



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI SCIENZE MM.FF.NN./AGRARIA

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE PER L' AMBIENTE

TESI DI LAUREA

**ANALISI DEL DEFICIT PLUVIOMETRICO IN VENETO NEL
PERIODO 1956 – 2004 TRAMITE SPI: STANDARDIZED PRECIPITATION
INDEX**

RELATORE: PROF. MAURIZIO BORIN
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA AMBIENTALE E PRODUZIONI VEGETALI

CORRELATORE: DOTT. ALESSANDRO CHIAUDANI
ARPA VENETO CENTRO METEOROLOGICO DI TEOLO

LAUREANDO: GIOVANNI MANIERO

ANNO ACCADEMICO 2009/2010

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUZIONE | 3 |
| 1.1 Il clima | 3 |
| 1.2 Trend climatici a livello globale | 4 |
| 1.3 Trend pluviometrici in Europa | 5 |
| 1.4 Trend pluviometrici in Veneto | 9 |
| 1.5 La Siccità | 10 |
| 1.6 Indici di monitoraggio della siccità | 11 |
| 1.6.1 PDSI | 12 |
| 1.6.2 CMI | 12 |
| 1.6.3 SWSI | 12 |
| 1.6.4 SPI | 13 |
| 1.7 Esempi di applicazione degli indici | 13 |
| 1.8 L' indice SPI in Italia e in Veneto | 15 |
| 1.8.1 Aprile 2007 | 16 |
| 1.8.2 Settembre 2009 | 17 |
| 2. SCOPO DELLA TESI | 18 |
| 3. MATERIALI E METODI | 19 |
| 3.1 L' indice SPI in dettaglio | 19 |
| 3.2 Calcolo dell' indice SPI | 22 |
| 3.3 Interpolazione spaziale | 24 |
| 3.4 Trend medio regionale dello SPI | 24 |
| 4. RISULTATI | 25 |
| 4.1 Analisi di significatività dei trend | 27 |
| 4.2 Spazializzazione regionale dei trend | 30 |
| 5. CONCLUSIONI | 32 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 33 |

1. INTRODUZIONE

1.1 IL CLIMA

In senso più ampio il clima può essere definito come lo stato di un sistema più complesso che prende il nome di sistema climatico. Questo sistema è composto da atmosfera, idrosfera, criosfera, litosfera e biosfera. L'atmosfera è definita come l'insieme dei gas che circondano la Terra, l'idrosfera è la parte del sistema climatico che contiene l'acqua liquida sopra e sotto la superficie terrestre (oceani, fiumi, laghi e acquiferi sotterranei). La criosfera contiene acqua allo stato solido (ghiacciai, nevai). La litosfera è il livello superiore della superficie terrestre sui continenti o sugli oceani che ospita l'attività vulcanica che interagisce ed influenza il clima. La biosfera infine contiene tutti gli organismi viventi e gli ecosistemi sui continenti e sugli oceani. (WMO 2009)

L'interazione di tutte queste componenti ha il risultato di produrre sia il tempo meteorologico inteso come ciò che sta accadendo all'atmosfera in un determinato momento, che il clima inteso come la descrizione statistica in termini di media delle principali grandezze meteorologiche in un determinato periodo di tempo.

Secondo il WMO (World meteorological Organization) per individuare il cambiamento climatico si fa riferimento ad una variazione significativa sia dello "stato medio" che della "variabilità" del clima che persista per un tempo "lungo" almeno 30 anni. Secondo (Kundzewicz and Robson, 2004) per individuare un cambiamento climatico sono necessari almeno 30 anni di dati climatologici, preferibilmente 50.

Negli ultimi decenni la percezione di attraversare una fase meteoclimatica che si discosta dalla "normalità climatica" è aumentata. Studi e report realizzati a livello planetario o meglio "globale" hanno confermato questa fase anomala; i media e la presa di coscienza da parte della pubblica opinione ha portato i decisori politici all'assunzione, a livello internazionale e nazionale, di strategie per la gestione ed il contenimento degli impatti futuri dovuti a tali andamenti. (Chiaudani 2008)

Il dibattito scientifico che si è aperto non ha ancora completamente chiarito il rapporto tra il cambiamento e le fluttuazioni climatiche in quanto le variabili in gioco sono numerose e di varia natura concorrendo, nel complesso, a determinare un elevato grado di incertezza (Perini et al., 2004). Alcuni indicatori, come l'aumento delle temperature a scala globale o la diminuzione delle precipitazioni, impongono una serrata attività di monitoraggio del clima non più solo a livello globale, ma anche a scala nazionale e meglio ancora regionale, anche per cercare di soddisfare in maniera possibilmente corretta, imparziale ed indipendente, la crescente domanda di informazioni relative alle ricadute che eventuali trend agroclimatici avrebbero sull'agroecosistema a livello locale.

1.2 TREND CLIMATICI A LIVELLO GLOBALE

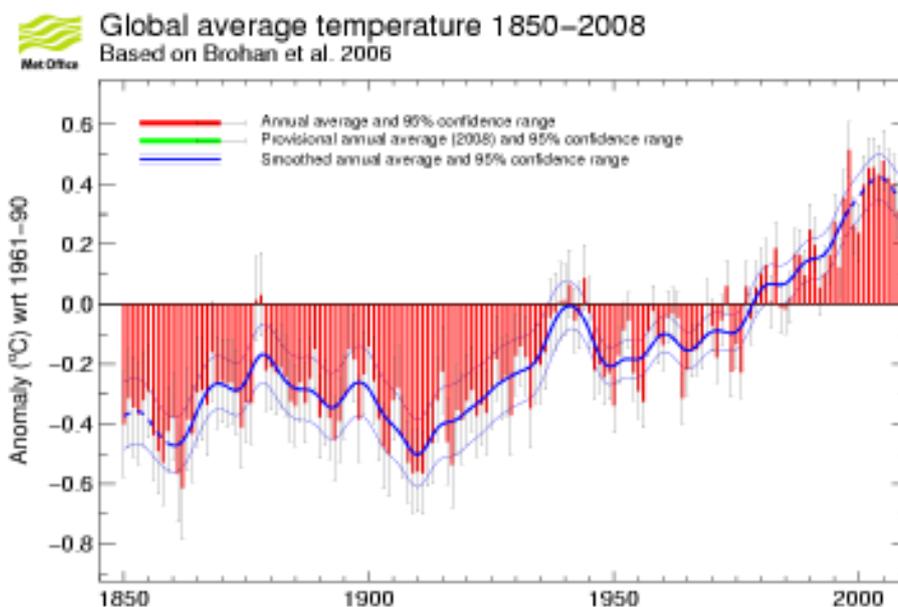


Figura 1: Anomalia della temperatura media globale annua dal 1850 al 2008 in riferimento al periodo 1961-1990

Fonte: The Met Office Hadley <http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/diagnostics/comparison.html>

Dal grafico riportato si nota facilmente come a livello globale le temperature sono rimaste sotto la media, pur presentando alcune fluttuazioni, fino agli anni 1970-1980.

A cavallo degli anni 1970-80 si è verificata un'inversione di tendenza che ha portato ad un aumento delle temperature.

A livello climatico globale l'aumento della temperatura non si manifesta in maniera uniforme; sul pianeta esistono infatti aree dove l'aumento della temperatura è maggiore rispetto ad altre. Le regioni situate alle più alte latitudini in particolare estremo nord America ed Asia centro settentrionale vedono un aumento termico più marcato rispetto ad altre zone.

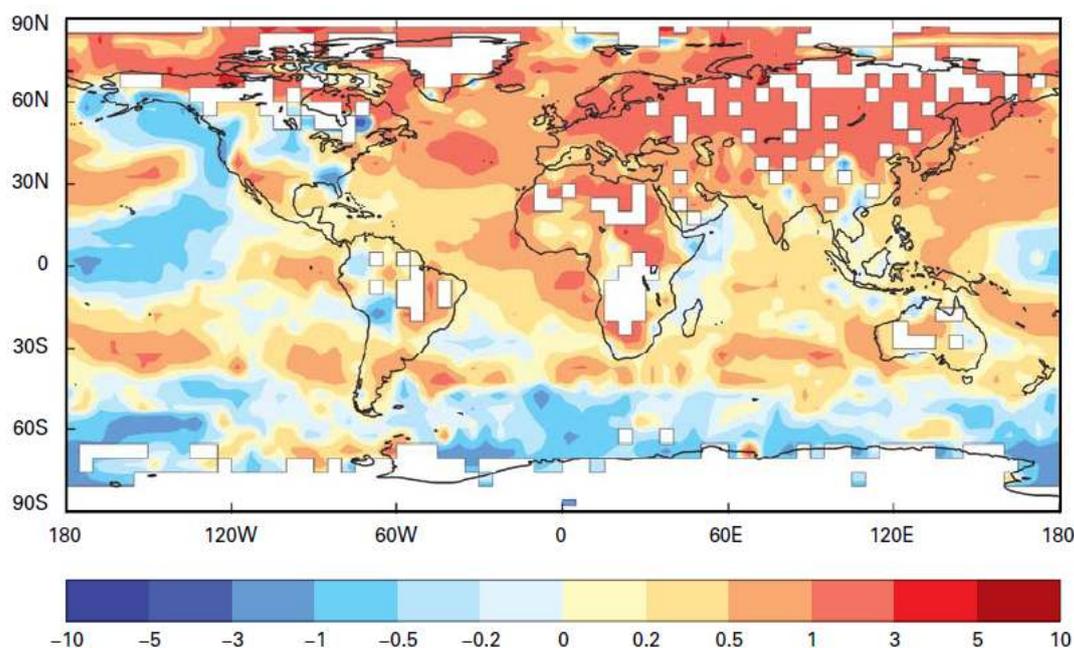


Figura 2: Anomalia globale delle temperature medie dell'anno 2008 (periodo di riferimento 1961-1990)

Fonte: Met Office Hadley Centre UK and climatic Research Unit, University of East Angia UK in "WMO Annual Statements on the status of the global climate 2008"

http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WMO1039_EN_web.pdf

Il monitoraggio delle precipitazioni atmosferiche avviene mediante un elevato numero di stazioni dislocate in tutto il mondo. L'analisi dei dati raccolti mostra un aumento medio delle precipitazioni a livello globale circa del 2% dall'inizio del 20° secolo. (JRC 2005)

Anche in questo caso tuttavia l'aumento delle precipitazioni non è né spazialmente né temporalmente uniforme causando quindi forti disomogeneità a livello globale: le precipitazioni sono in aumento alle elevate latitudini specie nella stagione invernale, mentre alle latitudini medio basse la tendenza è per una diminuzione delle precipitazioni anche se tale trend varia molto a seconda della zona considerata. In particolare l'aumento osservato nelle precipitazioni medie globali per le zone comprese tra il 35°N e il 85°N si aggira fra il 7 ed il 12% mentre nell'emisfero meridionale fra 0°S e 55°S si osserva un aumento pari al 2%.

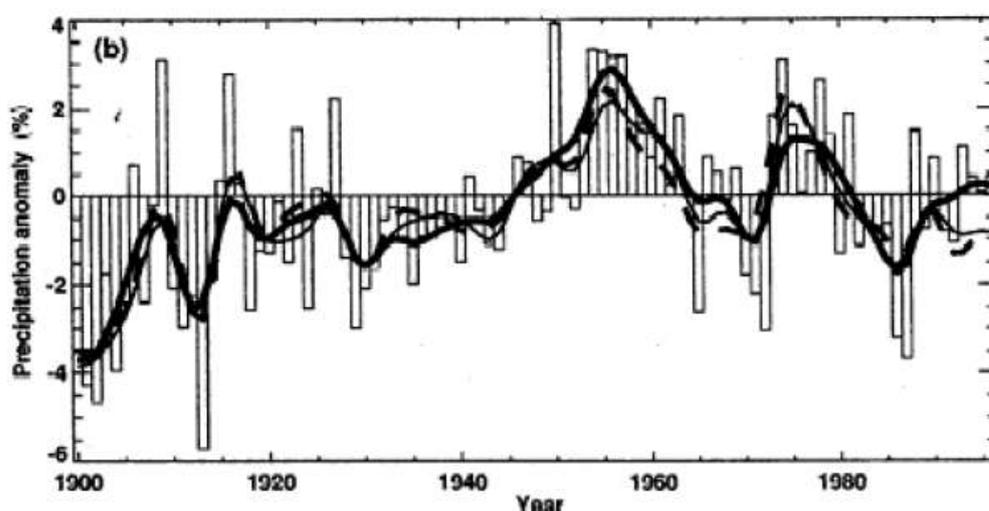


Figura 3: Andamento osservato delle precipitazioni globali nel periodo 1900-1996 (% di scarto dalla media di riferimento 1961-1990)

Fonte: http://ccu.jrc.it/Pubblicazioni/Climate_Change_and_the_European_Water_Dimension_2005.pdf p.13

Dal grafico è possibile notare come il trend in aumento sia maggiormente pronunciato nella prima parte del secolo e non uniforme.

1.3 TREND PLUVIOMETRICI IN EUROPA

I cambiamenti climatici osservati a livello globale trovano riscontro anche a livello europeo.

Il continente europeo per la propria geografia ed ubicazione presenta diverse tipologie climatiche: si va infatti dal clima mediterraneo delle zone meridionali al clima polare delle zone più settentrionali, passando per il clima di transizione e continentale a seconda della zona considerata.

Le zone centro settentrionali presentano clima continentale e non presentano ostacoli orografici alle perturbazioni atlantiche, sono quindi soggette a maggiori precipitazioni nel periodo invernale a differenza delle regioni protette dalle catene montuose alpine.

I regimi pluviometrici delle varie tipologie climatiche elencate sono chiaramente differenti: le zone settentrionali risultano più piovose di quelle meridionali, ciò comporta che la sensibilità ai cambiamenti climatici, del continente europeo, assuma un gradiente Nord-Sud. (IPCC 2008)

Le precipitazioni annuali in nord Europa hanno subito un aumento tra il 10 ed il 40% nell'ultimo secolo: i maggiori aumenti si sono verificati in Scandinavia e Russia occidentale.

In Europa centrale tali cambiamenti sono meno pronunciati e si osserva sia un aumento delle precipitazioni nella parte occidentale sia una diminuzione nella parte orientale.

Nell'Europa meridionale le precipitazioni sono in diminuzione: gran parte del bacino Mediterraneo ha sperimentato una diminuzione delle precipitazioni fino al 20% in alcune zone nell'ultimo secolo.

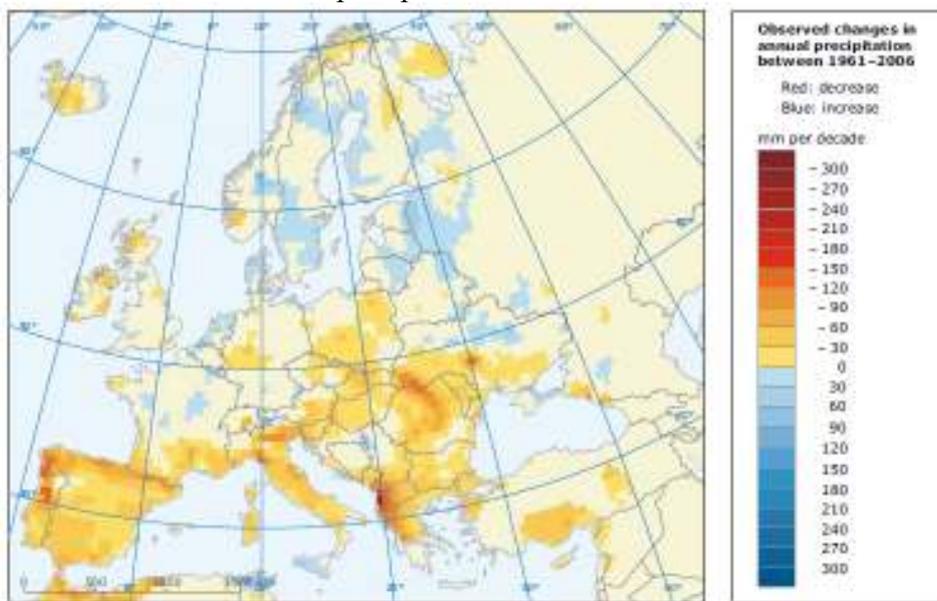


Figura 4: variazione media decennale delle precipitazioni annuali, calcolata per il periodo 1961-2006, in Europa
 Fonte: ENSEMBLES ECA&D http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4/pp37-75CC2008_ch5-1to4_Athmosphere_and-cryosphere.pdf

Tali cambiamenti del normale trend annuale di precipitazioni a livello europeo sono fortemente correlati a livello sinottico alle variazioni di pattern circolatori a larga scala che regolano il clima nella zona europea.

Ad esempio per il continente europeo importante è risultato essere l'influenza della NAO (Nord Atlantic Oscillation) (*WMO 2009*) (Rogers 1984); essa descrive l'anomalia media mensile della pressione a livello del mare alle medie latitudini e la corrispettiva anomalia osservata alle alte latitudini.

A valori positivi di NAO è associata un'intensificazione dell'anticiclone delle Azzorre che garantisce quindi tempo stabile, assenza di precipitazioni ed inverni miti sull'Europa centro meridionale e maggiori precipitazioni nelle zone settentrionali quali la Scandinavia.

Per valori negativi di NAO si associa un'alta pressione alle elevate latitudini sostituita alle medie latitudini da una depressione, questo comporta inverni più freddi e piovosi sull'Europa centro meridionale.

Negli ultimi decenni dal 1980 in particolare la NAO tende a rimanere su valori positivi contribuendo quindi a generare i trend precipitativi precedentemente descritti in ambito europeo.

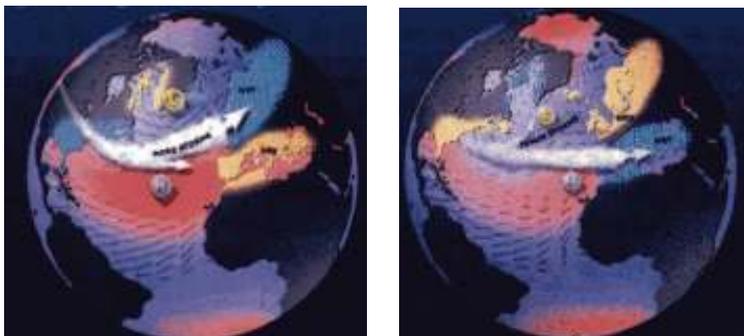
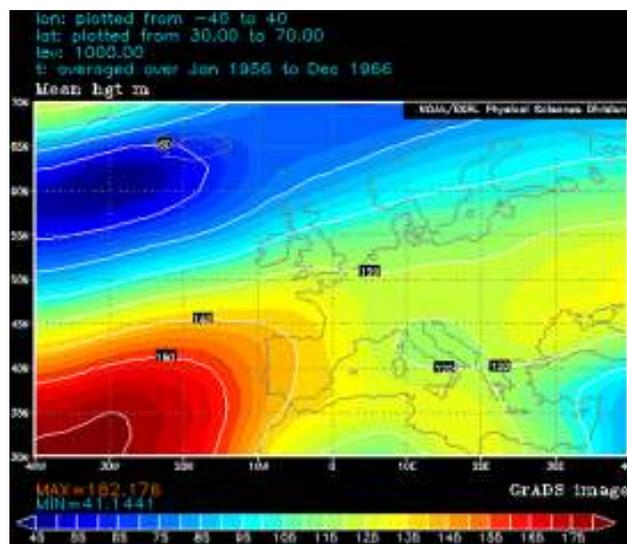


Figura 5: NAO positiva a sinistra e negativa a destra

Fonte: http://ccu.jrc.it/Publications/Climate_Change_and_the_European_Water_Dimension_2005.pdf p.47

Un riscontro della mutata situazione meteo-climatica sull'Europa tra il periodo 1956-66 (prima immagine fig. 6) e quello 1982-04 (ultima immagine, fig. 6) è fornito dall'analisi delle carte medie pluriennali di geopotenziale alla quota di 1000 hPa (fonte NOAA) che ben descrivono gli effetti del NAO invernale sul continente europeo. Si osserva infatti che, per esempio, l'isoipsa 140 m stazionante sulla penisola iberica fino alla fine degli anni '80, si estende successivamente all'Italia settentrionale e ai Balcani. L'innalzamento dei valori medi di altezza geopotenziale è un segnale di maggior presenza di condizioni anticicloniche, di temperature più elevate e minori precipitazioni.



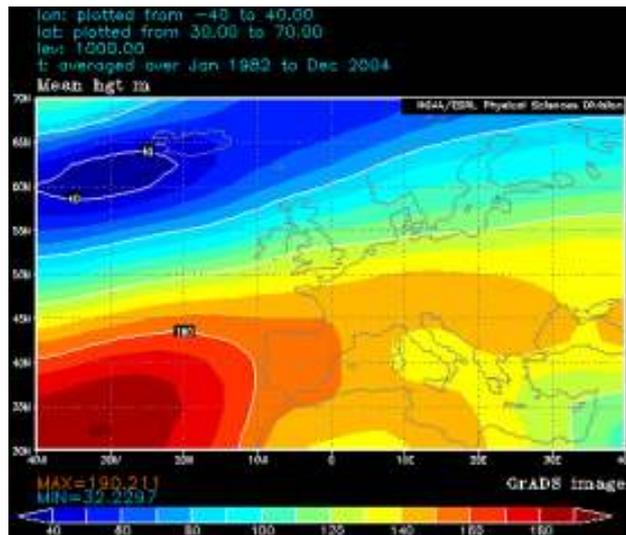


Figura 6: Carte di geopotenziale medio a 1000 hpa nei periodi: 1956-1966 ; 1967-1981 ; 1982-2004. Colori tendenti al rosso indicano alta pressione, colori tendenti al blu indicano bassa pressione. Da notare come l'area di alta pressione oceanica negli anni estenda progressivamente la propria influenza sull'Europa centro meridionale determinandone un clima progressivamente più asciutto.

Fonte: NOAA www.cdc.noaa.gov

Tra gli effetti più significativi delle anomalie climatiche descritte che hanno caratterizzato in particolar modo gli ultimi decenni a livello europeo vi è senza dubbio la variazione trend pluviometrico. Tale variazione si manifesta concretamente anche con l'aumento di fenomeni siccitosi in certe aree del continente o con l'aumento del rischio di inondazioni in altre. Un aumento del quantitativo di precipitazioni per giorno piovoso è infatti osservato in gran parte del continente anche nelle aree in cui il trend di precipitazioni è in diminuzione. (Frich et al 2002; Klein Tank et al 2002; Alexander et al 2006; in IPCC 2007) Questo si traduce in una diminuzione della disponibilità delle risorse idriche nel primo caso ed in un aumento dei danni da inondazione nel secondo caso.

Una minore disponibilità delle risorse idriche causata da fenomeni siccitosi comporta inoltre seri danni alle attività antropiche che necessitano di grandi quantitativi d'acqua, prima fra tutte l'agricoltura, ma anche l'approvvigionamento energetico tramite centrali idroelettriche che coprono attualmente circa il 20% del fabbisogno energetico a livello europeo (IPCC 2007). La zona mediterranea, in particolare, risulta più vulnerabile all'aumento dei fenomeni di siccità indotti dal minor quantitativo di precipitazioni atmosferiche.

I sistemi agricoli in tale zona sono minacciati dal rischio di forti irregolarità pluviometriche quali abbondanti precipitazioni atmosferiche concentrate in brevi periodi che possono essere seguite da lunghi periodi siccitosi. La necessità di acqua irrigua ne risulta quindi aumentata poiché precipitazioni brevi ma intense forniscono un apporto d'acqua al suolo in grado di soddisfare il fabbisogno idrico della coltura solo temporaneamente, ma non a lungo termine (NDMC 2006) mettendo a rischio la resa e la qualità della produttività agricola in queste zone.

Risultano a rischio anche le zone della fascia alpina per danni al paesaggio e all'economia arrecati dalla diminuzione delle precipitazioni nevose, dovuta ai cambiamenti climatici, che incide negativamente sull'estensione dei ghiacciai alpini che costituiscono a loro volta delle importanti riserve idriche (V.Di Stefano et al. 2008).



Foto 1: Vista del ghiacciaio della Marmolada (BL) in periodo estivo, in rosso l'estensione negli anni passati. E' evidente in netto ritiro del ghiacciaio.

Fonte: <http://geograficamente.files.wordpress.com/2009/07/innalzamento-fronte-marmolada.jpg>

1.4 TREND PLUVIOMETRICI IN VENETO

L'incidenza dei cambiamenti climatici osservati a livello mondiale ed europeo si riflette e si nota anche su scale spaziali molto inferiori come nel caso della regione Veneto.

Il trend osservato considerando la serie storica pluviometrica dal 1956 al 2004, per quanto riguarda la media di 49 stazioni afferenti all'ex Servizio Idrografico della Regione Veneto, in Veneto risulta in diminuzione analogamente a quanto già osservato per l'Europa centro meridionale ed il bacino Mediterraneo (A. Chiaudani 2008).

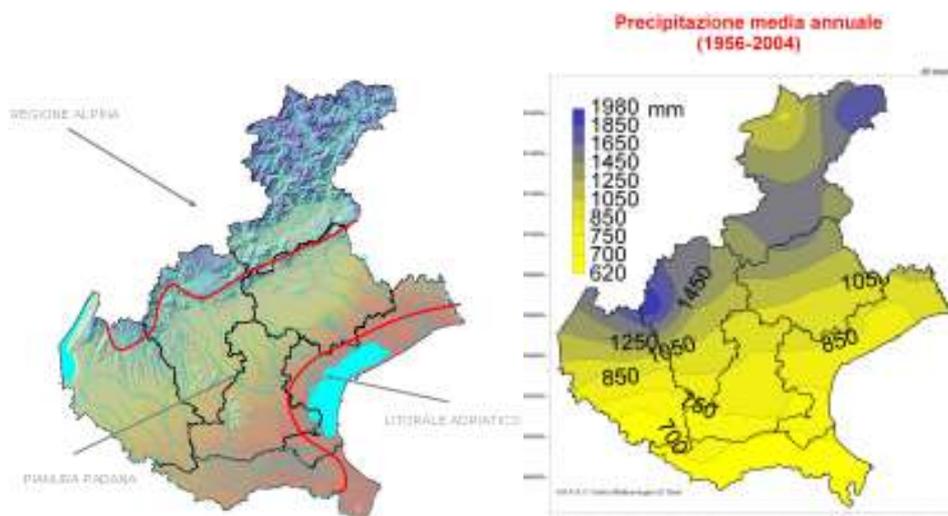


Figura 7: Differenti zone climatiche della regione Veneto (a sinistra); precipitazione media annuale nel periodo 1956-2004 in Veneto (a destra).

Fonte: http://www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/Chiaudani_clima_Veneto.pdf pp. 43-49

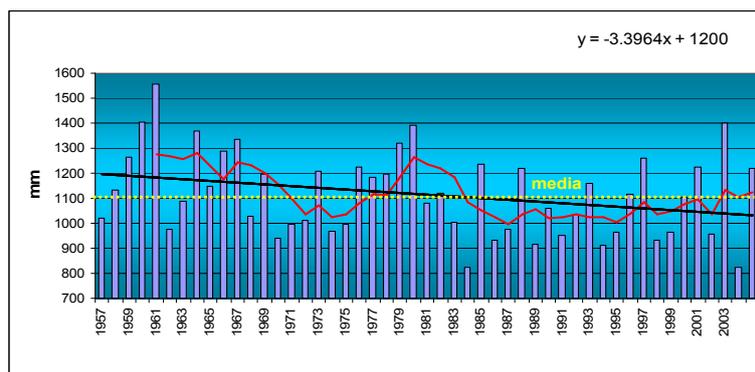


Figura 8: Precipitazione media annua (49 stazioni) in Veneto e relativo trend in diminuzione nel periodo 1956-2004
 Da notare come il trend individuato per la regione Veneto coincide con quello europeo mostrato in figura 4
 Fonte: http://www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/Chiaudani_clima_Veneto.pdf p50

1.5 LA SICCAITA'

La siccità che non deve essere confusa con l'aridità che è una caratteristica normale di un clima secco è una delle maggiori avversità legate al tempo meteorologico, durando per mesi o anni può coinvolgere vaste zone e avere serie conseguenze che dipendono dalla durata dalla severità e dall'estensione del deficit di precipitazione.

Secondo l'EDC (European Drought Centre) la siccità può essere genericamente definita come il manifestarsi di un periodo con disponibilità idrica sotto la media riguardante estese aree geografiche. L'NDMC (National drought mitigation centre) fornisce invece la seguente definizione di siccità: un prolungato periodo con precipitazioni sotto la media che causa estesi danni alle colture che presentano quindi un calo di produttività. (NDMC 2006)

Il problema della siccità è molto complesso e coinvolge molti aspetti delle scienze, dell'economia, la sociologia e la politica ed è quindi interdisciplinare (J.Vogt, F.Somma 2000) dato che ha un notevole impatto ambientale che si articola su diversi livelli, a partire dall'agricoltura, fino a giungere alla gestione delle risorse idriche e del territorio. (V. Di Stefano et al. 2008)

La varietà di queste definizioni tra differenti stati e periodi storici illustra l'evoluzione della definizione di siccità sviluppata in una determinata zona ad un'altra zona del pianeta presumibilmente basate su una profonda conoscenza della climatologia regionale (NDMC2006):

Gran Bretagna (1936): 15 giorni consecutivi con precipitazione giornaliera inferiore a 0,25mm.

Stati Uniti (1942): meno di 2,5mm di pioggia in 24 ore.

Bali (1964): un periodo di 6 giorni senza pioggia.

Libia (1984): precipitazione annuale inferiore a 180mm.

La siccità, fenomeno ricorrente e diffuso in tutto il mondo, ha caratteristiche spaziali e temporali che differiscono significativamente da una regione all'altra, quindi non deve essere intesa come un semplice fenomeno fisico poiché i suoi effetti dipendono e variano molto a seconda del contesto in cui l'evento siccitoso si verifica.

Per questo motivo esistono due principali modi per definire la siccità, esistono infatti definizioni di tipo concettuale e di tipo operativo: le prime sono definizioni generiche che hanno la funzione di introdurre il problema della siccità, come quella dell'EDC e NDMC mentre le definizioni di tipo operativo sono molto più specifiche e possono differire anche molto a seconda della zona e dell'ambito di applicazione.

Le definizioni di tipo operativo hanno lo scopo di definire l'inizio, il grado d'intensità e la fine di un evento siccitoso nel luogo dove questo si manifesta, non esiste quindi un'unica definizione operativa di siccità che si possa applicare ad ogni singola situazione.

Basti pensare che alcune ricerche negli anni 80 svolte dal NDMC hanno scoperto l'esistenza di oltre 150 definizioni operative di siccità pubblicate. (Wilhite et Glantz 1980)

Gli stessi autori sintetizzarono le definizioni in termini di quattro differenti approcci per misurare la siccità: meteorologico, idrologico, agricolo e socioeconomico:

La siccità meteorologica è un'espressione dello scostamento delle precipitazioni rispetto alla norma rispetto un determinato periodo di tempo.

La siccità agricola si verifica quando non c'è abbastanza umidità nel suolo per soddisfare l'esigenza di una determinata coltura in un particolare momento. La siccità agricola si manifesta dopo la siccità meteorologica ma prima di quella idrologica.

L'agricoltura è generalmente il primo settore economico ad essere colpito dalla siccità.

In caso la carenza di precipitazioni perduri a lungo questa si riflette anche sui livelli idrologici. In quanto la siccità idrologica si riferisce ad un carente approvvigionamento idrico sia superficiale che sotterraneo è misurata come portate fluviali, livello dei laghi e degli acquiferi sotterranei.

C'è un periodo di tempo tra carenza di precipitazioni e minori livelli in fiumi laghi ed acquiferi, le misurazioni idrologiche non sono pertanto i primi indicatori di siccità.

La siccità socioeconomica si verifica quando la carenza d'acqua inizia ad influire sulle persone individualmente o collettivamente. In termini più astratti, molte definizioni socioeconomiche associano la siccità alla domanda e offerta di un bene economico. (Wilhite et Glantz 1980)

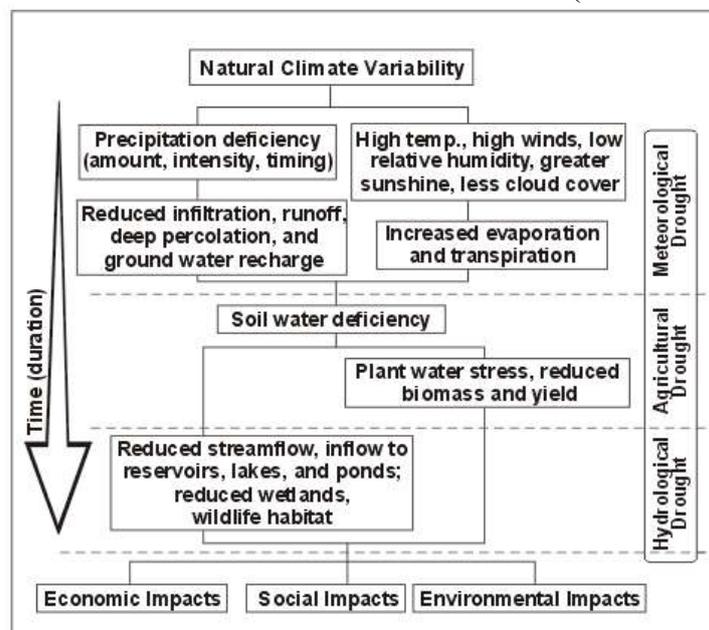


Figura 9: schematizzazione delle differenti definizioni della siccità

Fonte:NDMC <http://www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm>

1.6 INDICI DI MONITORAGGIO DELLA SICCITA'

La siccità meteorologica viene monitorata attraverso indici meteorologici ottenuti dall'elaborazione di dati meteorologici (generalmente solo le precipitazioni) che indicano sinteticamente attraverso delle scale di valori standard lo scostamento da condizioni considerate come la "norma". (Castelli F; Caparrini F. 2002)

Esistono diversi indici per il monitoraggio della siccità in uso da diversi anni tra i quali:

- PDSI (Palmer Drought severity index) (W.C. Palmer 1965)
- CMI (Crop moisture index) (W.C. Palmer 1968)
- SWSI (Surface water supply index) (Shafer and Dezman 1982)
- SPI (Standardized precipitation index) (Mckee et al 1993).

1.6.1 PDSI

Il PDSI (Palmer Drought severity index) è stato il primo indice di siccità meteorologica ad essere sviluppato: nasce negli USA, viene calcolato utilizzando i dati di precipitazione, temperatura e contenuto d'acqua del terreno, si tratta tuttavia di un indice abbastanza complesso e non standardizzato sebbene ne sia stato recentemente aggiornato il metodo di calcolo (*Heddinghaus and Saabol 1991*).

Il PDSI viene generalmente calcolato a scala mensile e presenta valori da -4 a +4 rispettivamente per indicare condizioni di siccità o di umidità (surplus pluviometrico).

Sono disponibili in rete mappe del PDSI all'indirizzo:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/palmer.gif.

Il PDSI trova applicazione su territori grandi e geograficamente uniformi (assenza di rilievi) ed è stato a lungo utilizzato dall'USDA (United States department of agriculture) per il monitoraggio della siccità, tuttavia è attualmente meno utilizzato in favore dello SPI.

Alcuni ricercatori col passare degli anni hanno evidenziato ulteriori limitazioni del PDSI, secondo (Mc Kee 1995) il PDSI è stato creato per l'agricoltura ma non rappresenta accuratamente l'impatto idrologico risultante da lunghi periodi siccitosi.

1.6.2 CMI

Il CMI (Crop moisture index) creato da Palmer nel 1968 è un indice semplice basato su un algoritmo del quantitativo di umidità del suolo derivato dal PDSI.

Il CMI è stato sviluppato per monitorare a breve termine le condizioni di umidità nelle regioni con maggiori produzioni agricole ed utilizza un approccio meteorologico per monitorare settimanalmente le condizioni della coltura agraria presa in esame.

Il CMI considera i principali dati di temperatura e le precipitazioni totali settimana per settimana nonché il valore di CMI della settimana precedente.

Il CMI risponde rapidamente al cambio di condizioni, consente di valutare sia condizioni tendenti alla siccità sia all'umidità tramite una scala di valori da -3 a +3 ed è pesato sia per periodo che per zona di applicazione.

Questo indice viene attualmente utilizzato dall'USDA per la realizzazione di mappe settimanali disponibili in rete (<http://www.usda.gov/oce/weather/pubs/Weekly/Wwcb/index.htm>) per un rapido confronto delle condizioni di umidità nelle differenti zone degli U.S.A.

1.6.3 SWSI

Il SWSI (Surface water supply index) sviluppato da Shafer e Dezman nel 1982 al fine di complementare l'indice di Palmer (PDSI) nelle regioni dove l'apporto idrico legato alle precipitazioni di tipo nevoso ed ai ghiacciai assume un ruolo rilevante tale da non poter essere trascurato.

Lo scopo del SWSI in particolare, era quello di riassumere insieme le caratteristiche idrologiche e climatiche in un unico indice simile a quello di Palmer valido per ogni grosso bacino fluviale dello stato del Colorado negli U.S.A.

L'indice SWSI viene calcolato per ogni bacino idrico di interesse: vengono sommati i dati mensili di precipitazione, accumulo nevoso, portate fluviali (a seconda della stagione di applicazione) e riserve idriche, ogni somma viene normalizzata usando una frequenza raccolta da una lunga serie storica di dati.

L'SWSI è un indice complesso ed ogni suo componente nel calcolo è pesato e specifico per ogni singolo bacino idrico di applicazione, l'indice mostra sia la tendenza alla siccità che all'umidità con una scala di valori che va da -4 a +4.

Il suo utilizzo è tuttavia vantaggioso in quanto è veloce da calcolare e fornisce una stima rappresentativa dell'apporto di acqua superficiale nella zona considerata.

Sono disponibili in rete le mappe dell'indice relative allo stato del Montana (U.S.A) all'indirizzo:

<http://nr.is.state.mt.us/wis/SWSInteractive/>.

1.6.4 SPI

L'indice SPI nasce nel 1993 quando Mckee, Doesken e Kleist compresero che il deficit pluviometrico ha impatti differenti sulle grandi riserve idriche piuttosto che sull'umidità del suolo. Mckee et al vollero dunque creare un' indice che quantificasse il deficit di precipitazione su diverse scale temporali che a loro volta riflettono l'impatto del deficit pluviometrico sulla disponibilità delle differenti risorse idriche.

Il calcolo dell' indice SPI per un determinato luogo è basato su una lunga serie storica di dati di precipitazione inoltre, per le proprie caratteristiche intrinseche quali la semplicità di calcolo e la possibilità di confronto fra diverse aree (è un indice standardizzato) l'indice SPI trova attualmente larghissimo impiego.

L'indice SPI può essere calcolato secondo differenti scale temporali che vanno generalmente da 1 mese a 48 mesi a seconda degli impatti della siccità da monitorare, i valori di SPI variano generalmente tra -2 e +2 indicando rispettivamente sia condizioni tendenti alla siccità che all'aridità.

Lo SPI è utilizzato per il monitoraggio costante della siccità da parte di organizzazioni operanti a livello internazionale: fra queste è bene ricordare il JRC (Joint research centre) istituto per l'ambiente e la sostenibilità finanziato dalla commissione europea, che si occupa di siccità e desertificazione. Il JRC tramite un apposita sezione del proprio sito internet dà la possibilità di calcolare lo SPI per ogni SPI per ogni singola provincia europea.

<http://desert.jrc.ec.europa.eu/action/php/index.php?action=view&id=142>.

Il global drought monitor a cura del dipartimento di fisica dell'atmosfera del UCL (University college London) che realizza mappe sulla situazione in corso della siccità a livello globale e a diverse scale temporali:

<http://drought.mssl.ucl.ac.uk/drought.htm>.

Da citare anche l'americana National drought mitigation centre

che fornisce mappe dello SPI per gli U.S.A. all'indirizzo <http://drought.unl.edu/monitor/spi.htm>.

1.7 ESEMPI DI APPLICAZIONE DEGLI INDICI

Si riportano di seguito alcune mappe relative agli indici elencati.

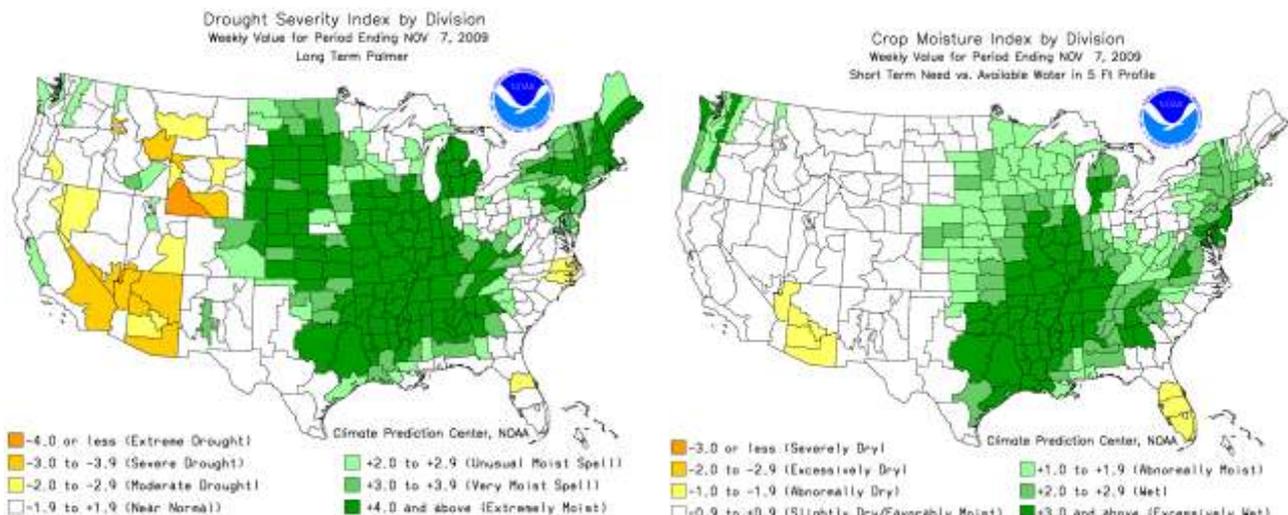


Figura 10: indice PDSI (sinistra) e CMI (destra) applicati su scala settimanale negli U.S.A

Fonte: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/palmer.gif
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/cmi.gif

1-month Standardized Precipitation Index through the end of October 2009

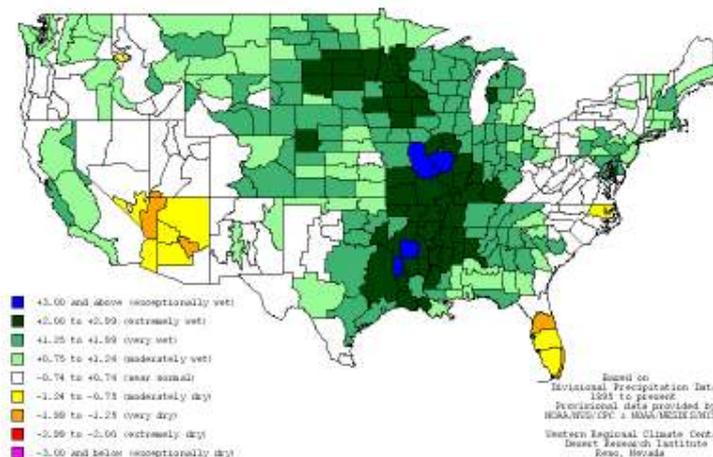


Figura 11: indice SPI (ottobre 2009) applicato a scala mensile negli U.S.A
 Fonte: <http://www.wrcc.dri.edu/cgi-bin/spiFmap.pl?spi01>

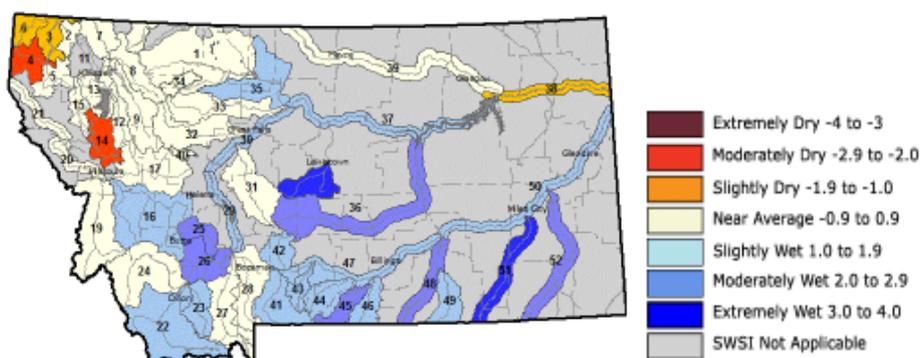


Figura 12: indice SWSI applicato nello stato del Montana (U.S.A) mappa di Agosto 2009
 Fonte: <http://nriss.state.mt.us/wis/SWSInteractive/SWSI-App.asp?month=8&year=2009>

A livello europeo sono numerosi gli enti che utilizzano lo SPI uno di questi è l'I.S.P.R.A che nel proprio bollettino della siccità fornisce anche cartine dello SPI applicato a livello europeo.

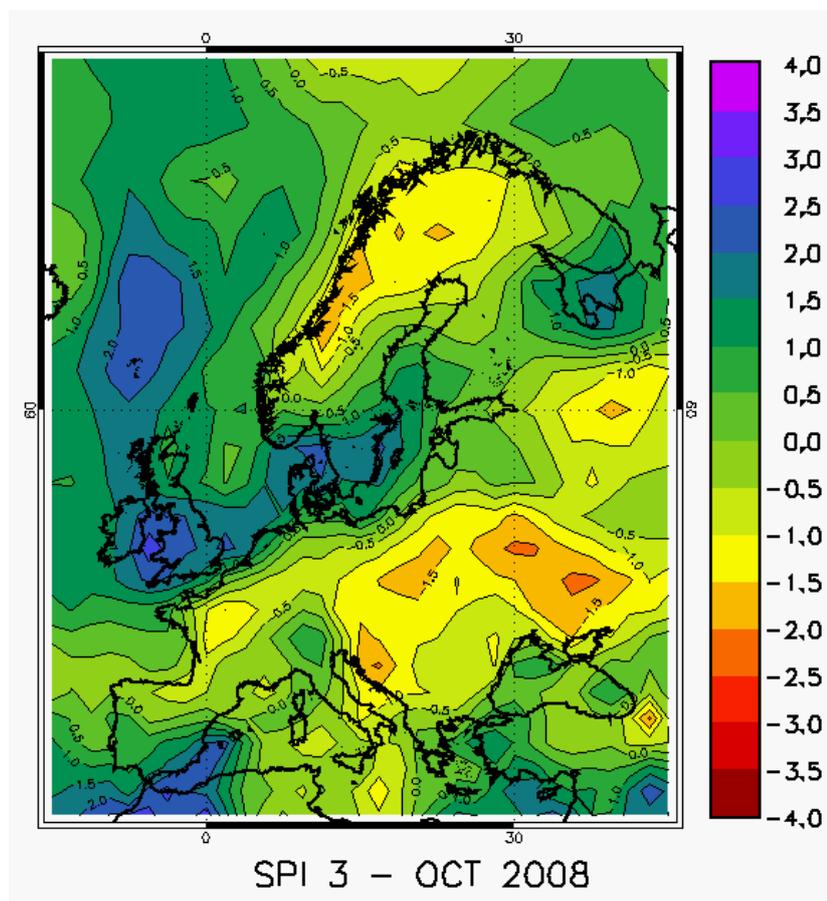


Figura 13: SPI 3 mesi in Europa mappa di Ottobre 2008

Fonte: ISPRA: http://www.apat.gov.it/pre_meteo/siccitas/html/2008/200810/europa.html

1.8 L'INDICE SPI IN ITALIA E IN VENETO

In Italia l'indice SPI è frequentemente utilizzato a livello regionale da parte delle agenzie ed enti preposti al monitoraggio ambientale sia per la realizzazione di studi climatici che meteo-climatici: gli studi di tipo climatico come questa tesi, sono basati su serie storiche di dati lunghe almeno 30 anni; studi di tipo meteo-climatico invece si basano su serie storiche di dati con lunghezza inferiore ai 30 anni considerando quindi gli andamenti del tempo meteorologico a tale scala temporale.

A livello locale viene attribuita particolare importanza data la disponibilità di dati completi ed aggiornati agli andamenti meteo-climatici: in questo contesto si inserisce il servizio di monitoraggio della siccità fornito da alcune ARPA (Agenzie regionali protezione ambientale) ad esempio ARPA Piemonte (www.arpa.piemonte.it/bollettini).

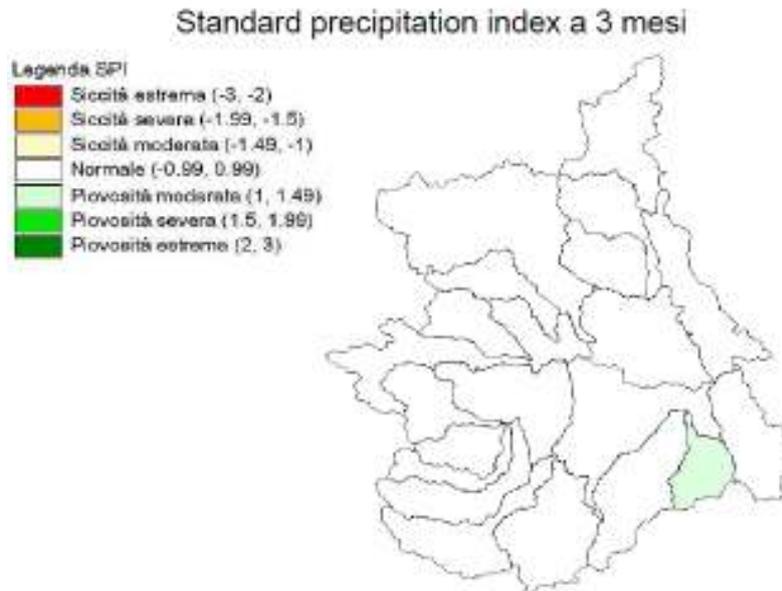


Figura 14: SPI a 3 mesi in Piemonte (Novembre 2009).

Fonte: http://www.arpa.piemonte.it/upload/dl/Bollettini/bollettino_idromensile.pdf

Nella cartina riportata solo una ristretta zona mostra una tendenza al surplus pluviometrico mentre nel resto della regione la piovosità è nella norma.

Nel caso della regione Veneto tale servizio viene fornito da ARPA Veneto (Centro meteorologico di Teolo) (www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/SPI.htm).

A scopo illustrativo si è scelto di analizzare brevemente tramite SPI ed anomalia delle piogge l'andamento pluviometrico del mese di Aprile 2007 e Settembre 2009 in Veneto.

1.8.1 Aprile 2007

Nel mese di Aprile 2007 nella zona di pianura le piogge sono state assenti, nelle restanti zone della regione le precipitazioni sono state molto scarse e sotto la media.

Nelle due cartine seguenti troviamo le piogge e l'anomalia delle piogge espressi in mm come differenza dalla media del periodo 1994-2006.

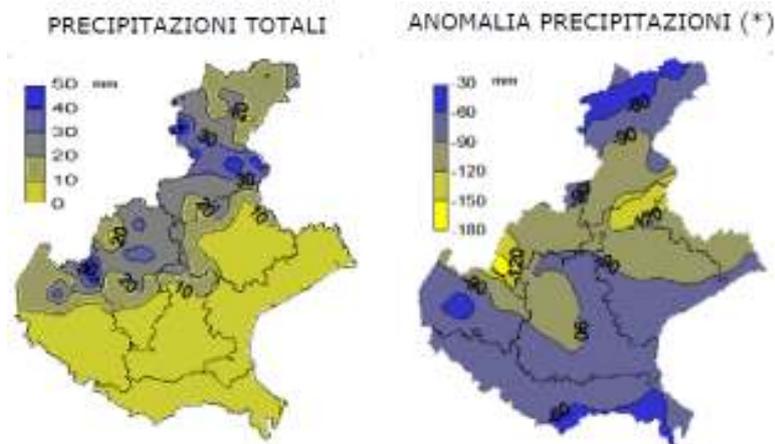


Figura 15: precipitazioni Aprile 2007

www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/aprile_2007.pdf

Per il mese di Aprile 2007 si nota come lo SPI indichi condizioni di forte siccità sull'intero territorio regionale.

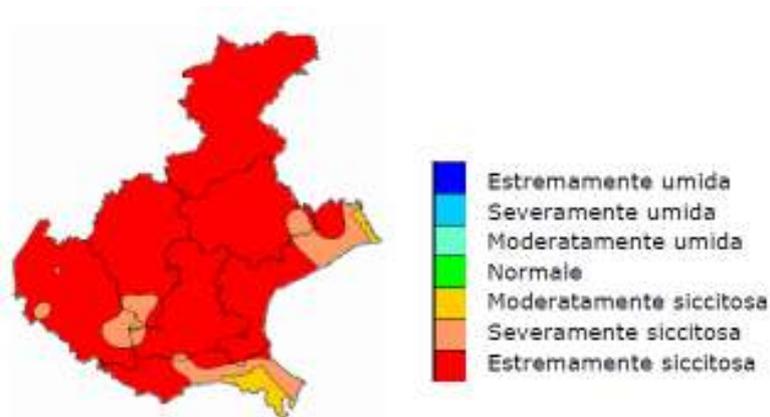


Figura 16: SPI mensile Aprile 2007

Fonte: www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/aprile_2007.pdf

1.8.2 Settembre 2009

Settembre 2009 è stato caratterizzato da una piovosità generalmente nella norma in pianura; solo in una ristretta area tra il Padovano e il Veneziano e nella pedemontana tra il Vicentino e Trevigiano si sono tuttavia verificate abbondanti precipitazioni in particolare nel giorno 16.

Nelle due cartine seguenti troviamo le piogge e l'anomalia delle piogge espressi in mm come differenza dalla media del periodo 1994-2008.

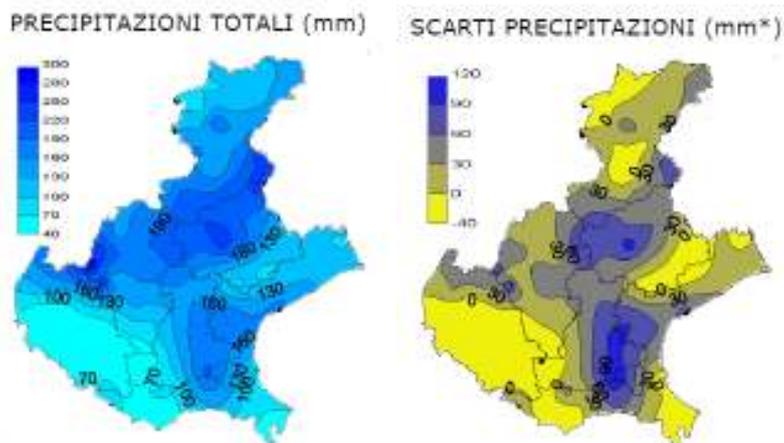


Figura 17: Settembre 2009

Fonte: www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/settembre_2009.pdf

Si nota come per il mese di Settembre 2009 nella gran parte della regione lo SPI indichi condizioni prossime alla normalità, mentre in coincidenza con le zone dove si sono registrati i maggiori accumuli pluviometrici lo SPI individui una porzione del territorio Veneto caratterizzata da elevata umidità (surplus pluviometrico).

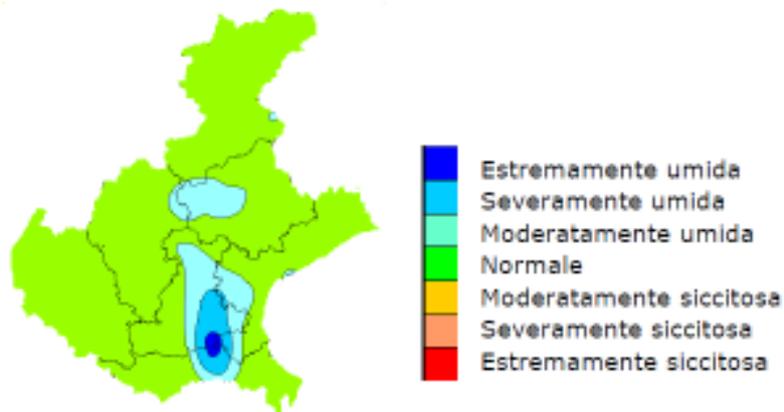


Figura 18: SPI mensile Settembre 2009

Fonte : www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/settembre_2009.pdf

Questo esemplifica brevemente il funzionamento dell'indice SPI ed evidenzia come lo SPI rifletta l'andamento delle precipitazioni.

2. SCOPO DELLA TESI

Questa tesi si propone di verificare l'andamento del deficit in primis ma anche del surplus pluviometrico, poiché come si è visto con l'indice di McKee è possibile valutare anche quest'ultimo, nella regione Veneto analizzando l'indice SPI nelle sue diverse classi temporali nel periodo dal 1956 al 2004. Questo studio integra studi già effettuati precedentemente sulla regione Veneto che sono risultati essere meno precisi avendo avuto a disposizione un numero di dati nettamente inferiore.

Ci si propone di individuare ,quando presente, un trend dello SPI a livello regionale e di verificarne l'andamento nelle differenti aree geografiche e climatiche della regione del Veneto.

3. MATERIALI E METODI

3.1 L' INDICE SPI IN DETTAGLIO

L'indice di McKee necessita per la sua elaborazione dei soli dati di precipitazione e viene calcolato considerando la deviazione della precipitazione rispetto al suo valore medio su una data scala temporale, divisa per la sua deviazione standard.

Dato che la precipitazione non è normalmente distribuita, almeno su scale temporali minori l'andamento delle precipitazioni non è di tipo "normale" dunque soprattutto nelle scale temporali inferiori all'anno il valore viene aggiustato in modo da ottenere un andamento "gaussiano" con media nulla e varianza unitaria. In questo modo l'indice che si ottiene è standardizzato e dunque non influenzato dal dato medio di pioggia della determinata stazione in esame consentendo il confronto tra zone anche molto differenti tra loro climatologicamente.

La rappresentatività di questo indice aumenta all'aumentare del numero dei dati rendendo quindi necessarie serie storiche lunghe e prive di dati mancanti purtroppo non sempre reperibili.

Va ricordato che la siccità può manifestarsi anche in zone non necessariamente aride se le precipitazioni sono inferiori ai valori medi registrati nel tempo in quella determinata stazione.

Un evento siccitoso viene segnalato dallo SPI tramite valori continuamente negativi e minori di -1.

Gli effetti della siccità sulla disponibilità di risorse idriche si manifesta con scale temporali differenti che incidono a livelli differenti:

- Umidità nel suolo (1-3 mesi)
- Corsi d'acqua e resa produttiva colture (6 mesi)
- Bacini idrici ridotti- falde e portate fluviali (12 mesi)
- Bacini idrici medi- falde e portate fluviali (24 mesi)
- Bacini idrici grandi- falde e portate fluviali (48 mesi)

Il valore dello SPI oscilla nella maggior parte dei casi tra +2 e -2 anche se questi due estremi possono essere superati entrambi.

I valori positivi indicano una tendenza all'umidità, mentre valori negativi indicano una tendenza alla siccità.

In particolare osserviamo le seguenti classi a seconda dei valori di SPI:

- per valori >2 estremamente umido
- da 1,5 a 1,99 severamente umido
- da 1 a 1,49 moderatamente umido
- da -0,99 a 0,99 vicino al normale
- da -1 a -1,49 moderatamente siccitoso
- da -1,5 a -1,99 severamente siccitoso
- per valori <-2 estremamente siccitoso

Per questo studio la serie storica pluviometrica utilizzata è quella che va dal 1956 al 2004.

Sono state prese in considerazione 49 stazioni sparse sull'intero territorio regionale (in modo da poter studiare più attentamente l'andamento dello SPI su tutto il territorio) che presentassero la serie storica citata in maniera più completa possibile ovvero con il minor numero possibile di dati mancanti.

I dati storici giornalieri di precipitazioni utilizzati nel presente studio provengono per la maggior parte da stazioni dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia (poi Servizio

idrografico e Mareografico Nazionale -MA-), la cui gestione è stata recentemente trasferita alle regioni. La rete di stazioni meccanico-manuale del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale operativa dall'inizio del XX secolo, ha garantito per il Triveneto il monitoraggio termopluviometrico con buona continuità temporale e spaziale fondamentale per la realizzazioni di serie storiche utilizzabili ai fini della descrizione degli andamenti climatici del territorio.

Il recupero di tali dati è consistito nella digitalizzazione dagli originali supporti cartacei (Annali Idrologici), al fine di consentire l'applicazione di moderne tecniche di descrizione ed analisi, ed ha permesso la stesura di un primo documento, con trenta anni di osservazioni relativo al periodo 1961-1990 (*Bonini Baraldi, 1993*). La disponibilità dei dati di precipitazione giornalieri provenienti anche da altre fonti (Aeronautica Militare -AM-, ARPAV - Centro Meteorologico di Teolo ed altri Istituti quali l'ITAV di Conegliano), ha permesso la costituzione, presso il Centro Meteo di Teolo, di un archivio omogeneo di dati informatizzati relativo al periodo 1956-2004 per 49 stazioni pluviometriche.



Foto 2: Tipologia di stazione meteorologica utilizzata per la raccolta dei dati di precipitazione.



Figura 19: Distribuzione delle 49 stazioni pluviometriche meccaniche utilizzate.

Tabella 1: stazioni pluviometriche meccaniche utilizzate

| STAZIONE | TARGA | FONTE | PROV. | QUOTA | LAT. | LONG. | x | y |
|-----------------------------------|-------|----------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| AGORDO | AG | M.A. | BL | 611 | 46° 17' | 12° 02' | 1733630 | 5129925 |
| ANDRAZ | AZ | M.A. | BL | 1520 | 46° 29' | 11° 59' | 1729372 | 5152693 |
| ARSIE' | AR | M.A. | BL | 314 | 45° 59' | 11° 45' | 1713636 | 5095837 |
| ASIAGO | AS | M.A. | VI | 1046 | 45° 53' | 11° 30' | 1696146 | 5082296 |
| AURONZO | AU | M.A. | BL | 864 | 46° 34' | 12° 26' | 1765601 | 5159862 |
| BADIA POLESINE | BD | M.A. | RO | 11 | 45° 06' | 11° 29' | 1697129 | 4995764 |
| BASSANO DEL GRAPPA | BG | M.A. | VI | 129 | 45° 47' | 11° 44' | 1712028 | 5071535 |
| BOCCAFOSSA | BC | M.A. | VE | 2 | 45° 39' | 12° 45' | 1791629 | 5063415 |
| BOTTI BARBARIGHE | BB | M.A. | RO | 7 | 45° 07' | 12° 01' | 1737849 | 5000246 |
| BOVOLENTA | BN | M.A. | PD | 7 | 45° 16' | 11° 55' | 1730014 | 5017814 |
| BOVOLONE | BV | I.S.T | VR | 24 | 45° 16' | 11° 07' | 1666005 | 5014669 |
| CA' PASQUALI | PQ | M.A. | VE | 2 | 45° 28' | 12° 29' | 1772584 | 5040006 |
| CASTELFRANCO VENETO | CV | M.A. | TV | 44 | 45° 41' | 11° 56' | 1728503 | 5061905 |
| CASTELMASSA | CM | M.A. | RO | 12 | 45° 01' | 11° 18' | 1681178 | 4987290 |
| CAVANELLA MOTTE | CE | M.A. | VE | 1 | 45° 07' | 12° 14' | 1754616 | 5001793 |
| CENCENIGHE | CN | M.A. | BL | 773 | 46°22' | 11°58' | 1728147 | 5138990 |
| CHIES D'ALPAGO | CI | M.A. | BL | 705 | 46° 10' | 12° 23' | 1761146 | 5118054 |
| CISMON DEL GRAPPA | GR | M.A. | VI | 205 | 45°56' | 11°43' | 1711812 | 5088542 |
| CONCORDIA SAGITTARIA | CC | M.A. | VE | 5 | 45° 46' | 12° 50' | 1801485 | 5068238 |
| CONEGLIANO | CG | I.T.A.V. | TV | 83 | 45° 53' | 12° 17' | 1754728 | 5086125 |
| CONETTA | CT | M.A. | VE | 4 | 45° 11' | 12° 00' | 1735374 | 5006799 |
| CORTELLAZZO | CR | M.A. | VE | 1 | 45° 31' | 12° 40' | 1785737 | 5048983 |
| CORTINA D' AMPEZZO | CZ | M.A. | BL | 1275 | 46° 32' | 12° 08' | 1740232 | 5158003 |
| CROSARA | CS | M.A. | VI | 417 | 45° 47' | 11° 36' | 1785660 | 5061622 |
| CURTAROLO | CU | M.A. | PD | 19 | 45° 32' | 11° 50' | 1721405 | 5044837 |
| FORTOGNA | FT | M.A. | BL | 435 | 46° 14' | 12° 17' | 1753953 | 5125402 |
| GOSALDO | GO | M.A. | BL | 1141 | 46°14' | 11°57' | 1727417 | 5124127 |
| ISOLA VICENTINA | IV | M.A. | VI | 80 | 45° 38' | 11° 26' | 1690494 | 5055703 |
| LA GUARDA | LG | M.A. | BL | 605 | 46° 07' | 11° 56' | 1727510 | 5112548 |
| LANZONI (CAPO SILE) | LA | M.A. | VE | 2 | 45° 34' | 12° 30' | 1773603 | 5052343 |
| LEGNARO | LE | M.A. | PD | 10 | 45° 21' | 11° 58' | 1731320 | 5025785 |
| PORTOGRUARO | PO | M.A. | VE | 6 | 45° 47' | 12° 50' | 1798002 | 5075224 |
| RECOARO | RE | M.A. | VI | 445 | 45° 42' | 11° 12' | 1672791 | 5063584 |
| ROSARA DI CODEVIGO | RC | M.A. | PD | 3 | 45° 18' | 12° 06' | 1745407 | 5021101 |
| ROVIGO | RO | M.A. | RO | 7 | 45° 04' | 11° 47' | 1717758 | 4995166 |
| S. ANTONIO DI TORTAL | SR | M.A. | BL | 513 | 46° 02' | 12° 10' | 1745010 | 5102549 |
| S. CROCE DEL LAGO | SL | M.A. | BL | 409 | 46° 06' | 12° 19' | 1756413 | 5113827 |
| S. DONA' DI PIAVE | SD | M.A. | VE | 4 | 45° 38' | 12° 34' | 1777818 | 5059011 |
| SADOCCA | SA | M.A. | RO | 2 | 45° 03' | 12° 20' | 1762450 | 4993826 |
| SCHIO | SC | M.A. | VI | 234 | 45° 43' | 11° 21' | 1688234 | 5065210 |
| SOAVE | SV | M.A. | VR | 40 | 45° 25' | 11° 15' | 1675646 | 5032171 |
| STRA | ST | M.A. | VE | 8 | 45°25' | 12°00' | 1735439 | 5032993 |
| THIENE | TH | M.A. | VI | 147 | 45° 43' | 11° 28' | 1692096 | 5063506 |
| TONEZZA | TO | M.A. | VI | 935 | 45° 52' | 11° 10' | 1681234 | 5081869 |
| VALDOBBIADENE | VA | M.A. | TV | 280 | 45° 54' | 12° 00' | 1732050 | 5086712 |
| VENEZIA IST.CAVANIS | WE | M.A. | VE | 20 | 45° 25' | 12° 19' | 1760365 | 5036127 |
| VICENZA (A.M.) | VI | A.M. | VI | 53 | 45°35' | 11°31' | 1696285 | 5050754 |
| VILLA FRANCA (SIMN, A.M., CMT) | VF | A.M. | VR | 68 | 45°23' | 10°52' | 1646091 | 5027147 |
| VILLORBA | VL | M.A. | TV | 38 | 45° 44' | 12° 14' | 1750428 | 5070752 |

3.2 CALCOLO DELL' INDICE SPI

Inizialmente sono stati raccolti e verificati i dati pluviometrici informatizzati su fogli excel per la serie storica di interesse.

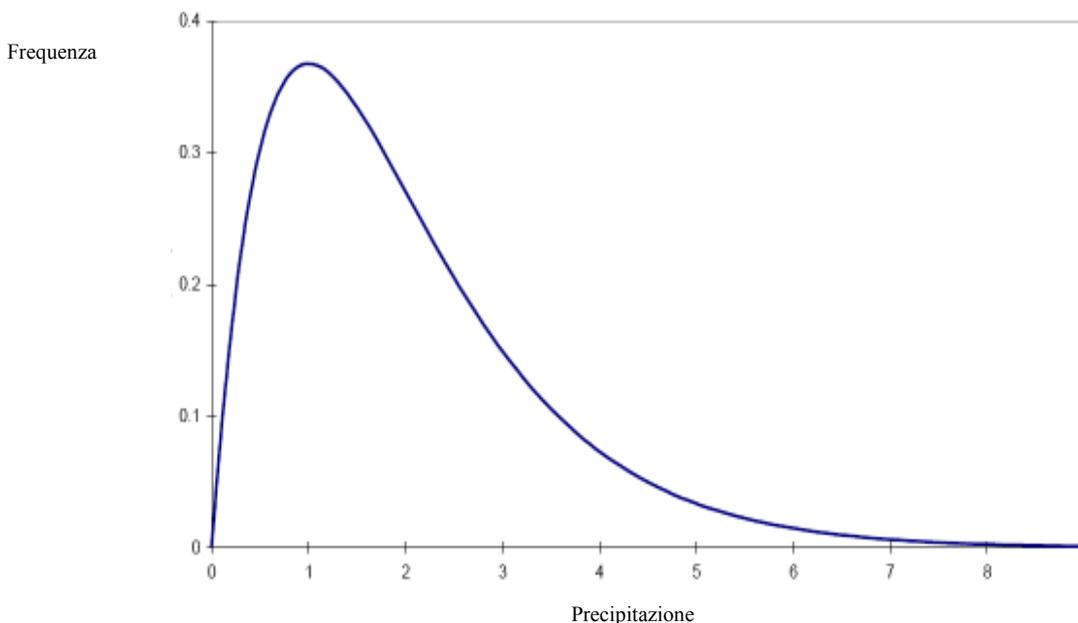
In alcuni casi infatti si è reso necessario verificare manualmente la corretta rispondenza del dato informatizzato con quello originale su supporto cartaceo derivante dagli annali idrologici.

Questa prima operazione in particolare è finalizzata a ridurre al minimo il numero di valori mancanti dei dati di precipitazione ed avere così una serie storica di dati delle 49 stazioni dal 1956 al 2004 più completa possibile.

In seguito i dati di precipitazione sono stati inseriti in “macro” excel appositamente create per le procedure di calcolo dello SPI come descritto in seguito.

Poiché il fenomeno della precipitazione (cumulata) non presenta una distribuzione gaussiana, essendo solamente positiva e asimmetrica, viene pertanto descritto attraverso altri tipi di distribuzione (Gumbel, etc).

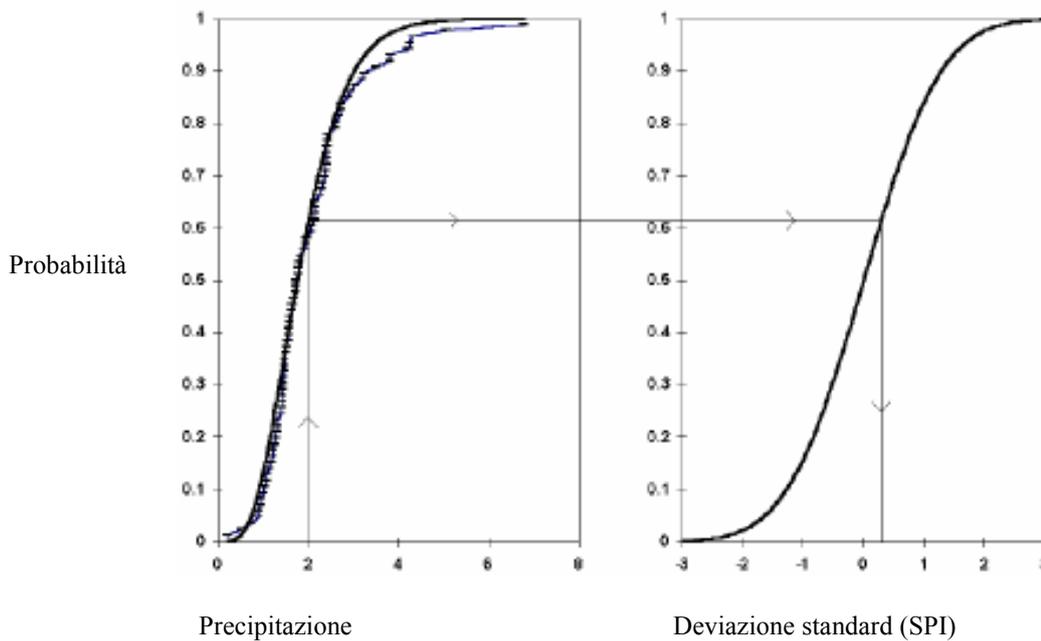
Nel caso del calcolo dello SPI la precipitazione viene associata ad una distribuzione di tipo $g(x)$ (Thom 1996).



Esaminando i dati storici di due stazioni appartenenti a regioni differenti, ci si accorge facilmente che, dopo aver ottenuto le curve $g(x)$ relative a ciascuna stazione, esse differiscono sia in media che in varianza risultando quindi non direttamente confrontabili.

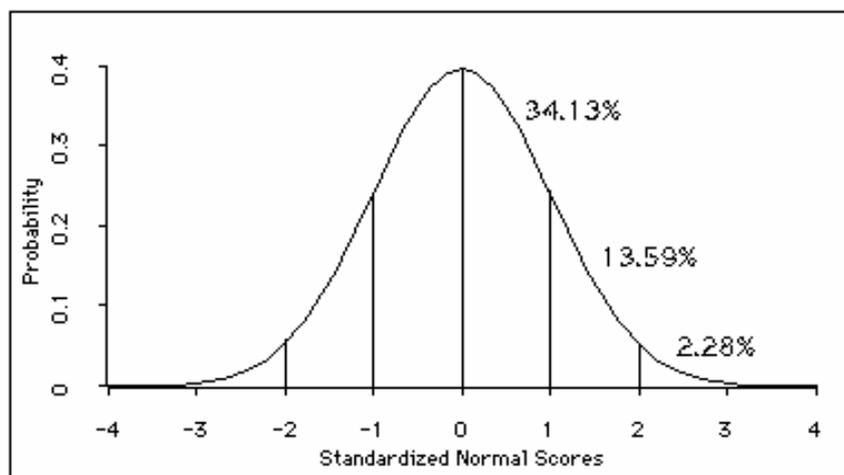
Poiché la particolarità dell'indice SPI è di essere standardizzato, di essere quindi un metodo di valutazione indipendente dalle particolari condizioni climatiche delle differenti regioni in esame, si trasformano le funzioni $g(x)$ di distribuzione di probabilità in una variabile aleatoria zeta normale a media nulla e varianza unitaria.

A questo scopo la nuova variabile viene creata associando a ciascun valore nella vecchia curva $g(x)$ il corrispondente valore in probabilità nella curva di distribuzione normale.



Viene cioè imposto che la probabilità che la cumulata di pioggia sia inferiore o uguale ad un certo valore per la curva $g(x)$ risulti identica alla stessa probabilità calcolata con una curva gaussiana. Con questa procedura le differenti curve $g(x)$ ottenute dai dati di diverse stazioni con le loro caratteristiche di media e varianza vengono trasformate in curve normali a media nulla e varianza unitaria, quindi tra loro confrontabili. Il valore risultante z , ciò che diventerà l'indice SPI, rappresenta il numero di deviazioni standard dalla media. L'unità di misura dello SPI sarà quindi la deviazione standard, indicando così in maniera assoluta, quanto un evento risulta anomalo. Per dare un'indicazione di quanto l'indice sia al di fuori della norma, si riporta nella seguente tabella quanta parte degli eventi viene considerata al variare dell'intervallo coperto dai multipli della deviazione standard.

| intervallo | Intervallo con $\mu=0, \sigma=1$ | Probabilità sottesa |
|-------------------|----------------------------------|---------------------|
| $\mu \pm \sigma$ | $-1 < spi < 1$ | 68.27% |
| $\mu \pm 2\sigma$ | $-2 < spi < 2$ | 95.45% |
| $\mu \pm 3\sigma$ | $-3 < spi < 3$ | 99.73% |



Risulta dunque comprensibile la definizione di classi secondo il valore assunto dallo SPI tenendo appunto conto dei valori sopra riportati.

L'intera procedura di calcolo, come già accennato, è stata svolta attraverso l'utilizzo di "macro" excel appositamente create, in particolare: prima sono state calcolate le precipitazioni cumulate mensili secondo le diverse classi di SPI, ovvero a 3;6;12;24 e 48 mesi, successivamente i valori così ottenuti sono stati normalizzati a media nulla e varianza unitaria come precedentemente descritto.

3.3 INTERPOLAZIONE SPAZIALE

Una volta calcolati i valori di SPI nelle 49 stazioni scelte, come descritto in precedenza, sono stati utilizzati i risultati ottenuti per l'elaborazione di cartine tematiche.

Queste sono state create utilizzando il metodo del "kriging" mediante il software "Surfer".

Da notare che tale metodo statistico non tiene conto dell'orografia che in Veneto risulta variegata (pianura-montagna), tuttavia questo non risulta essere un problema in quanto come già detto in precedenza, le caratteristiche dell'indice SPI permettono il confronto anche di stazioni climatologicamente diverse grazie alla normalizzazione insita nella sua elaborazione matematico-statistica, attenuando dunque gli effetti di tale approssimazione spaziale.

Spazializzando i dati di SPI maggiormente significativi per ogni classe temporale, si evidenzia territorialmente la tendenza all'aumento o diminuzione dei fenomeni siccitosi.

3.4 TREND MEDIO REGIONALE DELLO SPI

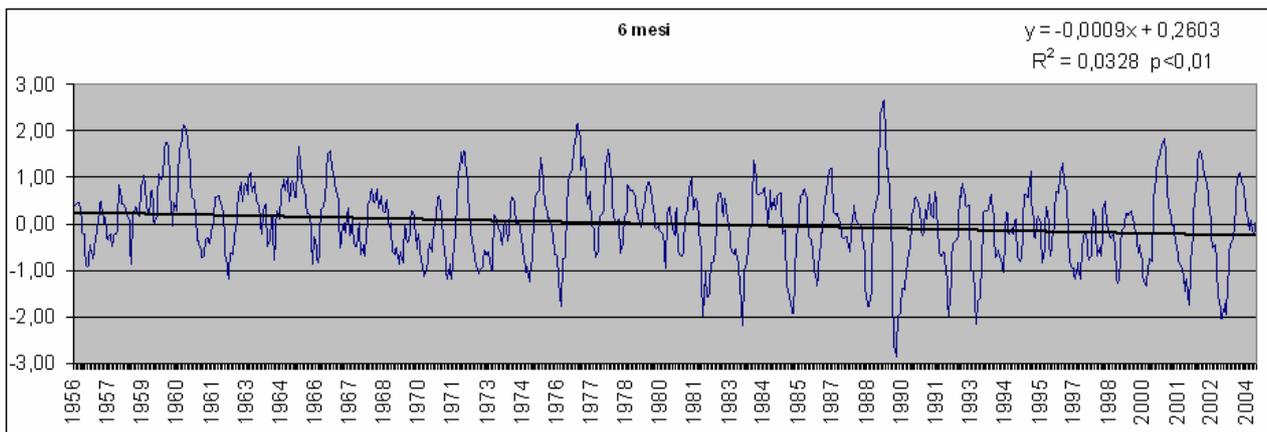
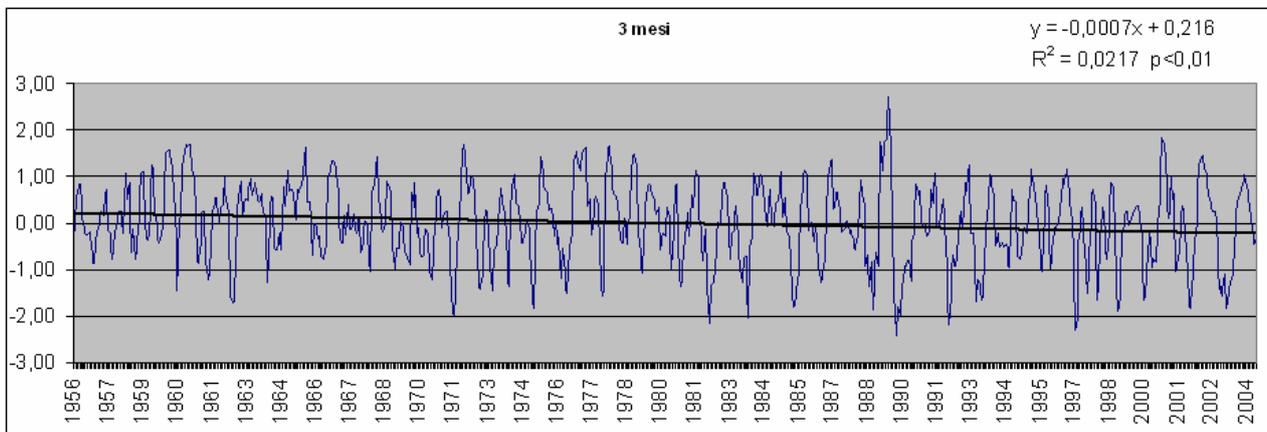
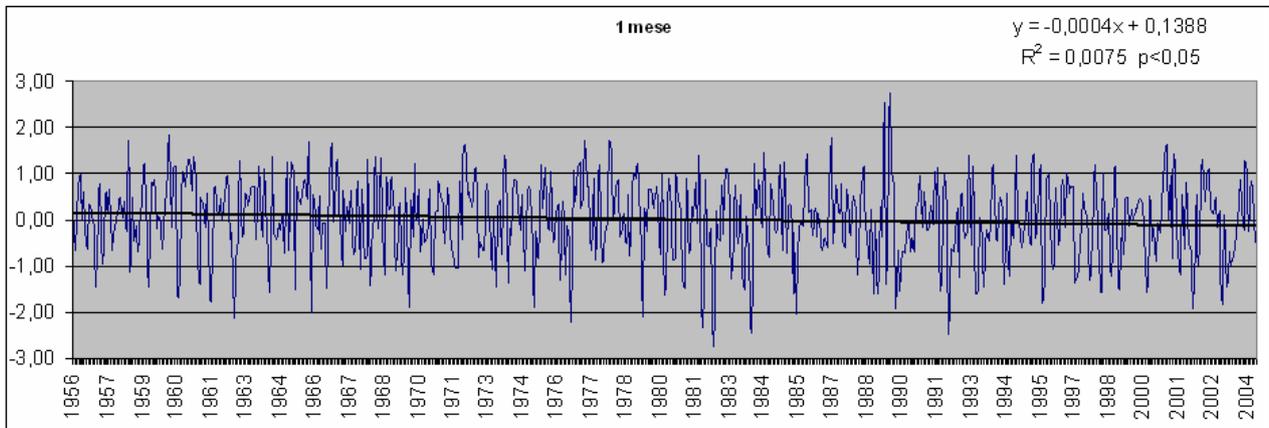
A livello regionale utilizzando macro excel appositamente create, è stata calcolata la media aritmetica delle diverse classi di SPI (da 1 a 48 mesi) delle 49 stazioni in modo da descrivere l'andamento del trend dello SPI.

Questo ha permesso di realizzare dei grafici che mostrano l'andamento temporale dello SPI in Veneto per ogni scala temporale considerata; la linea di tendenza, appositamente inserita, indica il trend dello SPI per l'intera serie storica dal 1956 al 2004.

Per l'analisi del trend delle diverse classi di SPI è stato considerato il valore di significatività moderatamente significativo se $p < 0,05$ e molto significativo se $p < 0,01$.

4. RISULTATI

Di seguito si riportano i grafici del trend medio dello SPI in Veneto dal 1956 al 2004.



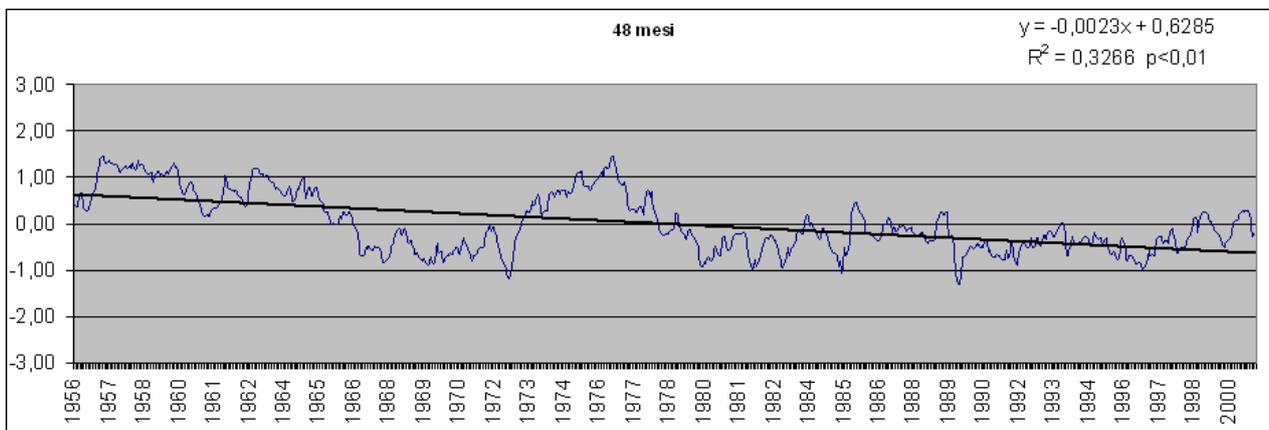
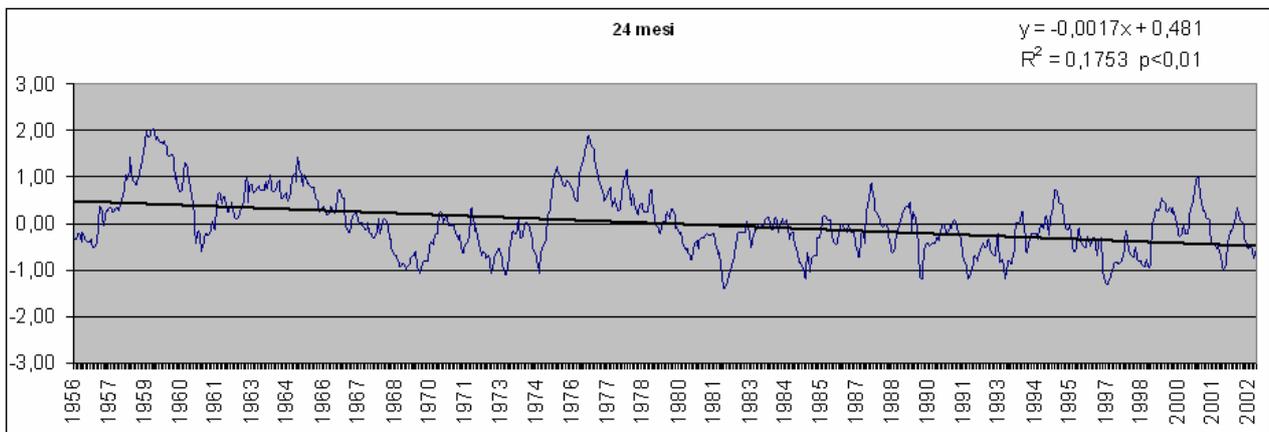
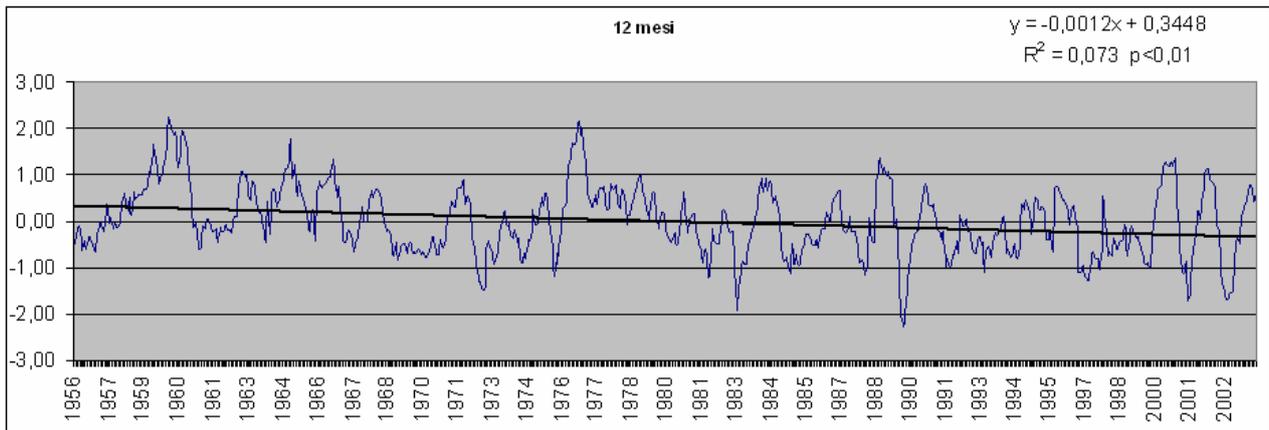


Grafico 1: Andamento delle diverse classi di SPI in Veneto:
media di 49 stazioni dal 1956 al 2004

E' facile notare dai grafici come per le brevi scale temporali (1-3 mesi) il trend sia appena accennato e praticamente inesistente ad 1 mese.

Col crescere delle scale temporali invece il trend si accentua sensibilmente verso valori negativi, in particolare dai 12 mesi in poi, ciò denota quindi una tendenza all'aumento dei fenomeni siccitosi.

I grafici realizzati presentano tutti un trend, rappresentato dalla linea nera, in diminuzione con elevata significatività, eccezion fatta per il grafico ad un mese che invece presenta una significatività moderata. Il trend si accentua negativamente all'aumentare della classe temporale di SPI considerata.

La "dilatazione" dei grafici che si osserva aumentando le scale temporali è dovuta alla normale diminuzione del numero di dati considerati nell'effettuare il calcolo.

Si immagini di tracciare una linea che suddivida a metà di ogni grafico, a cavallo quindi tra gli anni 70 e 80: si può così osservare come nella seconda metà del grafico dagli anni 80 in poi, aumenti il numero di eventi siccitosi segnalati da valori di SPI inferiori a -1.

E' possibile inoltre osservare come siano in aumento, dopo gli anni 80, anche gli eventi siccitosi più gravi segnalati da valori di SPI minori o prossimi a -2.

A 24 e 48 mesi i valori minimi di SPI si attestano sul -1 e non scendono oltre: questo è da considerarsi normale ed ha un significato positivo in quanto eventi siccitosi molto severi, caratterizzati da SPI prossimo a -2, che abbiano una durata di 24 o 48 mesi avrebbero effetti catastrofici.

4.1 ANALISI DELLA SIGNIFICATIVITA' DEI TREND

Visto il buon numero di stazioni a disposizione, è stata fatta per ciascuna di esse un'analisi di significatività del trend, utilizzando la regressione lineare per verificare quando la linea di tendenza risulta significativamente diversa da zero.

Ricordiamo che sono stati considerati i seguenti valori di significatività:

$p > 0.05$ non significativo (n.s.)

$p < 0,05$ significativo

$p < 0,01$ altamente significativo

La tabella di seguito indica la significatività dei trend di ciascuna stazione; si nota come a 1 mese più della metà delle stazioni presenti il trend dello SPI non significativo, mentre aumentando le scale temporali mensili, il numero di stazioni significative (riportato in giallo in ciascuna colonna) aumenta visibilmente.

| Stazione | Targa | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 | 48 |
|----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Auronzo | AU | | | | | | |
| Concordia Saggitaria | CC | | | | | | |
| Cortellazzo | CR | | | | | | |
| Portogruaro | PO | | | | | | |
| S. Antonio di Tortal | SR | 21 | | | | | |
| S. Croce del lago | SL | | | | | | |
| Thiene | TH | | | | | | |
| Tonezza | TO | | | | | | |
| Valdobbiadene | VA | | | | | | |
| Arsiè | AR | | | | | | |
| Bassano del Grappa | BG | | 33 | | | | |
| Cencenighe | CN | | | | | | |
| Conegliano | CG | | | | | | |
| Crosara | CS | | | | | | |
| Curtarolo | CU | | | | | | |
| Fortogna | FT | | | | | | |
| Recoaro | RE | | | 37 | | | |
| S. Donà di Piave | SD | | | | | | |
| Schio | SC | | | | | | |
| Vicenza | VI | | | | | | |
| Rovigo | RO | | | | | | |
| Agordo | AG | n.s. | | | 39 | | |
| Ca' Pasquali | PQ | n.s. | | | | | |
| Castelfranco Veneto | CV | n.s. | | | | | |
| Cismon del Grappa | GR | n.s. | | | | | |
| Villafranca | VF | n.s. | | | | 43 | |
| Isola Vicentina | IV | n.s. | | | | | |
| Lanzoni (Capo Sile) | LA | n.s. | | | | | |
| La Guardia | LG | n.s. | | | | | |
| Asiago | AS | n.s. | | | | | 47 |
| Cortina d'Ampezzo | CZ | n.s. | | | | | |
| Venezia Cavanis | WE | n.s. | | | | | |
| Chies d'Alpago | CI | n.s. | | | | | |
| Bovolenta | BN | n.s. | n.s. | | | | |
| Gosaldo | GO | n.s. | n.s. | | | | |
| Legnaro | LE | n.s. | n.s. | | | | |
| Strà | ST | n.s. | n.s. | | | | |
| Botti Barbarighe | BB | n.s. | n.s. | n.s. | | | |
| Cavanella Motte | CE | n.s. | n.s. | n.s. | | | |
| Bovolone | BV | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | | |
| Conetta | CT | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | | |
| Sadocca | SA | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | | |
| Andraz | AZ | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | | |
| Badia Polesine | BD | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | |
| Boccafossa | BC | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | |
| Rosara di Codevigo | RC | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | |
| Villorba | VL | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | |
| Castelmassa | CM | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| Soave | SV | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

Tabella 2 : Significatività dei trend, in grigio scuro i trend molto significativi, grigio chiaro i trend moderatamente significativi, n.s. i trend non significativi.

Interessante è visualizzare graficamente a livello delle singole stazioni l'andamento del coefficiente angolare significativo relativo ai trend delle diverse classi di SPI.

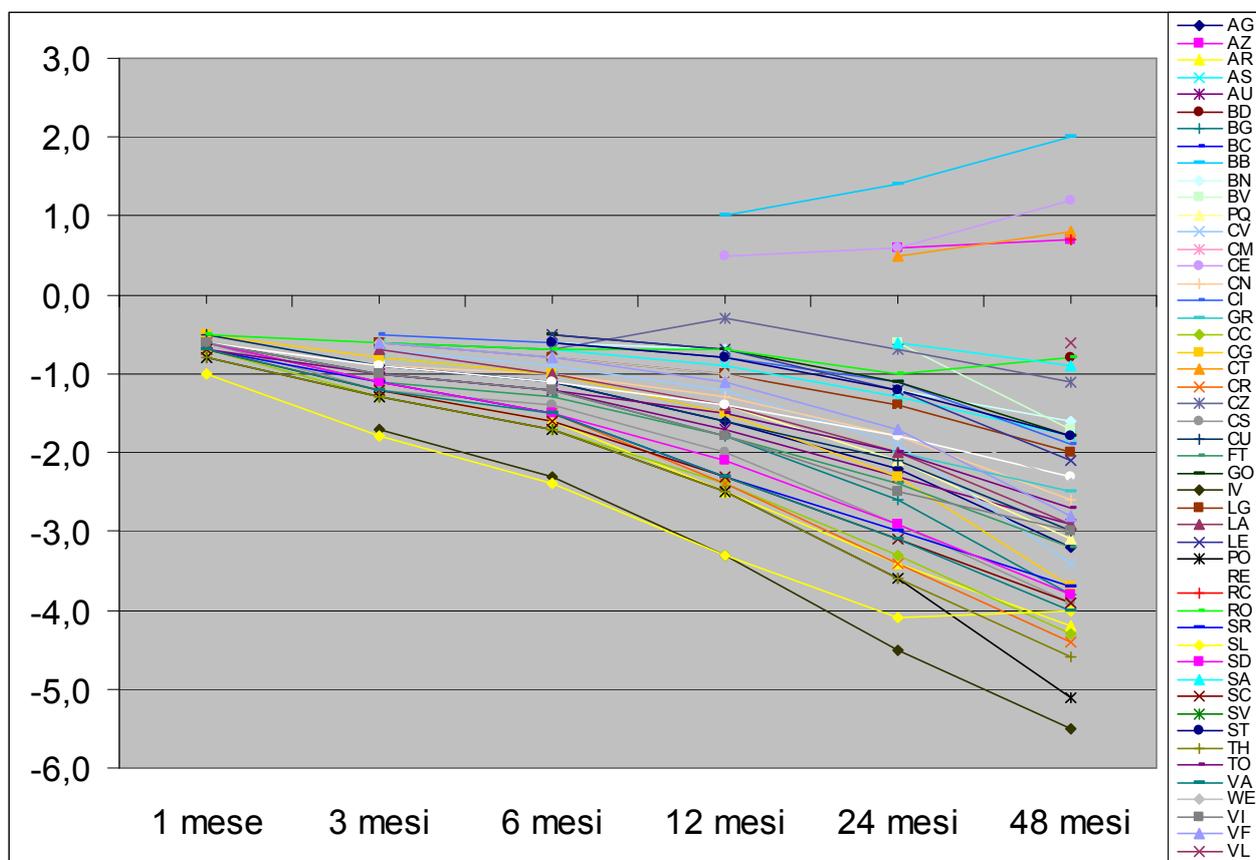


Grafico 2 : Coefficiente angolare significativo del trend dello SPI nelle 49 stazioni considerate, in funzione delle diverse classi temporali.

Dal grafico, che è stato realizzato tenendo conto solamente dei valori di trend significativi, si può notare come il trend sia nella stragrande maggioranza delle stazioni negativo.

Nuovamente è possibile notare come la pendenza delle rette aumenti all' aumentare delle classi temporali.

Vi sono tuttavia 3 stazioni Conetta, Botti Barbarighe, e Cavanella Motte che mostrano invece un trend positivo nelle classi temporali maggiori. E' da notare come queste stazioni sono situate le une vicine alle altre nella stessa zona nel Polesine orientale.

4.2 SPAZIALIZZAZIONE REGIONALE DEI TREND

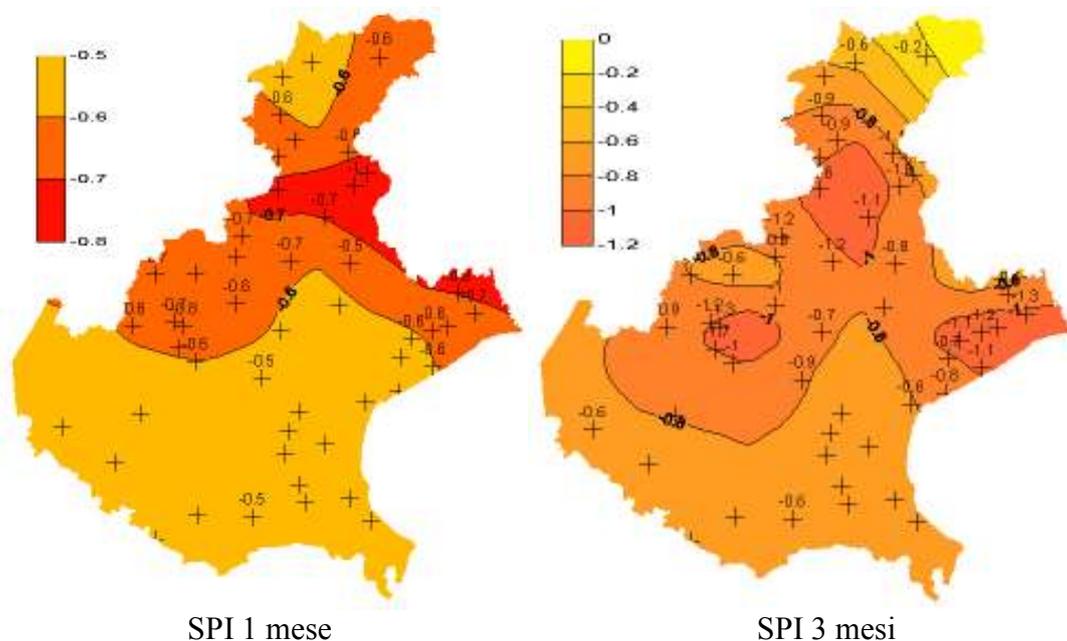
La regione Veneto presenta differenti tipologie climatiche a causa della propria orografia cosa che, come è stato più volte ribadito, non costituisce un problema per l'applicazione dell'indice SPI in quanto si tratta di indice standardizzato.



Figura 20: Suddivisione in macro aree climatiche della regione Veneto

Fonte: http://www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/Chiaudani_clima_Veneto.pdf p. 43

Per produrre le cartine del trend dell'indice SPI si è scelto di tenere conto solamente delle stazioni con valori significativi ($p < 0.05$ e $p < 0.01$) individuabili sulla mappa dalla presenza del valore di trend.



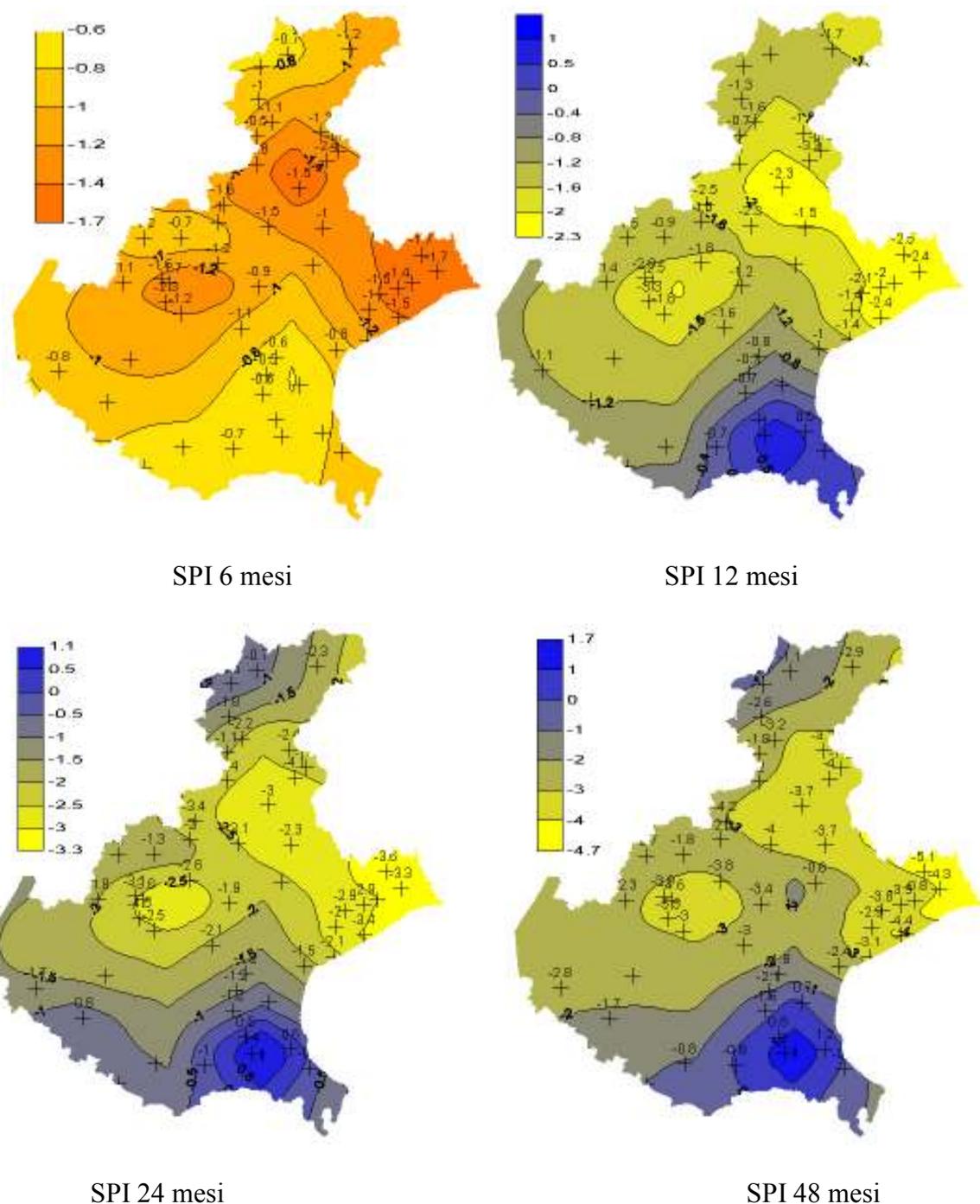


Figura 21: Trend medio dello SPI nella regione Veneto dal 1956 al 2004

Si nota come nei 49 anni di riferimento, considerando l'intervallo di tempo mensile non risulti un trend significativo in pianura eccezion fatta solo per Badia Polesine e Curtarolo; spostandosi nella fascia pedemontana e prealpina si nota quasi in tutte le stazioni un trend leggermente negativo, così come nella zona della pianura nord orientale.

Poche le variazioni rilevanti nella cartina a 3 mesi, eccetto una lieve accentuazione in negativo del trend nelle aree prealpine, pedemontane e nord orientali della regione.

Proseguendo con l'avanzare delle scale temporali a 6-12 mesi, i trend negativi si accentuano ulteriormente delineando un andamento per "macroaree" individuabili soprattutto nella fascia pedemontana, nella pianura nord orientale e pianura centrale.

Ricordiamo che le zone della pedemontana e pianura nord orientale sono a livello regionale tra le più piovose e di conseguenza maggiormente sensibili anche a piccole variazioni della piovosità, questo spiega la maggiore presenza in tali zone di valori negativi in valore assoluto maggiori rispetto alle altre zone.

Per le classi di SPI di 24 e 48 mesi anche la pianura centrale presenta un aumento delle stazioni con trend negativi significativi.

Dai 6 mesi in poi, si evidenzia la controtendenza in positivo della zona del Polesine di cui già accennato in precedenza, tuttavia non è corretto pensare che tale zona sia più umida e piovosa. L'andamento evidenziato è infatti soltanto leggermente positivo, e va inoltre ricordato che a livello regionale la zona del Polesine orientale è fra le meno piovose e che in particolare nel periodo estivo il suo Bilancio idroclimatico, calcolato come differenza tra le precipitazioni e l'evapotraspirazione (che risulta aumentata in funzione dell'aumento termico riscontrato), è il peggiore della pianura.

Sono necessarie quindi ulteriori e più approfondite analisi per poter confermare il trend in positivo di queste tre stazioni.

5. CONCLUSIONI

In generale dallo studio effettuato in Veneto emerge un trend in aumento dei fenomeni di deficit pluviometrico nel periodo considerato (1956-2004) soprattutto per le classi temporali di 12, 24 e 48 mesi, e in maniera minore per le classi temporali di 1, 3, 6 mesi che sono di maggiore interesse per l'attività agricola.

L'andamento del trend non è uniforme in tutto il territorio regionale. Soprattutto con l'aumentare delle classi temporali si delineano: la zona prealpina, pedemontana, la pianura nord orientale come zone che presentano un chiaro trend negativo mentre il resto della pianura ha un trend negativo meno evidente; infine una piccola zona della pianura sud occidentale, nel Polesine orientale, presenta un leggero trend positivo.

Per la particolarità dell'indice SPI sarà interessante realizzare uno studio del suo andamento nell'anno solare, a livello stagionale e trimestrale e individuare anche a livello territoriale i periodi più sensibili dal punto di vista agroclimatico.

Sarà inoltre interessante approfondire lo studio dell'indice SPI individuando la presenza di eventuali punti di discontinuità nella serie storica 1956-2004, e metterlo in relazione con gli indici relativi ai pattern circolatori su larga scala che regolano il clima euromediterraneo come la NAO.

6. BIBLIOGRAFIA

- Bonini Baraldi A., (1993). Caratterizzazione Agro-Climatologica del Territorio Veneto. Aree "5b". Regione del Veneto, Dipartimento per l'Agrometeorologia, 170 pp.
- Chiaudani, A. (2008). Agroclimatologia statica e dinamica del Veneto. Analisi del periodo 1956-2004
http://www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/Chiaudani_clima_Veneto.pdf
- Di Stefano, V., Mestre, A., Orlandini, S. (2008): "Calcolo dell' indice SPI (standardized precipitation index) su serie climatologiche dell' Europa meridionale e stima della siccità degli impatti sulle colture" in Rivista italiana di agrometeorologia n°1 Febbraio 2008 p 92-93
- Dracup, J.A.; K.S. Lee; and E.G. Paulson, Jr. (1980). On the Definition of Droughts. Water Resources Research 16(2):297-302.
- Hayes M. NDMC (2006) Drought indices
<http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm>
- IPCC (2007) : Fourth Assessment report (AR4)
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm
- IPCC (2008), Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds.: Technical paper on climate change and water. 5. 93-96.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_technical_papers_climate_change_and_water.htm
- JRC (Joint Research Centre) (2005): Climate change and the European water dimension
http://ccu.jrc.it/Pubblications/Climate_Change_and_the_European_Water_Dimension_2005.pdf
- Kundzewicz, Z., Robson, A. (2004): Change detection in hydrological records a review of the methodology.
- Maniero, G., Borin, M., Chiaudani, A., Cacciatori, G., (2009). SPI: Standardized precipitation index- Analisi storica del deficit e del surplus pluviometrico in Veneto nel periodo 1956-2004
http://www.agrometeorologia.it/documenti/Aiam2009/30Articolo_SPI_per_AIAM.pdf
- McKee, T., N. Doesken, and J. Kleist. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, January 17–22, 1993, Anaheim, California, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- Morgillo, A., Brunetti, A., Salvati, L. (2002). "La siccità in Italia: spunti di discussione sul clima, sugli aspetti pedoclimatici e sul bilancio idrico". Convegno AIAM 2002, "L'Agrometeorologia nel Mediterraneo", 6-7 giugno 2002 Acireale.
- NDMC (2006) Understanding and defining drought
<http://www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm>

Perini L. et al (2004): Atlante Agroclimatico- Agroclimatologia, pedologia, fenologia del territorio italiano.
UCEA, Roma. p.2

Salvan, F., Borin, M. (2006) Studio della siccità in Veneto negli anni 1961-2004: SPI (Standardized precipitation index) http://www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/SPI_finale.pdf

Sciortino, M., Giordano, F. : "La vulnerabilità della Sicilia alla desertificazione". Congresso Regionale "Sicilia a Rischio". Agrigento 13-16 Settembre 2001.

Vogt, J., Somma, F. (2000) : Drought and Drought mitigation in Europe.
Kluwer Academic Publishers. 1. p.3

Wilhite, D.A.; and M.H. Glantz. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International 10:111–120.

WMO (2009) Causes of Global Warming
http://www.wmo.int/pages/themes/climate/causes_of_global_warming.php

WMO (2009) Elements of Climate Change
http://www.wmo.int/pages/themes/climate/elements_climate_change.php

WMO (2009) Understanding climate
http://www.wmo.int/pages/themes/climate/understanding_climate.php