

Remote Sensing per l'analisi dell'impatto ambientale in seguito alla pandemia di Covid-19

Università degli Studi di Roma Tor Vergata



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Remote Sensing and Cartography

Gianmarco Bencivenni

0285847

Sommario

Introduzione	2
1. Change Detection	3
Panoramica	3
Copernicus Sentinel 1 : Change Detection alle microonde – Ospedale di Leishenshan	3
Copernicus Sentinel 2 : Change Detection nella regione del visibile – Ospedali di Huoshenshan e di Leishenshan	5
Osservazioni	6
2. Impatto dell'inquinamento atmosferico sulla qualità della vegetazione	7
Una importante osservazione a priori	7
Panoramica	7
Copernicus Sentinel-5P: Inquinamento atmosferico nel 2019 e nel 2020 a Wuhan	7
Copernicus Sentinel 2: Incremento dell'indice NDVI per la vegetazione nell'area di Wuhan dal 2019 al 2020	9
Osservazioni e conclusioni	13

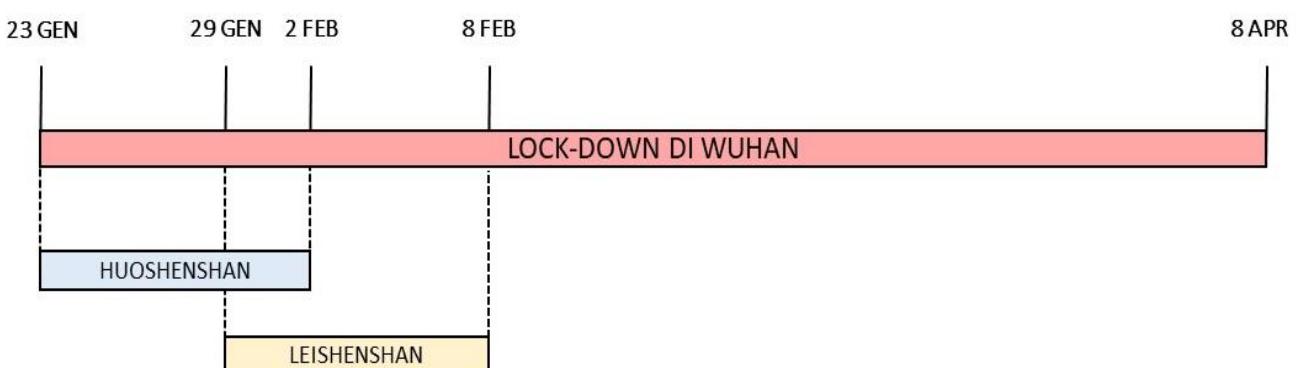
Introduzione

La ricerca si basa sull'utilizzo di strumenti di telerilevamento allo scopo di indagare su alcuni, significativi risvolti portati dalla pandemia del Covid19 sull'ambiente: a tal proposito, si è scelto di apportare indagini principalmente su due fronti distinti, sfruttando le caratteristiche dei sensori alle microonde (SAR), così come dei sensori ottici, nelle bande del visibile e dell'infrarosso.



Per motivi tecnici e di completezza si è scelto di applicare il lavoro di elaborazione dati su una stessa area d'interesse, ovvero la città di Wuhan, epicentro d'origine dell'epidemia da Coronavirus.

Si ritiene opportuno riportare una breve schematizzazione dei periodi temporali a cui si è fatto riferimento per questa ricerca, in particolare il periodo del lock-down per la città di Wuhan, e i periodi di costruzione degli ospedali di Huoshenshan e di Leishenshan.



A seguire, si descrivono in dettaglio le elaborazioni effettuate, nei due paragrafi rispettivamente dedicati alla *"Change Detection"* e all' *"Impatto dell'inquinamento atmosferico sulla qualità della vegetazione"*.

1. Change Detection

Panoramica

La prima indagine portata avanti è stata quella del rilevamento dei cambiamenti edilizi durante il periodo del lock-down. Per quanto possa apparire uno studio di poca rilevanza, è interessante soffermarsi a capire le motivazioni che hanno portato a questa scelta d'indagine.

Il periodo del lock-down ha confinato la popolazione cinese nelle proprie abitazioni, bloccando così le attività industriali, di edilizia e molte altre ancora, e minimizzando il traffico stradale e marittimo.

Proprio per questo motivo, utilizzando le immagini SAR di *Copernicus Sentinel 1*, è stato possibile monitorare il traffico fluviale, così come l'avanzamento nella costruzione degli ospedali da campo che sono stati rapidamente costruiti per accogliere l'imponente numero di contagiati dal virus.

L'utilizzo dei dati SAR si è rivelata una tecnica vincente, poiché sfruttando l'effetto del *double-bouncing* dovuto alla presenza di pareti verticali, si è potuto evidenziare, su un'immagine di coerenza interferometrica, un picco significativo nel coefficiente di back-scattering, in corrispondenza delle esatte coordinate geografiche dell'ospedale di Leishenshan (Wuhan).

Copernicus Sentinel 1 : Change Detection alle microonde – Ospedale di Leishenshan

Per quanto concerne la detection basata su immagini SAR, si è scelto di operare su un sottoinsieme dei pixel dell'immagine grezza. In particolare, la change detection alle microonde è stata effettuata esclusivamente per l'ospedale di Leishenshan, costruito tra il 29 e l'8 febbraio 2020.

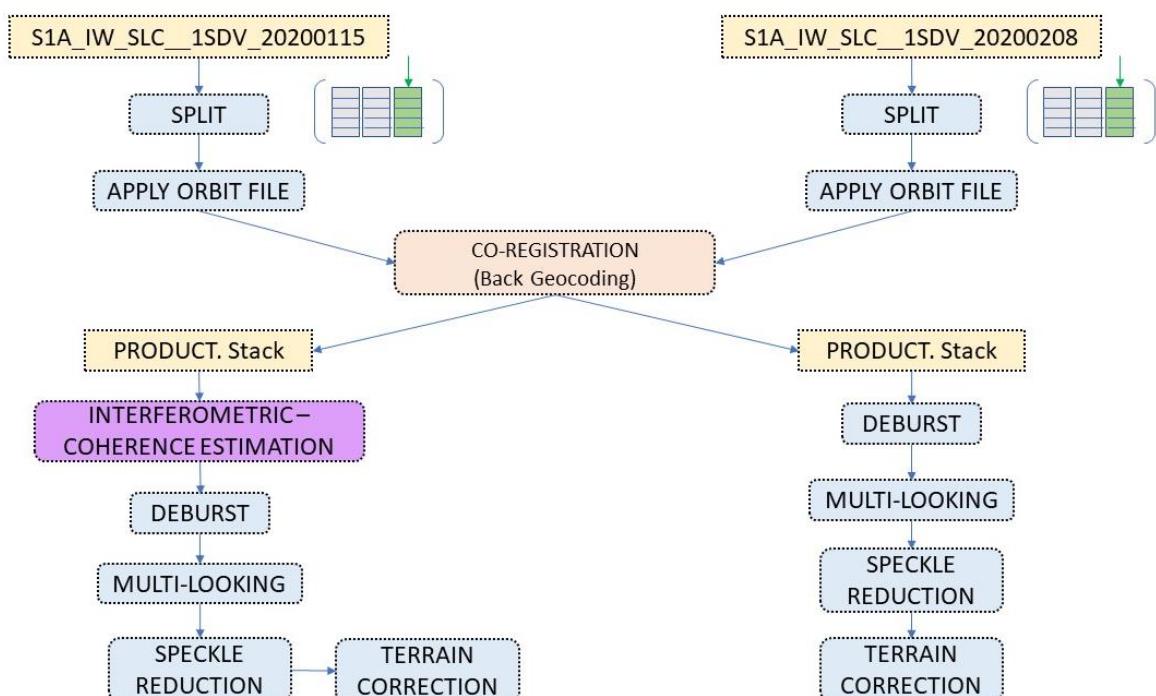
La scelta di applicare le operazioni di pre-processing e le successive elaborazioni ad un sottoinsieme dell'immagine totale è legata a due motivi principali:

- 1) La potenza computazionale limitata della macchina ospite: lavorare su un sottoinsieme di pixel agevola la lavorazione in termini di prestazioni.
- 2) La struttura dell'immagine SAR Sentinel 1 presenta una divisione in 3 fasce di acquisizione, e per poter lavorare sulla coerenza interferometrica (e quindi co-registrare diverse acquisizioni) è necessario lavorare sulle singole strips.

Ad ogni modo, lo stesso tipo di processamento adottato può essere ripetuto per qualsiasi acquisizione ed ha validità generale. Si procede ora con la descrizione delle elaborazioni applicate per ottenere il prodotto finale.

Le immagini SAR Sentinel 1 sono state ottenute dalla piattaforma open source *Copernicus open access hub*. Per un'analisi di coerenza interferometrica, è stato necessario utilizzare due acquisizioni, con date rispettivamente 15/01/2020 e 08/02/2020, ovvero prima e dopo la costruzione degli ospedali.

La catena di processamento adottata a partire dalle suddette immagini è descritta dal seguente schema:



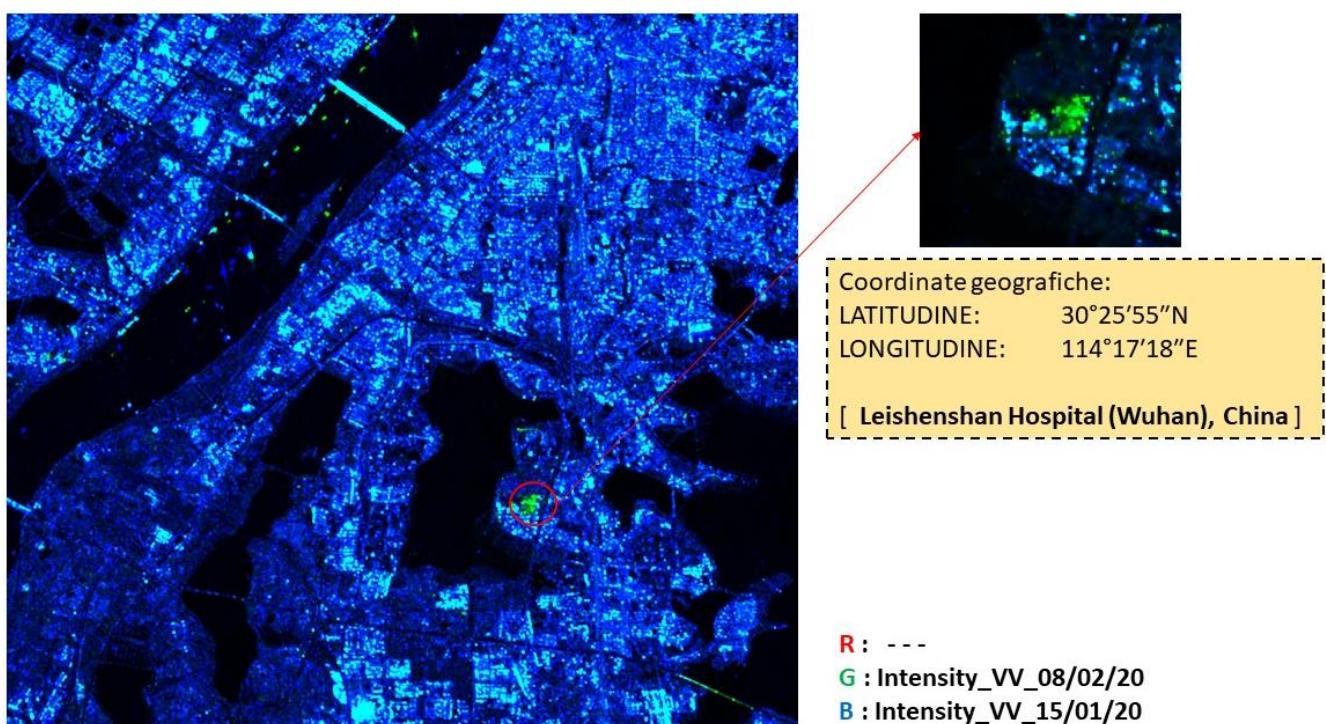
La co-registrazione ha permesso di combinare le bande del prodotto del 15/01 con quelle del prodotto del 8/02. Sono state mantenute esclusivamente le bande relative all'intensità dell'onda retro-diffusa, nella componente di polarizzazione verticale (Intensity VV), data la particolare sensibilità alle superfici verticali, mentre sono stati tralasciati i termini di fase e la polarizzazione VH.

A partire dal prodotto così ottenuto, sono state effettuate due distinte elaborazioni:

- La creazione di una immagine di coerenza interferometrica, a cui si è applicato *multi-looking* e *debursting*, ottenendo il risultato a seguire, su cui sono stati ulteriormente applicati *speckle reduction* e *terrain correction*. In questa immagine a scala di grigi, le gradazioni di bianco indicano forte coerenza tra le due acquisizioni, mentre quelle del nero indicano bassa coerenza.



- Il *debursting*, *multi-looking*, *speckle reduction* e *terrain correction* del prodotto stesso, per ottenere le immagini di intensità_VV PRE e POST la costruzione degli ospedali. In questo ultimo caso, è stato sufficiente costruire un'immagine *RGB false-color-composite* per ottenere un'immagine di coerenza, che mettesse in risalto la presenza di nuove strutture verticali (GREEN) rispetto al terreno piano che c'era in precedenza (i colori sono stati manipolati per enfatizzare questo effetto).

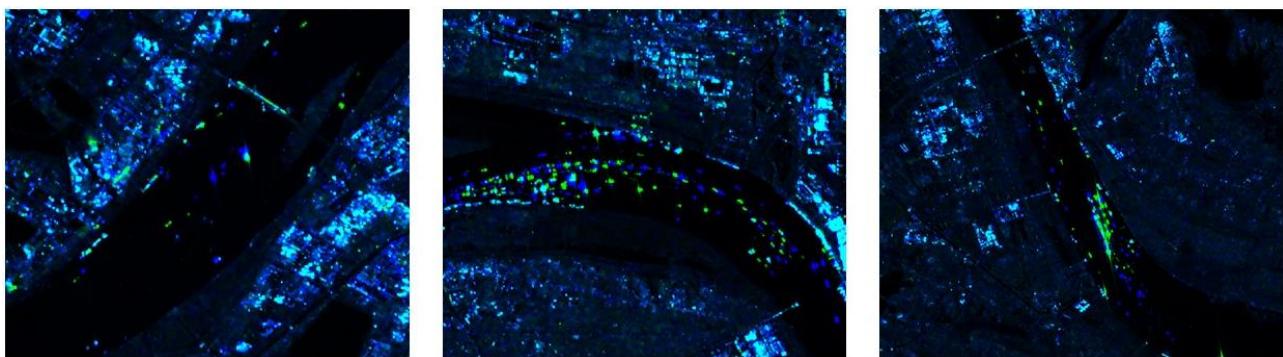


È interessante notare come la procedura adottata ha agito anche da *ship-detection*.
Guardando al traffico fluviale, infatti, è possibile distinguere:

- in “blu acceso” le imbarcazioni che erano presenti il 15 Gennaio, ma non lo erano (nello stesso pixel!) l’8 Febbraio;
- in “verde acceso” le imbarcazioni che erano presenti l’8 Febbraio, ma non il 15 Gennaio.

In linea generale, un’applicazione possibile potrebbe essere proprio il conteggio/tracciamento delle imbarcazioni per il controllo del traffico fluviale, in particolare durante situazioni d’emergenza come il lock-down.

Si riporta un subset del fiume con presenza di imbarcazioni:



Copernicus Sentinel 2 : Change Detection nella regione del visibile – Ospedali di Huoshenshan e di Leishenshan

La potenza della change detection alle microonde è perlopiù quella di riuscire a localizzare con semplicità i cambiamenti che vengono apportati a terra, senza conoscere le esatte coordinate di ognuno di essi, e senza incorrere a problematiche legate alla presenza di nubi.

Nell’effettuare change detection nella regione del visibile, d’altra parte, risulta più complessa la discriminazione delle aree soggette a cambiamenti:

- La copertura nuvolosa può portare ad acquisire dati non utilizzabili
- Senza conoscere l’esatta posizione della verità a terra, è più difficile costruire algoritmi efficaci di riconoscimento. Per completare il lavoro di change detection, tuttavia, si è scelto di monitorare l’evoluzione delle costruzioni dei due ospedali a partire dalle loro esatte coordinate geografiche.

È pertanto bastato applicare un *Subset* ed effettuare il *Resampling* a 10m di risoluzione per riuscire nell’intento, prendendo immagini Sentinel 2 dal Copernicus open access hub.

Di seguito, i risultati delle elaborazioni:

Ospedale di Huoshenshan, 3 acquisizioni sequenziali.



Ospedale di Leishenshan, 3 acquisizioni sequenziali.



Osservazioni

Algoritmi di change detection possono risultare utili in una vasta gamma di applicazioni.

In questo caso, il monitoraggio della costruzione di ospedali si è ben adattato alla fase di chiusura per il lock-down, e può chiaramente essere applicato su tutti i paesi che sono rimasti chiusi per un certo periodo.

Per quanto riguarda le specifiche delle acquisizioni, si è fatto uso di:

- Dati SAR *Copernicus Sentinel-1A* di Livello 1 di processamento, *SLC* (*Single Look Complex*), con metodo di acquisizione *IW* (*Interferometric Wide Swath*), aventi una risoluzione spaziale compresa tra 2.7x22 m e 3.5x22 m.

- Dati ottici *Copernicus Sentinel-2A_MSI* di livello di processamento 2A, aventi una risoluzione spaziale di 10 metri per le bande B2, B3, B4, B8.

2. Impatto dell'inquinamento atmosferico sulla qualità della vegetazione

Una importante osservazione a priori

L'argomento di questa seconda indagine è particolarmente interessante, sebbene venga trattato sullo strato più "superficiale" di quella che potrebbe essere una ricerca di "grande portata": è d'obbligo precisare che gli studi e le elaborazioni effettuate nell'ambito di questo progetto non possono esser considerate sufficienti a validare i risultati ottenuti. Tuttavia, con la consapevolezza di dover scavare più a fondo, si introduce quest'idea d'indagine, di cui i primi risultati sembrano "promettere bene".

Panoramica

Con il termine "inquinamento atmosferico" si fa riferimento alla presenza di sostanze più o meno tossiche nel livello più basso dell'atmosfera, la troposfera.

Strumenti a bordo delle missioni satellitari come *Copernicus Sentinel-5P* aiutano ad effettuare indagini che si fondano sulle concentrazioni atmosferiche degli agenti inquinanti, quali NO₂, SO₂ e via discorrendo. La presenza di agenti inquinanti nella troposfera è un danno per gli esseri viventi, animali e vegetali, che popolano la terra.



Tra le specie viventi, è la vegetazione l'organismo più fortemente colpito dall'inquinamento atmosferico.

È proprio per questo motivo che, approfittando del periodo di lock-down, in cui le concentrazioni di Diossido di Azoto (NO₂) e di Anidride solforosa (SO₂) sono calate a picco, è stato possibile condurre uno studio per comprendere se e quanto velocemente la qualità della vegetazione dimostri un incremento significativo al minimizzarsi dell'inquinamento atmosferico.

La ricerca è strutturata come un confronto tra i primi semestri degli anni 2019 e 2020:

- mese per mese, si è monitorato e confrontato l'andamento medio della densità colonnare di NO₂ e di SO₂ (mol/m²).
- nei mesi corrispondenti al lock-down, si è misurata e confrontata la crescita dell'indice NDVI per la "maschera di vegetazione" della città di Wuhan.

Copernicus Sentinel-5P: Inquinamento atmosferico nel 2019 e nel 2020 a Wuhan

Per l'analisi atmosferica, si è utilizzato il servizio online di *Google Earth Engine*, nella sezione dei dati ottenuti tramite *Copernicus Sentinel 5P (Tropomi)*, per analizzare le concentrazioni di NO₂ e di SO₂ nei periodi di riferimento.

Applicando specifici script in linguaggio JavaScript sul Code Editor di GEE si è potuto acquisire gli output desiderati nella regione d'interesse. A seguire, i risultati ottenuti:

▪ CONCENTRAZIONI DI NO₂

```
var collection =
ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_NO2')
.select('NO2_column_number_density')
.filterDate('2019-06-01', '2019-06-06');

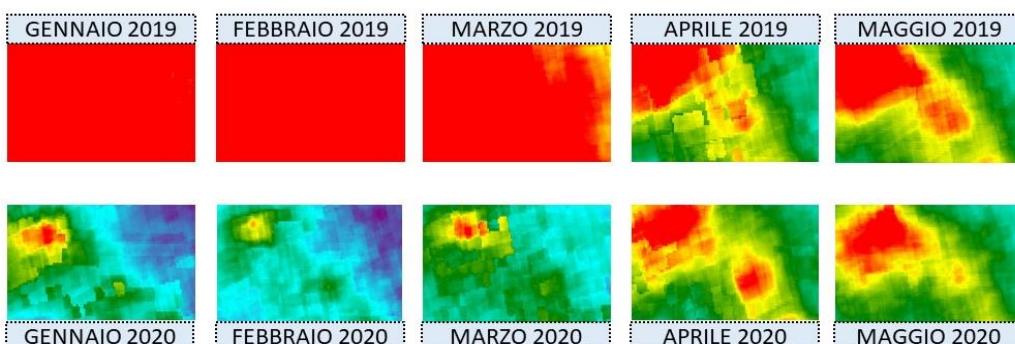
var band_viz = {
  min: 0,
  max: 0.0002,
  palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan',
  'green', 'yellow', 'red']
};
```

S5P N02 visualization parameters

1 band (Grayscale) 3 bands (RGB)
NO2_column_number_density

Range
0 - 0.0002 Custom

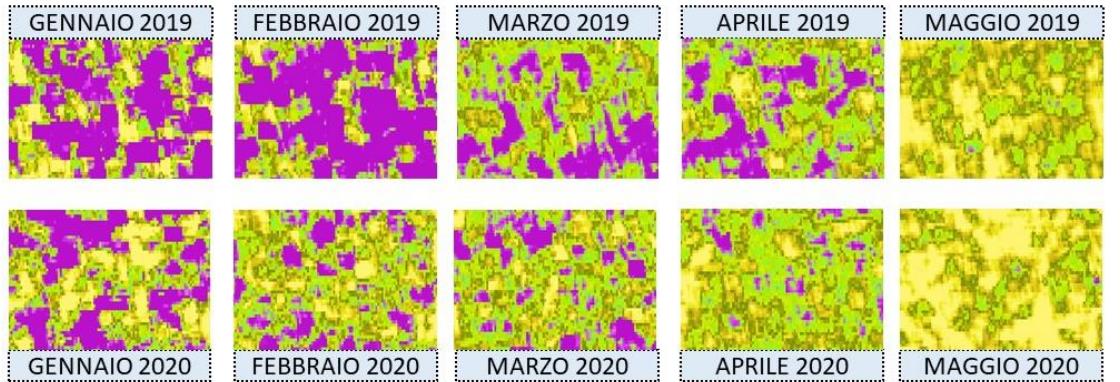
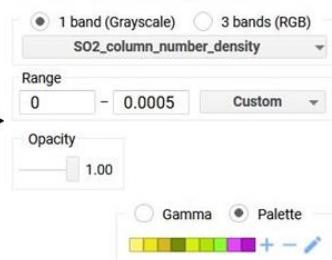
Opacity
1.00 Gamma Palette



- CONCENTRAZIONI DI SO₂

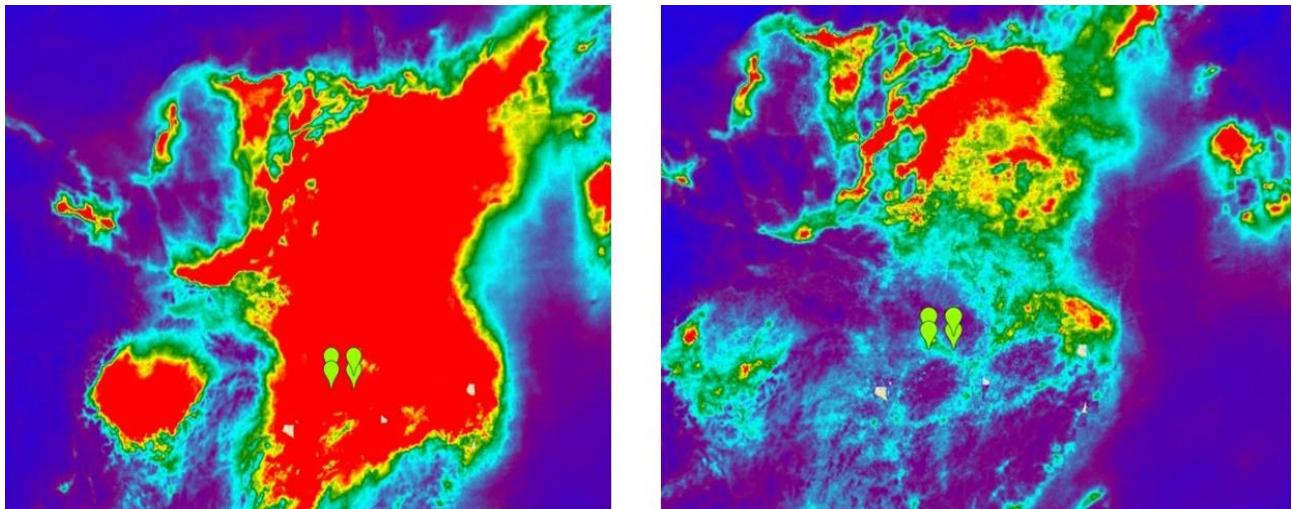
```
var collection =
ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_SO2')
.select('SO2_column_number_density')
.filterDate('2019-04-01', '2019-05-11');

var band_viz = {
min: 0.0,
max: 0.0005,
palette: ['ffff572', 'ede813', 'd7b919', '778d03',
'd6f10b', 'b4e304', '8eff2c', 'e447ff', 'ba12cc']
};
```

S5P SO₂ visualization parameters

Come si può interpretare dalle mappe, che mostrano l’andamento medio mensile per la densità colonnaire degli agenti inquinanti (mol/m²) nell’area di Wuhan e dintorni, l’avvento del Covid-19 ha influito pesantemente sui valori delle emissioni di questi gas, registrando una significativa diminuzione nei mesi del lock-down.

È anche interessante confrontare su scala più ampia i valori medi di emissione di NO₂ nel semestre Gennaio-Giugno del 2019 e 2020, prendendo come riferimento la mappa della Cina orientale (comprendendo anche la città di Wuhan, denotata dai pins in verde sui grafici):



Una variazione così drastica di agenti inquinanti potrebbe essere stata in grado di portare risvolti positivi e misurabili anche su grandezze fisiche correlate in modo “indiretto”, come ad esempio un miglioramento nella vitalità delle piante. Misurare campioni significativi sulla qualità della vegetazione nelle zone del mondo più tipicamente sottoposte ad inquinamento atmosferico può rappresentare una buona tecnica per validare questa ipotesi.

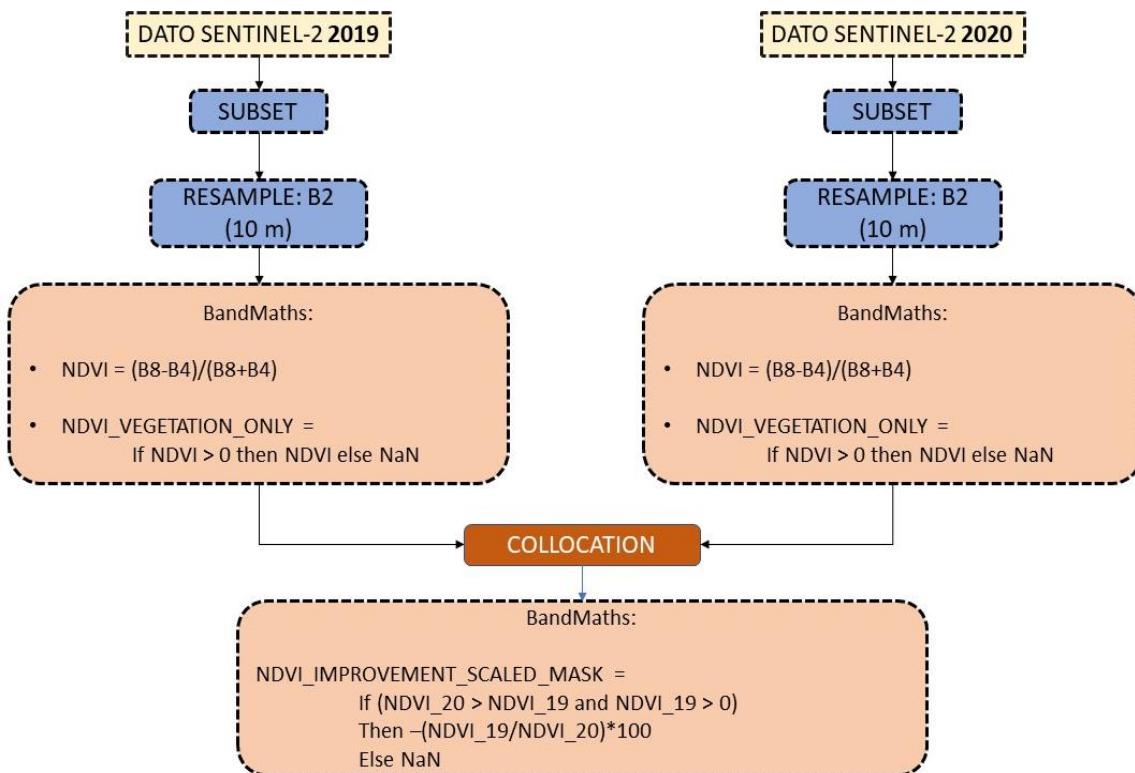
Copernicus Sentinel 2: Incremento dell'indice NDVI per la vegetazione nell'area di Wuhan dal 2019 al 2020

Alla luce dello studio sull'inquinamento atmosferico, si è studiato l'incremento della qualità della vegetazione dall'anno 2019 al 2020, nei mesi del lock-down, per la città di Wuhan.

La maggiore difficoltà è stata quella di reperire dati inerenti agli anni passati:

- Inizialmente, lo studio avrebbe previsto non soltanto il confronto dei dati attuali con i dati del 2019, bensì anche con quelli del 2018 e del 2017. Non è tuttavia stato possibile reperire dati antecedenti al 2019, in quanto attualmente non disponibili al download sulla piattaforma *Copernicus open access hub*. Ad ogni modo, qualora dovessero tornare disponibili, ripetere i procedimenti che sono stati seguiti per questa indagine migliorerebbe di molto la qualità della ricerca, e potrebbe validare i risultati ottenuti.
- Dati significativi sono stati ottenuti ed elaborati per i soli mesi di Marzo, Aprile e Giugno 2019/2020. Il problema di reperire dati utili per gli altri mesi è dovuto al fatto che la città di Wuhan è una zona che mediamente "soffre" di una forte copertura nuvolosa, il che rende i dati ottici per lo studio del suolo inutilizzabili.

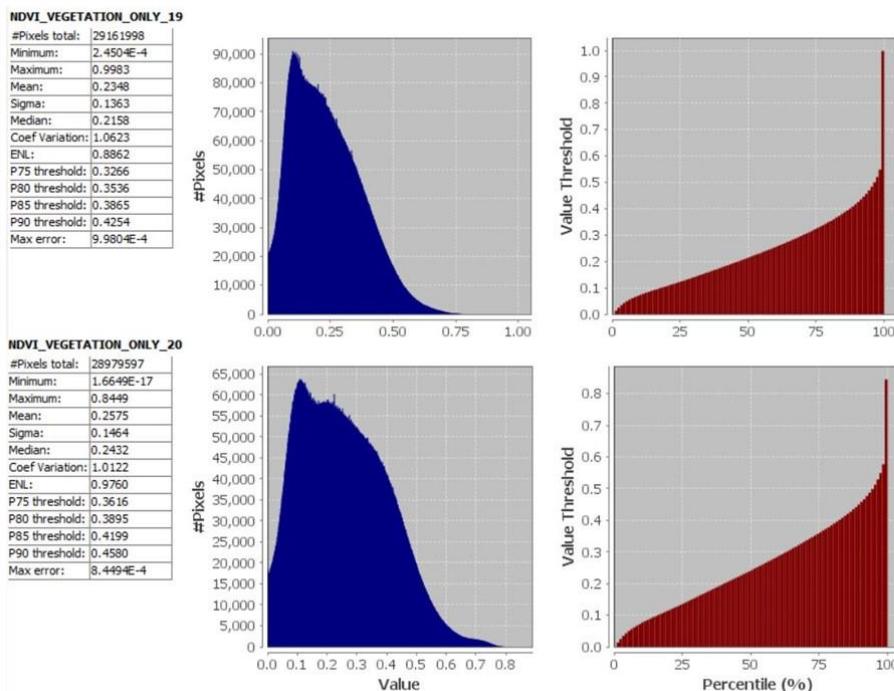
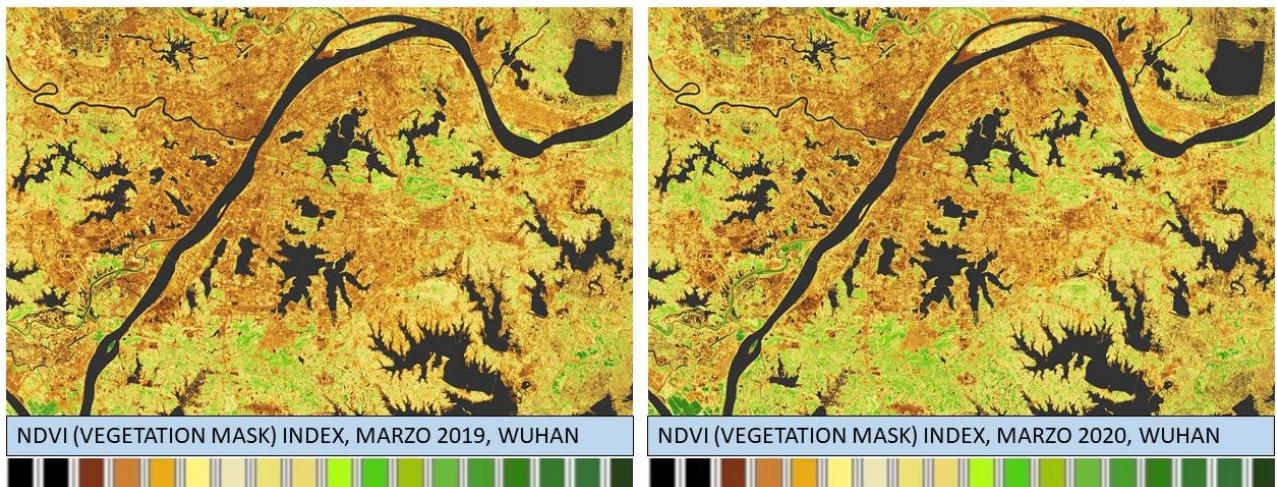
Si descrive ora l'elaborazione dei dati acquisiti, partendo dallo schema di processing ad essi applicato.



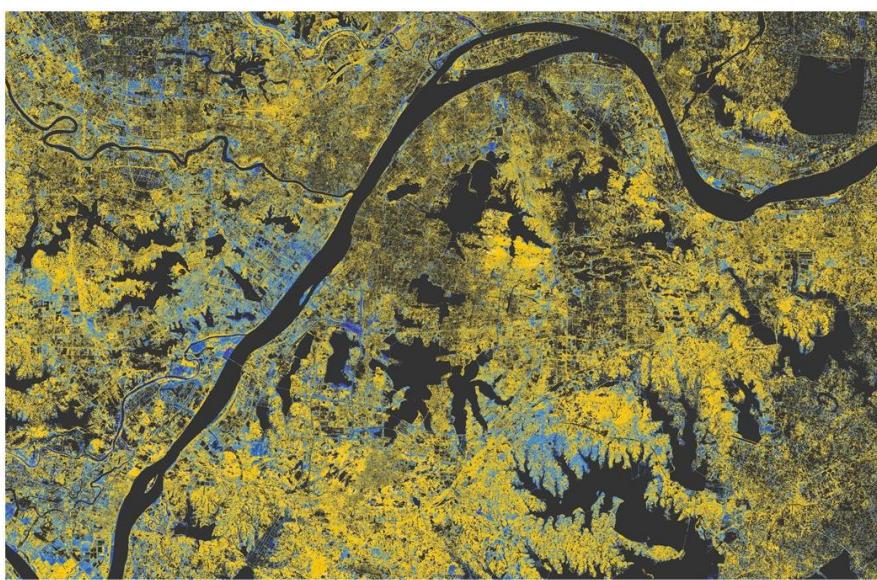
- Ai dati acquisiti si è applicato dapprima un *Subset*, per far fuoco sull'area di Wuhan e mantenere i dati delle sole bande d'interesse; poi il *Resampling* con riferimento alla banda del blu (B2, risoluzione di 10 m).
- Per ogni prodotto, è stata computata la banda NDVI_VEGETATION_ONLY, che rappresenta una maschera per i pixel con NDVI superiore a 0 (approssimativamente, si va ad eliminare il contributo degli oggetti inanimati ma senza escludere una fetta importante di vegetazione). L'obiettivo è di effettuare statistiche sui soli dati della vegetazione, misurare i valori medi e stimare l'entità dell'incremento.
- A seguire, si opera una *Collocation* tra le acquisizioni dello stesso mese a distanza di 1 anno, per costruire la banda NDVI_IMPROVEMENT_SCALED_MASK. Tale banda, la cui espressione è stata esplicitata nello schema, si è modellata in modo da rappresentare l'intensità dell'incremento dell'indice NDVI di ogni pixel (solo se si sia verificato effettivamente un incremento), in una scala crescente che va da -100 a 0.

Si rappresentano a seguire i risultati delle elaborazioni per i mesi di Marzo, Aprile, Giugno.

❖ Incremento dell'indice NDVI: Marzo 2019 – Marzo 2020



STATISTICHE MARZO 2019/20 NDVI VEGETAZIONE WUHAN	
Media 2019	0.2348
Media 2020	0.2575
Incremento	0.0227
Percentuale Incremento	9.67 %



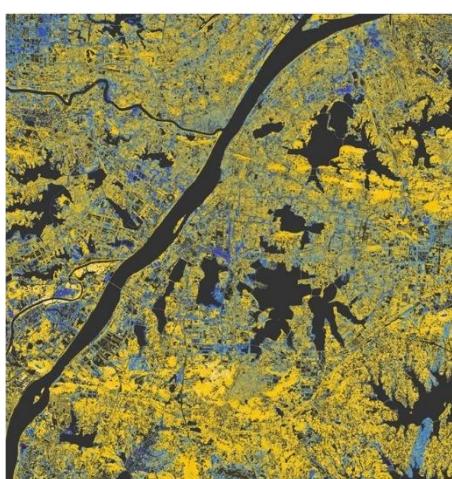
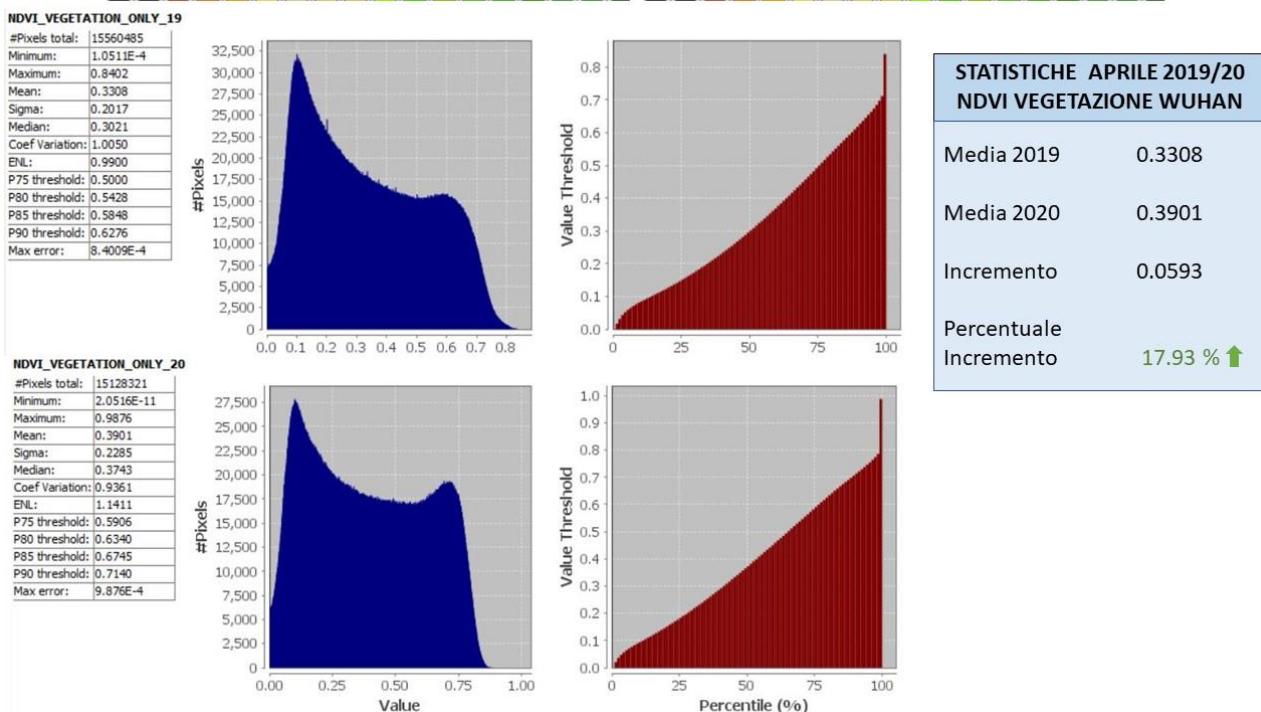
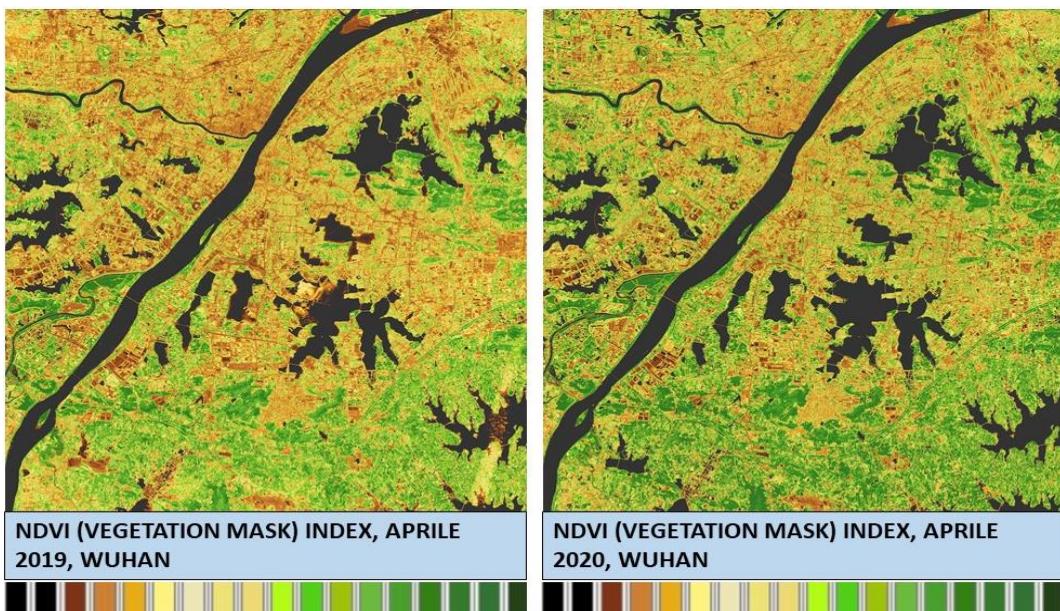
NDVI_IMPROVEMENT_MASK

Pixel colors

- Nero: NaN (no incremento)
- Giallo: incremento medio-basso
- Blu: incremento medio-alto
- Più scuro blu: incremento molto alto

9.67 %

❖ Incremento dell'indice NDVI: Aprile 2019 – Aprile 2020



NDVI_IMPROVEMENT_MASK

Pixel colors

Nero: NaN (no incremento)

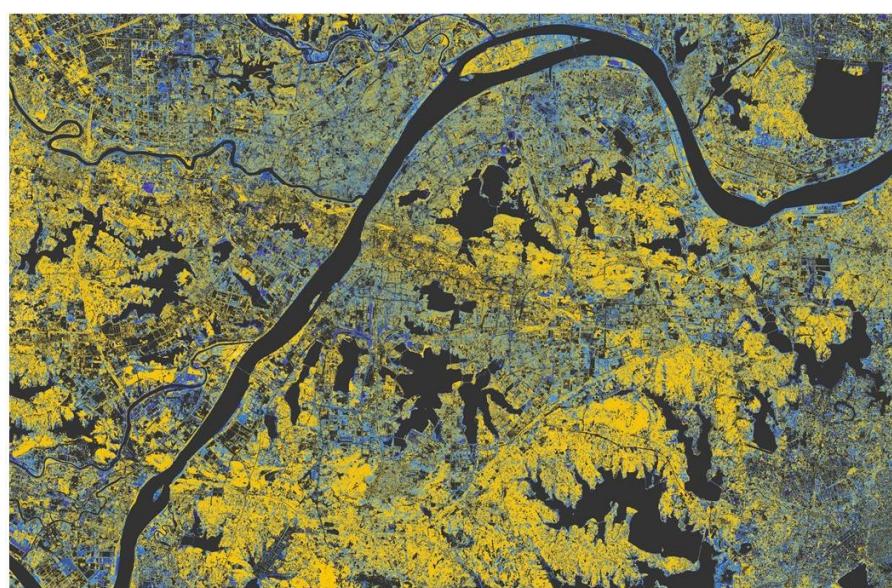
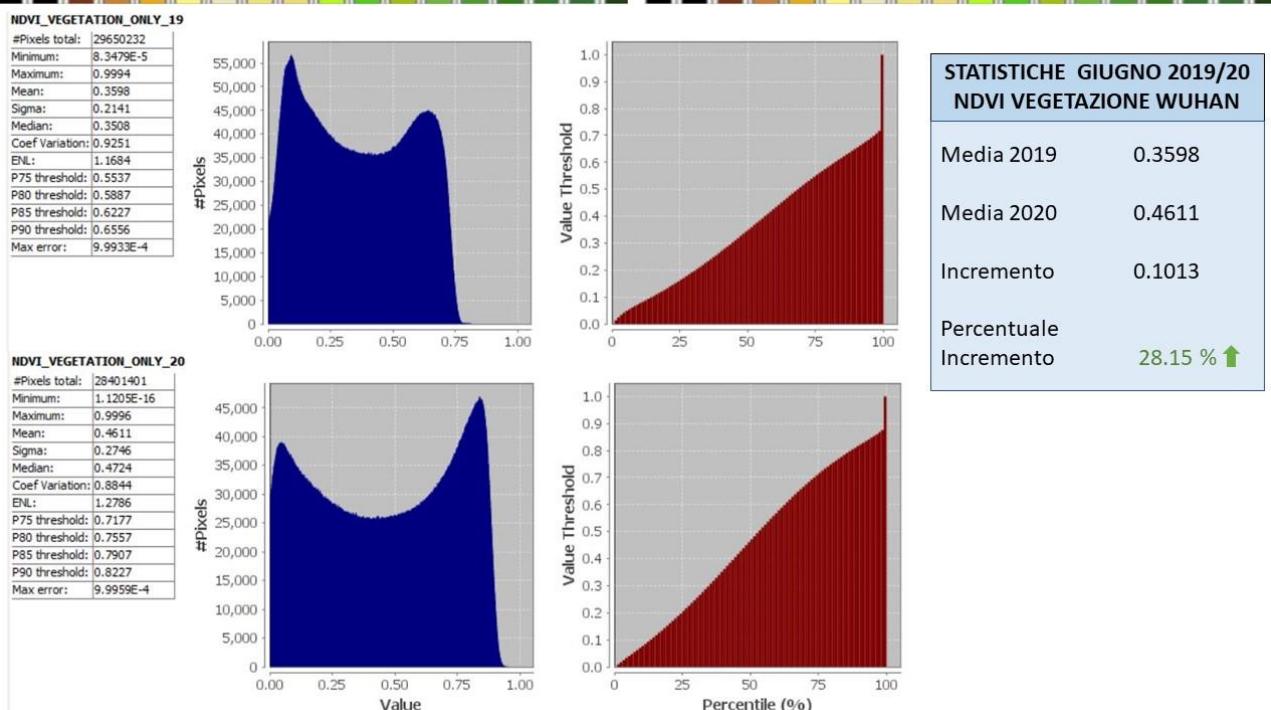
Giallo: incremento medio-basso

Blu: incremento medio-alto

Viola: incremento molto alto

17.93 %

❖ Incremento dell'indice NDVI: Giugno 2019 – Giugno 2020



NDVI_IMPROVEMENT_MASK

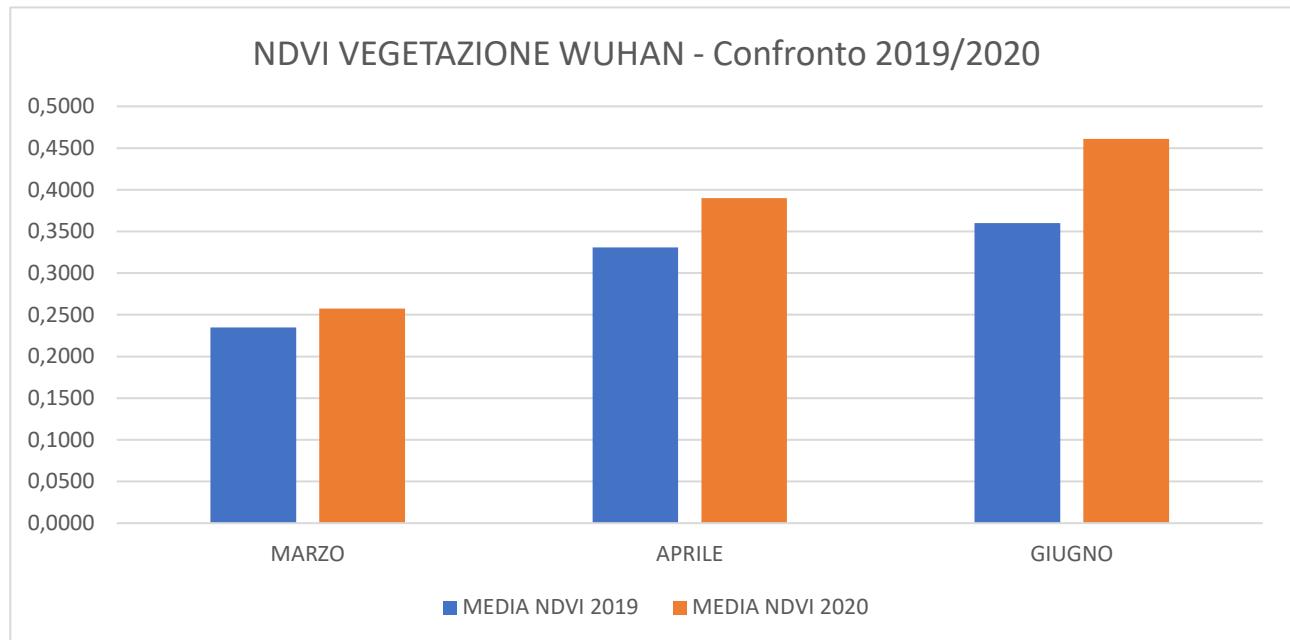
Pixel colors

- Nero: NaN (no incremento)
- Giallo: incremento medio-basso
- Blu: incremento medio-alto
- Viola: incremento molto alto

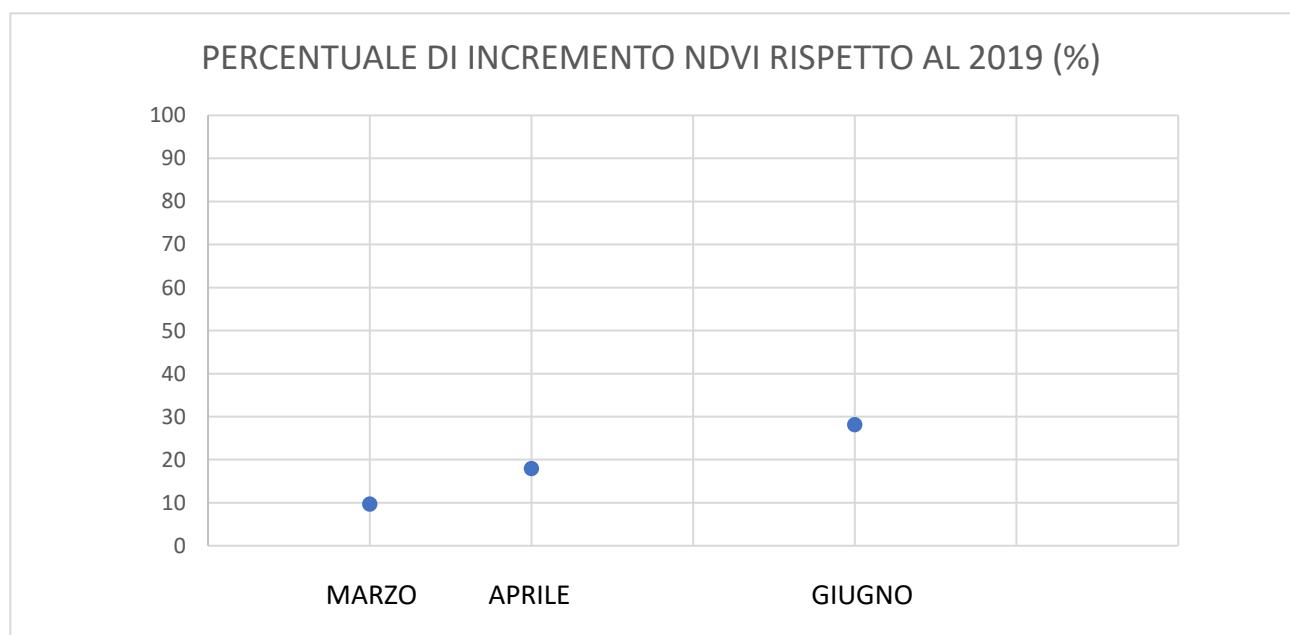
28.15 %

Osservazioni e conclusioni

L'analisi effettuata mostra un effettivo incremento della qualità della vegetazione in corrispondenza dei mesi centrali e successivi al lock-down della città di Wuhan. Si riassumono le statistiche del valor medio di NDVI misurato per la maschera di vegetazione:



- Ciò che salta all'occhio è senz'altro l'andamento del grafico.
Rapportandosi a quanto evidenziato dallo studio atmosferico, i mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo sono stati quelli con minore inquinamento atmosferico ($\text{NO}_2 + \text{SO}_2$) rispetto all'anno 2019.
Nel mese di maggio e l'inizio di giugno, inoltre, si è comunque registrato valore molto basso per le emissioni di SO_2 , che è classificato tra i gas più nocivi per la vegetazione.
Per fare un'approssimazione, e interpolando i dati raccolti dai tre mesi, l'andamento del grafico della percentuale di incremento è circa rettilineo (tende al logaritmico): ciò implicherebbe che la percentuale mensile di incremento di NDVI rispetto al 2019 sia tutt'ora in aumento.



- L'aspetto più sorprendente, in realtà, è l'entità dell'incremento che si è già potuta registrare: a circa tre mesi e mezzo dall'inizio del lock-down, la qualità della vegetazione nella città (e periferia) di Wuhan è aumentata di circa il 30% rispetto all'anno scorso.
- Il risultato è davvero promettente, poiché un incremento di tale portata in corrispondenza di una così brusca anomalia ambientale sembra palesarne il collegamento, e potrebbe essere uno spunto per continuare questo genere di ricerca, validandone o ridimensionando i risultati.

Come già detto in precedenza, i risultati ottenuti sono frutto di una deduzione, non essendo stati dimostrati attraverso formule dirette, né validati da una adeguata quantità di dati empirici: di fatto, questo forte aumento di qualità della vegetazione potrebbe dipendere da molti altri fattori, perlopiù climatici.

A tal proposito, si ritiene opportuno fornire una quadro qualitativo della variazione climatica nei pressi della città di Wuhan, soffermandosi sull'indice della temperatura.

Di seguito, si forniscono i valori medi delle temperature mensili registrate per la città di Wuhan, e si comparano con i rispettivi valori di temperatura misurati per il 2020: questi ultimi dati sono stati scaricati in formato *.NetCDF* dalla piattaforma online *Copernicus Climate Data Store*, dal dataset *ERA-5 Land*, e successivamente elaborati ed analizzati in SNAP.

Temperature medie mensili registrate - Wuhan

	Temperatura massima (°C)	Medie Temperatura (°C)	Temperatura minima (°C)	Precipitazioni (mm)
Gennaio	7.8	4	0.3	38
Febbraio	9.3	5.6	2	52
Marzo	14.6	10.5	6.4	93
Aprile	21.1	16.8	12.5	144
Maggio	26.6	22.3	18	173
Giugno	30.4	26.4	22.4	225
Luglio	33.3	29.4	25.6	172
Agosto	33.4	29.4	25.4	107
Settembre	28.5	24.3	20.2	75
Ottobre	22.8	18.6	14.5	77
Novembre	16.5	12.3	8.2	50
Dicembre	10.3	6.3	2.4	30

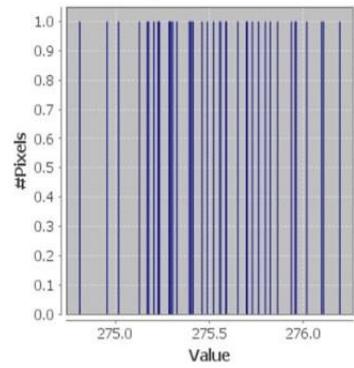
$$T(\text{gennaio 2020}) = 4.8 \text{ °C}$$

$$T(\text{gennaio_media}) = 4 \text{ °C}$$

$$\Delta T = 0.8 \text{ °C}$$

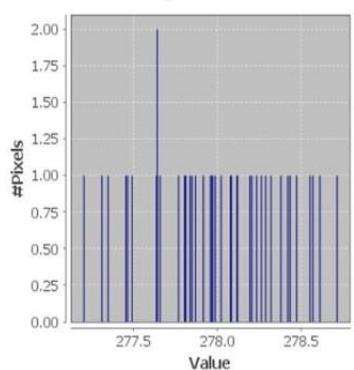
MEAN_TEMPERATURE_19	
#Pixels total:	40
Minimum:	274.8064
Maximum:	276.1924
Mean:	275.5244
Sigma:	0.3383
Median:	275.5028
Coef Variation:	0.0024
ENL:	170037.3236
P75 threshold:	275.7586
P80 threshold:	275.8209
P85 threshold:	275.9332
P90 threshold:	275.9581
Max error:	0.0014

Dettaglio Gennaio 2019



MEAN_TEMPERATURE_20	
#Pixels total:	40
Minimum:	277.2014
Maximum:	278.7113
Mean:	277.9887
Sigma:	0.3840
Median:	277.9760
Coef Variation:	0.0027
ENL:	134389.6401
P75 threshold:	278.2583
P80 threshold:	278.3157
P85 threshold:	278.4154
P90 threshold:	278.4682
Max error:	0.0015

Dettaglio Gennaio 2020



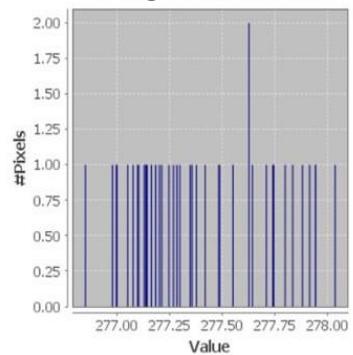
Temperature medie mensili registrate - Wuhan

	Temperatura massima ("C)	Medie Temperatura ("C)	Temperatura minima ("C)	Precipitazioni (mm)
Gennaio	7.8	4	0.3	38
Febbraio	9.3	5.6	2	52
Marzo	14.6	10.5	6.4	93
Aprile	21.1	16.8	12.5	144
Maggio	26.6	22.3	18	173
Giugno	30.4	26.4	22.4	225
Luglio	33.3	29.4	25.6	172
Agosto	33.4	29.4	25.4	107
Settembre	28.5	24.3	20.2	75
Ottobre	22.8	18.6	14.5	77
Novembre	16.5	12.3	8.2	50
Dicembre	10.3	6.3	2.4	30

MEAN_TEMPERATURE_19

#Pixels total:	40
Minimum:	276.8472
Maximum:	278.0349
Mean:	277.3984
Sigma:	0.3244
Median:	277.3211
Coef Variation:	0.0023
ENL:	187424.9086
P75 threshold:	277.6406
P80 threshold:	277.7368
P85 threshold:	277.7961
P90 threshold:	277.8781
Max error:	0.0012

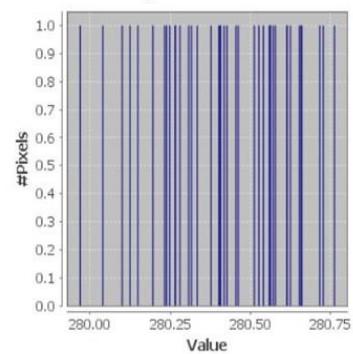
Dettaglio Febbraio 2019



MEAN_TEMPERATURE_20

#Pixels total:	40
Minimum:	279.9671
Maximum:	280.7619
Mean:	280.4204
Sigma:	0.2021
Median:	280.4217
Coef Variation:	0.0014
ENL:	493555.4025
P75 threshold:	280.5696
P80 threshold:	280.6125
P85 threshold:	280.6236
P90 threshold:	280.6570
Max error:	7.9483E-4

Dettaglio Febbraio 2020



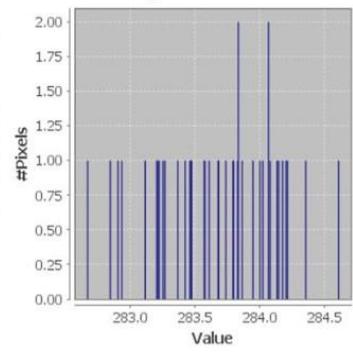
Temperature medie mensili registrate - Wuhan

	Temperatura massima ("C)	Medie Temperatura ("C)	Temperatura minima ("C)	Precipitazioni (mm)
Gennaio	7.8	4	0.3	38
Febbraio	9.3	5.6	2	52
Marzo	14.6	10.5	6.4	93
Aprile	21.1	16.8	12.5	144
Maggio	26.6	22.3	18	173
Giugno	30.4	26.4	22.4	225
Luglio	33.3	29.4	25.6	172
Agosto	33.4	29.4	25.4	107
Settembre	28.5	24.3	20.2	75
Ottobre	22.8	18.6	14.5	77
Novembre	16.5	12.3	8.2	50
Dicembre	10.3	6.3	2.4	30

MEAN_TEMPERATURE_19

#Pixels total:	40
Minimum:	282.6653
Maximum:	284.6033
Mean:	283.6608
Sigma:	0.4511
Median:	283.7041
Coef Variation:	0.0031
ENL:	101421.6500
P75 threshold:	284.0161
P80 threshold:	284.0607
P85 threshold:	284.1266
P90 threshold:	284.1692
Max error:	0.0019

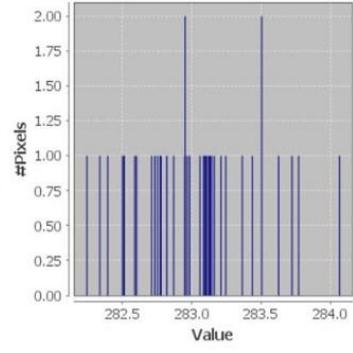
Dettaglio Marzo 2019



MEAN_TEMPERATURE_20

#Pixels total:	40
Minimum:	282.2412
Maximum:	284.0639
Mean:	283.0069
Sigma:	0.4082
Median:	282.9812
Coef Variation:	0.0028
ENL:	123154.8821
P75 threshold:	283.1580
P80 threshold:	283.2419
P85 threshold:	283.4332
P90 threshold:	283.5007
Max error:	0.0018

Dettaglio Marzo 2020

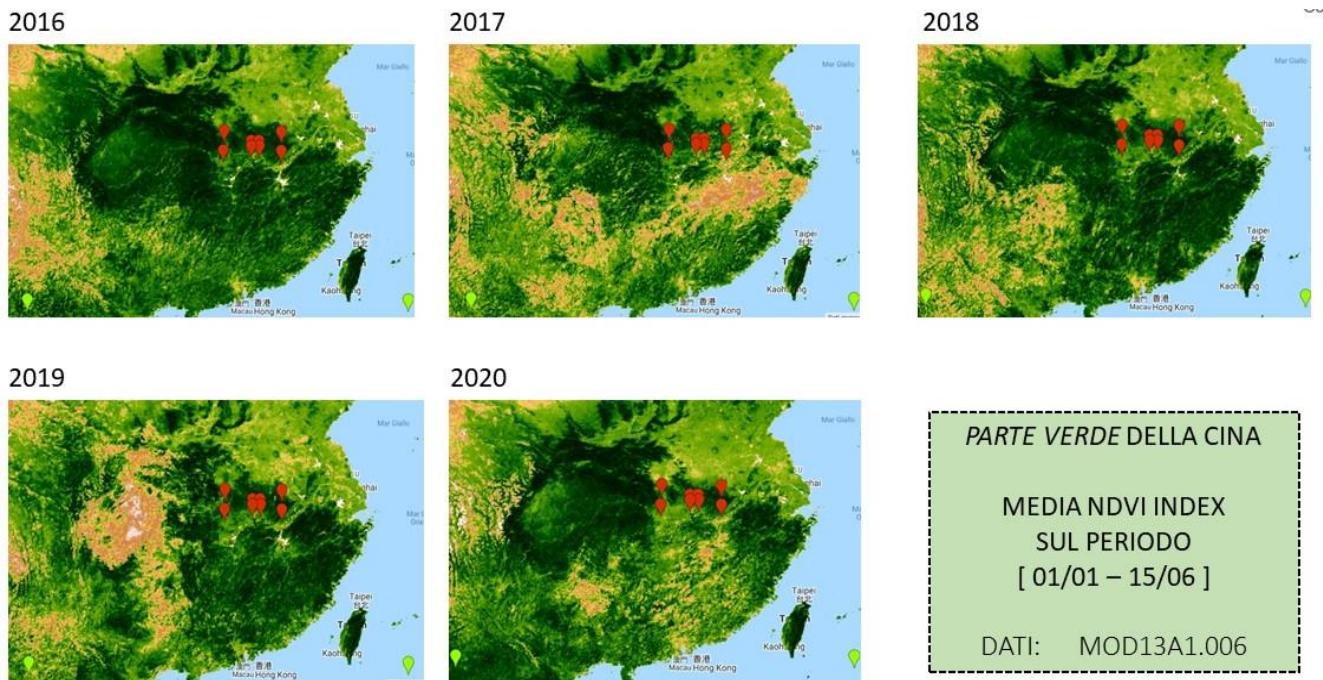


$$T(\text{marzo} \ 2020) = 9.9 \ ^\circ\text{C}$$

$$T(\text{marzo_media}) = 10.5 \ ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = -0.6 \ ^\circ\text{C}$$

I dati di temperatura relativi ai mesi successivi a Marzo non sono ad oggi disponibili sulla piattaforma. Guardando i dati analizzati, comunque, non sembra esservi una significativa variazione climatica in termini di temperatura, pertanto l'incremento dell'indice NDVI non sembra trovarvi una correlazione. Altre variabili climatiche, ad ogni modo, restano da analizzare. Per completare il quadro sull'NDVI, seppure in modo "visivo" piuttosto che numerico ed esatto, si riportano ulteriori analisi effettuate comparando immagini satellitari sulla piattaforma *Google Earth Engine*. In questo caso si è fatto utilizzo di acquisizioni *MODIS*, per comparare la media dell'indice NDVI del primo semestre degli anni 2016, 2017, 2018, 2019, 2020. In questo caso, le immagini fanno riferimento a tutta l'area vegetata della Cina.



Ad occhio, è possibile notare un certo incremento della superficie vegetata nel 2020 rispetto agli anni precedenti. Chiaramente, non si tengono in considerazione eventuali operazioni di deforestazione, né si dispone di ulteriori dati numerici esatti.

Si riporta infine un'ultima comparazione, facendo riferimento alla medesima area, ma prendendo in considerazione il solo periodo compreso tra il 15 Maggio e il 15 Giugno (periodo di maggiore incremento di NDVI), per gli ultimi tre anni.

MEDIA NDVI INDEX
PERIODO 15/05-15/06, (UN MESE)
DATI: MOD13A1.006



Per validare/migliorare i risultati attraverso questo tipo di studio, è necessario ripetere le operazioni svolte:

- 1) Facendo riferimento a un certo numero di città, campagne e generiche aree che vengono tipicamente colpite da un forte inquinamento, e che con il lock-down da Coronavirus ne hanno visto attenuati gli effetti.
- 2) Analizzando i cambiamenti, in termini di NDVI, anche per zone che non hanno subito un significativo calo di inquinamento atmosferico.
- 3) Calcolando numericamente il tasso di incremento dell'NDVI nei mesi passati rispetto alla pandemia, e continuando a raccogliere dati per studiare gli andamenti futuri.
- 4) Calcolare numericamente il tasso di incremento dell'NDVI anche rispetto agli anni precedenti al 2019, o ad esempio rispetto ad una media degli anni passati.
- 5) Possibilmente, acquisendo ulteriori dati a terra che non sono percepibili attraverso gli strumenti di remote sensing.

Per quanto riguarda le specifiche delle acquisizioni, si è fatto uso di:

- Dati ottici *Copernicus Sentinel-2A_MSI* di livello di processamento 2A, aventi una risoluzione spaziale di 10 metri per le bande B2, B3, B4, B8.
- Dati *Copernicus Sentinel-5P* attraverso la piattaforma di servizio online *Google Earth Engine*.

Le elaborazioni delle immagini sono state effettuate attraverso il software open source *Copernicus Esa SNAP*.