

***ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITA' DI BOLOGNA***

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-  
ALIMENTARI**

**Corso di Laurea in: Progettazione e gestione degli ecosistemi agro-territoriali,  
forestali e del paesaggio**

# **RELAZIONE FINALE DI TIROCINIO PRATICO-APPLICATIVO**

**Studente:**

**Francesco Minutella**

**Matricola n.**

**0000935179**

**Sede del tirocinio:**

**ARPAE Bologna**

**Periodo:**

**09/09/2021 al 23/12/2021**

**Tutore:**

**Prof. Federico Magnani**

## INDICE

<b>1. Descrizione dell'ente ospitante .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Introduzione all'attività di tirocinio .....</b>	<b>1</b>
2.1 Team, organizzazione e obiettivi del lavoro .....	1
2.2 Ipotesi .....	3
<b>3. Prima fase di analisi .....</b>	<b>3</b>
3.1 Inquadramento territoriale e analisi d'uso del suolo .....	3
2.4 Analisi del cambiamento d'uso del suolo .....	6
<b>4. SECONDA FASE DI ANALISI .....</b>	<b>8</b>
4.1 Telerilevamento da satellite multi-temporale .....	8
4.2 Creazione del gradiente stagionale .....	10
4.3 Scelta dell'indice Clgreen .....	12
<b>5. TERZA FASE DI ANALISI .....</b>	<b>13</b>
5.1 Analisi dei dati ottenuti .....	13
5.2 Andamento nel tempo del Clgreen .....	16
<b>6. RIFLESSIONI PERSONALI .....</b>	<b>18</b>

## 1. Descrizione dell'ente ospitante

L'Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna (ARPAE) è stata istituita nel 2015 ed è operativa dal primo gennaio 2016. Integra le funzioni di Arpa dei Servizi ambiente delle Province. ARPAE è strutturata in più sedi per unità territoriale, per garantire un presidio diretto sul territorio ed è parte del Sistema nazionale di prevenzione dell'ambiente (Snpa), costituito da Ispra e dalle Agenzie ambientali regionali e delle province autonome.

ARPAE esercita attività di autorizzazione, concessione, monitoraggio dello stato ambientale, vigilanza e controllo e analisi analitiche e aggiunge, alle attività di tutela ambientale, quelle rivolte al campo dell'energia.

Inoltre, l'agenzia si impegna anche nello sviluppo di sistemi e modelli di previsione per migliorare il monitoraggio e la conoscenza dei sistemi ambientali e dei fattori sia antropici che naturali che su di essi incidono, monitorando le nuove forme di inquinamento e di degrado degli ecosistemi.

L'operazione di prevenzione, da parte della Regione Emilia-Romagna, è svolta con una visione ampia attribuita alla complessità ambientale declinata affiancando, al presidio dei territori, anche la progettualità e il sostegno allo sviluppo sostenibile. L'Agenzia favorisce la sostenibilità delle attività umane che influiscono sull'ambiente, sulla salute, sulla sicurezza del territorio, sia attraverso i controlli previsti dalle norme, sia attraverso attività di prevenzione nel rilascio delle autorizzazioni ambientali e concessioni, studi, progetti, comunicazione ambientale.

ARPAE ha un ruolo chiave anche nell'osservazione, previsione, ricerca e sviluppo in campo meteorologico e climatologico, affrontando le tematiche conoscitive alla base delle politiche di adattamento e mitigazione del cambiamento climatico, così come svolge importanti studi di ricerca nell'ambito dei temi epidemiologici e tossicologici connessi al complesso binomio ambiente-salute. La mission dell'Agenzia è dunque: "assicurare le autorizzazioni e concessioni, il monitoraggio, il controllo e la prevenzione ambientali per favorire la sostenibilità, la tutela della salute, la sicurezza del territorio e la valorizzazione delle risorse e della conoscenza ambientale".

## 2. Introduzione all'attività di tirocinio

### 2.1 Team, organizzazione e obiettivi del lavoro

Ho svolto le attività di tirocinio presso l'osservatorio ARPAE Idro-Meteo-Clima con sede a Bologna, insieme a due colleghi del mio stesso corso di studio (PROGESA) e ai tecnici dell'ente ospitante.

I tecnici hanno creato un portale Google Drive di lavoro e poi abbiamo stilato insieme una scaletta di lavoro con l'obiettivo di **valutare gli impatti del cambiamento nell'uso del suolo sul microclima locale attorno a stazioni climatologiche** di storica importanza quali: Campigna, Rocca San Casciano e Verghereto, in provincia di Forlì-Cesena situate nell'area dell'Appennino Tosco-Romagnolo.

Fin da subito mi sono appassionato al tema d'analisi attinente alle competenze pregresse, inoltre è stato motivante il fatto che anche per i tecnici ARPAE risultava un obiettivo fuori dai canoni; a parità di competenze, ciò a reso il lavoro orizzontale.

Per fornire una chiave di lettura riassuntiva, elenco per sommi capi le attività di tirocinio svolte:

- 1) Ricerche in letteratura;
- 2) Ricerche in ambiente GIS WMS della Regione Emilia-Romagna;
- 3) Utilizzo delle cartografie storiche del Geoportale Moka;
- 4) Utilizzo di Google Drive per la condivisione dei lavori con il gruppo di lavoro
- 5) Utilizzo dei servizi cartografici della Regione Emilia-Romagna per ottenere le mappe d'uso del suolo;
- 6) Utilizzo del portale ARPAE "Dext3r" per ottenere i dati climatologici;
- 7) Utilizzo del software R per le analisi degli annali climatici;
- 8) Creazione di Function loop in linguaggio R per il pre-processing dei dati climatici;
- 9) Conoscenza di nuove library in ambiente R per l'elaborazione del termoudogramma;
- 10) Utilizzo di Excel per graficare e Foglio Google per elaborare i dati ottenuti;
- 11) Utilizzo del servizio USGS per ottenere immagini ottiche acquisite da satellite (L5 e L8);
- 12) Utilizzo del software QGIS per l'intera durata del tirocinio:
  - a) plug-in Geocoding per individuare punti di precise coordinate;
  - b) plug-in GRASS per la pre analisi;
  - c) algoritmi di logica computazionale tramite il calcolatore di campi e il selezionatore di attributi;
  - d) operazioni raster e tra raster con tool RasterCalculator;
  - e) plug-in SCP per elaborare i dati satellitari;

## 2.2 Ipotesi

Ponendo attenzione agli annali dell'andamento delle temperature, i rilevamenti delle stazioni climatologiche ARPAE dovrebbero mostrare un aumento delle temperature; ciò è contestualizzato al surriscaldamento globale che ha modificato il clima delle ultime decadi (2001-2020) rispetto al trentennio climatologico di riferimento (1961-1990).

Tuttavia, si riscontano anomalie di abbassamento delle temperature rilevate dalle tre stazioni ARPAE precedentemente citate. Si parla dunque di **"raffrescamento termico"** allo spostamento delle stazioni da un punto all'altro e all'avanzamento della tecnologia di rilevamento dati.

Mi sono dunque documentato in letteratura e dai GIS WMS, per considerare alcuni casi simili e ottenere dei termini di paragone sul fenomeno.

La serie storica della stazione di Porretta è stata eliminata dagli annali perché nel tempo la stazione ha subito uno spostamento significativo, influenzando la bontà dei dati rilevati. Per motivi di praticità logistica il termometro fu spostato nelle vicinanze dell'idrometro, lungo il greto del fiume, abbassando di qualche grado le temperature rilevate e rendendo inutilizzabile l'intera serie storica, causando così una perdita di conoscenza sugli andamenti climatologici.

Un altro esempio caratteristico del fenomeno è il caso del giardino fenologico di San Pietro Campofiume in pianura padana dove la vegetazione non ha presentato fasi fenologiche anticipate rispetto al contesto agroforestale influenzato dal cambiamento climatico. Il sesto d'impianto del giardino è stato collocato fra due fasce boschive. È ipotizzabile che l'aumento delle temperature delle ultime decadi sia stato tamponato da questa vegetazione arborea preesistente, causando il raffrescamento termico e mantenendo quindi l'equilibrio fenologico del giardino sperimentale.

L'analisi porta il focus sulle anomalie termiche rilevate dalla stazione climatologica di Campigna [IDROST] a quota di 1068m, alle pendici del Monte Falco sul versante romagnolo, nella Riserva naturale Casentinese.

L'ipotesi è che ci siamo posti è che **correlazione tra il raffrescamento termico e la vegetazione**.

Incuriosito dal fenomeno, quando i tecnici ci hanno fatto scegliere una delle tre stazioni da prendere in analisi, immediatamente mi sono proposto per la stazione di Campigna, cominciando a svolgere una analisi preliminare del contesto territoriale.

## 3. PRIMA FASE DI ANALISI

### 3.1 Inquadramento territoriale e analisi d'uso del suolo

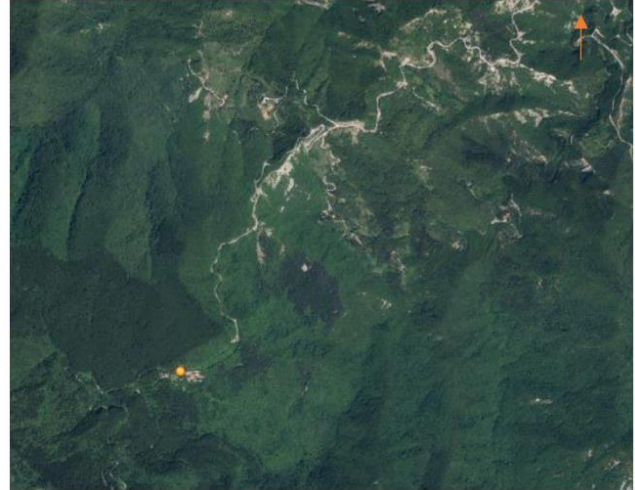
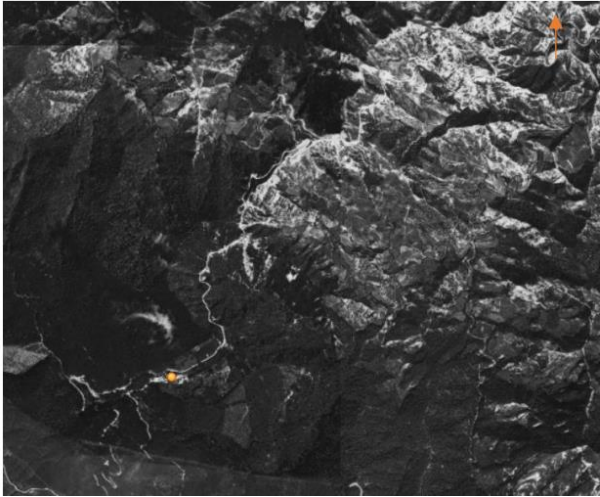
La serie storica di Campigna registra un raffrescamento delle temperature e anche in questo caso è avvenuto lo spostamento della stazione, fattore da considerare non significativo per spiegare il fenomeno di anomalia termica.

La storia delle popolazioni dei territori montani della Romagna è da sempre intrecciata a quella degli ambienti naturali: da queste foreste proveniva il legname per il cantiere fiorentino dell'Opera del Duomo, oppure per costruire le potenti flotte di Pisa e Livorno. Qui il Benedettino S. Romualdo, agli albori del millennio, iniziò a piantare abeti bianchi, dando origine a quella che ora risulta essere una foresta secolare di conifere.

Dal dopoguerra a oggi è storicamente riconosciuto l'esodo della popolazione verso la pianura, in cerca di una vita più agiata rispetto alla dura realtà di fame e freddo del territorio montano. Ciò ha

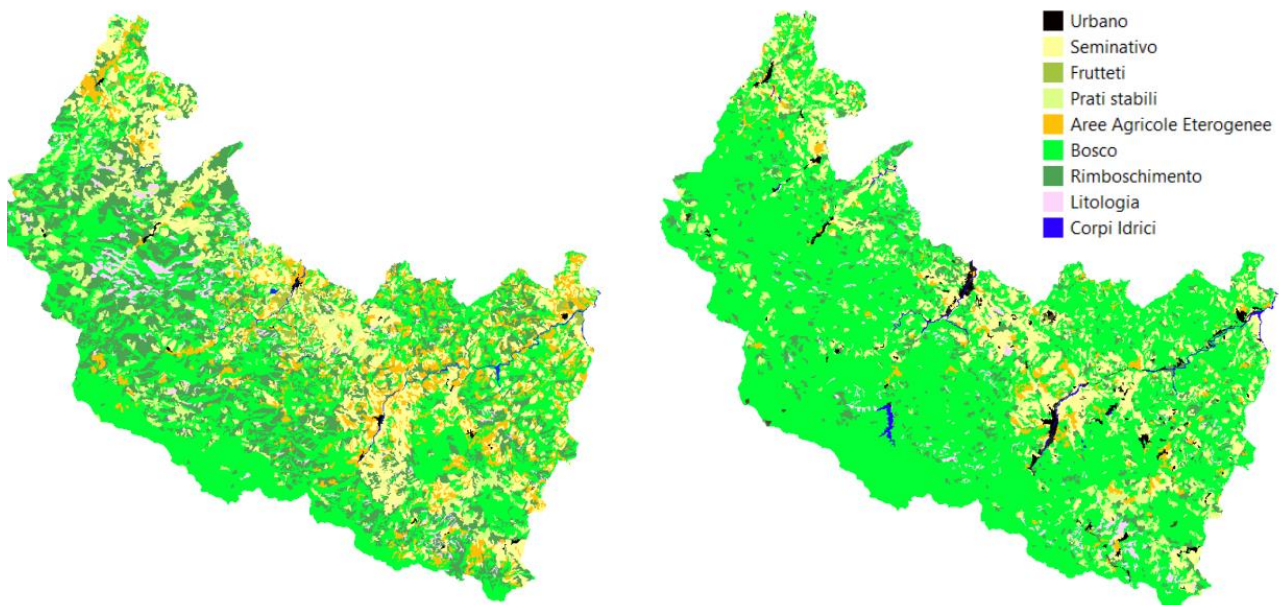
portato dunque a un abbandono dei campi agricoli e delle foreste da legna, favorendo la successione secondaria della vegetazione.

Da una prima analisi di confronto, fra la cartografia del volo IGMI GAI del 1954 e la relativa area rilevata da satellite aggiornata al 2017, salta all'occhio come gli affioramenti marnosi e calanchivi siano stati soggetti all'espansione della foresta attorno alla stazione di Campigna.



Mettendo in pratica le competenze acquisite durante il corso di “Inventari e Pianificazione Forestale” ho pensato che le dinamiche ambientali e socio-culturali sono esplicitate dal confronto tra la classe dei boschi e quella dei seminativi: enunciano forme di abbandono dei coltivi a seminativo ma anche dei prati stabili e delle aree agricole. Infatti, le zone a copertura boschiva dello strato d'URS del 1954 (a sinistra) si espandono nello strato aggiornato al 2011.

Ho eseguito un'analisi temporale dell'uso in ambiente QGIS, sfruttando il materiale didattico fornitoci dal professor Magnani nei precedenti esami.



L'immagine a sinistra rappresenta l'URS del 1954, l'immagine a destra rappresenta l'URS del 2008: gran parte degli insediamenti umani si sono sviluppati lungo i movimenti delle arterie acquifere, si nota la comparsa di uno specchio d'acqua verso sud-ovest, l'attuale Diga dei Ridracoli.

Le riforestazioni e il recupero dei suoli nudi venivano eseguite con specie di conifere, alloctone rispetto al territorio in esame.

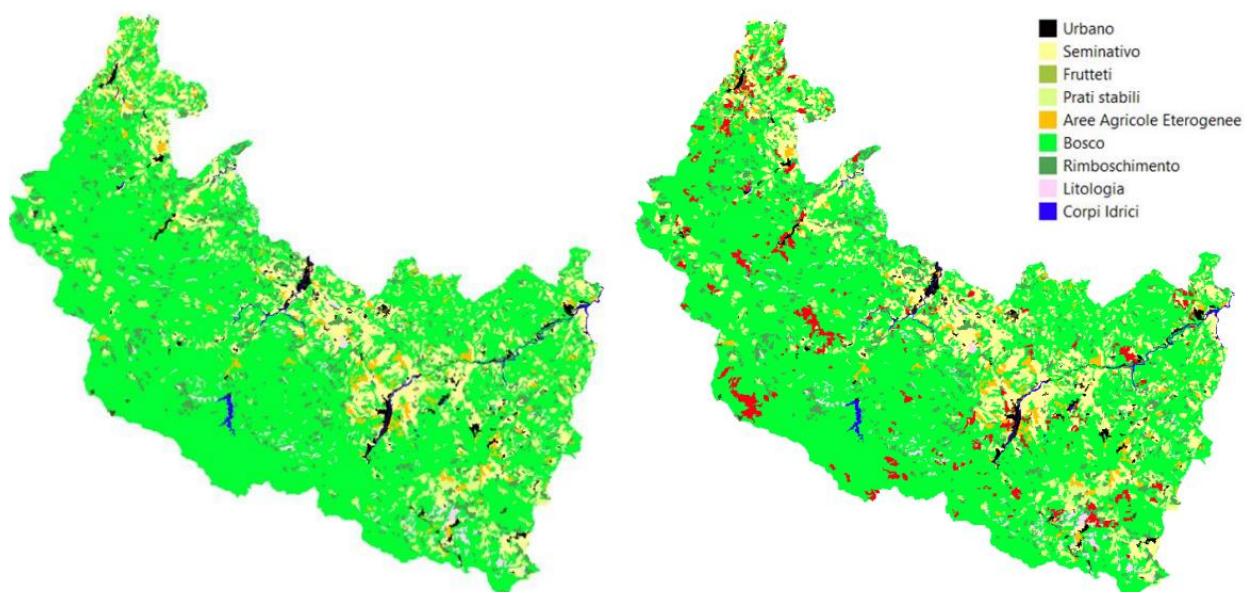
Ho discriminato ciò che è stato riforestato (conifere) da ciò che si trova in fase di successione naturale (latifoglie), attraverso un algoritmo condizionale booleano di selezione.

esempio: `if (("Tipologia" = "Abete_bianco") OR ("Tipologia" = ...),1,0)`

Dalla mappa vettoriale d'URS 2008 con il nuovo campo ho zonizzato le superfici corrispondenti alla classe CORINE "Ba", relativa alle "Formazioni di conifere adulte" e sovrapposte alla mappa raster dell'URS 2008, tramite la funzione [r.coin] di GRASS, creando la matrice di confronto per identificare quanta superficie di una determinata classe è coperta da conifere o da altro (per esempio da latifoglie).

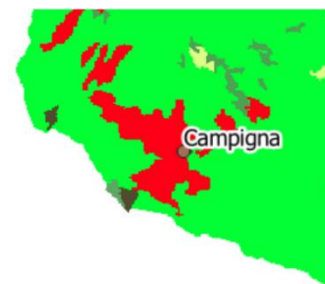
URS_2008	conifere (ha)	altro (ha)	Totale (ha)
110 Zone urbanizzate	6,12	684,16	690,28
121 Zone industriali	0,14	178,92	179,06
122 Reti ferroviarie e stradali	0,07	117,2	117,27
130 Zone estrattive e discriche	0,36	44,34	44,7
140 Zone verdi urbane e impianti sportivi	0,64	88,68	89,32
210 Seminativi e Seminato arborato	27,27	9726,93	9754,2
212 Colture specializzate miste orti vivai colture sotto tunnel	0	2,49	2,49
220 Uliveti e frutteti	0,21	61,42	61,63
221 Vigneti	0,07	56,01	56,08
224 Colture da legno specializzate	0,14	85,12	85,26
231 Prati stabili	11,46	3281,31	3292,77
240 Aree agricole eterogenee	5,69	1758,62	1764,31
310 Formazioni boschive	2690,03	52890,21	55580,24
320 Cespuglieti e rimboschimenti recenti	13,81	4792,4	4806,21
321 Praterie e brughiere cacuminali	0	7,83	7,83
330 Zone a prevalente affioramento litoide	5,62	1315,23	1320,85
511 Corsi d'acqua	0,28	265,89	266,17
512 Corpi d'acqua (laghi bacini)	0,28	113,8	114,08
Totale (ha)	2762,19	75470,56	78232,75

Nell' immagine successiva si nota la presenza dei rimboschimenti antropici, a copertura di conifere (in rosso), che risulta essere abbastanza presente.





Riporto il dettaglio dei dintorni di Campigna, in cui è riconoscibile la sagoma della foresta secolare di conifere (in rosso), instaurata dal Benedettino Romualdo.



## 2.4 Analisi del cambiamento d'uso del suolo

Da questi assunti è sorta spontanea la necessità di parametrizzare l'espansione della vegetazione attorno alle tre stazioni di riferimento: Campigna, Rocca San Casciano e Verghereto, evidenziando l'importanza della copertura arborea rispetto all'impatto del cambiamento climatico, così da poter creare fattori di scalatura per implementare i set di dati delle stazioni escluse dalla rete di monitoraggio climatologico, perché affetti da tali fenomeni anomali.

La prima fase di analisi consiste nella valutazione del cambio d'uso del suolo nel passare del tempo, così da poter discriminare le aree a copertura vegetata da ciò che invece non risulta essere territorio agro-forestale.

Dalle mappe vettoriali d'uso reale del suolo della Regione Emilia-Romagna, relative all'anno 1853, 1954, 1976, 1994 e 2017 ho creato in ambiente QGIS un nuovo campo nella tabella attributi per ogni mappa. Tramite algoritmo condizionale ho accorpato le differenti sottoclassi CORINE Land Cover definendo così una variabile d'appoggio "Macro", utile esclusivamente all'indagine.

È stato molto gratificante essermi accorto di un piccolo errore di distrazione nella tabella rifatta dai tecnici, fornitaci per svolgere la procedura, errore che se spalmato per tutta l'analisi avrebbe causato una importante sovrastima e sottostima delle relative classi. Riporto la mail della gentile disponibilità dei tecnici.

### Ricalcolo dati pixel uso suolo 1976 Posta in arrivo X

**Pirola, Alessandro** <apirola@arpae.it>

a Chiara, Tommaso, me, Efthymia

Ciao a tutti,

Vi ricordate che l'anno 1976 dava degli strani valori per Verghereto e Campigna.

Ebbene, parlando con Francesco abbiamo scoperto che solo nel 1976 i codici per conifere e boschi misti sono stati invertiti nella classificazione dell'uso del suolo.

Carico la tabella per capirci meglio:

Descrizione	Sottocategoria	1853	1954	1976	1994	2017	Macro
Superfici artificiali		1	1	1	1	1	1
Aree agricole		2.1, 2.2	2 tranne 2f	2.1, 2.2	2.1, 2.2	2.1, 2.2	2
Foreste ad aree seminaturali	Foreste conifere	/	/	3.1.3	3.1.2	3.1.2	31
	Foreste latifoglie e miste (con castagneti)	3.1	3a	3.1.1, 3.1.2, 3.1.4	3.1.1, 3.1.3, 3.1.4	3.1.1, 3.1.3, 3.1.4	32
	Aree seminaturali	3.2, 3.3, 2.3	3b-e, 2f	3.2, 3.3, 2.3	3.2, 3.3, 2.3	3.2, 3.3, 2.3	30
Aree umide		4	4	4	4	4	4
Corpi d'acqua		5	5	5	5	5	5

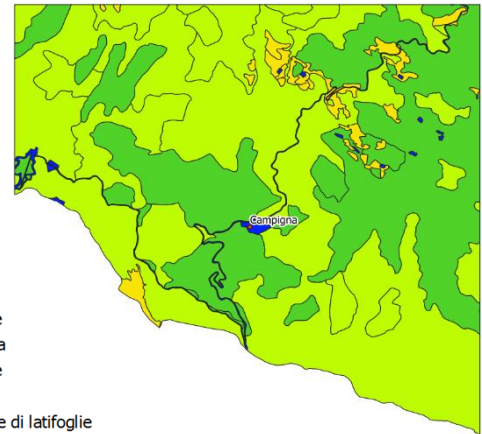
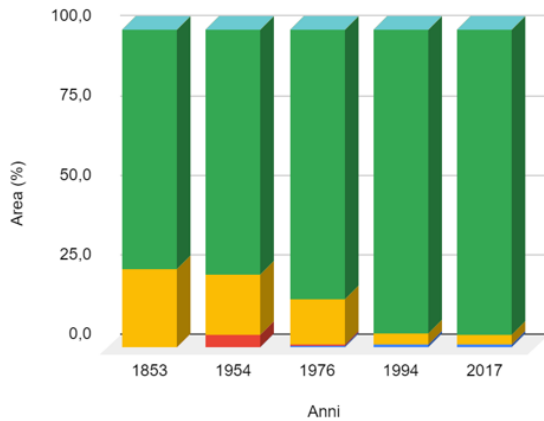
Ecco il motivo dei valori anomali.



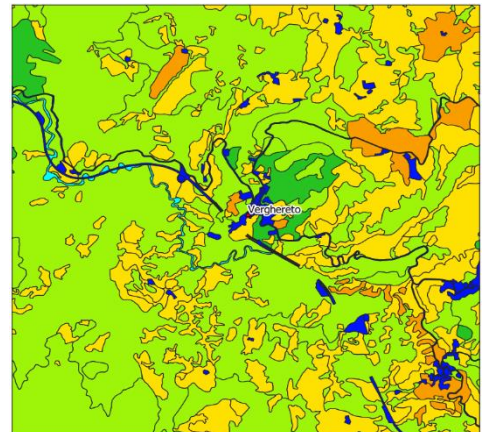
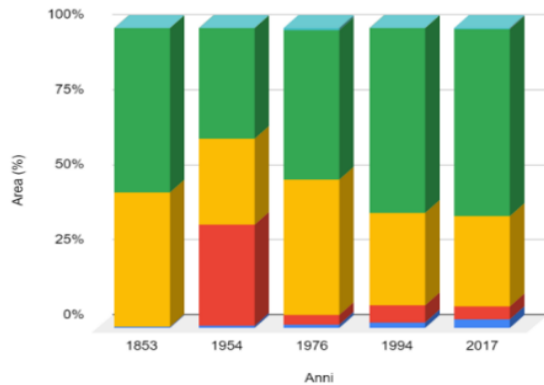
L'espansione della foresta col passare del tempo risulta essere maggiore in Campagna, attribuibile al fenomeno dell'esodo delle popolazioni locali verso la pianura, meno in Verghereto e ancor meno in Rocca San Casciano, che presenta la maggiore superficie coperta dalla classe "Antropizzato".



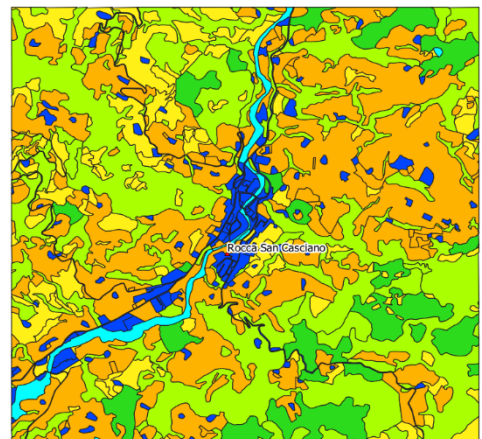
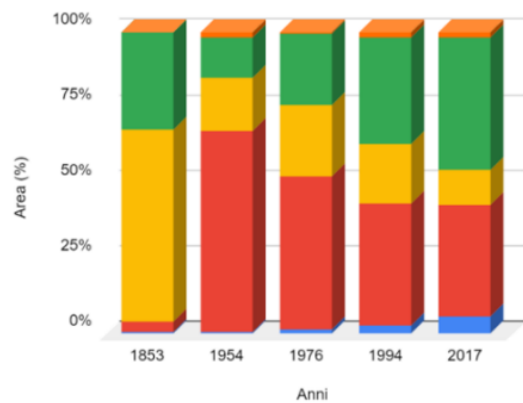
Cambio d'uso del suolo di Campagna



Cambio d'uso del suolo di Verghereto



Cambio d'uso del suolo di Rocca SanCasciano



## 4. SECONDA FASE DI ANALISI

### 4.1 Telerilevamento da satellite multi-temporale

Ho preso in dettaglio l'andamento della vegetazione attraverso un'analisi da telerilevamento satellitare multi-temporale.

Ho svolta una ricerca di immagini ottiche sul portale USGS, relative alle principali date d'interesse: 1985, 2000 e 2015.

Abbiamo scelto il dataset Landsat, ragionando sul fatto che dal 1972 i satelliti Landsat hanno costantemente raccolto ed archiviato fotografie digitali della Terra, permettendo di monitorare e studiare numerose e differenti problematiche, prestandosi bene ad analisi multi-temporali (rispetto all'archivio Sentinel).

Degli anni presi in questione sono state scaricate immagini che si riferissero all'estate, all'autunno e all'inverno di ogni anno, con l'idea di ricostruire un andamento fenologico stagionale.

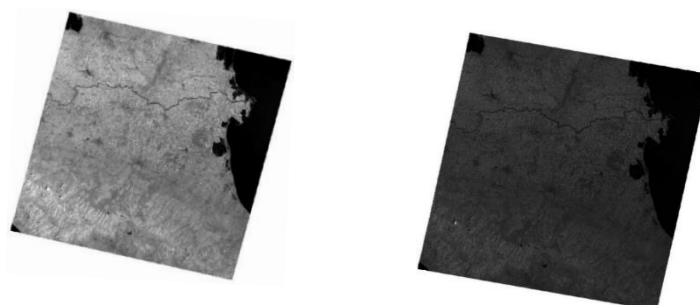
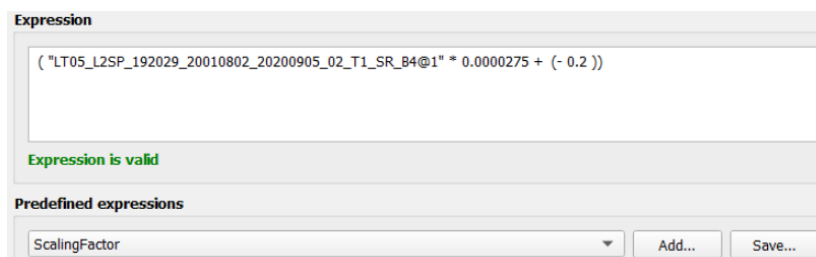
Trovare immagini ottiche di qualità non è un'operazione immediata.

Mi è capitato che il territorio in esame era coperto da nuvole, cirri, neve, ombre, che avrebbero causato un errore nella stima dei valori delle firme spettrali.

Alla luce di ciò si spiega perché abbiamo dovuto approssimare le date di acquisizione delle immagini piuttosto che spalmare l'errore su tutta l'analisi.

Infatti, le date non sempre corrispondono agli anni prefissati, proprio perché non è possibile decidere a priori una data precisa, garantendo una adeguata pulizia delle immagini. Inoltre, per lo stesso motivo, l'archivio di ricerca può non essere univoco; infatti, che le immagini ho dovuto scaricare dall'USGS immagini appartenenti all'archivio Landsat5 e Landsat8.

Prima di utilizzare i dati, è necessario applicare un fattore di scala di riflettanza e temperatura superficiale ad ogni pixel di ogni banda, per trasformare i valori di riflettanza in valori fisici assoluti di radianza al sensore (Pre-processing); ciò è automatico tramite l'uso del plug SCP in QGIS, ma per imparare una nuova tecnica ho preferito farlo semi-automaticamente, inserendo l'equazione necessario alla trasformazione nel tool RasterCalculator di QGIS.



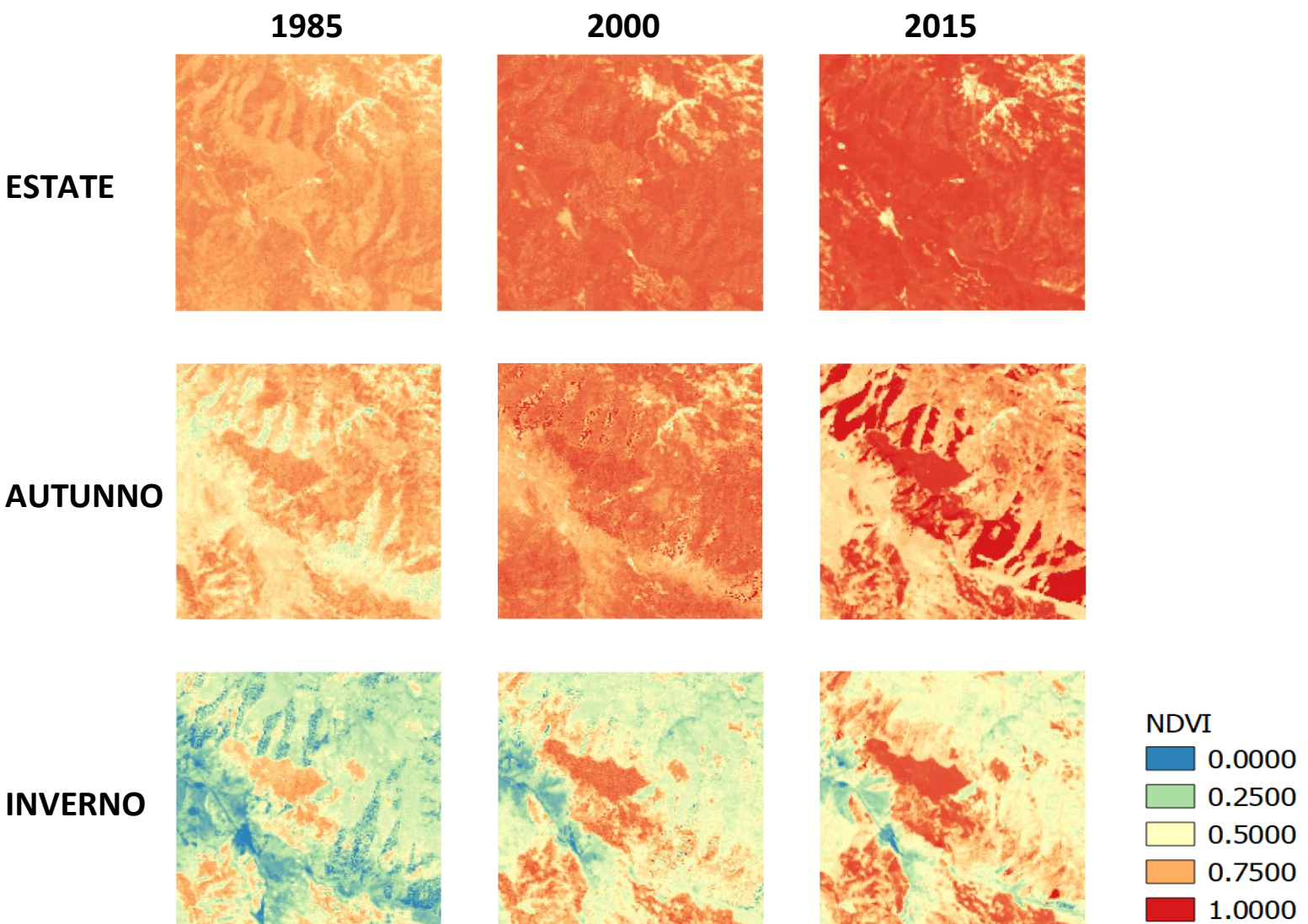
La procedura di preparazione dei dati vede poi la realizzazione di un raster multibanda per ogni anno considerato (1985, 2000, 2015) che comprende le quattro bande di interesse, corrispondenti alle lunghezze d'onda del Blu, Verde, Rosso e NIR; da Landsat5, sono state scelte le bande 1,2,3 e 4, mentre per le immagini ottenute da Landsat8 sono state scelte le bande 2,3,4 e 5.

Dopo l'operazione di stacking ho alleggerito la mole di dati ritagliando il raster multibanda nei dintorni delle stazioni climatologiche sotto indagine. In questo modo ho ottimizzato le tempistiche di calcolo del software.

Dalle immagini multibanda ottenute (file\_stack) ho calcolato nel RasterCalculator diversi indici di vegetazione quali: NDVI, EVI, MTVI, Clred, Clgreen. Tra questi il più interessante al fine dell'analisi si è rivelato essere il Clgreen, ancora poco studiato e usato in ambito agro-forestale.

Per ottenere un buon confronto abbiamo deciso di paragonarlo all'indice più utilizzato e di cui si trova più materiale in letteratura, ossia l'NDVI.

Le immagini seguenti rappresentano il calcolo di NDVI delle stagioni degli anni presi in esame, si vede come i valori di NDVI per Campigna aumentano nel tempo. Ciò però mi ha indotto a notare una problematica nella discriminazione delle tipologie forestali per Campigna, soprattutto d'estate: l'indice NDVI perde di sensibilità al passare del tempo, ossia all'aumento della densità del Bosco (il 1985 più definito del 2015).





#### 4.2 Creazione del gradiente stagionale

Ho unito queste nove immagini in uno stack [ **EAI\_850015** ] nel seguente ordine fondamentale:

- 1985\_ Estate, Autunno, Inverno
- 2000\_ Estate, Autunno, Inverno
- 2015\_ Estate, Autunno, Inverno

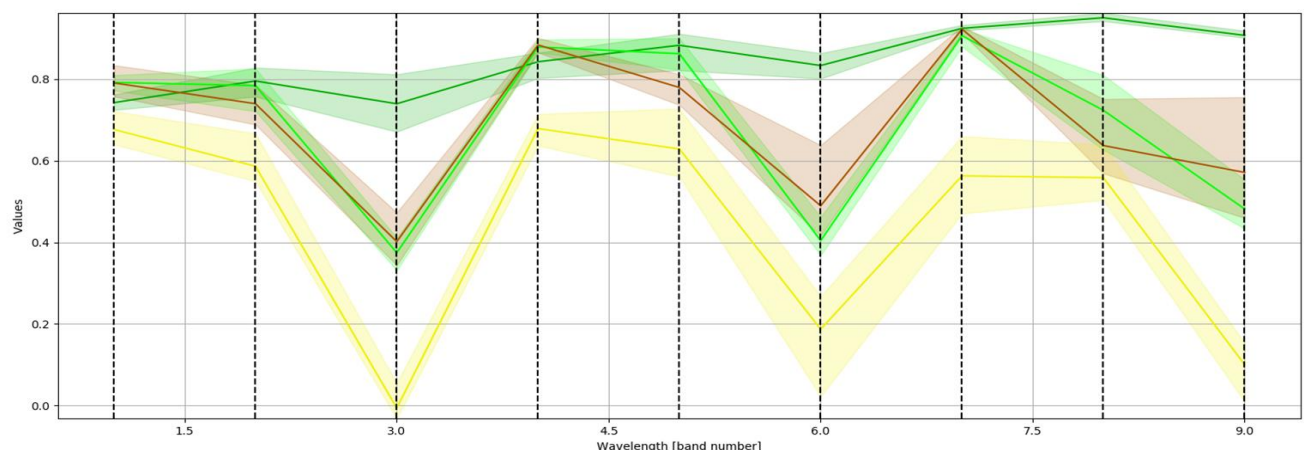
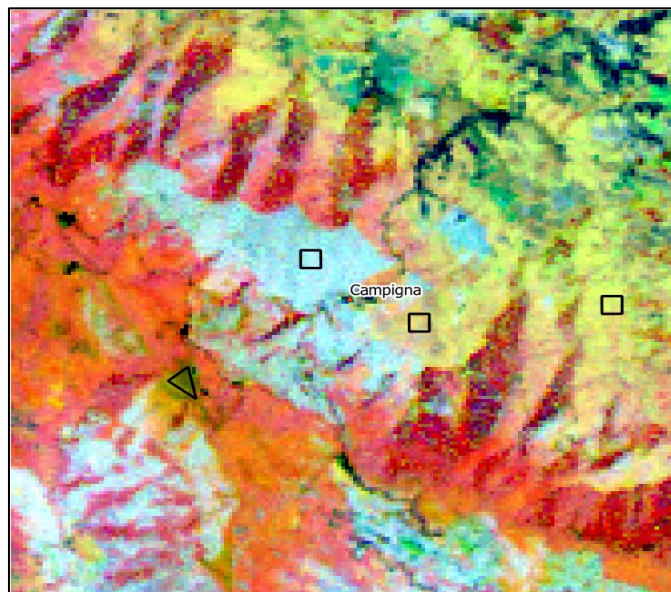
così da creare un gradiente di fisiologia vegetale che seguisse un andamento stagionale.

Ho svolto questa operazione anche per gli altri indici precedentemente elencati, tra cui il Clgreen che è stato oggetto di confronto con l'NDVI.

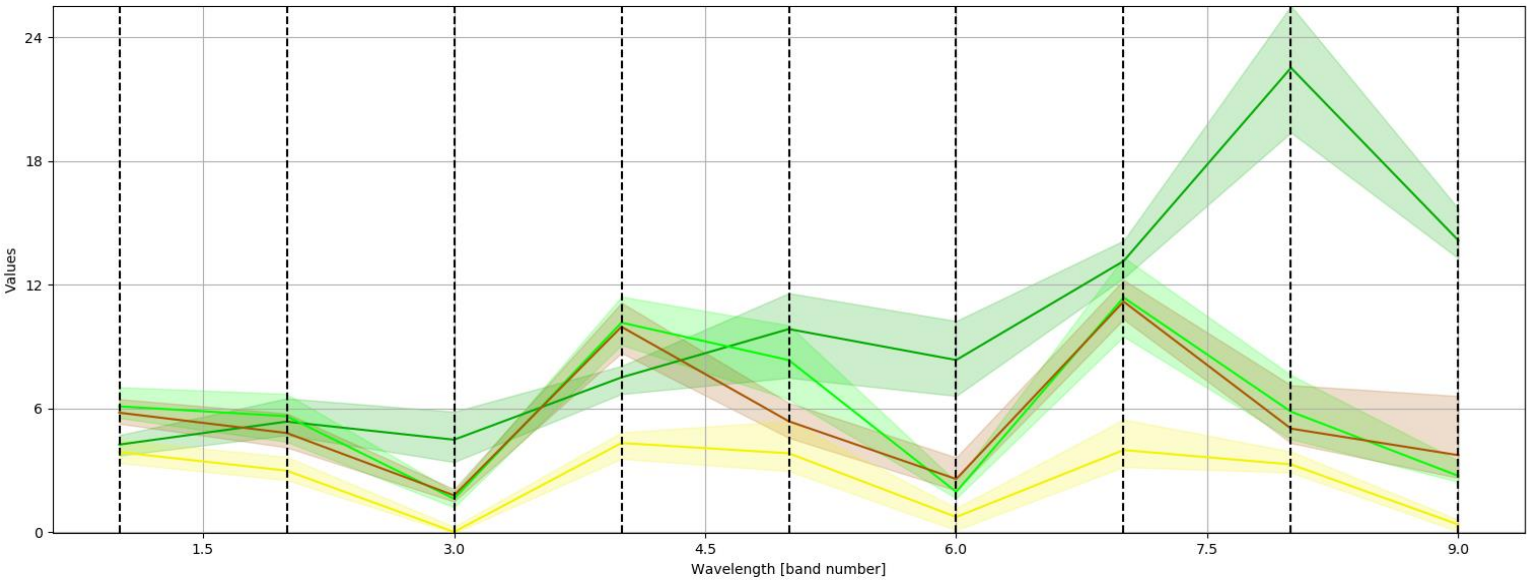
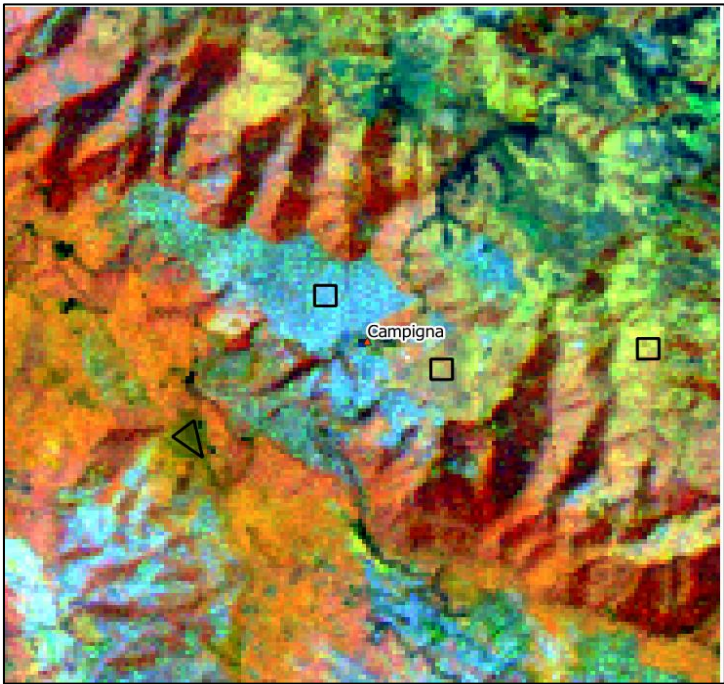
Sullo stack del gradiente stagionale [ **EAI\_850015** ] ho individuato delle tipologie forestali di interesse quali: Prati, Latifoglie, Faggete e Conifere. A tale scopo ho sovrapposto i relativi clip delle mappe d'URS di ogni anno, cercando di ottenere delle ROI (Region of Interest) temporalmente omogenee. Per fornire robustezza all'analisi si è scelta una misura univoca delle ROI di dieci pixel: ho considerato come fattore limitante la tipologia d'URS a minor copertura e di conseguenza ottenere le ROI di ugual misura.

Dalle ROI ho estratto le firme spettrali attraverso SCP Dock per ogni tipologia forestale riferite agli indici studiati. Di seguito riportano gli output SCP Dock delle firme spettrali dell'NDVI e del Clgreen attorno alla stazione di Campigna.

**NDVI**



Clgreen



SCP Dock

Home

Training input

ROI options

ROI & Signature list

Filter

MC ID	C ID	Name	Type	Color
1		<b>Clgreen</b>		
✓ 1	1	Conifere	R&S	
✓ 1	2	Latifoglie	R&S	
✓ 1	3	Faggio	R&S	
✓ 1	4	Prato	R&S	

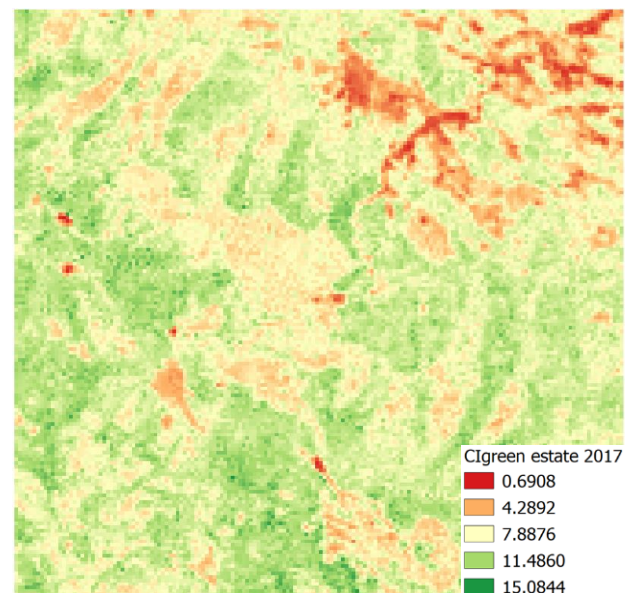
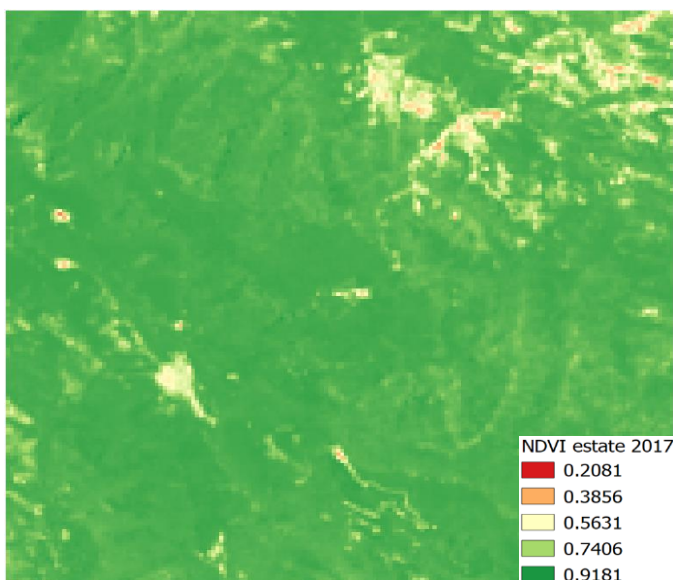
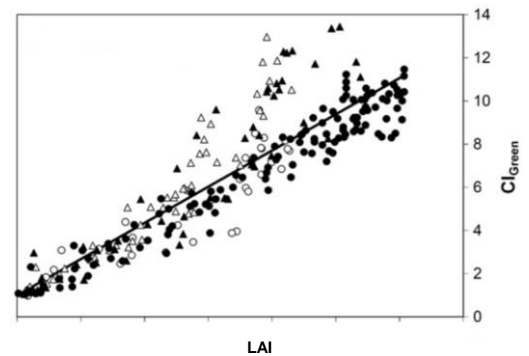
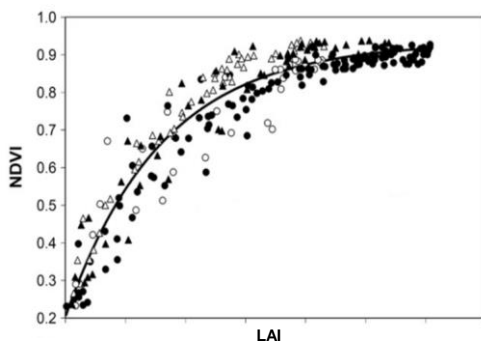
Il grafico va interpretato considerando le verticali tratteggiate come le stagioni di riferimento, posizionate nell'ordine di stacking [ **EAI\_850015** ].

Si nota subito che l'NDVI rispetto al Clgreen non discrimina bene le firme spettrali.

#### 4.3 Scelta dell'indice Clgreen

Alla luce di ciò è bene considerare la relazione funzionale tra gli indici studiati e la densità della vegetazione: la relazione fra NDVI e LAI è di tipo logaritmico: ad alti valori di LAI (>4) la funzione tende a saturare e l'indice diviene poco sensibile ad elevate densità di vegetazione, mentre la relazione fra Clgreen e LAI è di tipo lineare.

All'atto pratico si nota una migliore discriminazione del territorio, che fornisce dunque un'interpretazione più veritiera della situazione a terra, che ha portato a considerare con gran stupore di tutto il gruppo, tecnici ARPAE compresi, il Clgreen come indice vegetazionale rappresentativo per questo tipo di analisi.

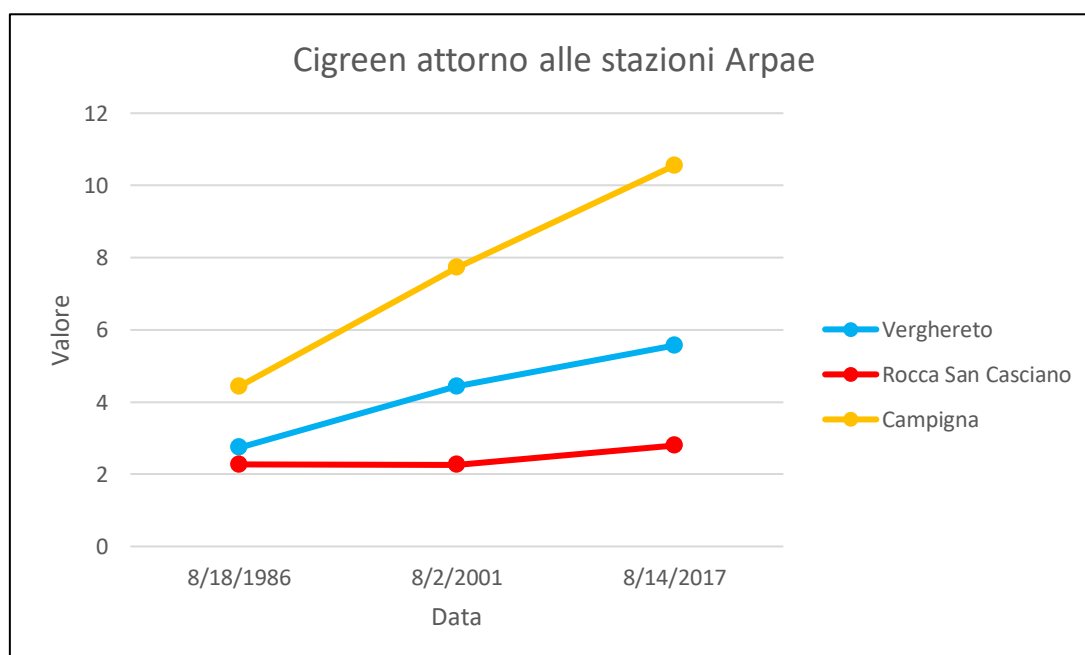
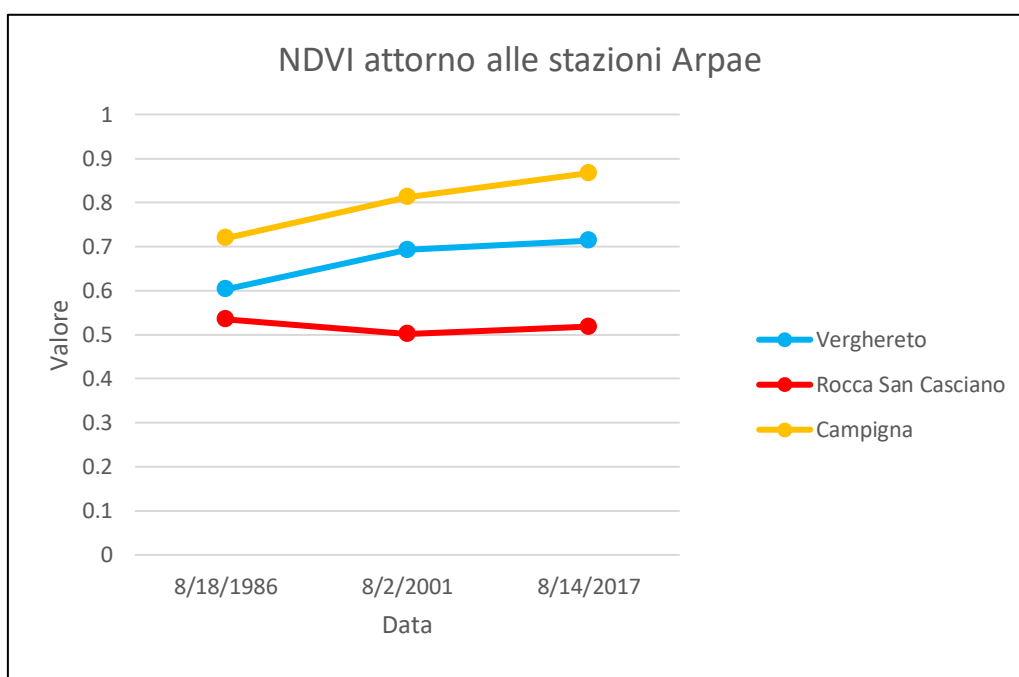


Il Clgreen fornisce un range maggiore di analisi rispetto all'NDVI, infatti prendendo esempio i Prati, colorati in giallo nella immagine NDVI, si può affermare che rilevano valori poco realistici rispetto alla stagione estiva. In estate i prati dovrebbero presentarsi secchi e quindi con un valore di NDVI molto più basso (0.1-0.2), invece gli stessi appezzamenti nell'immagine il Clgreen rappresentano meglio la realtà, con valori contestualmente molto bassi.

## 5. TERZA FASE DI ANALISI

### 5.1 Analisi dei dati ottenuti

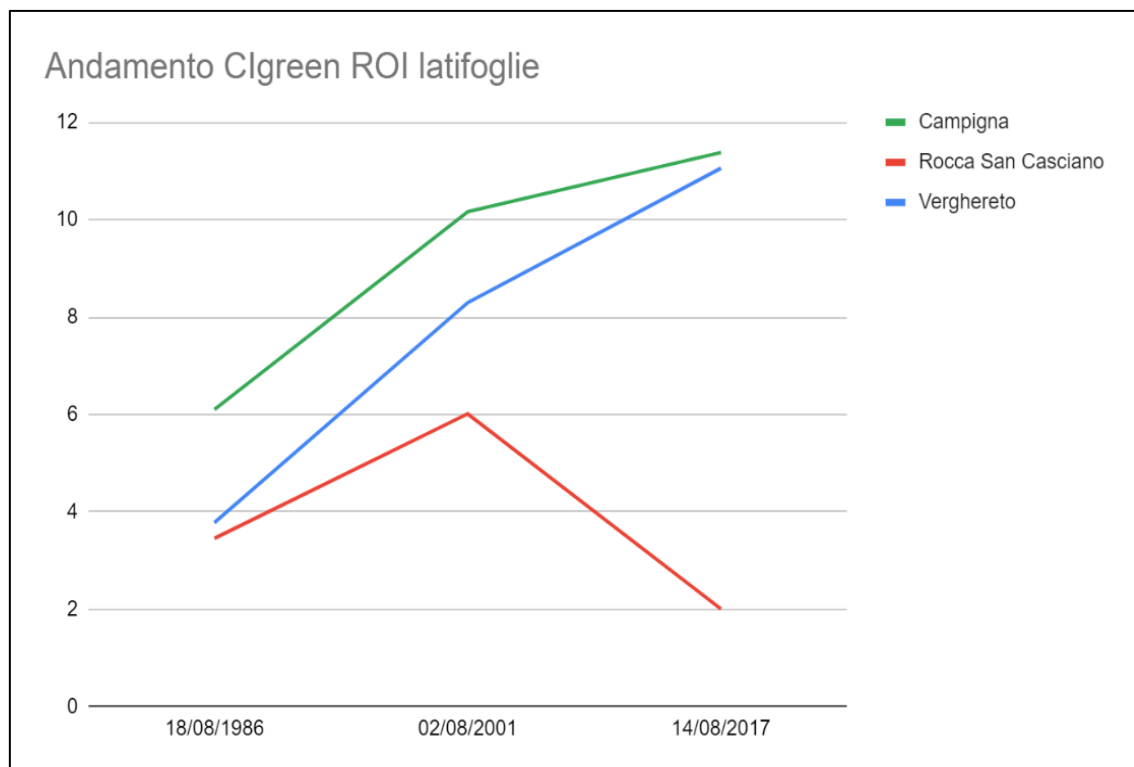
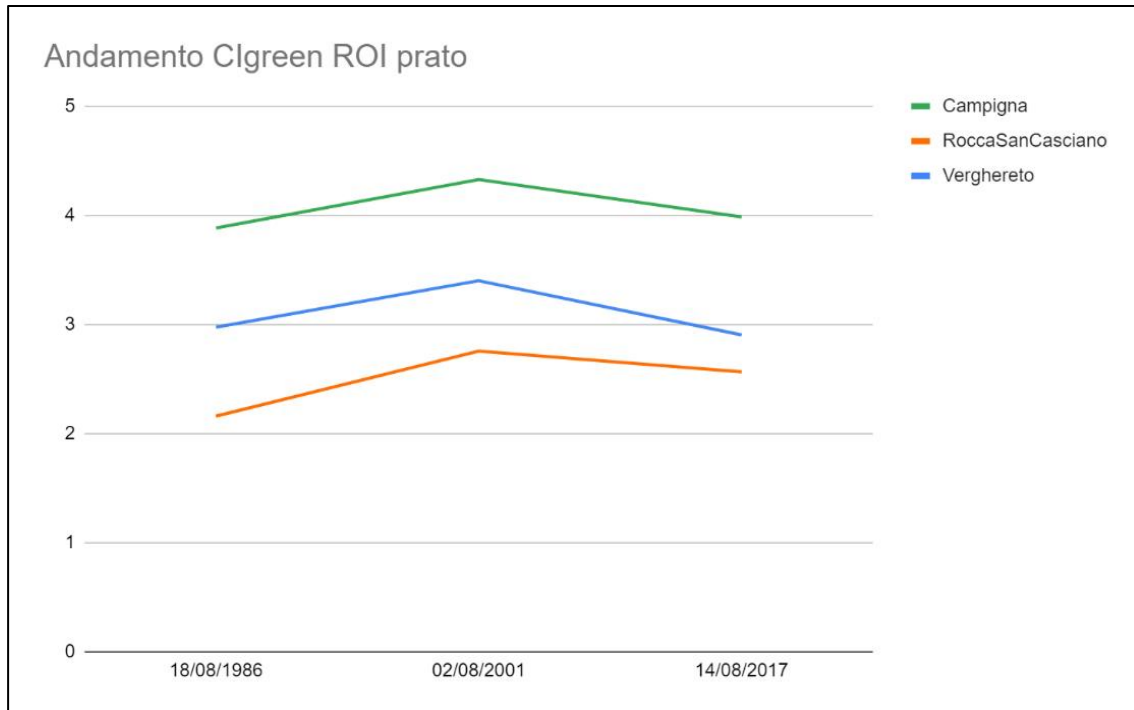
Da queste operazioni sono state estratte le firme spettrali, da cui ho elaborato diversi grafici in ambiente Excel riportati poi in Google Drive, mettendo in funzione le tipologie forestali con i diversi indici studiati, soffermandomi soprattutto sull' NDVI e Cigreen. I grafici più rappresentativi sono i seguenti:





I grafici rappresentano i valori medi delle firme spettrali ed enunciano la miglior sensibilità del Clgreen ad elevate densità vegetali. Infatti, la forbice del range è molto più ampia per il Clgreen, dimostrando che per Rocca San Casciano i livelli medi sono rappresentativi dei valori tipici di un prato, mentre per Campigna i valori rappresentano i valori tipici di una foresta di latifoglie.

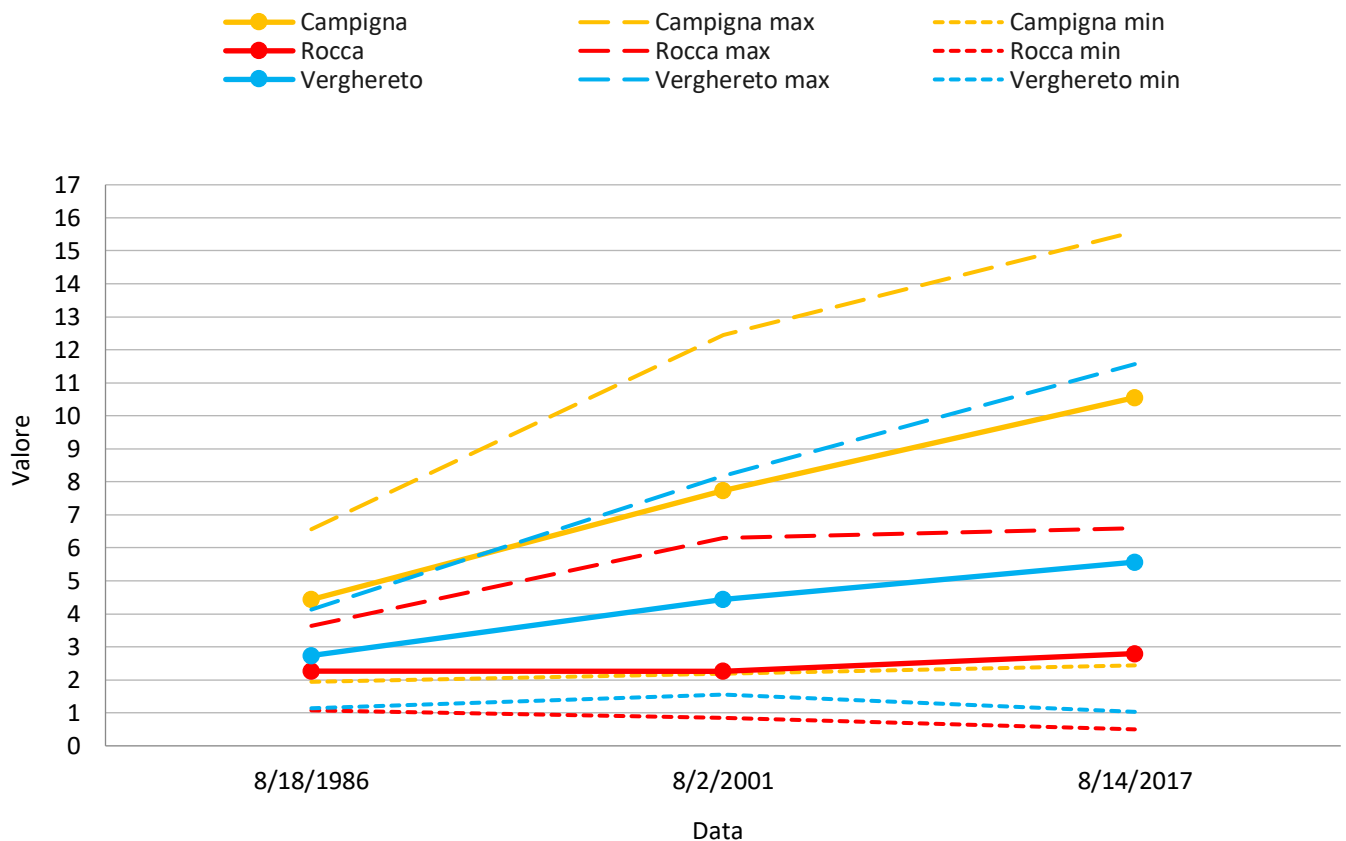
A conferma di ciò, di seguito si riportano i grafici degli esempi significativi relativi alle tipologie forestali.



Il problema della media è quello di non rappresentare al meglio le particolarità di ogni andamento; dunque, si è proceduto a estrarre i massimi e i minimi delle firme spettrali del Clgreen.

A sostenere la tesi, riporto il grafico elaborato insieme a uno dei colleghi di tirocinio in cui si nota che l'andamento medio di Rocca San Casciano rientra in un range tra 2 e 3 (tipico di un prato) e combacia con l'andamento dei valori minimi di Campigna.

### Clgreen attorno alle stazioni Arpae: massimi e minimi



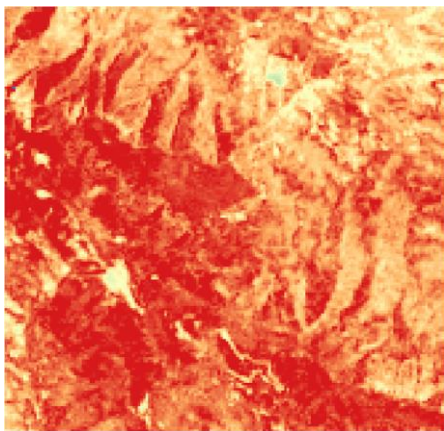
### 5.2 Andamento nel tempo del CIgreen

Successivamente abbiamo deciso di creare altre ROI di 10x10 pixel attorno a ogni stazione, al fine di calcolare il CIgreen per l'estate di ogni anno [ E\_850015 ] e sviluppare degli andamenti temporali attraverso l'operazione Raster di sottrazione:

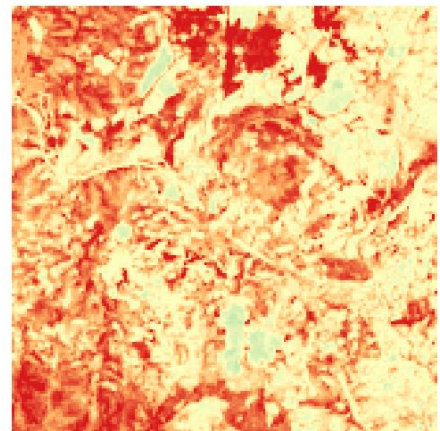
- 2000 – 1985 [ E\_0085 ]
- 2015 – 2000 [ E\_1500 ]
- 2015 – 1985 [ E\_1585 ]

Al fine analitico l'operazione Raster di differenza più significativa risulta essere quella tra il 2015 e il 1985 [ E\_1585 ], proprio per la maggior copertura temporale delle informazioni.

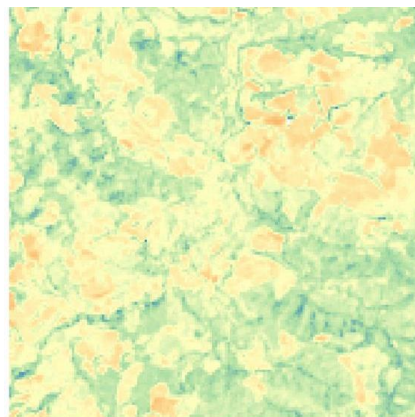
#### Differenza Raster 2015-1985



**CAMPIGNA**

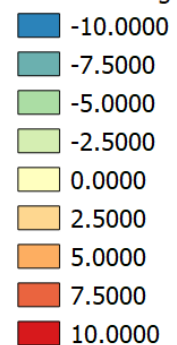


**VERGHERETO**



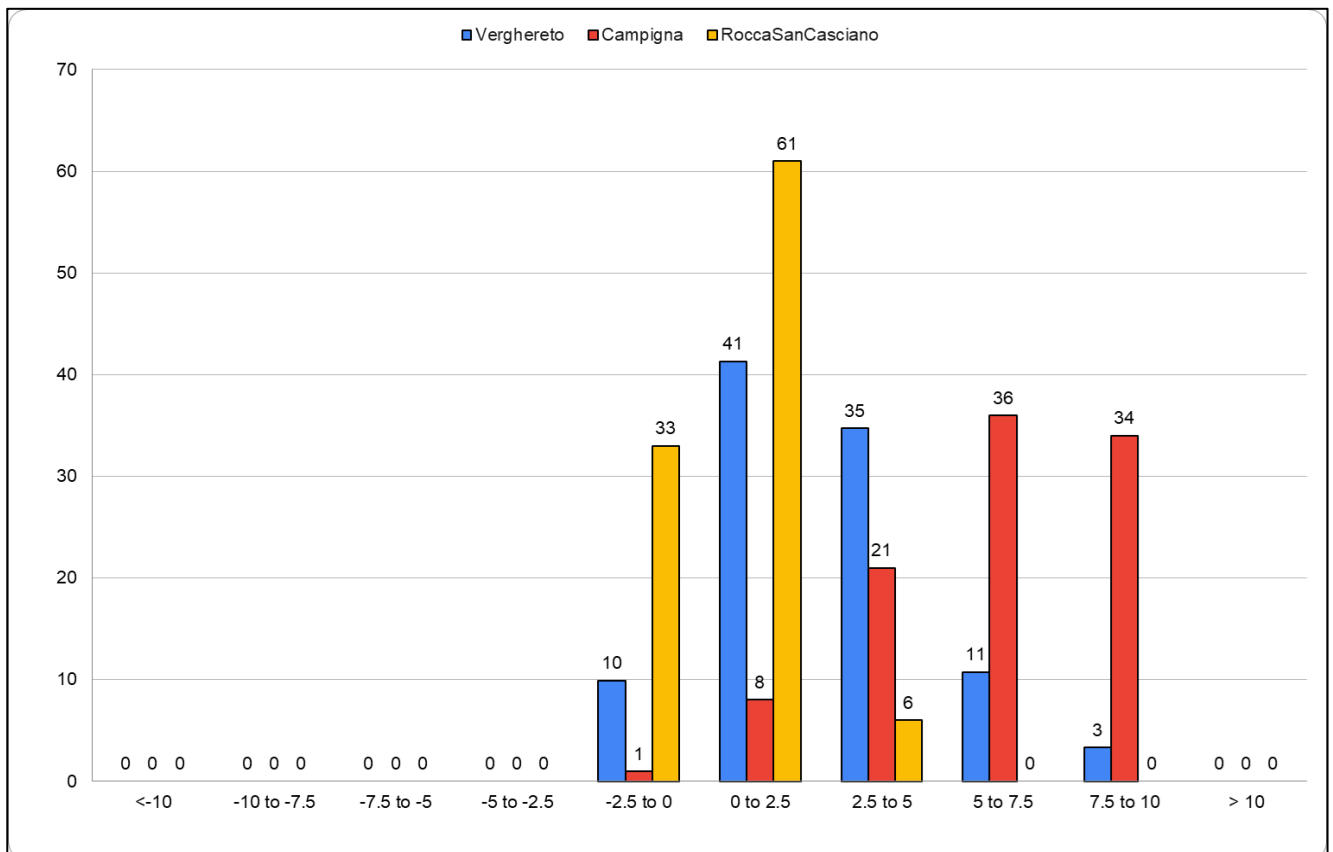
**ROCCA SAN CASCIANO**

differenza CIgreen



Abbiamo elaborato un grafico a barre, imponendo il range d'interesse e attribuendo a ogni classe un significato analitico:

- **Valori da - 2,5 a 0** Valori non significativi
- **Valori tra 0 e 2,5** Valori poco vegetato
- **Valori tra 2,5 e 5** Valori significativi;
- **Valori tra 5 e 7,5** Forte aumento della vegetazione;
- **Valori < -10 o >10** Anomalie da escludere (ombreggiamenti di versante)



Concludendo che in Campigna si è registrato un incremento significativo della vegetazione, in Verghereto l'incremento di vegetazione calcolato è poco significativo e in Rocca San Casciano non ci sono cambiamenti significativi. In conclusione, si riportano le considerazioni finali:

- Campigna è l'unica stazione in cui si misura un incremento significativo del bosco, strettamente correlato all'abbassamento delle T.
- L'indice Clgreen è più sensibile dell'NDVI ad elevate densità vegetali; potenzialità dell'indice in ambito agro-forestale.
- La vegetazione influenza positivamente il microclima, consentendo un abbassamento delle temperature.
- L'espansione della vegetazione diventa così uno strumento di lotta al surriscaldamento globale.

## **6. RIFLESSIONI PERSONALI**

Ho affrontato l'esperienza di tirocinio con profonda serietà e passione, tanto da pormi nelle condizioni di raffinare le competenze già acquisite e ampliarne delle nuove.

Sono grato a tutti gli insegnamenti pregressi, soprattutto a quelli attinenti alle attività di tirocinio, rendendomi conto dell'enorme potenziale trasmessomi dai professori del corso.

Ho imparato a gestire dataframes climatologici attraverso la stesura di un codice loop in linguaggio R e la creazione della relativa Function, così da poter fornire uno strumento di pre-processing utile per la pulizia dei dati.

Mi ritengo molto soddisfatto di come si è svolto il tirocinio, da tutti i punti di vista, scoprendomi con i miei colleghi di lavoro in un gruppo affiatato e professionalmente valido.