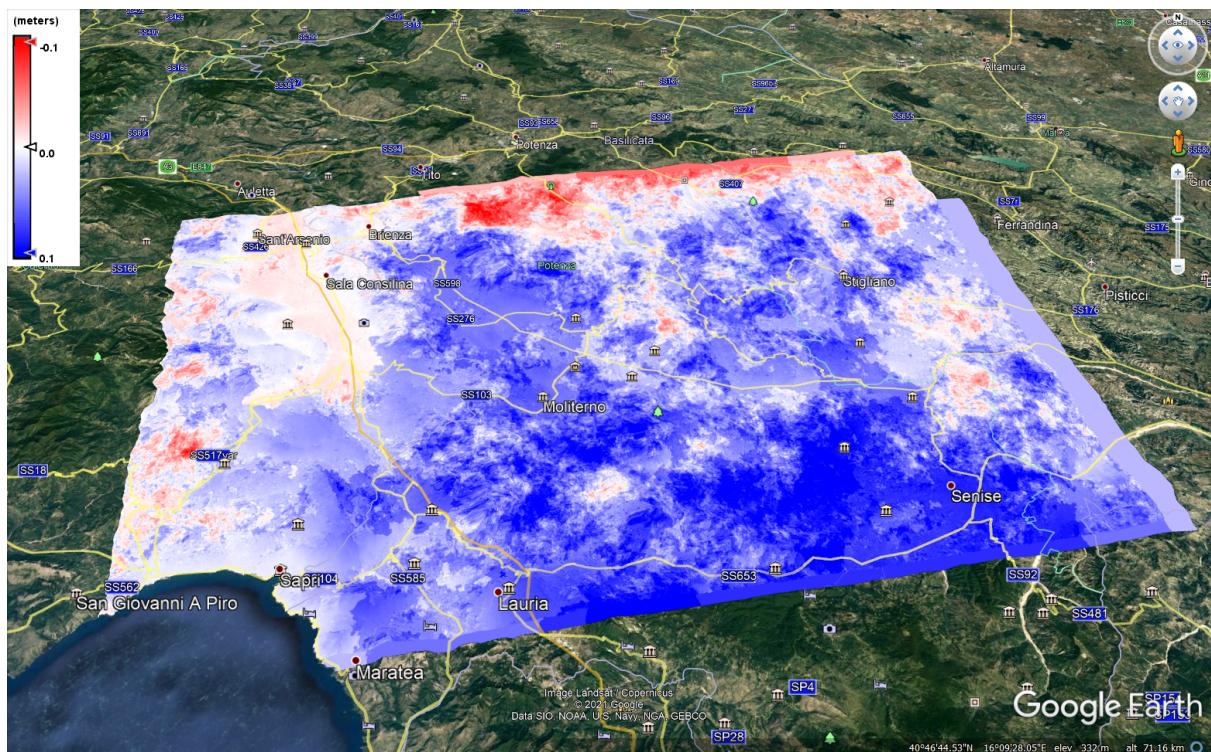


Esportazione in Google Earth

Tutti i prodotti geocodificati possono essere esportati come file KMZ per essere visualizzati in Google Earth.

Per effettuare l'export si seleziona File > Export > Other > View As Google Earth KMZ.

Si prosegue selezionando una directory di output e un nome per il file e si conferma con Safe. A questo punto è possibile aprire il file kmz in Google Earth per visualizzare la posizione dei modelli di spostamento sulla mappa di base dell'immagine satellitare.



Analisi temporale

Questa relazione ha mostrato come ottenere informazioni sullo spostamento della superficie a partire da una singola coppia di immagini di dati radar SLC.

Tuttavia, rimane poco chiaro quanto bene il risultato rappresenti le condizioni reali. Per minimizzare l'impatto dei disturbi della fase atmosferica e degli errori di unwrapping, sono state analizzate una serie di immagini in modo da ottenere un risultato più affidabile. Alcuni esempi dei risultati ottenuti sono i seguenti:

