

STATO DELLA VEGETAZIONE FORESTALE

Scheda Tecnica

Laboratorio di Telerilevamento

Struttura Idro-Meteo-Clima - Arpae Emilia-Romagna

Viale Silvani 6, Bologna 40122



Autori:

Alessandro Pirola

Efthymia Chatzidaki

Contenuti

| | |
|---|-----------|
| Introduzione | 3 |
| Metodologia | 3 |
| Evoluzione dei bollettini nel corso degli anni | 6 |
| Bibliografia | 10 |
| Siti web suggeriti | 10 |

Keyword: siccità, telerilevamento, foreste, satelliti, NDVI, MODIS, TERRA, AQUA, MOD13A1, MOD13Q1, MYD13Q1, Emilia-Romagna, macro-aree.

Introduzione

Con l'evoluzione della tecnologia spaziale degli ultimi decenni e la messa a disposizione, gratuitamente, di diversi prodotti satellitari, si è data una grande spinta allo studio delle caratteristiche della superficie terrestre e alla sua variazione nel tempo.

Insieme a sensori e nuovi satelliti, sono stati sviluppati anche diversi indici e algoritmi che permettono di tradurre i dati ricevuti in informazioni facilmente comprensibili e riutilizzabili dagli utenti finali.

Uno dei più diffusi indici sviluppati per l'individuazione di vegetazione sulla superficie terrestre è l'Indice di Vegetazione della Differenza Normalizzata (NDVI). Il suo utilizzo inizia negli anni '70 per monitorare le caratteristiche biofisiche della vegetazione delle grandi pianure americane, successivamente è divenuto il principale indicatore da satellite della presenza di vegetazione sulla superficie terrestre e del suo evolversi nel tempo.

Secondo studi degli anni '70, la quantità di radiazione assorbita nel visivo e sfruttata dalle piante per la fotosintesi è direttamente proporzionale al loro benessere. Nella sua formula l'NDVI tiene conto di tale assorbimento, fornendo importanti informazioni sullo stato della vegetazione.

Il bollettino sviluppato in Arpae sfrutta il fatto che prolungati periodi di siccità possono compromettere seriamente l'attività fotosintetica della pianta e conseguentemente anche la sua richiesta di energia, diminuendo così il valore dell'indice. Monitorando quindi le anomalie dell'indice nel tempo, si può avere conferma dei dati climatici e dei loro effetti sugli ecosistemi naturali.

Metodologia

L'indice NDVI è strutturato sul modo unico con cui la vegetazione assorbe e riflette la radiazione in particolari porzioni dello spettro elettromagnetico, come si evince dalla Fig. 1.

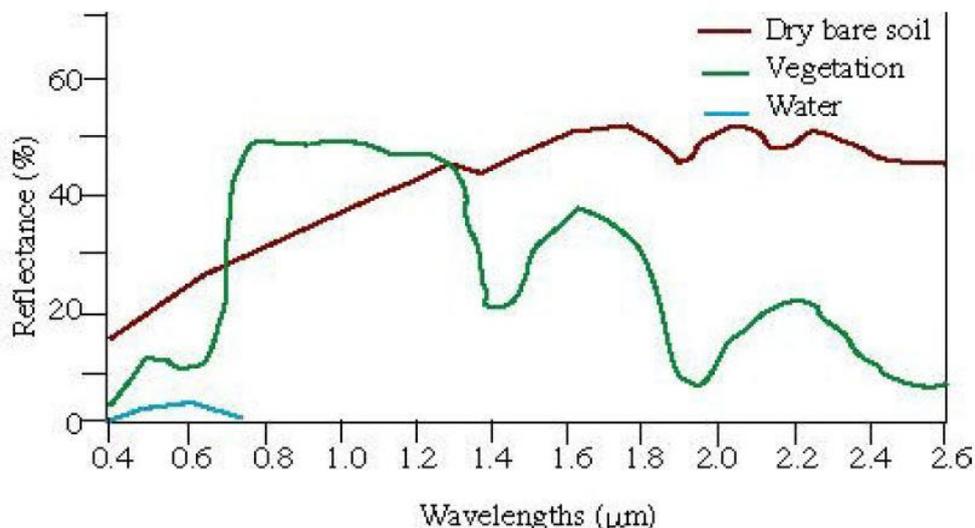


Fig. 1: Spettro elettromagnetico caratteristico di alcune coperture terrestri (marrone = suolo nudo, verde = vegetazione, ciano = acqua).

Infatti, presenta un forte assorbimento nelle lunghezze d'onda comprese tra 0.4 e 0.7 μm , porzione della radiazione utilizzata per la fotosintesi, mentre riflette in modo marcato nella parte tra 0.7 e 1.1 μm .

L' NDVI ha la seguente formulazione:

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

L'indice sfrutta l'elevato assorbimento nel rosso e l'elevata riflettanza nell'infrarosso per discriminare la vegetazione fotosinteticamente attiva dagli altri tipi di copertura del suolo (suolo nudo, urbano, acqua, neve e nubi). I valori dell'indice variano da -1, a +1, anche se valori significativi sono generalmente contenuti nell'intervallo da -0.2 a +1. In particolare sotto 0.2 si parla di superficie priva di vegetazione mentre al di sopra di 0.5 di superficie fortemente vegetata. La quantità di radiazione assorbita nell'intervallo utile per la fotosintesi è direttamente proporzionale all'attività fotosintetica della pianta, motivo per cui un aumento del valore di NDVI segnala un maggiore vigore vegetativo e viceversa.

Nell'ambito della siccità l'Indice viene utilizzato come indicatore in quanto in caso di stress idrico le piante riducono l'attività fotosintetica, diminuendo quindi il suo valore.

Valori bassi di NDVI possono essere dovuti anche ad altri fattori, come per esempio il freddo, che potrebbe ritardare lo sviluppo delle piante, la presenza di nuvole, che alterano la radiazione riflessa dalla superficie, la presenza di fitopatologie ecc.

Nel bollettino sono state fatte diverse scelte allo scopo di eliminare o diminuire l'influenza di fattori diversi dalla siccità sui valori dell'Indice.

In primis, l'area di calcolo è stata limitata alle sole aree forestali delle macroaree regionali collinari (fig.2):

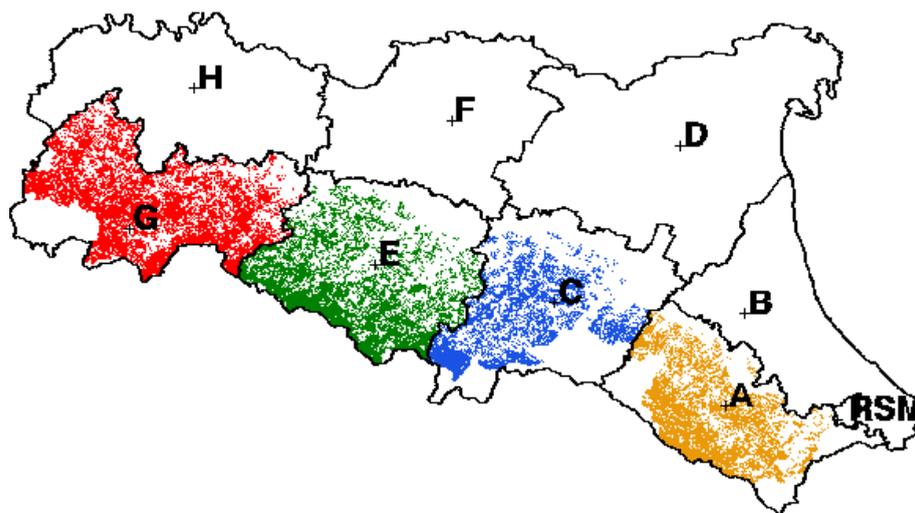


Fig. 2: Distribuzione delle aree forestali suddivise per macro-aree (I confini esterni combaciano con quelli dei bacini idrografici).

Questa scelta permette di mantenere l'area di calcolo costante nel tempo, evitando l'effetto della rotazione e cambio dell'uso spesso presente nei campi agricoli.

In più, i bollettini vengono prodotti, settimanalmente, nel periodo tra maggio e ottobre, quando la stagione calda si è già avviata, evitando così gli effetti ritardanti di un freddo inverno. I periodi precedenti o successivi al periodo di elaborazione scelto non sono considerati, in quanto, oltre al fatto di essere suscettibili al freddo, non sono significativi nell'analisi delle aree forestali.

Infine, i bollettini si basano su prodotti compositi pre-elaborati della NASA, che rappresentano il valore massimo di NDVI in un intervallo di sedici giorni consecutivi, in modo da evitare, quando possibile, eventuale presenza di nubi.

Attualmente come serie storiche sono utilizzati i dati acquisiti dal sensore MODIS, montato sui satelliti AQUA (operativo da metà estate 2002) e TERRA (operativo dal 2000) della NASA, a risoluzione geometrica di 250 m. Questa dimensione dei pixel ben si adatta al monitoraggio forestale montano che presenta ampie estensioni omogenee.

Il sensore MODIS si presta bene per questo utilizzo. Infatti, riceve l'energia elettromagnetica in diverse bande, tra cui quella rappresentativa del rosso, intorno ai 0.7 μm , e del vicino infrarosso, intorno ai 0.9 μm , permettendo di calcolare l'NDVI senza dover ricorrere ad approssimazioni che influenzerebbero negativamente la sua precisione. Una descrizione generale dei prodotti MODIS è riportata in Justice et al (2002).

I prodotti utilizzati sono i compositi di 16 giorni del massimo indice NDVI^{1,2}, forniti gratuitamente dalla NASA, scaricati sull'area dell'Emilia Romagna. La composizione dei 16 giorni avviene tramite un algoritmo che seleziona il valore più alto del pixel per tutto il periodo (Maximum Value Composite MVC). Questo approccio limita valori anomali a causa di nubi e di orbite differenti.

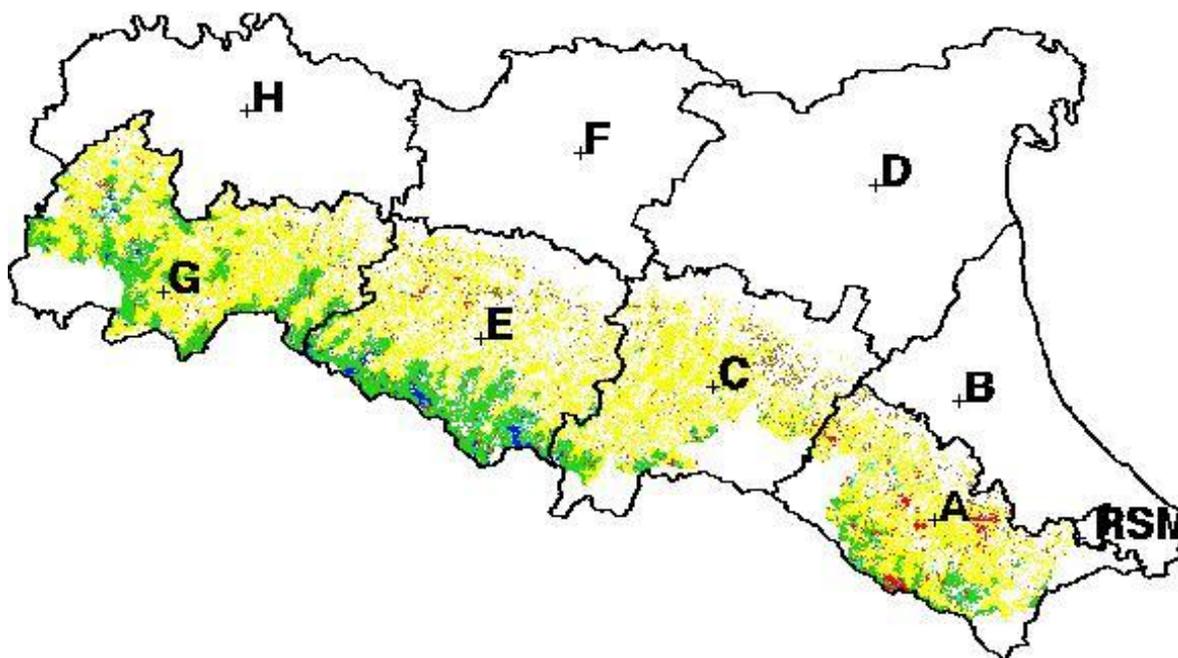
A livello regionale, l'indice è estratto sulle aree forestali di montagna individuate dalla mappa dell'uso del suolo della Regione Emilia-Romagna e viene confrontato con una serie storica che va dalla primavera del 2000 ad oggi. Oltre alla semplice immagine dell'anomalia dell'indice rispetto alla media degli anni passati, si generano anche dati tabellari in forma di anomalia relativa, suddivisi per macroarea e classe vegetazionale, e grafici in cui i valori dell'anno sono confrontati con i percentili (5, 50 e 95) degli anni precedenti. Le macro-aree di Protezione Civile interessate sono la A, C, E e G.

Evoluzione dei bollettini nel corso degli anni

I bollettini dello stato della vegetazione forestale sono pubblicati dall'estate del 2007 con lo scopo di quantificare l'effetto della siccità sulla vegetazione, attraverso il calcolo del valore dell'indice vegetativo NDVI e il suo confronto con la rispettiva media del periodo dal 2000 in poi:

$$\text{Anomalia NDVI} = \frac{(\text{valore_NDVI} - \text{media_NDVI})}{|\text{media_NDVI}|}$$

Le aree d'interesse sono estratte tramite le classi forestali definite dalla mappa dell'uso di suolo regionale (Fig. 3).



¹ [NASA 16-day composite NDVI dal satellite Terra](#)

² [NASA 16-day composite NDVI dal satellite Aqua](#)

| Codice | Descrizione |
|--------|---|
| 3111 | Boschi a prevalenza di faggi |
| 3112 | Boschi a prevalenza di querce, carpini e castagni |
| 3113 | Boschi a prevalenza di salici e pioppi |
| 3114 | Boschi planiziali a prevalenza di farnie e frassini |
| 3115 | Castagneti da frutto |
| 3120 | Boschi di conifere |
| 3130 | Boschi misti di conifere e latifoglie |
| 3210 | Praterie e brughiere di alta quota |
| 3331 | Aree calanchive |

Fig. 3: Distribuzione delle più importanti classi forestali nell'area delle macro-aree A, C, E, G, secondo la mappa dell'Uso del suolo dell'Emilia-Romagna del 2017.

All'interno del bollettino sono presenti, nella maggior parte dei casi, i seguenti prodotti:

- un'immagine che riporta l'anomalia NDVI calcolata rispetto alla media dello stesso periodo degli anni passati
- un grafico che mostra l'andamento nel periodo primavera - estate del valore dell'indice, suddiviso per aree geografiche (province fino al 2011 e macro-aree dopo)
- una tabella che fornisce l'anomalia NDVI in percentuale rispetto alla media storica, suddivisa per classe forestale e area geografica (province fino al 2011 e macro-aree successivamente).

La Fig. 4 dà un'idea dell'area geografica di province e macroaree utilizzate nei bollettini dei primi anni.

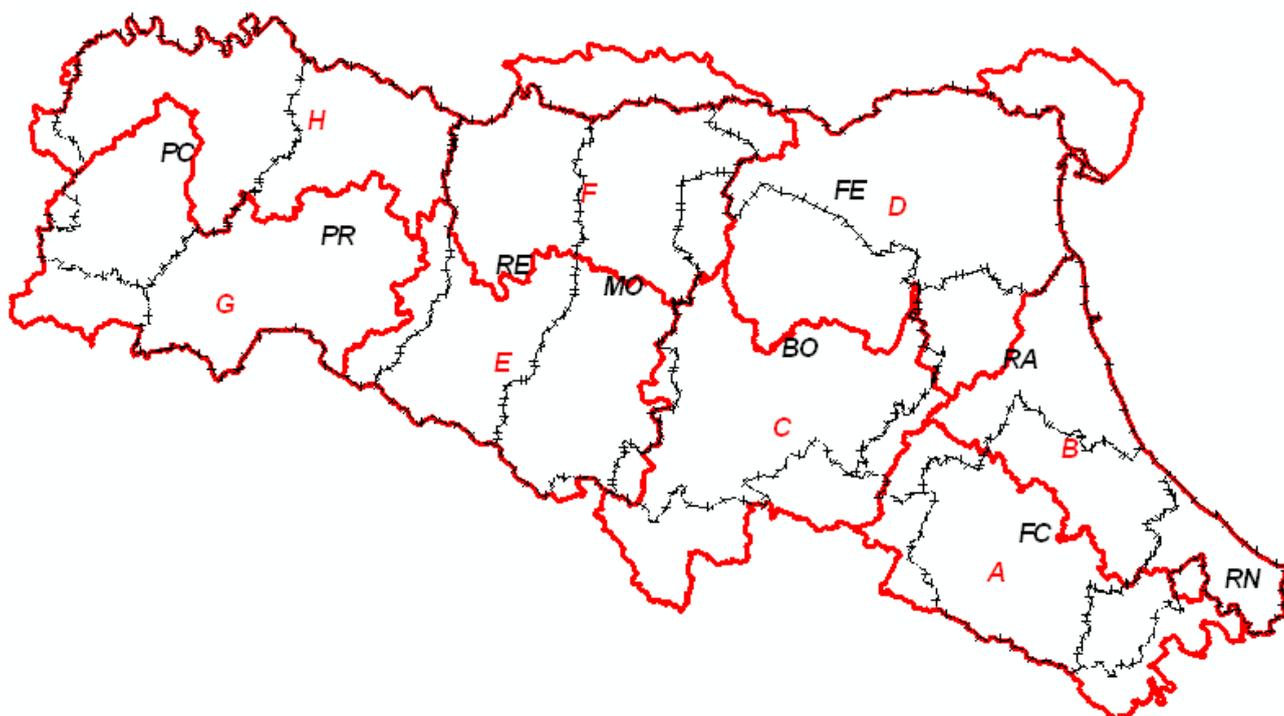


Fig. 4: Macro-aree (in rosso) e province (in nero), utilizzate nei vari bollettini, nel periodo 2007 - 2020

Nel corso degli anni, diversi dettagli del bollettino sono stati leggermente modificati, come per esempio il continuo aggiornamento della mappa dell'uso del suolo utilizzata, che inizialmente era quella del 2003, poi dal 2011 è stata sostituita da quella del 2008 e infine dal 2021 si passerà a quella del 2017.

Nella tabella sotto riportata si mostrano le caratteristiche geografiche delle aree considerate per l'estrazione delle anomalie fino al 2011, basate sull'Uso del suolo della Regione Emilia-Romagna del 2003:

| Classi Forestali | Province | Km. Q. | Quota minima | Quota massima | Quota media | Deviazione Standard della quota | Mediana della quota |
|------------------|---------------|--------|--------------|---------------|-------------|---------------------------------|---------------------|
| 3111 | Piacenza | 191 | 806 | 1719 | 1147 | 153 | 1111 |
| 3111 | Parma | 376 | 832 | 1746 | 1160 | 157 | 1129 |
| 3111 | Reggio Emilia | 174 | 694 | 1789 | 1263 | 220 | 1255 |
| 3111 | Modena | 240 | 833 | 1762 | 1220 | 193 | 1214 |
| 3111 | Bologna | 90 | 769 | 1703 | 1111 | 169 | 1067 |
| 3111 | Forlì Cesena | 128 | 738 | 1647 | 1014 | 143 | 973 |
| 3112 | Piacenza | 551 | 92 | 1215 | 610 | 211 | 622 |
| 3112 | Parma | 944 | 93 | 1279 | 626 | 208 | 643 |
| 3112 | Reggio Emilia | 353 | 103 | 1329 | 566 | 198 | 563 |
| 3112 | Modena | 324 | 96 | 1373 | 603 | 188 | 618 |
| 3112 | Bologna | 709 | 50 | 1418 | 484 | 205 | 465 |
| 3112 | Ravenna | 108 | 42 | 946 | 416 | 155 | 416 |
| 3112 | Forlì Cesena | 640 | 31 | 998 | 520 | 195 | 525 |
| 3112 | Rimini | 24 | 27 | 481 | 234 | 80 | 230 |
| 3113 | Piacenza | 5 | 28 | 560 | 93 | 83 | 49 |
| 3113 | Parma | 4 | 22 | 579 | 244 | 165 | 183 |
| 3113 | Reggio Emilia | 1 | 19 | 1033 | 235 | 269 | 172 |
| 3113 | Modena | 2 | 25 | 402 | 147 | 102 | 150 |
| 3113 | Bologna | 3 | 3 | 432 | 93 | 76 | 75 |
| 3113 | Ferrara | 4 | -4 | 38 | 10 | 10 | 6 |
| 3113 | Ravenna | 1 | -1 | 184 | 22 | 44 | 4 |
| 3113 | Forlì Cesena | 2 | 17 | 304 | 112 | 51 | 99 |
| 3113 | Rimini | 0 | 14 | 180 | 53 | 40 | 34 |
| 3114 | Piacenza | 0 | 33 | 149 | 107 | 43 | 130 |
| 3114 | Parma | 1 | 27 | 159 | 113 | 42 | 128 |
| 3114 | Reggio Emilia | 1 | 21 | 119 | 79 | 34 | 93 |
| 3114 | Modena | 1 | 12 | 67 | 30 | 14 | 27 |
| 3114 | Bologna | 1 | 6 | 101 | 32 | 19 | 29 |
| 3114 | Ferrara | 13 | -4 | 13 | 6 | 3 | 6 |
| 3114 | Ravenna | 1 | -5 | 23 | 3 | 3 | 3 |
| 3114 | Rimini | 0 | 9 | 72 | 39 | 23 | 42 |
| 3115 | Piacenza | 1 | 570 | 1036 | 868 | 133 | 902 |
| 3115 | Parma | 0 | 887 | 1096 | 1011 | 46 | 1018 |
| 3115 | Reggio Emilia | 2 | 665 | 1091 | 939 | 99 | 960 |
| 3115 | Modena | 1 | 653 | 1105 | 919 | 107 | 926 |
| 3115 | Bologna | 5 | 204 | 1129 | 518 | 159 | 518 |
| 3115 | Ravenna | 2 | 325 | 725 | 555 | 90 | 560 |
| 3115 | Forlì Cesena | 1 | 356 | 977 | 692 | 146 | 698 |
| 3120 | Piacenza | 18 | 225 | 1725 | 855 | 297 | 873 |
| 3120 | Parma | 19 | 179 | 1726 | 879 | 274 | 921 |
| 3120 | Reggio Emilia | 10 | 57 | 1689 | 886 | 436 | 953 |
| 3120 | Modena | 23 | 378 | 1766 | 1196 | 266 | 1220 |
| 3120 | Bologna | 21 | 62 | 1737 | 893 | 307 | 963 |
| 3120 | Ferrara | 2 | 0 | 12 | 5 | 3 | 5 |
| 3120 | Ravenna | 26 | -5 | 778 | 142 | 233 | 5 |
| 3120 | Forlì Cesena | 34 | 0 | 1391 | 661 | 296 | 582 |
| 3120 | Rimini | 0 | 173 | 466 | 332 | 81 | 336 |
| 3130 | Piacenza | 13 | 180 | 1450 | 805 | 272 | 847 |
| 3130 | Parma | 14 | 200 | 1615 | 819 | 320 | 812 |
| 3130 | Reggio Emilia | 12 | 284 | 1699 | 794 | 401 | 659 |
| 3130 | Modena | 14 | 313 | 1673 | 1120 | 294 | 1155 |
| 3130 | Bologna | 13 | 104 | 1686 | 763 | 323 | 770 |
| 3130 | Ferrara | 1 | 0 | 8 | 3 | 2 | 3 |
| 3130 | Ravenna | 23 | -5 | 801 | 192 | 232 | 6 |
| 3130 | Forlì Cesena | 72 | 66 | 1454 | 663 | 274 | 626 |
| 3130 | Rimini | 2 | 105 | 434 | 281 | 86 | 295 |
| 3210 | Piacenza | 7 | 980 | 1694 | 1434 | 141 | 1460 |
| 3210 | Parma | 21 | 889 | 1836 | 1401 | 238 | 1381 |
| 3210 | Reggio Emilia | 27 | 925 | 2083 | 1669 | 228 | 1726 |
| 3210 | Modena | 21 | 1122 | 2141 | 1691 | 146 | 1689 |
| 3210 | Bologna | 4 | 1171 | 1923 | 1697 | 106 | 1701 |
| 3210 | Forlì Cesena | 0 | 1266 | 1476 | 1374 | 88 | 1425 |
| 3331 | Piacenza | 1 | 198 | 580 | 369 | 94 | 367 |
| 3331 | Parma | 12 | 149 | 725 | 325 | 85 | 309 |
| 3331 | Reggio Emilia | 18 | 180 | 756 | 358 | 86 | 348 |
| 3331 | Modena | 12 | 141 | 969 | 325 | 107 | 309 |
| 3331 | Bologna | 63 | 56 | 752 | 263 | 88 | 245 |
| 3331 | Ravenna | 14 | 85 | 781 | 174 | 43 | 174 |
| 3331 | Forlì Cesena | 32 | 97 | 1177 | 354 | 222 | 282 |
| 3331 | Rimini | 2 | 141 | 370 | 253 | 50 | 252 |

Oltre alla superficie, si affiancano le informazioni di quota (minima, massima, media, deviazione standard e mediana).

Sempre nel 2011 è stato cambiato anche l'aspetto dell'immagine dell'anomalia NDVI, passando da uno spettro discreto dell'anomalia ad un'anomalia suddivisa in classi di percentuali.

Inoltre è stato modificato anche il grafico, aggiungendo le curve dei percentili 5°, 50° e 95°. Per la precisione, per ciascun periodo di osservazione di sedici giorni i percentili (5°, 50°, 95°) sono stati calcolati aggregando tutti i valori registrati nei diversi anni e nelle diverse macro-aree. Ripetendo questa operazione su tutti i periodi di osservazione della stagione vegetativa, si sono ottenute tre curve climatologiche che descrivono rispettivamente:

- l'andamento stagionale atteso dalla climatologia (50° percentile),
- l'andamento caratteristico di annate molto favorevoli allo sviluppo vegetativo (95° percentile),
- l'andamento caratteristico di annate decisamente sfavorevoli (5° percentile).

Da notare che l'aggregazione di tutte le macro-aree per il calcolo della climatologia introduce un'ulteriore fonte di variabilità, quella spaziale, che dovrebbe rafforzare la robustezza del campione statistico e rendere più facilmente individuabili le annate con anomalie significative.

Altra caratteristica cambiata nel tempo riguarda l'area rappresentata nella prima immagine, che è passata da una copertura dell'intera regione Emilia - Romagna, fino al 2011, ad una copertura delle sole foreste montane ed aree naturali durante il 2011 e successivamente ad una copertura delle sole aree forestali appartenenti alle macro-aree A, C, E, G (Fig. 3), dal 2012 in poi.

Infine, il periodo di studio, inizialmente stabilito da fine maggio a metà ottobre, è stato prolungato, anticipandolo di una settimana, dal 2011.

Bibliografia

Jing Wang Ni Guo, Xiaoping Wang, Jia Yang, CMA Lanzhou, 2007, Comparisons of normalized difference vegetation index from MODIS Terra and Aqua data in northwestern China, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International;

Justice C.O, Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P., Morisette J.T., 2002, An overview of MODIS Land data processing and product status, Remote Sens. Environ. 83:3-15.

Siti web suggeriti

[NDVI as an indicator of Drought - NASA](#)

[Normalised Difference Vegetation Index \(NDVI\) - NASA](#)

[Measuring vegetation \(NDVI & EVI\) - NASA](#)

[Prodotti terrestri MODIS - NASA](#)

[Siccità e desertificazione - Arpae](#)

[Bollettini dello stato della vegetazione forestale - Arpae](#)

[Scopri di più sulla siccità - Arpae](#)

[Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia \(Arpae\) dell'Emilia Romagna](#)