



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. Tesaf - TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e tecnologie forestali e ambientali

LM – 73

**Satelliti Landsat 8 e Sentinel-3 per l'identificazione  
delle aree interessate da schianti da vento: il caso  
Vaia**

Relatore:

Prof. Francesco Pirotti

Candidato:

Riccardo Schiavon

Matricola n. 1180002

ANNO ACCADEMICO 2018/2019

SESSIONE III



# INDICE

<b>INDICE DELLE FIGURE .....</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE .....</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE DELLE SCHERMATE .....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>- 15 -</b>
<b>CAPITOLO 1 - IL TELERILEVAMENTO .....</b>	<b>- 17 -</b>
1.1 GENERALITÀ.....	- 17 -
1.2 PRINCIPI BASE DEL TELERILEVAMENTO .....	- 18 -
1.2.1 <i>L'energia elettromagnetica</i> .....	- 18 -
1.2.2 <i>Lo spettro elettromagnetico</i> .....	- 20 -
1.2.3 <i>Il concetto di risoluzione</i> .....	- 23 -
1.2.4 <i>Principali tipologie di telerilevamento</i> .....	- 27 -
1.3 INTERAZIONI TRA EEM E ATMOSFERA .....	- 30 -
1.4 PRELABORAZIONE GENERALE DELLE IMMAGINI .....	- 32 -
1.4.1 <i>Correzione Atmosferica (Atmospheric Correction)</i> .....	- 33 -
1.4.2 <i>Correzione Geometrica (Geometric Correction)</i> .....	- 36 -
1.4.3 <i>Correzione Radiometrica (Radiometric Correction)</i> .....	- 36 -
1.5 INTERAZIONI TRA EEM E SUPERFICIE TERRESTRE (ES) .....	- 38 -
<b>CAPITOLO 2 - IL TELERILEVAMENTO COME SUPPORTO ALLA GESTIONE DEI DISTURBI AMBIENTALI .....</b>	<b>- 40 -</b>
2.1 TELERILEVAMENTO COME MEZZO PER LA MAPPATURA DEI DISTURBI DA VENTO .....	- 44 -
2.1.1 <i>Classificazione supervisionata</i> .....	- 45 -
2.1.2 <i>Classificazione non-supervisionata</i> .....	- 47 -
2.1.3 <i>Valutazione dell'accuratezza di una classificazione</i> .....	- 48 -
2.2 INDICI AMBIENTALI .....	- 50 -
2.2.1 <i>Indici ambientali legati allo stato vegetazionale</i> .....	- 50 -
<b>CAPITOLO 3 – SATELLITI UTILIZZATI .....</b>	<b>- 53 -</b>
3.1 COSA SONO I SATELLITI .....	- 53 -
3.2 LANDSAT 8 OLI/TIRS.....	- 58 -
3.3 SENTINEL-3.....	- 62 -
<b>CAPITOLO 4 - SOFTWARE UTILIZZATI .....</b>	<b>- 74 -</b>
4.1 QGIS .....	- 76 -
4.2 SNAP.....	- 77 -

<b>CAPITOLO 5 - IL CASO STUDIO: “LA TEMPESTA VAIA” .....</b>	<b>- 78 -</b>
5.1 INQUADRAMENTO FENOMENOLOGICO E GEOGRAFICO.....	- 78 -
5.2 FATTORI PREDISPONENTI AD UNO SCHIANTO DA VENTO .....	- 85 -
<b>CAPITOLO 6 – SPERIMENTAZIONI SUL CASO STUDIO.....</b>	<b>- 92 -</b>
6.1 ELABORAZIONI IMMAGINI LANDSAT 8 OLI/TIRS.....	- 95 -
6.1.1 <i>Download delle immagini satellitari.....</i>	- 95 -
6.1.2 <i>Procedimento operativo.....</i>	- 97 -
6.1.3 <i>Discussione dei risultati LANDSAT 8.....</i>	- 115 -
6.2 ELABORAZIONE IMMAGINI SENTINEL-3.....	- 118 -
6.2.1 <i>Download delle immagini satellitari.....</i>	- 119 -
6.2.2 <i>Procedimento operativo.....</i>	- 123 -
6.2.3 <i>Discussione dei risultati OLCI EFR.....</i>	- 135 -
6.2.4 <i>Risvolti nell’analisi.....</i>	- 138 -
6.2.5 <i>Discussione dei risultati OLCI LFR.....</i>	- 143 -
6.3 ULTERIORE CONFRONTO FINALE.....	- 144 -
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>- 147 -</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>- 151 -</b>
<b>SITOGRAFIA.....</b>	<b>- 153 -</b>

# INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1- CAMPO ELETTROMAGNETICO CON EVIDENZIATE LA LUNGHEZZA D'ONDA E LA FREQUENZA (CICLO)(FONTE: <a href="http://www.focusmed.it/it/tecnologia/alte-frequenze.php">HTTP://WWW.FOCUSMED.IT/IT/TECNOLOGIA/ALTE-FREQUENZE.PHP</a> ) .....	- 18 -
FIGURA 2- SPETTRO EEM CON ESEMPI DI FIRME SPETTRALI DI TRE CLASSI (ACQUA, VEGETAZIONE E TERRENO) – IN GRIGIO LE ZONE(BANDE) DI SENSIBILITÀ DI UN SENSORE (SENSORE ETM+ DEL LANDSAT7) A DETERMINATE LUNGHEZZE D’ONDA. NOTA BENE CHE LE BANDE REGISTRANO UN VALORE MEDIO DELLA RIFLETTANZA (FONTE: WIKIPEDIA).....	- 19 -
FIGURA 3- SUDDIVISIONE DELLO SPETTRO ELETTROMAGNETICO NELLE VARIE CLASSI DI RADIAZIONE (FONTE: GEOSPATIAL TECHNOLOGIES IN LAND RESOURCES MAPPING, MONITORING AND MANAGEMETN, G.P. OBI REDDY – S.K. SINGH) .	- 20 -
FIGURA 4 - L'INTENSITÀ DELLA RADIAZIONE DEL CORPO NERO RISPETTO ALLA LUNGHEZZA D'ONDA DELLA RADIAZIONE EMESSA. OGNI CURVA CORRISPONDE A UNA DIVERSA TEMPERATURA DEL CORPO NERO, A PARTIRE DA UNA BASSA TEMPERATURA (LA CURVA PIÙ BASSA) A UNA TEMPERATURA ELEVATA (LA CURVA PIÙ ALTA) (FONTE: SAMUEL J. LING (TRUMAN STATE UNIVERSITY), JEFF SANNY (LOYOLA MARYMOUNT UNIVERSITY), OPENSTAX UNIVERSITY PHYSICS 2019) .....	- 22 -
FIGURA 5- IMMAGINI LANDSAT ETM + (A SINISTRA) E QUICKBIRD (A DESTRA) RAFFIGURANTI LA MEDESIMA AREA, A DIMOSTRAZIONE DELLA DIFFERENZA DI RISOLUZIONE SPAZIALE TRA I DUE SENSORI (LANDSAT ETM+ RISOLUZIONE MULTISPETTRALE= 30 M; QUICKBIRD RISOLUZIONE MULTISPETTRALE =2.62 M). NELL'IMMAGINE QUICKBIRD I SINGOLI EDIFICI E LE CARATTERISTICHE STRADALI MINORI SONO FACILMENTE RICONOSCIBILI (FONTE: S. KHORRAM, FRANK H. KOCH, C. F. VAN DER WIELE, STACY A. C. NELSON- REMOTE SENSING, 2012 LIBRO FORMATO PDF). .....	- 23 -
FIGURA 6- ESEMPIO DI VARIE RISOLUZIONI RADIOMETRICHE CON DETTAGLI DIFFERENTI (FONTE: WWW.DIDATTICA.UNITUS.IT)-	24 -
FIGURA 7- COMPARAZIONE TRA 3 DIVERSI SENSORI (ETM+ DELLA MISSIONE LANDSAT 7, OLI+TIRS DELLA MISSIONE LANDSAT 8 E MSI DELLA MISSIONE SENTINEL-2) PER RISALTARE LE DIFFERENZE DI SENSIBILITÀ DELLE BANDE IN BASE ALLA ZONA DELLO SPETTRO ELETTROMAGNETICO (FONTE: <a href="https://landsat.gsfc.nasa.gov/">HTTPS://LANDSAT.GSFC.NASA.GOV/</a> ).....	- 26 -
FIGURA 8- ESEMPIO DI IMMAGINE SATELLITARE CON UNA COLORAZIONE A FALSI COLORI IN CUI VIENE UTILIZZATA LA BANDA DELL'INFRAROSSO AL POSTO DELLA BANDA DEL ROSSO PER EVIDENZIARE LA COMPONENTE VEGETAZIONALE ALL'INTERNO DI UN COMPLESSO URBANO (FONTE: RICARDO DÌAZ-DELGADO ET.AL, THE ROLES OF REMOTE SENSING IN NATURE CONSERVATION, 2017 LIBRO FORMATO PDF).....	- 26 -
FIGURA 9- LE TRE RISOLUZIONI DI UN'IMMAGINE: UN COMPROMESSO AI FINI DELL'OTTIMIZZAZIONE DEL RISULTATO (FONTE: <a href="http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/vol_3_2.pdf">HTTP://DIPSA.UNIBO.IT/CATGIS/PDF/VOL_3_2.PDF</a> ).....	- 27 -
FIGURA 10- IMMAGINE RAFFIGURANTE LE DUE TIPOLOGIE PRINCIPALI DI SISTEMI TELERILEVAMENTO (FONTE: <a href="https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/562050">HTTPS://WWW.DOCENTI.UNINA.IT/WEBDOCENTI-BE/ALLEGATI/MATERIALE-DIDATTICO/562050</a> ). .....	- 29 -
FIGURA 11- INTERAZIONE DELL'ENERGIA CON L'ATMOSFERA E LA SUPERFICIE TERRESTRE (FONTE: LILLESAND AND KIEFER 1993) ..	- 30 -
FIGURA 12- FINESTRE ATMOSFERICHE IN BASE ALLA LUNGHEZZA D’ONDA E ALLA ZONA DELLO SPETTRO EEM (FONTE: CAMPBELL AND WYNNE 2011). .....	- 32 -
FIGURA 13- PASSAGGI PER COLLEGARE IL DN AL VALORE DI RIFLETTANZA BOA (FONTE: SLIDES LEZIONI DEL CORSO DI TELERILEVAMENTO E SISTEMI INFORMATIVI TENUTO DAL PHD F. PIROTTI).....	- 33 -
FIGURA 14- SCHEMA SEMPLIFICATO DELLE VARIABILI PRESENTI NELLA CORREZIONE ATMOSFERICA (FONTE: GOOGLE IMMAGINI) ...	- 34 -

FIGURA 15- ESEMPIO DI CORREZIONE ATMOSFERICA – SOPRA: UN'IMMAGINE PRIMA DELLA CORREZIONE (TOA – TOP OF ATMOSPHERE) E SOTTO DOPO LA CORREZIONE ATMOSFERICA (BOA – BOTTOM OF ATMOSPHERE). L'ELABORAZIONE È STATA FATTA MEDIANTE SOFTWARE DELL'ESA SNAP (FONTE: <a href="https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-MSI/product-types/level-2A">HTTPS://EARTH.ESA. INT/WEB/SENTINEL/USER-GUIDES/SENTINEL-2-MSI/PRODUCT-TYPES/LEVEL-2A</a> ). .....	- 34 -
FIGURA 16 - CORREZIONE RADIOMETRICA DELLE LINEE DI CADUTA DEI DATI IN UN'IMMAGINE OCEAN COLOR SCANNER DI SAN PABLO BAY, CALIFORNIA, E DEL SUO DELTA FLUVIALE ASSOCIATO (KHORRAM, 1985) .....	- 37 -
FIGURA 17- CURVE DI EMISSIONE DI CORPO NERO PER LA RADIAZIONE SOLARE E TERRESTRE (FONTE: <a href="https://npTEL.AC.IN/COURSES/119102007/9">HTTPS://NPTEL.AC.IN/COURSES/119102007/9</a> , TRAMITE GOOGLE IMMAGINI).....	- 38 -
FIGURA 18- POSSIBILI TIPOLOGIE DI RIFLESSIONE DELL'EEM IN BASE ALL'OGGETTO (IN NATURA LA MODALITÀ È QUASI SEMPRE UNA RIFLESSIONE MISTA) (FONTE: <a href="http://www.consted.com/doc2008/apparecchi-illuminazione.asp">HTTP://WWW.CONSTED.COM/DOC2008/APPARECCHI-ILLUMINAZIONE.ASP</a> , TRAMITE GOOGLE IMMAGINI). .....	- 39 -
FIGURA 19- CONFRONTO TRA UN TAGLIO RASO AVVENUTO IN BRITISH COLUMBIA A SINISTRA E GLI SCHIANTI DA VENTO A CAUSA DEL TEMPESTA VAIA (FONTE: <a href="https://siseFEDITOR.ORG/2018/11/13/EDITORIALE-SELVICOLTURA-E-SCHIANTI-DA-VENTO-IL-CASO-DELLA-TEMPESTA-VAIA/">HTTPS://SISEFEDITOR.ORG/2018/11/13/EDITORIALE-SELVICOLTURA-E-SCHIANTI-DA-VENTO-IL-CASO-DELLA-TEMPESTA-VAIA/</a> PER L'IMMAGINE DI VAIA. <a href="https://thenarwhal.ca/25-years-after-clayoquot-sound-blockades-the-war-in-the-woods-never-ended-and-its-heating-back-up/">HTTPS://THENARWHAL.CA/25-YEARS-AFTER-CLAYOQUOT-SOUND-BLOCKADES-THE-WAR-IN-THE-WOODS-NEVER-ENDED-AND-ITS-HEATING-BACK-UP/</a> PER L'IMMAGINE DELLA BRITISH COLUMBIA). .....	- 43 -
FIGURA 20- I RISULTATI DI UNA CLASSIFICAZIONE SUPERVISIONATA MEDIANTE L'ALGORITMO DI MASSIMA VEROSIMIGLIANZA (IN BASSO), RISPETTO A UN'IMMAGINE COMPOSITA A COLORI REALI DELL'AREA TARGET (FONTE: FONTE: S. KHORRAM, FRANK H. KOCH, C. F. VAN DER WIELE, STACY A. C. NELSON- REMOTE SENSING, 2012, LIBRO FORMATO PDF) .....	- 47 -
FIGURA 21- ESEMPIO DI CREAZIONE DI TRE CLUSTER IN MODO ITERATIVO – NELLE DUE ASSI IN QUESTO ESEMPIO 2D CI SONO DUE BANDE A SCELTA, NEL REALE QUESTO ACCADE PER UN NUMERO N DI DIMENSIONI A SECONDA DEL NUMERO DELLE BANDE (FONTE: WIKIPEDIA). .....	- 48 -
FIGURA 22- CONFRONTO SCHEMATICO DI RIFLETTANZA TRA FOGLIE MORTE, SOTTO STRESS E SANE CON RIFLETTANZA COLORI VIS E NIR (FONTE: <a href="https://www.agricolus.com/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/">HTTPS://WWW.AGRICOLUS.COM/INDICI-VEGETAZIONE-NDVI-NDMI-ISTRUZIONI-LUSO/</a> ).....	- 51 -
FIGURA 23- RAFFIGURAZIONE DI UN ORBITA GEOSTAZIONARIA E DI UNA POLARE (FONTE: <a href="https://gisetelerilevamento.wordpress.com/2010/12/29/i-sistemi-satellitari/">HTTPS://GISETELERILEVAMENTO.WORDPRESS.COM/2010/12/29/I-SISTEMI-SATELLITARI/</a> ). .....	- 57 -
FIGURA 24- ILLUSTRAZIONE DEL LANDSAT 8 CON I RELATIVI SENSORI E STRUMENTAZIONI (FONTE: "LANDSAT 8 DATA USER HANDBOOK", USGS, 2019). .....	- 59 -
FIGURA 25- FAMIGLIA DEI SATELLITI SENTINEL ATTUALMENTE IN ORBITA CON IL PROGETTO COPERNICUS. (FONTE: <a href="http://m.esa.int/our_activities/observing_the_earth/copernicus/overview4">HTTP://M.ESA.INT/OUR_ACTIVITIES/OBSERVING_THE_EARTH/COPERNICUS/OVERVIEW4</a> ) .....	- 63 -
FIGURA 26- IL SENTINEL-3 OLCI HA UNA CONFIGURAZIONE A DUE SATELLITI CHE PERMETTE UN BASSO TEMPO DI RITORNO; SONO NECESSARI 2 GIORNI PER AVERE RIVISITAZIONE ALL'EQUATORE (IN ROSSO), MENO DI 0,5 GIORNI AD ALTA LATITUDINE (IN BLU) (FONTE:ESA) .....	- 64 -
FIGURA 27- SENSORI E PAYLOADS DEL SATELLITE SENTINEL-3 (FONTE: ESA) .....	- 67 -
FIGURA 28- DIAGRAMMA AD ALBERO PER LA DESCRIZIONE DEI PRODOTTI SYNERGY (FONTE: ESA) .....	- 71 -
FIGURA 29- SENTINEL-3 PRODUCT FORMAT (FONTE: ESA) .....	- 73 -
FIGURA 30- LOGO DI CARICAMENTO DI QGIS 3.4 "MADEIRA" (LTR) .....	- 76 -
FIGURA 31- SCHERMATA PRINCIPALI DI QGIS "MADEIRA" CON IN ALTO TUTTI I POSSIBILI PLUGIN SCARICABILI. ....	- 76 -

FIGURA 32- LOGO DI CARICAMENTO DI SNAP TOOLBOX.....	- 77 -
FIGURA 33- SCHERMATA PRINCIPALE DI SNAP TOOLBOX.....	- 77 -
FIGURA 34- DANNI TOTALI VERIFICATISI NELLE FORESTE EUROPEE (MILIONI DI M3) A CAUSA DI DIVERSI DISTURBI. LA CATEGORIA "ALTRE CAUSE" COMPRENDE DANNI ANTROPICI, CAUSE NON IDENTIFICATE E CAUSE MISTE. (MODIFICATO DA SCHELHAAS 2008) (FONTE: BARRY G., ANDREAS S., MART-JAN S., CHRISTOPHE O., "LIVING WITH STORM DAMAGE TO FORESTS" 2013).....	- 79 -
FIGURA 35- ZONE STIMATE IN EUROPA COLPITE DA GRANDI TEMPORALI (FONTE: GARDINER ET AL., 2010).....	- 80 -
FIGURA 36- SCHEMATIZZAZIONE DELLE PRINCIPALI TEMPESTE AVVENUTE IN EUROPA DAL 1950 AD OGGI CON EVIDENZIATI I METRI CUBI ATERRATI E LE NAZIONI COLPITE (FONTE:: COMPAGNIA DELLE FORESTE, SISEF E GEOLAB DI FIRENZE, <a href="http://www.nimbus.it/eventi/2018/181031TEMPESTAVAIA.HTM">HTTP://WWW.NIMBUS.IT/EVENTI/2018/181031TEMPESTAVAIA.HTM</a> ).....	- 81 -
FIGURA 37- ESTENSIONE DEI DANNI CAUSATI DA VAIA NEL NORD-EST ITALIA (LOMBARDIA, TRENTINO-ALTO ADIGE, VENETO E FRIULI VENEZIA-GIULIA).....	- 82 -
FIGURA 38- FATTORI CHE CONCORRONO A DEFINIRE LA STABILITÀ DELLA SINGOLA PIANTA (FONTE: STATHERS, R.J., T.P. ROLLERSON, AND S.J. MITCHELL. WINDTHROW HANDBOOK FOR BRITISH COLUMBIA FORESTS. B.C. MIN. FOR., VICTORIA, B.C. WORKING PAPER 9401).....	- 86 -
FIGURA 39- RAPPRESENTAZIONI DI VARIE STRUTTURE VERTICALI CON UN CONFRONTO GRAFICO DELLA LORO STABILITÀ NEI CONFRONTI DEL VENTO (FONTE: STATHERS, R.J., T.P. ROLLERSON, AND S.J. MITCHELL. WINDTHROW HANDBOOK FOR BRITISH COLUMBIA FORESTS. B.C. MIN. FOR., VICTORIA, B.C. WORKING PAPER 9401).....	- 88 -
FIGURA 40 IN ALTO- DINAMICA DEL VENTO SOPRA AD UN RILIEVO, LA QUALE MOSTRA L'ACCELERAZIONE DEL VENTO E LA SUA COMPONENTE TURBOLENTA NELLA SEZIONE SOTTOVENTO. (FONTE: STATHERS, R.J., T.P. ROLLERSON, AND S.J. MITCHELL. WINDTHROW HANDBOOK FOR BRITISH COLUMBIA FORESTS).....	- 90 -
FIGURA 41 A SINISTRA- RITAGLIO DI UNA ZONA DELL'AGORDINO (COL DI FOGLIA) IN CUI È STATA APPORTATO IL PROCESSAMENTO "OMBREGGIATURA" PER EVIDENZIARE L'OROGRAFIA DELLA ZONA.....	- 90 -
FIGURA 42- FATTORI AL LIVELLO RADICALE E DEL SUOLO CHE INFLUENZANO LA RESISTENZA AL RIBALTAMENTO. (FONTE: AFTER RUEL, 1992).....	- 91 -
FIGURA 43- ALTO INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E LIMITI AMMINISTRATIVI DELLA PROVINCIA DI BELLUNO INSERITI IN UN FONDO DERIVATO DA GOOGLE TERRAIN ATTRAVERSO UN'ELABORAZIONE IN QGIS.....	- 92 -
FIGURA 44- CLASSIFICAZIONE DELLE PROVINCE VENETE E LA MAPPA DELLA PROVINCIA DI BELLUNO PER AREE CULTURALI. IN ARANCIONE IL FELTRINO, IN GIALLO LA VALBELLUNA, IN AZZURRO L'ALPAGO, IN ROSSO L'AGORDINO, PIÙ CHIARA LA ZONA DI FODÓM; IN VIOLA LA VAL DI ZOLDO, IN ROSA L'AMPEZZANO, IN VERDE IL CADORE, PIÙ SCURO IL COMELICO. SI NOTINO I TERRITORI DI SELVA DI CADORE E DI ZOPPÈ DI CADORE, IL PRIMO DI TRANSIZIONE TRA AGORDINO E CADORE, IL SECONDO TRA ZOLDANO E CADORE (FONTE: WIKIPEDIA).....	- 93 -
FIGURA 45- SCHERMATA DI QGIS IN CUI È STATA CARICATA LA MAPPATURA DEGLI SCHIANTI FATTA DALL'AVEPA (A SINISTRA). DETTAGLIO DI UNA PORZIONE DELLO SHAPEFILE (A DESTRA).....	- 94 -



## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1- SUDDIVISIONE DELLO SPETTRO ELETTROMAGNETICO.....	- 21 -
TABELLA 2- ESEMPIO DI MATRICE DEGLI ERRORI IN CUI, NELLE COLONNE VENGONO VISUALIZZATI I DATI DI RIFERIMENTO OTTENUTI DA BANCHE DATI, NELLE RIGHE INVECE I DATI RACCOLTI DALL'OPERATORE DURANTE LA CLASSIFICAZIONE.....	- 49 -
TABELLA 3- POSSIBILI VALORI DI NDVI E SUCCESSIVA INTERPRETAZIONE (FONTE: <a href="https://agricolus.com">HTTPS://AGRICOLUS.COM</a> ) .....	- 52 -
TABELLA 4- CONFRONTO TRA LA RISOLUZIONE SPETTRALE DEL LANDSAT7 CON SENSORE ETM+ E LANDSAT 8 OLI/TIRS (FONTE: <a href="https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-data-continuity-mission/">HTTPS://LANDSAT.GSFC.NASA.GOV/LANDSAT-DATA-CONTINUITY-MISSION/</a> ).....	- 58 -
TABELLA 5- TABELLA ESPLICATIVA DELLA COMPOSIZIONE CONVENZIONALE DEI NOMI DEI FILE DEL LANDSAT 8 .....	- 60 -
TABELLA 6- TEMPI DI REVISIONE DELLA COPERTURA GLOBALE PER MISURAZIONI OTTICHE OLCI (FONTE: ESA).....	- 64 -
TABELLA 7- RISOLUZIONE SPETTRALE DEL SENSORE OLCI (FONTE: ESA) .....	- 65 -
TABELLA 8- RAPPRESENTAZIONE DEI PRODOTTI DERIVANTI DAL SENTINEL-3 (FONTE: ESA) .....	- 68 -
TABELLA 9- PRINCIPALI TEMPESTE AVVENUTE IN EUROPA NEGLI ULTIMI 30 ANNI.....	- 80 -
TABELLA 10- VELOCITÀ MASSIME DEL VENTO REGISTRATE IL 29.10.2018 IN ALCUNE LOCALITÀ DEL TRIVENETO (FONTE: ARPAV, ARPA FVG, METEO TRENINO, METEO ALTO).....	- 83 -
TABELLA 11- SCALA DEI VENTI DI BEAUFORT .....	- 83 -
TABELLA 12- VALORI DEI PIXEL CORRISPONDENTI ALLA BANDA PIXEL_QA CON RELATIVI ATTRIBUTI (FONTE: LANDSAT 8 SURFACE REFLECTANCE CODE (LASRC) PRODUCT GUIDE, USGS MAY 2019).....	- 101 -



# INDICE DELLE SCHERMATE

SCHERMATA 1- PAGINA WEB INIZIALE DEL SITO OPENHUB DELL'USGS .....	- 95 -
SCHERMATA 2- ELENCO DEI POSSIBILI DATI SCARICABILI DAL SITO DELL'USGS.....	- 96 -
SCHERMATA 3- DATI RELATIVI ALLA MISSIONE SATELLITARE LANDSAT.....	- 96 -
SCHERMATA 4- POOL DI DATI PRESENTI ALL'INTERNO DEL FILE .TAR, SCARICATO DALLA PIATTAFORMA ONLINE. ....	- 97 -
SCHERMATA 5- PRESENTAZIONE INIZIALE DEI DATI L2 CARICATI IN QGIS .....	- 97 -
SCHERMATA 6- SCHERMATA DEL PRE PROCESSING NELLA VOCE CLIP MULTIPLE RASTER DEL PLUG-IN SCP. ....	- 98 -
SCHERMATA 7- FINESTRA DI ELABORAZIONE DELLE BANDE ALL'INTERNO DI SCP PLUGIN .....	- 99 -
SCHERMATA 8- COLORAZIONE A COLORI NATURALI DEL CASO STUDIO .....	- 99 -
SCHERMATA 9- FINESTRA DI DIALOGO PER LA SELEZIONE DELLE BANDE PER LA COLORAZIONE NORMALE O LA COLORAZIONE A FALSI COLORI. ....	- 100 -
SCHERMATA 10- INFORMAZIONI RIGUARDANTI L'INSERIMENTO DELLE BANDE NEI RISPETTIVI CANALI PER OTTENERE UNA COLORAZIONE A FALSI COLORI.....	- 100 -
SCHERMATA 11- CALCOLATORE RASTER PER LA CREAZIONE DELLA MASCHERA. ....	- 102 -
SCHERMATA 12- CONFRONTO TRA MASCHERE DI CORREZIONE PRE E POST, RISPETTIVAMENTE A SINISTRA E DESTRA.....	- 103 -
SCHERMATA 13- RASTER RISULTANTE DAL PRODOTTO DELLE DUE MASCHERE .....	- 104 -
SCHERMATA 14- CALCOLATORE RASTER CON FORMULA NDVI ADATTA PER IL SATELLITE LANDSAT 8 .....	- 105 -
SCHERMATA 15- NDVI 2018 CON COLORAZIONE A SCALA DI GRIGI E ANNESSA LEGENDA .....	- 105 -
SCHERMATA 16- FINESTRA DI QGIS PER LA MODIFICA DELLA COLORAZIONE IN "BANDA SINGOLA FALSO COLORE".....	- 106 -
SCHERMATA 17- NDVI 2018 CON COLORAZIONE "BANDA SINGOLA FALSO COLORE" E ANNESSA LEGENDA.....	- 107 -
SCHERMATA 18- NDVI 2019 CON COLORAZIONE "BANDA SINGOLA FALSO COLORE" E ANNESSA LEGENDA.....	- 107 -
SCHERMATA 19- RASTER CONTENENTE LE INFORMAZIONI DELL'ANALISI MULTI TEMPORALE.....	- 109 -
SCHERMATA 20- CALCOLATORE RASTER CON LA REGOLA PER LA CORREZIONE DEL $\Delta$ NDVI .....	- 109 -
SCHERMATA 21- RASTER OTTENUTO DALLA MOLTIPLICAZIONE TRA IL $\Delta$ NDVI E IL RASTER CONTENENTE L'UNIONE DELLE DUE MASCHERE.....	- 110 -
SCHERMATA 22- IN ALTO È PRESENTE UN DETTAGLIO DEL RASTER CORRETTO FINALE (COLORAZIONE VERDE SI RIFERISCE AD UNA MAGGIORE DIFFERENZA DI NDVI). IN BASSO INVECE È PRESENTE UNA SOVRAPPOSIZIONE TRA IL RASTER CORRETTO E LA MAPPATURA DELL'AVEPA.....	- 110 -
SCHERMATA 23- CARTA DELLE CATEGORIE FORESTALI DELLA PROVINCIA DI BELLUNO.....	- 111 -
SCHERMATA 24- A SINISTRA LA SOVRAPPOSIZIONE TRA LA MAPPATURA AVEPA E LE CATEGORIE FORESTALI. A DESTRA L'INTERROGAZIONE DELL'IMMAGINE .....	- 111 -
SCHERMATA 25- PERCORSO PER LA RASTERIZZAZIONE .....	- 112 -
SCHERMATA 26- SCHERMATA DI RASTERIZZAZIONE .....	- 112 -
SCHERMATA 27- RASTERIZZATO DERIVANTE DALLA SHAPEFILE DELLE CATEGORIE FORESTALI .....	- 113 -
SCHERMATA 28- CALCOLATORE RASTER PER LA CREAZIONE DEL PRODOTTO MASCHERATO CON LE CATEGORIE FORESTALI ....	- 113 -
SCHERMATA 29- $\Delta$ NDVI FINALE .....	- 114 -
SCHERMATA 30- CONFRONTO FINALE TRA I DATI ELABORATI E LA MAPPATURA DEGLI SCHIANTI DELL'AVEPA.....	- 115 -

SCHERMATA 31- ZOOM IN DUE ZONE DEGLI SCHIANTI IN CUI È POSSIBILE APPREZZARE AL MEGLIO IL CONFRONTO. ....	- 116 -
SCHERMATA 32- VISTA PRINCIPALE DEL SITO COPERNICUS OPEN ACCESS HUB DELL'ESA (FONTE: <a href="https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home">HTTPS://SCIHUB.COPERNICUS.EU/DHUS/#/HOME</a> ).....	- 119 -
SCHERMATA 33- SELEZIONE DELL'AREA DI INTERESSE E RELATIVA APPLICAZIONE DEI FILTRI DI RICERCA.....	- 120 -
SCHERMATA 34- FINESTRA DEI FILTRI PER I PRODOTTI SENTINEL 3 .....	- 121 -
SCHERMATA 35- PAGINA PRINCIPALE DELL'ESA CON EVIDENZIATO IL COMANDO DI RICERCA.....	- 121 -
SCHERMATA 36- PAGINE PRINCIPALE DELL'ESA CON I RISULTATI DELLA RICERCA EFFETTUATA TRAMITE FILTRI.....	- 122 -
SCHERMATA 37- FINESTRA IN CUI È RAPPRESENTATA LA PREVIEW DI UN'IMMAGINE SATELLITARE .....	- 122 -
SCHERMATA 38- FINESTRA PRINCIPALE DI SNAP CON IL MENU A TENDINA PER APRIRE E VISUALIZZARE UN NUOVO PRODOTTO. ....	- 123 -
SCHERMATA 39- SELEZIONE DEI CANALI RGB IN CUI INSERIRE LE BANDE PER LA COLORAZIONE. NELLA PARTE A SINISTRA È PRESENTANTE LA COLORAZIONE A COLORI NATURALI CREATA DIRETTAMENTE DAL SOFTWARE, A DESTRA INVECE QUELLA IN CUI L'OPERATORE SELEZIONA LE BANDE CORRISPONDENTI AD OGNI SPECIFICO CANALE.....	- 124 -
SCHERMATA 40- VISUALIZZAZIONE DELL'IMMAGINE A COLORI NATURALI.....	- 125 -
SCHERMATA 41- FINESTRA DEL PROCESSORE IDEPIX IN CUI SELEZIONARE I PARAMETRI DEL PROCESSO. ....	- 126 -
SCHERMATA 42- CONFRONTO TRA L'IMMAGINE ORIGINALE CON UNA COLORAZIONE NATURALE E IL RASTER CREATO DAL PROCESSORE IDEPIX, IN CUI È POSSIBILE NOTARE COME LA MASCHERA SEGUI MOLTO DILIGENTEMENTE LE NUVOLE PRESENTI. .....	- 127 -
SCHERMATA 43- FINESTRA DI DIALOGO DEL PROCESSO BAND MATH. DA NOTARE ANCHE LA FORMULA RIPORTATA NEL RIQUADRO A SINISTRA. ....	- 128 -
SCHERMATA 44- TRIPLICE CONFRONTO TRA L'IMMAGINE A COLORI NATURALI, LA MASCHERA IDEPIX_CLOUD E IL RASTER RISULTANTE DALLA FORMULA (NDVI). A SINISTRA VIENE EVIDENZIATA LA SVARIATA POSSIBILITÀ DI SCELTA DELLE PALETTE COLORI OFFERTE DA SNAP. ....	- 129 -
SCHERMATA 45- RISULTATO DELLA COLORAZIONE MERIS_VEGETATION_INDEX NEL RASTER DELL'NDVI IN CUI LO SLIDER DEL VALORE ZERO È STATO POSTO DI COLORE BIANCO. ....	- 130 -
SCHERMATA 46- PARAMETRI SELEZIONATI PER IL SUBSET DEL PRODOTTO CONTENENTE L'NDVI. ....	- 131 -
SCHERMATA 47- SUBSET DELL'AREA DI INTERESSE CON APPLICATA LA COLORAZIONE MERIS CON IL DETTAGLIO DEGLI SLIDERS IN BASSO A SINISTRA. ....	- 131 -
SCHERMATA 48- GRAFICO PROGETTATO PER IL BATCH PROCESSING.....	- 132 -
SCHERMATA 49- FINESTRA PRINCIPALE DEL BATCH PROCESSING IN CUI SI PROCEDE ALLA SELEZIONE DEI PRODOTTI DA SOTTOPORRE ALLE OPERAZIONI DESCRITTE DAL GRAFICO. ....	- 132 -
SCHERMATA 50- A SINISTRA È RAPPRESENTATO L'INDICE NDVI DELLA SITUAZIONE PRE EVENTO 2018; A DESTRA LA SITUAZIONE POST EVENTO (2019) CON LE RELATIVE LEGGENDE.....	- 133 -
SCHERMATA 51- DIFFERENZA DI NDVI CON UN DETTAGLIO SOLAMENTE ALLE AREE APPARTENENTI ALLE CATEGORIE FORESTALI ED IN CUI È STATA EVIDENZIATO SOLAMENE IL VALORE DOVE LA DIFFERENZA È MAGGIORE (COLORE ROSSO).....	- 134 -
SCHERMATA 52- GOOGLE SATELLITE CON: A SINISTRA DETTAGLIO DELLE AREE CON MAGGIORE DIFFERENZA DI NDVI. A DESTRA UNA SOVRAPPOSIZIONE TRA LE AREE AVEPA E IL $\Delta$ NDVI. ....	- 135 -
SCHERMATA 53- MOSAICO DI VARIE AREE APPARTENENTI A QUATTRO LUOGHI DISTINTI DELLA MAPPA. ....	- 135 -

SCHERMATA 54- DETTAGLIO DEL CONFRONTO IN UN'ALTRA ZONA DELLA PROVINCIA BELLUNESE.....	- 136 -
SCHERMATA 55- DETTAGLIO DELLA DIMENSIONE DEI PIXEL RISPETTO AL REALE. ....	- 137 -
SCHERMATA 56- RAPPRESENTAZIONE DELL'INDICE OGVI DELLA SITUAZIONE ANTE EVENTO A CUI È STATA APPLICATA UN RITAGLIO E UNA COLORAZIONE PER ESALTARE LE ZONE CON UNA MAGGIORE FRAZIONE DI ATTIVITÀ FOTOSINTETICA.....	- 139 -
SCHERMATA 57- RAPPRESENTAZIONE DELL'INDICE OGVI DELLA SITUAZIONE POST DISTURBO A CUI È STATA APPLICATA UN RITAGLIO E UNA COLORAZIONE PER ESALTARE LE ZONE CON UNA MAGGIORE FRAZIONE DI ATTIVITÀ FOTOSINTETICA. .	- 140 -
SCHERMATA 58- FINESTRA DI DIALOGO DELLO STRUMENTO SUBSET IN CUI È POSSIBILE CREARE UN RITAGLIO SELEZIONANDO LE GEO COORDINATE. ....	- 140 -
SCHERMATA 59- COMPARAZIONE TRA LA SITUAZIONE PRE E POST TRAMITE L'INDICE AMBIENTALE OGVI. ....	- 140 -
SCHERMATA 60- FORMATO GEOTIFF DEL RASTER OGVI. IN ALTO LA SITUAZIONE PRE ED IN BASSO LA SITUAZIONE POST. È STATA APPLICATA UNA COLORAZIONE A BANDA SINGOLA FALSO COLORE CON UNA SCALA CHE VA DAL ROSSO (ZONE URBANIZZATE O CON POCA VEGETAZIONE) E VERDE (ZONE CON UNA BUONA COPERTURA VEGETALE.....	- 142 -
SCHERMATA 61- ΔOGVI A CUI SONO STATI OPACIZZATI I VALORI NEGATIVI E LASCIATI SOLO I VALORI MAGGIORI. ....	- 142 -
SCHERMATA 62- MOSAICO COMPOSTO DA VARIE IMMAGINI COMPARATIVE DEI PRODOTTI OL_2_LFR CON LE AREE AVEPA. ....	- 143 -
SCHERMATA 63- CONFRONTO TRA LE AREE MAPPATE CON IL SENTINE-2 E LE AREE AVEPA. A SINISTRA IN ROSSO UN DETTAGLIO DELLE ZONE DELIMITATE DAL SATELLITE EUROPEO; A DESTRA È PRESENTE UNA SOVRAPPOSIZIONE TRA I DUE RASTER DI CONFRONTO .....	- 144 -
SCHERMATA 64- DETTAGLIO DI DUE ZONE PERCORSE DA SCHIANTI DA VENTO. IN AZZURRINO LE AREE MAPPATE DAL RELATORE, IN ROSSO QUELLE OTTENUTE DALLE ELABORAZIONI DEI PRODOTTI LANDSAT 8. ....	- 145 -
SCHERMATA 65- MOSAICO DI VARIE ZONE IN CUI È POSSIBILE APPREZZARE LA PRECISIONE DEL SATELLITE LANDSAT8 RISPETTO ALLE AREE DI CONTROLLO .....	- 145 -



## INTRODUZIONE

Il Telerilevamento è una scienza che permette di identificare, misurare e analizzare le caratteristiche qualitative e quantitative di un determinato oggetto, area o fenomeno senza entrare in contatto diretto con esso. In generale l'oggetto di studio nel Telerilevamento è il pianeta Terra in tutte le sue componenti, territorio, acqua e atmosfera, ed avendo la possibilità di operare dall'alto, a diverse distanze e in tempi differenti, questa disciplina ha introdotto una nuova filosofia di controllo e d'indagine nello studio del territorio e dei relativi problemi, permettendo di osservare fenomeni non direttamente accessibili e quindi di superare le difficoltà connesse alle campagne di misura a terra, quali grandi sforzi organizzativi, tempo e risorse non sempre disponibili.

Negli ultimi anni, in quest'ambito si è fatta molta strada in termini tecnologici; le risoluzioni, sia spaziali che spettrali, dei sensori impiegati, sono nettamente migliorate, permettendo di estendere le applicazioni del Telerilevamento anche alla gestione dei disastri ambientali, dove la possibilità di indagare la superficie terrestre senza entrare in contatto con essa assume una particolare rilevanza, in considerazione della limitata accessibilità delle aree colpite da una catastrofe.

In questo elaborato si è cercato di porre delle domande e ovviamente dare delle risposte sull'utilizzo di alcuni satelliti per la mappatura dei disastri ambientali, prendendo come esempio l'evento disastroso avvenuto il 29 Ottobre 2018 nel Nord-Est Italia denominato "tempesta Vaia". Verranno presi in esame due satelliti ottici passivi progettati per lo studio dell'ambiente terrestre e marino, il primo, di creazione americana, è chiamato Landsat 8 in cui è montato il sensore OLI/TIRS; il secondo, chiamato Sentinel-3, fa parte della più grande famiglia europea di satelliti mandati in orbita attraverso il progetto europeo *Copernicus*. Quest'ultimo monta il sensore OLCI il quale è meno specifico per lo studio della superficie terrestre rispetto all'OLI/TIRS ma possiede molte caratteristiche che permettono un suo adattamento anche a questa funzione. In questo lavoro si procederà nello spiegare le basi e i principi fondamentali del Telerilevamento, in modo tale da poter inserire il lettore in un'ottica più consapevole della materia, permettendoli di capire i significati delle operazioni di analisi che verranno effettuate nel corso del lavoro. Successivamente si passerà ad una descrizione dettagliata dei satelliti, definendo le caratteristiche di ogni sensore, la tipologia di orbita e specificando la tipologia di file prodotti dalle rispettive case madri.

Dopodiché si procederà con la descrizione dell'evento ventoso (windthrow) che ha colpito le Alpi Orientali, guardando il disastro non solo da un punto di vista negativo ma confrontandolo con altre tempeste e situazioni oltre oceano. Questo argomento verrà integrato con un'analisi dei fattori che possono predisporre un popolamento forestale ad essere sensibile ai disturbi da vento.

A seguire verrà spiegato il procedimento operativo con cui è stato possibile ottenere ed elaborare le immagini satellitari. Si è cercato di porre molta attenzione sulla semplicità d'esposizione dei vari passaggi, in modo tale che il lettore possa replicarli. Per questo motivo, in questa parte dell'elaborato, è stato scelto di adottare un formato di narrazione *tutorial style*.

Infine ci si inoltrerà all'interno della fase di confronto tra i prodotti finali dell'elaborazioni e i file derivanti dalla mappatura degli schianti da vento, generati dall' Agenzia Veneta per i Pagamenti in Agricoltura (AVEPA) con il supporto dei tecnici delle due Unità Organizzative (UO) Forestali del Veneto.

# CAPITOLO 1 - Il telerilevamento

## 1.1 Generalità

Per telerilevamento si intende la scienza che opera lo studio della superficie terrestre e della stima delle sue proprietà geo-biofisiche, usando come mezzo di interazione le radiazioni elettromagnetiche (Reddy 2018)

È anche definito come l'arte, la scienza e la tecnologia attraverso cui vengono identificate, misurate e analizzate alcune caratteristiche di un oggetto posto sopra o anche sotto la superficie terrestre, senza che ci sia l'obbligo del contatto diretto tra i sensori e il *target*. (Jensen 2009, Lillesand et al. 2010, Richards 1994, Murai 1999).

Il telerilevamento permette di migliorare le capacità percettive dell'occhio e del cervello umano consentendo l'estrapolazione di informazioni non esplicite.

Proprio per questo, esistono molteplici tecniche di telerilevamento le quali si differenziano, oltre che per il sistema tecnologico, anche per il soggetto dello studio; in tal modo è possibile differenziare le informazioni racchiuse in ogni immagine satellitare (come ad esempio il *remote sensing* utilizzato per le foreste, per l'acqua, per l'agricoltura, ecc.) (Sabins & Floyd, 1978). A seconda della distanza tra il sensore e il *target* infatti si può parlare di *Remote Sensing* se l'oggetto dista fino a migliaia di chilometri e di *Proximal Sensing* per distanze di qualche metro.

Una prima metodologia rudimentale di telerilevamento, per esempio, può essere quella in cui guardando la fotografia di una casa è possibile capire che essa è composta da un tetto, da pareti e da finestre che si distinguono grazie a diversi colori.

Per l'individuazione di un sistema di telerilevamento sono necessari 3 elementi:

1. Un sensore per l'osservazione dell'oggetto
2. Una piattaforma in grado di sostenere il sensore
3. Un oggetto da osservare

Con questi tre elementi è possibile, dopo l'esecuzione di un rilievo in campo, andare ad osservare le immagini ottenute ed acquisire le informazioni di cui abbiamo bisogno.

Riportando l'esempio della macchina fotografica: il sensore è la macchinetta stessa, la piattaforma è l'uomo e l'oggetto da osservare è la casa.

In ambito scientifico però la prassi diventa più complicata, infatti l'oggetto, ovvero la Terra, viene osservato attraverso delle telecamere, scanner e radar (sensori) che vengono supportati dai satelliti/aeromobili e non più da una semplice macchinetta fotografica.

Queste tecniche hanno lo scopo di rilevare a distanza le caratteristiche chimico/fisiche di un oggetto tramite un sensore che è in grado di quantificare l'energia elettromagnetica che la superficie dell'oggetto irradia nello spazio circostante e che viene catturata dal sensore stesso. In questo modo è possibile studiare vaste zone e, soprattutto nell'ambito ambientale, poter redigere delle cartografie descrittive del cambiamento nel tempo di determinate caratteristiche di uno specifico ambiente naturale o urbano (analisi multi temporale).

## 1.2 Principi base del Telerilevamento

### 1.2.1 L'energia elettromagnetica

La principale fonte di energia del Sistema Solare è il Sole, il quale emette elevate quantità di radiazioni sottoforma di fotoni. Tale energia è denominata energia elettromagnetica (EEM) e consiste in un campo magnetico e in un campo elettrico legati e oscillanti tra loro. Essa percorre tutto lo spazio viaggiando alla velocità della luce (circa 300.000 km/s) ed arriva sino alla superficie terrestre attraversando l'atmosfera, all'interno della quale subisce determinate modifiche (vedi Paragrafo 1.3 Interazioni tra EEM e Atmosfera).

Per la descrizione dell'EMM sono necessarie due variabili fondamentali: la lunghezza d'onda e la frequenza. La lunghezza d'onda è la distanza tra due picchi all'interno del moto oscillatorio dell'energia, la frequenza è il numero di oscillazioni complete per unità di tempo (Figura 1).

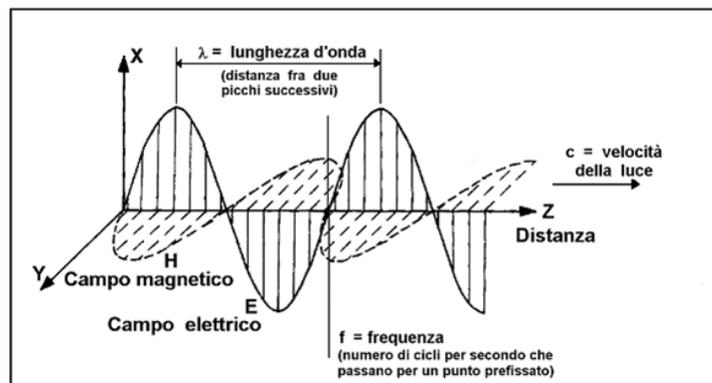


Figura 1- Campo elettromagnetico con evidenziate la lunghezza d'onda e la frequenza (ciclo)(Fonte: <http://www.focusmed.it/it/tecnologia/alte-frequenze.php>)

L'intensità di una radiazione elettromagnetica è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda e direttamente proporzionale alla frequenza. Quindi, radiazioni con una grande lunghezza d'onda hanno una bassa intensità, al contrario radiazioni con una alta frequenza hanno un'alta intensità.

Il telerilevamento sfrutta la capacità di ogni oggetto di riflettere EEM e, in base all'intensità e alla direzione rispetto al campo magnetico (polarizzazione), ne identifica una risposta caratteristica.

Ogni superficie/oggetto quando viene irradiata/o da una fonte di EEM (che sia il Sole o alcune tipologie di sensori attivi) assorbe ed emette una peculiare quantità di energia elettromagnetica che, una volta arrivata al sensore, permette il riscontro degli elementi che hanno interagito con essa, dando vita ad un particolare "grafo di emissione" chiamato "firma spettrale" (Figura 2).

Quindi, considerando un'onda elettromagnetica incidente su una superficie, essa viene in parte assorbita, in parte trasmessa e in parte riflessa.

Il rapporto tra il flusso di energia riflessa ed il flusso di energia incidente è strettamente legato alle proprietà chimico-fisiche dell'oggetto che permettono una visualizzazione di un'impronta digitale tipica, riconducibile alla firma spettrale. Essa viene rappresentata all'interno di assi cartesiani, mettendo in funzione la lunghezza d'onda e l'energia emessa.

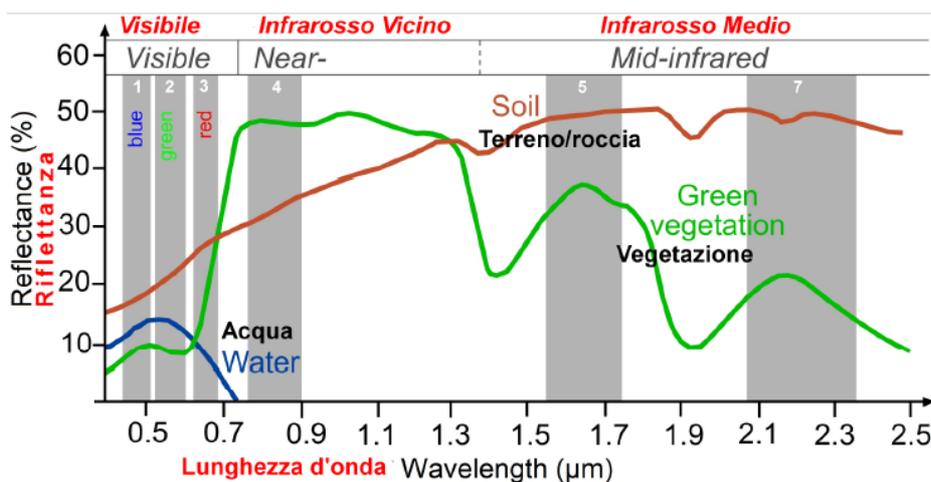


Figura 2- Spettro EEM con esempi di firme spettrali di tre classi (Acqua, Vegetazione e terreno) – in grigio le zone(bande) di sensibilità di un sensore (sensore ETM+ del Landsat7) a determinate lunghezze d'onda. Nota bene che le bande registrano un valore medio della riflettanza (Fonte: Wikipedia).

## 1.2.2 Lo spettro elettromagnetico

Lo spettro elettromagnetico è l'insieme di tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche. Esso, seppur continuo, viene segmentato per motivi pratici per poter classificare i vari gruppi di radiazione a seconda della lunghezza d'onda.

La più grande suddivisione viene fatta tra la porzione dello spettro visibile, ovvero la luce percepibile dal cervello e dall'occhio umano, e la porzione non visibile composta da radiazioni con lunghezza d'onda maggiori o minori rispetto al visibile (Ministero dell'istruzione dell'Università e della Ricerca 2005).

Il visibile (VIS) è compreso tra le lunghezze d'onda con valore di 380 e 780 nm, le quali sono solo una minima parte dell'intero spettro elettromagnetico.

La visione a colori dell'uomo, essendo limitata al visibile (VIS), permette di osservare solo alcune sfaccettature della luce; attraverso il telerilevamento invece è possibile andare ad osservare anche tutte le altre caratteristiche della luce, le quali consentono l'individuazione e l'interpretazione delle peculiarità degli oggetti che altrimenti non si potrebbero osservare.

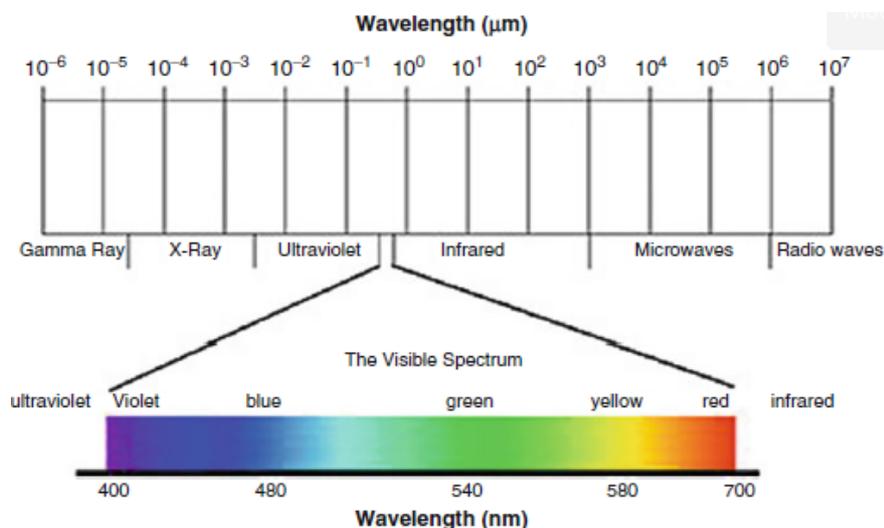


Figura 3- Suddivisione dello spettro elettromagnetico nelle varie classi di radiazione (Fonte: Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Managemetn, G.P. Obi Reddy - S.K. Singh)

Le radiazioni che vengono maggiormente utilizzate per le elaborazioni nel telerilevamento, oltre a quella del visibile, sono quelle dell'infrarosso (IR) e dell'ultravioletto (UV).

- *Ultravioletto (UV)*: I raggi ultravioletti hanno una propagazione simile a quella della luce, ma subiscono una forte attenuazione atmosferica; sono prevalentemente usati per la spettrometria.

- *Infrarosso (IR)*: la radiazione infrarossa è compresa tra 700 e 15000 nm e la si può distinguere in:
  - Infrarosso vicino (NIR) si comporta come la radiazione visibile, viene riflesso dalla superficie terrestre. Il suo intervallo di lunghezza d'onda è successivo al visibile ed è quindi compreso tra 700-1400 nm
  - Infrarosso ad onda corta (SWIR) Short Wave Infra-Red o infrarosso medio area dello spettro EEM con lunghezze d'onda 1400-3000 nm
  - Infrarosso termico (TIR) viene emesso in quantità significativa anche dalla superficie terrestre e per questo viene anche detto infrarosso emesso con area dello spettro compresa tra 3000-15000 nm

Tabella 1- Suddivisione dello spettro elettromagnetico

REGIONE DELLO SPETTRO	LIMITI
Raggi gamma	< 0.03 nm
Raggi X	0.03÷290 nm
Ultravioletto (UV)	0.29÷0.40 µm
UVB	0.29÷0.32 µm
UVA	0.32÷0.40 µm
Visibile	0.40÷0.72 µm
Vicino infrarosso	0.72÷1.30 µm
Medio Infrarosso	1.30÷3 µm
Lontano infrarosso( termico)	3÷1000µm
Microonde	1mm÷30cm
Onde radio	≥30 cm

La Terra riceve radiazione elettromagnetica dal Sole e ne assorbe una determinata quantità permettendo il riscaldamento della superficie terrestre. L'energia in eccesso viene riemessa dalla Terra ed è proprio tale energia riflessa quella che viene catturata e registrata dai sensori. Per poter capire come gli oggetti assorbono e riflettono la radiazione elettromagnetica, è necessario definire il comportamento delle onde elettromagnetiche, il quale può essere espresso tramite tre leggi: la prima legge, Legge di Planck, dimostra come qualsiasi corpo che possieda una temperatura maggiore di 0 gradi Kelvin (zero assoluto; -273.15 °C), definito "corpo caldo", emetta EEM e quindi possa essere rilevata dai sensori (Equazione 1).

$$E_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Equazione 1- Legge di Planck

La seconda legge, chiamata Legge di Stefan-Boltzmann (Equazione 2), definisce come un qualsiasi corpo che possiede una temperatura maggiore di zero gradi Kelvin (zero assoluto) emette EEM con una certa combinazione di lunghezze d'onda che dipende dalla temperatura (Figura 4).

$$j = \sigma T^4$$

Equazione 2- Legge di Stefan-Boltzmann

L'ultima legge è la legge di Wien (Equazione 3), la quale esprime il concetto che quando si aumenta la temperatura di un oggetto, il picco di emittanza si sposterà da una lunghezza d'onda maggiore ad una lunghezza d'onda minore, andando quindi, ad aumentare la frequenza. Da cui si deduce che la lunghezza d'onda del picco di emittanza e la temperatura sono inversamente proporzionali e relativi ad una costante (b).

$$b = \lambda T$$

Equazione 3- Legge di Wien

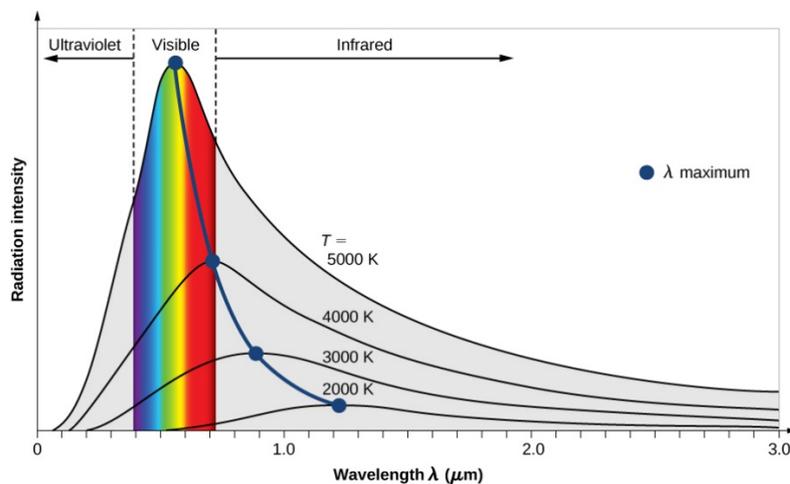


Figura 4 - L'intensità della radiazione del corpo nero rispetto alla lunghezza d'onda della radiazione emessa. Ogni curva corrisponde a una diversa temperatura del corpo nero, a partire da una bassa temperatura (la curva più bassa) a una temperatura elevata (la curva più alta) (Fonte: Samuel J. Ling (Truman State University), Jeff Sanny (Loyola Marymount University), OpenStax University Physics 2019)

La firma spettrale degli elementi che compongono la superficie terrestre è influenzata quindi, dalle caratteristiche intrinseche dell'oggetto, dalla temperatura ma anche dalla quantità di EEM riflessa dall'oggetto e da tutti i processi di interazione che avvengono tra energia elettromagnetica ed atmosfera

### 1.2.3 Il concetto di risoluzione

Dato che il sensore è uno degli elementi fondamentali per il telerilevamento (vedi Paragrafo 1.1) ed è la componente che riceve, registra e converte l'energia elettromagnetica in Volt, è indispensabile spiegare il concetto alla base delle sue caratteristiche: la risoluzione.

Ogni dispositivo sensoriale è caratterizzato da quattro proprietà:

- risoluzione geometrica o spaziale
  - risoluzione radiometrica
  - risoluzione spettrale
  - risoluzione temporale
- 
- La risoluzione spaziale

la risoluzione spaziale è l'area minima sul terreno che viene registrata dall'apparato sensoriale e corrisponde alla dimensione dell'elemento di superficie (pixel) che compone un'immagine (Khorram et al. 2012). La dimensione del pixel influisce sulla riproduzione dei dettagli della scena ed è determinata dall'altezza del sistema di ripresa e dalle sue caratteristiche intrinseche di funzionamento, in particolare dell'angolo di vista del sensore che determina l'area-impronta sulla superficie terrestre, detta anche IFOV (Instantaneous Field Of View). Quindi, in termini teorici, più la risoluzione ha una dimensione uguale alla dimensione dell'oggetto da osservare, più esso può avere un'alta risoluzione nell'immagine; una bassa risoluzione spaziale corrisponde ad un'alta definizione dei dettagli dell'immagine satellitare. In gergo tecnico però, si definisce una grande risoluzione le immagini in cui la dimensione dei pixel è bassa.



*Figura 5- Immagini Landsat ETM + (a sinistra) e Quickbird (a destra) raffiguranti la medesima area, a dimostrazione della differenza di risoluzione spaziale tra i due sensori (Landsat ETM+ risoluzione multispettrale= 30 m; Quickbird risoluzione multispettrale =2.62 m). Nell'immagine Quickbird i singoli edifici e le caratteristiche stradali minori sono facilmente riconoscibili (Fonte: S. Khorram, Frank H. Koch, C. F. van der Wiele, Stacy A. C. Nelson- Remote Sensing, 2012 libro formato PDF).*

- La risoluzione radiometrica

La risoluzione radiometrica è la minima differenza di intensità di radiazione elettromagnetica che un sistema è in grado di rilevare, tra due valori di energia limitrofi, a cui corrispondono diversi livelli di informazione registrata e livelli di grigio nell'immagine. La radiazione in entrata al sensore viene tradotta in numeri interi DN (Digital Numbers) che possono variare a seconda del numero di bit usati nell'acquisizione. Perciò, se un sensore usa 8 bit per registrare i dati, conseguentemente si avranno a disposizione  $2^8=256$  valori per rappresentarne il risultato mentre, se lo strumento usasse solo 4 bit, l'intervallo a disposizione sarebbe di  $2^4=16$  valori e conseguentemente la risoluzione radiometrica risulterebbe assai inferiore. Le immagini sono generalmente rappresentate in toni di grigi con il nero corrispondente ai valori minimi di radianza, il bianco ai massimi. Tutti i valori intermedi assumo delle sfumature di grigio, con un grado di dettaglio direttamente proporzionale alla quantità di bit registrabili dal sensore.

Al giorno d'oggi i sensori che vengono utilizzati hanno una risoluzione radiometrica a 8 bit e quindi riescono a creare delle immagini con varie sfumature di grigio il che permette una grande caratterizzazione dei dettagli all'interno del fotogramma (Khorram et al. 2012)

Va tenuto conto del fatto che la diminuzione di sensibilità radiometrica implica, di fatto, un aumento di contrasto nell'immagine (minori livelli di grigio) e quindi, entro certi limiti di rappresentazione, può migliorare il suo aspetto e la capacità di lettura da parte dell'interprete mentre, in termini quantitativi, conterrà ovviamente un numero inferiore di informazioni.

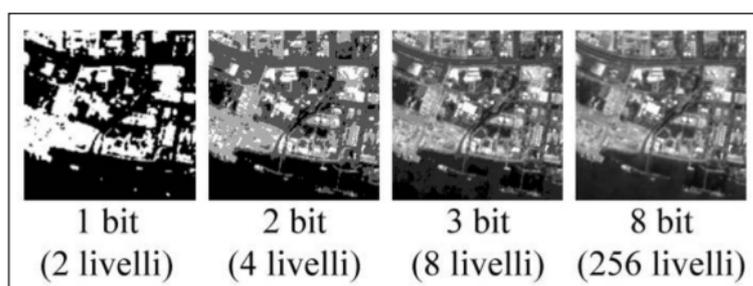


Figura 6- Esempio di varie risoluzioni radiometriche con dettagli differenti (Fonte: [www.didattica.unitus.it](http://www.didattica.unitus.it))

- La risoluzione spettrale

La risoluzione spettrale è la capacità del sensore ad essere sensibile a determinate zone dello spettro; tali zone vengono chiamate bande. Ogni banda ha come caratteristica la lunghezza d'onda nello spettro elettromagnetico alla quale ha il maggior grado di sensibilità ed ampiezza di sensibilità.

La risoluzione spettrale ci consente di ottenere delle immagini multispettrali, le quali vengono formate dalla somma di immagini che rappresentano lo stesso oggetto ma ripreso in diverse zone ed ampiezze all'interno dello spettro EEM.

L'immagine multispettrale è quindi una matrice numerica a più dimensioni, ognuna delle quali descrive la scena osservata in una specifica banda spettrale. In teoria, maggiore è il numero delle bande spettrali utilizzate maggiore sarà, a parità delle specifiche del sistema utilizzato, la capacità di indagine, e quindi la risoluzione spettrale del sensore (Khorram et al. 2012) Come espresso pocanzi, il sensore cattura simultaneamente immagini a diverse regioni dello spettro EM creando così delle immagini multispettrali, tali regioni scannerizzate prendono il nome di "bande". Nel caso in cui il sensore abbia una grande risoluzione spettrale, all'interno della stessa immagine coesisteranno immagini sovrapposte raffiguranti zone dello spettro diverse.

Un'immagine a banda singola mostra caratteristiche in varie tonalità di grigio, ma se più immagini vengono combinate, possono formare un'immagine colorata. Una composizione a colori reali si basa su usando la banda del rosso, verde e blu all'interno della regione visibile dello spettro EM. Esso si riferisce a ciò che l'occhio umano vedrebbe se una persona fosse su un satellite o un aereo guardando in basso verso la Terra.

Il telerilevamento crea la possibilità di creare ulteriori combinazioni con altre bande dando vita ad una colorazione a "falso colore". Una composizione a falsi colori generalmente migliora alcune funzionalità un'immagine, caratteristiche che potrebbero non essere così evidenti su una composizione a colori solamente nel campo del visibile (figura 8).

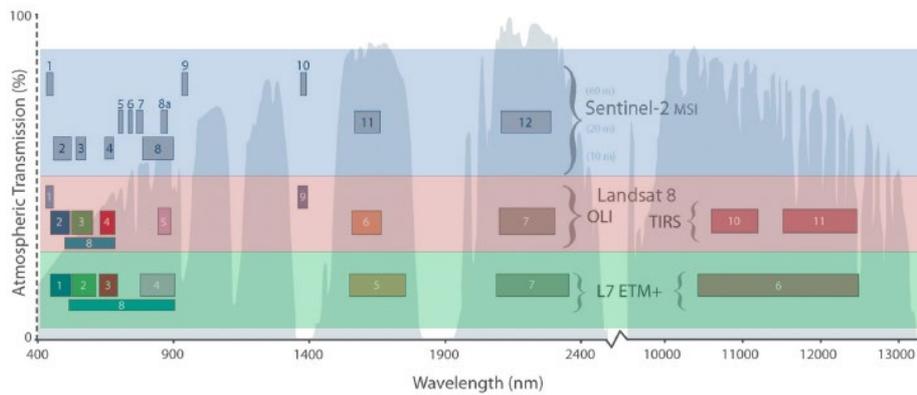


Figura 7- Comparazione tra 3 diversi sensori (ETM+ della missione Landsat 7, OLI+TIRS della missione Landsat 8 e MSI della missione Sentinel-2) per risaltare le differenze di sensibilità delle bande in base alla zona dello spettro elettromagnetico (Fonte: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>).



Figura 8- Esempio di immagine satellitare con una colorazione a Falsi Colori in cui viene utilizzata la banda dell'infrarosso al posto della banda del rosso per evidenziare la componente vegetazionale all'interno di un complesso urbano (Fonte: Ricardo Diaz-Delgado et.al, *The Roles of Remote Sensing in Nature Conservation*, 2017 libro formato PDF).

- La risoluzione temporale

La risoluzione temporale è il tempo che intercorre tra rilevamenti successivi della stessa area che, generalmente, è dell'ordine di diversi giorni. Quindi la risoluzione temporale assoluta di un sistema di telerilevamento per riprendere la stessa area con lo stesso angolo di vista è uguale a questo periodo.

In virtù del fatto che c'è una certa sovrapposizione dell'ampiezza di ripresa di orbite adiacenti per la maggior parte dei satelliti e che questa sovrapposizione aumenta all'aumentare della latitudine, alcune aree della terra possono essere riprese più frequentemente.

Inoltre, alcuni satelliti hanno la capacità di orientare i loro sistemi di rilevamento per riprendere la stessa area in passaggi differenti con intervalli temporali più ristretti.

Detto ciò, la risoluzione temporale di un sensore dipende da una varietà di fattori tra cui: le caratteristiche della missione satellitare (quota orbitale e velocità), del sistema sensoriale, e la latitudine geografica in cui viene effettuata la ripresa (Bottini, 2001).

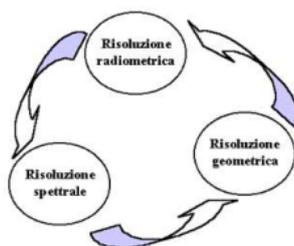


Figura 9- Le tre risoluzioni di un'immagine: un compromesso ai fini dell'ottimizzazione del risultato (Fonte: [http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol\\_3\\_2.pdf](http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol_3_2.pdf)).

#### 1.2.4 Principali tipologie di telerilevamento

All'interno del Paragrafo 1.1 è stata fatta la classificazione dei tre elementi indispensabili per ottenere un sistema per il telerilevamento. Le tipologie di questi sistemi si differenziano principalmente per la modalità con cui il sensore ottiene la radiazione che poi verrà convertita in voltaggio. Esistono due principali tipologie di telerilevamento:

- il telerilevamento attivo (*Active Remote Sensing*)
- il telerilevamento passivo (*Passive Remote Sensing*)

Il telerilevamento passivo fa uso di sensori passivi per la misurazione della radiazione elettromagnetica proveniente dall'oggetto osservato. Questa tipologia di sensori misura la radiazione solare reirradiata dall'oggetto osservato o la radiazione che l'oggetto emette spontaneamente per sua natura, effettuando la misura in diversi canali spettrali centrati su determinate lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico. Tali lunghezze d'onda vengono impostate durante la fase di progettazione del sensore e successivamente, vengono scelte sulla base delle caratteristiche fisico/chimiche della superficie che si intende studiare. I diversi canali spettrali sono caratterizzati da una forma della risposta spettrale che ne fissa la larghezza di banda e sono posizionati all'interno di una particolare regione dello spettro elettromagnetico (Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca 2005).

Le applicazioni di tali sensori dipendono dalla particolare configurazione spettrale: alcuni saranno adatti, ad esempio, per applicazioni mirate all'osservazione della superficie terrestre, altri per lo studio della superficie marina o, per una determinata superficie, può essere necessario l'uso di diversi sensori, dotati ciascuno, di particolari specifiche adatte a misurare un differente parametro caratteristico della superficie stessa.

In generale, le caratteristiche di irradiazione dell'oggetto, all'interno delle diverse regioni dello spettro elettromagnetico, influenzano in maniera decisiva il progetto del sensore adatto all'applicazione considerata.

Nel telerilevamento passivo vengono utilizzati dei sensori cosiddetti "ottici" (*optical remote sensing*) i quali operano nel visibile o nell'infrarosso e sono costituiti principalmente da un sistema ottico di ripresa, da un sensore elettro-ottico e da un convertitore analogico digitale. Il sistema ottico ha la funzione di focalizzare la radiazione ricevuta dalla superficie osservata sulla superficie del sensore vero e proprio. Questo, a sua volta, è un sistema elettro-ottico che ha il compito di convertire la potenza elettro-magnetica che lo investe in un segnale elettrico di caratteristiche opportune. Il segnale così ottenuto viene successivamente digitalizzato dal sistema di conversione A/D (analogico/digitale).

Il telerilevamento attivo, invece, fa uso di sensori attivi, in grado di trasmettere verso l'oggetto un segnale, sotto forma di onda elettromagnetica, dotato di opportune caratteristiche in grado di misurare l'intensità dell'eco di ritorno dall'oggetto stesso (Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca 2005). Quindi, oltre a registrare l'energia elettromagnetica proveniente dalle superfici, produce esso stesso delle radiazioni per illuminare la scena da riprendere. I vantaggi dei sensori attivi comprendono la capacità di ottenere misure in ogni momento senza problemi legati al momento del giorno o della stagione. D'altro canto però, i sistemi attivi richiedono la generazione di una enorme quantità di energia per illuminare adeguatamente l'oggetto.

I più comuni sensori di tipo attivo sono il Synthetic Aperture Radar (SAR), il Radio Detecting And Ranging (RADAR), il Light Detection And Ranging (LIDAR) ed infine il Sound Navigation And Ranging (SONAR).

Il principio di funzionamento dei sistemi RADAR viene ora velocemente descritto: un apparecchio trasmittente illumina lo spazio circostante con un'onda elettromagnetica che incide su eventuali oggetti subendo un fenomeno di riflessione disordinata (diffusione, scattering). Una parte del campo diffuso torna verso la stazione trasmittente, equipaggiata anche per la ricezione, dove vengono misurate le sue caratteristiche.

Il dispositivo è in grado di individuare il bersaglio elettromagnetico (detection) e, misurando il ritardo temporale tra l'istante di trasmissione e quello di ricezione, valutare la distanza (ranging) a cui è posizionato, localizzandolo in modo preciso lungo la direzione di puntamento dell'antenna (direzione di range). Le riprese in bande radar consentono il controllo della radiazione emessa dall'antenna modulando in potenza, frequenza, polarizzazione, e in direzione. Nelle immagini radar è fondamentale il concetto di tessitura, definita come la disposizione geometrica delle macro-rugosità superficiali. Forniscono informazioni su fenomeni sottosuperficiali, in funzione della densità di copertura vegetale e del contenuto di umidità, con accesso a parametri che descrivono proprietà delle superfici diverse da quelli delle bande ottiche. La profondità di penetrazione del segnale radar cresce con il crescere della lunghezza d'onda ed in funzione delle caratteristiche della superficie investigata. L'intensità risultante è strettamente legata alla quantità di energia retrodiffusa dagli elementi presenti (scatters).

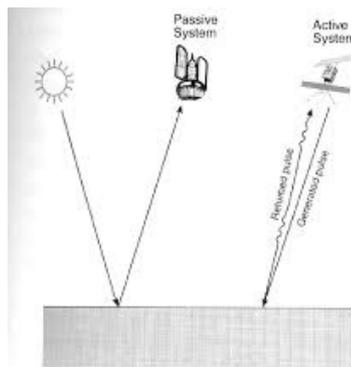


Figura 10- Immagine raffigurante le due tipologie principali di sistemi telerilevamento (Fonte: <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/562050>).

### 1.3 Interazioni tra EEM e Atmosfera

La radiazione elettromagnetica proviene dal Sole e, viaggiando attraverso il vuoto cosmico, giunge sino alla Terra. Nel momento in cui l'EEM penetra nell'atmosfera terrestre subisce variazioni di direzione, quantità e qualità prima di raggiungere la superficie terrestre.

La distribuzione della radiazione solare al top dell'atmosfera dipende da molti fattori, quali la geometria del globo, la rotazione e l'orbita ellittica attorno al sole. Risulta quindi essere funzione dell'inclinazione dell'asse terrestre, dell'eccentricità dell'orbita e della longitudine del perielio (Díaz-delgado R. 2017). L'asse di rotazione della Terra forma un angolo con la normale al piano dell'eclittica di circa  $23^\circ$ , ne consegue che le diverse regioni della Terra siano esposte in modo differente alla radiazione solare.

Una prima interazione tra EEM ed atmosfera si ha tra la porzione di luce appartenente allo spettro ultravioletto e lo strato di ozono, il quale non permette la penetrazione nei livelli inferiori della radiazione UV-C (100%) e UV-B (95%).

A mano a mano che la radiazione attraversa l'atmosfera viene privata di alcune lunghezze d'onda, ed in questo passaggio una parte dell'energia viene riflessa, assorbita e poi riemessa in tutte le direzioni e una parte viene diffusa in funzione del mezzo che incontra.

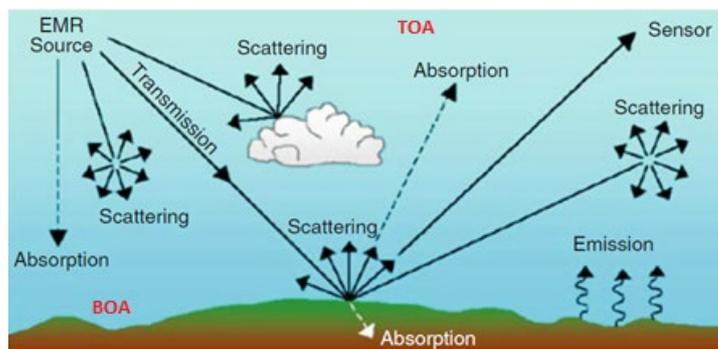


Figura 11- Interazione dell'energia con l'atmosfera e la superficie terrestre (Fonte: Lillesand and Kiefer 1993)

Inoltre l'energia cambia in relazione alla quota del sensore rispetto al terreno, perché varia lo spessore dei gas atmosferici tra esso e la superficie terrestre, inducendo il verificarsi di interazioni differenti. Se il sensore è montato su un aereo che vola a bassa quota o se le misure vengono effettuate a terra, gli effetti dell'atmosfera nella radiazione riflessa sono minimi; al contrario, i sensori montati su satellite ne sono molto influenzati, perché la radiazione riflessa deve attraversarla completamente prima di raggiungerli.

L'atmosfera ha tre effetti principali sulla EEM incidente:

- 1- modifica la composizione della EEM (lunghezze d'onda) dato che assorbe alcune lunghezze d'onda e ne lascia passare alcune altre in parte o completamente;
- 2- attenua la EEM riflessa dalla superficie terrestre, sempre per il motivo al punto precedente;
- 3- modifica la EEM riflessa dalla superficie terrestre aggiungendo quella diffusa/riflessa dalle particelle nell'atmosfera – le nuvole sono l'esempio più evidente, ma anche nebbia e smog.

È necessario inoltre sottolineare che la composizione dell'atmosfera non è costante né nello spazio né nel tempo. È però stimabile attraverso l'utilizzo di determinati parametri come ad esempio la pressione, lo spessore, l'umidità e la composizione in percentuale dei gas e particolati.

I principali processi di interazione di interesse nel telerilevamento sono lo scattering e l'assorbimento (Awange and Kiema 2019). Il fenomeno dello scattering avviene quando la radiazione elettromagnetica interagisce con le particelle fini presenti nell'atmosfera, il che produce la diffusione delle onde in tutte le direzioni. Questo fenomeno dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione (un'onda elettromagnetica può interagire con una particella quando la sua lunghezza d'onda sia paragonabile alle dimensioni caratteristiche di questa). Per quanto riguarda l'acquisizione di immagini l'effetto scattering ne diminuisce il contrasto impedendo una idonea definizione degli oggetti rappresentati.

L'assorbimento si verifica per interazione della radiazione elettromagnetica con i gas presenti in atmosfera. Questi sono in grado di assorbire parte dell'energia elettromagnetica che li attraversa per poi riemetterla sotto forma di energia radiante con lunghezza d'onda maggiore (intervallo dell'infrarosso termico).

Si può comunque definire per ogni lunghezza d'onda la percentuale di EEM assorbita, definendo quindi due caratteristiche dell'atmosfera: la trasmittanza, ovvero quanta EEM riesce ad attraversare lo strato di atmosfera ed arrivare al suolo, ed il suo inverso, l'assorbanza (Awange and Kiema 2019). In contrasto con quest'ultima, esistono aree dello spettro elettromagnetico dove l'atmosfera risulta trasparente (poca o assenza di assorbimento dell'energia) rispetto a specifiche lunghezze d'onda.

Le bande in cui l'atmosfera è relativamente trasparente vengono chiamate "finestre atmosferiche" (Figura 12). In tali aree quindi la radiazione viene poco ostacolata e penetra più in profondità nell'atmosfera senza subire grandi alterazioni. Proprio per questo motivo, i sensori per il telerilevamento in aria o sulle piattaforme spaziali sono stati costruiti per operare in una o più di una di tali finestre e effettuano le misure utilizzando rivelatori "sintonizzati" su certe frequenze (lunghezze d'onda) specifiche che attraversano l'atmosfera (Awange and Kiema 2019). Nondimeno alcuni sensori, in particolar modo quelli a bordo dei satelliti meteorologici, mirano a misurare direttamente fenomeni di assorbimento, quali quelli dovuti al CO<sub>2</sub> e ad altre molecole gassose.

Le finestre atmosferiche sono presenti nello spettro del visibile e nella regione dell'infrarosso. Nella parte del visibile, la trasmittanza è maggiormente affetta dall'assorbimento a causa fascia di ozono e dallo scattering molecolare.

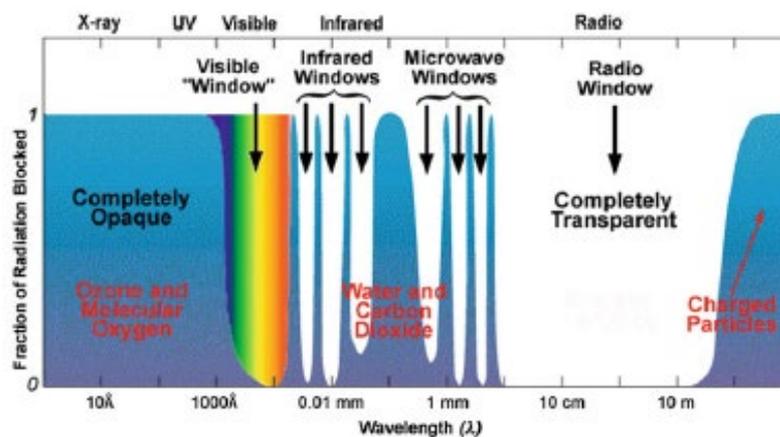


Figura 12- Finestre atmosferiche in base alla lunghezza d'onda e alla zona dello spettro EEM (Fonte: Campbell and Wynne 2011).

## 1.4 Prelaborazione generale delle immagini

Per quanto riguarda lo studio della superficie terrestre mediante l'utilizzo delle immagini satellitari, sono di fondamentale importanza tutte le fasi di pre-processing.

Tali operazioni permettono di ottenere un'immagine "pulita" e quindi in assenza di disturbi derivanti dall'atmosfera.

Infatti, come espresso in precedenza, le onde elettromagnetiche che giungono al suolo interagiscono con l'atmosfera terrestre, in modo particolare con i gas (anidride carbonica, ozono, vapore acqueo).

### 1.4.1 Correzione Atmosferica (Atmospheric Correction)

L'obiettivo della correzione atmosferica, o calibrazione, delle immagini satellitari, è quello di rimuovere l'influenza che ha l'atmosfera rispetto alle lunghezze d'onda ricevute dal sensore e per poter convertire la radianza (radiance) in riflettanza (reflectance) della superficie terrestre.

Il risultato che si ottiene sarà un'immagine accurata per quello che riguarda l'informazione spettrale, di modo da poter essere comparata alle librerie spettrali disponibili in bibliografia, e di conseguenza, poter determinare le componenti presenti al suolo.

Bisogna precisare che tale effetto non è sempre un errore, ma in alcune applicazioni si studia proprio l'effetto dell'atmosfera sulla EEM per stimare proprio la composizione dell'atmosfera (Awange and Kiema 2019).

Il sensore registra la quantità di EEM che arriva al sistema ottico trasformando questa quantità in valori numerici registrati su supporti digitali (DN-Digital number).

Come si evince dalla Figura 11, la EEM viene modificata dalla superficie terrestre (Bottom of Atmosphere - BOA) fino all'estremo esterno dell'atmosfera (Top of Atmosphere - TOA) e poi arriva al sistema ottica/sensore dove le diverse componenti della EEM vengono trasformate in radianza (voltaggio) ed il voltaggio viene registrato come un numero, chiamato Digital Number (DN) che è il valore del pixel che trovate nel raster corrispondente alla banda. Nell'analisi delle immagini siamo interessati al valore di riflettanza BOA, ma abbiamo il valore DN, che, subendo i passaggi sopra descritti.

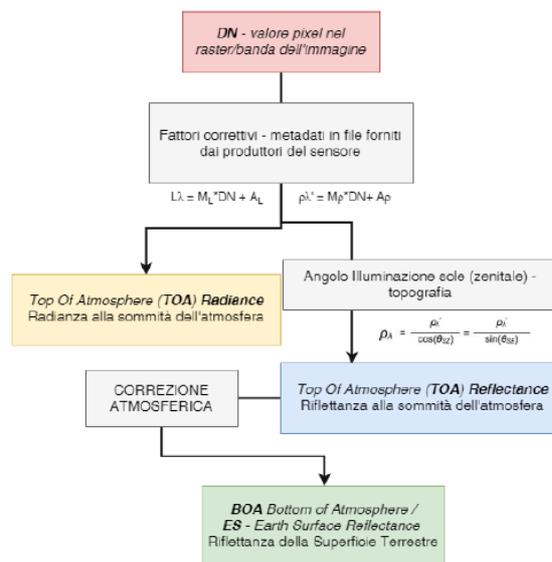


Figura 13- Passaggi per collegare il DN al valore di riflettanza BOA (Fonte: Slides Lezioni del corso di Telerilevamento e Sistemi informativi tenuto dal Phd F. Pirotti).

Come si evince dalla Figura 14, se si vuole utilizzare il telerilevamento per studiare la superficie terrestre ci interessa  $L_i$ , “ripulito” dal  $L_p$ ; è necessario quindi eliminare  $L_p$  per ottenere  $L_i$ , e questo richiede di eliminare l’effetto dell’atmosfera.

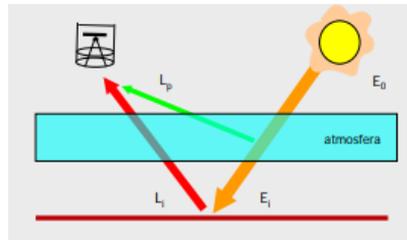


Figura 14- Schema semplificato delle variabili presenti nella correzione atmosferica (Fonte: Google Immagini).

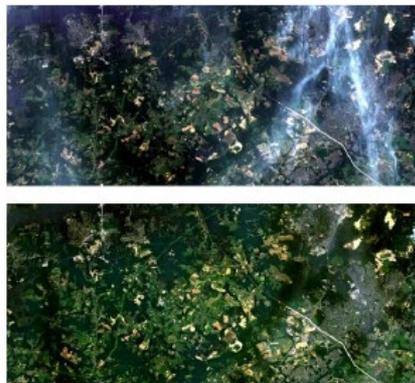


Figura 15- esempio di correzione atmosferica – sopra: un’immagine prima della correzione (TOA – Top of Atmosphere) e sotto dopo la correzione atmosferica (BOA – Bottom of Atmosphere). L’elaborazione è stata fatta mediante software dell’ESA SNAP (Fonte: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-2a>).

Ci sono diversi metodi per correggere l’effetto dell’atmosfera quindi riflettanza TOA → riflettanza BOA (o ES).

I primi due metodi che verranno descritti in seguito sono comunemente utilizzati, in quanto non richiedono la conoscenza di parametri atmosferici. L’ultimo metodo è più sofisticato, ma richiede le informazioni sui parametri atmosferici.

– Modelli empirici - Trasformazione diretta

La trasformazione diretta implica un rilievo in campo di valori di riflettanza nel momento della ripresa dell’immagine da satellite. I valori misurati sul campo vengono poi usati applicando una funzione di trasformazione tra DN del pixel ed il valore di riflettanza.

$$RT_{\lambda} = a * DN_{\lambda} + b$$

dove  $R_t$  è il valore di riflettanza BOA misurato a terra, nello stesso momento della registrazione fatta dal satellite, con gli strumenti sul campo (e.g. spettrometro),  $a$  e  $b$  sono i parametri, che si calcolano automaticamente dato che conosciamo il DN del pixel corrispondente alla misura.

Avendo più pixel di controllo è possibile risolvere l'equazione per  $a$  e  $b$ , e quindi correggere trasformare tutti i DN in  $R_t$ .

Questo metodo è utile anche quando ci sono oggetti con  $R_t$  noti e che coprono almeno un pixel completamente, quindi dando pixel "puri" – ad esempio corpi idrici di acqua pulita e calma hanno valori noti di riflettanza – in questo caso non serve fare rilievi a terra.

- Modelli empirici - Pixel "nero" – Dark Object Subtraction (DOS)

Un metodo, più semplice, in quanto non richiede rilievi o informazioni particolari, ma meno efficace, è quello che presuppone che nell'intera immagine ci siano almeno alcuni pixel in zone d'ombra. Si ipotizza dunque che da queste aree la radianza che arriva al sensore è solo dovuta a radianza diffusa dall'atmosfera e non da quella proveniente dalla riflettanza dell'oggetto. In assenza di radianza diffusa dall'atmosfera, il DN di questi pixel dovrebbe essere zero; un valore superiore indica che quella risposta è data dalla diffusione dell'atmosfera e quindi si può sottrarre ai valori di DN di tutti gli altri pixel:

$$FC_{\lambda} = DN_{\lambda}^{pixelNero-0.01\%}$$

dove  $FC$  è il fattore di correzione, ovvero il valore da sottrarre a tutti i pixel della banda  $\lambda$ .

- Modelli parametrici/fisici

Modelli più complessi richiedono più parametri, e considerano i diversi fenomeni di diffusione (Rayleigh e Mie). Alcuni esempi sono il LOWTRAN 7, il 6S ed il 5S. L'applicazione di questi modelli richiede un'accurata valutazione delle condizioni dell'atmosfera (umidità, trasparenza etc...), in quanto danno buoni risultati quando queste corrispondono alle indicazioni del modello stesso.

#### 1.4.2 Correzione Geometrica (*Geometric Correction*)

Le immagini telerilevate possono contenere due tipi di distorsioni geometriche: sistematica e non sistematica. Le distorsioni sistematiche sono dovute al movimento dell'immagine causato dal movimento in avanti del velivolo o del veicolo spaziale, variazioni nella velocità di scansione dello specchio, distorsioni panoramiche, variazioni nella velocità della piattaforma e distorsioni dovute alla curvatura della Terra.

Le distorsioni non sistematiche sono dovute a malfunzionamenti del sensore o variazioni dell'altitudine e dell'assetto del satellite. I dati disponibili sulle piattaforme on-line sono già processati e quindi privi di molti degli errori sistematici.

Le tecniche più comuni per rimuovere le rimanenti distorsioni sistematiche e non sistematiche sono la rettifica da immagine a mappa e la registrazione *image to image* (cioè la corrispondenza geografica con dati spaziali esistenti), che prevede la selezione di un gran numero di punti di controllo del suolo ben definiti condiviso dall'immagine di destinazione e dall'immagine o mappa di riferimento (Khorram et al. 2012)

#### 1.4.3 Correzione Radiometrica (*Radiometric Correction*)

Le distorsioni radiometriche variano tra i diversi sensori. In genere, le correzioni dell'altezza solare e le correzioni della distanza Terra-Sole vengono applicate ai dati satellitari per rimuovere gli effetti della posizione stagionale del Sole rispetto alla Terra e per normalizzare le variazioni stagionali della distanza tra la Terra e il Sole. Inoltre, è possibile applicare algoritmi di rimozione del rumore per rimuovere eventuali malfunzionamenti nei sensori o nei rivelatori. Le cause possono includere la quantizzazione del segnale, la caduta della linea di dati e la registrazione. Sono disponibili diversi algoritmi di de-stripping per rimuovere gli effetti di stripping e banding nei dati satellitari (Khorram et al. 2012).

Le cadute di linea possono essere corrette sostituendo i valori spettrali nella banda mancante con la media delle linee sopra e sotto di esse. Le variazioni non sistematiche dei livelli di grigio da pixel a pixel (ad es. Errori di bit) possono essere corrette sostituendo questi valori con valori vicini che superano i valori di soglia stabiliti dall'analista come mostrato nella Figura 16.

In questo esempio, le righe di dati rilasciate che vengono registrate come valori zero nell'immagine digitale (a) vengono sostituite dalla media dei valori sulle righe acquisite sopra e sotto le righe di dati errati (b).

Tuttavia, quando le linee rilasciate hanno una larghezza superiore a pochi pixel (in genere 3-5 in base alla dinamica della scena locale), la media lineare non sembra appropriata (Khorram et al., 2012)

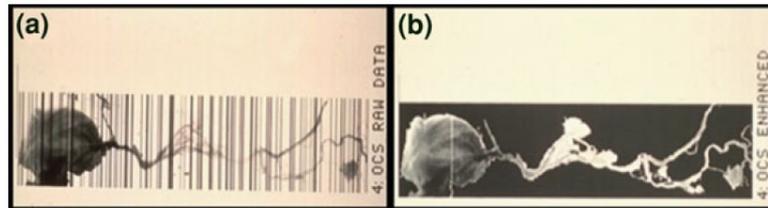


Figura 16 - Correzione radiometrica delle linee di caduta dei dati in un'immagine Ocean Color Scanner di San Pablo Bay, California, e del suo delta fluviale associato (Khorram, 1985)

## 1.5 Interazioni tra EEM e superficie terrestre (ES)

L'energia elettromagnetica che raggiunge la superficie terrestre viene quasi completamente assorbita da oceani, litosfera, criosfera e biosfera e solo in minima parte riflessa. In accordo con la prima legge della termodinamica l'energia assorbita può essere trasformata in calore (energia interna) o utilizzata per compiere lavoro contro l'ambiente (in tal caso si manifesta come energia cinetica o potenziale). Per mantenere la Terra nel suo stato di equilibrio (osservabile per scale temporali lunghe), l'energia assorbita deve essere bilanciata da un'uguale quantità di energia emessa verso lo spazio dalla superficie terrestre e dall'atmosfera sotto forma di radiazione.

A causa dell'enorme differenza di temperatura di emissione tra il sole (~6000K) e la Terra (~288K), la radiazione solare raggiunge il massimo di emissione nella banda del visibile ( $\lambda \sim 0.5 \mu\text{m}$ ), mentre la radiazione terrestre ha il suo picco nell'infrarosso (IR,  $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$ ) (Figura 17).

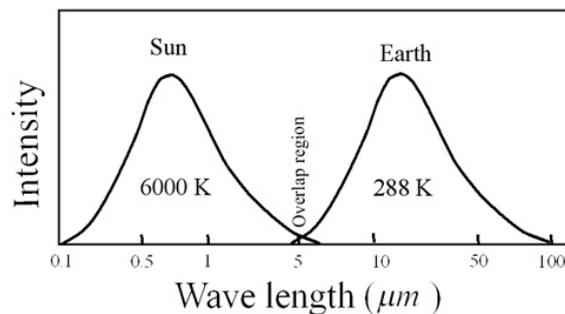


Figura 17- Curve di emissione di corpo nero per la radiazione solare e terrestre (Fonte: <https://nptel.ac.in/courses/119102007/9>, tramite Google Immagini).

Quindi la Terra emette in continuazione radiazione nel campo dell'infrarosso verso l'atmosfera, riscaldandola e permettendo la vita. Emettendo in atmosfera tale radiazione può arrivare quindi al sensore del satellite. Il risultato del fenomeno fisico per cui un corpo interagisce con la radiazione in arrivo riflettendola seguendo delle leggi fisiche ben definite è chiamata riflettanza, come visualizzato nella Figura 18 a pagina successiva.

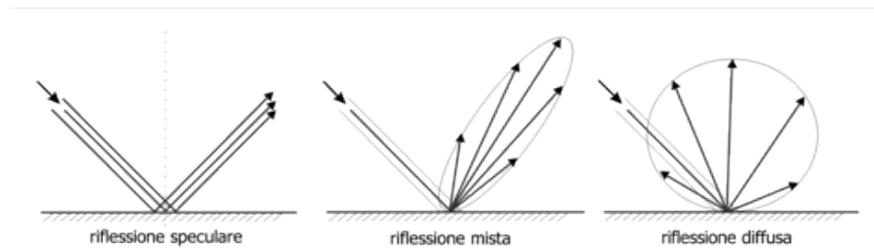


Figura 18- Possibili tipologie di riflessione dell'EEM in base all'oggetto (in natura la modalità è quasi sempre una riflessione mista) (Fonte: <http://www.consted.com/doc2008/apparecchi-illuminazione.asp>, tramite Google Immagini).

La riflettanza è la misura della riflessione, ovvero il rapporto tra intensità riflessa e intensità incidente. Oggetti lucidi (specchi) tendono verso una riflessione speculare, mentre oggetti opachi tendono verso una riflessione diffusa quasi perfetta (Lambertiana).

La maggior parte degli elementi in natura hanno un comportamento misto.

Le superfici “opache” tendono invece verso i diffusori perfetti. Per opache si intende superfici che hanno una tessitura con elementi di dimensione dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda che li colpisce. All'occhio nudo questi elementi vengono visti come opachi perché non è possibile percepire gli elementi microscopici che fanno da diffusori della luce. Questo fenomeno viene utilizzato anche per produrre superfici ad hoc che riflettono non specularmente (esempio cartelli stradali o targhe delle automobili).

In natura la maggior parte degli oggetti sono composti da più elementi, e quindi la loro firma spettrale sarà il risultato del mescolamento (spectral mixing) delle diverse firme spettrali degli elementi che li compongono, in funzione della percentuale di ogni elemento.

## **CAPITOLO 2 - Il telerilevamento come supporto alla gestione dei disturbi ambientali**

Una peculiarità dei satelliti è indubbiamente la possibilità di osservare la superficie terrestre senza limiti, per questo, si dimostra il metodo più adatto per il monitoraggio di zone molto estese e lontane. Poter osservare dall'alto l'insieme da analizzare, dona la possibilità di individuare la presenza di qualsiasi anomalia inoltre, consente di apprezzare la superficie che è stata coinvolta da un disturbo naturale. La corrispondente attività svolta con mezzi a terra non frutterebbe gli stessi risultati: in primo luogo costerebbe una cifra esorbitante in materia di personale reclutato, senza parlare del fatto che la presenza di persone diverse che operano rilievi sul campo potrebbe creare una eterogeneità dei dati causata dalla soggettività degli operatori. Oltretutto, maggiormente nelle zone di margine, sussiste la difficoltà a terra nell'individuare la fine dell'area colpita dal disturbo.

Dal lancio del primo satellite della serie Landsat, avvenuto nel 1972, si è fatta molta strada in termini tecnologici e le risoluzioni dei sensori impiegati nel telerilevamento sono nettamente migliorate, permettendo di estendere le applicazioni di questa disciplina anche nella gestione dei disastri naturali (Fellow and Simonovic 2002)

Nel XXI secolo le questioni ambientali occupano un posto molto importante all'interno della sfera socio-politica mondiale, partendo dal Global Warming fino all'enorme dispersione di plastiche e microplastiche nei mari e negli oceani (Franza 2000).

Indubbiamente la Terra è entrata in una fase di cambiamento climatico, dove qualsiasi ecosistema subisce e/o subirà delle variazioni. Tali cambiamenti interagiscono anche con il regime dei disturbi, il quale viene definito come la distanza temporale tra due eventi di disturbo all'interno del medesimo ecosistema. Variando tale temporalità, gli ecosistemi non sono più in grado di autosostenersi e quindi si ha la possibilità di avere una perdita di naturalità. Ovviamente l'essere umano è il principale responsabile di tale situazione e proprio per questo è necessario attuare delle politiche lungimiranti per l'applicazione di tecniche di gestione ambientale sostenibili.

Vedere i disturbi ambientali come delle vere e proprie catastrofi molte volte è sbagliato siccome alcuni ecosistemi necessitano di input di distruzione per potersi sostenere nel tempo. Un esempio è l'ecosistema composto da foreste di Pino D'Aleppo (*Pinus halepensis*, Mill. 1768) o di Pino Giallo (*Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson), le quali necessitano del passaggio del fuoco per potersi rinnovare. Infatti, tali specie, vengono

definite “specie pirofite” (dal greco *piro-* cioè fuoco e *-fito* ovvero pianta). Tali specie sono in grado di resistere all’azione del fuoco, o anche in grado di avvantaggiarsene. Nello specifico i due pini sopracitati, hanno gli strobili caratterizzati da un’elevata percentuale di resina e di un composto particolare chiamato “serotina”. Le varie scaglie che compongono gli strobili sono mantenute coese l’una all’altra tramite la serotina e solamente con il passaggio del fuoco e il simultaneo aumento di temperatura riescono ad aprirsi. Aprendosi liberano i semi che potranno cadere a terra e germinare. Inoltre, nel caso del Pino Giallo, l’incendio, oltre ad operare la dinamica appena espressa, mineralizza il suolo offrendo un substrato maggiormente idoneo alla germinazione del seme.

Proprio per questo la conoscenza dei disturbi riferiti a certi ecosistemi è di fondamentale importanza per la gestione degli stessi. D’altro canto, qualora a causa anche dei cambiamenti climatici, il disturbo si verifichi in ambienti che non l’hanno mai avuto, allora si tratta di una vera e propria catastrofe, soprattutto se vengono anche coinvolte vite umane.

L’impatto delle catastrofi può essere mitigato solo con una conoscenza adeguata del territorio, in modo da poter organizzare al meglio sia piani di prevenzione tramite la valutazione e determinazione di aree di rischio, con la conseguente pianificazione territoriale, sia attraverso piani di avvertimento, attuazione e gestione dei soccorsi in maniera rapida ed adeguata. L’utilizzo di dati telerilevati, siano essi satellitari o aerei, permette inoltre di mappare la variabilità delle proprietà del terreno (come la vegetazione, la geologia, l’umidità del territorio), sia nello spazio e sia nel tempo, permettendo di ottenere un quadro sinottico dell’area in esame e informazioni ambientali molto utili alle diverse scale, da interi continenti fino a dettagli di pochi metri (Smara 2005).

Nella gestione delle catastrofi l’obiettivo degli esperti è da sempre quello di monitorare la situazione e riuscire a simulare al meglio, tramite la realizzazione di modelli adeguati, il fenomeno in modo tale da individuare le zone più soggette al rischio e riuscire a strutturare nel migliore dei modi i piani di emergenza appropriati. In particolare, quindi, il telerilevamento può essere impiegato in maniera efficace nelle diverse fasi della gestione delle catastrofi:

- Nella fase di prevenzione dei disastri permette, attraverso uno studio multi-temporale dell’area, di identificare potenziali aree soggette a rischio e di stimare la densità di popolazione nelle aree soggette a disastri;

- Nella fase di preparazione alle catastrofi è uno strumento utile per la pianificazione delle rotte di evacuazione, per la progettazione di centri di emergenza ed inoltre, dall'integrazione con altri dati pertinenti, può essere di supporto per la realizzazione dei sistemi di allerta;
- Nella fase di attuazione della catastrofe permette di valutare rapidamente la gravità e l'impatto dei danni provocati e di calcolare le vie più veloci ed agevoli per i soccorsi alle vittime, oltre che individuare i luoghi più adatti per il rifugio degli sfollati e dei profughi;
- Nella fase di riabilitazione dal disastro permette d'individuare i siti per la ricostruzione.

Ciascuna applicazione ha le sue specifiche esigenze per quello che riguarda la risoluzione spaziale, la risoluzione spettrale e la risoluzione temporale (Sansò 2011). Ci sono applicazioni che richiedono la disponibilità dei dati ripetutamente (risoluzione temporale breve), come le applicazioni sull'inquinamento da idrocarburi nel mare, sugli incendi e il monitoraggio del movimento dei ghiacci. Alcune applicazioni richiedono solamente immagini stagionali (identificazione delle colture, malattie forestali e monitoraggio delle aree umide), altre ancora hanno bisogno di acquisire l'immagine una sola volta (geologia strutturale).

In molte applicazioni, l'uso di informazioni provenienti da differenti fonti garantisce l'identificazione degli elementi dell'immagine in modo che sia più accurata possibile. Proprio per questo è necessario più di un sensore per poter avere una scala di dettaglio maggiore, che sappia colmare tutti i requisiti per una data applicazione. I dati addizionali che possono fornire un aiuto nell'analisi e nella interpretazione delle immagini sono detti "dati ancillari" (Planetek Italia 2006).

Focalizzandoci sullo scopo di tale elaborato si ha l'obbligo di spiegare come i sistemi di telerilevamento possano aiutare nella gestione post disturbo causato da schianto da vento.

Iniziamo con il dire che, come espresso in precedenza, gli schianti da vento non devono essere visti sempre come delle vere e proprie catastrofi infatti, analizzando le due immagini sotto riportate, è possibile apprezzare come il fotogramma di sinistra, raffigurante un taglio raso attuato in British Columbia (Canada), sia molto simile agli scenari post tempesta VAIA (immagini a destra).



Figura 19- Confronto tra un taglio raso avvenuto in British Columbia a sinistra e gli schianti da vento a causa del tempesta VAIA (Fonte: <https://sisefeditor.org/2018/11/13/editoriale-selvicoltura-e-schianti-da-vento-il-caso-della-tempesta-vaia/> per l'immagine di VAIA. <https://thenarwhal.ca/25-years-after-clayoquot-sound-blockades-the-war-in-the-woods-never-ended-and-its-heating-back-up/> per l'immagine della British Columbia).

Questo sottolinea come politiche forestali attuate in paesi esteri siano molto invasive sul territorio e nonostante ciò consentono una perpetuazione nel tempo di un ecosistema. Quindi, dal punto di vista della successione naturale, i numerosi schianti causati dalla tempesta VAIA non sono un grave problema, infatti in circa 70-80 anni, potremmo apprezzare dei paesaggi non molto diversi rispetto a quelli presenti prima della tempesta (per un ecosistema forestale tempi di 80 anni sono periodi abbastanza brevi ma rispetto alla visione antropocentrica sono un intero lasso di vita).

Il problema sussiste quando la natura incontra le esigenze dell'uomo di fatti, i danni principali di cui l'essere umano si preoccupa sono i mancati guadagni derivanti da un legname non ancora pronto all'inserimento nel mercato.

Indubbiamente questo disturbo ha causato un cambiamento nell'ecosistema, andando a spostare l'equilibrio verso successioni forestali più primitive; eliminando la copertura forestale ha causato una diminuzione o addirittura l'estinzione di alcune multifunzionalità offerte dal bosco.

L'eliminazione della copertura forestale porta quindi ad una:

- Maggiore erosione superficiale del suolo
- Diminuzione della stabilità del suolo
- Possibile formazione di dissesti idrogeologici (frane, colate detritiche, valanghe, caduta massi)
- Alterazione della regimazione delle acque
- Perdita di habitat e nicchie ecologiche per molte specie faunistiche e floristiche

## 2.1 Telerilevamento come mezzo per la mappatura dei disturbi da vento

In un contesto di cambiamento climatico, le tempeste di vento sono diventate sempre più frequenti. I danni causati da eventi inaspettati devono essere rapidamente mappati per prevenire i rischi di incendio e aggiornare l'inventario forestale nazionale.

Siccome le indagini a terra sono complesse a causa degli ostacoli creati dagli alberi caduti, le tecniche di telerilevamento offrono un'ottima alternativa per un monitoraggio rapido di aree estese e inaccessibili.

La maggior parte degli studi sul disturbo forestale indotto dal vento sono basati sul telerilevamento ottico passivo, utilizzando i cambiamenti nelle informazioni sulla copertura del suolo / uso del suolo, la variazione standardizzata degli indici di vegetazione (NDVI), come indicatore del danno forestale post-tempesta, e approcci geospaziali per classificare i danni da calamità naturali (Yuan, Dickens-Micozzi, e Magsig 2002; Schwarz et al. 2003; Lee et al. 2008; Myint et al. 2008; Rodgers, Murrah e Cooke 2009).

Il livello di danno delle foreste da parte dei forti venti è legato alla dimensione dell'albero, alla struttura della chioma, all'origine bio-geografica, alla densità del legno, alla topografia locale e all'intensità del vento (Bellingham 1991)

Come descritto da vari autori ed esperti di telerilevamento, la valutazione dei danni da tempesta utilizzando le immagini multispettrali può avvenire secondo due approcci:

1. modelli di danno da tempesta basati su descrittori di immagini
2. mappatura dei danni da tempesta usando il metodo della classificazione delle immagini.

Nel primo approccio, vengono valutate le relazioni tra descrittori di immagini e variabili forestali, per esempio la relazione tra la variazione di NDVI e la porzione dell'area danneggiata per pixel (Wang et al. 2010) o tra la texture dell'immagine e la perdita percentuale di copertura forestale (King et al. 2005). Tuttavia, le correlazioni ottenute non sono sufficienti per un'accurata mappatura dei danni (Olthof, King e Lautenschlager 2004; King et al. 2005).

La seconda tipologia di approccio prevede l'interpretazione visiva tradizionale delle immagini, la quale però richiede molto tempo (Clandillon, Yesou, and Meyer, 2003). In tale

metodo si procede andando a classificare i vari elementi secondo la loro peculiare firma spettrale di emissione. Tale metodologia prende nome di classificazione.

La classificazione viene definita come un processo che utilizza le informazioni contenute in uno (o più) raster appartenenti a immagini satellitari (o altre fonti, e.g. DTM) per segmentare l'immagine stessa (quindi il territorio rappresentato) in aree omogenee per un determinato criterio. Formalmente il procedimento comprende due fasi, la "segmentazione", dove ad ogni pixel viene assegnato ad un gruppo (cluster) usando criteri propri del procedimento (algoritmo) e la "classificazione" vera e propria, ovvero l'assegnazione di una classe ad ogni segmento, anche qui, con criteri definiti da chi esegue il procedimento.

L'obiettivo principale di questa procedura è quello di classificare automaticamente tutti i pixel di un'immagine in diverse classi o temi di copertura del suolo.

Esistono due differenti processi che portano alla creazione di un'immagine classificata:

- classificazione supervisionata (*Supervised classification*)
- classificazione non-supervisionata (*unsupervised classification*)

### 2.1.1 Classificazione supervisionata

La classificazione supervisionata, detta anche classificazione guidata, fa parte dei DIP (Digital image processing) ovvero un insieme di processi volti a riconoscere oggetti di interesse in un'immagine, adottando tecniche di elaborazione avanzate con l'obiettivo di migliorare i parametri di qualità dell'immagine (Fu 1994; Kulkarni 1994, 2001; Ritter e Wilson 2001).

Nella classificazione supervisionata è l'esperto che definisce a priori le classi di informazioni (legenda) e riconosce un certo numero di pixel come riferimento per ognuna delle classi.

Il primo step nella classificazione supervisionata è quindi, quello di selezionare le aree che saranno rappresentative della classe che si deve classificare, in poche parole è il processo di utilizzo di campioni di identità di radiazione nota per classificare i pixel di identità sconosciuta.

Operativamente l'analista definisce all'interno dell'immagine una piccola area, chiamata area di training (*Training Area, TA*) o regione di interesse (*Region of Interest, ROI*), la quale deve essere rappresentativa dell'elemento che si vuole classificare.

Per ogni elemento che si deve classificare sarà necessario creare delle diverse ROI con al loro interno valori diversi ma simili di radianza contenuti nei pixel. I valori spettrali per ciascun pixel all'interno di un'area di training vengono utilizzati per definire lo spazio decisionale per quella classe.

Per esempio, se in un'immagine si volesse classificare la componente vegetazionale e quella urbana, l'operatore dovrà prima individuare e poi disegnare delle ROI nelle zone dell'immagini raffiguranti delle aree verdi, dopodiché dovrà creare delle ROI diverse per la parte urbanizzata.

Un pixel è caratterizzato dalla sua firma spettrale, che è determinata dalla riflettanza relativa nelle diverse bande di lunghezze d'onda che rispecchiano l'oggetto dell'analisi. La classificazione multispettrale è un processo di estrazione delle informazioni che analizza queste firme spettrali e assegna i pixel alle classi in base a firme simili.

Le firme spettrali di riferimento verranno poi utilizzate per associare tutti i pixel dell'immagine ad una data classe usando diversi metodi.

Alcuni metodi comunemente utilizzati sono i seguenti:

- Massima Verosimiglianza (Maximum Likelihood)
- Minima distanza (Minimum Distance)
- SAM – Spectral Angle Mapper

L'algoritmo della Massima Verosimiglianza (Maximum Likelihood) è un metodo di classificazione guidata (supervised) che utilizza le firme spettrali fornite dall'utente per associare ad una data classe ogni pixel presente nell'immagine. Il risultato di questo metodo risulta ottimale quando la distribuzione nello spazio multi-dimensionale spettrale segue una distribuzione normale (Gaussiana).

Il metodo calcola la somiglianza usando media, varianza e matrice di covarianza. È ottimale quando sono presenti un numero di bande non troppo elevato altrimenti il metodo seguente (SAM) è più indicato.

Il metodo SAM (Spectral Angle Mapper) utilizza le firme spettrali come vettori nello spazio spettrale multidimensionale. Confronta l'angolo tra firma spettrale del pixel considerato e le firme spettrali di riferimento delle classi da considerare; la classe che ha l'angolo minore con quella del pixel considerato sarà quella che verrà assegnata al pixel. È molto utilizzato quando il numero di bande è molto elevato (immagini cosiddette iper-spettrali).



Figura 20- I risultati di una classificazione supervisionata mediante l'algoritmo di massima verosimiglianza (in basso), rispetto a un'immagine composita a colori reali dell'area target (Fonte: Fonte: S. Khorram, Frank H. Koch, C. F. van der Wiele, Stacy A. C. Nelson- Remote Sensing, 2012, libro formato PDF)

## 2.1.2 Classificazione non-supervisionata

L'obiettivo della classificazione non-supervisionata è di separare automaticamente i pixel di un'immagine satellitare in gruppi di carattere spettrale simile attraverso il “clustering”. Per clustering si intende un insieme di processi statistici che, tramite algoritmi, creano delle classi di pixel in base alle loro firme spettrali condivise. Per fare tale operazione esistono dei software con degli algoritmi che individuano e comparano ogni pixel con il cluster (gruppo) che gli viene assegnato per vedere se appartengono ad esso oppure no.

I metodi di classificazione non-supervisionata comportano un input iniziale limitato da parte di un analista, in quanto un algoritmo informatico determina i cluster più appropriati dai dati dell'immagine. Tuttavia, l'operatore dovrà prendere alcune decisioni per guidare l'algoritmo di clustering, come il numero di cluster in output desiderato, il numero di iterazioni e i valori di soglia statistici utilizzati per separare i cluster.

È importante comprendere che, sebbene la maggior parte dei cluster di output possa essere facilmente assegnata ad una particolare classe nello schema di classificazione selezionato, è anche comune che alcuni cluster siano ambigui in quanto apparentemente rappresentano un mix delle classi all'interno dello schema di raggruppamento.

Il messaggio chiave è che gli analisti dovrebbero essere consapevoli che la classificazione non-supervisionata, come la classificazione supervisionata, ha delle limitazioni che possono andare a distorcere l'accuratezza e l'interpretabilità dell'immagine classificata.

Un algoritmo utilizzato nella classificazione non-supervisionata è il K-means. Il classificatore non-guidato "K-means" esegue un'operazione iterativa per identificare i cluster. Parte inserendo nello spazio un numero di punti-candidati (PC) uguale a quello del numero di cluster che si vuole estrarre. I PC saranno i baricentri dei cluster. Il metodo di posizionamento dei PC utilizza un algoritmo di casualità. Vengono poi calcolati i baricentri dei punti inclusi nello spazio di Voronoi (vedi Figura 21), e vengono spostati i PC per corrispondere al baricentro ricalcolando lo spazio di Voronoi. Questi passaggi vengono fatti in modo iterativo fino a quando non viene raggiunto un punto ottimale di clusterizzazione.

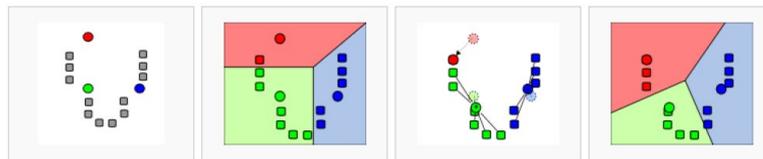


Figura 21- Esempio di creazione di tre cluster in modo iterativo – nelle due assi in questo esempio 2D ci sono due bande a scelta, nel reale questo accade per un numero N di dimensioni a seconda del numero delle bande (Fonte: Wikipedia).

### 2.1.3 Valutazione dell'accuratezza di una classificazione

Le mappe tematiche prodotte in seguito alla classificazione delle immagini, devono essere sottoposte ad una rigorosa valutazione statistica di accuratezza prima di poter essere impiegate nello scopo per il quale sono state redatte. L'accuratezza di una mappa tematica è definita come la misura dell'accordo tra la mappa, ottenuta dalla classificazione, e un riferimento che si assume come verità. Quanto più la mappa tematica si avvicina al riferimento assunto, tanto più la classificazione è accurata (Brivio et al., 2006).

Lo strumento principe per valutare l'accuratezza di una mappa tematica è la matrice di errore.

La matrice di errore o matrice di confusione è una matrice quadrata in cui vengono riportati i risultati dal confronto tra la mappa tematica prodotto in seguito alla classificazione e la verità di riferimento. Ha dimensione  $q \times q$ , dove  $q$  è il numero delle classi o categorie nella mappa e le colonne rappresentano i dati di riferimento (verità), mentre le righe rappresentano i dati della classificazione.

Tabella 2- Esempio di matrice degli errori in cui, nelle colonne vengono visualizzati i dati di riferimento ottenuti da banche dati, nelle righe invece i dati raccolti dall'operatore durante la classificazione.

		Reali (controllo)				NUMERO DI CLASSI >>>		Errori di Commissione	USER Accuracy Precision (Precisione)		
		Bosco	Prato	Roccia	urbano						
		1	2	3	4	□					
Classificati (stima)	Bosco	1	306	0	0	0	306	0,0%	100,0%		
	Prato	2	0	656	19	0	675	2,8%	97,2%		
	Roccia	3	0	0	2799	0	2799	0,0%	100,0%		
	urbano	4	0	0	0	63	63				
		□	306	656	2818	63	3843				
			Errori di Omissione PRODUCER Accuracy Recall (richiamo)					0,00%	0,00%	0,67%	0,00%
			100,00%	100,00%	99,33%	100,00%					

I dati di riferimento vengono ottenuti da banche dati di immagini satellitari dove le firme spettrali di ogni elemento corrispondono al 100% a quell'oggetto.

Come mostrato in Tabella 2 l'accuratezza è determinata in termini di percentuale di siti di campionamento correttamente classificati, rispetto ai corrispondenti dati di riferimento, per ciascuna categoria di interesse, nonché l'accuratezza della classificazione generale che coinvolge tutte le categorie. Questa misura di precisione indica errori di omissione ed è spesso definita "accuratezza del produttore" (producer accuracy) perché il produttore della classificazione delle immagini è interessato a quanto bene abbia classificato una determinata categoria. Se il numero totale di campioni correttamente identificati in una determinata categoria è diviso per il numero totale di campioni sulla base di dati classificati, ciò indica l'errore di commissione. Questa misura è chiamata "accuratezza dell'utente" (user accuracy) o affidabilità perché l'utente è interessato alla probabilità che un campione classificato rappresenti la categoria effettiva sul campo.

## 2.2 Indici ambientali

Successivamente a tutte le fasi di pre-processing vengono calcolati degli indici ambientali per poter esaltare alcune caratteristiche delle immagini satellitari multispettrali e non.

Gli indici e le trasformazioni sono delle operazioni matematiche che mettono in relazione tra loro le bande dell'immagine seguendo delle funzioni matematiche. Queste operazioni risultano in una nuova “banda” con i valori risultanti dalle operazioni; questi nuovi valori numerici sono legati a caratteristiche o fenomeni che si vogliono studiare. Il valore numerico è quindi correlato direttamente o inversamente al fenomeno.

Un'altra caratteristica è quella di riassumere delle informazioni che si trovano su più bande su un'unica banda. L'indice, inoltre, fornisce un valore di lettura immediata, in quanto chi legge il valore dell'indice vede subito quali zone hanno una colorazione più intensa, mentre sarebbe invece difficoltoso valutare tale caratteristica guardando l'immagine caricando solamente le bande. In letteratura esistono moltissimi indici ambientali i quali si differenziano in base al fenomeno che intendono evidenziare. Ad esempio, ci sono degli indici per determinare le aree che sono state percorse da incendio (NBR- Normalized Burning Ratio) oppure indici riguardanti il suolo e la parte geologica (Dolomite, Clay, Ferrous Silicates), fino ad arrivare a degli indici specifici per la vegetazione (NDVI, EVI, SRI, ARVI...).

### 2.2.1 Indici ambientali legati allo stato vegetazionale

Per il nostro elaborato risultano di fondamentale importanza gli indici ambientali legati allo studio dello stato vegetazionale siccome, grazie a differenze, apprezzabili grazie ad un'analisi multi temporale, è possibile individuare le zone in cui sono avvenuti dei cambi di copertura forestale. Questi indici sfruttano la capacità del pigmento clorofilliano presente nei cloroplasti di assorbire la radiazione elettromagnetica nel campo del visibile, corrispondente alle regioni del rosso e del blu. La regione spettrale del colore verde viene quindi riflessa verso l'esterno, il che dona la classica colorazione verde alla vegetazione. Oltre a tale riflettanza, nella zona dello spettro elettromagnetico riguardante l'infrarosso vicino (NIR), avviene una grande quantità di riflessione da parte delle cellule del mesofillo fogliare siccome non assorbono le radiazioni di lunghezza d'onda con valori di 700-1000 nm (zona NIR).

Lo scopo principale di questi indici è quello di poter aumentare determinate caratteristiche vegetazionali come ad esempio la quantità di acqua all'interno delle piante, la quantità di clorofilla per la quantificazione della biomassa di un popolamento forestale o di appezzamento agricolo.



Figura 22- Confronto schematico di riflettanza tra foglie morte, sotto stress e sane con riflettanza colori VIS e NIR (Fonte: <https://www.agricolus.com/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/>).

L'occhio umano è un sensore che ha una sensibilità ridotta solamente alla regione del visibile e quindi la porzione di radiazione nel campo dell'infrarosso non viene apprezzata. Gli indici vegetazionali sfruttano la capacità del telerilevamento di poter catturare anche tale regione dello spettro in modo tale da offrire una più ampia gamma di informazioni.

In figura 21 si vede che, nelle foglie sane, esiste una grande differenza di riflettanza tra il rosso e l'infrarosso vicino, tale salto viene usato come parametro biofisico in grado di esaltare l'attività fotosintetica della vegetazione (effetto red-edge), la quale è un'indicazione di "greenness" di un popolamento (Wang & Tenhunen, 2004).

L'indice principale che sfrutta tale caratteristica è l'NDVI ovvero *Normalized Difference Vegetation Index*. Esso viene calcolato tramite un rapporto tra bande:

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

Ogni sensore ha designato bande diverse per coprire quelle lunghezze d'onda, quindi è fondamentale andare a ricercare la combinazione esatta per poter calcolare il valore finale.

Tale indice fornisce un metodo standardizzato di confronto della vegetazione tra sensori diversi. È stata testata positivamente la sua capacità nel misurare l'attività fotosintetica, le variazioni inter- stagionali ed annuali della copertura fogliare, monitorare la fenologia fogliare, e nel fornire informazioni sulla produttività forestale (biomassa).

I valori dell'indice possono variare da -1,0 a 1,0, ma la vegetazione ha tipicamente valori compresi tra 0,1 e 0,8 (maggiore di 0,2 per vegetazione in buono stato). Valori più elevati sono associati a più elevati livelli di copertura vegetale sana (vedi tabella 3). L'indice NDVI può essere utilizzato come indicatore di biomassa relativa e quindi viene anche utilizzato per riflettere i cambiamenti dinamici di diversi gruppi di vegetazione (Geerken et al. 2005). Se esistono sufficienti dati a terra, l'NDVI può essere usato per calcolare e prevedere l'aumento di biomassa nel tempo, la specie arborea dominante, e i tassi di incidenza del pascolo. L'indice è inoltre altamente correlato con le variabili climatiche, come ad esempio le precipitazioni ed il grado di umidità del suolo.

Tabella 3- Possibili valori di NDVI e successiva interpretazione (Fonte: <https://agricolus.com>)

<b>NDVI</b>	<b>INTERPRETAZIONE</b>
0 – 0,1	Suolo nudo
0,1 – 0,2	Copertura vegetale quasi assente
0,2 – 0,3	Copertura vegetale molto bassa
0,3 – 0,4	Copertura vegetale bassa, vigoria bassa oppure copertura vegetale molto bassa, vigoria alta
0,4 – 0,5	Copertura vegetale medio-bassa, vigoria bassa oppure copertura vegetale molto bassa, vigoria alta
0,5 – 0,6	Copertura vegetale media, vigoria bassa oppure copertura vegetale medio-bassa, vigoria alta
0,6 – 0,7	Copertura vegetale medio-alta, vigoria bassa oppure copertura vegetale media, vigoria alta
0,7 – 0,8	Copertura vegetale alta, vigoria alta
0,8 – 0,9	Copertura vegetale molto alta, vigoria molto alta
0,9 – 1	Copertura vegetale totale, vigoria molto alta

## CAPITOLO 3 – Satelliti utilizzati

In questo Capitolo si procederà con la descrizione dei due satelliti ambientali di cui sono state scaricate ed elaborate le immagini multispettrali. Tale paragrafo è necessario per comprendere la storia e le caratteristiche dei sensori montati nei satelliti, in modo tale da porre chiarezza sul loro funzionamento e sui prodotti finali.

### 3.1 Cosa sono i satelliti

Come prima cosa, è indispensabile dare la definizione di satellite:

“**satellite** s. m. [dal lat. *satelles -lītis*, con il sign. 1 *a*, trasferito all’ambito astronomico da J. Kepler (1610)]. – **1. a.** In origine, guardia del corpo, persona armata che accompagna e segue ovunque un monarca, un principe, un potente, per difenderlo da attentati e da qualsiasi pericolo o molestia. **b.** non com. Sbirro, sgherro: *Renzo era levato; i due s. gli stavano a’ fianchi* (Manzoni). **c.** Nell’uso moderno, per estens., accompagnatore, servitore, uomo di fiducia di un personaggio potente. In senso fig. e spreg., chi, per adulazione, per interesse, o per mancanza d’una personalità propria, fa parte del seguito di una persona autorevole, ne imita il comportamento, ne segue e diffonde le idee, ecc. **2. a.** In astronomia, corpo celeste che ruota attorno a un pianeta, generalm. in senso antiorario (come i pianeti ruotano attorno al Sole), a eccezione dei quattro satelliti esterni di Giove, del nono di Saturno e di pochi altri; anche, la stella secondaria di un sistema stellare binario. *S. pastori*, o *guardiani*, denominazione di satelliti che assicurano la stabilità degli anelli di corpuscoli materiali che circondano pianeti solari esterni, in partic. Saturno. **b.** In astronautica, *s. artificiale*, ogni massa materiale messa, per opera dell’uomo, in un’orbita attorno a un corpo celeste (i satelliti artificiali del Sole sono detti più propriam. *pianeti artificiali*). Con sign. più lato e più generale, ogni massa materiale (della quale di caso in caso si precisano le caratteristiche) che, lanciata dall’uomo, descrive una qualsiasi orbita per effetto dell’attrazione newtoniana di uno o più corpi celesti (il primo satellite artificiale fu messo in orbita dall’Unione Sovietica nel 1957). *S. per applicazione*, la classe di satelliti in orbite geostazionarie, impiegati per le comunicazioni nazionali e internazionali telefoniche, telex e televisive, per il servizio meteorologico e per la navigazione marittima: *trasmissioni via satellite* (v. anche via2, n. 1 *d*).

*S. spia*, satellite artificiale provvisto di strumenti fotografici ed elettronici per la ricognizione militare. *S.-killer*, satellite artificiale progettato allo scopo di intercettare e distruggere satelliti nemici. **3.** In usi fig., spec. derivati dal sign. astronomico, con funzione attributiva o appositiva: **a.** *Stato, nazione, paese s.* (meno spesso assol. *satellite*), denominazione data, a partire dalla fine della seconda guerra mondiale, agli stati che gravitano intorno a una potenza maggiore e che, pur conservando esteriormente l'indipendenza e la sovranità nazionale, si trovano di fatto nei suoi confronti in stato di sudditanza politico-ideologica, economica e militare sia all'interno sia in campo internazionale; in partic., l'espressione è stata riferita agli stati dell'Europa centrale e orientale dominati prima dal Terzo Reich e poi dall'Unione Sovietica. **b.** non com. *Partiti s.*, quelli che, non avendo la possibilità o la capacità di svolgere un'azione politica autonoma, collaborano all'azione di un partito di massa. **c.** In economia, *comportamento da s.*, il comportamento di un'impresa, in situazione di duopolio o di oligopolio, che accetti come dato il prezzo o la quantità fissata dall'altro partner o da altra impresa del gruppo e cerchi di realizzare su questa base il suo massimo vantaggio. **d.** In informatica, *calcolatore s.*, elaboratore collegato a un altro di dimensioni maggiori, a favore del quale compie funzioni di elaborazione ausiliaria o preventiva, pur potendo svolgere anche compiti di elaborazione autonomi. **e.** In geografia antropica e in urbanistica, *città s.*, v. città (n. 1 a). **f.** Nel linguaggio letter., chi o ciò che, in situazioni diverse, dipende direttamente da altro o da altri; in partic., affluente di un fiume: *piogge dirotte ... gonfiavano i s. appenninici del Po* (Bacchelli). **4.** In mineralogia, *satelliti del diamante*, i minerali che di solito accompagnano il diamante nei giacimenti alluvionali del Brasile. **5. a.** In anatomia, *nervo s.*, tronco nervoso che decorre accanto a un'arteria; analogam., *vene s.*, i due tronchi venosi di piccolo calibro che decorrono accanto all'arteria in luogo di una sola vena grande. **b.** In citologia, parte di un cromosoma, un tempo chiamata anche *trabante*, di dimensioni variabili e diametro all'incirca uguale a quello del corpo del cromosoma, a cui è connessa da un filamento più o meno lungo, ma sempre assai sottile, di cromatina. **c.** In istologia, *cellule s.*, le cellule di oligodendroglia, così denominate per la loro posizione rispetto alle cellule neuronali. **d.** In patologia, *linfoghiandole s.*, quelle che raccolgono la linfa proveniente da regioni sede di infezioni diverse (da comuni piogeni, sifilitiche primarie, ecc.) e che sono pertanto coinvolte nel processo flogistico. **e.** In biologia molecolare, *DNA satellite*, frazione del DNA degli organismi eucarioti formata da corte sequenze di nucleotidi (8-10 coppie di basi), ripetute fino a 10<sup>7</sup> volte per cellula. **6.** In meccanica, in un rotismo epicicloidale, ingranaggio cilindrico o conico i cui assi, anziché essere fissi come nei rotismi ordinari, ruotano intorno a un altro asse che può essere

parallelo (rotismi epicycloidali cilindrici) o normale all'ingranaggio stesso (rotismi epicycloidali conici).

7. In spettroscopia, riga che s'accompagna a un'altra, in genere di maggiore intensità, in virtù del fenomeno fisico che dà origine all'emissione oppure a causa di ragioni tecniche, per es. imperfezioni nella costruzione del reticolo dello spettroscopio. TAV." (Definizione da "Dizionario Treccani").

Questa è la definizione completa della parola "satellite" in tutte le sue possibili applicazioni, nel nostro caso interessa la definizione al punto 2 comma *a* e *b* ma son state riportate anche tutte le altre per una questione di interezza. Come si evince dal comma *b*, i primi satelliti artificiali sono stati utilizzati per scopi bellici al fine di ottenere informazioni militari ed intercettazioni. La messa in orbita dei satelliti per il telerilevamento è avvenuta solamente nel periodo post bellico (riguardante il secondo conflitto mondiale), siccome i satelliti militari cominciarono ad occupare una sempre minore importanza a scapito di quelli per scopi multipli. Tali strumentazioni prendono il nome di satelliti per il telerilevamento, definiti come satelliti artificiali situati in orbita attorno alla Terra, con lo scopo di osservazione sistematica e di telerilevamento della superficie terrestre. I satelliti di questo tipo avevano inizialmente lo scopo di produrre immagini satellitari; successivamente il loro compito si è allargato, comprendendo lo studio di informazioni sulle caratteristiche del suolo, della vegetazione e dell'inquinamento. I dati raccolti vengono utilizzati per vari scopi, tra cui l'individuazione delle risorse naturali e l'esecuzione della cartografia di precisione. Questi satelliti venivano fino a poco tempo fa lanciati dalla terra attraverso un opportuno vettore, di solito un razzo a tre stadi, che li "accompagnava" fuori dall'atmosfera terrestre e li depositava sulla giusta orbita, disintegrandosi poi a contatto con l'atmosfera ricadendo verso la terra. Oggi, dato l'elevato costo dei razzi (che venivano persi ad ogni lancio), quasi tutti i satelliti artificiali vengono trasportati sul punto preciso da speciali navicelle spaziali (dotate di equipaggio) che possono compiere più viaggi, permettendo anche una più efficiente manutenzione dei satelliti stessi. Sono questi, ad esempio, l'americano Space Shuttle e l'europeo Ariane (Nardi 2018).

All'inizio dell'era dei satelliti, apertasi con il lancio dello Sputnik, si iniziò a percepire l'importanza che le orbite potevano ricoprire nei caratteri di operatività di questi nuovi strumenti. Per questo motivo, con il passare degli anni e con il perfezionamento delle tecnologie, si andarono delineando due grandi famiglie di configurazioni orbitali.

Per poter avere una costellazione di satelliti ognuno con diverse caratteristiche di operatività non basta solo installare su queste apparecchiature idonee alla misurazione dei parametri che vogliamo misurare ma, dobbiamo dotare il satellite di un'orbita caratteristica che inciderà con il passare del tempo sul periodo di acquisizione. Se per esempio mandiamo in orbita un satellite che viene ricevuto alle 12:00 del mattino non è detto che dopo alcuni mesi riusciremo a riceverlo sempre nello stesso periodo. Esiste quindi un modo per far sì che il velivolo spaziale si riesca a ricevere nella stessa fascia oraria della giornata. Questo modo consiste nell'inclinare la sua orbita in modo tale che il satellite venga ad essere sincrono al Sole.

Le orbite che hanno un'inclinazione minore di  $90^\circ$  non sono sincrone al Sole, vale a dire che il periodo di acquisizione del satellite slitta quotidianamente di alcuni minuti ogni giorno. Questo fa sì che se in certi periodi dell'anno il satellite sorvoli territori scarsamente illuminati, il che implica periodi di inattività dovuta alla mancanza di energia acquisita tramite i pannelli solari montati sul velivolo. Sovente si è cercato di porre rimedio a quest'inconveniente installando a bordo del satellite mini reattori nucleari che producessero energia sufficiente per l'alimentazione degli strumenti di bordo; questa soluzione, adottata soprattutto dai russi, però non è risultata delle migliori in quanto dava seri rischi per l'inquinamento ambientale e costi piuttosto elevati. Per questi motivi dunque l'orbita non sincrona o diretta, è utilizzata da un esiguo numero di satelliti.

La seconda tipologia di orbita è caratterizzata da un angolo di inclinazione maggiore di  $90^\circ$  e grazie ad essa il satellite riesce ad essere ricevuto nella stessa fascia oraria durante tutti i periodi dell'anno. Quest'orbita, chiamata sincrona, pone non indifferenti vantaggi in quanto bastano pochi satelliti per avere un controllo capillare del territorio a livello planetario (Nardi 2018). Ovviamente questa tipologia di orbita è la più utilizzata siccome riesce a fornire dati migliori e con più precisione temporale.

All'intero delle orbite sincrone spiccano come importanza l'orbita eliosincrona e l'orbita geostazionaria. Quest'ultima è definita come un'orbita circolare ed equatoriale situata ad una altezza tale che il periodo di rivoluzione di un satellite, in particolare un satellite artificiale, che la percorre, coincide con il periodo di rotazione della Terra. Tali orbite, poste a 36000 km dall'Equatore, vengono utilizzate principalmente da satelliti per le telecomunicazioni e per le osservazioni delle condizioni meteorologiche.

Un satellite geostazionario è come se fosse rigidamente fissato alla Terra e quindi offre il vantaggio di vedere la Terra sempre dalla stessa prospettiva, il che significa che è in grado di registrare la stessa immagine a brevi intervalli di tempo.

In questo tipo di orbita un satellite può osservare in modo continuo quasi un intero emisfero, ma poiché l'orbita è molto alta è difficile ottenere un'alta risoluzione spaziale (per applicazioni come l'osservazione dei sistemi nuvolosi sui continenti non è tuttavia necessaria un'alta risoluzione spaziale).

Molti satelliti sono dotati di sistemi a sensore passivo che dipendono dall'illuminazione solare sia per l'acquisizione di immagini sia per il rifornimento di energia dai pannelli solari. Poiché essi misurano la riflessione della luce solare dalla Terra, le loro orbite devono essere regolate al ritmo del giorno e della notte. Per questo motivo è di fondamentale importanza che le immagini che verranno acquisite siano più simili possibili l'una con l'altra, sia in termini di illuminazione sia di orario di acquisizione. Per ottenere tale condizione bisogna che l'orbita faccia sì che l'altezza del Sole sull'orizzonte sia la stessa e il piano dell'orbita satellitare abbia un angolo costante rispetto alla luce proveniente dal Sole. Le orbite che soddisfano tali prerequisiti sono le orbite eliosincrone, anche dette polari siccome hanno direzione Nord-Sud (Figura 23). Generalmente i satelliti con tale orbita sono posti a distanze relativamente brevi rispetto alla superficie terrestre (600-1000 Km) e per tale motivo riescono a ottenere dei prodotti con una grande risoluzione spaziale e quindi un elevato grado di dettaglio. Un sensore di questo tipo ha generalmente un'ampiezza di scansione ridotta ed è installato su un satellite LEO (*Low Earth Orbit*), cioè in bassa orbita terrestre (nel caso di QuickBird, a 600 Km dalla Terra). In un'orbita di questo tipo non è possibile monitorare in modo continuo la stessa area a causa del movimento relativo del satellite rispetto alla Terra e data la loro alta risoluzione spaziale sono obbligati ad effettuare delle scansioni di piccole porzioni di territorio e quindi impiegano vari giorni per coprire l'intera superficie terrestre.

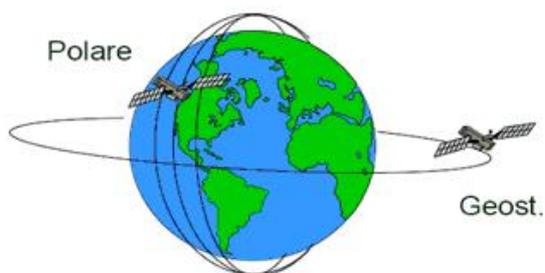


Figura 23- Raffigurazione di un'orbita geostazionaria e di una polare (Fonte: <https://gisetelerilevamento.wordpress.com/2010/12/29/i-sistemi-satellitari/>).

### 3.2 Landsat 8 OLI/TIRS

Il satellite Landsat 8 è l'ottavo componente di una famiglia di satelliti, di cui il primo fu lanciato in orbita nel 1972, grazie ad un progetto americano che prevedeva l'esplorazione dallo spazio della superficie terrestre chiamato "Project EROS (*Earth Resources Observation Satellites*)". Il primo satellite Landsat prese il nome di Landsat 1; negli anni vennero spediti in orbita il Landsat 2, Landsat 3 e il Landsat 4 rispettivamente nel 1975, 1978 e 1982. Nel 1984 fu lanciato il Landsat 5 segnando il record della più lunga operazione spaziale per l'osservazione della Terra. Successivamente, il Landsat 6 fallì il decollo nel 1993 e nel 1999 fu lanciato il Landsat 7. L'ultimo satellite della serie Landsat è proprio il numero 8, mandato in orbita nel 2013 (nel 2020 si presume verrà inviato il Landsat 9).

Il Landsat 8 fu lanciato l'11 Febbraio del 2013 dalla base aerea di Vandenberg in California. La realizzazione della struttura satellitare e di tutti i suoi componenti è da attribuire a due organizzazioni spaziali americane: la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e l'USGS (*United States Geological Survey*).

Il Landsat 8 monta due sensori per l'acquisizione della radiazione elettromagnetica: un sensore deputato alle operazioni di raccolta delle immagini terrestri denominato OLI (*Operational Land Imager*), progettato e costruito dalla NASA, e un sensore per il monitoraggio dell'infrarosso termico chiamato TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), costruito dall'USGS la quale si occupa della manutenzione attuale dell'intero satellite.

Tabella 4- Confronto tra la risoluzione spettrale del Landsat7 con sensore ETM+ e Landsat 8 OLI/TIRS (Fonte: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-data-continuity-mission/>)

Landsat-7 ETM+ Bands (µm)			Landsat-8 OLI and TIRS Bands (µm)		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

In Tabella 4 è possibile apprezzare come il sensore OLI fornisce due nuove bande spettrali rispetto al pool spettrometrico del sensore ETM+ montato nel Landsat 7, una appositamente studiata per rilevare i cirri e l'altra per le osservazioni delle zone costiere. Inoltre, il sensore TIRS, risulta più aggiornato con una maggiore precisione andando ad aggiungere una banda alla risoluzione spettrale di base (banda 11). Il sensore OLI è un sensore push-broom con un telescopio a quattro specchi e quantizzazione a 12 bit (NASA Official, Jeffrey G. Masek, n.d.). Per sensore push-broom si intende un sensore in cui i CCD (*Charged Coupled Device*), ossia i componenti elementari del sensore, i quali ricevono e trasformano la riflettanza TOA in radianza TOA, vengono montati allineandoli singolarmente l'uno con l'altro (USGS 2019a). OLI, inoltre, raccoglie dati per bande spettrali nel visibile, nell'infrarosso vicino e ad onde corte nonché una banda pancromatica

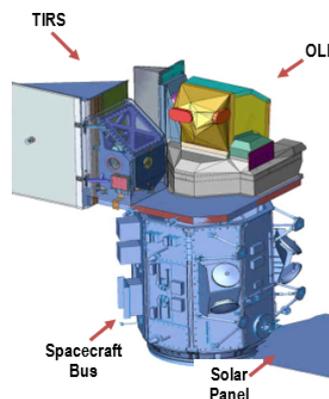


Figura 24- Illustrazione del Landsat 8 con i relativi sensori e strumentazioni (Fonte: "Landsat 8 Data User Handbook", USGS, 2019).

La posizione del satellite all'interno del campo magnetico terrestre è definita da un'orbita quasi polare, eliosincrona ad un'altitudine di 705 Km con durata di circa 99 minuti, il che gli permette di completare 14 orbite al giorno e ogni 16 giorni fornisce una copertura totale della Terra. Acquisisce più di 700 scene al giorno, aumentando la probabilità di catturare immagini senza nuvole ai fini di migliorare la copertura stagionale della superficie terrestre (USGS 2019a).

I progettisti hanno stimato una vita progettuale minima di circa cinque anni ma nel serbatoio trasporta circa dieci anni di carburante (tempo di vita totale). Infatti, la sua dismissione avverrà nel 2023, tre anni dopo la presunta messa in orbita del suo successore, il Landsat 9. L'intero progetto Landsat utilizza la strategia in cui, prima della fine di vita di un satellite, progetta e manda in orbita il suo successore. In tal modo è possibile usufruire sia delle immagini elaborate dai nuovi sensori, sia utilizzare ancora quelle vecchie;

così facendo, si ha la possibilità di confrontare le due tipologie di immagini e ottenere informazioni progettuali per i sensori successivi. La missione Landsat 8 ha come obiettivo quello di acquisire immagini multispettrali ad alta risoluzione in modo ripetitivo ed in modo tale da poter monitorare il cambiamento di destinazione d'uso e di copertura del suolo. Inoltre, le immagini raccolte dal satellite, possono venire utilizzate per un'applicazione nel campo dell'agricoltura, della selvicoltura, della geologia, dell'idrologia, delle risorse costiere e del monitoraggio ambientale (USGS 2019b).

Infatti, secondo quanto elencato nel sito della NASA, le missioni Landsat hanno provveduto ad aiutare nel campo agricolo, climatico e del monitoraggio del carbonio in atmosfera, nel campo dei disastri ambientali, nella gestione forestale e nel mantenimento degli ecosistemi e della biodiversità, ed infine anche nell'espansione urbana grazie agli svariati anni di servizio di tale costellazione di satelliti. Inoltre mette a disposizione un database costantemente aggiornato, dove l'immissione dei dati nel sistema è sufficientemente coerente con i dati attualmente archiviati in termini di geometria di acquisizione, calibrazione, copertura e caratteristiche spettrali per consentire il confronto tra rilevamento e caratterizzazione dei cambiamenti globali e regionali.

Dopo questa breve introduzione alle caratteristiche ed agli obiettivi della missione spaziale, passiamo ora alla descrizione dei dati che vengono prodotti e che verranno utilizzati in questa tesi. Per prima cosa è utile focalizzare l'attenzione nella Tabella 5, dove vengono elencate le varie sigle componenti il nome del prodotto.

*Tabella 5- Tabella esplicativa della composizione convenzionale dei nomi dei file del Landsat 8*

<b>Landsat 8 File Naming Convention</b>	
<b>LXSS_LLLL_PPPRRR_YYYYMMDD_yyyymmdd_CC_TX</b>	
L	Landsat
X	Sensor ("C" = OLI/TIRS combined, "O" = OLI-only, "T" = TIRS-only)
SS	Satellite ("08" = Landsat 8)
LLLL	Processing correction level (L1TP/L1GT/L1Gs)
PPP	WRS path
RRR	WRS row
YYYYMMDD	Acquisition year (YYYY)/Month(MM)/Day(DD)
yyymmdd	Processing year (yyyy)/ Month (mm)/ Day (dd)
CC	Collection number (01, 02,...)
TX	Collection category ("RT" = Real-Time, "T1" = Tier 1, "T2" = Tier 2)
<b>Example:</b>	<b>LC08 L1GT 029030 20151209 20160131 01 T1</b>

La composizione del nome inizia ovviamente con la sigla "L" che identifica la missione spaziale del "Landsat", essa è subito seguita da una sigla che definisce la tipologia di sensore

che ha rilevato quell'immagine (lettera "C" sta per *combined OLI+TIRS*) e subito dopo il numero progressivo della missione satellitare (USGS 2019b).

Successivamente vennero inserite delle sigle contenenti dati descrittivi importanti, prima di tutto il livello di correzione che è stato applicato al file. Per il Landsat esistono tre principali tipi di correzioni:

- L1Gt: file in cui viene applicata solo la correzione geometrica (*geometrically correction*) ovvero L1 *Geometric systematic (corrected)*, che ha lo scopo di eliminare le deformazioni spaziali introdotte dal sistema di ripresa e a generare una nuova immagine con le proprietà di scala e di proiezione di una rappresentazione cartografica;
- L1Gs: file in cui viene applicata solo la correzione del terreno (*terrain correction*) ovvero L1 *Systemic Terrain (corrected)*
- L1TP: è la correzione massima che un file può avere ed è data dall'insieme delle due correzioni precedenti (*geometrically correction + terrain correction*) e viene definita come L1 *Precision Terrain*.

Successivamente vengono collocati due dati numerici riferitesì al sistema di riferimento globale (*Worldwide Reference System*). A seguire si collocato i dati temporali: il primo è riferito al giorno/mese/anno in cui l'immagine è stata acquisita, il secondo è riferito alla data in cui essa è stata processata. Infine è presente il *Collection Number*, il quale separa le date dall'ultimo dato riguardante la *Collection Category* (USGS 2019a).

Conoscere i vari componenti della nomenclatura convenzionale dei dati Landsat è fondamentale per riconoscere subito la tipologia di dato di cui si avrà bisogno. Nel momento in cui ci si accinge a dover scaricare i dati da una piattaforma on-line, grazie solamente alla nomenclatura possiamo già capire e selezionare i dati che serviranno per il lavoro.

Le principali piattaforme on-line dove poter scaricare i dati in free download sono il sito della EarthExplorer (EE) (<https://earthexplorer.usgs.gov>), LandsatLook Viewer (<https://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>) e dal sito GloVis (Global Visualization Viewer) (<https://glovis.usgs.gov>). I dati che verranno scaricati non possono essere aperti da qualsiasi programma, ma necessitano di software appositi (alcuni esempi sono riportati nel Capitolo successivo). Infatti, le immagini derivanti dal Landsat 8, hanno come tipologia di file principale il GeoTIFF (.tif), all'interno dei quali è possibile incorporare riferimenti geografici, come proiezioni, ellissoidi, coordinate.

### 3.3 Sentinel-3

Il Sentinel-3 fa parte anch'esso di una grande famiglia di satelliti, appartenenti però al progetto Europeo *Copernicus*. Copernicus è il nuovo nome del programma di osservazione della Terra fondato dalla Commissione europea, precedentemente noto come GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*). Il nuovo nome è stato annunciato l'11 dicembre 2012 dal vicepresidente della Commissione Europea Antonio Tajani durante il Consiglio Competitività.

Questo programma europeo è dedicato all'osservazione della Terra in modo tale da poter monitorare il nostro pianeta e il suo ambiente, a beneficio di tutti i cittadini europei. Offre servizi di informazione basati sull'osservazione satellitare della Terra e dati in situ (non spaziali). Il programma è coordinato e gestito dalla Commissione europea ed è attuato in collaborazione con gli Stati membri, l'Agenzia spaziale europea (ESA), l'Organizzazione europea per l'esercizio dei satelliti meteorologici (EUMETSAT), il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (CEPMMT), le agenzie dell'UE e Mercator Océan (Aguirre M., Berruti B., Greco B., Bezy J.L., Drinkwater M., Heliere F., Klein U. 2007). Il progetto *Copernicus* utilizza enormi quantità di dati globali provenienti da satelliti e da sistemi di misurazione terrestri, aerei e marittimi per fornire informazioni che aiutino i prestatori di servizi, le autorità pubbliche e altre organizzazioni internazionali a migliorare la qualità della vita dei cittadini europei. I servizi di informazione forniti sono accessibili agli utenti del programma in modo libero e gratuito.

L'ESA dal 2014 iniziò la messa in orbita del primo satellite appartenente alla famiglia Sentinel, denominato Sentinel-1.

Esso è caratterizzato da un'orbita polare, eliosincrona, che registra immagini tramite un sensore radar per monitorare gli oceani e la terraferma. Tale missione è composta da due satelliti: il Sentinel-1A, che è stato lanciato il 3 aprile 2014, e il Sentinel-1B il 25 aprile 2016. La seconda missione spaziale, chiamata Sentinel-2, è la missione più famosa della famiglia Sentinel. È una missione di imaging multispettrale ad alta risoluzione con un'orbita polare per il monitoraggio del territorio ai fini di fornire immagini di vegetazione, copertura del suolo e dell'acqua. Anche questa missione si compone di due satelliti: Sentinel-2A che è stato lanciato il 23 giugno 2015 poi seguito dal Sentinel-2B il 7 marzo 2017.

Nel febbraio del 2016 è stato lanciato il Sentinel-3A, primo satellite della terza missione spaziale dell'ESA. Il 25 Aprile 2018 il satellite Sentinel-3B si è unito al gemello già in orbita.

Al giorno d'oggi le missioni spaziali del Sentinel hanno raggiunto la numero 6 con satelliti dedicati per ogni aspetto ambientale e per qualsivoglia applicazione.

- Sentinel-4 fornirà dati sulla composizione atmosferica.
- Sentinel-5 affiancherà Sentinel-4 nella fornitura di dati sulla composizione atmosferica.
- Sentinel-6 contribuirà alle missioni per i rilievi altimetrici di precisione



Figura 25- Famiglia dei satelliti Sentinel attualmente in orbita con il progetto Copernicus. (Fonte: [http://m.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview4](http://m.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4))

In questo elaborato ci soffermeremo sulla descrizione della missione Sentinel-3 poiché è uno dei satelliti più idonei per rispondere all'obiettivo della tesi insieme al Sentinel-2 (il quale non è stato utilizzato per motivi che verranno spiegati nei capitoli successivi).

Iniziamo parlando dell'obiettivo principale di questa missione spaziale, ovvero quello di metter a disposizione una coppia di satelliti gemelli al fine di misurare la topografia della superficie del mare, la temperatura della superficie del mare e della terra e il colore della superficie oceanica e terrestre con elevata precisione e affidabilità a supporto dei sistemi di previsione degli oceani. Inoltre, ha anche applicazioni nel monitoraggio ambientale e climatico (Drinkwater and Rebhan 2007).

La missione Sentinel-3 è progettata come una costellazione di due satelliti orbitali polari identici, separati da 180°, per la fornitura di servizi operativi di monitoraggio marittimo e terrestre a lungo termine (Donlon 2011).

Tale coppia di satelliti Sentinel-3 consentirà un breve tempo di revisione di meno di due giorni per il sensore OLCI e meno di un giorno per il sensore SLSTR all'equatore. L'orbita satellitare fornisce una ripetizione di 27 giorni per il pacchetto topografico, con un sottociclo di 4 giorni (ESA 2015).

Tabella 6- Tempi di revisione della copertura globale per misurazioni ottiche OLCI (Fonte: ESA)

	Constellation configuration	Revisit at equator	Revisit for latitude > 30°	Specification
Ocean colour (sun-glint free, day only)	1 satellite	< 3.8 days	< 2.8 days	< 2 days
	2 satellites	< 1.9 days	< 1.4 days	
Land colour (day only)	1 satellite	< 2.2 days	< 1.8 days	< 2 days
	2 satellites	< 1.1 days	< 0.9 days	

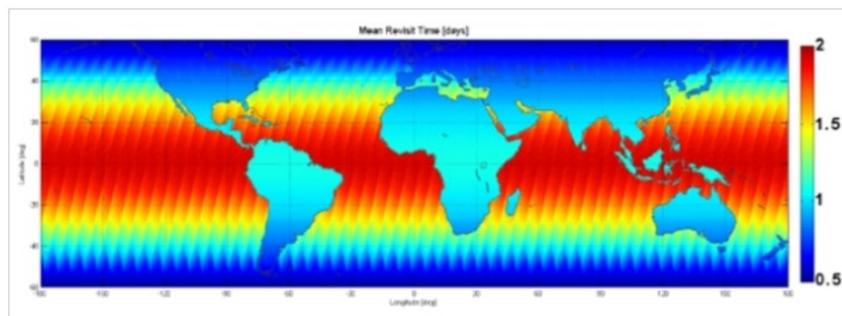


Figura 26- Il Sentinel-3 OLCI ha una configurazione a due satelliti che permette un basso tempo di ritorno; sono necessari 2 giorni per avere rivisitazione all'equatore (in rosso), meno di 0,5 giorni ad alta latitudine (in blu) (Fonte:ESA)

Il carattere operativo di questa missione implica un alto livello di disponibilità dei prodotti di dati e tempi di consegna rapidi, i quali sono stati importanti driver di progettazione per la missione. Per poter ottenere questa moltitudine di dati il Sentinel-3 trasporta un considerevole comparto sensoriale composto da:

- a) OLCI (*Ocean and Land Colour Instrument*)
- b) SLSTR (*Sea and Land Surface Temperature Instrument*)
- c) SRAL (*SAR Radar Altimeter*)
- d) MWR (*Microwave Radiometer*)

- a) OLCI: è un sensore push-broom con cinque camere che condividono il campo visivo. Esso è organizzato in una configurazione a forma di ventaglio sul piano verticale, perpendicolare alla velocità della piattaforma. Ogni telecamera ha un campo visivo individuale di 14,2 ° e una sovrapposizione di 0,6 ° con i suoi vicini. L'intero campo visivo viene spostato lungo la pista di 12,6 ° dal sole per ridurre al minimo l'impatto del bagliore del sole. Il sensore dispone di una risoluzione spettrale molto dettagliata, composta da 21 bande spettrali che spaziano dai 400 a 1020 nm. La risoluzione spaziale di questo sensore varia a seconda che stia sorvolando la terra ferma o l'oceano. In mare aperto la risoluzione spaziale è di 1,2 Km e a mano a mano che si avvicina alle coste si riduce fino ad arrivare a 300m nella terraferma. (ESA 2016) (Henoco et al. 2018)

Tabella 7- Risoluzione spettrale del sensore OLCI (Fonte: ESA)

<b>Band</b>	<b><math>\lambda</math> centre (nm)</b>	<b>Width (nm)</b>	<b>Function</b>
Oa01	400	15	Aerosol correction, improved water constituent retrieval
Oa02	412.5	10	Yellow substance and detrital pigments (turbidity)
Oa03	442.5	10	Chlorophyll absorption maximum, biogeochemistry, vegetation
Oa04	490	10	High Chlorophyll,
Oa05	510	10	Chlorophyll, sediment, turbidity, red tide
Oa06	560	10	Chlorophyll reference (Chlorophyll minimum)
Oa07	620	10	Sediment loading
Oa08	665	10	Chlorophyll (2nd Chlorophyll absorption maximum), sediment, yellow substance/vegetation
Oa09	673.75	7.5	For improved fluorescence retrieval and to better account for smile together with the bands 665 and 680 nm
Oa10	681.25	7.5	Chlorophyll fluorescence peak, red edge
Oa11	708.75	10	Chlorophyll fluorescence baseline, red edge transition
Oa12	753.75	7.5	O2 absorption/clouds, vegetation
Oa13	761.25	2.5	O2 absorption band/aerosol correction.
Oa14	764.375	3.75	Atmospheric correction
Oa15	767.5	2.5	O2A used for cloud top pressure, fluorescence over land
Oa16	778.75	15	Atmos. corr./aerosol corr.
Oa17	865	20	Atmospheric correction/aerosol correction, clouds, pixel co-registration
Oa18	885	10	Water vapour absorption reference band. Common reference band with SLSTR instrument. Vegetation monitoring
Oa19	900	10	Water vapour absorption/vegetation monitoring (maximum reflectance)
Oa20	940	20	Water vapour absorption, Atmospheric correction/aerosol correction
Oa21	1 020	40	Atmospheric correction/aerosol correction

- b) SLSTR: è un sensore adibito alla misurazione delle temperature superficiali dei mari e della terra con una incertezza di  $\pm 0,3$  K per un'area di latitudine-longitudine di  $5^\circ$  per  $5^\circ$ , con una stabilità temporale di 0,1 K / decade; comprende 9 bande spettrali dai 550 ai 12000 nm (Technical Guides Sentinel-3, ESA). La risoluzione spaziale cambia in base ai due canali di registrazione: il canale VIS-SWIR, con una risoluzione di 500 m e un canale termico (IR-Fire) con una risoluzione di 1 Km (Regner, n.d.).
- c) SRAL: tale strumento radar comprende un'antenna che guarda al nadir (punto centrale dell'immagine) e una catena elettronica centrale composta da una DPU (*Digital Processing Unit*) e una RFU (*Radio Frequency Unit*).  
Questo sensore radar ha due modalità di misurazione: la *Low Resolution Mode* (LRM), modalità convenzionale a impulsi con altimetro limitata, basata su un modello di impulsi 3 Ku / 1 C / 3 Ku e la modalità SAR, composta da raffiche di 64 impulsi in banda Ku circondati da due impulsi in banda C (ESA 2019b).
- d) MWR: questo sensore misura la temperatura correlata alla luminosità a 23,8 GHz e 36,5 GHz coprendo una larghezza di banda di 200 MHz in ciascun canale.  
Il canale di frequenza inferiore è per lo più sensibile al vapore acqueo atmosferico e il canale di frequenza più elevato ad appannare l'acqua liquida. Proprio per questo, l'obiettivo di questo sensore è di fornire il valore di contenuto di vapore acqueo e di acqua nebulizzata nel campo visivo dell'altimetro, necessario per compensare il ritardo di propagazione indotto da questi componenti atmosferici e influenzare le misurazioni del radar (SRAL) (ESA 2019b)

Tali sensori vengono poi supportati da tre strumenti che consentono il mantenimento preciso dell'orbita di navigazione (*Payloads*), chiamati POD (*Precise Orbit Determination*).

- DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*) ovvero un sistema di localizzazione satellitare progettato da CNES come un nuovo sistema per fornire orbite precise a bordo di satelliti a bassa orbita terrestre (Donlon 2011).
- GNSS è un ricevitore GPS, che provvede a determinare l'orbita precisa e la localizzazione simultanea di più satelliti (Donlon 2011).
- LRR (*Laser Retro-Reflector*) è un dispositivo passivo che funge da target per le misurazioni di localizzazione laser eseguite da stazione dedicate localizzate a terra (Donlon 2011).

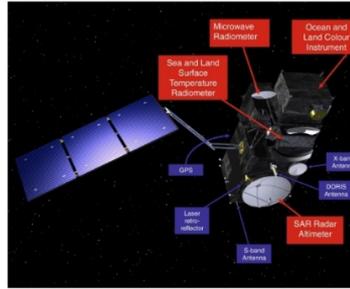


Figura 27- Sensori e Payloads del satellite Sentinel-3 (Fonte: ESA)

Date le varie differenze dei sensori montanti su tale velivolo, sono state redatte due sotto-missioni, la prima è la “*Topography Mission*” portata avanti dal sensore SRAL e MWR, con lo scopo di mappare la topografia terrestre. La seconda è caratterizzata dai sensori ottici (OLCI e SLST) e quindi chiamata “*Optical Payload*” con lo scopo di osservazione degli oceani e della superficie terrestre.

La piattaforma Sentinel-3, grazie a questa innumerevole quantità di sensori, permette di ottenere una grande varietà di dati sia in termini quantitativi sia qualitativi.

Infatti, ogni sensore, produce delle immagini con caratteristiche diverse e quindi anche con applicazioni diverse.

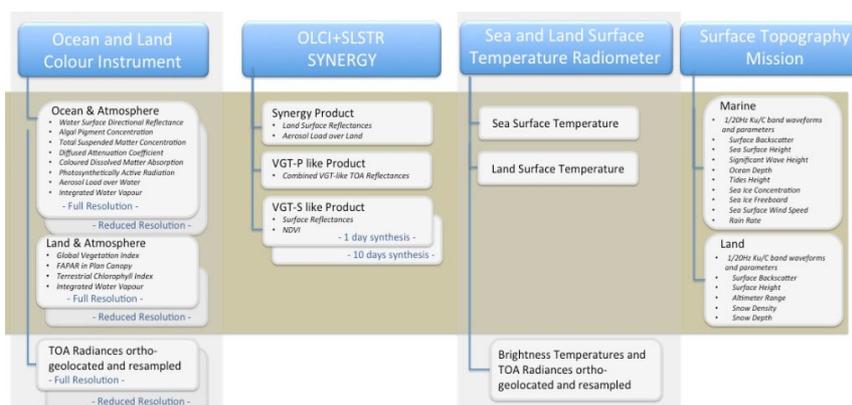
Prima di parlare dei singoli blocchi dei *Products type* (Tabella 8) è necessario porre chiarezza sui vari livelli di correzione che possiamo trovare: i “*Level 1 products*” ovvero prodotti grezzi, a cui non sono state fatte correzioni, e i “*Level 2 products*”, dati elaborati a cui sono state applicate delle elaborazioni specifiche. I prodotti *Level 1* consistono in delle misurazioni fisiche dello strumento, vale a dire radiazioni della parte superiore dell'atmosfera, calibrate in unità geofisiche (radianza TOA), georeferenziate sulla superficie terrestre, come definito da un ellissoide di riferimento e un modello digitale di elevazione (DEM), spazialmente ricampionati e annotati con una geometria di illuminazione e di osservazione (ACRI ST 2017).

Contiene inoltre informazioni sulla qualità dei pixel e sulla classificazione della superficie e annotazioni riguardanti la geometria di acquisizione e i dati meteorologici (ACRI ST 2017). Comunemente i dati messi a disposizione dell'utente appartengono al “*Level 2 products*” i quali hanno subito alcune correzioni (atmosfera, geometrica, radiometrica). Esse vengono eseguite attraverso un algoritmo progettato dall'ESA in cui il modulo di pre-elaborazione, a partire dalle radiazioni TOA di livello 1B, deriva i riflessi corretti per l'assorbimento gassoso. L'algoritmo è suddiviso in sei fasi successive (ESA 2019b):

- 1- la conversione da radiazioni a riflettanze verifica in modo graduale i prodotti di livello 1B e converte le radiazioni in riflettanze (nota anche come prima correzione strumentale).
- 2- Per essere correttamente presi in considerazione o rifiutati dall' algoritmo, i pixel devono essere differenziati in base a quattro criteri: nuvola, terra, acqua e pixel non validi.
- 3- La prima classificazione dei pixel si concentra sull' identificazione di pixel nuvolosi. Questo mascheramento verrà migliorato nel quadro delle future elaborazioni, incluso il miglioramento testato e validato durante il 4 ° ritrattamento MERIS.
- 4- Correzione gassosa: correzione dei riflessi per l' assorbimento gassoso (ovvero O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e O<sub>3</sub>). Cinque bande OLCI sono dedicate a questa correzione e non vengono utilizzate dopo questo passaggio: da Oa13 a Oa15, Oa19 e Oa20.
- 5- La seconda classificazione dei pixel stima la riflettanza del luccichio e completa la classificazione dei pixel a partire dalla seconda fase consolidando i pixel di terra e acqua della classificazione.
- 6- La correzione del sorriso viene applicata alla riflettanza TOA nel caso di variazioni su piccola scala dovute alla lunghezza d' onda centrale non costante di una determinata banda attraverso il campo visivo. È anche conosciuta come la seconda correzione strumentale.
- 7- Il processo del vapore acqueo recupera il contenuto di vapore acqueo atmosferico dai pixel del cielo limpido.

Quindi, nei prodotti di livello 2. valori per un determinato pixel dipendono dal fatto che sia stato identificato come nuvola, acqua o terra. Quelli nuvolosi verranno eliminati, mentre sia i pixel dell' acqua che quelli terrestri riceveranno un' elaborazione specifica (ACRI ST 2017).

Tabella 8- Rappresentazione dei prodotti derivanti dal Sentinel-3 (Fonte: ESA)



La prima colonna è rappresentata dai prodotti OLCI, essi vengono distinti per la preposizione “OL” all’inizio del nome. All’interno di questa famiglia di dati, ci sono due principali categorie di dati: i prodotti di Livello 1 e i prodotti di Livello 2 contraddistinti dalle caratteristiche espresse nel paragrafo precedente. I prodotti *Level 1* forniscono dati di radiazioni per ciascun pixel nella griglia dello strumento, per ciascuna vista e per ciascun canale OLCI, oltre ai dati di annotazione associati ai pixel OLCI.

Essi vengono generati da tre processi principali denominati *Earth Observation* (EO), *Radiometric Calibration* (RC) e *Spectral Calibration* (SC) a cui si va ad aggiungere la variabile di risoluzione che può essere massima FR (*Full Resolution*) o minima RR (*Reduced Resolution*).

Dall’unione di questi tre processi e due risoluzioni possono essere generati quattro tipologie di dati:

- OL\_1\_EFR: output generato durante il processo EO (*Eart Observation*) in modalità *Full Resolution* (risoluzione spaziale massima del sensore ovvero 300m).
- OL\_1\_ERR: output generato durante il processo EO (*Eart Observation*) in modalità *Reduced Resolution* (risoluzione spaziale massima del sensore ovvero 1200m)
- OL\_1\_RAC: output generato durante il processo *Radiometric Calibration*
- OL\_1\_SPC: output generato durante il processo *Spectral Calibration*

Per quanto riguarda i prodotti di Livello 2 esiste una suddivisione interna data dall’oggetto che si vuole osservare. Quindi, se l’obiettivo è l’osservazione della superficie terrestre (*Land*) vengono offerti dati in due risoluzioni spaziali rispettivamente massima e ridotta e prendono il nome di OL\_2\_LFR (*Land Full Resolution*) e OL\_2\_LRR (*Land Reduced Resolution*) (ESA 2019b).

Se invece si ha come obiettivo l’osservazione degli oceani e delle acque interne, i prodotti cambiano nome ma rimangono ugualmente disponibili in due risoluzioni, i prodotti OLCI *Level-2 Water Reduced* (OL\_2\_WRR) o *Full* (OL\_2\_WFR) *Resolution*. Essi sono prodotti dal processore OLCI Level-2 e contengono i dati relativi all’acqua e alle caratteristiche geofisiche dell’atmosfera (ESA 2018).

Ogni prodotto fornisce i seguenti file di dati di misurazione (ESA 2019b):

- Riflettanza in uscita dall'acqua (Rxxx) per tutte le bande, tranne quelle dedicate alla misurazione del gas atmosferico. All'interno di questo prodotto si distinguono due tipi di riflettanza: la riflettanza BAC per "algoritmo di correzione atmosferica basale" (patrimonio MERIS) e la riflettanza AAC per "algoritmo di correzione atmosferica alternativa" (basato su una procedura di rete neurale). BAC, in questo pacchetto di prodotti, viene utilizzato come l'output operativo della riflettanza, ma nei casi in cui vengono calcolate le riflettenze è necessaria la AAC (nel file di configurazione è stata definita un'impostazione per passare da un algoritmo all'altro).
  - I prodotti che descrivono il colore oceanico, come il pigmento di alghe (chl\_oc4me e chl\_nn, in due file separati), il materiale sospeso totale (*Total Suspended Matter* (TSM\_NN)) e la caratterizzazione della trasparenza basata sul coefficiente di attenuazione diffusa (*Diffuse Attenuation coefficient* (KD490\_M07)).
  - Proprietà ottiche inerenti all'acqua della rete neurale come l'assorbimento di CDM (ADG\_443\_NN).
  - Sottoprodotti dell'atmosfera come la radiazione fotosinteticamente attiva (*Photosynthetically Active Radiation* (PAR)), la profondità di aerosol ottica / esponente di aerosol Angstrom (raccolti in un file e annotati rispettivamente come T865 e A865) e la colonna di vapore acqueo integrato (*Integrated Water Vapour* (IWV)). Nota che quest'ultima variabile contiene anche informazioni per i pixel d'acqua ed è identica a quella inclusa in OL\_2\_WRR e OL\_2\_WFR.
  - Stime di errore per tutti i prodotti.
  - Diverse variabili associate sono anche fornite nei file di dati delle annotazioni: Classificazione, Qualità dell'acqua e bandiere scientifiche (*Water Quality and Science Flags* (WQSF)). Esso fornisce informazioni su validità, qualità sospetta, riempimento cosmetico, ambiente e stato dell'algoritmo.
- Ed infine dati comuni come orto-geolocalizzazione di pixel terrestri, angoli solari e satellitari, dati atmosferici e meteorologici, data e ora o informazioni sullo strumento (queste variabili sono ereditate dai prodotti di livello 1B).

La seconda colonna è la più interessante perché raffigura i dati derivanti dall'unione dei valori di ricezione dell'OLCI e dell'SLSTR. Questi nuovi dati prendono il nome di "prodotti SYNERGY" (SYN). Essi sono di fondamentale importanza per lo studio della terraferma, infatti sono nati con l'obiettivo primario di monitoraggio dell'uso del territorio, la sua

evoluzione e l’impatto del clima sulle attività agricole. Proprio per tali caratteristiche è necessario addentrarsi nella descrizione dei vari prodotti ottenibili dal dato SYN. La realizzazione di tale dato non è una semplice unione di dati ma un’unione specifica di due tipologie di dati ben precisi, il dato OL\_1\_EFR e il dato SL\_1\_RBT. Il primo dato si riferisce alla radiazione al top dell’atmosfera (TOA) catturata dal sensore OLCI alla massima risoluzione (300 m); il secondo è definito dal sensore SLSTR e riguarda pacchetti di 22 e 34 dataset misure di temperatura di luminosità e radianza.

Unendo i due dati ancestrali si ottengono 4 tipologie diverse di informazioni (Figura 28)

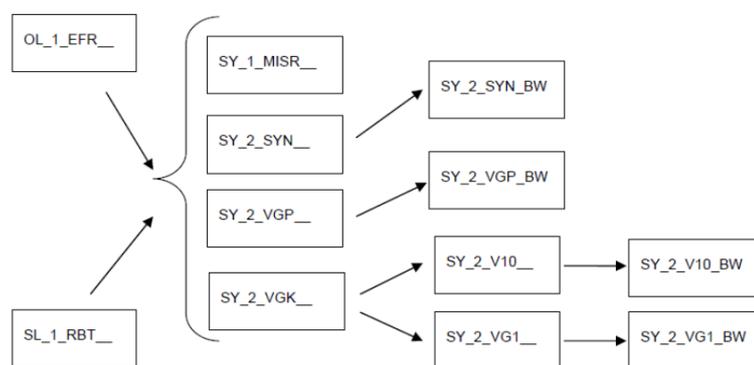


Figura 28- Diagramma ad albero per la descrizione dei prodotti SYNERGY (Fonte: ESA).

- SY\_1\_MISR\_ è l’output del processing del Level-1 SYN. Il prodotto Level-1 fornisce le griglie di corrispondenza tra il canale di riferimento OLCI nella geometria di acquisizione e gli altri canali OLCI e SLSTR nelle loro griglie di immagini L1B.
- SY\_2\_SYN\_: corrisponde alla riflettanza superficiale per tutti i canali SYN e a tutti i parametri di aerosol nella terraferma
- SY\_2\_VGP\_: Prodotti di continuità SPOT che forniscono dati di riflettanza TOA
- SY\_2\_VGK\_: corrispondono ai dati contenenti la riflettanza superficiale associata a canali VGT e NDVI riferiti al territorio.

Attraverso successive elaborazioni, si possono ottenere dati meno grezzi e più idonei all’uso. Infatti nel terzo ramo del grafico ad albero, si possono osservare i primi due dati aventi la desinenza \_BW la quale sta a significare una colorazione “Black and white”.

Gli ultimi due invece sono delle elaborazioni che hanno integrato le informazioni contenute nel dato d’origine: SY\_2\_V10\_ si riferiscono a prodotti di continuità SPOT che forniscono il massimo valore NDVI composito ricevuto per 10 giorni; SY\_2\_VG1\_, invece, si riferisce

ai prodotti di continuità SPOT che forniscono il massimo valore NDVI composito ricevuto durante 1 giorno.

Nella terza colonna vengono raffigurati i dati ricevuti ed elaborati dall'SLSTR e nella quarta quelli attraverso il sensore radar SRAL.

Come per il Landsat 8, anche nella famiglia dei Sentinel, i prodotti scaricabili da internet sono dotati già di una fase di correzione delle immagini. Di fatti, i prodotti di Livello-1 (senza correzioni) non vengono abilitati al download per gli utenti, ad eccezione del prodotto OL\_1\_EFR. Quindi, dalle piattaforme on-line, si possono scaricare principalmente i prodotti Livello-2.

Infine è utile riportare un esempio di nomenclatura di un file scaricabile on-line:(ACRI ST 2017)

**MMM\_XX\_L\_TTTTTT\_yyyymmddThhmmss\_YYYYMMDDTHHMMSS\_YYYYM  
MDDTHHMMSS\_ [instance ID] \_GGG\_ [class ID]. SEN3**

Questa è la nomenclatura convenzionale dei file in cui viene definita la sequenza di informazioni riguardanti il prodotto stesso (Naming Convention, ESA)

- MMM è l'ID della missione (S3A =sentinel-3°, S3B= sentinel-3B, S3\_ =entrambi)
- XX è la tipologia di sensore (-OL per OLCI, -SY per SYNERGY ...)
- "L" è il livello di processing (1, 2, underscore "\_" se non è possibile applicare nessuna correzione)
- TTTTTT è l'ID del tipo di dato ad esempio "EFR", "SYN" ...
- yyyymmddThhmmss è la data di inizio del rilevamento dell'immagine
- YYYYMMDDTHHMMSS è la data di fine del rilevamento dell'immagine
- YYYYMMDDTHHMMSS è la data creazione dell'immagine
- instance ID
- GGG
- class ID: identifica l'ID di classe per i prodotti di dati dello strumento con la sequenza convenzionale "P\_XX\_NNN" dove: P indica la piattaforma (O per operativa, F per riferimento, D per sviluppo, R per ritrattamento) \_XX indica la tempestività del

flusso di lavoro di elaborazione (NR per NRT, ST per STC, NT per NTC) \_NNN indica la raccolta di base o l'utilizzo dei dati.

- .SEN3 è l'estensione del nome del file

Ad esempio, è stato scaricato un dato SYNERGY:

S3A\_SY\_2\_SYN\_\_\_20190810T090159\_20190810T090459\_20190811T235541\_0179\_048\_050\_2160\_LN2\_O\_NT\_002

Per concludere bisogna fare chiarezza (come fatto nel Paragrafo 3.2) sul formato dei dati che vengono scaricati dai vari portali on-line. In primo luogo vengono scaricati sottoforma di Zip File, una volta estratti, i prodotti Sentinel-3 non vengono forniti come file singoli ma come una raccolta di file contenuti in una cartella. Il nome della cartella è il nome del prodotto effettivo, che termina con .SEN3. Ogni cartella contiene un file di metadati chiamato xfdumanifest.xml e almeno un file netcdf.

Ogni file netcdf contiene un sottoinsieme del contenuto di un prodotto Sentinel-3 (sentinel-3 Toolbox, ESA). I dati con il formato NC (.nc) appartengono alla categoria CAD Files la cui sigla NC sta per *Numeral Control* e sono file particolari che solamente pochi software per le elaborazioni spaziali possono aprire.

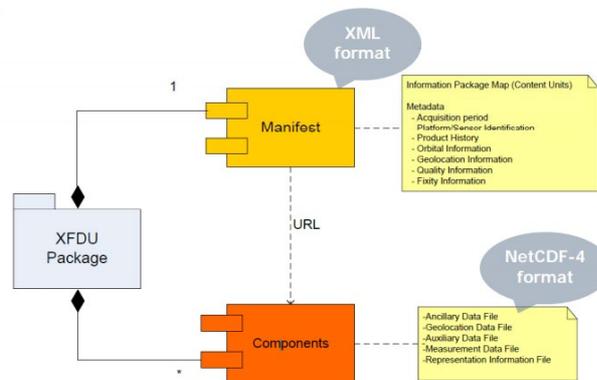


Figura 29- Sentinel-3 Product Format (Fonte: ESA)

## CAPITOLO 4 - Software utilizzati

Per poter elaborare dei dati satellitari derivati dall'acquisizione di radiazione elettromagnetica, convertita poi in corrente, e infine in numero digitale (DN), sono necessari dei software che comunemente vengono chiamati sistemi informativi geografici (SIT) o *geographic information system* (GIS). I Sistemi informativi geografici rappresentano ormai da qualche decennio un terreno di frontiera comune ad una pluralità di discipline scientifiche di cui hanno spesso fertilizzato, con il proprio apparato concettuale metodologico e applicativo, i relativi paradigmi costitutivi. È da questa cornice che deriva una oggettiva difficoltà nella definizione del termine che è di fatto non ancora consolidato, sia in quanto fortemente soggetto all'evoluzione tecnologica che comunque ne caratterizza alcuni aspetti, sia per la miriade di applicazioni che ne dilatano caratteristiche e potenzialità.

Ciò nonostante la corposa letteratura del settore converge su alcune definizioni, tra le quali la più tipica e diffusa è quella che riconosce i GIS come una combinazione di dati spaziali e di relativi attributi, di risorse hardware e software, di risorse umane con adeguata preparazione e di metodi di analisi, il tutto organizzato per automatizzare, gestire e distribuire informazioni a contenuto geografico. Il modello GIS associa biunivocamente oggetti con le relative proprietà geometriche-topologiche e geografiche ad un insieme di attributi quali-quantitativi, consentendo una serie di elaborazioni specifiche che arricchiscono e articolano il contenuto informativo all'origine. Sono in grado cioè di estrarre informazioni dai dati, permettendo la rappresentazione e la spiegazione di fenomeni impliciti nella struttura dei dati. Le applicazioni condotte con l'uso del GIS hanno come risultato finale la creazione di carte tematiche che costituiscono l'essenza del GIS stesso e dalla loro lettura è possibile cogliere, analizzare, risolvere, situazioni di criticità di carattere ambientale, sociale, economico, antropico ecc. ovvero tutte quelle situazioni legate alla valutazione, al controllo ed alla gestione di un territorio ("Ente per le Nuove Tecnologie l'Energia e l'Ambiente" ENEA, 2006).

Un GIS è in grado di raccogliere e gestire informazioni per natura, formato e provenienza, diverse tra loro, renderle compatibili, consentire l'applicazione di procedure di analisi e di sintesi delle stesse.

Per spiegare come opera un GIS conviene elencare una serie dei più significativi campi di applicazione (Ente per le Nuove Tecnologie l'Energia e l'Ambiente ENEA, 2006).

- pianificazione territoriale;
- *assessment* (valutazione) territoriale;
- gestione di reti tecnologiche;
- analisi e pianificazione di reti tecnologiche;
- monitoraggio ambientale;
- salvaguardia dei beni culturali;
- simulazione del traffico;
- piani di disinquinamento;
- cartografie tematiche, cartografie geologiche, sismiche, di uso del suolo;
- Piani Regolatori Urbanistici e di settore;
- gestione di pratiche catastali;
- studi di impatto ambientale;
- gestione del patrimonio edilizio;
- controllo della produzione agricola;
- marketing territoriale;
- analisi socio-economiche;
- pianificazione di reti distributive;
- analisi della domanda di servizi ecc.;
- analisi delle reti di vendita (*geomarketing*);
- analisi demografiche;
- analisi dei rischi;
- analisi dei percorsi ottimali;
- Individuazione sul territorio dei punti vendita ottimali.

Dall'innumerabili ambiti applicativi dei GIS è possibile intuire facilmente la loro multifunzionalità e le loro innumerevoli campi d'applicazione. Grazie a tali caratteristiche, oltre che per le interfacce pulite ed intuitive, nel XXI secolo tali sistemi informativi sono indispensabili per moltissimi ambiti lavorativi. In questo elaborato sono stati usati due sistemi informativi territoriali: QGIS e SNAP.

## 4.1 QGIS

QGIS, come dice già il nome, è un programma che appartiene alla categoria dei sistemi informativi territoriali, il che gli permette di visualizzare, elaborare e modificare dati territoriali. Partiamo dicendo che questo software è open source è quindi totalmente gratuito e facilmente compatibile con tutti i principali sistemi operativi (Windows, Mac OSX, Linux e Android). Oltre a ciò, essendo distribuito come pacchetto Open Source, il codice sorgente di QGIS è liberamente messo a disposizione dagli sviluppatori e può essere scaricato e modificato. Questo permette la sua riprogrammazione per rispondere a specifiche esigenze. Per aumentare le funzionalità e la compatibilità possono altresì essere compilati dei plugin, piccole estensioni caricate al momento del lancio del programma. È stato creato ed è mantenuto attivo da volontari come studenti, professori e liberi professionisti. Attualmente si è arrivati alla versione 3.8.2 “Zanzibar” come versione beta e non totalmente stabile, invece per quanto riguarda la versione stabile (*Long Time Release – LTR*), con però alcune funzionalità in meno, siamo alla versione 3.4.11 “Madeira”.



Figura 30- Logo di caricamento di QGIS 3.4 “Madeira” (LTR)

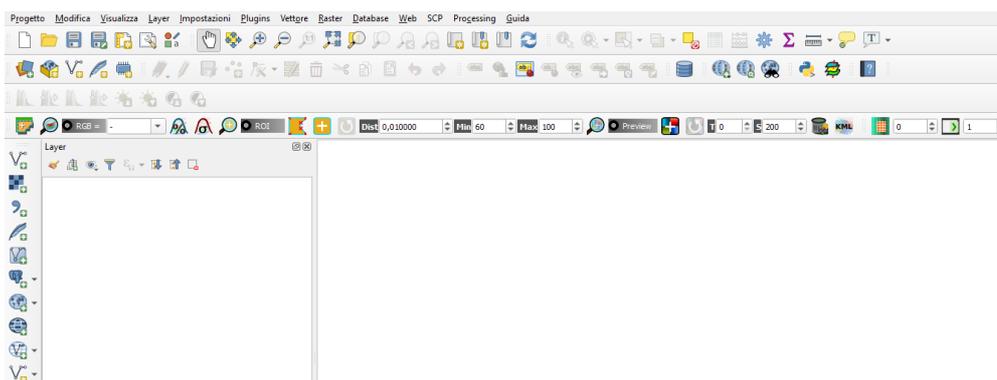


Figura 31- Schermata principali di QGIS “Madeira” con in alto tutti i possibili plugin scaricabili.

## 4.2 SNAP

Il secondo software utilizzato si chiama SNAP Toolbox (*Sentinel Application Platform*). Questo software è stato progettato dall'ESA e sviluppato, in modo congiunto da Brockmann Consult, Array Systems Computing e C-S.

Analizzando il nome dell'applicazione bisogna soffermarsi su due parole chiave: *Sentinel* e *Toolbox*.

La parola *Sentinel* dimostra la specificità di tale applicazione; infatti è stata sviluppata appositamente per l'elaborazione di immagini satellitari, derivanti dalla missione spaziale Sentinel. Il termine Toolbox, che significa letteralmente "scatola degli strumenti", è un unico vocabolo che racchiude in sé miriadi di impieghi. Gli sviluppatori hanno appositamente dato questo nome siccome il programma mette a disposizione tutti gli strumenti necessari per le elaborazioni di immagini Sentinel. Infatti, l'architettura SNAP, è ideale per l'elaborazione e l'analisi dell'osservazione della terra grazie alle seguenti innovazioni tecnologiche: estensibilità, portabilità, piattaforma Rich Client modulare, astrazione di dati EO generici, gestione della memoria piastrellata e un framework di elaborazione dei grafici (ESA, <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>).



Figura 32- Logo di caricamento di SNAP Toolbox.

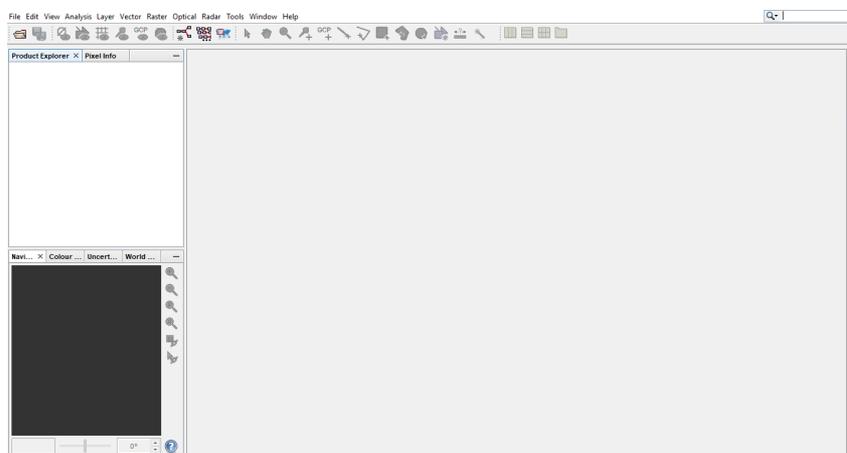


Figura 33- Schermata principale di SNAP Toolbox

## **CAPITOLO 5 - Il caso studio: “La tempesta Vaia”**

### **5.1 Inquadramento fenomenologico e geografico**

Nella meteo storia del continente Europeo non sono presenti eventi catastrofici come quelli verificatisi nel continente Americano ma, ciononostante, sono stati registrati eventi tempestosi e tifonici sopra la media, che hanno causato ingenti danni sia al comparto ambientale sia al comparto urbano. Infatti, nonostante siano eventi discreti nel tempo, le tempeste risultano essere il maggior fattore di disturbo per le foreste Europee. Nel Capitolo 2 è stato esposto come i disturbi (tra cui anche quelli da vento) siano fondamentali per la perpetuazione nel tempo di alcuni determinati ecosistemi. Nel caso VAIA però, non si sta parlando di un “semplice” disturbo da vento, ma di una vera e propria catastrofe ambientale.

Le prime osservazioni sui disturbi da vento nelle foreste sono scarse infatti, solo nella seconda metà del XIX secolo il numero di segnalazioni è aumentato, specialmente nei paesi dell'Europa centro-occidentale. Tuttavia, è probabile che le informazioni non siano complete e armonizzate, poiché non esisteva un sistema di monitoraggio Europeo rivolto a tali eventi (Gardiner et al. 2013)

Le ricerche scientifiche stimano che circa lo 0,12% del volume dei popolamenti forestali Europei viene danneggiato ogni anno (media 1950–2010) equivalente a circa 38 milioni di m<sup>3</sup>/anno (Gardiner et al. 2013). Il danno alle foreste è dovuto ad una moltitudine di disturbi. Per quanto riguarda i danni abiotici, il vento è il più importante. È il responsabile di circa il 51% di tutti i danni registrati, seguono incendi con il 16%, neve 4% e altri danni abiotici con il 6%. Il danno biotico aggiunge il 17% ed è principalmente causato da scarabei di corteccia (scolitidi). Il restante 6% è costituito da combinazioni di danni che non possono essere direttamente contabilizzati (Andreas S. & Schelhaas M. 2013).

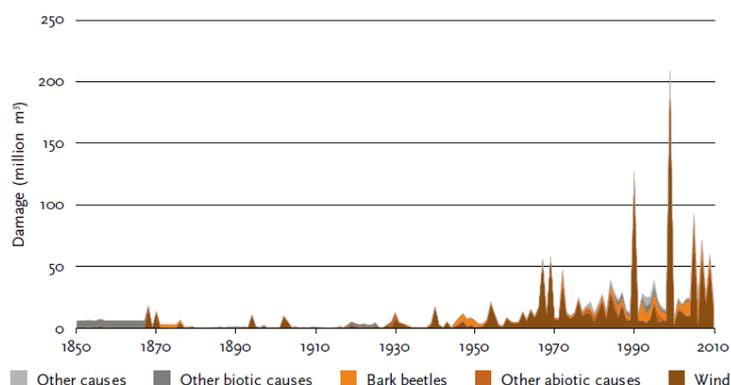


Figura 34- Danni totali verificatisi nelle foreste europee (milioni di m<sup>3</sup>) a causa di diversi disturbi. La categoria "altre cause" comprende danni antropici, cause non identificate e cause miste. (modificato da Schelhaas 2008) (Fonte: Barry G., Andreas S., Mart-Jan S., Christophe O., "Living with Storm Damage to Forests" 2013).

Prima di iniziare con la descrizione della "Tempesta VAIA" è necessario fare un piccolo excursus storico riguardo le varie tempeste che si sono abbattute in Europa.

In figura 35 sono state raggruppate tutte le tempeste che hanno causato ingenti danni alla copertura forestale, dal 1950 al 2009.

Nel periodo compreso tra il 25 gennaio e il 2 marzo 1990, vasta parte dell'Europa ha subito otto cicloni invernali extratropicali, denominato "Vivian", con velocità del vento superiore a livello 12 della scala di Beaufort (Motta R., Ascoli D., Corona P., Marchetti M. 2018). Vivian si è abbattuto sull'Europa centrale e meridionale il 27 febbraio 1990, causando 64 morti, 11,8 miliardi di euro di danni e abbattendo 11 O milioni di metri cubi di legname tra Francia, Germania, Svizzera, Repubblica Ceca e, seppur marginalmente, Italia. Questi episodi in realtà sono stati abbastanza frequenti nella storia europea (1953, 11850, 11839, 1634, 1362 tra gli anni registrati in archivi storici), anche recente, come nel caso degli uragani Xynthia (2010), Kyrill (2007) e Lothar (dicembre 1999), il più violento e severo (137 morti, raffiche a 250 km/h, 250 milioni di metri cubi atterrati). Tale excursus è stato fatto proprio con l'idea di far capire al lettore che in Europa, in tempi recenti (naturalmente parlando), si sono verificati vari eventi tempestosi e che quasi tutti, hanno portato un livello di distruzione del comparto forestale superiore rispetto a Vaia. Non è ancora stato dimostrato (seppur ipotizzato) il legame tra l'aumento della frequenza degli uragani e i cambiamenti climatici.

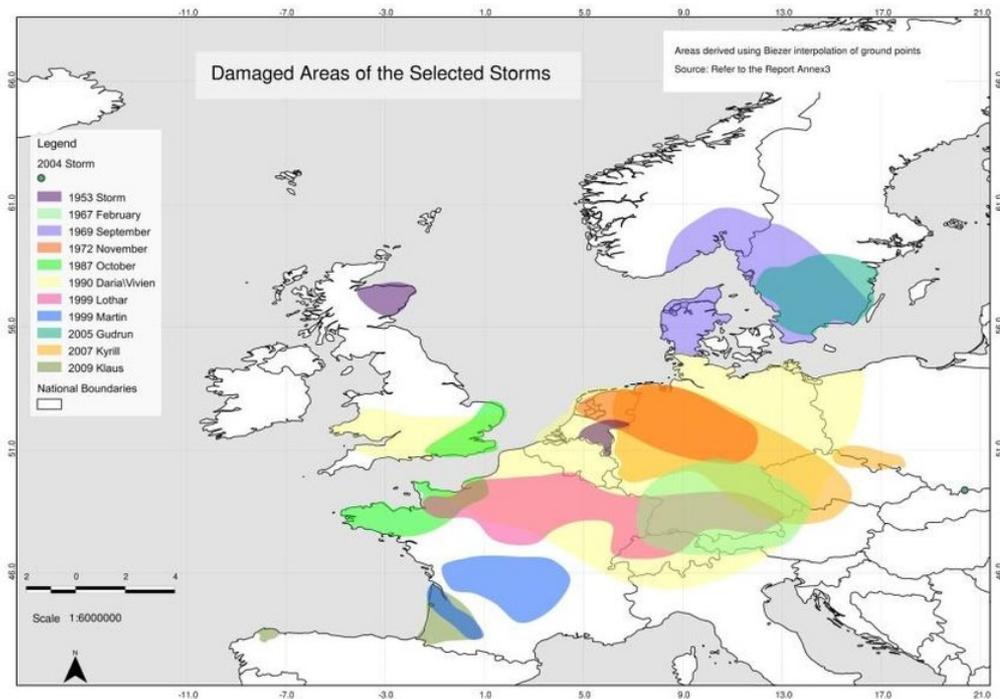


Figura 35- Zone stimate in Europa colpite da grandi temporali (Fonte: Gardiner et al., 2010).

Come si può vedere, la zona alpina italiana è stata solamente sfiorata da due eventi: uno nel 1967 e uno nel 1990 (Vivian). Quindi, l'Italia, di per sé non ha mai avuto a che fare direttamente con eventi di tale intensità e dimensioni, per questo, la tempesta Vaia ha colto impreparati sia le organizzazioni addette alla gestione del territorio, sia la popolazione che, ignorando gli eventi passati, si è trovata davanti ad uno spettacolo a dir poco orribile.

Tabella 9- Principali tempeste avvenute in Europa negli ultimi 30 anni.

Storm	Year	m3 (Millions)
<b>Viviane</b>	1990	60
<b>Lothar &amp; Martin</b>	1999	240
<b>Gudrun</b>	2005	75
<b>Kyrill</b>	2007	66
<b>Klaus</b>	2009	47
<b>Vaia</b>	2018	~8.5

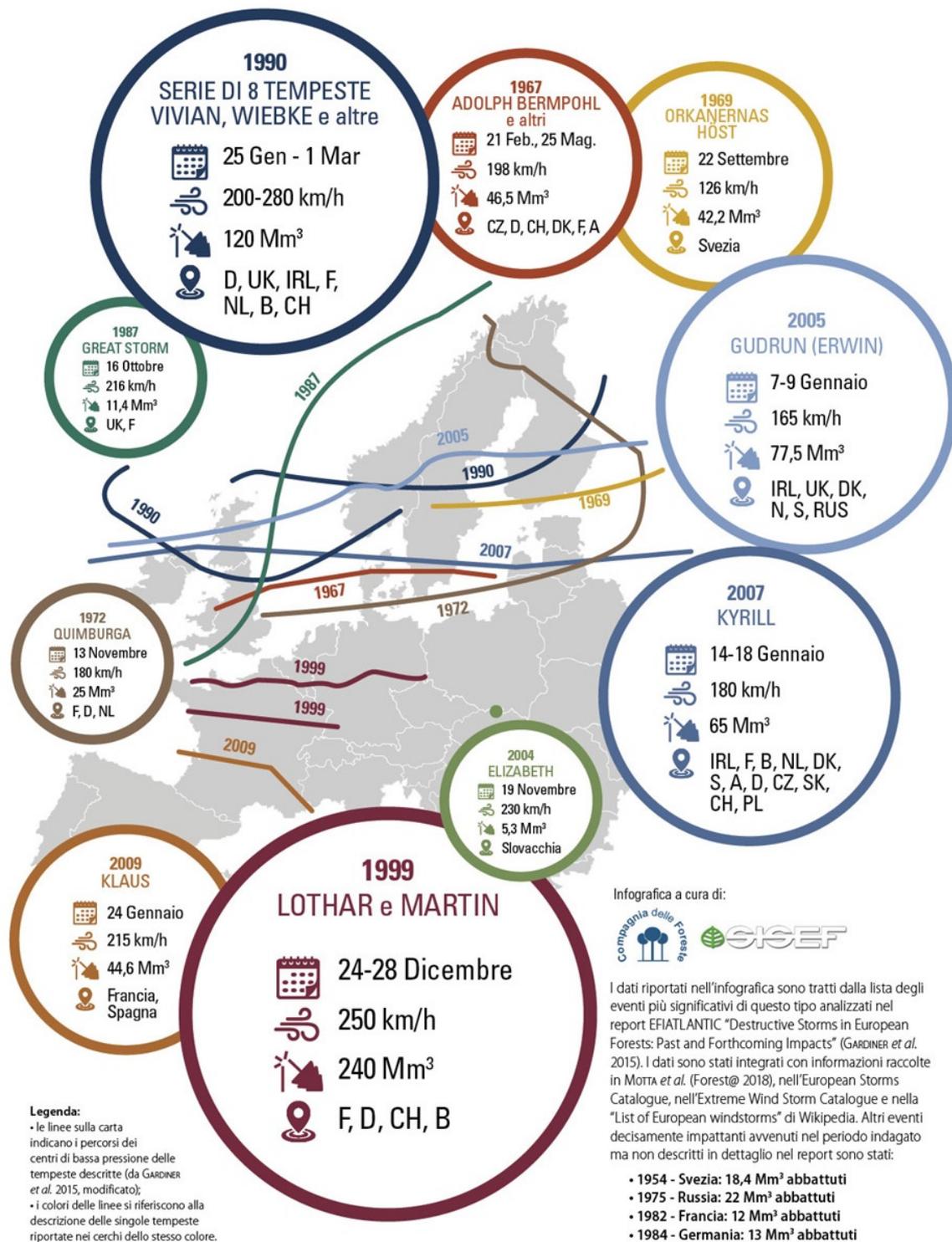


Figura 36- Schematizzazione delle principali tempeste avvenute in Europa dal 1950 ad oggi con evidenziati i metri cubi atterrati e le nazioni colpite (Fonte.: Compagnia delle Foreste, SISEF e GeoLab di Firenze, <http://www.nimbus.it/eventi/2018/181031TempestaVaia.htm>).

Il 29 ottobre 2018, oltre ad intense piogge, le quali si presume siano state generate dalla grande disponibilità di energia solare (temperature a fine ottobre di 1-2 gradi sopra la media) che ha portato una grande evaporazione e quindi una grande disponibilità di vapore acqueo atmosferico (Fondazione Nimbus, 2018), i monti del triveneto sono stati interessati da venti molto forti ad oltre 120 km/h, con un picco addirittura di 196 km/h, misurato dalla stazione ARPAV del Monte Cesen (TV) a quota 1552 m s.l.m. (Tab. 9) (Carraro 2018).

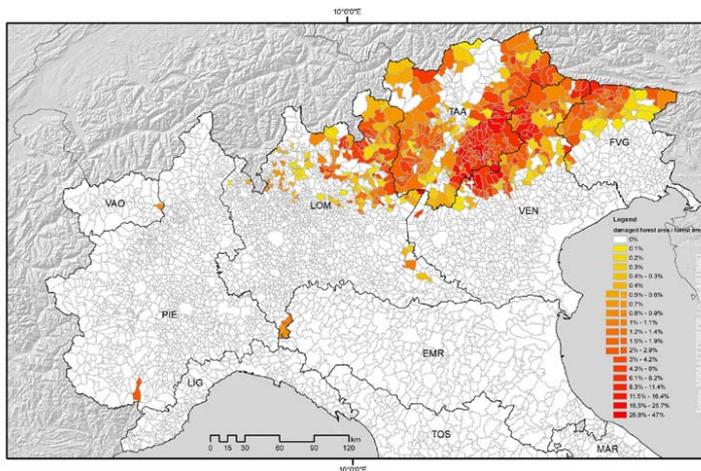


Figura 37- Estensione dei danni causati da Vaia nel Nord-Est Italia (Lombardia, Trentino-Alto Adige, Veneto e Friuli Venezia-Giulia).

Il forte vento non è stato generato dalla classica tromba d'aria, che normalmente agisce in modo piuttosto localizzato, ma dall'estesa azione della tempesta mediterranea "Vaia". Si è trattato di una profonda depressione transitata il giorno 29 sulle Alpi occidentali, che ha raggiunto un minimo barico eccezionale. La pressione atmosferica è arrivata a ben 978.7 hPa, valore tra i più bassi mai registrati (Cat Berro, Acordon, and Castellano 2018) questo ha permesso la generazione di una potente "forza traente" capace, a sua volta, di originare un vento di scirocco sull'Italia nord-orientale e di libeccio sulle coste tirreniche, di notevole intensità.

Le persistenti e intense piogge e il fortissimo vento caldo di scirocco hanno avuto un effetto devastante sui nostri boschi, probabilmente amplificato anche dall'orografia, che ha favorito in molti casi l'innesco di venti di versante ("downslope winds") (Virost et al. 2016). Questo fenomeno avviene quando la massa d'aria, spinta violentemente sui rilievi montuosi, accelera ulteriormente (effetto Venturi), come l'acqua di un torrente che improvvisamente supera dei massi presenti in alveo (Johnson et al. 1990).

Per avere un'idea dell'intensità dell'evento, basta fare riferimento alla scala di Beaufort (Tab. 10): in molte località il vento ha raggiunto i valori della classe la più alta. Rispetto, invece, alla classificazione di Saffir-Simpson, si può constatare che l'Arco Alpino è stato investito da venti tipici addirittura di uragani di categoria 2 e 3 (su una scala che arriva fino a 5), benché non della stessa durata.

La forza del vento è proporzionale al quadrato della sua velocità e quindi anche piccoli aumenti della sua intensità può avere effetti molto rilevanti (Coder 2014). Ovviamente la suscettibilità allo schianto degli alberi dipende da diversi fattori, anche gestionali (analizzati nei capitoli successivi), ma per quanto sia robusto l'ancoraggio offerto dall'apparato radicale, esiste comunque un limite di velocità (circa 150 km/h) oltre il quale il vento, pur non sradicando l'albero, ha un'alta probabilità di spezzarlo (Virost et al. 2016)

Tabella 10- Velocità massime del vento registrate il 29.10.2018 in alcune località del triveneto (Fonte: ARPAV, ARPA FVG, Meteo Trentino, Meteo Alto)

Stazione	Prov.	Quota m s.l.m	Ora	Dir.	Velocità km h <sup>-1</sup>
Monte Cesen	TV	1552	18:23	SSE	192.2
Monte Verena	VI	2002	20:01	SE	166.7
Monte Zoncolan	UD	1705	n.d	SE	139
Monte Matajur	UD	1630	n.d	S	131
Monte Avena Feltre	BL	1415	18:37	SE	126.4
Dobbico Cima Piatta	BZ	2906	18	SE	125
Cansiglio	TV	1022	21:06	SSO	121.3
Bondone	TN	1490	n.d	SE	121
Perarolo di Cadore	BL	525	21:17	NNE	121
Pian delle Fugazze	TN	1170	n.d	SE	119
Rifugio la Guardia	VI	1130	18:05	E	114.1
Caprile	BL	1000	21:20	NO	113.8
Piana di Marcesina	VI	1310	18:07	SE	113

Tabella 11- Scala dei venti di Beaufort

GRADO	DESCRIZIONE	VELOCITÀ (nodi)	VELOCITÀ (km/h)
0	Calma	0 - 1	0 - 1
1	Bava di vento	1 - 3	1 - 5
2	Brezza leggera	4 - 6	6 - 11
3	Brezza	7 - 10	12 - 19
4	Brezza vivace	11 - 16	20 - 28
5	Brezza tesa	17 - 21	29 - 38
6	Vento fresco	22 - 27	39 - 49
7	Vento forte	28 - 33	50 - 61
8	Burrasca moderata	34 - 40	62 - 74
9	Burrasca forte	41 - 47	75 - 88
10	Tempesta	48 - 55	89 - 102
11	Fortunale	56 - 63	103 - 117
12	Uragano	> 64	> 118

Secondo uno studio del 2017 (Gregow, Laaksonen, and Alper 2017), le tempeste che hanno colpito l'Europa centro-settentrionale nella prima decade di questo secolo sono state molto più intense di quelle avvenute prima del 1990. Inoltre, nel trentennio 1980-2010, la distruttività a carico delle foreste, a parità di biomassa, è stata 3-4 volte maggiore di quanto registrato dal 1950 al 1980. Anche se non è possibile dimostrare che i cambiamenti climatici in atto siano la causa di un singolo evento catastrofico, c'è il forte sospetto che "Vaia" sia stato uno di quei fenomeni atmosferici estremi che diversi studi correlano all'incremento della temperatura globale e prospettano in ulteriore aumento nei prossimi decenni. Non si può stabilire un rapporto diretto tra cambiamenti climatici e un singolo evento meteorologico in quanto le scale temporali d'azione sono molto diverse: alcuni decenni per i primi e al massimo alcuni giorni per i secondi.

Tuttavia, il singolo evento rappresenta un'ulteriore dato che si aggiunge alla serie di quelli registrati negli anni precedenti, la cui frequenza e intensità è correlabile con i cambiamenti del clima.

È plausibile che l'intensità dell'evento di fine ottobre sia stata ulteriormente rinforzata dalla temperatura elevata del Mediterraneo (1-2 °C sopra media), mettendo in gioco una maggiore quantità di energia e di vapore acqueo (Cat Berro, Acordon, and Castellano 2018). Un altro fattore, che potrebbe aver influito in modo indiretto, è una variazione della traiettoria della corrente a getto polare (Lombroso 2018), causata dal riscaldamento dell'Artico, amplificato dallo scioglimento dei ghiacciai (riduzione dell'albedo). La fluttuazione delle correnti a getto ("Jet streams") è infatti influenzata dalla differenza di temperatura esistente tra l'Artico e le medie latitudini. La riduzione del delta termico tra queste due aree del pianeta è ben documentata e può accrescere l'instabilità della corrente a getto, portando correnti fredde polari verso le basse latitudini (Francis and Skific 2015)

## 5.2 Fattori predisponenti ad uno schianto da vento

Come già precedentemente più volte espresso, il vento può essere un disturbo all'interno di popolamenti forestali, ma è anche di fondamentale importanza, ad esempio, per la dispersione anemocora dei semi, del polline e di feromoni per la riproduzione degli insetti. Il vento, inoltre, soffiando all'interno dei boschi permette un ricircolo d'aria cambiando, a volte, le situazioni microclimatiche forestali.

Analizzando il vento, come solo disturbo ambientale, bisogna porre l'attenzione su tutte le caratteristiche che deve avere un popolamento per poter essere definito stabile nei suoi confronti. Innanzitutto è necessario definire due concetti di stabilità (Stathers, Rollerson, and Mitchell 1994):

- la stabilità della singola pianta
- la stabilità del popolamento

La stabilità della singola pianta dev'essere osservata da vari punti di vista e per fare ciò sono necessari dei parametri caratteristici quali: il rapporto di snellezza, l'altezza di insidenza della chioma e le caratteristiche intrinseche della specie forestale.

Il rapporto di snellezza è il rapporto tra l'altezza di una pianta e il suo diametro a petto d'uomo; secondo la letteratura i valori ideali del rapporto di snellezza variano da 0.7 per le conifere a 0.8 per le latifoglie e con valori critici rispettivamente di 0.8 e 0.9. Questi valori indicano che, generalmente, le piante basse con un diametro elevato sono maggiormente resistenti a sollecitazioni meccaniche da vento rispetto alle piante alte e fine.

Uno dei parametri più importanti per definire la stabilità della singola pianta è la specificità, ovvero la tipologia di specie che domina, in quantità, la formazione. Innanzitutto bisogna suddividere le piante a seconda che siano conifere o latifoglie, perché quest'ultime, a differenza delle conifere, sono caducifoglie e quindi in inverno non hanno una chioma. Non avendo la chioma in inverno, le precipitazioni nevose non possono appoggiarsi sulle foglie, non appoggiandosi permettono alla pianta di non avere un sovraccarico. Nel caso delle conifere (ad esclusione del larice) la neve, depositandosi sulle foglie, aumenta il peso della chioma e, se essa viene mossa da vento, eserciterà una forza torcente maggiore al livello del fusto, facilitandone lo stroncamento o lo sradicamento.

Dopo questa prima differenza bisogna inoltrarsi nelle differenze all'interno della stessa famiglia: ad esempio, all'interno delle conifere, ci sono specie con apparati radicali più stabili di altri. L'abete rosso ha un apparato radicale superficiale, il quale non permette alla pianta di avere una grande stabilità, soprattutto se paragonata con il larice, che ha un apparato radicale fittonate che raggiunge modeste profondità, ancorando bene la pianta al suolo. Anche la relazione tra sviluppo epigeo ed ipogeo è di fondamentale importanza, infatti se ci troviamo in zone in cui il suolo è poco profondo (altro fattore che sarà analizzato successivamente) le radici non avranno molto spazio in cui crescere e quindi si avrà uno sviluppo ipogeo scarso rispetto a quello epigeo (Stathers, Rollerson, and Mitchell 1994).

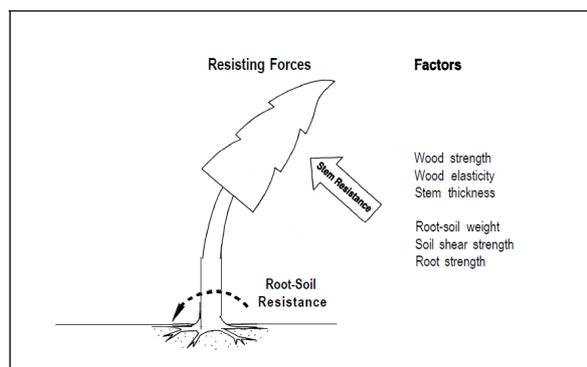


Figura 38- Fattori che concorrono a definire la stabilità della singola pianta (Fonte: Stathers, R.J., T.P. Rollerson, and S.J. Mitchell. *Windthrow handbook for British Columbia forests*. B.C. Min. For., Victoria, B.C. Working Paper 9401).

Per definire la di stabilità del popolamento è di rilevante importanza l'individuazione della categoria forestale presente in una determinata area, di fatti, in base ad essa è possibile già capire se un popolamento è più o meno sensibile al vento. Ad esempio, una formazione antropogena di abete rosso sarà sicuramente meno stabile di un popolamento ad evoluzione autoctona naturale. Questo perché, le formazioni create dall'uomo, sono generalmente state eseguite in regioni forestali in cui la tipologia forestale scelta non era idonea.

Altro fattore che incide sulla stabilità del popolamento è la densità, infatti, maggiore è la densità della foresta, minore saranno i diametri degli alberi al suo interno, il che ne deriva una stabilità meccanica bassa. Inoltre, una grande densità fa sì che le chiome siano portate principalmente nella parte superiore della pianta (fenomeno dell'auto-sramamento), con dei valori dell'altezza di insidenza della chioma inferiori alla metà dell'altezza totale della pianta (caratteristica di stabilità della singola pianta connessa con quella dell'intero popolamento). Tale caratteristica diminuisce la stabilità meccanica della pianta perché anche con un vento leggero può ondeggiare ("effetto leva").

D'altro canto però e va diminuire la forza del momento torcente perché l'area della chioma è minore e quindi diminuisce l'area in cui il vento può impattare, ne deriva poi una successiva riduzione della forza esercitata sul fusto e radici e ne diminuisce la probabilità di stroncamento o sradicamento della pianta. Una chioma con basso valore di insediamento offre, cioè valore assoluto, una maggiore stabilità nei confronti del vento che però dovrà essere confrontata e soppesata con tutti gli altri fattori stagionali.

La struttura, sia orizzontale sia verticale, è la caratteristica che più è da considerare quando si parla di stabilità (Stathers, Rollerson, and Mitchell 1994). La struttura verticale, è determinata dalla distribuzione nello spazio verticale delle chiome degli alberi. Esistono varie strutture definite da Baker nel 1950:

- **Struttura coetanea:** tutti gli alberi hanno la stessa età e quindi la stessa dimensione: la funzione che la rappresenta è la tipica distribuzione di una popolazione omogenea (gaussiana). Si origina quando la rinnovazione è contemporanea: in natura in seguito a un disturbo che abbia causato la distruzione del popolamento; nei boschi coltivati in seguito a taglio raso o a tagli successivi.
- **Struttura disetanea per piede d'albero:** sulla stessa superficie sono presenti, l'uno accanto all'altro con distribuzione puntiforme, alberi di diversa età e di diversa dimensione; è una struttura tipica di foreste coltivate, trattate a taglio saltuario, dove la rinnovazione è continua nel tempo e puntiforme nello spazio.
- **Struttura stratificata:** sono presenti più piani di vegetazione sovrapposti. In natura è la struttura tipica delle foreste pluviali, dove gli strati sono numerosi. Nelle nostre foreste è più frequente la struttura biplana (due strati), frequente in caso di convivenza di specie sciafila insediatasi sotto la copertura di una specie eliofila.
- **Struttura irregolare:** non riconducibile ad alcuna forma caratteristica; originatasi in seguito a disturbi localizzati o trattamenti irregolari nel tempo.
- **Struttura disetanea a gruppi:** si origina quando la rinnovazione si insedia a gruppi su superfici ridotte: in natura costituisce uno stadio tipico delle foreste vergini di climi temperati; nei boschi coltivati si origina per trattamento su piccole superfici (tagli successivi a gruppi, taglio a buche).

- Struttura coetanea con riserve: la nuova generazione convive con alcuni individui della generazione precedente; si origina nei boschi coltivati in seguito a taglio raso con riserve, se queste non vengono poi allontanate, o in caso di tagli successivi in cui si ometta il taglio di sgombero; in natura in seguito ad eventi distruttivi (es. fuoco) che abbiano risparmiato alcuni individui che hanno poi provveduto alla disseminazione (Del Favero 2013)

La classificazione viene semplificata a fini applicativi in tre: monoplana, biplana e multiplana. Quindi, nel caso in cui il nostro popolamento abbia una struttura verticale monoplana ne risulta che il vento può penetrare all'interno della foresta per vari metri senza cambiare la sua velocità siccome sono presenti solo i fusti.

Invece, in una foresta multiplana (disetanea) la velocità del vento viene sempre più rallentata dalle piante del piano inferiore (dominate). Inoltre, se il popolamento è caratterizzato da una struttura verticale monoplana, il più delle volte ci troviamo di fronte ad una situazione di coetaneità, in cui le altezze degli alberi sono tutte uguali e le chiome sono portate tutte alla stessa altezza. Questa tipologia di struttura è la più instabile nei confronti del vento ed è anche lo scenario che rappresenta la maggior parte delle formazioni antropogene nell'arco alpino.

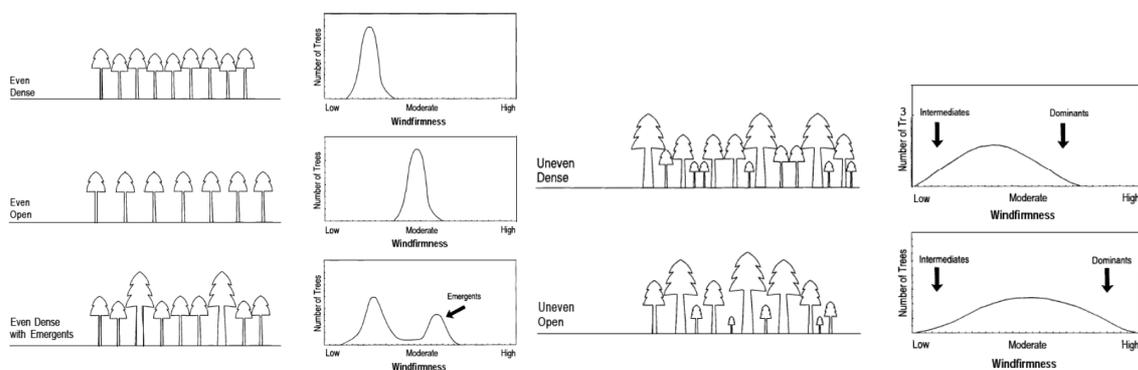


Figura 39- Rappresentazioni di varie strutture verticali con un confronto grafico della loro stabilità nei confronti del vento (Fonte: Stathers, R.J., T.P. Rollerson, and S.J. Mitchell. *Windthrow handbook for British Columbia forests*. B.C. Min. For., Victoria, B.C. Working Paper 9401).

La struttura orizzontale invece, è condizionata dalla distribuzione spaziale degli alberi nello spazio orizzontale, che dà luogo a diverse “classi di copertura” : regolare colma, regolare scarsa, lacunosa, aggregata, a cespi.

Una copertura regolare colma permette un grande rallentamento del vento nei primi metri ma poi possono verificarsi fenomeni di turbolenza. Invece, in una copertura regolare scarsa, il vento subisce un minore rallentamento ma progressivo nel tempo (dato anche da una minore densità e quindi piante, generalmente più stabili).

Ultimo fattore che concorre alla descrizione dell'instabilità del popolamento è l'assenza di una gestione. L'assenza di diradamenti non permette alla piante di accrescersi diametralmente aumentando la stabilità, inoltre, diradando, si diminuisce la densità permettendo una mitigazione del vento lungo tutto il popolamento. La grande densità, soprattutto dei margini, fa sì che ci sia un forte rallentamento del vento nelle zone limitrofe al margine (effetto frangivento) ma, nelle zone distali il vento recupera energia e acquista un moto turbolento causando schianti.

Le caratteristiche che sono state elencate, non concorrono singolarmente a definire la stabilità generale di un popolamento, ma è una combinazione tra esse che permette di circoscrivere tale caratteristica. Questa nozione è alla base della comprensione del comportamento del vento all'interno di una foresta.

Quindi, dopo aver velocemente spiegato le principali caratteristiche che rendono stabile al vento una singola pianta e/o un popolamento, bisogna inoltrarsi sulle caratteristiche topografiche e pedologiche della zona di interesse.

Le caratteristiche topografiche che influenzano le dinamiche di una tempesta sono (Stathers, Rollerson, and Mitchell 1994):

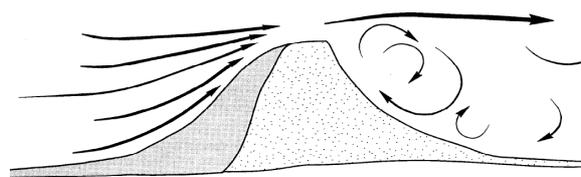
- esposizione al vento
- direzione del vento, velocità e turbolenza.

Gli effetti del terreno sul flusso del vento sono complessi, tuttavia è possibile caratterizzare determinate forme del terreno in cui il rischio intrinseco di andamento del vento è maggiore a causa dell'accelerazione del vento o dell'aumentata turbolenza. La velocità e la direzione del vento ad un'altezza di circa 1000 m sopra la superficie sono in gran parte governate dal gradiente di pressione atmosferica e dalla rotazione della terra. Più vicino alla superficie, questo flusso diventa sempre più turbolento poiché la resistenza all'attrito delle caratteristiche della superficie gioca un ruolo maggiore. I venti superficiali scorrono sopra e intorno alle colline e possono cambiare direzione fino a 90 ° mentre vengono incanalati attraverso valli e montagne (Stathers, R.J., T.P. Rollerson, and S.J. Mitchell 1994).

Man mano che le linee del vento vengono compresse scorrendo attraverso valli ristrette, su colline e dorsali o intorno alle spalle, la velocità del vento aumenta. Sotto le creste montuose o anche relativamente piccole colline (~ 30 m sopra il terreno circostante), una scia turbolenta sviluppa vortici di rotore che possono avere forti velocità verticali.

Questo tipo di flusso turbolento ad alta velocità è spesso responsabile dei danni del vento sui pendii sottovento (Stathers, Rollerson, and Mitchell 1994).

La tempesta Vaia ha principalmente interessato l'arco nord-est alpino e quindi la topografia ha giocato un ruolo fondamentale per la dinamica del vento (Motta R., Ascoli D., Corona P., Marchetti M. 2018). Infatti, nelle regioni montane e alpine, l'incanalamento delle varie valli offre una via al vento per aumentare la sua velocità. Come si può vedere dalla Figura 41 (in basso a sinistra) sono presenti vari canali in cui il vento ha potuto scorrere. Questo fa sì che sia difficile tabilire la dinamica che ha seguito il vento sprigionato dalla tempesta.



*Figura 40 in Alto- Dinamica del vento sopra ad un rilievo, la quale mostra l'accelerazione del vento e la sua componente turbolenta nella sezione sottovento. (Fonte: Stathers, R.J., T.P. Rollerson, and S.J. Mitchell. Windthrow handbook for British Columbia forests.*

*Figura 41 a Sinistra- Ritaglio di una zona dell'Agordino (Col di Foglia) in cui è stata apportato il processamento "Ombreggiatura" per evidenziare l'orografia della zona.*

Le caratteristiche del suolo influenzano la dinamica della tempesta attraverso l'interazione tra:

- profondità
- drenaggio
- struttura, densità, consistenza e quantità di scheletro

Gli alberi che crescono in terreni profondi e ben drenati producono sistemi radicali molto più grandi rispetto a quelli che crescono in terreni in cui sono presenti condizioni di elevata densità apparente, elevata quantità di scheletro (matrice inerte) o substrato roccioso vicino alla superficie e una grande saturazione idrica (Zhang et al. 2013).

In genere, gli alberi che crescono su terreni profondi e ben drenati sono molto più resistenti al vento rispetto a quelli che crescono su terreni poco profondi o scarsamente drenati, questo perché hanno un apparato radicale molto più sviluppato, il che consente un ottimo ancoraggio al substrato. Alcune volte, l'albero non viene sradicato ma viene stroncato. Questo fenomeno avviene quando è presente un ancoraggio molto forte al terreno il quale, mantenendo l'albero ben saldo al suolo, permette lo sviluppo di elevate forze di trazione incidenti sul fusto della pianta.

Se tali forze sono superiori alla resistenza meccanica del legno allora avverrà lo stroncamento. Da questa definizione è intuibile che la percentuale di stroncamento e di sradicamento, all'interno di un appezzamento percorso da una tempesta, è dipendente sia dalla tipologia di terreno sia dalle specie che lo ricoprono.

Su terreni poco profondi o molto bagnati, le radici di solito formano una struttura a piastra fino a 4 m di diametro e spesso inferiore a 0,4 m di profondità. Questa piastra costituisce una base per l'albero fornendo un'adeguata stabilità dal momento in cui la chioma dell'albero è all'interno di un popolamento denso. Invece, nel caso in cui la copertura adiacente venga rimossa, tale piastra non fornisce più una sufficiente forza di ancoraggio (Stathers, Rollerson, and Mitchell 1994).

I suoli, in particolare se bagnati, hanno forze di taglio che sono da due a tre ordini di grandezza minori rispetto alle radici; quindi l'adesione e la coesione del terreno alle radici la si può ritenere nulla, non svolgendo più nessun ruolo di trattenuta. Le condizioni del suolo sembrano avere un ruolo fondamentale per il mantenimento della forza dell'ancoraggio influenzando il volume totale del sistema radicale e la dimensione delle singole radici di supporto (Stathers, Rollerson, and Mitchell 1994).

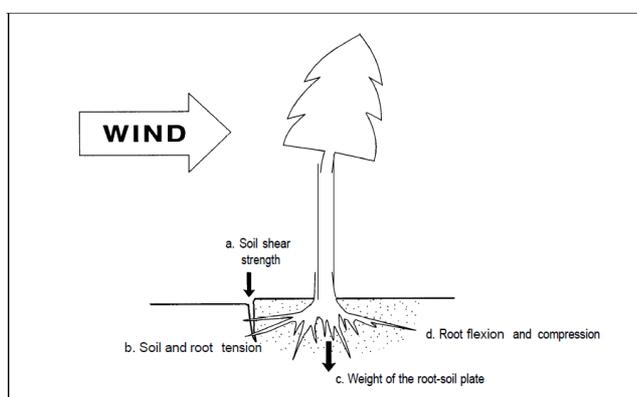


Figura 42- Fattori al livello radicale e del suolo che influenzano la resistenza al ribaltamento. (Fonte: After Ruel, 1992).

## CAPITOLO 6 – Sperimentazioni sul caso studio

Il 29 ottobre 2018 molte aree dell'arco alpino del Nord-Est Italia sono state investite dalla tempesta Vaia, coinvolgendo varie regioni e causando problemi sia dal punto di vista economico sia dal punto di vista ambientale. Al fine di esaudire lo scopo della suddetta tesi, non è possibile utilizzare l'intera area colpita dalla tempesta ma, dopo un'attenta analisi, ci si è focalizzati in una zona più ristretta corrispondente alla Provincia di Belluno. Al fine di possibili rilievi fotografici, è stata scelta questa zona poiché rientra completamente nell'area colpita da Vaia; in più essa comprende aree con bassa difficoltà di accesso ed è logisticamente posta nelle vicinanze

Il territorio della Provincia di Belluno è totalmente montano e si estende per 3 610,20 km<sup>2</sup> nel settore delle Alpi Orientali, dove sono presenti la maggior parte dei gruppi dolomitici. Proprio per questo può essere ritenuta la provincia delle Dolomiti. Il principale corso d'acqua della Provincia di Belluno è il fiume Piave il quale, percorrendo 220 Km, percorre la provincia da nord a sud.

La provincia di Belluno confina a nord con l'Austria (Tirolo e Carinzia), a est con il Friuli-Venezia Giulia (province di Udine e Pordenone), a sud con le province venete di Treviso e Vicenza, a ovest con il Trentino-Alto Adige (province di Trento e Bolzano).

Ad eccezione dei settori sudoccidentale e centro-orientale, i confini amministrativi sono in larga parte coincidenti con quelli del bacino del Piave.



*Figura 43- Alto inquadramento geografico e limiti amministrativi della Provincia di Belluno inseriti in un fondo derivato da Google Terrain attraverso un'elaborazione in QGIS*

La provincia si suddivide in otto regioni geografiche:

- 1- Agordino, corrispondente all'alto e medio bacino del torrente Cordevole;
- 2- Alpagò, corrispondente al bacino del torrente Tesa e gravitante attorno al lago di Santa Croce;
- 3- Ampezzo, comprendente il comune di Cortina d'Ampezzo;
- 4- Cadore, corrispondente alla valle del Boite (con l'eccezione di Cortina), la val d'Ansiei e l'alto bacino del Piave;
- 5- Comelico, estremo nord del Cadore, corrispondente all'alta valle del Piave e alla valle del torrente Padola;
- 6- Feltrino, territorio compreso tra il Piave e il torrente Cison;
- 7- Valbelluna, coincidente con la valle del Piave da Castellavazzo fino a Lentiai (in sinistra Piave) e Sedico (in destra Piave);
- 8- Val di Zoldo, identificabile con la valle percorsa dal torrente Maè.



Figura 44- Classificazione delle Province Venete e la mappa della provincia di Belluno per aree culturali. In arancione il Feltrino, in giallo la Valbelluna, in azzurro l'Alpagò, in rosso l'Agordino, più chiara la zona di Fodóm; in viola la Val di Zoldo, in rosa l'Ampezzano, in verde il Cadore, più scuro il Comelico. Si notino i territori di Selva di Cadore e di Zoppè di Cadore, il primo di transizione tra Agordino e Cadore, il secondo tra Zoldano e Cadore (Fonte: Wikipedia).

L'intera provincia è stata percorsa dalle forti raffiche di vento e proprio per questo è una zona che rispecchia una situazione idonea al fine di rispondere all'obiettivo della tesi. L'obiettivo consiste nel confronto tra elaborazioni di immagini satellitari, derivanti da sensori ottici passivi e gratuiti, e le immagini derivanti da voli privati finanziati dalla Regione Veneto nel periodo post tempesta; in questo modo ci si focalizza sulla precisione della mappatura degli schianti da vento tra le due categorie di satelliti, cosicché si possa

vedere se i satelliti open-source possono essere uno strumento di integrazione nel processo di mappatura.

Essa è stata creata dall'AVEPA (Agenzia Veneta Per i Pagamenti in Agricoltura), con il supporto dei tecnici delle due Unità Organizzative (UO) forestali del Veneto.

Questo dato viene assunto come dato preciso ed è quindi la matrice esatta su cui si andranno ad eseguire i confronti.

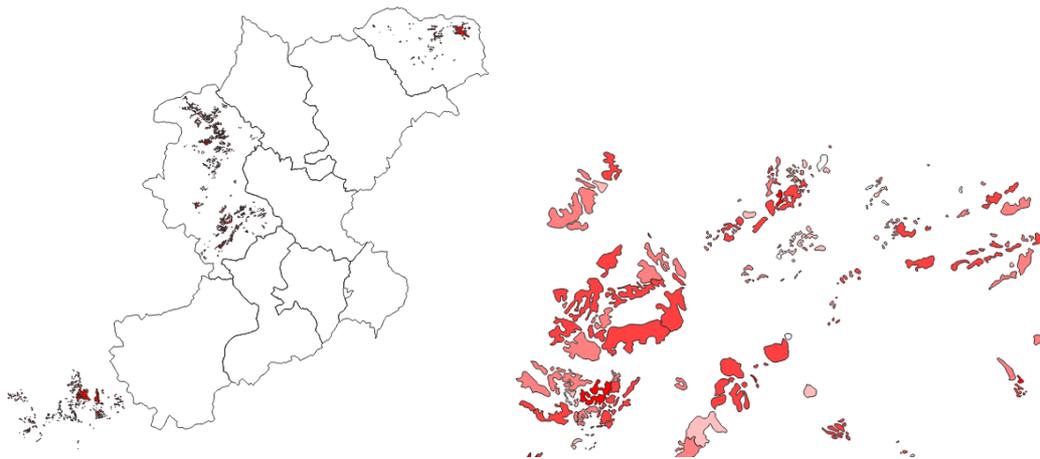


Figura 45- Schermata di QGIS in cui è stata caricata la mappatura degli schianti fatta dall'AVEPA (a sinistra). Dettaglio di una porzione dello shapefile (a destra).



Legenda 1- Graduatoria in percentuali di schianto (%) riferiti allo shapefile AVEPA

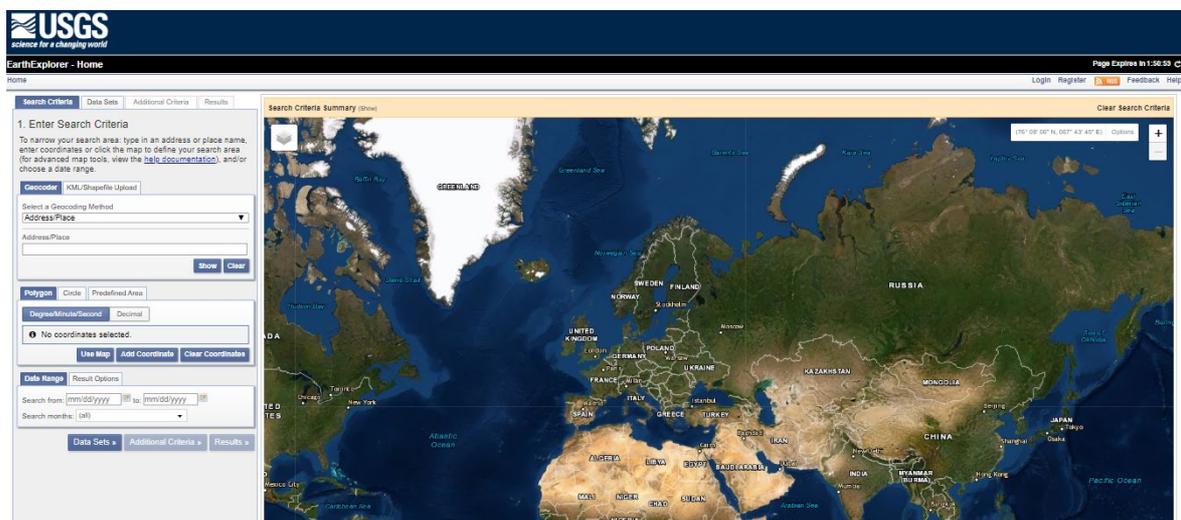
Nei prossimi sotto capitoli verranno elencati tutti i passaggi per ottenere le immagini di confronto dei satelliti (appartenenti alle due missioni spaziali descritte nel Capitolo 3) e poi verrà eseguito il confronto con lo shapefile AVEPA. Si procederà con la descrizione delle varie fasi attraverso un'impostazione da tutorial, ritagliando le schermate e discutendo le stesse.

## 6.1 Elaborazioni immagini Landsat 8 OLI/TIRS

Il primo satellite che è stato preso in esame è il Landsat 8 con il caratteristico sensore OLI/TIRS. Le elaborazioni sono state realizzate utilizzando il software QGIS 3.4.8 Madeira, all'interno del quale è possibile scaricare dei plug-in, ovvero delle piccole estensioni che permettono particolari elaborazioni. In questo caso è necessario il plug-in SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*). Attraverso questa estensione è possibile la lavorazione delle immagini satellitari. Esso permette di eseguire la classificazione semi-automatica (supervisionata e non supervisionata) delle immagini derivanti dal telerilevamento, fornisce diversi strumenti per il download di immagini gratuite (Landsat, Sentinel-2, Sentinel-3, ASTER, MODIS), consente la preelaborazione delle immagini, il post-elaborazione delle classificazioni e il calcolo raster.

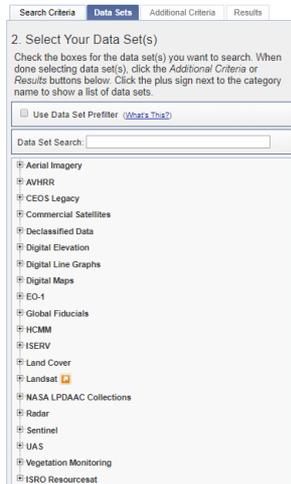
### 6.1.1 Download delle immagini satellitari

Partendo con ordine, la prima operazione da eseguire è scaricare i pacchetti di immagini Landsat. Per effettuare ciò, è necessario loggarsi al sito web dell'USGS, chiamato EarthExplorer, ed una volta loggati apparirà una pagina come raffigurato in Schermata 1. In essa bisognerà inserire prima gli intervalli spaziali e poi l'intervallo temporale su cui si andranno a ricercare i dati. È stato scelto un intervallo di tempo che ricade tra il 4 ottobre 2018 (10/10/2018) e il 24 Gennaio 2019 (24/01/2019) e una dimensione spaziale che ricopre tutta la provincia bellunese.



Schermata 1- Pagina Web iniziale del sito OpenHub dell'USGS

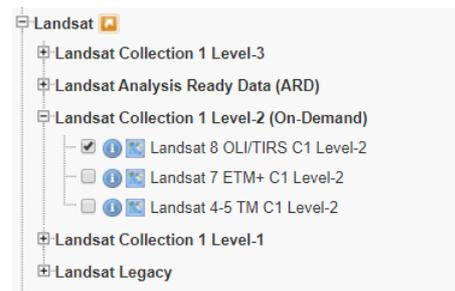
Si è optato per questo arco temporale dal momento che nel post evento le immagini registrate nelle date precedenti al 24 Gennaio avevano una copertura nuvolosa maggiore del 70%, e quindi sarebbero risultate troppo disturbate per procedere alle operazioni di elaborazione.



Una volta inseriti i poligoni e l'arco temporale si passa alla selezione dei dati che si vogliono scaricare. In questa pagina è presente un elenco di tutte le tipologie di dati disponibili nel database on-line (Schermata 2). Per questo lavoro interessano le immagini Landsat e quindi spunteremo tale voce.

*Schermata 2- Elenco dei possibili dati scaricabili dal sito dell'USGS*

Spuntando la voce Landsat si aprirà un elenco ad albero (come visualizzato nella Schermata 3) dove si andranno a ricercare i prodotti di Livello 2 (L2) perché, come visto nel Capitolo 3, sono i dati che hanno già subito una prima correzione geometrica ed atmosferica da parte dell'USGS.



*Schermata 3- Dati relativi alla missione satellitare Landsat*

Nel caso del Landsat 8 è necessaria una pre-richiiesta dei dati perciò non saranno disponibili in modo immediato ma bisognerà aspettare circa due giorni. Dopo questo breve lasso di tempo, nella casella di posta elettronica arriverà infine un'e-mail con il link per il download. Nel successivo Paragrafo si andrà a spiegare il procedimento con cui sono state ottenute le immagini finali. Ovviamente viene spiegato il procedimento solo sul pacchetto riferito ad una determinata data, nel nostro caso il file riferito alla situazione pre evento (2018), ma le operazioni devono essere duplicate anche nei dati riferiti alla situazione post (2019).

Una volta scaricate le immagini si presenteranno come un file compresso con estensione “.tar”. Per l'utilizzo in QGIS è sempre consigliabile l'estrazione di questi pacchetti perché altrimenti il software potrebbe non trovare alcuni dati che potrebbero essere indispensabili per la stesura del lavoro.

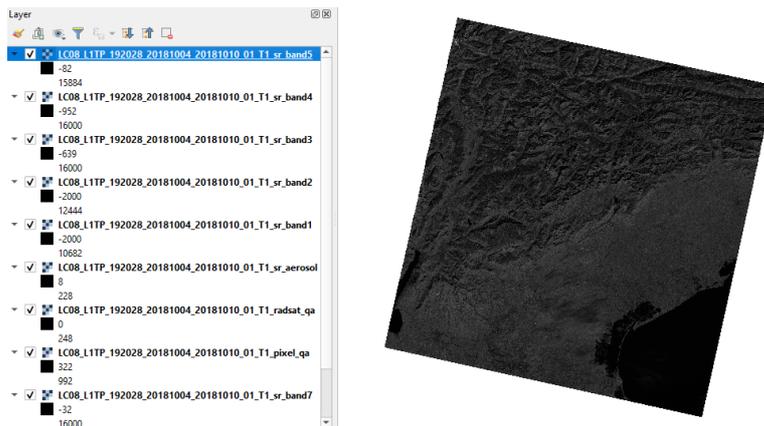
Nella schermata a destra sono elencati tutti i dati all'interno del pacchetto “.tar”. Come è possibile vedere ci sono i file raster delle bande dalla 1 alla 7 in più sono presenti dei dati aggiuntivi, come `_pixel_qa`, `_radsat_qa` e `_sr_aerosol`. I file alla base sono due file di testo XML in cui sono racchiusi tutti i dati per una correzione DOS1 applicabile attraverso QGIS.

LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band7
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band6
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band5
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band4
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band3
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band2
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band1
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_aerosol
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_radsat\_qa
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_pixel\_qa
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band5.tif.aux
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_sr\_band4.tif.aux
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_pixel\_qa.tif.aux
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_MTL
   
 LC08\_L1TP\_192028\_20190601\_20190605\_01\_T1\_ANG

Schermata 4- Pool di dati presenti all'interno del file .tar, scaricato dalla piattaforma Online.

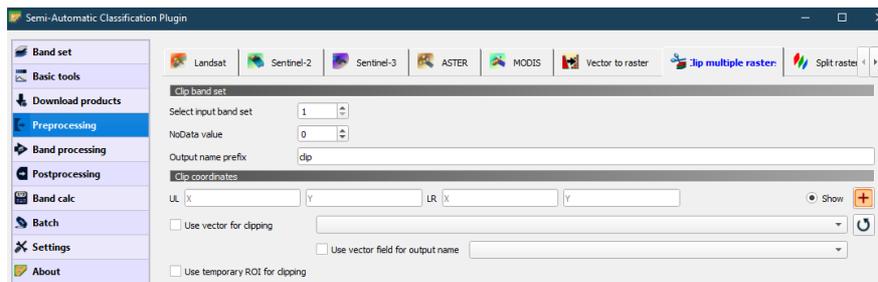
## 6.1.2 Procedimento operativo

Per caricare i file su QGIS è necessario selezionare le bande e sporarle nella schermata del software, la quale apparirà in questo modo:



Schermata 5- Presentazione iniziale dei dati L2 caricati in QGIS

L’elaborazione successiva consisterà nell’andare a ritagliare la zona specifica bellunese. Eseguendo tale operazione si andrà ad alleggerire la mole di dati che il computer e QGIS dovranno elaborare e quindi ne risulterà una maggiore velocità di calcolo, guadagnando tempo su ogni operazione successiva. Operativamente bisogna andare sul pannello di SCP e selezionare la voce *Pre-Processing*; in questa sezione scorrere l’elenco orizzontale fino alla voce “*clip multiple raster*”. Ora si potranno selezionare le coordinate nella mappa corrispondenti alla nuova estensione dei raster ritagliati.



Schermata 6- Schermata del Pre Processing nella voce clip multiple raster del Plug-in SCP.

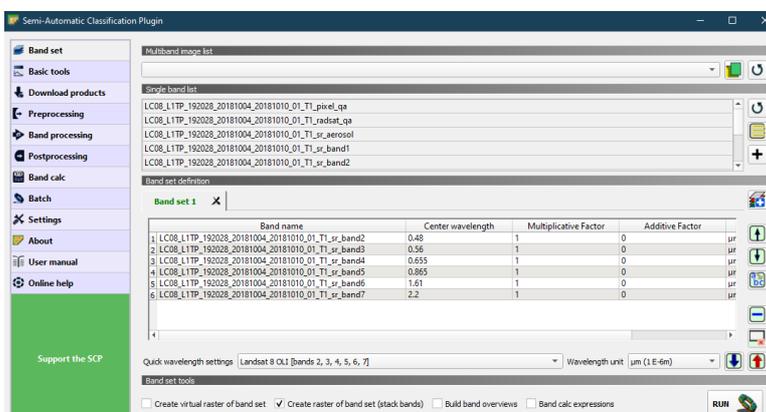
Dal Geoportale della Regione Veneto è stato scaricato uno shapefile contenente i Limiti amministrativi della Provincia di Belluno, il quale funge da maschera per poter ritagliare il raster utilizzando codesti limiti. Con le operazioni però di calcolo successive, si è visto che questo ritaglio dava delle problematiche in termini di valori dei dati. Per evitare questi errori ma comunque alleggerire l'immagine, si potrebbe ritagliare l'area utilizzando una forma quadrata. In tal modo si va a zoomare l'area di interesse alleggerendo le operazioni ma, poiché l'immagine scelta non è molto grande, non è stato applicato nessun ritaglio. Nel caso in cui le immagini siano molto pesanti è consigliabile optare per quest'ultima tipologia di operazione.

Le successive schermate ritagliate derivano dallo strumento di cattura integrato nel computer. Solamente ad operazioni concluse, meramente per un fattore estetico, verrà applicato un ritaglio.

Le bande così caricate, e non ritagliate, sono scollegate l'una all'altra e risultano come dei raster sovrapposti ciò non permette di fare alcune operazioni fondamentali per ottenere il risultato finale. Per questo è necessario creare un unico raster che contenga le informazioni di tutte e sette le bande. Sempre utilizzando il plug-in SCP, alla prima voce "Band set" è possibile selezionare le bande che vogliamo vadano a formare il nostro "multiple raster o stack bands". Le bande disponibili vengono visualizzare nel riquadro superiore mentre le bande che comporranno lo *stack bands* in quello sottostante (Schermata 7).

Dopo averle selezionate, è necessario ordinarle in ordine crescente e inserire la "Center wavelength", ovvero la lunghezza d'onda centrale per ogni banda (per effettuare queste due piccole operazioni si farà uso dei tasti laterali presenti nella finestra di dialogo). Da notare bene che le bande utili per il Landsat 8 OLI/TIRS escludono la banda 1, la quale non dovrà ricadere nelle bande selezionate per lo *stack bands* (quindi in totale sarà composto da 6 bande).

Per concludere spuntare la voce “*Create raster of band set*” ed eseguire il calcolo attraverso il pulsante *Run*.



Schermata 7- Finestra di elaborazione delle bande all'interno di SCP Plugin

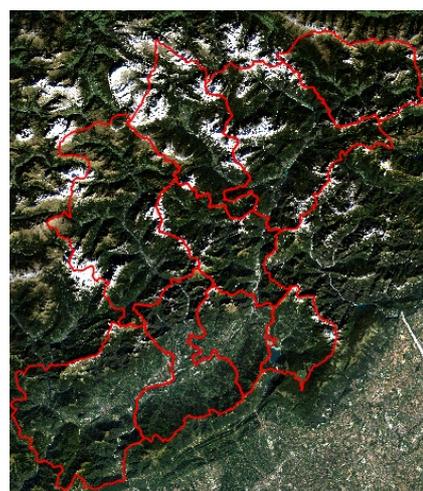
A questo punto, nel box dei *Layer*, comparirà un nuovo raster contenente tutte le bande prescelte. Da questo momento è possibile applicare la colorazione RGB attraverso SCP.



Nella barra degli strumenti è presente l'estensione soprastante, in cui è possibile scegliere la combinazione delle bande di visualizzazione dello *stack bands*

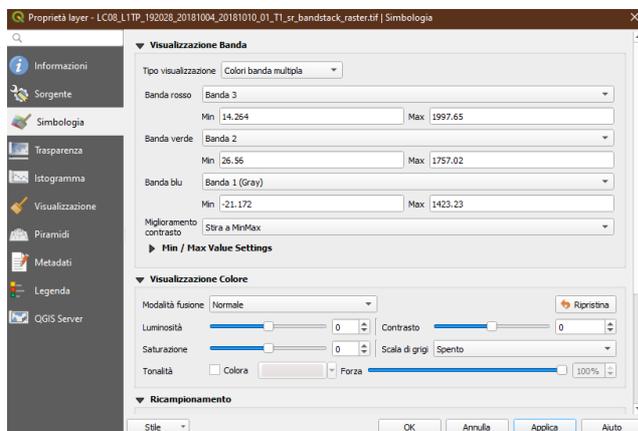
“3-2-1” è la colorazione che rappresenta la combinazione di colori che insieme formano tutti i colori visibili a schermo, ossia la combinazione tra Red, Green and Blue (RGB). Dove il numero 3 indica il colore Rosso, il 2 il colore Verde e l'1 il Blu.

L'immagine colorata attraverso i colori naturali appare come nella Schermata 8 a lato. La colorazione può essere eseguita anche manualmente andando a selezionare una determinata banda e allocandola nell'apposito canale del Rosso, Verde e Blu. Questo processo è descritto in Schermata 9, dove è possibile vedere che nel canale del rosso è stata inserita la banda 3, ossia la banda che è stata ordinata nello *stack bands* precedentemente elaborato, con lunghezza d'onda corrispondente al rosso.



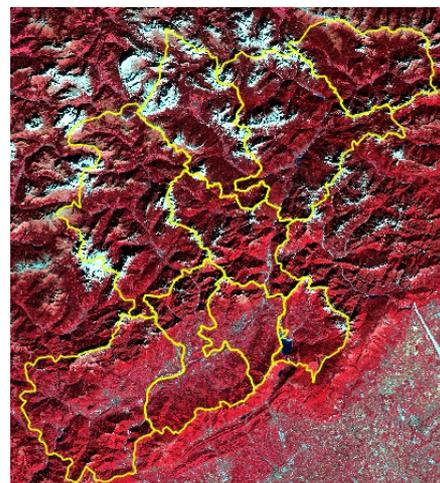
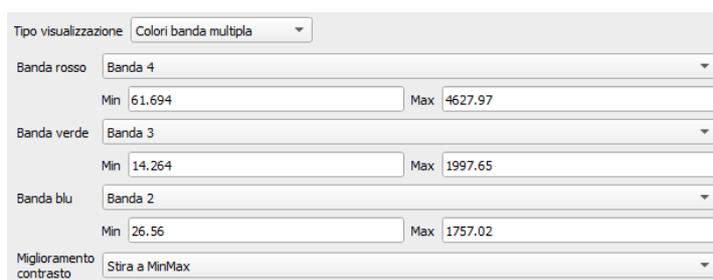
Schermata 8- Colorazione a colori naturali del caso studio

Lo stesso ragionamento vale con gli alti canali, infatti nel canale dei blu è stata inserita la banda che nello *stack bands* occupa la prima posizione ovvero la banda 2.



Schermata 9- Finestra di dialogo per la selezione delle bande per la colorazione normale o la colorazione a falsi colori.

In questa finestra è possibile “giocare” con le bande e creare delle combinazioni di bande che permettano di enfatizzare qualsiasi aspetto dell’immagine. L’esempio più comune è la colorazione a falsi colori (*false color*), essa consente di evidenziare le aree in cui è presente vegetazione. Con essa si va a sfruttare l’assorbimento della vegetazione nella lunghezza d’onda dell’infrarosso vicino (NIR) ed enfatizzarlo nella colorazione. Per compiere tale azione bisogna cambiare l’ordine e la tipologia di banda da assegnare ad ogni canale: nel canale del blu verrà inserita la banda del verde (ossia la seconda nell’ordine del Landsat), nel canale del verde quella del rosso e in quella del rosso quella dell’infrarosso (banda nella posizione 4 dello *stack bands* ossia banda 5 della risoluzione spettrale del satellite).



Schermata 10- Informazioni riguardanti l’inserimento delle bande nei rispettivi canali per ottenere una colorazione a falsi colori

Questa composizione di colori ci consente di capire che la maggior parte del territorio preso in esame è occupata da vegetazione e in secondo luogo da neve (in Schermata 10 di colore bianco/azzurro).

Successivamente a queste prime elaborazioni estetiche, è necessario inoltrarsi nelle elaborazioni riguardanti l'energia elettromagnetica registrata. Per tali operazioni è necessario il raster denominato “\_pixel\_qa\_”.

Tale raster viene già espresso secondo il livello di correzione L2 il quale è stato creato partendo da una banda di valutazione della qualità di livello 1 (L1), prestando particolare attenzione per i disturbi derivanti dalla copertura nuvolosa, dall'ombreggiatura causata dalle nuvole e infine da neve/ghiaccio. A questi valori di pixel è stato applicato l'algoritmo CFMask. Esso è l'algoritmo alla base delle bande bqa e pixel\_qa, ed è stato originariamente sviluppato presso la Boston University in un ambiente Matrix Laboratory (MATLAB) per automatizzare la copertura nuvolosa (Cloud), l'ombra delle nuvole e il mascheramento della neve per le immagini Landsat TM ed ETM +.

La funzione MATLAB di Mask (Fmask) è stata successivamente tradotta in codice C open source presso l'USGS EROS Center, dove è implementata come versione C di Fmask o CFMask (USGS 2019b).

Questa banda così composta offre la possibilità di creare un raster utilizzabile come maschera. Essa (*mask*), attraverso il Calcolator raster, consente di eliminare dall'immagine i valori di pixel che corrispondono ad interferenze quali: nuvole, ombra generata dalle nuvole ghiaccio e neve.

In Tabella 10 sono elencati i valori che hanno i pixel associati ad un determinato attributo o, nel nostro caso, fattore di disturbo.

*Tabella 12- Valori dei pixel corrispondenti alla banda pixel\_qa con relativi attributi (Fonte: Landsat 8 surface reflectance code (lasrc) product guide, USGS May 2019)*

Attribute	Pixel Value
Fill	1
Clear	322, 386, 834, 898, 1346
Water	324, 388, 836, 900, 1348
Cloud shadow	328, 392, 840, 904, 1350
Snow/ice	336, 368, 400, 432, 848, 880, 912, 944, 1352
Cloud	352, 368, 416, 432, 480, 864, 880, 928, 944, 992
Low confidence cloud	322, 324, 328, 336, 352, 368, 834, 836, 840, 848, 864, 880
Medium confidence cloud	386, 388, 392, 400, 416, 432, 898, 900, 904, 928, 944
High confidence cloud	480, 992
Low confidence cirrus	322, 324, 328, 336, 352, 368, 386, 388, 392, 400, 416, 432, 480
High confidence cirrus	834, 836, 840, 848, 864, 880, 898, 900, 904, 912, 928, 944, 992
Terrain occlusion	1346, 1348, 1350, 1352

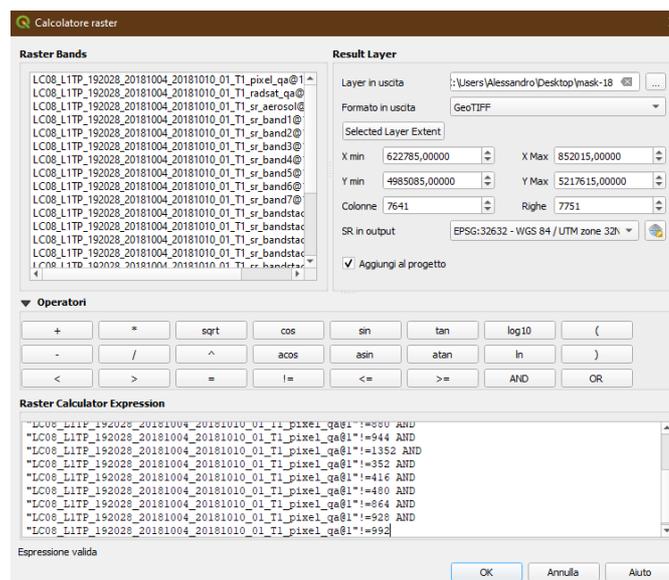
A tale proposito quindi, è obbligatorio creare la maschera partendo dalla banda pixel\_qa. Innanzitutto bisogna caricare la banda pixel\_qa, una volta fatto è necessario andare sul

Calcolatore Raster e inserire la regola che permetta di visualizzare un nuovo raster senza tutti i valori che vogliamo escludere.

La regola è la seguente:

```
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=336 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=368 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=400 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=432 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=848 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=880 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=944 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=1352 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=352 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=416 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=480 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=864 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=928 AND  
"LC08_L1TP_192028_20181004_20181010_01_T1_pixel_qa@1"!=992
```

La quale letteralmente viene letta: escludi (diverso da...) il valore 336 del raster pixel\_qa AND...

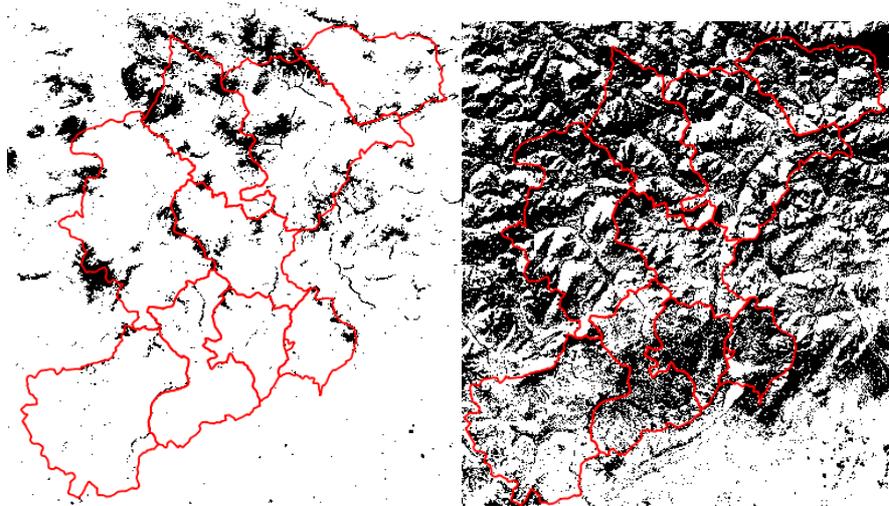


Schermata 11- Calcolatore raster per la creazione della maschera.

La regola viene scritta nel riquadro inferiore, e successivamente è necessario inserire il percorso in cui salvare il file e il suo nome, infine premere “Ok”.

Quando il programma avrà finito di calcolare, apparirà un nuovo raster. Da notare che anche in questo caso non è stata usata l'estensione della provincia di Belluno ma l'estensione dell'intero raster siccome, ritagliando il pixel\_qa, i valori risulterebbero fuorvianti e non rispecchiavano la situazione.

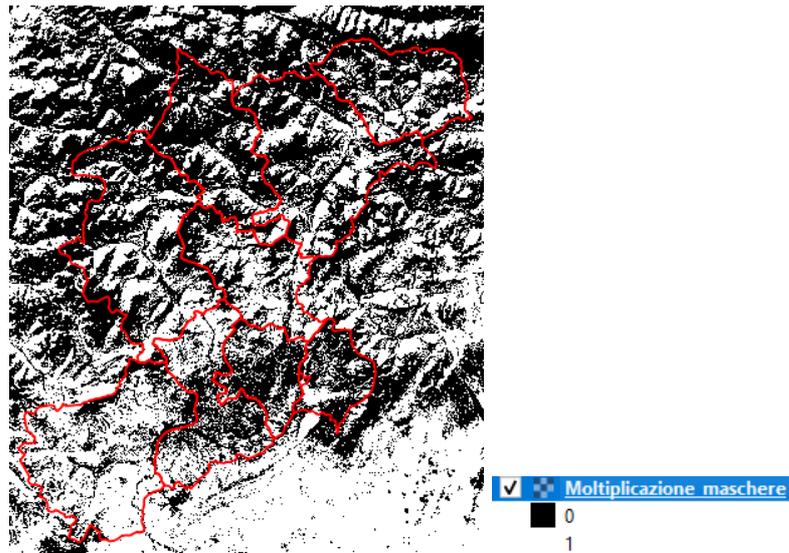
Una volta ottenuta la maschera per il 2018 si procederà, a creare la maschera anche per i dati del 2019. Nella schermata 12 sono presentate le due maschere con i limiti amministrativi della Provincia di Belluno, come si può chiaramente percepire, la maschera del 2019 (a destra) ha una componente di colorazione nera molto evidente, rispetto a quella del 2018, al punto tale che i confini siano di difficile identificazione. Ogni pixel di colore nero raffigura un punto in cui sono presenti nuvole o, neve/ghiaccio o, ombreggiatura da nuvola, quindi è spontaneo affermare che le immagini post evento siano molto disturbate e che, senza questa pre-elaborazione dell'immagine, i valori che si sarebbero ottenuti non sarebbero stati coerenti con la situazione reale.



*Schermata 12- Confronto tra maschere di correzione pre e post, rispettivamente a sinistra e destra*

Una volta ottenute le due maschere le si dovranno moltiplicare tra loro in modo tale da creare un raster con valori 0/1 che contenga tutti i dati delle due maschere. Per ottenere questo dato si dovrà sempre fare uso del Calcolatore raster e selezionare le due maschere e moltiplicarle tra loro.

Moltiplicando tra loro le maschere i pixel di valore 0 che vengono moltiplicati per i pixel con valore 1 daranno luogo a un pixel di valore zero (colore nero) che comporrà il raster finale.



*Schermata 13- Raster risultante dal prodotto delle due maschere*

Il raster in Schermata 13 è il prodotto ottenuto dalla moltiplicazione. Esso è molto simile alla situazione del 2019 da cui ne derivano maggior parte degli errori, ma alcune zone che prima avevano un colore nero adesso hanno assunto una colorazione bianca, simbolo di correttezza.

Una volta ottenuto questo raster bisogna spostarsi verso la formazione di un altro raster, ovvero quello contenente le informazioni dell'NDVI.

Come espresso nel sotto-paragrafo 2.2.1 “Indici ambientali legati allo stato vegetazionale”, l'indice NDVI esprime la quantità di vegetazione in base al suo stato vegetazionale; quindi, andando a creare una differenza di NDVI ( $\Delta$ NDVI) si potranno visualizzare le zone in cui c'è stato un abbassamento della quantità emissione dell'infrarosso che corrisponde, con le relative approssimazioni e correzioni, ad una diminuzione della copertura vegetazionale/forestale.

Operativamente bisogna innanzitutto aprire il Calcolatore raster e nel box di inserimento inferiore bisognerà andare ad inserire la regola per ottenere l'NDVI. Essa è data dal rapporto tra la sottrazione del valore della banda dell'infrarosso vicino e quella del rosso, e la somma tra le due bande (Vedi Capitolo 2).

Ogni satellite ha delle bande prestabilite che contengono questi valori di radiazione elettromagnetica, nel caso del Landsat 8 le bande sono le seguenti: la banda5 corrisponde all'infrarosso vicino (NIR) e la banda4 al rosso (RED).

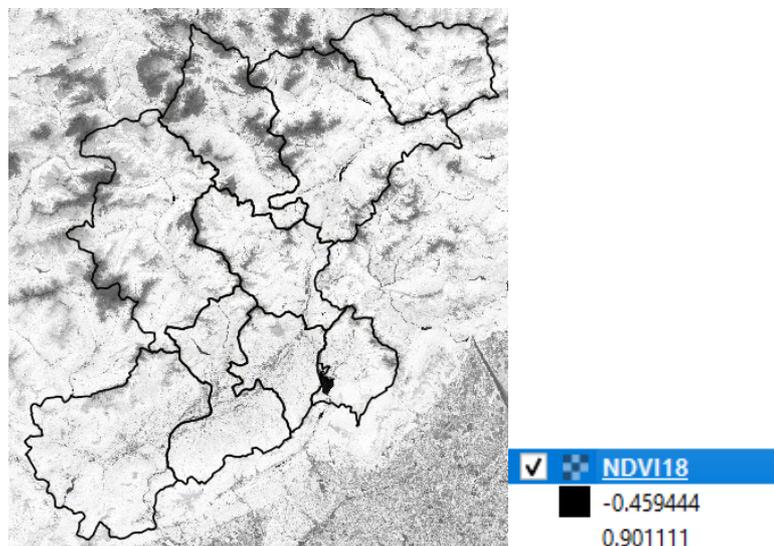
Quindi la formula si compone in tal modo:

$$NDVI = \frac{(Banda5 - Banda4)}{(Banda5 + Banda4)}$$



Schermata 14- Calcolatore raster con formula NDVI adatta per il satellite Landsat 8

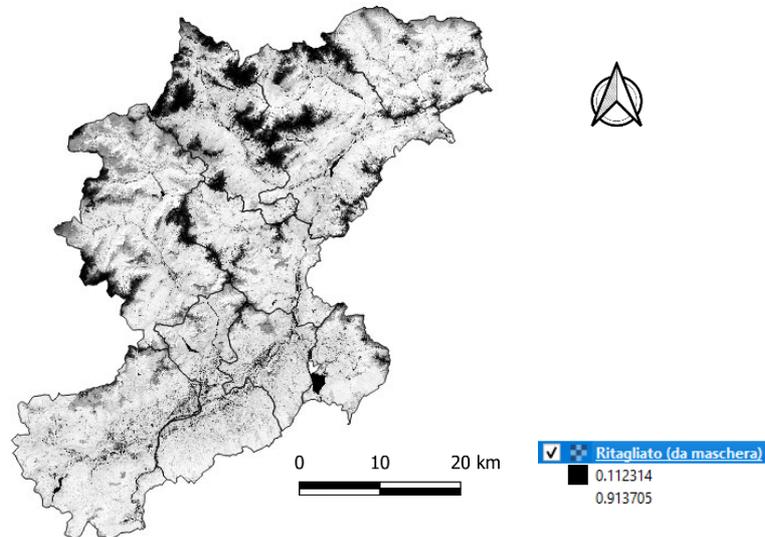
Nella schermata successiva è raffigurato il raster NDVI con la colorazione a scala di grigi. Dalla legenda si nota come il valore massimo è molto alto (da ricordare che il limite superiore del valore dell'NDVI è 1), e il valore minimo è mediamente basso. Il che sta a significare una situazione vegetazionale generale molto produttiva e ricca di copertura.



Schermata 15- NDVI 2018 con colorazione a scala di grigi e annessa legenda

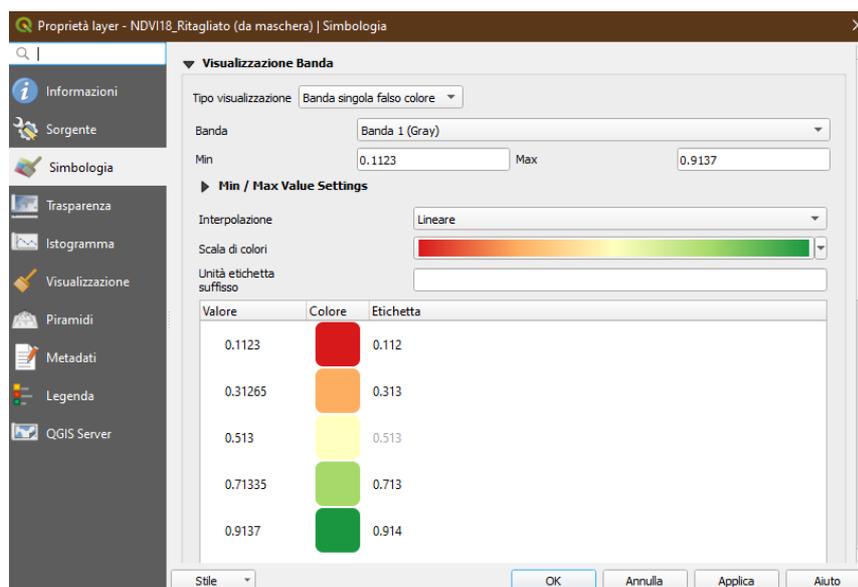
In precedenza è stato detto che ritagliare le bande seguendo i “Limiti amministrativi della Provincia di Belluno” causa degli errori nei dati, nel caso del raster NDVI, siccome è un unico raster (come lo *stack bands*), è possibile utilizzare lo strumento di estrazione di QGIS. Quindi è necessario andare sulla voce: “Raster→ Estrazione→ Ritaglia il raster con maschera” e utilizzare i confini della Provincia come maschera.

Le prossime schermate avranno già applicato questo ritaglio ma le operazioni di calcolo, per questioni di correttezza e uniformità, verranno sempre fatte mantenendo l'estensione originale del raster.

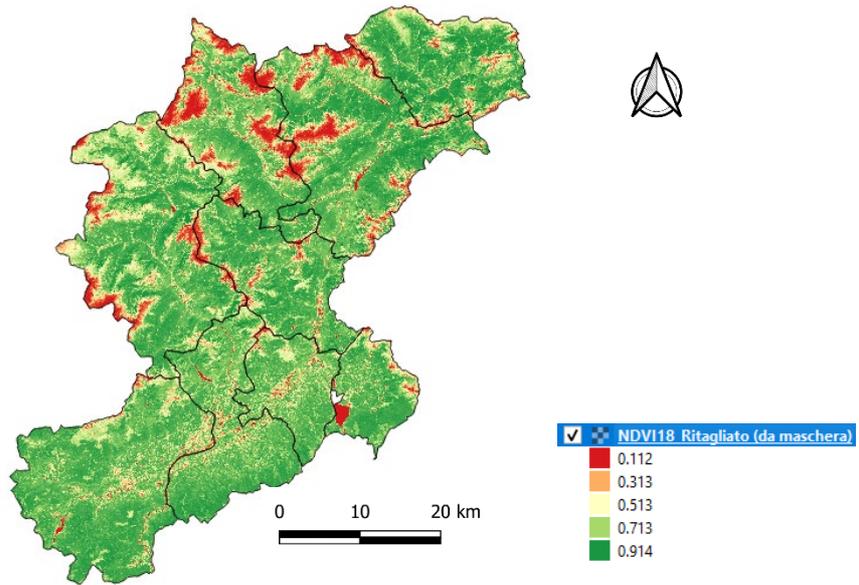


Da notare che i valori in legenda sono cambiati perché non sono più presenti i dati all'esterno dei confini ma solamente quelli all'interno.

Per apprezzare al meglio quest'informazione è utile andare ad applicare la colorazione "Banda singola a falso colore". Facendo un doppio click sul nome del si aprirà una finestra che raccoglie tutte le caratteristiche del raster, alla voce "Simbologia → Tipo di visualizzazione" selezionare "Banda singola falso colore".

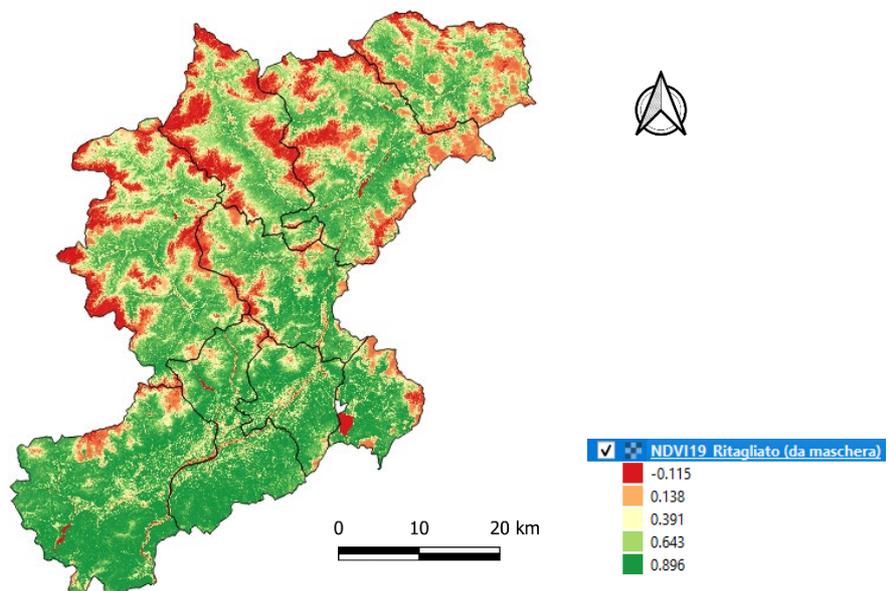


Schermata 16- Finestra di QGIS per la modifica della colorazione in "Banda singola falso colore".



*Schermata 17- NDVI 2018 con colorazione "Banda singola falso colore" e annessa legenda*

Lo stesso identico procedimento viene fatto per la situazione post evento. Per questione di ripetitività non verrà spiegato di nuovo il procedimento ma verrà direttamente mostrato il risultato dell'NDVI del 2019.



*Schermata 18- NDVI 2019 con colorazione "Banda singola falso colore" e annessa legenda*

I valori dell'NDVI nel post evento rientrano nell'intervallo regolare dell'indice e sono anche abbastanza simili al pre evento.

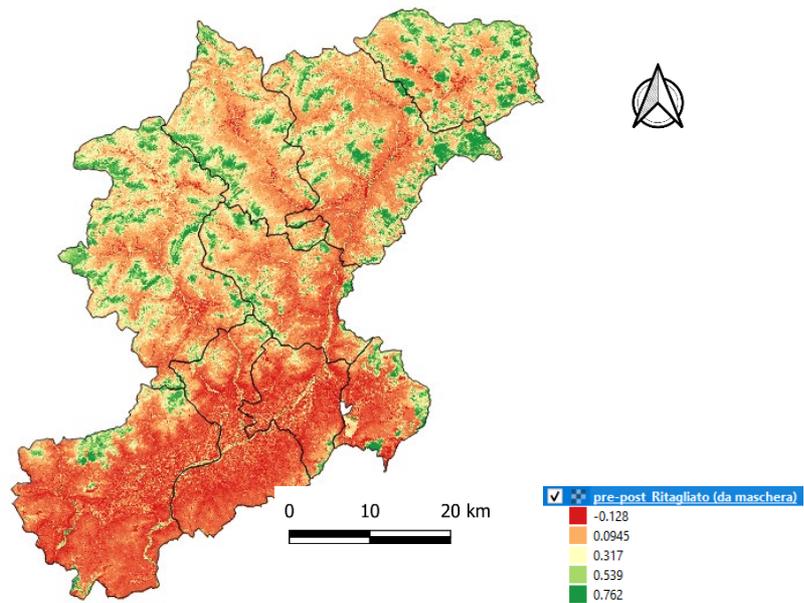
Salta però subito all'occhio l'enorme quantità di colorazione rossa all'interno della mappatura, soprattutto nelle zone più a nord le quali sono caratterizzate dai rilievi montuosi più alti. Tale fatto è dovuto a zone in cui non si ha avuto una registrazione di energia elettromagnetica corrispondente a vegetazione sana (schianti da vento o zone in deperimento) oppure zone in cui non è presente vegetazione, come ad esempio rocce o specchi d'acqua. Tale colorazione, è stata quindi principalmente causata dai disturbi che affliggono l'immagine iniziale (soprattutto neve e nuvole) e per questo non è possibile, solamente con il confronto tra le due mappe, la visualizzazione delle aree in cui sono avvenuti degli schianti da vento.

Da notare inoltre che nella situazione post evento, la colorazione verde è tendenzialmente meno accesa e più tenue, dovuto appunto alla minore quantità di vegetazione sana e al diverso periodo vegetativo in cui si trovavano le specie forestali.

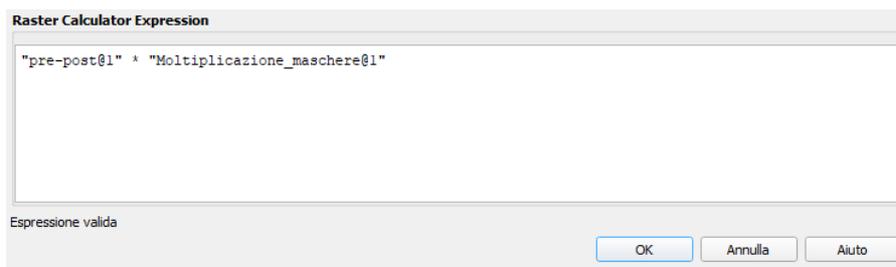
Confrontando le due mappe dell'NDVI non è possibile definire le aree schiantate con una sola osservazione visiva e comparativa ad occhio nudo, ma è necessario creare un nuovo raster. Esso consiste in un'analisi multi temporale e sarà formato dalla differenza dei due raster contenenti i valori dell'indice vegetazionale, seguendo l'ordine del "prima meno il dopo" (Schermata 18). Questa semplice operazione è fattibile grazie al già conosciuto Calcolatore raster.

Nel raster della differenza è stata applicata una colorazione uguale a quella degli NDVI, solamente che in questo caso la colorazione rossa indica una minore differenza di NDVI e quindi una maggiore uguaglianza tra i due raster oggetto della sottrazione. Questo significa che, nelle zone caratterizzate da una colorazione rossa, non c'è stata una grande variazione tra la situazione prima e dopo evento di disturbo. Viceversa, nelle zone verdi, la differenza è più marcata e quindi c'è stato un maggior cambiamento dello stato vegetazionale. In questo passaggio è stato scelto di invertire i colori dato che, se si fossero lasciati i colori non invertiti, l'immagine sarebbe risultata molto confusionaria e non si sarebbe potuto apprezzare i dettagli.

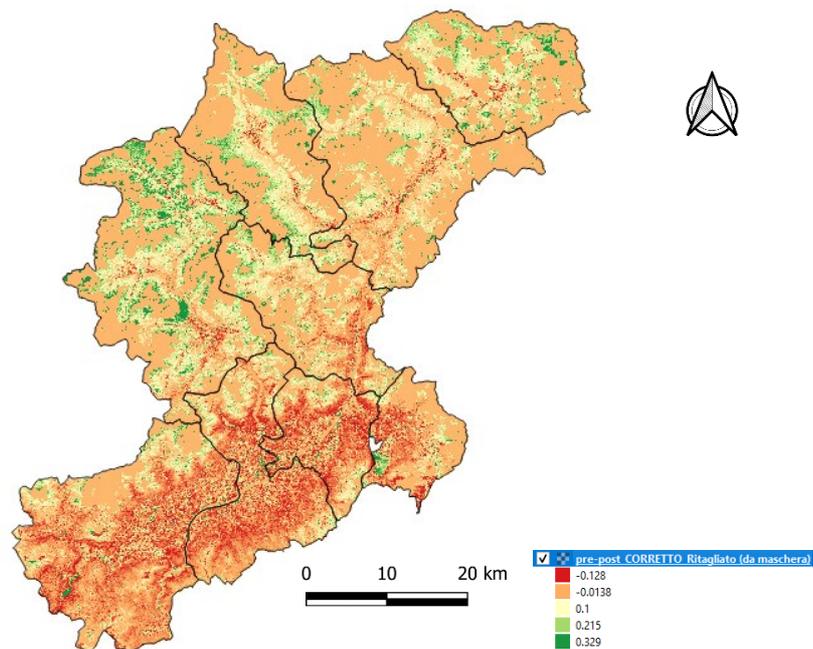
Purtroppo fermarsi a questo elaborato sarebbe un grave errore dal momento che non è stata applicata la maschera che è stata creata precedentemente e che serve proprio ad eliminare i principali fattori di disturbo. Per fare questa correzione si utilizzerà sempre il calcolatore raster e si andrà ad inserire la regola che permette la moltiplicazione tra il  $\Delta$ NDVI (pre-post) e il già eseguito prodotto tra le due maschere (Schermata 20).



Schermata 19- Raster contenente le informazioni dell'analisi multi temporale

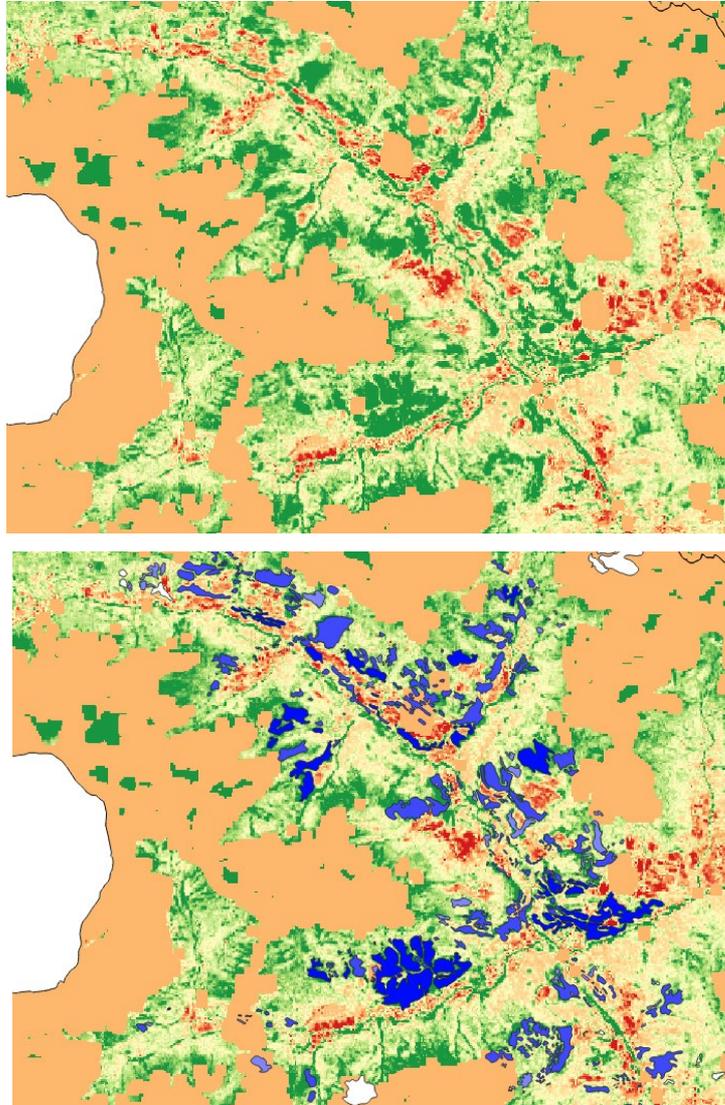


Schermata 20- Calcolatore raster con la regola per la correzione del  $\Delta NDVI$



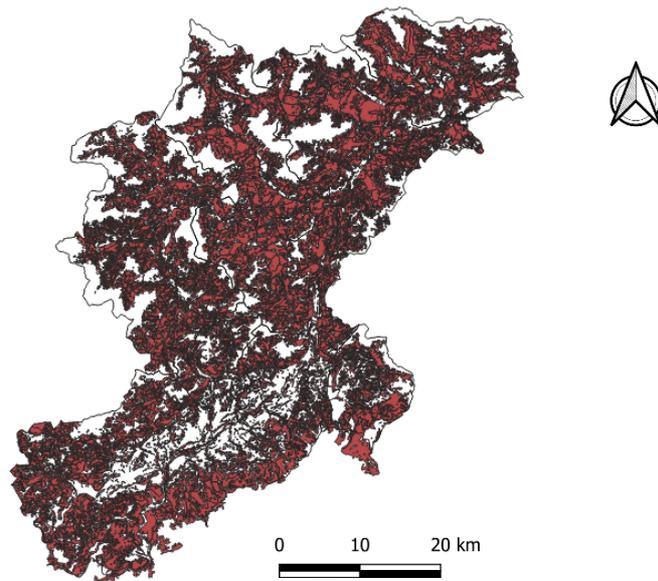
*Schermata 21-Raster ottenuto dalla moltiplicazione tra il  $\Delta$ NDVI e il raster contenente l'unione delle due maschere.*

Ingrandendo il raster è possibile apprezzare come, confrontandolo con le zone mappate dall'AVEPA, esso rappresenti un'informazione molto simile a quella di controllo.



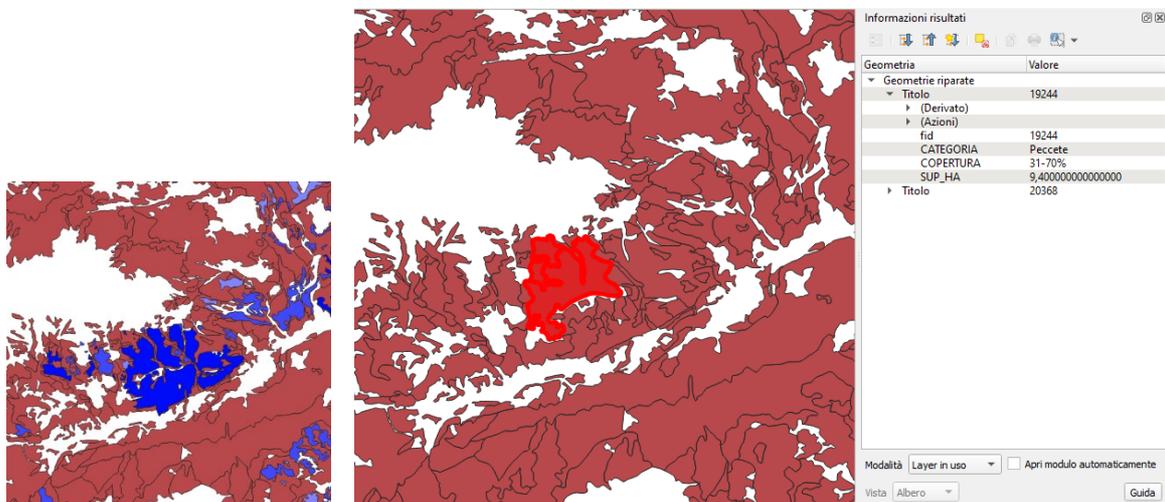
*Schermata 22- In alto è presente un dettaglio del raster corretto finale (colorazione verde si riferisce ad una maggiore differenza di NDVI). In basso invece è presente una sovrapposizione tra il raster corretto e la mappatura dell'AVEPA*

Per scendere maggiormente nel dettaglio è necessario fare altre operazioni in modo tale da poter enfatizzare, prima le aree forestali, e dopo le aree affette da schianto da vento. Come prima cosa è indispensabile scaricare dal Geoportale della Regione Veneto la carta delle Categorie Forestali, in tal modo è possibile definire non solo le tipologie forestali che erano presenti nelle zone schiantate, ma anche ritagliare l'elaborato seguendo solamente i limiti dei boschi. Così il risultato finale farà trasparire solamente le informazioni che sono relative al comparto forestale, eliminando tutti gli altri dati, i quali possono essere forvianti.



Schermata 23- Carta delle categorie forestali della Provincia di Belluno

In Schermata 23 è stato caricato lo shapefile con i poligoni delle Categorie Forestali della Provincia di Belluno. Sovrapponendo la mappatura degli schianti AVEPA con questo shapefile è possibile indentificare in tutte le zone quale tipologia forestale era presente.

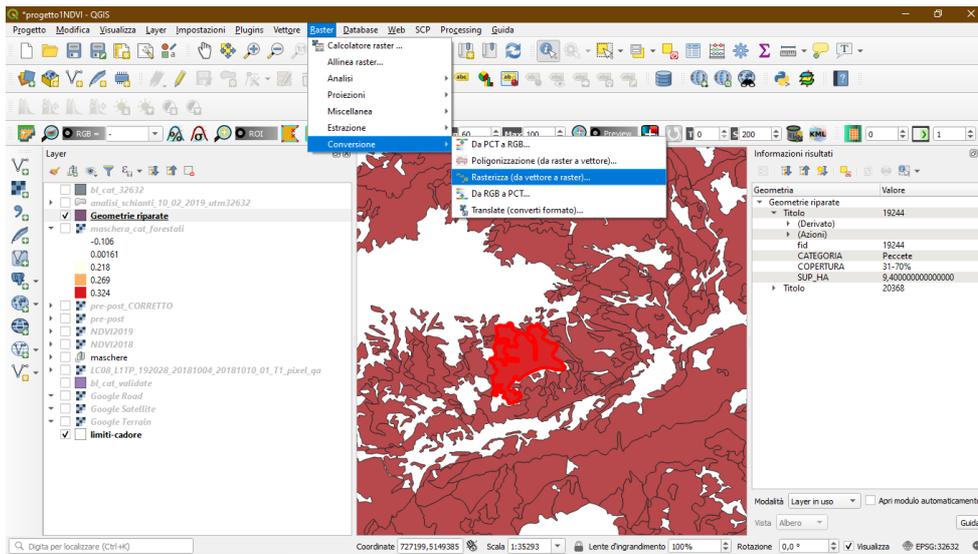


Schermata 24- A sinistra la sovrapposizione tra la mappatura AVEPA e le categorie forestali. A destra l'interrogazione dell'immagine

Il software QGIS permette di interrogare i prodotti caricati in modo tale da capire, in qualunque punto, quali valori vengono rappresentati e, nel nostro caso, interrogando lo shapefile delle categorie forestali nelle zone di sovrapposizione, possiamo capire quali tipologie forestali hanno subito schianto.

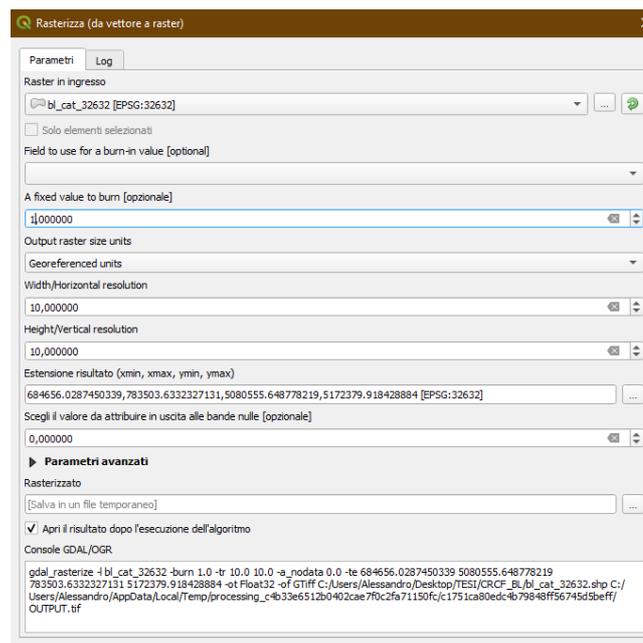
Ad esempio, in Schermata 24, l'area colpita dal vento era popolata da una Pecceta; oltre a questa informazione sono contenute le informazioni di percentuale di copertura e la superficie dell'area (colorata in rosso al centro della schermata).

Ora che è stato spiegato il significato di questo dato, per poterlo utilizzare nelle nostre operazioni e necessario convertirlo in un raster. Questa semplice operazione viene eseguite andato sulla voce “Raster- Conversione- Rasterizza”

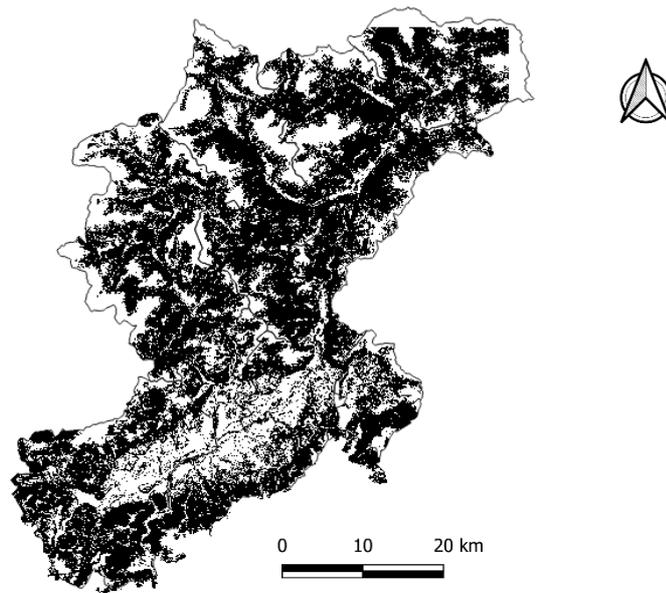


Schermata 25- Percorso per la rasterizzazione

Successivamente vengono inseriti tutti i dati nella schermata di rasterizzazione (Schermata 26)



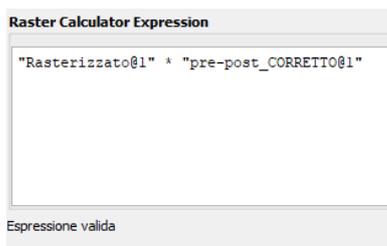
Schermata 26- Schermata di rasterizzazione



*Schermata 27- Rasterizzato derivante dallo shapefile delle categorie forestali*

Questo prodotto viene utilizzato come maschera da applicare alla differenza di NDVI in modo tale da poter visualizzare solamente i dati di  $\Delta$ NDVI appartenenti alla copertura forestale bellunese.

L'applicazione della maschera avviene, come nei casi precedenti, attraverso una moltiplicazione all'interno del calcolatore raster.



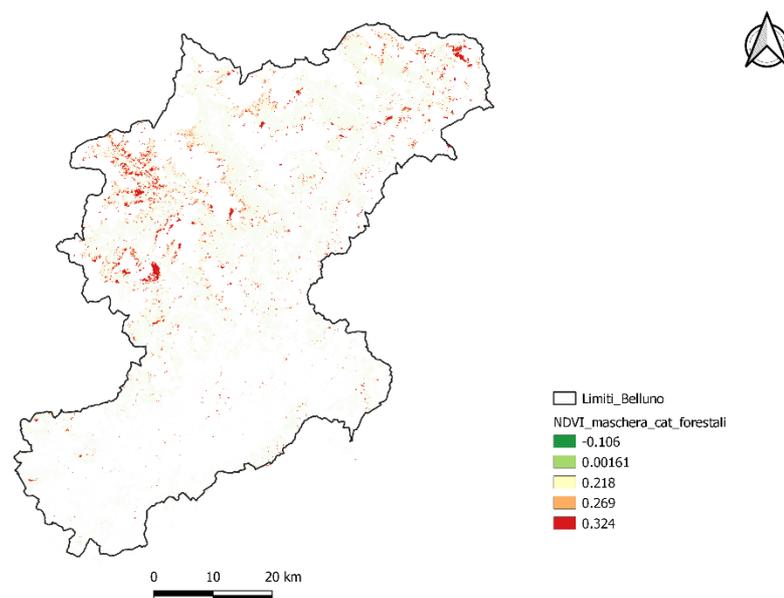
*Schermata 28- Calcolatore raster per la creazione del prodotto mascherato con le categorie forestali*

Arrivati a questo punto l'elaborazione delle immagini può dirsi conclusa anche se, per porre maggior chiarezza alla foto, è possibile eseguire delle ultime modifiche estetiche, ossia inserire una "Trasparenza" e regolare la gradazione del colore.

Il comando "Trasparenza" è ottenibile facendo un doppio click sul nome del raster e seguendo la voce ad elenco, è possibile nascondere i pixel con valori uguali a zero.

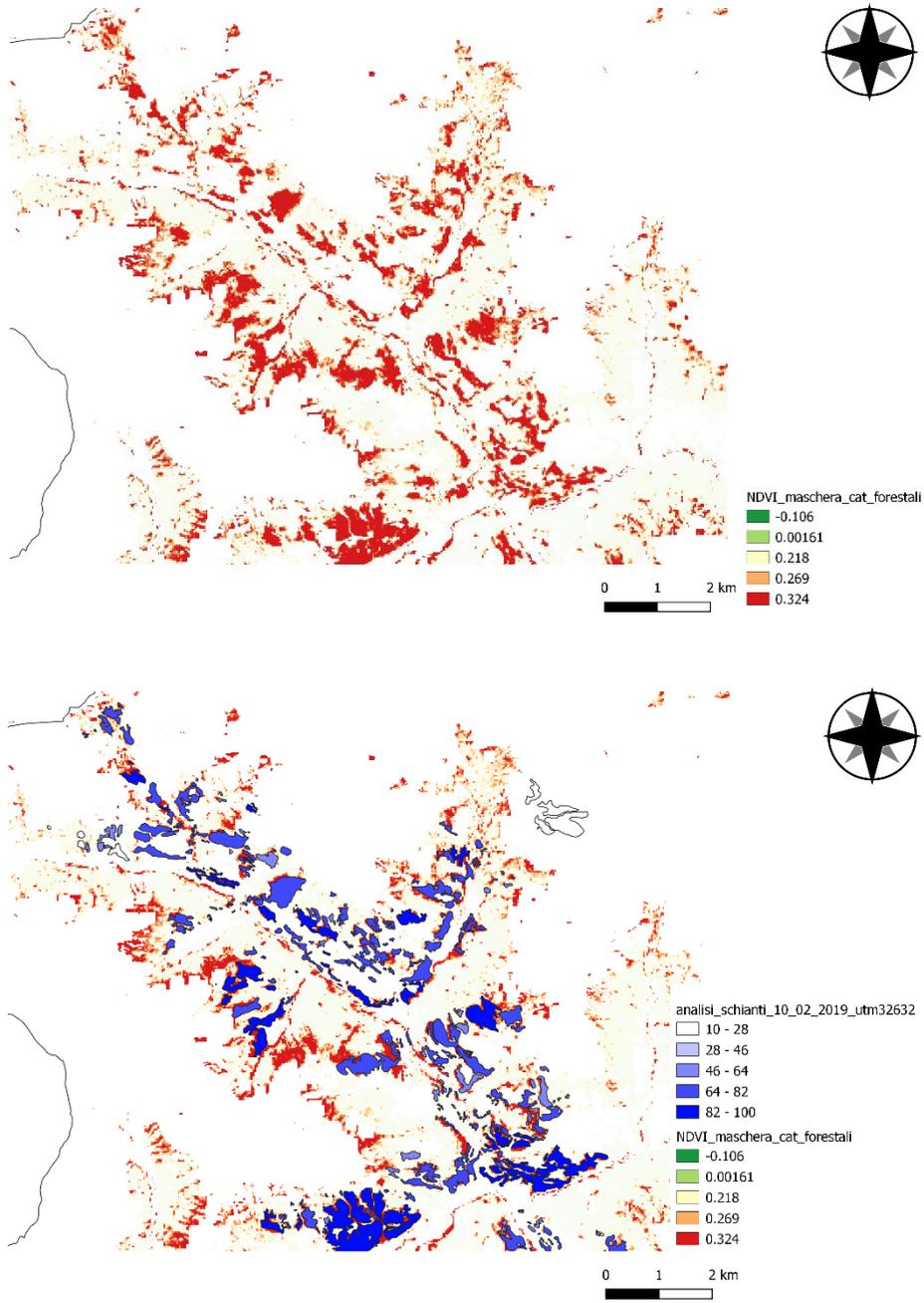
Questo procedimento consente di “pulire” ulteriormente l’immagine infatti, siccome è un raster ottenuto da una differenza, i valori nulli corrispondono ad una uguaglianza della situazione pre-evento con quella post-evento e quindi, eliminandoli, si andranno a togliere tutti i fattori di disturbo visivo che possono dare fastidio all’operatore durante la fotointerpretazione.

Per quanto riguarda la scala di colori è necessario fare sempre un doppio click sul raster e poi seguire: “Simbologia- Banda singola falso colore”, all’interno di questo spazio si va a scegliere la scala di colori, che nel nostro caso corrisponde a quella utilizzata fino ad ora (RdYIGn) solamente che in questo caso i colori sono stati ulteriormente invertiti. Quindi, i valori con una colorazione rossa corrispondono a valori in cui la differenza è maggiore e quindi dove sono avvenuti presumibilmente gli schianti da vento. Dopodiché sono stati resi quasi trasparenti i valori negativi (colorazione verde) in cui la differenza era minima, in modo tale da evidenziare solo le zone con un  $\Delta$ NDVI maggiore.

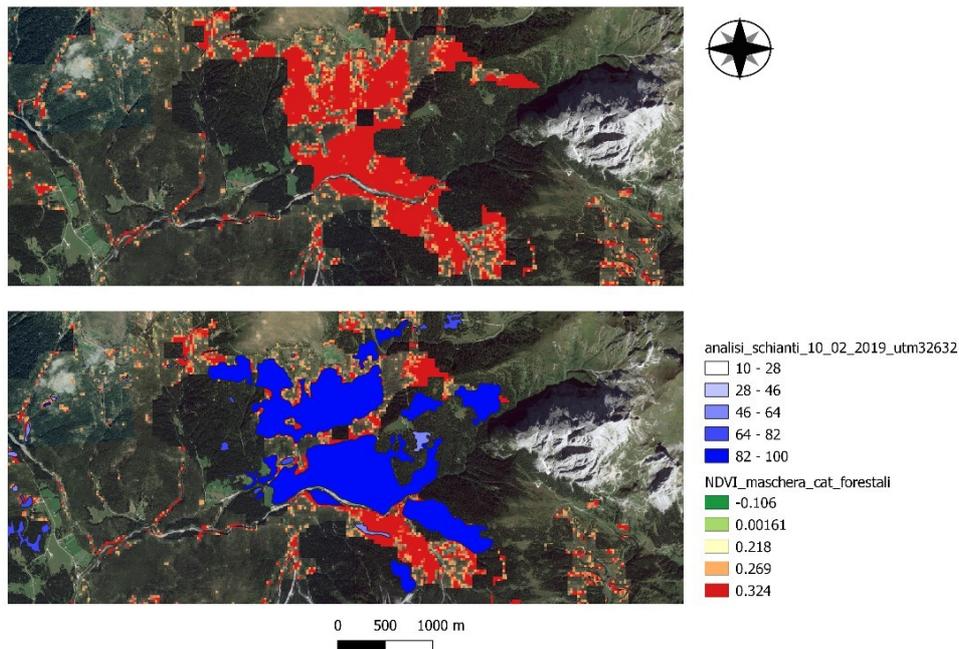
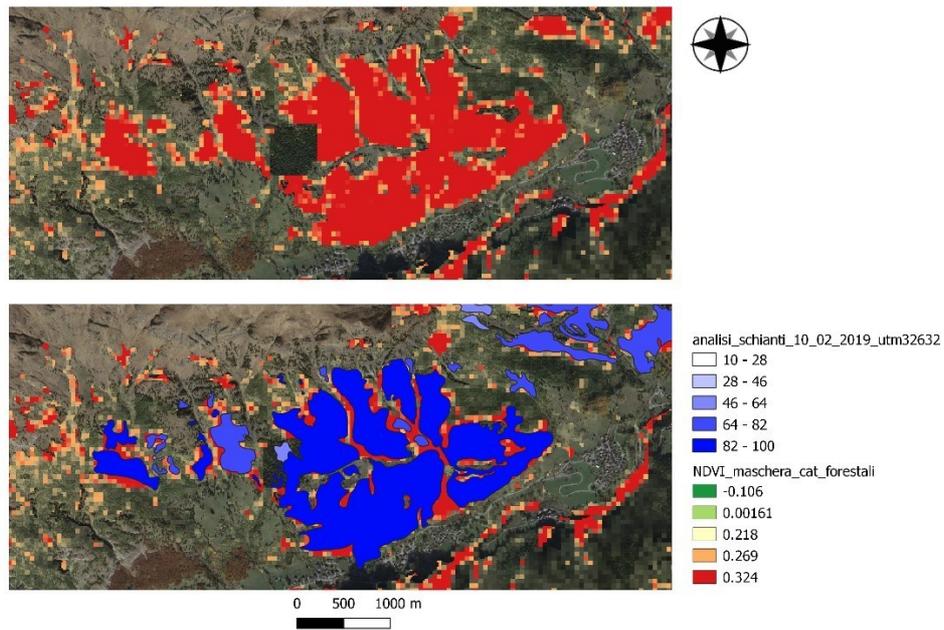


*Schermata 29- ΔNDVI finale*

### 6.1.3 Discussione dei risultati LANDSAT 8



Schermata 30- Confronto finale tra i dati elaborati e la mappatura degli schianti dell'AVEPA



*Schermata 31- Zoom in due zone degli schianti in cui è possibile apprezzare al meglio il confronto.*

Analizzando quest'ultimo file, è possibile notare come le zone del raster caratterizzate da una colorazione rossa intensa coincidano quasi tutte perfettamente con le geometrie dello shapefile AVEPA. Ovviamente non si ha lo stesso grado di precisione ma le immagini Landsat, con queste elaborazioni, offrono una buona base per una prima mappatura del fenomeno e soprattutto, offrono un fondamentale strumento di supporto e di integrazione

alle operazioni. Infatti, nel raster in cui è presente il controllo, è possibile osservare che non tutte le aree rosse sono state coperte dallo shapefile AVEPA, molto probabilmente perché sono delle aree in cui sussistono degli errori che, attraverso le correzioni precedentemente eseguite, non sono stati considerati e trattati. Infatti sono principalmente aree limitrofe al confine dell'attuata correzione e quindi possono comprendere degli errori. Inoltre ci troviamo in zone alpine in cui l'esposizione e l'irraggiamento solare possono giocare un importante ruolo nell'analisi delle immagini satellitare ottenute da sensori ottici passivi (escludendo le già citate nuvole e la neve).

Un'altra ipotesi è che possono essere delle aree in cui il volo radar dell'Agenzia Veneta per i Pagamenti in Agricoltura, non è riuscito a catturare esaustivamente le caratteristiche spettrali. A completamento di questa supposizione è necessario fare un sopralluogo nelle aree di colorazione rosso che non corrispondono al file di controllo e, attraverso un localizzatore GPS, definire la posizione sulla mappa e controllare la posizione attraverso QGIS; dopodiché è necessario integrare il tutto con delle foto per provare che quelle aree hanno effettivamente subito alterazioni nel post-evento.

Infine è importante sottolineare che le immagini Landsat sono completamente gratuite e semplici da ottenere rispetto a quelle dell'AVEPA.

## 6.2 Elaborazione immagini Sentinel-3

Prima di iniziare con la spiegazione delle elaborazioni, è utile fare un piccolo excursus per definire le principali differenze presenti tra i prodotti dei due satelliti, soggetti di questa tesi. La prima differenza è la risoluzione spaziale infatti, il Landsat 8, ha una risoluzione di 30 metri, ciò significa che l'immagine è composta da pixel di 30m x 30m; il Sentinel-3, nelle osservazioni della terraferma e nella categoria di immagini in *Full Resolution*, ha una risoluzione spaziale dieci volte superiore ovvero di 300 metri (pixel 300m x 300m). Questo comporta una diminuzione della scala di dettaglio del Sentinel-3 rispetto al Landsat 8. La seconda differenza è nella risoluzione temporale infatti, il satellite progettato dall'ESA, ha una risoluzione temporale minore rispetto a quello americano, questo fa sì che possa orbitare sopra lo stesso elemento per un maggior numero di volte mantenendo un arco temporale fisso. Teoricamente questa caratteristica permette di avere un pool maggiore di immagini afferite allo stesso arco temporale, evitando (a volte) le situazioni in cui la copertura nuvolosa non permette la visualizzazione della superficie terrestre.

La terza ed ultima macro differenza tra i due satelliti è la tecnologia ed i componenti all'interno del sensore ottico che inevitabilmente producono immagini diverse in termini di qualità, basti pensare che il Landsat 8 ha una risoluzione spettrale (quantità di bande) limitata rispetto al Sentinel-3. Quest'ultimo ha a disposizione ben 21 bande in cui viene registrata la radiazione in entrata, il Landsat 8 ne ha "solo" 11. Quindi il Sentinel-3 ha una maggiore scomposizione delle varie lunghezze d'onda che compongono il VIS e il NIR, da cui ne deriva una maggiore potenzialità di dettaglio in termini di firma spettrale.

Con questa veloce carrellata delle principali differenze, è possibile capire come siano due satelliti abbastanza diversi ma nonostante ciò vengano utilizzati entrambi in campo ambientale, ognuno con le sue applicazioni ed obiettivi specifici.

Infine, rispetto alle elaborazioni elencate nel Capitolo precedente, è cambiato anche il software per le lavorazioni delle immagini, infatti, come espresso nel Paragrafo 4.2, l'ESA ha creato un Software gratuito Open source chiamato SNAP Toolbox in cui vengono racchiusi tutti gli strumenti che permettono le elaborazioni di tutti i satelliti della famiglia Sentinel.

Data la sua specificità rispetto a QGIS, e alle innumerevoli funzioni di pre-processamento per i satelliti della rete *Copernicus*, si è optato per l'uso di tale software.

Ora si procederà, in egual modo rispetto al Capitolo precedente, a spiegare i vari passaggi con cui si è arrivati al risultato finale, utilizzando un format *tutorial style*.

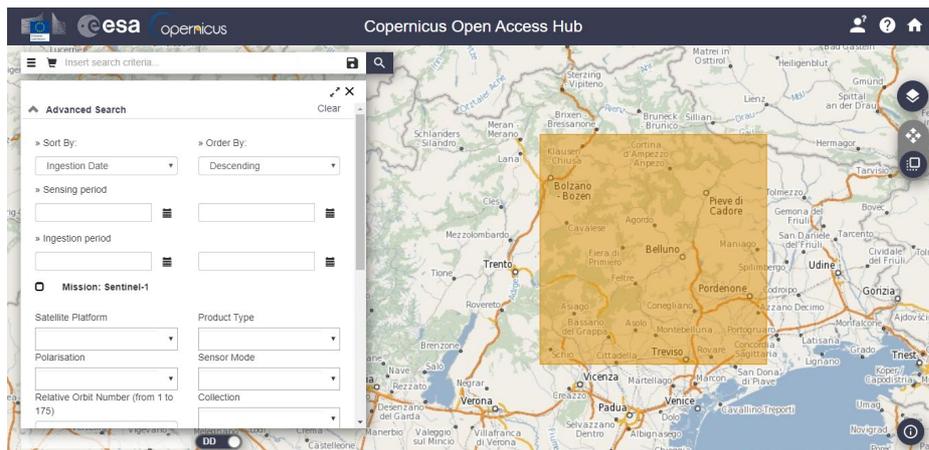
### 6.2.1 Download delle immagini satellitari

Per poter scaricare le immagini del Sentinel-3 è necessario andare alla pagina Internet dell'ESA nella sezione OpenHub raffigurata in Schermata 31 (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).



Schermata 32- Vista principale del sito Copernicus Open Access Hub dell'ESA (Fonte: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)

In questa schermata bisogna innanzitutto eseguire il login in alto a destra (cerchio rosso). Una volta eseguito ci si può focalizzare sulle icone poste nel lato destro della schermata (quadrato rosso), il simbolo delle quattro frecce consente di spostarsi nella mappa in modo tale da potersi localizzare nella regione in cui si stanno ricercando le immagini, il simbolo sottostante invece, permette la creazione di un settore di colore giallo il quale rappresenterà l'area specifica in cui il sito andranno a ricercare le immagini (Schermata 32).



Schermata 33- Selezione dell'area di interesse e relativa applicazione dei filtri di ricerca

Nella parte a sinistra della schermata, cliccando sul pulsante più a lato (tre linee orizzontali), si aprirà il pannello per l'inserimento dei filtri di ricerca. Come primo filtro si andrà ad inserire l'arco temporale in cui devono essere racchiusi i dati (*Sensing period*). Da notare bene che le immagini del Sentinel-3 vengono registrate ad un'altezza maggiore rispetto a quelle del Landsat 8 (data la maggiore risoluzione spaziale) e quindi si ha una maggiore estensione dell'immagine, da cui ne deriva un quasi obbligato processo di ritaglio successivo.

Come per il Landsat 8, e come con tutti i satelliti ottici per l'analisi della superficie terrestre, è necessario trovare delle immagini in cui la copertura nuvolosa sia bassa o addirittura assente. In questo caso le immagini relative al pre evento hanno una copertura nuvolosa molto bassa (10%) e sono datate 12 Ottobre 2018. Invece, per quanto riguarda il post, non sono state scaricate delle immagini corrispondenti all'immediato post evento, poiché nel mese di novembre e dicembre non sono presenti immagini con una scarsa copertura nuvolosa. In merito a questa affermazione è necessario puntualizzare che nella zona presa in esame, le particolarità geomorfologiche e la vicinanza a dei rilievi montuosi importanti (Dolomiti), fa sì che ci sia un ristagno ed un blocco del vapore acqueo che causa una quasi sempre costante copertura nuvolosa. Data questa fondamentale osservazione, si è optato nello scaricare un'immagine del post evento riferita alla situazione dopo circa un anno, precisamente il 13 settembre 2019, in cui le condizioni meteo erano di alta pressione e quindi c'era il manifestarsi di una bassa nuvolosità. In tal modo l'immagine risulta nitida facilitando l'identificazione delle aree con mancanza di vegetazione e di conseguenza permettono una migliore corrispondenza al reale dei risultati derivanti dagli indici ambientali.

Oltretutto, avendo scelto un'immagine dell'anno successivo, è possibile confrontare la situazione anche dal punto di vista del medesimo stato vegetativo delle specie forestali.

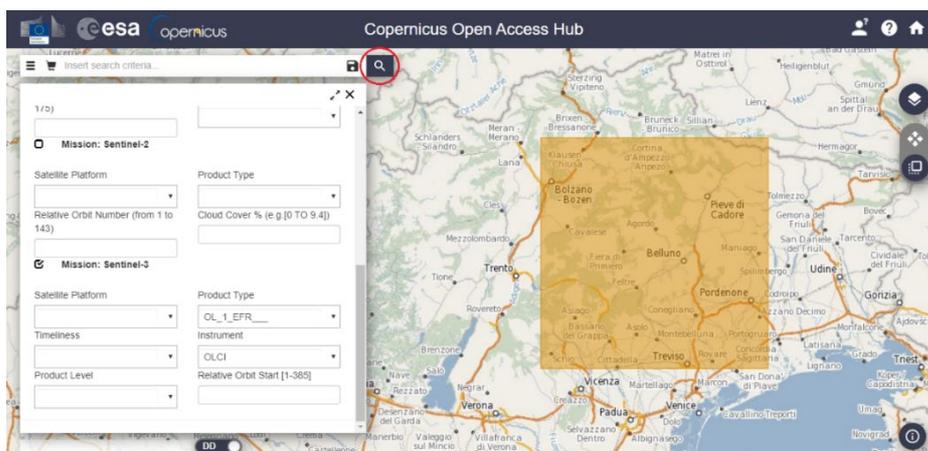
Dopo aver selezionato l'intervallo temporale, scorrendo la finestra verso il basso, è possibile selezionare la missione di cui si vogliono scaricare le immagini, si spunterà dunque la voce Sentinel-3. Successivamente si possono inserire degli ulteriori filtri per concentrare i dati che si ricercano; nel nostro caso è stato cercato il *Product Type* "OL\_1\_EFR\_\_" registrato dal sensore OLCI (Schermata 33). Gli altri campi possono essere lasciati liberi dato che per la suddetta ricerca non interessa la tipologia di *Satellite Platform* (S3A o S3B) e il *Product Level* (siccome è OL\_1\_ l'unico livello disponibile è il *Level 1*).

**Mission: Sentinel-3**

Satellite Platform	Product Type
<input type="text"/>	<input type="text" value="OL_1_EFR__"/>
Timeliness	Instrument
<input type="text"/>	<input type="text" value="OLCI"/>
Product Level	Relative Orbit Start [1-385]
<input type="text"/>	<input type="text"/>

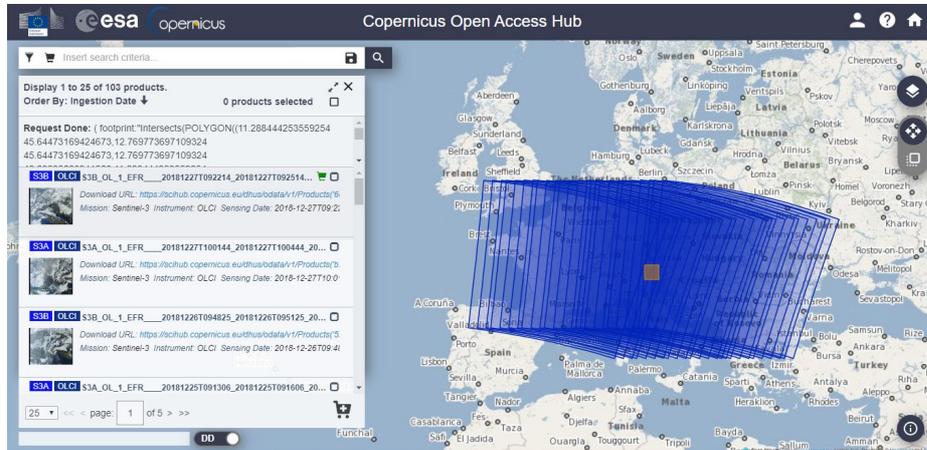
Schermata 34- Finestra dei filtri per i prodotti Sentinel 3

Una volta inseriti tutti i filtri basta cliccare sulla lente di ingrandimento (Schermata 35) per cercare i prodotti.



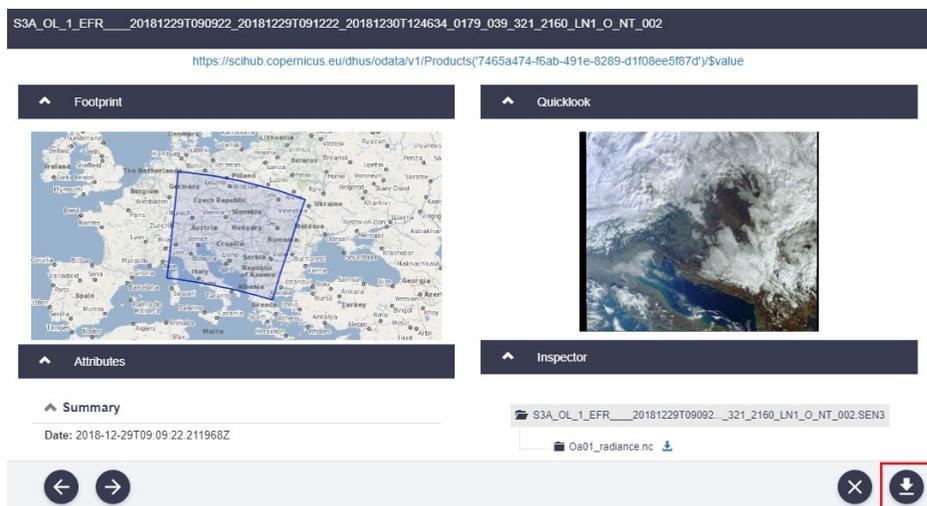
Schermata 35- Pagina principale dell'ESA con evidenziato il comando di ricerca

Dopo aver lanciato la ricerca ed aver aspettato alcuni secondi, appariranno tutte le immagini disponibili seguendo i filtri immessi (Schermata 36). Nel riquadro a sinistra si possono scorrere le varie immagini ordinate per periodo di acquisizione e, selezionandone una, verrà evidenziata con una colorazione più scura nella mappa di destra.



Schermata 36- Pagina principale dell'ESA con i risultati della ricerca effettuata tramite filtri

Nell'elenco delle immagini, cliccando sull'icona con l'occhio è possibile avere una preview dell'immagine e così facendo si può stabilire se l'area interessata sia più o meno coperta da nuvole (Schermata 37).



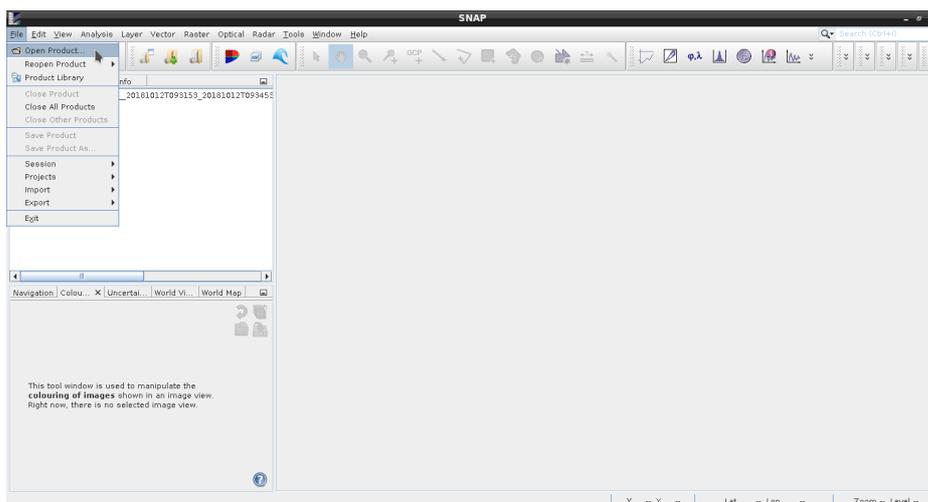
Schermata 37- Finestra in cui è rappresentata la preview di un'immagine satellitare

Se osservando la preview ci si accorge che l'immagine ha i requisiti previsti dall'analisi, basta semplicemente cliccare sul simbolo di download (freccia discendente) in basso a destra.

Una volta finito il download il pacchetto di immagini sarà sottoforma di zip file e, come nel caso di QGIS, per poterlo caricare in SNAP Toolbox è necessario prima estrarlo.

### 6.2.2 Procedimento operativo

Una volta che è stato estratto il pacchetto è possibile avviare SNAP e nella schermata principale andare su “*File-Open Product*”. A questo punto il software aprirà una pagina di navigazione all’interno delle risorse del computer ed una volta trovata la cartella con il file da caricare, è necessario aprirla e scorrere fino a trovare un file chiamato “*xfdumanifest.xml*” ed infine lanciare il comando “*Open*”. Tale file contiene tutti i Metadati che compongono l’immagine avendo così la potenzialità di trasportare, in un’unica operazione, tutti i dati all’interno di SNAP.



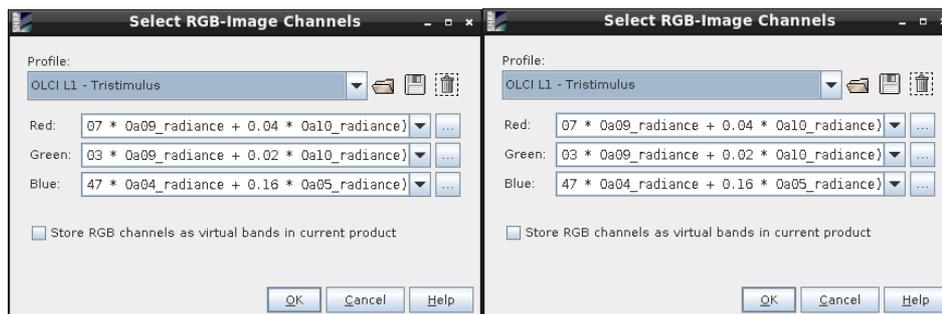
Schermata 38- Finestra principale di SNAP con il menu a tendina per aprire e visualizzare un nuovo prodotto.

Successivamente, nella colonna a sinistra denominata *Products Explorer*, apparirà il pacchetto selezionato, ma non verrà visualizzata nessuna immagine perché il software non conosce quali bande assegnare ai canali di colorazione RGB. Per questo motivo, cliccando con il tasto destro sopra il nome del file e cliccando la voce “*Open RGB Image Window*”, si aprirà una finestra di dialogo in cui è possibile scegliere quale banda assegnare ai canali per ottenere una colorazione che possa soddisfare le esigenze dell’operatore.

Nel caso studio è stata scelta una colorazione a colori naturali combinando i valori della banda 8 avente le informazioni della banda del Rosso all’interno dello spettro del visibile

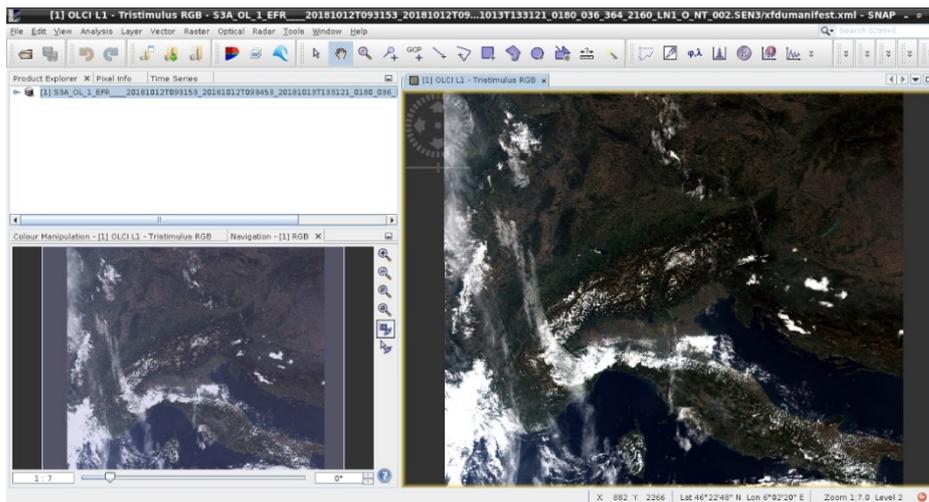
(canale rosso), i valori della banda 6 corrispondente al canale Verde e infine i valori della banda 4 corrispettivi al canale del Blu. Nel caso in cui si volesse sfruttare il *Red Edge* e utilizzare una colorazione a falsi colori, la banda corrispondente all'infrarosso vicino (NIR) e la numero 17.

Se l'operatore non è a conoscenza della combinazione esatta per creare un'immagine a colori, SNAP contiene alcuni file preimpostati che, in base al satellite, permettono la creazione di un'immagine a colori (Schermata 39).



*Schermata 39- Selezione dei canali RGB in cui inserire le bande per la colorazione. Nella parte a sinistra è presente la colorazione a colori naturali creata direttamente dal software, a destra invece quella in cui l'operatore seleziona le bande corrispondenti ad ogni specifico canale.*

L'immagine così composta appare come in Schermata 40; la prima caratteristica che viene percepita osservando tale prodotto è la grandezza dell'immagine rispetto a quelle registrate dal Landsat 8 difatti, la scena ripresa da quest'ultimo satellite, è molto più ristretta e concisa. Partendo da questo presupposto si potrebbe pensare che la prima operazione da fare sia un *subset* ovvero un ritaglio ma, come successo per le immagini elaborate in QGIS e poiché le immagini non sono estremamente pesanti, è stato scelto di non ritagliare subito la scena. Inoltre, questa scelta, evita qualsiasi tipo di possibile errore derivante dai valori ai bordi della maschera di ritaglio.



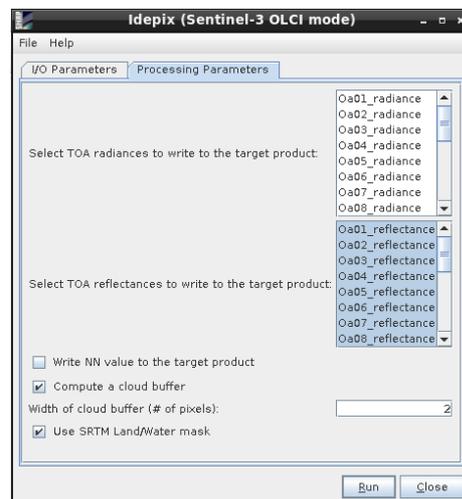
Schermata 40- Visualizzazione dell'immagine a colori naturali.

Il primo step della metodologia scelta mirerà a creare una maschera automatica che consentirà successivamente di rimuovere i pixel contenenti valori non idonei che altrimenti causerebbero segnali di errore e di mal visualizzazione delle immagini finali. Per valori non idonei si intendono tutti quei pixel che contengono la firma spettrale delle nuvole, dell'ombreggiatura nuvolosa, del ghiaccio e della neve. Tale operazione è fattibile grazie al processo *Idepix*, il quale provvede ad operare una classificazione di ogni pixel andando a calcolare un determinato insieme di caratteristiche fisiche e una combinazione probabilistica di esse, al fine di calcolare un congiunto di attributi di classificazione dei pixel, ottenendo come prodotto finale un pool di raster (maschere) suddivisi per ogni parametro (nuvole, neve e ghiaccio).

Per il rilevamento delle nuvole vengono utilizzate le seguenti funzionalità: luminosità, bianchezza, altezza, temperatura, modello spaziale, consistenza temporale, probabilità della rete neurale (RUS Copernicus 2018). Il processore *IdePix*, fornito con l'attuale versione SNAP, supporta i seguenti satelliti / sensori: Sentinel-2 (MSI), Sentinel-3 (OLCI), Envisat (MERIS), Landsat-8 (OLI), Proba-V (Vegetation), SPOT (Vegetazione), Terra / Aqua (MODIS), OrbView-2 (SeaWiFS), Suomi NPP (VIIRS) (RUS Copernicus 2018).

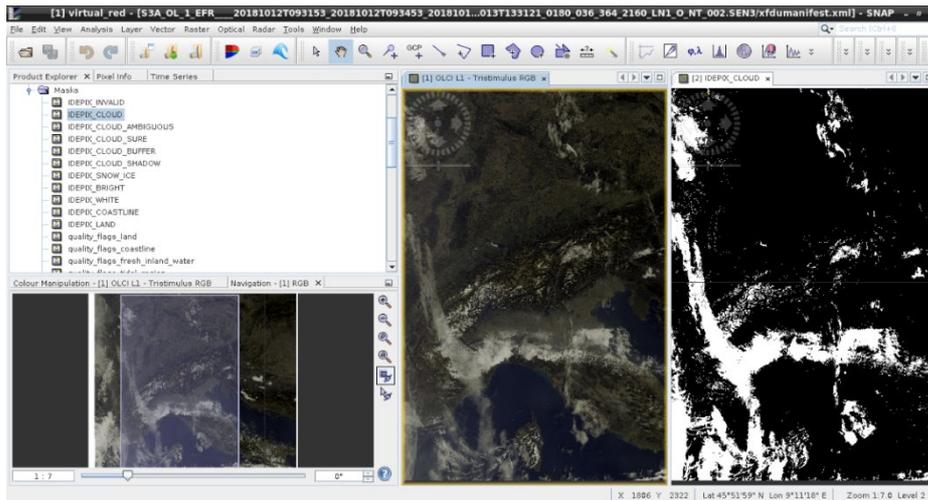
Per lanciare il processo, andare su *Optical* → *Pre-Processing* → *Masking* → *Idepix.Sentinel3.Olci*. Come ogni finestra di lavoro di SNAP la prima pagina è dedicata alla scelta del prodotto che deve essere processato mentre, le pagine successive sono specifiche per ogni processo. Nella seconda finestra dell'*IdePix* appariranno due tabelle, la prima riferita alla radianza TOA da scrivere sul prodotto target e la seconda riferita alla riflettanza

TOA (da scrivere sul prodotto target). Da ricordare che la radianza è la variabile misurata direttamente dagli strumenti di telerilevamento ed è la quantità di luce vista dallo strumento da una superficie di un oggetto (nei prodotti OLCI, è dato come  $10^{-3} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ). La riflettanza invece è il rapporto percentuale tra la quantità di luce che lascia un bersaglio e la quantità di luce che arriva al bersaglio. È una variabile adimensionale e permette di captare ogni singola proprietà dell'oggetto / materiale osservato. Quindi, nel nostro caso, questa è la variabile che interessa di più e perciò andremo a selezionare tutte le bande all'interno della seconda tabella “*Select TOA reflectances to write to the target product*”, in questo modo il prodotto derivante da processo IdePix conterrà i pixel con già un valore di riflettanza e non di radianza (Schermata 41).



Schermata 41- Finestra del processore Idepix in cui selezionare i parametri del processo.

Una volta finita tale elaborazione, all'interno del box *Products Explorer* comparirà un nuovo prodotto in cui saranno presenti tutte le maschere precedentemente elencate (Schermata 42). Ogni singola maschera è caratterizzata da una nomenclatura specifica che ne definisce il parametro evidenziato (ad esempio, la maschera delle nuvole assumerà la nomenclatura “IDEPPIX\_CLOUD”). Nella schermata successiva sono state messe a confronto l'immagine originale, in cui è possibile apprezzare le aree coperte da nuvole, e la maschera creata dal processore. Come si può notare l'identificazione delle aree coperte è molto precisa, il che ci permette di essere abbastanza sicuri che la maschera abbia una buona efficienza per eliminare i valori non idonei.



Schermata 42- Confronto tra l'immagine originale con una colorazione naturale e il raster creato dal processore Idepix, in cui è possibile notare come la maschera segui molto diligentemente le nuvole presenti.

A questo punto verrà utilizzato un altro strumento chiamato *Band Math* il quale, essendo molto simile al calcolatore raster descritto nel Capitolo 6.1, permette di fare delle operazioni tra bande per ottenere dei prodotti che esaltino determinate caratteristiche. Come per le immagini Landsat 8 viene utilizzato l'indice ambientale e vegetazione NDVI, solamente che in questo caso la formula da applicare risulta più complessa poiché vengono anche inserite delle variabili per l'applicazione della maschera. Per aprire questo processo è necessario un click destro sul nuovo prodotto e nel menu a tendina cliccare sulla voce *Band Math*. All'interno di questa finestra è possibile modificare il nome del prodotto che si andrà a creare (nel nostro caso lo chiameremo NDVI\_pre) ed inserire l'espressione.

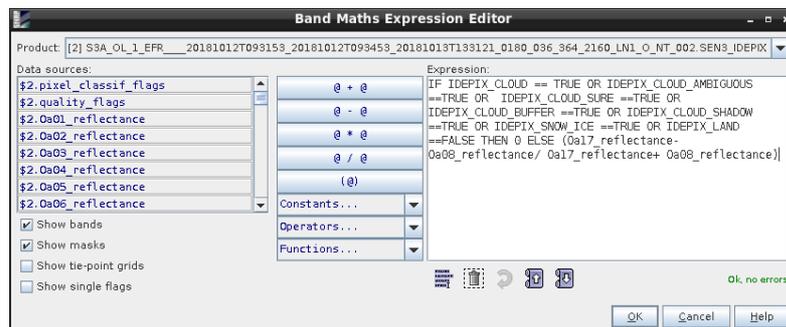
La formula è così composta:

```
if IDEPIX_CLOUD == TRUE or IDEPIX_CLOUD_AMBIGUOUS == TRUE or
IDEPIX_CLOUD_SURE == TRE or IDEPIX_CLOUD_BUFFER == TRUE or
IDEPIX_CLOUD_SHADOW == TRUE or IDEPIX_SNOW_ICE == TRUE or
IDEPIX_LAND == FALSE then 0 else (Oa17_reflectance-
Oa08_reflectance)/(Oa17_reflectance+Oa08_reflectance)
```

È scomponibile in due parti principali: la prima parte in cui vengono usate le maschere IdePix per eliminare i pixel non idonei, la seconda parte in cui avviene il calcolo dell'indice NDVI (vedi Paragrafo 2.2).

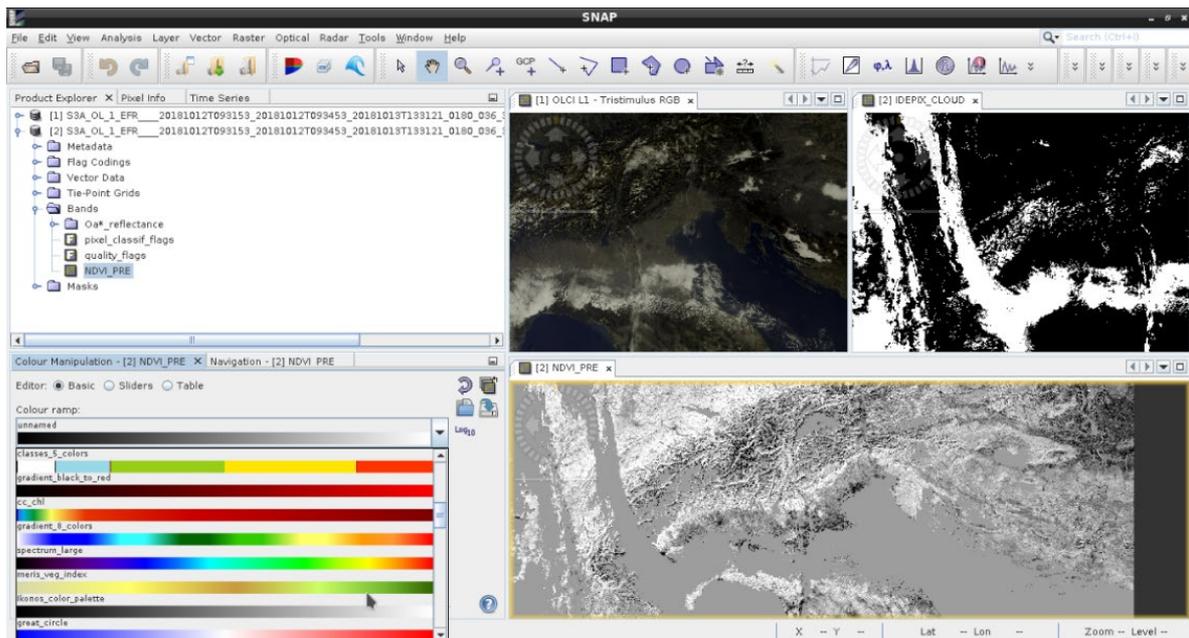
Viene letta in tal modo: “SE le maschere IdePix corrispondenti a nuvole, nuvole ambigue, nuvole sicure, nuvole respingenti, ombreggiatura derivante dalle nuvole, neve e ghiaccio sono vere e la maschera IdePix corrispondente alla superficie terrestre è falsa, allora inserisci il valore zero, altrimenti inserisci “NDVI”. Sostanzialmente questa formula mette in relazione l'immagine originale con le maschere e, per ogni singolo pixel, confronta il valore della maschera con quello dell'originale. In questo modo si andrà a creare un nuovo raster in cui se un pixel è stato considerato positivo (rientra nella categoria maschera) verrà proiettato nel nuovo file come un pixel di valore zero; se invece il pixel non appartiene a nessuna delle maschere IdePix allora il *Band Math* procederà con il calcolo dell'NDVI.

Per il calcolo di questo indice ambientale vengono sempre utilizzate le bande dell'infrarosso vicino e del rosso che nel sensore OLCI corrispondono rispettivamente alla banda 17 (NIR) e alla banda dell'8 (RED).



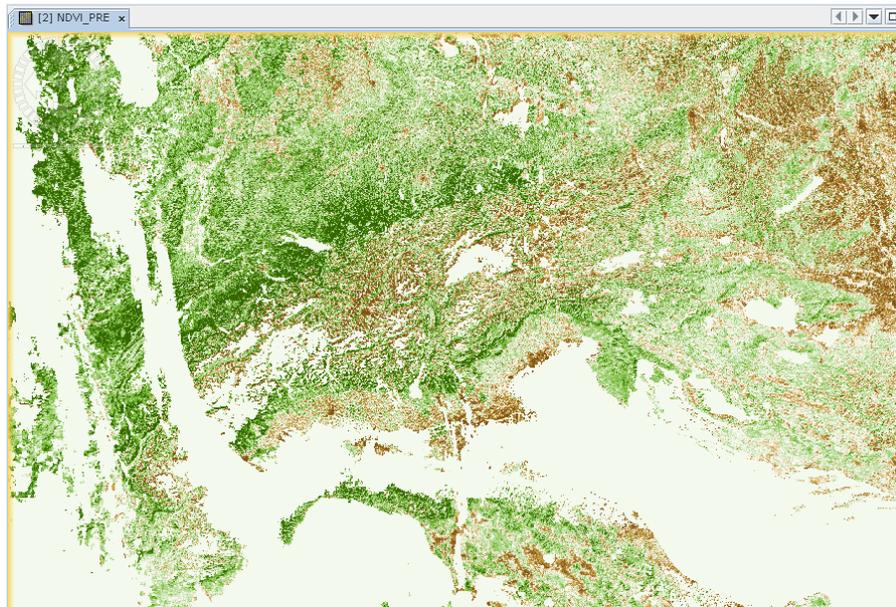
Schermata 43- Finestra di dialogo del processo Band Math. da notare anche la formula riportata nel riquadro a sinistra.

In pochi minuti la macchina esegue il calcolo e il risultato è quello in Schermata 44, in cui è possibile apprezzare anche un confronto tra l'immagine originale, la maschera delle nuvole e il raster dell'NDVI.



Schermata 44- Triplice confronto tra l'immagine a colori naturali, la maschera IDEPIX\_CLOUD e il raster risultante dalla formula (NDVI). A sinistra viene evidenziata la svariata possibilità di scelta delle palette colori offerte da SNAP.

Il raster NDVI così ottenuto ha una colorazione a scala di grigi, la quale non permette una buona visualizzazione delle aree in cui l'indice è alto o basso. Per questo è di fondamentale importanza applicare una colorazione idonea, che nel nostro caso è già preimpostata in SNAP, basti andare nel box del *Color Manipulation* e selezionare la palette colori chiamata *Meris vegetation index*. Sempre nello stesso box è possibile selezionare, attraverso gli *Sliders*, i colori e i valori che corrispondono ad ogni colorazione. I valori limitrofi allo zero sono stati impostati con una colorazione bianca in modo tale da porre maggior enfasi sulle zone dove l'indice assume valori interessanti.

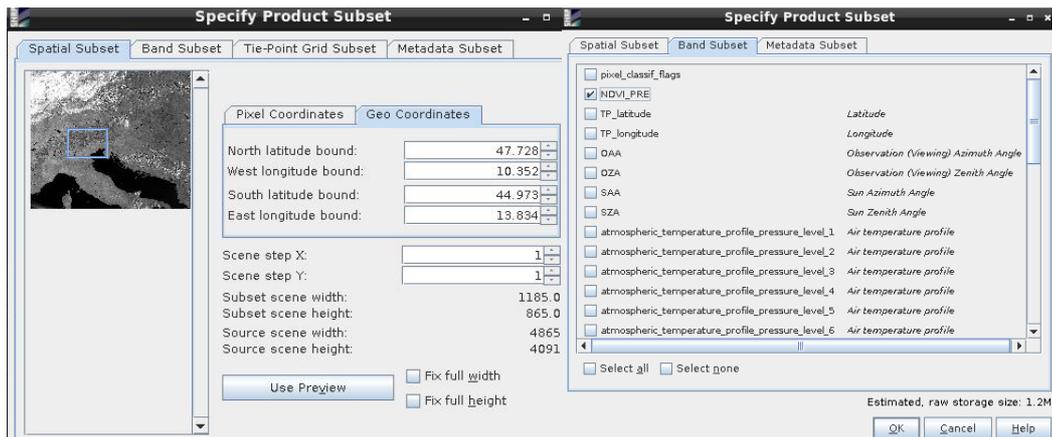


*Schermata 45- Risultato della colorazione Meris\_vegetation\_index nel raster dell'NDVI in cui lo slider del valore zero è stato posto di colore bianco.*

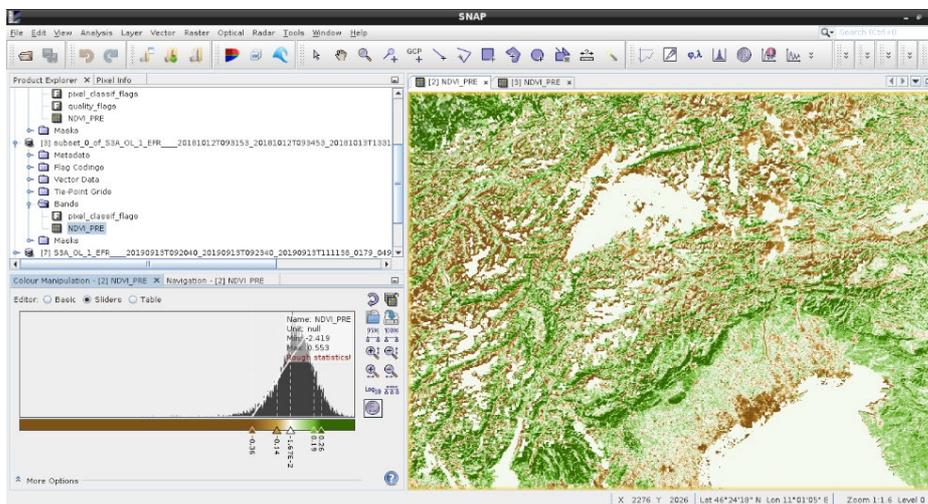
Per rendere l'immagine raffigurata in Schermata 45 uno dei due file protagonisti dell'operazione finale, è necessario operare un ritaglio dimensionale in modo tale da focalizzare l'attenzione solamente nell'area di studio. Nella schermata successiva (Schermata 46) sono rappresentati i passaggi per il ritaglio. Nel riquadro a sinistra, corrispondente alla prima finestra del processo di *Subset*, sono state selezionate delle Geo Coordinate per definire i limiti del rettangolo di ritaglio. Molte volte le immagini di partenza registrano la medesima zona ma con inquadrature leggermente traslate l'una dalle altre e quindi, dopo che è stato fatto il ritaglio, gli elementi rappresentati in esso non sono gli stessi per ogni immagine.

Per tale motivo utilizzando le Geo coordinate come limiti di ritaglio è possibile creare dei prodotti geograficamente sovrapponibili anche se le immagini di partenza non lo erano.

Una nota importante è quella di segnarsi sia le coordinate sia l'estensione del prodotto finale (width x height), poiché al raster della situazione post evento (2019) dovranno essere applicate le medesime dimensioni, affinché si possano effettuare le operazioni matematiche di differenza per il calcolo del  $\Delta$ NDVI. Nel riquadro più a sinistra, invece, è presente la seconda finestra, nella quale è possibile selezionare le bande soggette al ritaglio e che quindi faranno parte del prodotto. Viene selezionata solo la banda dell'NDVI\_PRE dato che è l'unica che è utile a rispondere all'obiettivo della tesi.



Schermata 46- Parametri selezionati per il Subset del prodotto contenente l'NDVI.



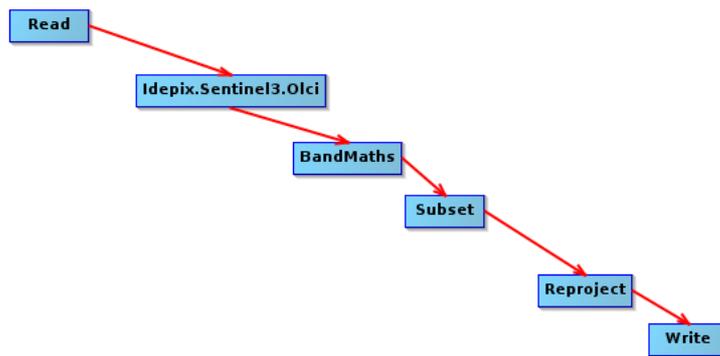
Schermata 47- Subset dell'area di interesse con applicata la colorazione Meris con il dettaglio degli sliders in basso a sinistra.

In questo modo è stata ottenuta l'immagine raffigurante l'indice NDVI solamente della situazione pre evento, è quindi necessario applicare lo stesso procedimento all'immagine riferita all'anno successivo.

SNAP per questa situazione mette a disposizione uno strumento molto comodo e professionale chiamato *Batch Processing*.

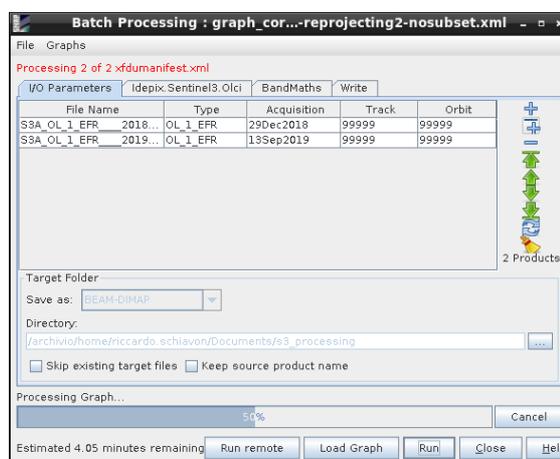
Esso è una forma di elaborazione dei dati in cui un certo numero di prodotti, classificati come input, vengono raggruppati per essere sottoposti alla medesima catena di operazioni ottenendo il prodotto finale di output. Poiché il nostro obiettivo è l'elaborazione di 2 immagini rappresentanti due situazioni diverse, ma a cui si devono eseguire le stesse operazioni, tale strumento è perfettamente idoneo per la creazione di una linea guida delle operazioni da eseguire in successione per ogni immagine.

Prima di lanciare tale processo è però indispensabile stabilire qual è la successione di operazioni a cui le immagini devono essere sottoposte. Per fare ciò bisogna creare un grafico guida che consiste in un diagramma di flusso in cui vengono elencate le operazioni da eseguire secondo un ordine ben stabilito dall'operatore: la prima casella è sempre il comando "Read" in cui viene selezionato il formato del prodotto, le caselle successive saranno composte dall'insieme delle operazioni che compongono il processo, ed infine è presente la casella "Write" in cui verrà selezionato il formato di registrazione dei prodotti finali.



Schermata 48- Grafico progettato per il Batch Processing.

Andando su "Tools → Batch Processing" verrà visualizzata la finestra di dialogo del processo (Schermata 49) in cui si andranno ad aggiungere le immagini cliccando ne tasto "Add", una volta aggiunte è necessario andare a caricare il grafico precedentemente creato (Load Graph).

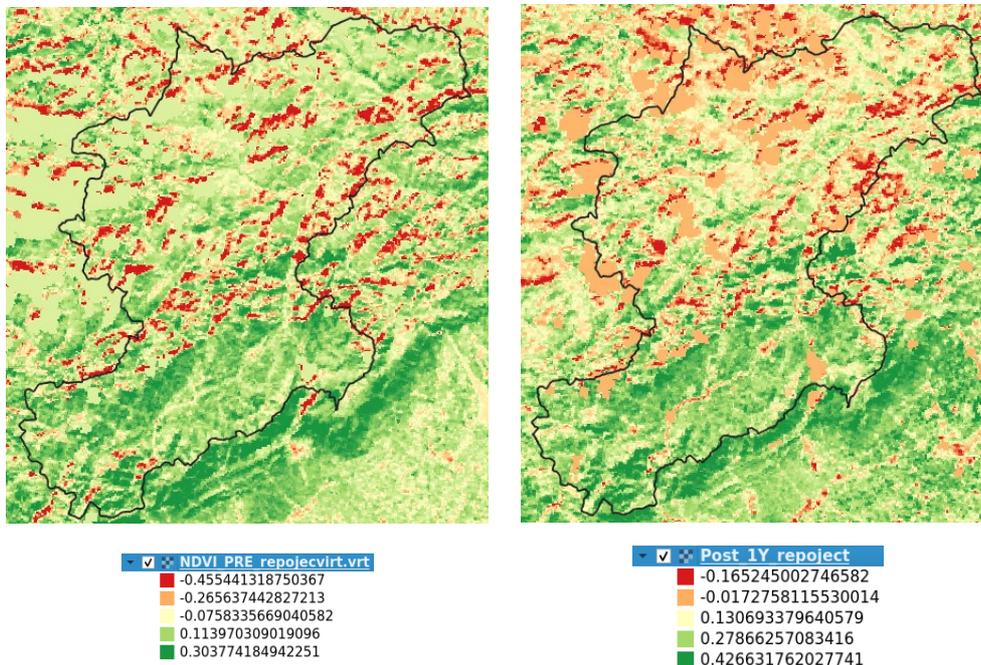


Schermata 49- Finestra principale del Batch Processing in cui si procede alla selezione dei prodotti da sottoporre alle operazioni descritte dal grafico.

Il passaggio finale prevede lo spostamento in QGIS per il confronto con le aree di controllo, per definire ulteriormente i limiti amministrativi e per mascherare la componente forestale. Attraverso SNAP è già possibile operare la differenza tra i due raster ma è stato scelto di esportare ogni singolo prodotto contenente l'NDVI per risolvere l'operazione attraverso il Calcolatore raster di QGIS.

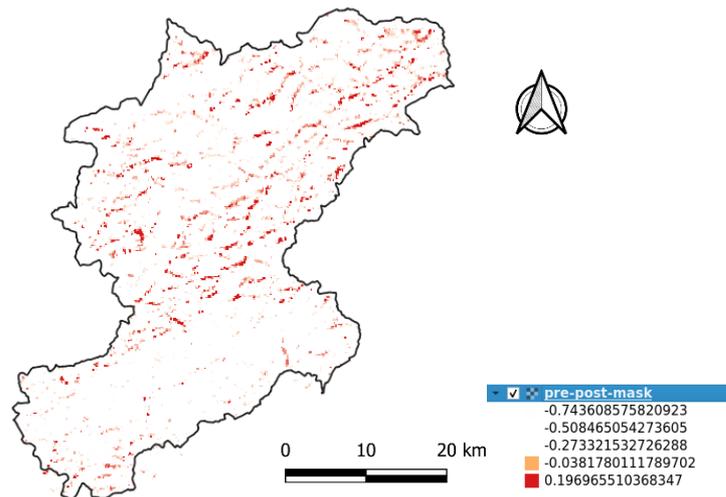
Un file, per essere letto e caricato in QGIS, deve essere in un particolare formato chiamato GeoTIFF. SNAP consente l'esportazione dei prodotti in vari formati tra cui quello di interesse. In questo procedimento di trasformazione è obbligatorio selezionare i componenti che devono essere trasportati e per questo, poiché ai fini della tesi non servono tutte le bande, verrà selezionata solo quella riferita all'indice ambientale.

Una volta caricato il prodotto su QGIS si procede come per le immagini Landsat 8 (Capitolo 5), risolvendo la differenza tra la situazione pre e post disturbo, ritagliando le aree appartenenti solamente alle Categorie Forestali della Provincia di Belluno, applicando una colorazione a banda singola falso colore ed infine verificando che il range di dati utilizzato per la colorazione corrisponda ai valori riportati in SNAP. Successivamente verrà eseguito il confronto con le aree AVEPA come già spiegato nel Capitolo precedente.



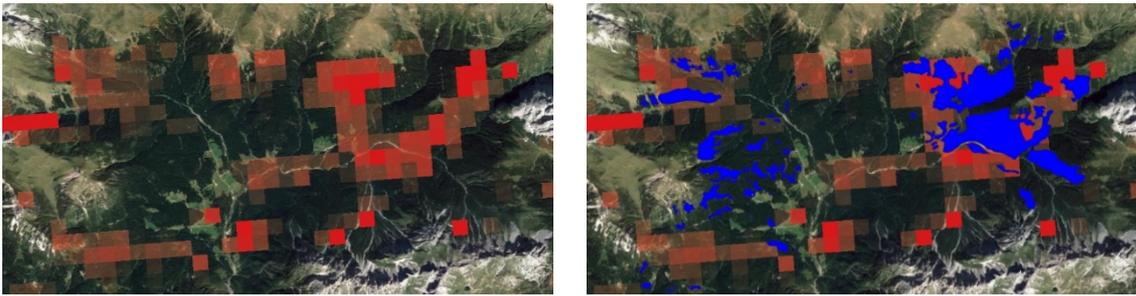
Schermata 50- A sinistra è rappresentato l'indice NDVI della situazione pre evento 2018; A destra la situazione post evento (2019) con le relative legende.

Nelle pagine successive si procederà con il confronto tra le aree mappate dall'AVEPA e il  $\Delta$ NDVI. Per porre maggiore attenzione sulle aree con una maggiore differenza del valore dell'indice, sono state eliminate le aree con valori nulli o di molto inferiori allo zero, è stata data una colorazione rossa a quelle con valori superiori (Schermata 51).

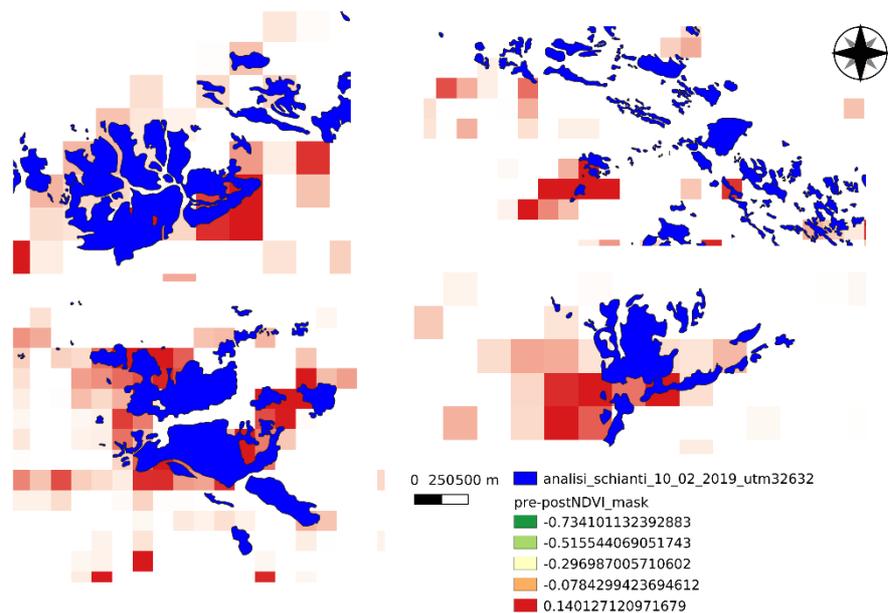


*Schermata 51- Differenza di NDVI con un dettaglio solamente alle aree appartenenti alle categorie forestali ed in cui è stata evidenziato solamente il valore dove la differenza è maggiore (colore rosso).*

### 6.2.3 Discussione dei risultati OLCI EFR



Schermata 52- Google Satellite con: A sinistra dettaglio delle aree con maggiore differenza di NDVI. A destra una sovrapposizione tra le aree AVEPA e il  $\Delta$ NDVI.



Schermata 53- Mosaico di varie aree appartenenti a quattro luoghi distinti della mappa.

Le schermate 52 e 53 rappresentano un dettaglio di una situazione in cui la comparazione tra i valori del  $\Delta$ NDVI e delle aree di controllo dà risultati soddisfacenti. Soprattutto nell'immagine a destra in schermata 52, è possibile apprezzare che le aree con una colorazione rossa si sovrappongono in modo discreto a quelle blu (reali) facendo pensare ad una buona risposta del risultato. Nella parte sinistra invece è possibile vedere come in realtà ci siano delle problematiche.

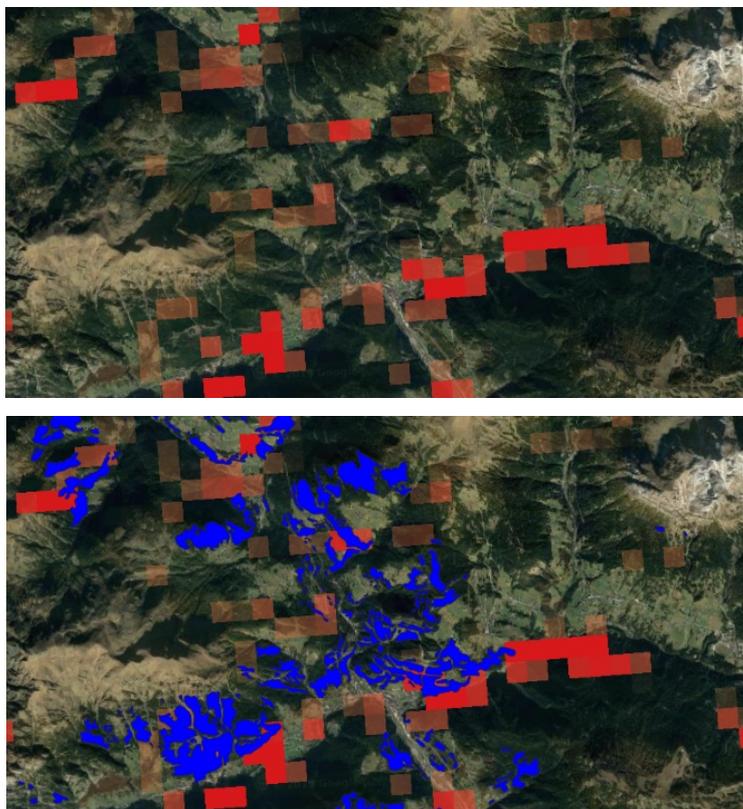
In Schermata 53 è stata invertita la sovrapposizione dei layer, così facendo è possibile apprezzare maggiormente la precisione avuta in una singola zona.

Nella schermata successiva (54) la scala di dettaglio è molto bassa e non consente né di valutare né di delimitare le aree in cui sono avvenuti gli schianti. Infatti sussistono zone

evidenziate in rosso, dove la mappatura AVEPA non ha trovato riscontro, e zone in cui è presente solo la colorazione blu e nessuna traccia di rosso.

Una nota positiva può essere data solo se guardiamo il fenomeno con una scala di dettaglio grossolana, tanto è vero che, osservando la schermata precedente, è possibile definire a grandi linee l'andamento degli schianti soprattutto nel versante esposto a Sud.

Purtroppo la situazione visualizzata in Schermata 54 è quella più comune e ripetitiva all'interno del raster, perciò se ne deduce che non è possibile utilizzare questa tipologia di immagini come base per delle elaborazioni volte allo scopo di mappare un disastro ambientale di questo tipo, in questo luogo e con queste caratteristiche.



*Schermata 54- Dettaglio del confronto in un'altra zona della Provincia bellunese.*

Per di più, le immagini sono state confrontate con la realtà a terra la quale ha confermato che non è presente una sufficiente corrispondenza (le aree corrispondono solo in pochissimi casi).

Tale incongruenza può essere causata da vari motivi tra cui:

- 1- Le immagini utilizzate fanno parte di un set di prodotti chiamato OL\_1\_EFR ovvero dei prodotti corrispondenti al *Level 1* in cui non è stata applicata la correzione atmosferica e radiometrica dalla casa produttrice (ESA). Proprio per questo, dato che il luogo d'esame è ubicato in zone montuose, il fattore esposizione ha un peso non indifferente sulla radiazione registrata dal sensore. Esso registra una riflettanza molto maggiore rispetto a quella reale che poi viene trascritta nell'immagine con dei valori dei pixel molto alti, facendoli risultare all'interno dei valori non idonei.  
Per questo motivo, picchi e buchi di radiazione possono essere dovuti alla diversa esposizione dei versanti montuosi, andando così a creare delle aree in cui la differenza di NDVI risulta elevata anche se non sono stati registrati cambi di stato vegetazionale dovuti agli schianti da vento
- 2- Come visto nel Capitolo di descrizione del satellite Sentinel-3, i dati in *Full Resolution* hanno un'ampiezza dei pixel di 300x300m quando si riferiscono alle misurazioni della superficie terrestre; ciò significa che hanno un'estensione del riporto a terra di 90.000 m<sup>2</sup> (0.09 Km<sup>2</sup>). Gli schianti che sono avvenuti nel Nord-est Italia non avevano una grande estensione e quindi, avendo una risoluzione spaziale abbastanza grande, il sensore fa molta difficoltà (rispetto al Landsat 8) a captare con precisione le aree schiantate. Un esempio è raffigurato in Schermata 55, dove è possibile vedere la dimensione di ogni singolo pixel rispetto alla situazione reale raffigurata da Google Satellite.



*Schermata 55- Dettaglio della dimensione dei pixel rispetto al reale.*

- 3- Le aree mappate dall'AVEPA sono classificate per percentuale di disturbo, ciò significa che non tutte le aree hanno subito la stessa severità e quindi il confronto con la differenza massima dell'indice NDVI può non coincidere. Questo comporta che alcune aree circoscritte dall'AVEPA non vengano rilevate precisamente dal sensore OLCI poiché ha una risoluzione abbastanza grande, e quindi la colorazione

di ogni pixel risulta essere una media grossolana dell'insieme di firme spettrali presenti in quella zona. Tale media causa incomprensioni e sballamento dei dati e proprio per questo, l'abilità di fotointerpretazione dell'operatore risulta essere di fondamentale importanza.

A causa degli errori soprariportati, le immagini selezionate non possono essere ritenute idonee per questo caso studio e quest'area ma potrebbero essere utilizzate nelle grandi praterie americane percorse da incendi, in cui i rilievi sono bassi o addirittura assenti (eliminando il problema dell'esposizione) ed in cui le aree colpite hanno quasi sempre un'elevata estensione. Comunque sia, questo tipo di prodotto non offre una grande scala di dettaglio, ma fornisce una prima visualizzazione dell'estensione del disturbo ambientale delimitando gli spazi in cui esso si è propagato e dando un'idea di dove si è presentato (nel caso sia un disturbo a macchia di leopardo).

#### 6.2.4 Risvolti nell'analisi

L'ESA, come visto nel Capitolo 3, mette a disposizione un altro prodotto in *Full Resolution* a cui però sono già state applicate delle correzioni radiometriche chiamato *OL\_2\_LFR (Land Full Resolution)*. Questo prodotto, insieme a quello in *Reduce Resolution*, contiene tre file di dati di misurazione e otto file di dati di annotazione.

I file di misurazione forniscono l'indice OLCI Global Vegetation Index (OGVI), l'indice OLCI Terrestrial Chlorophyll Index (OTCI) e l'Integrated Water Vapor (IWV) (ESA 2019b). Ad ogni indice e parametro ambientale è associato un file contenente le stime di errore calcolate sulla griglia del prodotto.

L'indice OLCI Global Vegetation Index (OGVI) combina le informazioni contenute nella banda blu a 443 nm (banda O3) con le informazioni nelle bande a 681 (banda O10) e 865 nm (banda O17), tradizionalmente utilizzate per monitorare la vegetazione, generando "canali rettificati" a queste ultime due lunghezze d'onda. La "rettifica" viene eseguita in modo tale da ridurre al minimo la differenza tra quei canali rettificati e la riflettanza spettrale misurata nella parte superiore della copertura vegetale, sotto una geometria standard di illuminazione e osservazione. L'algoritmo proposto presuppone che i rapporti dei polinomi siano appropriati per generare sia i "canali rettificati" sia l'indice spettrale finale (OGVI). L'OGVI è stato ottimizzato per valutare la presenza sul terreno di una vegetazione sana, viva e verde.

La procedura di ottimizzazione è stata vincolata per fornire una stima della frazione di radiazione fotosinteticamente attiva assorbita (*Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*- FAPAR) nella copertura della vegetazione, sebbene si prevede che l'indice venga utilizzato in una vasta gamma di applicazioni (ESA 2019a).

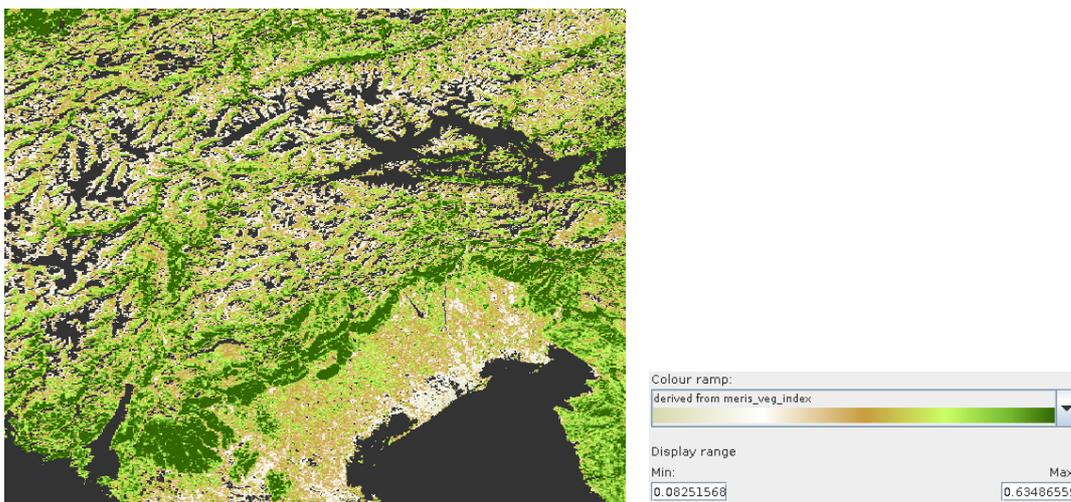
Nella documentazione e nella sitologia ufficiale dell'ESA non sono presenti ulteriori dettaglio per quanto riguarda l'indice OGVI, ma si può facilmente dedurre che valori alti dell'indice corrispondano a situazioni vegetazionali buone (come per l'NDVI).

La conferma di ciò è il range di valori il quale assomiglia molto a quello del *Normalized Difference Vegetation Index* e cioè varia da -1 a +1 con valori superiori allo 0.6 corrispondenti a situazioni vegetazionali buone.

Il prodotto appena descritto, rispetto ai prodotti già utilizzati, può avere delle buone potenzialità in termini di maggiore precisione nell'evidenziare le zone che hanno subito un cambio dello stato vegetazionale, e proprio per questo sono state scaricate le immagini aventi la stessa data delle precedenti, con un formato OL\_2\_LFR.

Le immagini contengono già delle bande costituenti gli indice ambientali (OGVI, OTCI) e quindi non serve operare nessuna maschera ma solamente un ritaglio del caso studio.

Ai prodotti originali è stato subito applicato un *Subset* e la colorazione Meris utilizzata anche per le immagini EFR ed una volta caricati in SNAP si presentano in codesto modo:



Schermata 56- Rappresentazione dell'indice OGVI della situazione ante evento a cui è stata applicata un ritaglio e una colorazione per esaltare le zone con una maggiore frazione di attività fotosintetica.

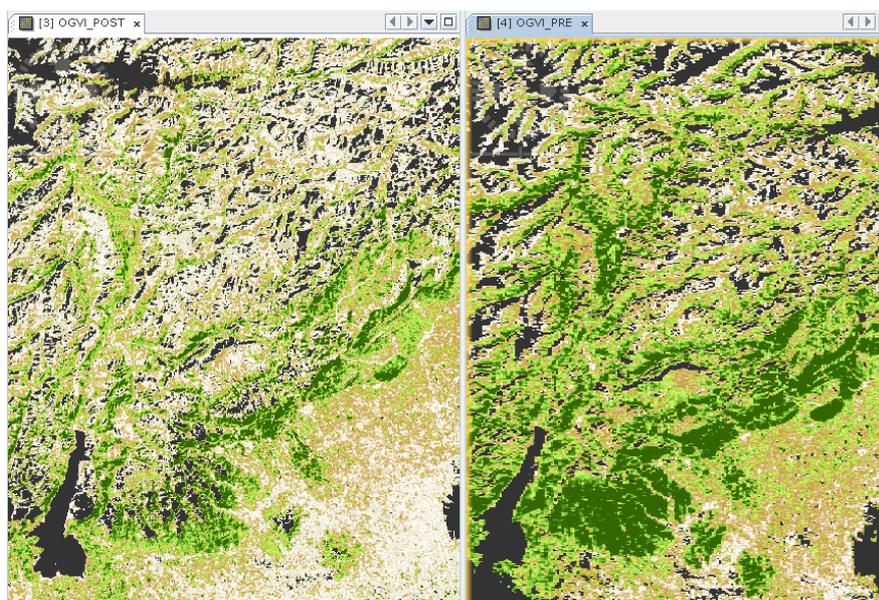


Schermata 57- Rappresentazione dell'indice OGVI della situazione post disturbo a cui è stata applicata un ritaglio e una colorazione per esaltare le zone con una maggiore frazione di attività fotosintetica.

Anche questo caso il per i limiti del ritaglio sono state usate le Geo coordinate.

Pixel Coordinates	Geo Coordinates
North latitude bound:	47.728
West longitude bound:	10.352
South latitude bound:	44.977
East longitude bound:	13.829

Schermata 58- Finestra di dialogo dello strumento Subset in cui è possibile creare un ritaglio selezionando le Geo coordinate.

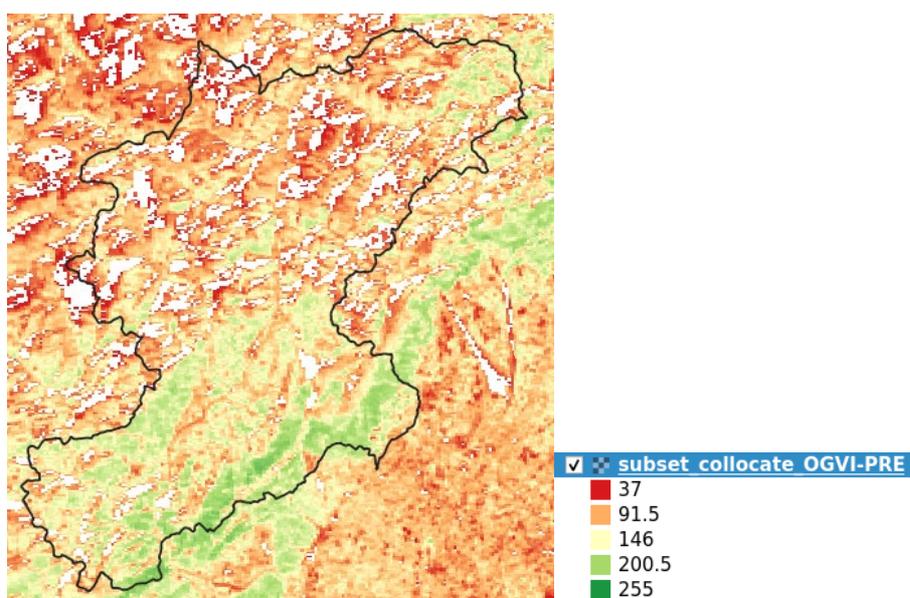


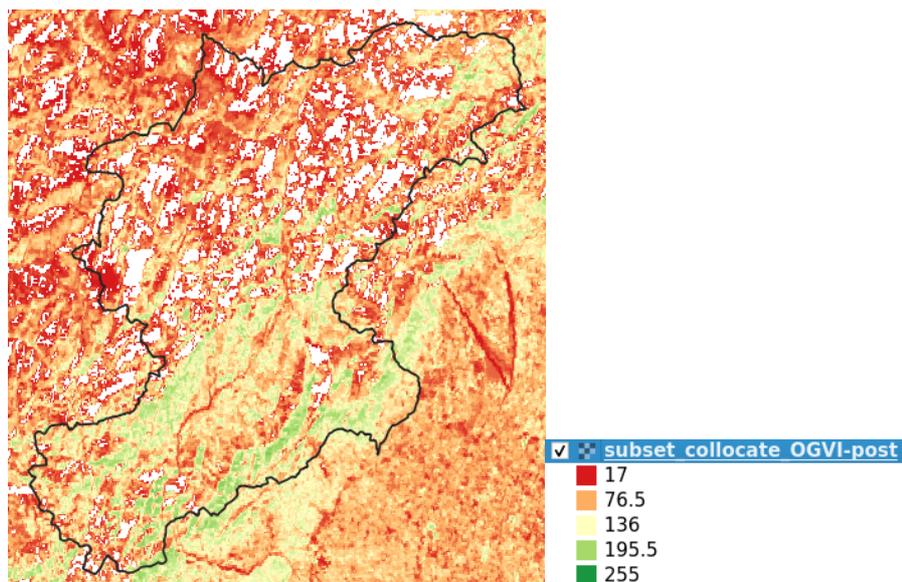
Schermata 59- Comparazione tra la situazione PRE e POST tramite l'indice ambientale OGVI.

SNAP permette la visualizzazione dei vari prodotti in modo sincrono, in tal sistema è possibile apprezzare maggiormente le differenze presenti tra la situazione pre e post disturbo (come visualizzato in Schermata 59). Nel riquadro a sinistra è evidente la diminuzione della colorazione verde rispetto a dello di destra, dove le zone che normalmente hanno una buona copertura vegetale rispondono idoneamente all'indice ambientale.

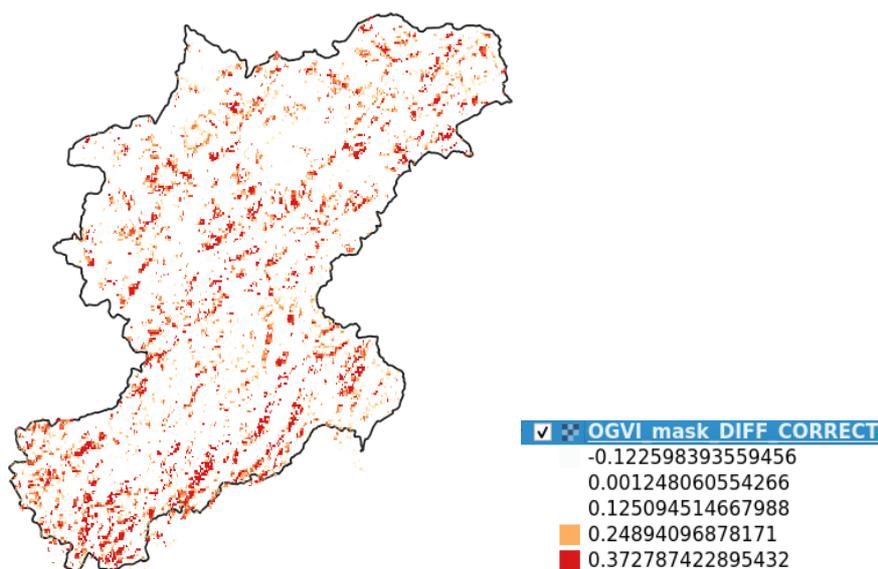
L'operazione successiva consisterebbe nell'andare a creare la differenza dell'OGVI in SNAP attraverso il *Band Math* però è stato visto che, facendo tale operazione con SNAP, quando si esporta il file in formato GeoTIFF per le elaborazioni in QGIS, si hanno degli sfalsamenti dei dati. Perciò è stato scelto di esportare in formato GeoTIFF solamente i dati riguardanti il PRE ed il POST e non il  $\Delta$ OGVI.

Di seguito verranno riportati le immagini esportate già con una colorazione a banda singola pseudocolore. Nelle legende si potrà notare che i valori non corrispondono a quelli che vengono visualizzati in SNAP Toolbox, ma variano da 0 a 255. Quest'ultimo valore corrisponde a tutte le aree dove non sono presenti valori (mascherate) e per questo è stata applicata una Trasparenza per ordinare la colorazione dell'immagine. L'ESA non ha rilasciato nulla sul motivo per cui, convertendo i file da BEAM-DIMAP a GeoTIFF, i valori cambino; nonostante ciò l'immagine ripropone le stesse condizioni che vengono rappresentate nel software ufficiale.





Schermata 60- Formato GeoTIFF del raster OGVI. In alto la situazione PRE ed in basso la situazione POST. È stata applicata una colorazione a banda singola falso colore con una scala che va dal rosso (zone urbanizzate o con poca vegetazione) e verde (zone con una buona copertura vegetale).

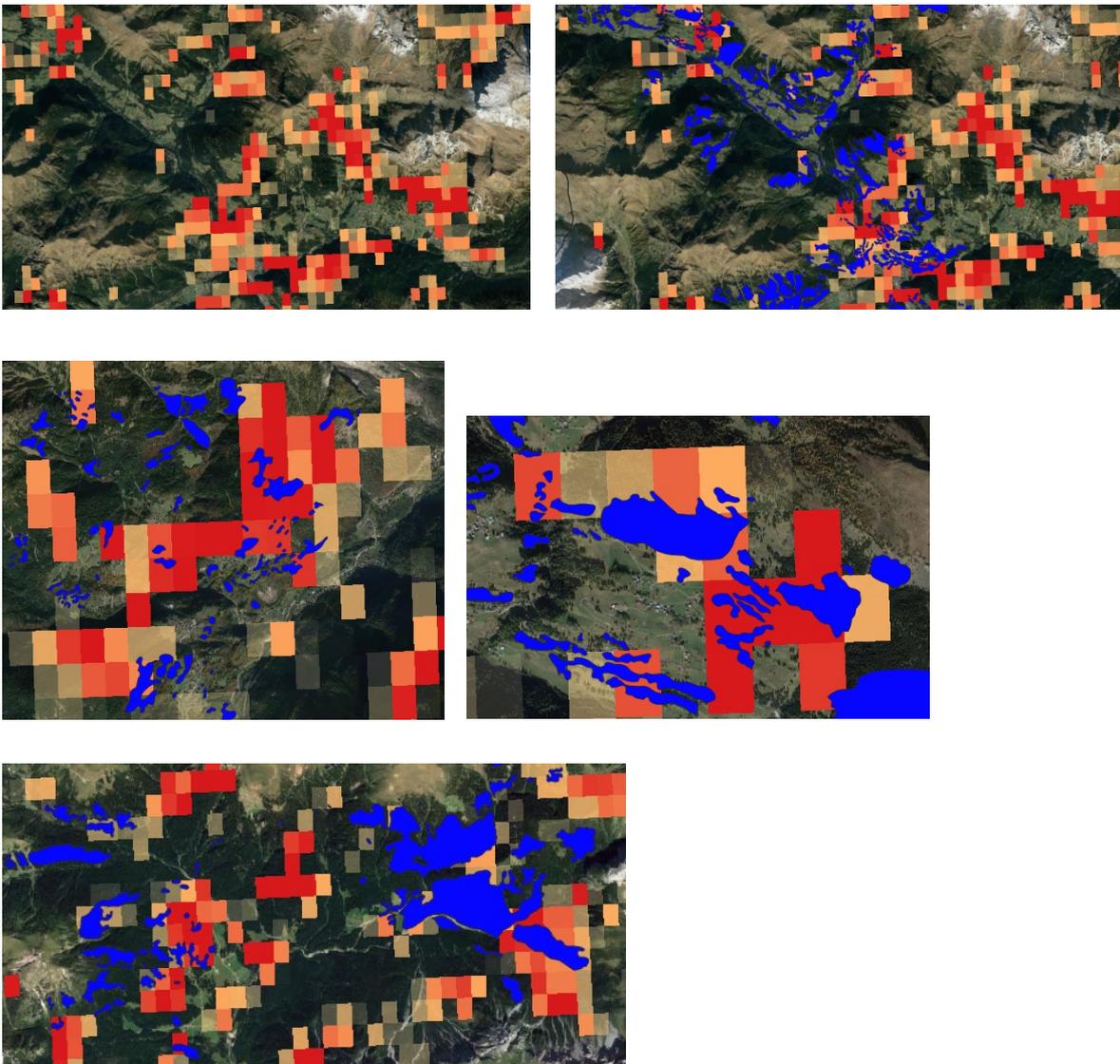


Schermata 61-  $\Delta$ OGVI a cui sono stati opacizzati i valori negativi e lasciati solo i valori maggiori.

In Schermata 61 è rappresentato il raster finale, composto dalla differenza dei due raster OGVI corrispondenti alle due situazioni. Esso deriva anche da una mascheratura con le aree forestali della Provincia di Belluno in modo da evidenziare solamente le zone che realmente sono boschive. Infine, come per il Landsat 8, sono stati opacizzati i valori minori e uguali a zero e sono stati colorati di rosso i valori in cui la differenza di OGVI risultava maggiore.

## 6.2.5 Discussione dei risultati OLCI LFR

Come è stato fatto per gli altri dati, anche a quelli LFR sono stati aggiunti il raster con le aree di confronto AVEPA e l'immagine satellitare derivante da Google Satellite. Rispetto ai prodotti EFR si nota già da subito una maggiore verosimiglianza con le aree di controllo, anche se mantengono comunque le problematiche espresse per le immagini EFR, fatta eccezione per il problema dell'esposizione del versante. Infatti, dato che le immagini sono state corrette dall'ESA, tale "problema" si è di molto attenuato (ciononostante in alcuni versanti continua a persistere tale errore). Visivamente c'è una correlazione che permette una maggiore identificazione delle aree percorse da schianti da vento anche se non è possibile definire le singole aree ma un agglomerato di zone in cui c'è stato un cambio dello stato vegetazionale.

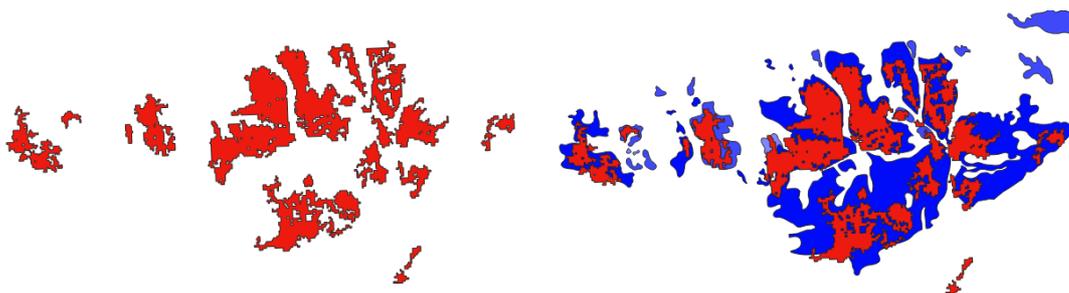


Schermata 62- Mosaico composto da varie immagini comparative dei prodotti OL\_2\_LFR con le Aree AVEPA.

In conclusione è possibile affermare che, utilizzando i prodotti LFR con associato l'indice ambientale OGVI, è possibile ottenere una maggiore precisione nell'individuazione delle aree percorse da schianto da vento rispetto alle immagini EFR, anche se rimane comunque uno strumento di supporto ad una successiva elaborazione con una scala di dettaglio maggiore.

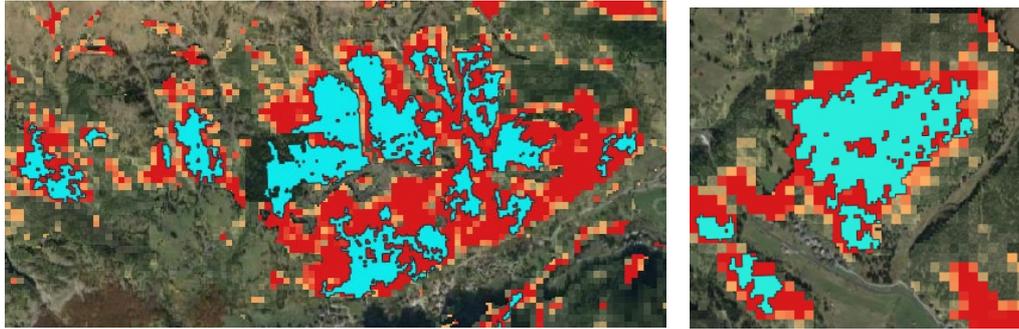
### 6.3 Ulteriore confronto finale

Durante le elaborazioni delle immagini e la stesura del lavoro, il relatore della suddetta tesi ha creato un raster aggiuntivo molto dettagliato contenente una mappatura degli schianti di Vaia. Esso deriva da lavorazioni molto complesse delle immagini Sentinel-2 (risoluzione 50mx50m) con l'integrazione della realtà a terra. Questo nuovo prodotto risulta possedere tutte le caratteristiche per essere una buona base un ulteriore confronto, sia con le aree determinate nelle elaborazioni precedenti sia con le aree AVEPA.

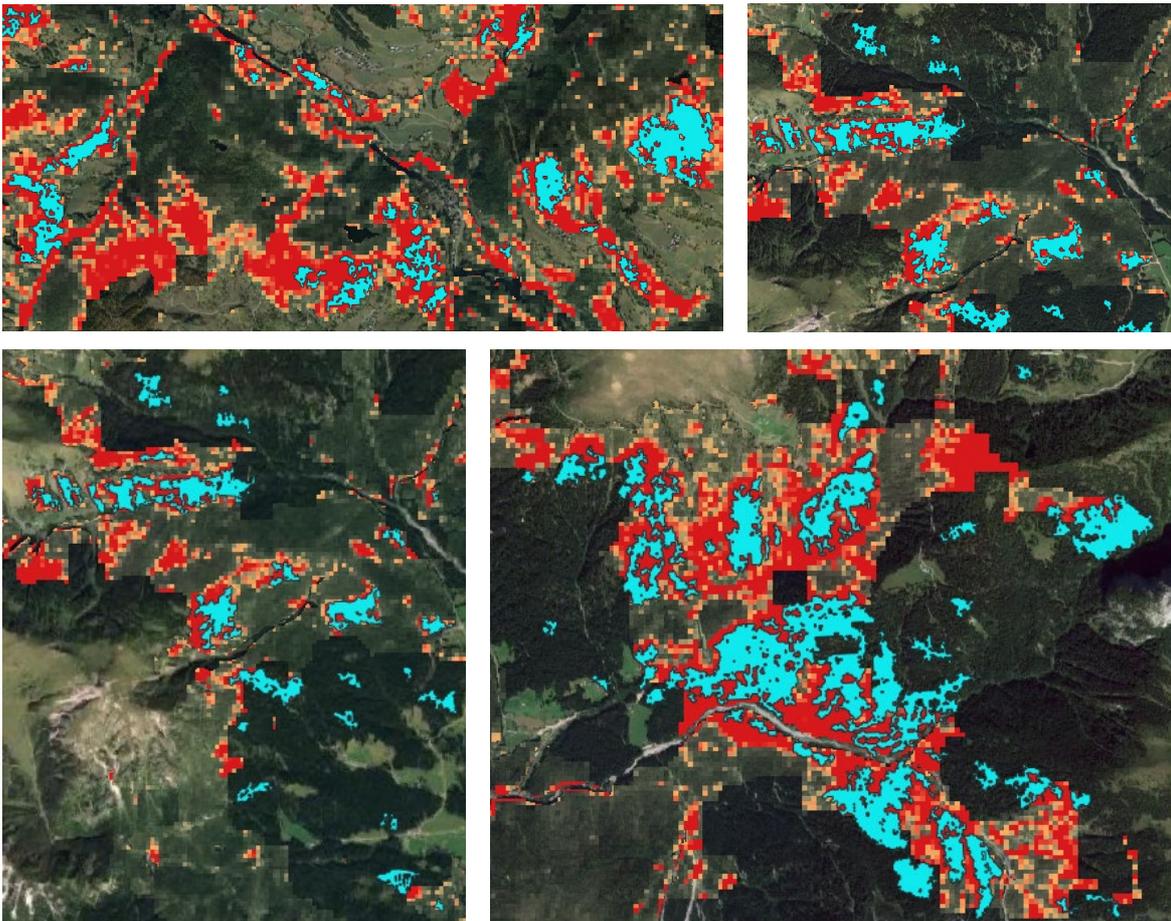


*Schermata 63- Confronto tra le aree mappate con il Sentine-2 e le aree AVEPA. A sinistra in rosso un dettaglio delle zone delimitate dal satellite europeo; A destra è presente una sovrapposizione tra i due raster di confronto*

Tale raster risulta essere molto più dettagliato rispetto alle aree AVEPA e, proprio per questo, si ha deciso di non operare un confronto con le aree definite dal Sentinel-3 poiché sarebbe un'operazione superflua, data la scarsa precisione dei risultati. Invece i dati ottenuti dal satellite Landsat 8, i quali possiedono un maggiore grado di accuratezza, possono essere il soggetto perfetto per tentare ad un test di accuratezza superiore.



*Schermata 64- Dettaglio di due zone percorse da schianti da vento. In azzurrino le aree mappate dal relatore, in rosso quelle ottenute dalle elaborazioni dei prodotti Landsat 8.*



*Schermata 65- Mosaico di varie zone in cui è possibile apprezzare la precisione del satellite Landsat8 rispetto alle Aree di controllo.*

Come è possibile vedere dalle schermate soprariportate il grado di dettaglio delle immagini Landsat 8 è discretamente alto difatti, seppur non avendo subito le stesse elaborazioni delle immagini Sentinel-2, dimostrano una buona corrispondenza seguendo le linee di schianto e in alcune aree riescono addirittura a definire i confini della schiantata (Schermata 64 parte destra).



## CONCLUSIONI

È ormai affermato che il telerilevamento sia diventato uno strumento indispensabile per il supporto alla mappatura dei disastri ambientali, proprio per questo è indispensabile trovare differenti tipologie di satelliti e sensori applicabili a codesto nobile scopo. In questo elaborato si è cercato di rispondere alla possibilità di utilizzare i satelliti gratuiti Landsat 8 e Sentinel-3 come strumento integrativo alla mappatura. Per raggiungere tale obiettivo le immagini sono state processate attraverso due diversi software QGIS e SNAP Toolbox, i quali hanno permesso di ottenere delle immagini il più possibile prive di errori in modo tale da poter applicare l'indice NDVI. Esso mette in relazione la banda dell'infrarosso vicino (NIR) con quella del rosso (RED) in modo tale da sfruttare la maggior regione di assorbimento della radiazione elettromagnetica da parte dei cloroplasti. Attraverso questo indice è possibile la creazione di aree con valori superiori a 0.4, le quali indicano zone in cui è presente una buona copertura vegetazionale, e zone in cui l'indice è minore di 0.2, corrispondenti a zone in cui lo stato e la copertura sono scarsi. Mettendo a confronto, tramite una sottrazione, i valori calcolati nell'immagine pre evento con quelli relativi al post evento è possibile determinare le aree che hanno subito una variazione di NDVI. Le zone con un alto valore della differenza dell'indice indicheranno le aree in cui è avvenuto il maggior cambio dello stato vegetazionale, assimilabile alla presenza di uno schianto da vento.

È stato visto che il satellite Landsat 8 risponde molto bene a tale differenza, mostrando una buona confidenza con le aree di controllo. Infatti, grazie alla sua bassa risoluzione spaziale (30m x 30m), che porta ad una buona risoluzione in termini di qualità dell'immagine, è possibile avere un quadro dettagliato della situazione. Inoltre la maschera creata partendo dal raster pixel\_qa, composta dai valori di pixel corrispondenti ai valori non idonei, ovvero valori che portano ad un errore all'interno del calcolo dell'indice ambientale, risulta corrispondere molto bene permettendo un altrettanto ottima "pulizia" dell'immagine. Non solo con le aree AVEPA ma anche con le aree mappate dal relatore, il Landsat 8 continua ad avere una risposta più che discreta come supporto alla mappatura degli schianti da vento. È inoltre necessario sottolineare che le aree mappate dall'AVEPA possiedono al loro interno l'informazione relativa alla percentuale di schianto dando la possibilità di capire la severità dell'evento in ogni singola area mappata, e consentono anche di applicare una colorazione

graduata, in modo tale da enfatizzare le aree con una maggiore o minore percentuale di severità.

Questa informazione non è presente nelle aree ottenute dalle elaborazioni e, solamente attraverso il confronto tra le colorazioni delle immagini, non è possibile definire quale area abbia subito una più importante severità. Difatti, le aree che evidenziano una differenza dell'indice ambientale e che coincidono con la mappatura AVEPA, possiedono quasi tutte la stessa colorazione non permettendo la distinzione sopracitata (esistono però poche aree caratterizzate da una minore differenza dell'indice ambientale, a cui corrisponde una colorazione più blanda a conferma della minore severità del disturbo in quella zona). Questo si presuppone che sia il sensore sia l'indice ambientale non abbiano una sensibilità tale da poter avere questo dato come esplicito.

Tale nota non è da considerarsi negativa o come una mancanza da parte dell'elaborato, ma come un risvolto futuro in cui è possibile integrare il dato attuale con il calcolo della differenza percentuale tra l'intensità del segnale NDVI registrato tra le immagini pre e post disturbo.

Per quanto riguarda il Sentinel-3 è necessario sottolineare che esso non è stato creato per la mappatura della superficie terrestre infatti, a tale scopo, è stato creato il fratello Sentinel-2. Il satellite in esame, gode di una risoluzione temporale molto breve, si parla di una capacità di sorvolamento sopra la stessa zona di circa 2,5 giorni, in questo modo è possibile registrare situazioni particolari che altrimenti non potrebbero essere individuate. Per tale motivo è stato interessante testare sia le sue capacità di mappatura attraverso un indice ambientale sia la sua capacità di offrire un possibile supporto alle operazioni eseguite dal satellite fratello. Durante le elaborazioni si è osservato che la risoluzione spaziale del Sentinel-3 è molto grande (300m x 300m) e non riesce ad offrire un buon grado di dettaglio come il Landsat 8. Proprio per questo è necessario ragionare a scala di singolo pixel; ogni pixel è formato dalla miscelazione di tutte le firme spettrali presenti in un'area di 90000 m<sup>2</sup> il che comporta una imprecisione nella mappatura ma non perché il satellite non ne sia in grado ma perché coesistono dei parametri geostazionari e fenomenologici particolari. Difatti, gli schianti avvenuti nell'ottobre 2018, non sono composti da grandi aree ma da molte piccole aree schiantate, questo fa sì che, avendo una bassa risoluzione, il sensore non riesca a captare con precisione ogni singolo schianto. Inoltre, bisogna sottolineare che la zona in esame, essendo prevalentemente montuosa, mette in risalto il problema dell'esposizione del versante.

Ad essa va poi sommata la grande dimensione di ogni pixel che, catturando una radiazione affetta da modifiche da parte dell'esposizione, rovina l'intera risposta all'interno di ogni pixel.

I risultati dimostrano anche che le immagini LFR, le quali contengono già le correzioni apportate dalla casa madre, rispondono in modo più fedele rispetto alle immagini EFR (non corrette) anche se comunque con una scala di dettaglio abbastanza bassa. In futuro è possibile analizzare quali superfici siano effettivamente coperte da schianti, quali siano falsi positivi e quali falsi negativi, ovvero valori di pixel in aree schiantate che però non presentano una differenza di NDVI (o qualsiasi altro indice ambientale come ad esempio OGVI delle immagini LFR). Tale operazione è possibile attraverso uno strumento chiamato Scatter Plot il quale mette in relazione ogni singolo pixel del raster appartenente alle due situazioni. Il risultato viene posto all'interno di assi cartesiani sottoforma di nuvola di valori, in modo tale da mettere a confronto gli alti valori di NDVI pre evento con i bassi valori di NDVI del post evento. Pertanto è possibile osservare se sono presenti aree in cui il valore non è cambiato (linea retta all'interno dello Scatter Plot) oppure è aumentato.

In quest'ultime zone è interessante capire se l'aumento di NDVI sia dovuto ad un'imprecisione del sensore dovuta alle situazioni geo-meteo-morfologiche oppure all'insediamento della rinnovazione delle specie medicina.

Questo elaborato è stato utile per confermare la precisione del Landsat 8 e comprendere meglio le caratteristiche e i compromessi da adottare nell'utilizzo del Sentinel-3, il quale non risulta idoneo per l'utilizzo in queste situazioni ma, nel caso in cui ci si trovi in grandi praterie ed in assenza di rilievi, potrebbe rivelarsi un ottimo strumento per il supporto alle analisi, permettendo la creazione di linee guida generali per la mappatura del disastro.



## **BIBLIOGRAFIA**

Brivio A. P., *Il telerilevamento da aereo e da satellite*, Italia, Delfino Carlo Editore, 1992

Brivio A. P., Lechi G., Zilioli E., *Principi e metodi di telerilevamento*, Italia, Cittàstudi, 2006

Dainelli N., *L'osservazione della Terra. Telerilevamento. Manuale teorico-pratico per l'elaborazione delle immagini digitali*, Italia, Flaccovio Flavio, 2011

Del Favero R., *I boschi delle regioni alpine italiane. Tipologia, funzionamento, selvicoltura*, Italia, CLEUP, 2013

Favretto A., *Strumenti per l'analisi geografica GIS e telerilevamento*, Italia, Pàtron, 2007

Slides corso di Telerilevamento e sistemi informativi geografici tenuto dal PhD. Pirotti F. presso l'Università degli Studi di Padova



## SITOGRAFIA

- ACRI ST. 2017. “Sentinel-3 Product Data Format Specification - Product Structures” S3IPF.PDS. (October).
- Aguirre M., Berruti B., Greco B., Bezy J.L., Drinkwater M., Heliere F., Klein U., Mavrocordatos C. 2007. “Sentinel-3.”
- Awange, Joseph, and John Kiema. 2019. *Environmental Geoinformatics*. Second Edi. Springer.
- Bellingham. 1991. Landforms Influence Patterns of Hurricane Damage: Evidence From Jamaican Montane Forests. Biotropica.
- Carraro, Vinicio. 2018. “La Furia Del Vento Che Ha Danneggiato Le Foreste Dell’arco Alpino.”
- Cat Berro, D., V. Acordon, and V. Castellano. 2018. “Scirocco Eccezionale, Mareggiate e Alluvioni in Italia Con La Tempesta ‘Vaia’. Società Meteorologica Italiana,” 2018. [www.nimbus.it](http://www.nimbus.it).
- Coder, Kim D. 2014. “Trees & Storm Wind Loads Trees & Storm” 7912.
- Díaz-delgado R., Lucas R. 2017. *The Roles of Remote Sensing in Nature Conservation*. Springer.
- Donlon, Craig. 2011. “Sentinel-3 Mission Requirements Traceability Document.”
- Drinkwater, Mark R, and Helge Rebhan. 2007. “Sentinel-3 Mission Requirements Document.”
- ESA. 2015. “Sentinel-3 Core PDGS Instrument Processing Facility ( IPF ) Implementation Product Data Format Specification - Product Structures,” no. February.
- . 2016. “GMES Space Component Sentinel-3 Payload Data Ground Segment Products Definition Document.”
- . 2018. *Sentinel-3 OLCI Marine User Handbook*.

- . 2019a. “Sentinel-3, OGVI Information.” 2019. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-olci/level-2/olci-global-vegetation-index>.
- . 2019b. “User Guide Sentinel-3, Level-2 Products.” 2019. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci/processing-levels/level-2>.
- Fellow, Postdoctoral, and Slobodan S Simonovic. 2002. “Role of Remote Sensing in Disaster Management,” 108.
- Francis, Jennifer, and Natasa Skific. 2015. “Evidence Linking Rapid Arctic Warming to Mid-Latitude Weather Patterns.”
- Franza, A. 2000. “LE APPLICAZIONI DEL TELERILEVAMENTO IN CAMPO AMBIENTALE.”
- Gardiner, Barry, Andreas Schuck, Mart-jan Schelhaas, and Lauri Hetemäki. 2013. *Living with Storm Damage to Forests What Science Can Tell Us*.
- Gregow, H, A Laaksonen, and M E Alper. 2017. “Increasing Large Scale Windstorm Damage in Western , Central and Northern European Forests .,” *Nature Publishing Group*, no. March: 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep46397>.
- Henoco, C., P. North, S. Ferron, N. Lamquin, S. Dransfeld, L. Bourg, C. Tote, and D. Ramon. 2018. “OLCI/SLSTR SYN L2 Algorithm and Products Overview,” 8723–26.
- Johnson, Donald R, Harold A Nagel, Robert C Beardsley, Richard E Orville, James R Holton, and Jesse J Stephens. 1990. *Atmospheric Process over Complex Terrain*.
- Khorram, S., H.F. Koch, C.F. van der Wiele, and S.A.C. Nelson. 2012. *Remote Sensing*. Edited by Springer.
- Lombroso, L. 2018. “Venti Impetuosi e Alberi Abbattuti: Di Cosa Si è Trattato?” [www.ilmeteo.net](http://www.ilmeteo.net).

- Ministero dell'istruzione dell'Università e della Ricerca. 2005. "3.3 Tecniche e Metodi Del Telerilevamento," 46–61.
- Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca. 2005. "3.2 Strumenti e Dati Del Telerilevamento," 24–45.
- Motta R., Ascoli D., Corona P., Marchetti M., Vacchiano G. 2018. "Selvicoltura e Schianti Da Vento. Il Caso Della 'Tempesta Vaia,'" 94–98. <https://doi.org/10.3832/efor2990-015>.
- Nardi, Adriano. 2018. "Geologia 2000." <http://geologia2000.anisn.it/>.
- Planetek Italia. 2006. "Corso Di Telerilevamento," 1–126.
- Reddy, Obi. 2018. *Geospatial Technologies in Land Resources Mapping , Monitoring and Management*. Springer.
- Regner, Peter. n.d. "Sentinel-3 Overview," 1–10.
- RUS Copernicus. 2018. "TRAINING KIT-Land Monitoring with Sentinel-3 Case Study : Cyprus, 2017," 23.
- Sansò, Federica. 2011. "Analisi Di Dati Telerilevati Ottici e Radar per La Gestione Dei Disastri: Le Alluvioni Del Bangladesh."
- Smara, Y. 2005. "Disaster Mapping in Algeria and Management Using G.I.S. and Remote Sensing Technologies," 1–8.
- Stathers, R.J., T.P. Rollerson, and S.J. Mitchell. 1994. "Windthrow Handbook for British Columbia Forest," Working Paper 9401.
- USGS. 2019a. "LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK Version 4.0 April 2019" 8 (April).
- . 2019b. "Landsat 8 Surface Reflectance Code ( LASRC ) - Product Guide" Version 2. (May).

Viro, E, A Ponomarenko, É Dehandschoewercker, D Quéré, C Clanet, E Viro, A Ponomarenko, É Dehandschoewercker, D Quéré, and C Clanet Critical. 2016. “Critical Wind Speed at Which Trees Break.” <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.93.023001>.

Zhang, Xiuying, Ying Wang, Hong Jiang, and Xiaoming Wang. 2013. “Remote-Sensing Assessment of Forest Damage by Typhoon Saomai and Its Related Factors at Landscape Scale.” *International Journal of Remote Sensing* 34 (21): 7874–86. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.827344>.