

## Comparazione di dati pluviometrici e satellitari orientata alla rilevazione delle criticità legate alla desertificazione

Cinzia Peppino<sup>(a)</sup>, Antonio Novelli<sup>(a)</sup>, Grazia Caradonna<sup>(a)</sup>, Alessandro Pagano<sup>(a)</sup>, Eufemia Tarantino<sup>(a)</sup>, Umberto Fratino<sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Politecnico di Bari - DICATECh, Via Orabona 4 C.A.P 70125 Bari (BA), [c.peppino86@gmail.com](mailto:c.peppino86@gmail.com), [antonio.novelli@poliba.it](mailto:antonio.novelli@poliba.it), [grazia.caradonna@poliba.it](mailto:grazia.caradonna@poliba.it), [alessandro.pagano@poliba.it](mailto:alessandro.pagano@poliba.it), [eufemia.tarantino@poliba.it](mailto:eufemia.tarantino@poliba.it), [umberto.fratino@poliba.it](mailto:umberto.fratino@poliba.it)

### Riassunto

Recenti analisi dei trend climatici in Italia, hanno evidenziato un aumento del numero, intensità e durata degli eventi pluviometrici estremi in concomitanza all'accentuarsi di fenomeni siccitosi. L'incremento di tali fenomeni è uno dei più allarmanti processi di depauperazione del territorio che affligge le Regioni caratterizzate da un clima mediterraneo semi-arido come la Puglia. L'individuazione di aree potenzialmente vulnerabili alla desertificazione a causa della variabilità climatica e morfologica richiede il ricorso di metodologie standardizzate e l'utilizzo di dati sinottici in grado di descrivere lo status quo dell'area in esame. Scopo di questo studio è il confronto di dati climatico-pluviometrici e satellitari al fine di individuare, nell'area di studio, pattern significativi di criticità territoriale. Il confronto è avvenuto considerando congiuntamente l'informazione derivante dalla serie storica Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI) del dato satellitare SPOT Vegetation e le serie storiche pluviometriche della Regione Puglia, fornite dalla protezione civile. In particolare modo, il dato satellitare SPOT copre un arco temporale di 13 anni mentre il dato pluviometrico, fornito dalla protezione civile, è stato ricavato da 125 diverse stazioni di misura distribuite nel territorio regionale. Al fine di effettuare una comparazione non affetta da singolarità territoriali il dato pluviometrico multitemporale è stato sintetizzato mediante l'utilizzo dello Standardized Precipitation Index (SPI).

### Abstract

Recent studies have been demonstrated an increasing of extreme pluviometric events coupled with a subsequent increasing of arid time period. This climatic phenomenon is common in Mediterranean areas, as the Apulian Region, characterized by semi-arid climate. The identification of areas potentially affected by desertification requires the use of standardized methodologies and synoptic data over the selected territories. In this study were simultaneously used climatic-pluviometric data and satellite data in order to find territorial alerts. Particularly, were used Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI) (13 years of observations) and pluviometric times series (125 measurements points over the territory) respectively provided by the SPOT Vegetation satellite and from local authorities (Protezione Civile). Lastly, the satellite data and the climatic data were analyzed by means of the Standardized Precipitation Index (SPI) in order to standardize the precipitation data over the territory.

### Introduzione

Il tema della desertificazione è una problematica particolarmente sentita a livello globale che ha reso necessaria la definizione di diversi parametri in grado di misurarne l'entità (Barbosa et al., 2015). Tali parametri (es. temperatura, evapotraspirazione e radiazione solare) sono correlabili al clima del territorio in esame.

Diversi indici climatici sono ormai cruciali nella definizione di un dominio di conoscenza indispensabile nei processi decisionali territoriali. Tra gli indicatori formulati, famosi sono il pluviofattore R di Lang, il quoziente pluviometrico di Emberger, l'indice globale di umidità Im di Thornthwaite, l'indice di aridità (Ia) UNEP e l'indice di aridità di De Martonne [1]. Quest'ultimo risulta essere maggiormente utilizzato ed è stato implementato in questo caso di studio. La formula proposta da De Martonne è la seguente:

$$Ia = \frac{P}{T+10} \quad [1]$$

Con P e T rispettivamente Precipitazione annua (mm) e temperatura media annua (°C). L'indice di De Martonne è solitamente utilizzato per classificare climaticamente un territorio da arido a iperumido. Nel 1941 De Martonne formula una soluzione più efficace [2] e capace di distinguere i risultati per località con caratteristiche differenti:

$$Ia = \frac{\left[\left(\frac{P}{T+10}\right) + \left(\frac{12P}{t+10}\right)\right]}{2} \quad [2]$$

Con p e t rispettivamente precipitazione mensile (mm) e = temperatura media mensile (°C). In questo studio la relazione tra piovosità e vegetazione è stata utilizzata come uno strumento di caratterizzazione dello stress idrico (sicidità) di una determinata area geografica connesso anche alla possibile influenza di fattori antropici.

A tal fine l'indice SPI, Standardized Precipitation Index (McKee et al., 1993; Morgillo et al., 2002), è stato usato come indicatore dello stato di siccità. Esso si basa unicamente sulle serie storiche pluviometriche mensili e misura il deficit di precipitazione ammettendo come input diverse scale temporali. L' SPI [3], essendo un indice standardizzato, consente di fare raffronti tra stazioni che hanno pluviometrie molto diverse a causa della loro posizione geografica.

$$SPI_{T,\Delta t} = \frac{\sum (X_{T,\Delta t} - \bar{X}_{T,\Delta t})}{\sum X_{T,\Delta t}} \quad [3]$$

Con  $X_{T,\Delta t}$  precipitazione totale, relativa al mese t, cumulata sui  $\Delta t$  mesi precedenti e  $\bar{X}_{T,\Delta t}$  valor medio di precipitazione. I sopracitati indici sono stati utilizzati per caratterizzare climaticamente l'area di indagine mentre l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ha fornito la connessione tra l'informazione climatica e lo stato di benessere della vegetazione. La scelta dell'indice NDVI (Tucker et al., 2005) è dovuta alla sua intrinseca capacità di fornire un chiaro legame tra struttura degli ecosistemi e condizioni climatiche (Barbosa et al., 2015).

### Inquadramento territoriale

La Puglia costituisce la porzione più orientale della Penisola Italiana ed è dominata dal macroclima mediterraneo che si particolarizza a seconda dei diversi settori geografici e della morfologia superficiale. Le diverse configurazione climatiche portano alla genesi di un mosaico di diversi tipi di vegetazione. È possibile tuttavia riconoscere la presenza di almeno cinque aree climatiche omogenee:

1. La parte più elevata del promontorio del Gargano e del Preappennino Dauno e una piccola area presso Gravina di Puglia (BA);
2. La parte nordoccidentale delle Murge, la pianura di Foggia sino al litorale adriatico settentrionale, i fianchi nord-orientali del Preappennino Dauno sino a quote comprese tra 500 e 600 m.;
3. Dalla depressione di Gioia del Colle fino al complesso collinare murgiano sud-orientale;
4. L'estremo sud della Puglia e la pianura di Bari con le aree collinari murgiane limitrofe.
5. L'ampia pianura di Brindisi e Lecce e il promontorio del Gargano a quote comprese tra 150 e 400 m.

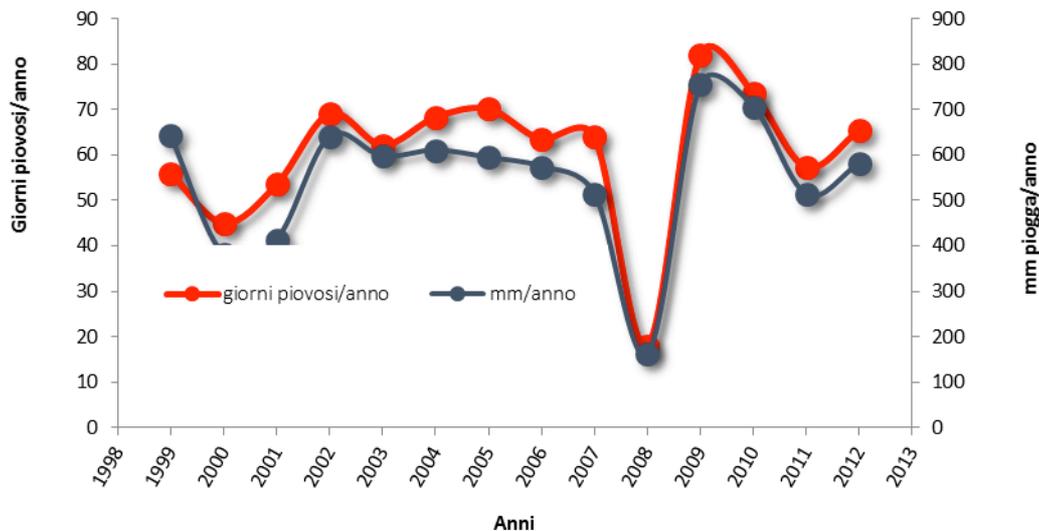


Figura.1 Rappresentazione dall'andamento della media pesata dei giorni piovosi e mm di pioggia

### Dati e metodologia

Sono stati analizzati i dati del Servizio di Protezione Civile che si riferiti a 125 stazioni. Come da prassi per ciascuna stazione sono specificati, per ogni mese, i mm di pioggia registrati, il numero di giorni piovosi ed infine il totale dei mm di pioggia e dei giorni piovosi per tutti gli anni analizzati. Al fine di fornire un inquadramento globale delle condizioni climatiche regionali è stata effettuata un'analisi delle condizioni medie (mm di pioggia annuali e numero di giorni piovosi) relativamente al periodo di maggiore interesse per il presente studio (1999 – 2012). L'obiettivo era: (i) l'individuazione degli anni caratterizzati o no da una significativa piovosità o da una significativa siccità; (ii) riuscire a discriminare, soprattutto nell'ambito degli anni particolarmente piovosi, quelli con numero di giorni piovosi più basso e quelli con un numero più alto di eventi.

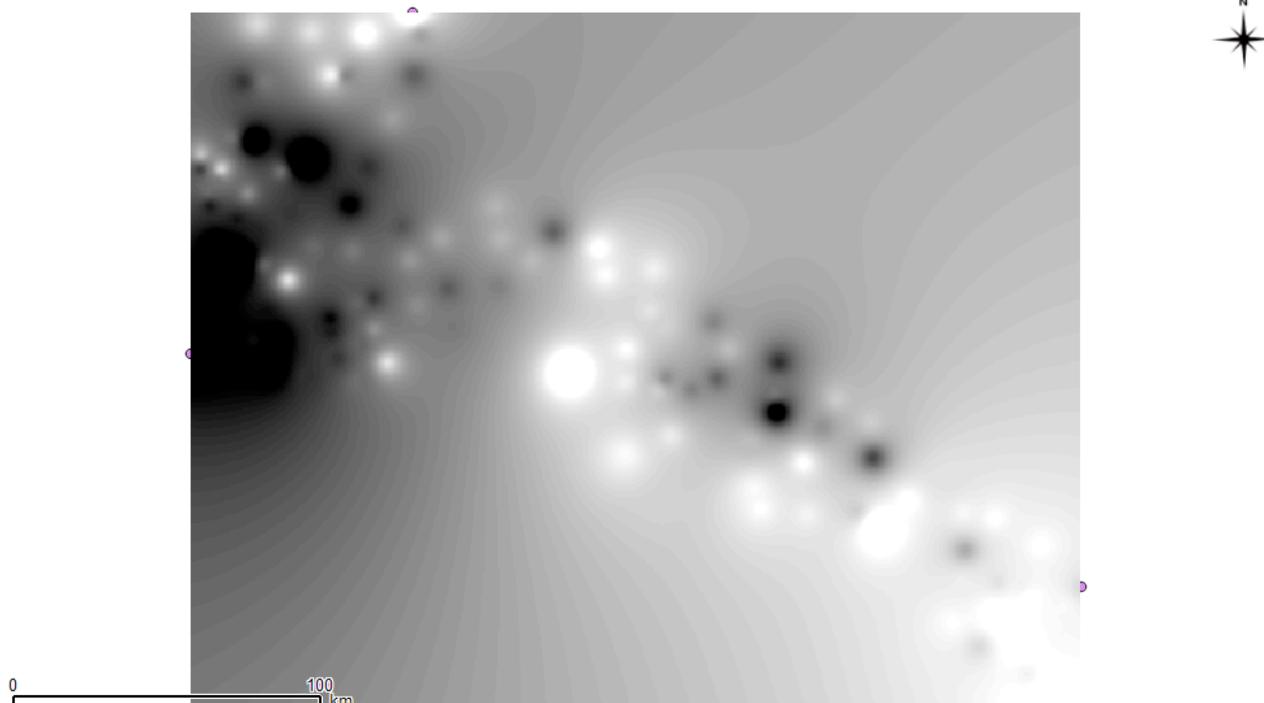


Figura 2. Rappresentazione di scostamenti da valori di SPI medio (anno idrologico 2000-2001). Colori tendenti al nero rappresentano una piovosità superiore alla media della serie storica nel periodo considerato viceversa colori tendenti al bianco rappresentano una tendenziale siccità.

Sono stati individuati i topoi a scala regionale mediante l'ausilio del software QGIS. Si è proceduto con la quantificazione delle aree di ogni poligono individuato in modo da poter pesare geograficamente i dati analizzati. Allo scopo di individuare valori aggregati a livello regionale, è stato calcolato il peso da attribuire ad ogni stazione nel calcolo di un valore medio spaziale. Successivamente è stata calcolata una media pesata sia dei mm di pioggia che dei giorni piovosi, riguardante tutta la regione, per ogni anno del periodo 1999-2012. I risultati sono rappresentati in Fig. 1. La Fig. 1 mostra come il periodo di analisi sia sufficientemente esteso da mostrare l'alternanza di differenti condizioni climatiche.

Il calcolo dell'SPI è stato eseguito attraverso il software DrinC (Tigkas et al., 2015) su differenti orizzonti di tempo (1-3-6 mesi), in modo da poter analizzare il dato pluviometrico con diverse accezioni temporali. Gli anni citati sono intesi come anni idrologici. Per ciascuna delle stazioni pluviometriche, sono stati associati tutti i valori di SPI calcolati, al fine di ottenere una rappresentazione per ogni anno (1999-2012) dell'SPI a 1-3-6 mesi. L'informazione puntuale SPI geolocalizzata è stata riportata a scala regionale utilizzando una funzione di interpolazione di tipo "IDW" (Inverse Distance Weighted). Infine si sono ricavati dei raster, con celle di lato pari a 500m, derivanti da una interpolazione dei dati puntuali di SPI. Mediante l'interpolazione sono state individuate a livello regionale le zone indicative di condizioni di siccità (o di piovosità) superiore alla media mettendo in evidenza alcune significative differenze regionali (come la zona del Gargano e la zona del basso Salento Fig.2).

Le funzioni di calcolo delle statistiche zionali disponibili in QGIS sono state utilizzate per ottenere valore di SPI medio nel mese preso in considerazione su un dato poligono. Il valore ottenuto come media è stato poi riportato in un foglio di calcolo elettronico per tutti i mesi degli anni idrologici dal

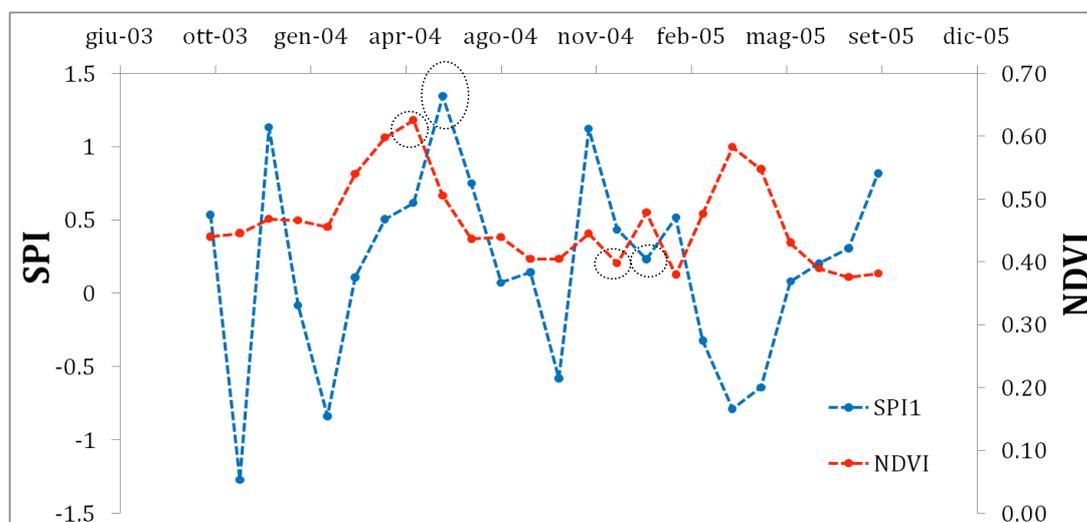


Figura 3. SPI1 e NDVI medio con indicazione del lag temporale, per il periodo ritenuto più significativo che decorre da ottobre 2003 a settembre 2005.

1999 al 2012, per i valori di SPI1 (un mese di lag). Tale passaggio è stato determinante per permettere di verificare la sovrapposizione del valor medio di SPI con il valore di NDVI letto mese per mese, a scala annuale.

Per lo studio delle variazioni spazio - temporali dell'indice di vegetazione sull'intero territorio di pertinenza dell'Autorità di Bacino della Puglia, si è scelto di utilizzare i dati SPOT VGT S10 NDVI per il periodo dal 1999 al 2013. La scelta della tipologia S10 è stata dettata dall'esigenza di trattare i dati di una serie storica di osservazioni quanto più corposa possibile (3 per ogni mese). Al fine di analizzare il solo territorio di interesse si sono rese necessarie le operazioni di subset, riproiezione, ricampionamento e mascheramento. Il subset è stato estratto mediante l'utilizzo del tool VGExtract, creato e distribuito dall' Agenzia VITO.

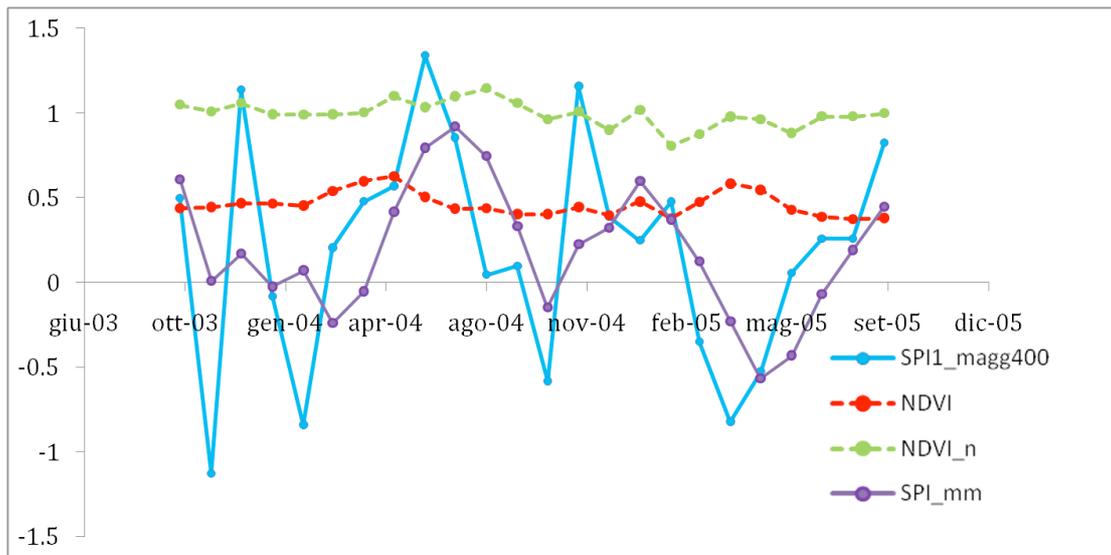


Figura 4. SPI1, SPI\_mm (in celeste) ottenuto con la funzione media mobile, NDVI, NDVI\_n (periodo giugno 2003 – dicembre 2005).

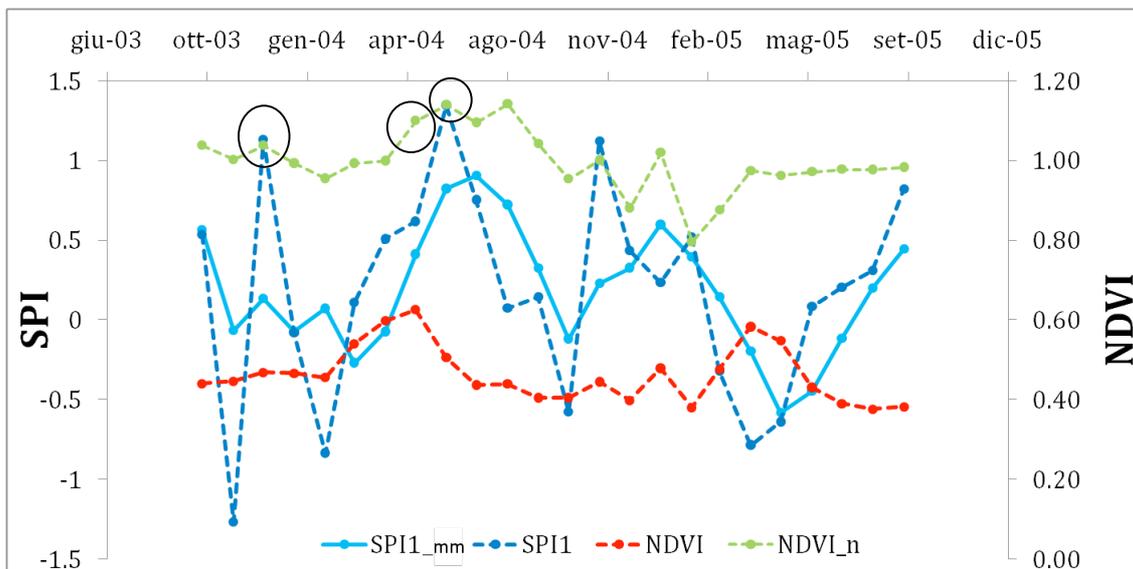


Figura 5. SPI1 per quote maggiori di 400m, SPI\_mm ottenuto con la funzione media mobile, NDVI, NDVI\_n (periodo giugno 2003 – dicembre 2005).

In seguito, mediante l'utilizzo del software QGIS, è stato possibile riproiettare il subset nel sistema cartografico UTM WGS 84 33N, ricampionando il dato attraverso la tecnica del nearest neighbor. Dalle computazioni sono stati esclusi (mascherati) i pixels ricadenti al di fuori del dominio selezionato. In particolare modo per ogni mese si è calcolato il valore medio annuo di NDVI registrato su tutto il territorio analizzato.

$$\overline{NDVI}(M,A) = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \overline{NDVI}(M_k,A) \quad [4]$$

$$\overline{NDVI}(M_k,A) = \frac{1}{N} (\sum_{n=1}^N NDVI_n(M_k,A)) \quad [5]$$

In cui  $\overline{NDVI}(M,A)$  è l'indice NDVI medio relativo all'anno  $A$  e al mese  $M$ ,  $\overline{NDVI}(M_k,A)$  è l'indice NDVI medio relativo all'anno  $A$  e alla decade  $k$  del mese  $M$  e infine  $NDVI_n(M_k,A)$  è l'indice NDVI relativo all' $n$ -esimo pixel non mascherato del raster relativo all'anno  $A$  e alla decade  $K$  del mese  $M$ .

## Risultati

L'analisi effettuata ha dato risultati indicativi relativamente alla correlazione dell'NDVI-SPI1. Le analisi effettuate non sono state in grado di riscontrare qualitativamente l'esistenza di un lag temporale di circa un mese, tra l'occorrenza di eventi di pioggia e l'impatto sullo stato della vegetazione (Fig. 3). Per ciascun mese nel periodo di interesse è stata effettuata la media del valore dell'indice NDVI in modo da normalizzare il valore di ogni mese rispetto al valore medio (indicato con NDVI<sub>n</sub>). Tale operazione ha permesso di esprimere in senso relativo il valore di NDVI. È stato, inoltre, applicato un filtro passa basso mediante una media mobile su 3 mesi dell'SPI1. Anche in questo caso il periodo esaminato come maggiormente identificativo è ottobre 2003-settembre 2005 (Fig. 4).

Per migliorare ulteriormente la visualizzazione dei dati e verificare la possibile influenza di fattori topografici su una eventuale correlazione, si è effettuata una divisione, ricalcolando le medie dei principali parametri, tra due macro aree: aree regionali caratterizzate da quota superiore ai 400 m sul livello del mare (LDM) e le aree con quota inferiore ai 400 m LDM. Le aree con quota superiore ai 400 m mostrano una prevalenza di aree naturali e una maggiore potenziale correlazione tra NDVI e SPI1. La Fig. 5 mostra il periodo tra giugno 2003 e dicembre 2005 (sopra i 400 m su LDM): si può notare una correlazione tra andamento di SPI (ottenuto media mobile su tre mensilità) ed NDVI sfasata temporalmente. È stata infine tentata una ulteriore aggregazione dell'SPI a scala semestrale, facendo riferimento ad una stagione invernale (Ottobre-Marzo) e ad una stagione estiva, (Aprile-Settembre) relazionando l'NDVI considerato nei medesimi periodi ritrovando un legame funzionale mediante una regressione tra SPI ed NDVI. Tale correlazione (Fig. 6) ha garantito un discreto risultato complessivo in seguito all'eliminazione di outliers al fine di non privilegiare nella regressione valori estremi di SPI e NDVI.

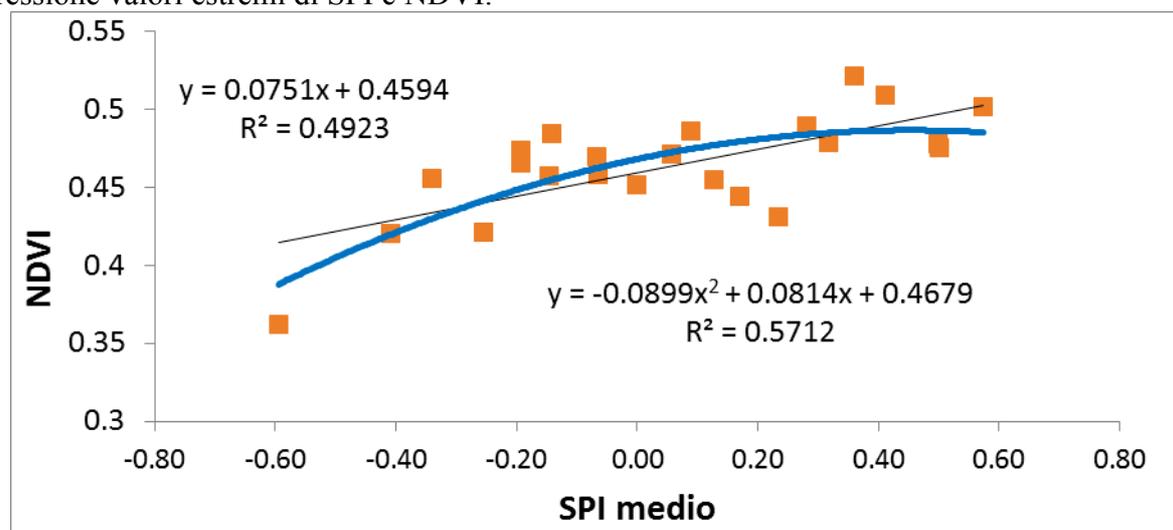


Figura 6. Regressione con legge polinomiale di secondo grado e legge lineare tra SPI ed NDVI (valori calcolati come media sui 6 mesi).

## Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro è quello di sondare l'esistenza di una correlazione tra la situazione climatica della Regione Puglia e lo stato della vegetazione nella stessa area. A tal fine è stata proposta l'integrazione di analisi statistiche, tra dati climatici e informazione derivante da dati telerilevati, attraverso l'utilizzo dell'SPI e dell'NDVI. Dallo scenario si è evinto che il confronto tra indici, per il territorio di interesse, non è semplice ed immediato. Nel complesso si è riscontrata l'esistenza di un lag temporale tra SPI e NDVI e di una correlazione tra i due parametri che, al netto della influenza di alcuni outlier, lascia intravedere l'esistenza di un legame tra le condizioni climatiche medie e lo stato della vegetazione. Tale legame giustifica l'approfondimento della questione facendo ricorso a tecniche di analisi più sofisticate.

## Riferimenti bibliografici

Barbosa H., Kumar T.L., Silva L. (2015), “Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall”. *Natural Hazards* 77:883-899.

McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993), “The relationship of drought frequency and duration to time scales”, *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society Boston, MA. pp. 179-183.

Morgillo A., Brunetti A., Salvati L. (2002), “La siccità in Italia: spunti di discussione sul clima, sugli aspetti pedoclimatici e sul bilancio idrico.”, *Atti del convegno Aiam “L'agrometeorologia nel Mediterraneo”*, Acireale:145-151.

Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G. (2015), “DrinC: a software for drought analysis based on drought indices”, *Earth Science Informatics* 8:697-709.

Tucker C.J., Pinzon J.E., Brown M.E., Slayback D.A., Pak E.W., Mahoney R., Vermote E.F., El Saleous N. (2005), “An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data”, *International Journal of Remote Sensing* 26:4485-4498.