

Linee guida sugli indicatori di siccità e scarsità idrica da utilizzare nelle attività degli osservatori permanenti per gli utilizzi idrici – Stato attuale e prospettive future

Stefano Mariani¹, Giovanni Braca¹, Emanuele Romano², Barbara Lastoria¹ and Martina Bussettini¹

¹ISPRA – ²IRSA-CNR



CReIAMO PA

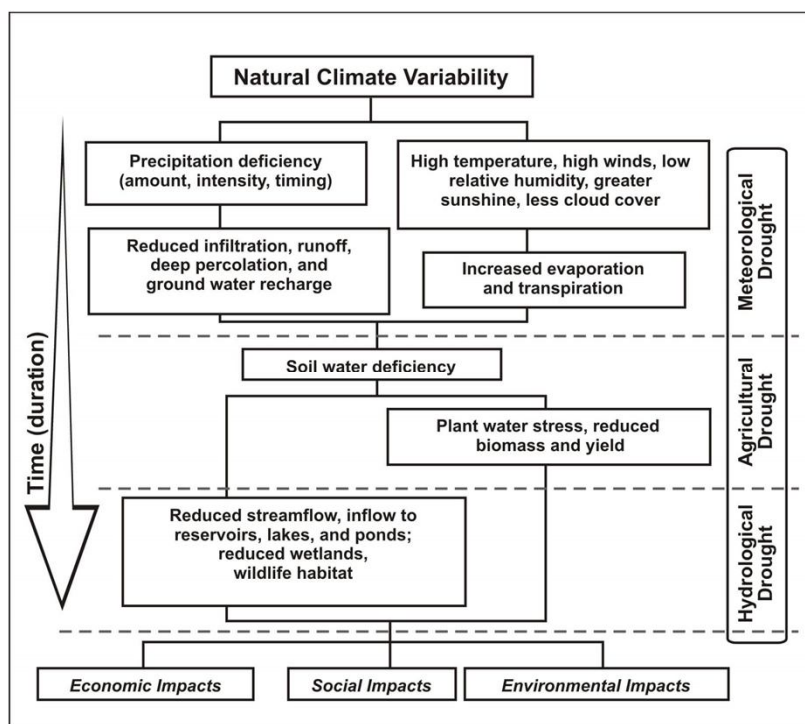
Per un cambiamento sostenibile

CONTENUTO LINEE GUIDA

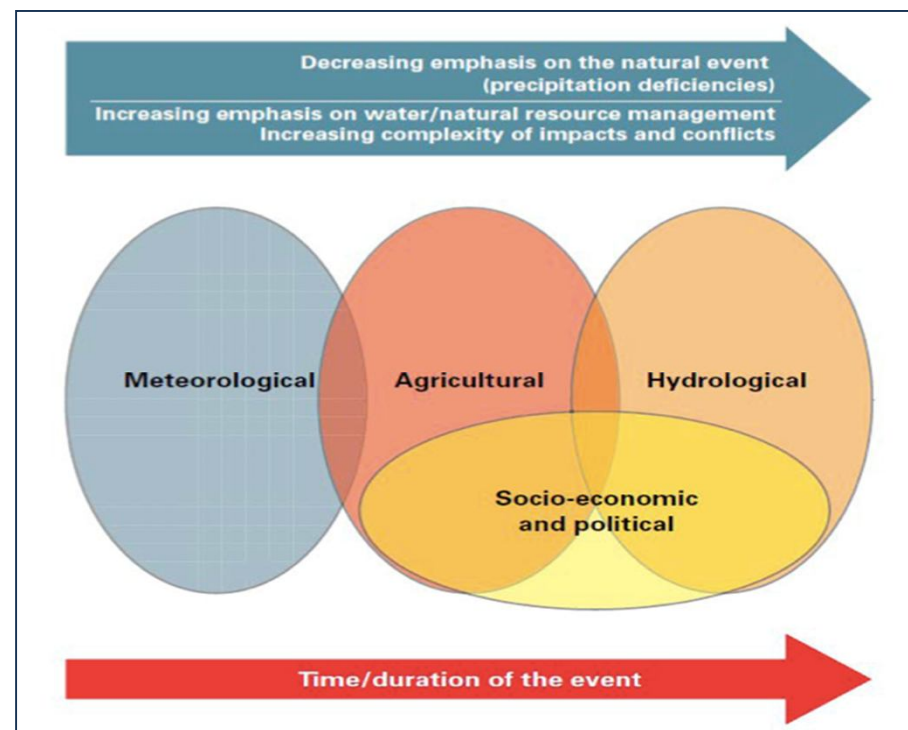
- Premessa: Quadro di riferimento
- Monitoraggio siccità e scarsità idrica a livello europeo
 - ❑ EU Communication on WS & D
 - ❑ CIS Expert WG on WS & D
 - ❑ Testing indicatori, incl. WEI+, su bacini europei tra cui 5 italiani (Arno, Po, Serchio, Liri-Garigliano e Volturno)
- Attività nazionali e strumenti finalizzati al monitoraggio
- Attività a livello di distretto idrografico
- Proposta di indicatori comuni a livello nazionale per gli Osservatori distrettuali permanenti per gli utilizzi idrici
 - a integrazione degli indicatori & tool utilizzati dai Distretti idrografici



Siccità fenomeno naturale determinato da una condizione temporanea di riduzione o deficit della disponibilità idrica definita come lo scostamento rispetto alle condizioni climatiche medie di un determinato luogo di interesse



Fonte: National Drought Mitigation Center, USA



Fonte: WMO



CReIAMO PA

SCARSITÀ IDRICA riduzione della disponibilità di risorsa idrica (capacità di offerta del sistema naturale) che rende insufficiente il soddisfacimento della

domanda media a ungo termine, o portata erogata inferiore alla domanda istantanea per quei sistemi idrici alimentati da sorgenti che non dispongono di invasi per l'immagazzinamento.

Problemi di disponibilità sono frequenti in quelle aree soggette a scarse precipitazioni, oppure caratterizzate da un'alta densità di e/o soggette a intensa attività agricola e industriale. Il deterioramento di qualità può anche influire nella riduzione della disponibilità idrica.



CReIAMO PA

EU Communication on WS & D [COM(2007)414]

7 policy options:

- Putting the right price tag on water*
- Improving drought risk management**
- Fostering water efficient technologies and practices*
- Fostering the emergence of a water-saving culture*
- Allocating water & water-related funding efficiently*
- Considering additional water supply infrastructures*
- Improve knowledge and data collection**

→ Osservatorio sulla siccità (**JRC EDO**), indicatori concordati (**CIS Expert WG on WS & D**) e dati forniti da SM e soggetti interessati, e sfruttamento dati satellitari (**Copernicus**)



INDICATORI

- **SPI** (*Standardized Precipitation Index*)
- **SPEI** (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*)
- **SRI** (*Standardized Runoff Index*)
- **SSPI** (*Standardized SnowPack Index*), 2 metodologie
 - ❑ **Problematica: stima dell'equivalente in acqua della neve (SWE)**
- **SAI** (*Spring Anomaly Index*)
- **fAPAR** (*fraction of Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation*) e anomalia di fAPAR
- **WEI+** (*Water Explotation Index Plus*)



CONTENUTO SEZIONI INDICATORI

- **Informazioni su:**
 - modalità di calcolo;
 - scale temporali;
 - dati e stime idro-meteorologiche necessarie.
- **Nessuna specifica su scelta e numero punti/stazioni, lasciata a ciascun Osservatorio, in quanto dipendente dalle caratteristiche dei bacini e sotto-bacini considerati nelle analisi.**
- **Necessità di serie idro-meteorologiche di adeguata lunghezza.**
- **Classificazioni dei livelli di criticità associati agli indicatori.**
 - eccezione WEI+ → GdL su WEI+



Standardized Precipitation Index – SPI

Lo SPI quantifica il deficit di precipitazione a diverse scale temporali associando una probabilità al valore della precipitazione osservata cumulata sulle diverse scale temporali.

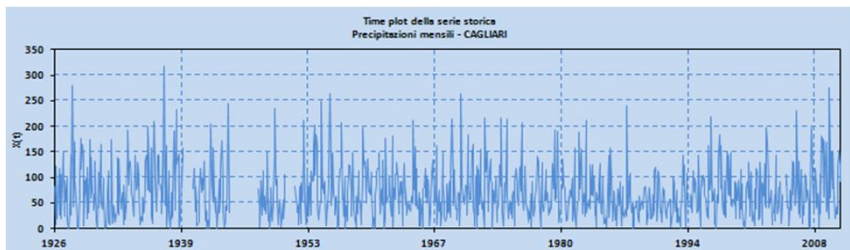
Le diverse scale temporali riflettono le modalità con cui la siccità impatta sulla disponibilità della risorsa idriche:

- SPI riferito a periodi brevi di aggregazione temporale (da 1 a 3 mesi) fornisce indicazioni sugli impatti immediati, quali quelli relativi alla riduzione di umidità del suolo, del manto nevoso e della portata nei piccoli torrenti;
- SPI riferito a periodi medi di aggregazione temporale (da 3 a 12 mesi) fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi;
- SPI riferito a più lunghi periodi di aggregazione temporale (oltre i 12 mesi) fornisce indicazioni sulla ridotta ricarica degli invasi e sulla disponibilità di acqua nelle falde



CALCOLO DELLO SPI

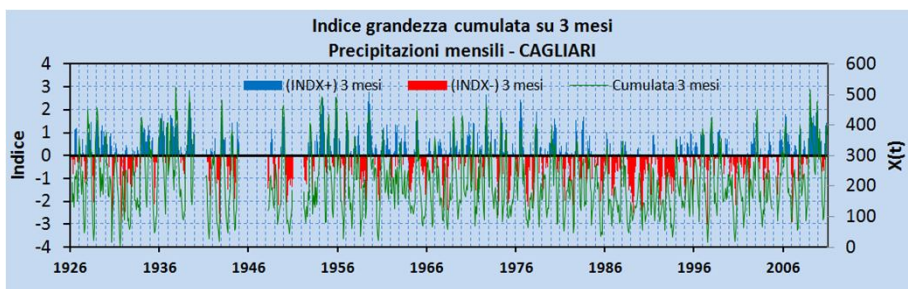
Serie precipitazioni mensili



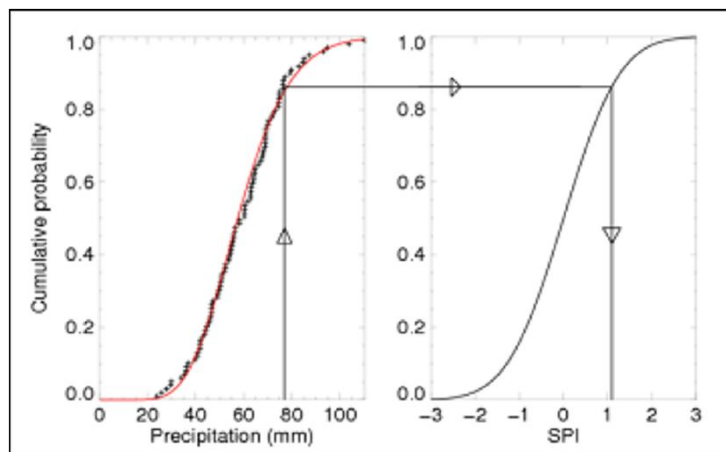
Calcolo delle serie cumulate mensili per durate $d = 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48$ mesi



Per ciascun mese m e per ciascuna durata d si interpolano i dati con una distribuzione Gamma mista (stima parametri con il metodo ML)



Serie mensile dello SPI di durata d



$$H(x) = q + (1 - q)G(x)_{m, d}$$

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\hat{\beta}\hat{\alpha}\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx$$

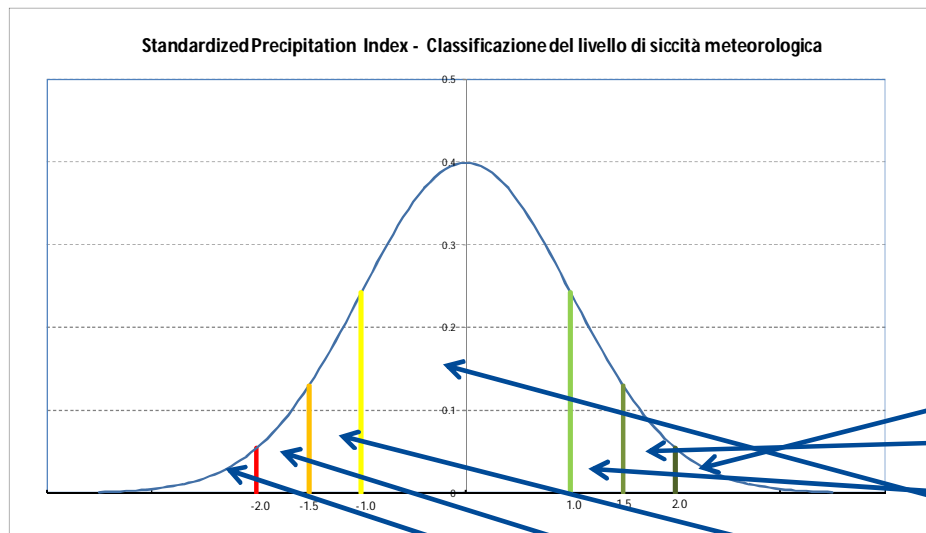


Trasformazione della Gamma mista in una $N(0,1)$



CReIAMO PA

CLASSIFICAZIONE DEL LIVELLO DI SICCIÀ



SPI	Percentile F(x)	Formula T	T (anni)
2.00	0.977	$T=1/[1-F(x)]$	44
1.50	0.933	$T=1/[1-F(x)]$	15
1.00	0.841	$T=1/[1-F(x)]$	6
0.67	0.750	$T=1/[1-F(x)]$	4
0.00	0.500	$T=1/F(x)$	2
-0.67	0.250	$T=1/F(x)$	4
-1.00	0.159	$T=1/F(x)$	6
-1.50	0.067	$T=1/F(x)$	15
-2.00	0.023	$T=1/F(x)$	44

Valori SPI	Classe
SPI ≥ 2	umidità estrema
1.5 ≤ SPI < 2.0	umidità severa
1.0 ≤ SPI < 1.5	umidità moderata
-1.0 < SPI < 1.0	nella norma
-1.5 < SPI ≤ -1.0	siccità moderata
-2.0 < SPI ≤ -1.5	siccità severa
SPI ≤ -2.0	siccità estrema



SPI vs. ANOMALIA DI PRECIPITAZIONE

Tabella 1 – Andamento dei valori di SPI su varie scale temporali per il periodo settembre 2016–agosto 2017. Fonte dati: Centro Funzionale della Regione Lazio - Elaborazione: ISPRA con software ANABASI.

Mese di riferimento	SPI a 1 mese	SPI a 2 mesi	SPI a 3 mesi	SPI a 6 mesi	SPI a 9 mesi	SPI a 12 mesi	SPI a 24 mesi
settembre 2016	1.5	1.1	0.9	0.2	0.1	-1.0	-0.2
ottobre 2016	0.3	1.1	0.8	0.7	0.3	-1.2	0.0
novembre 2016	-0.1	-0.1	0.7	0.5	-0.2	-0.7	-0.3
dicembre 2016	-2.1	-1.1	-0.9	-0.4	-0.7	-0.6	-0.8
gennaio 2017	-0.5	-1.8	-1.3	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
febbraio 2017	-0.8	-1.0	-2.0	-0.6	-0.8	-1.3	-1.3
marzo 2017	-0.8	-1.4	-1.6	-1.7	-1.2	-1.5	-1.8
aprile 2017	-1.0	-1.5	-1.7	-2.1	-1.3	-1.3	-1.9
maggio 2017	-1.5	-1.8	-2.1	-2.9	-1.4	-1.5	-2.0
giugno 2017	-1.5	-2.6	-2.5	-2.6	-2.3	-1.8	-2.0
luglio 2017	-0.8	-1.9	-2.9	-2.7	-2.7	-1.8	-2.0
agosto 2017	-1.1	-1.8	-2.6	-3.1	-3.6	-1.8	-2.4

Mese	Istante	1	2	3	6	9	12	24	48
7 P	01/07/2017	1	3.4	15.1	135.5	348	708.2	1559.3	4048.9
7 Media	01/07/2017	22	63	136	425	838	1111	2242	4496
7 Scarto %	01/07/2017	-95	-95	-89	-68	-58	-36	-30	-10
7 SPI	01/07/2017	-0.8	-1.9	-2.9	-2.7	-2.7	-1.8	-2.0	-0.8

SPI = -3.6 è associata una probabilità di P = 0.00016!

Mese	Istante	1	2	3	6	9	12	24	48
8 P	01/08/2017	0	1	3.4	86.6	216	704.6	1442.4	3996.4
8 Media	01/08/2017	37	59	101	350	707	1109	2240	4493
8 Scarto	01/08/2017	-100	-98	-97	-75	-69	-36	-36	-11
8 SPI	01/08/2017	-1.1	-1.8	-2.6	-3.1	-3.6	-1.8	-2.4	-0.9




CReIAMO PA

TOOL PER CALCOLARE LO SPI

Corresponding author: giovanni.braca@isprambiente.it






ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

ANÁBASÍ

ANALisi statistica di BAsE
delle Serie storiche di dati Idrologici
macro a supporto delle Linee Guida ISPRA

versione 1.51 beta - marzo 2018

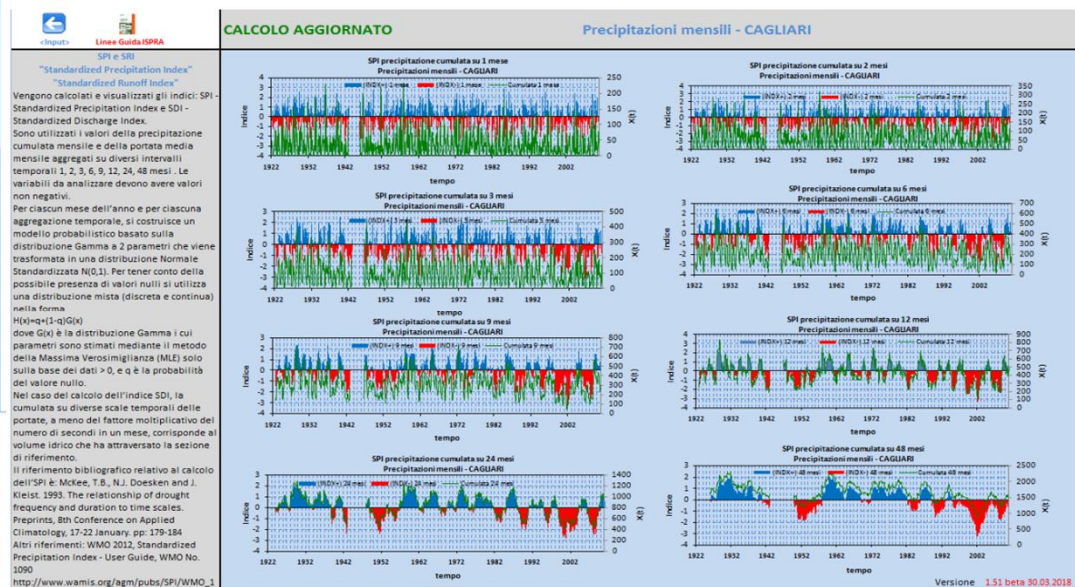
DIPARTIMENTO MONITORAGGIO E
TUTELA AMBIENTE E CONSERVAZIONE BIODIVERSITA'
Area Idrologia
sviluppo a cura di Giovanni Braca



Linee guida per l'analisi
e l'elaborazione statistica
di base delle serie storiche
di dati idrologici

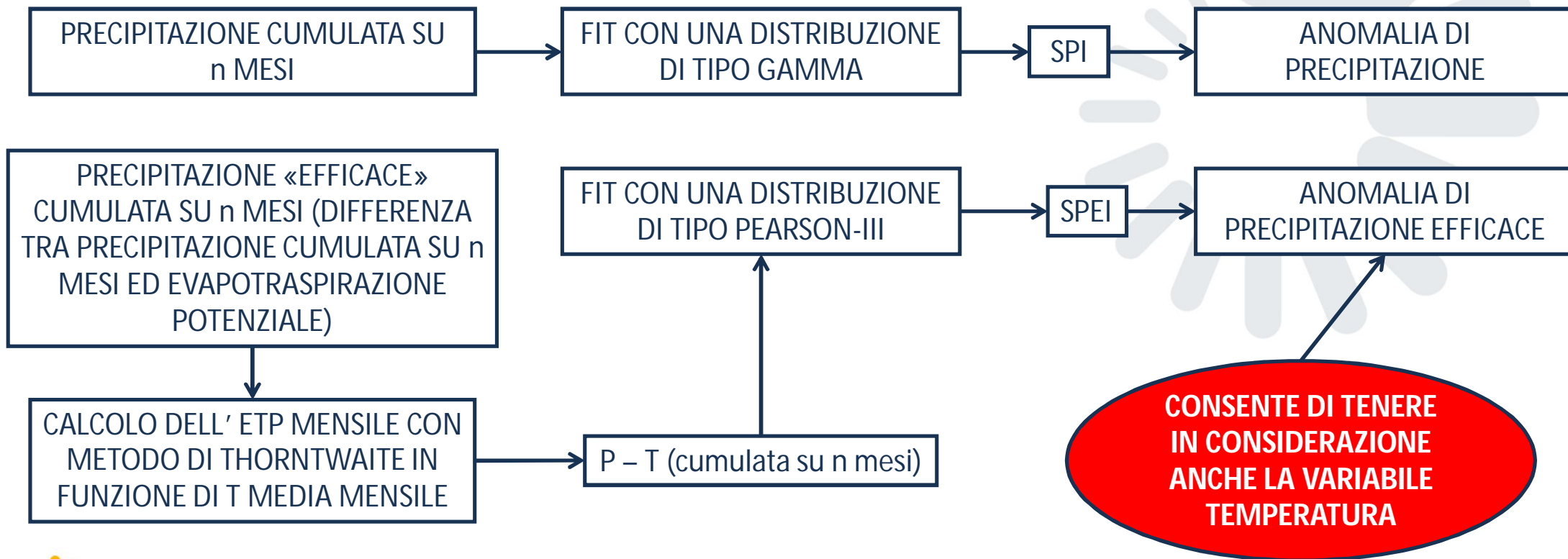
MANUALE E LINEE GUIDA

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha istituzionalmente il compito di definire uno standard metodologico per l'elaborazione dei dati idrologici, avendo ricevuto, per effetto dell'art. 28 della L.133/2008, tutte le attribuzioni dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e i Servizi Tecnici (APAT), che, a sua volta, era stata costituita in base all'art.38 del DLgs 300/1999 dalla fusione del Dipartimento per i Servizi Tecnici della Presidenza del Consiglio dei Ministri (DSTN), e Nelle "Linee Guida per l'analisi e l'elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici" viene proposto uno standard per la generale caratterizzazione di una serie storica di dati idrologici. Vengono individuati e descritti un set di parametri, di test e procedure statistiche al fine di uniformare, a livello nazionale, le informazioni minime necessarie per un'efficace elaborazione, una corretta interpretazione e una uniforme diffusione dei dati e dei risultati. La necessità di definire uno standard nazionale sull'elaborazione dei dati idrologici deriva, oltre che da un dettato normativo, da una reale esigenza di uniformità della elaborazioni, sempre più avvertita a seguito del grande sviluppo delle possibilità di accesso e di scambio di informazioni idrologiche. La standardizzazione delle procedure di analisi ed elaborazione statistica ha il principale obiettivo di rendere i dati e i risultati confrontabili. Il presente foglio elettronico non vuole essere un software di statistica ma uno strumento semplice e rapido che supporti l'operatore nell'applicazione delle procedure proposte nelle "Linee Guida per l'analisi e l'elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici"



http://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/ANABASI_ISPRA.html

Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI



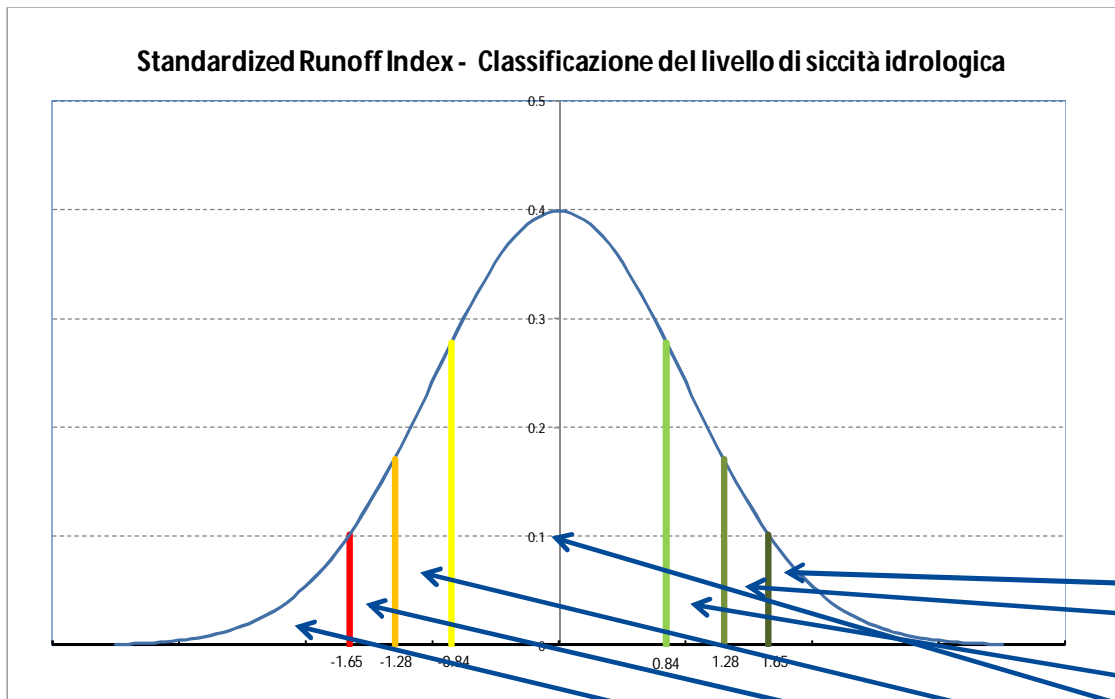
STANDARDIZED RUNOFF INDEX – SRI

- Lo SRI è un indicatore per la siccità idrologica a diverse scale temporali basato sulla valutazione della probabilità di osservare una portata media mensile su una determinata scala temporale.
- Nel calcolo dell'indice SRI, la cumulata su diverse scale temporali delle portate, a meno del fattore moltiplicativo del numero di secondi in un mese, corrisponde al volume idrico che ha attraversato la sezione di riferimento

→ **Serie stazionarie (assenza di trend, salti, ecc.)**



CLASSIFICAZIONE DEL LIVELLO DI SICCIITÀ IDROLOGICA



Classificazione della severità	Probabilità dell'evento [%]	Probabilità cumulata	Valore dello SRI
Estremamente umido	5%	0 – 5	$SRI \geq 1.65$
Molto umido	10%	5 – 10	$1.65 > SRI \geq 1.28$
Moderatamente umido	20%	10 – 20	$1.28 > SRI \geq 0.84$
Vicino alla norma	50%	20 – 80	$0.84 > SRI > -0.84$
Siccità moderata	20%	80 – 90	$-0.84 \geq SRI > -1.28$
Siccità severa	10%	90 – 95	$-1.28 \geq SRI > -1.65$
Siccità estrema	5%	95 – 100	$SRI \leq -1.65$



TOOL PER IL CALCOLO DELLO SRI

Linee Guida ISPRA

Calcolo Aggiornato

Test	Statistica	Tau	P-Value	livello di significatività	Esito
Mann-Kendall	-0.0293	-0.001	0.977	5%	IPOTESI Ho NON RIGETTABILE
Pearson	0.1931	0.011	0.847	5%	IPOTESI Ho NON RIGETTABILE
Spearman					

Analisi per il "trend detection" per la serie destagionalizzata. I test di Mann-Kendall, Pearson e Spearman sono utilizzati per testare la presenza di trend monotoni nella serie. Si basano sull'ipotesi di indipendenza dei dati. L'ipotesi nulla H_0 è che non ci sia trend monotono.

1) - Quando l'ipotesi nulla H_0 non è rigettabile la serie non presenta un trend significativo.

2) - Quando l'ipotesi nulla H_0 è rigettabile la serie presenta un trend significativo.

Quando l'ipotesi nulla H_0 è rigettabile si può commettere l'errore di tipo I (cioè di rigettare l'ipotesi H_0 quando questa è vera).

La probabilità di commettere l'errore di tipo I (rigettare l'ipotesi nulla quando è vera) è pari al livello di significatività. Il P-value è il minimo livello di significatività per il quale H_0 sarebbe rigettata. Il P-value permette di misurare quanto si è distanti dal confine della zona di rigetto al variare del livello di significatività.

SPI e SRI
"Standardized Precipitation Index"
"Standardized Runoff Index"

Vengono calcolati e visualizzati gli indici: SPI - Standardized Precipitation Index e SRI - Standardized Runoff Index.

Sono utilizzati i valori della precipitazione cumulata mensile e della portata media mensile aggregati su diversi intervalli temporali 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 48 mesi. Le variabili da analizzare devono avere valori non negativi.

Per ciascun mese dell'anno e per ciascuna aggregazione temporale, si costruisce un modello probabilistico basato sulla distribuzione Gamma a 2 parametri che viene trasformata in una distribuzione Normale Standardizzata $N(0,1)$. Per tener conto della possibile presenza di valori nulli si utilizza una distribuzione mista (discreta e continua) nella forma

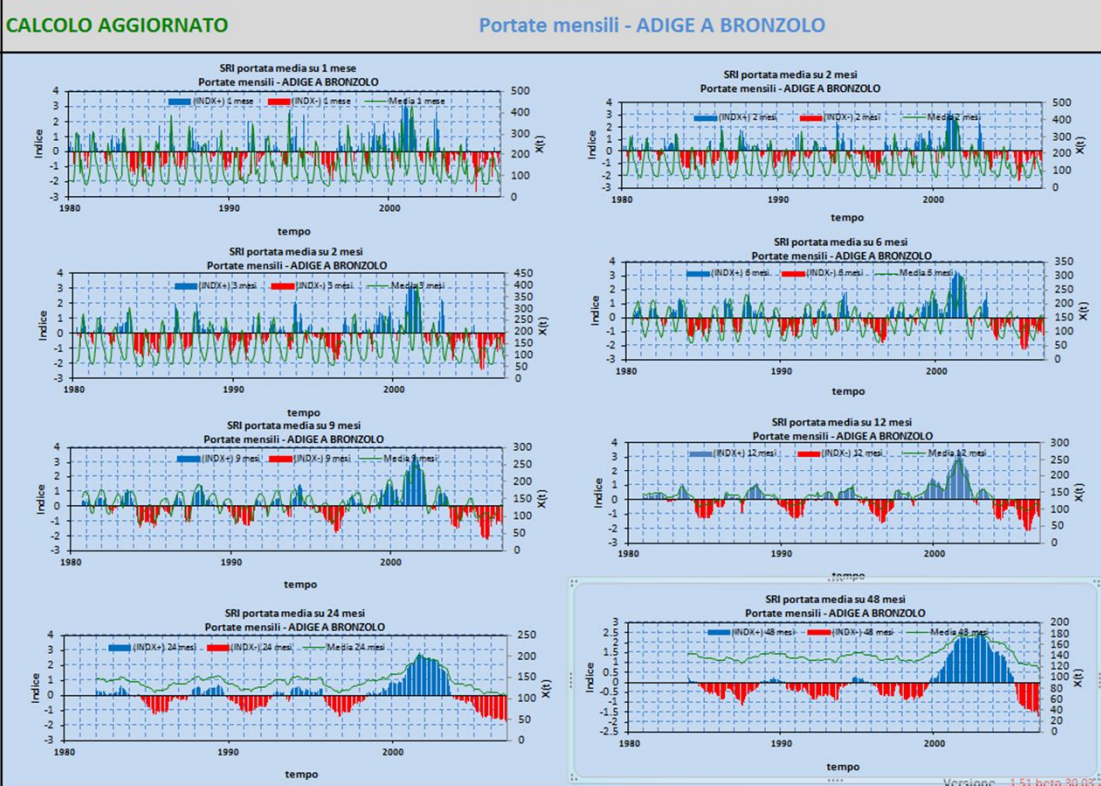
$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$

dove $G(x)$ è la distribuzione Gamma i cui parametri sono stimati mediante il metodo della Massima Verosimiglianza (MLE) solo sulla base dei dati > 0 , e q è la probabilità del valore nullo.

Nel caso del calcolo dell'indice SRI, la cumulata su diverse scale temporali delle portate, a meno del fattore moltiplicativo del numero di secondi in un mese, corrisponde al volume idrico che ha attraversato la sezione di riferimento.

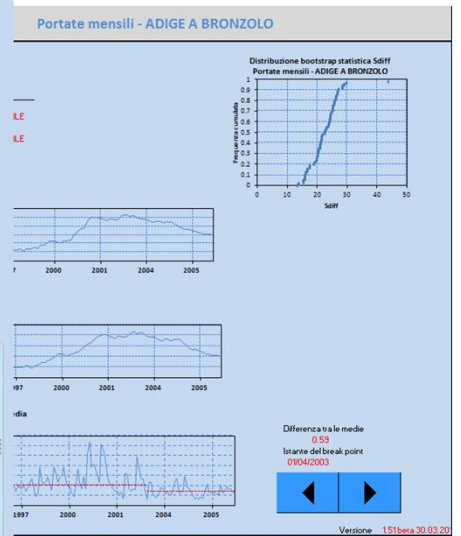
Il riferimento bibliografico relativo al calcolo dell'SPI è: McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, pp: 179-184. Altri riferimenti: WMO 2012, Standardized Precipitation Index - User Guide, WMO No. 1090

http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1



Test implementati in ANABASI

- 1) trend: Mann Kendall, Pearson, Spearman
- 2) change point: CUSUM, Pettitt



CREIAMO PA

STANDARDIZED SNOWPACK INDEX – SSPI

Analogo allo SPI, ma in cui sono utilizzati valori dell'equivalente in acqua della neve (*SWE–snow water equivalent*; in kg m^{-2}) anziché quelli di pioggia.

Lo SSPI può essere calcolato come l'anomalia (normalizzata) delle condizioni correnti di SWE valutata rispetto alla media climatologica su lungo periodo delle condizioni di SWE.

→ procedura FMI su stime del SWE basate sul prodotto ESA "GlobSnow"

Classificazione della severità	Probabilità dell'evento [%]	Probabilità cumulata	Valore dello SSPI
Notevolmente superiore alla norma	2.3%	0.977 – 1	$\text{SSPI} \geq 2.00$
Molto superiore alla norma	4.4%	0.933 – 0.977	$1.50 \leq \text{SSPI} < 2.00$
Superiore alla norma	9.2%	0.841 – 0.933	$1.00 \leq \text{SSPI} < 1.50$
Vicino alla norma	68.2%	0.159 – 0.841	$-1.00 < \text{SSPI} < 1.00$
Inferiore alla norma	9.2%	0.067 – 0.159	$-1.50 < \text{SSPI} \leq -1.00$
Molto inferiore alla norma	4.4%	0.023 – 0.067	$-2.00 < \text{SSPI} \leq -1.50$
Notevolmente inferiore alla norma	2.3%	0 – 0.023	$\text{SSPI} \leq -2.00$



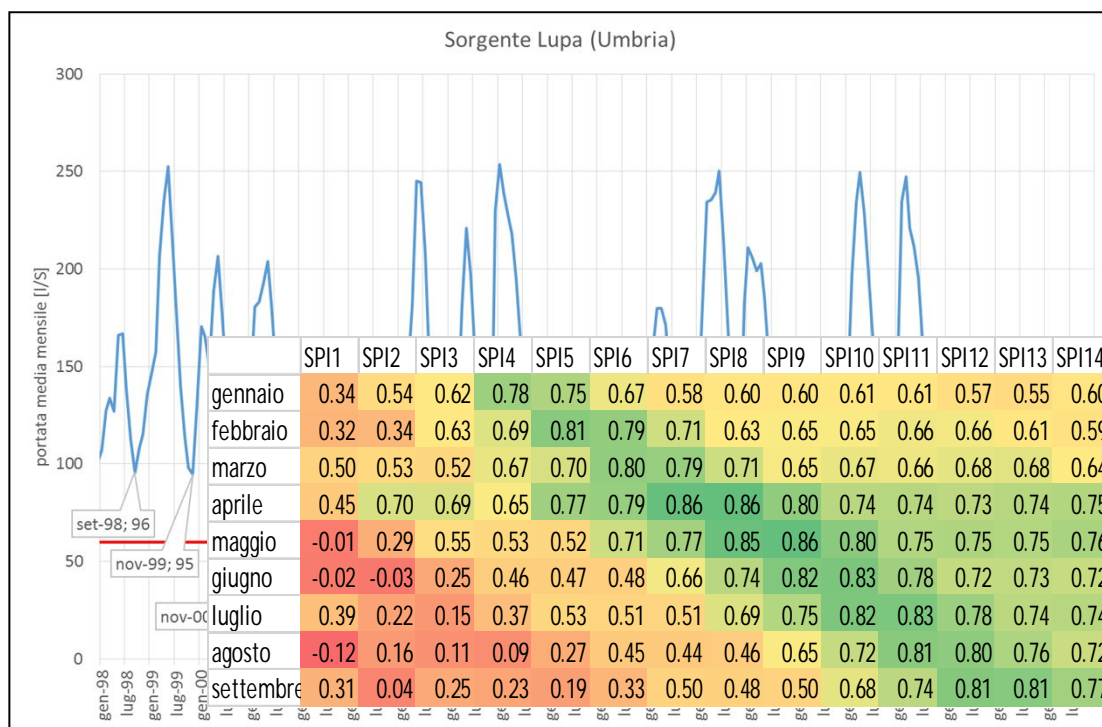
STIMA DELLO SWE

- La stima di SWE dipende dalla scelta della funzione di densità del manto nevoso ρ_b che, in generale, è funzione dell'altezza della neve al suolo H_s , della stagione e del territorio considerato.
- Ad es., nel Distretto delle Alpi Orientali sono state testate sul bacino dell'Adige tre diversi modelli di stima di ρ_b .
- A gennaio 2018, l'utilizzo dei tre modelli ha evidenziato **una variabilità nella stima di ρ_b** compresa nell'intervallo **217–277 kg m⁻³** e, di conseguenza, **una variabilità nella stima dello SWE** compresa nell'intervallo **960–1079 Mm³**.



SPRING ANOMALY INDEX – SAI

Indicatore fisico rappresentativo dello stato della risorsa → PORTATE MINIME ANNUALI



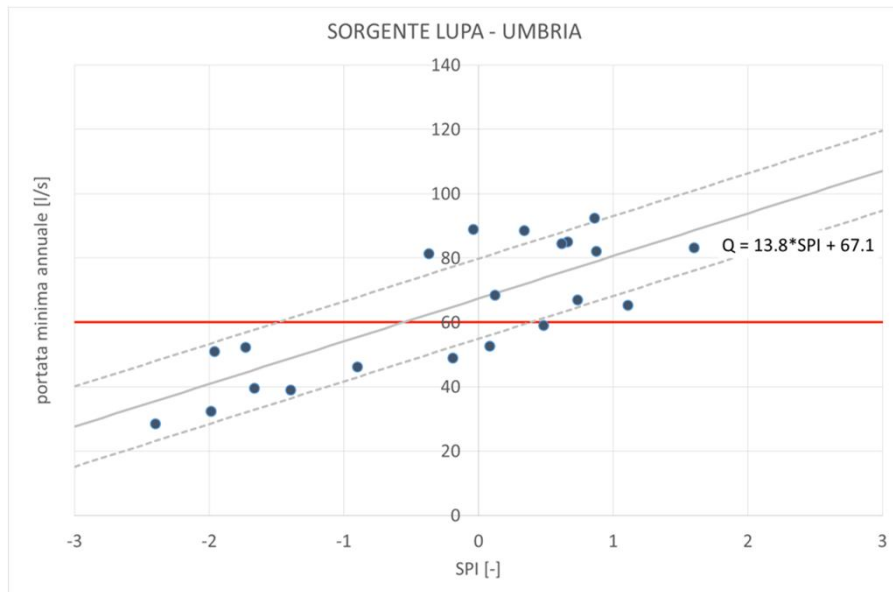
Quale scala di aggregazione delle precipitazioni e di quale mese "spiega" meglio la variabilità inter-annuale osservata della portata minima della sorgente in esame?

RICERCA DELLA MASSIMA CORRELAZIONE TRA SPI_n E PORTATE MINIME ANNUALI



CReIAMO PA

CLASSIFICAZIONE DEL LIVELLO DI SEVERITÀ IDRICA PUNTUALE MEDIANTE SAI



$SAI = D / Q_{forecast}^{min}$	CLASSIFICAZIONE DI SEVERITÀ
$SAI \leq 1$	ASSENZA DI CONDIZIONI DI SEVERITÀ IDRICA PUNTUALE
$1 < SAI \leq 1.25$	BASSA
$1.25 < SAI \leq 1.66$	MEDIA
$SAI > 1.66$	ELEVATA

CLASSIFICAZIONE DEL LIVELLO DI SEVERITÀ IDRICA PUNTUALE IN FUNZIONE DELLA CAPACITÀ PREVEDIBILE DI SODDISFACIMENTO DELLA DOMANDA



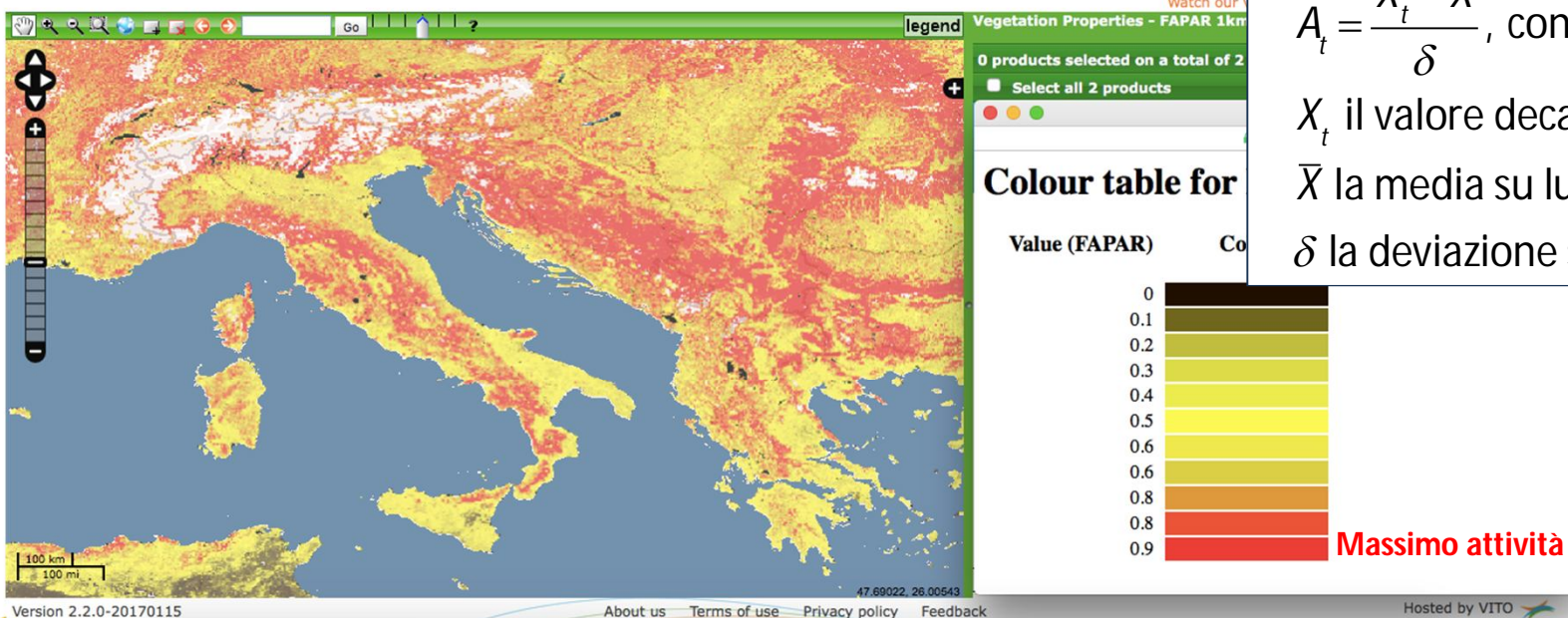
CReIAMO PA

fAPAR E ANOMALIA DI fAPAR

Stima della frazione della radiazione solare assorbita dalle piante, ottimo indicatore per valutare lo stress della vegetazione a eventi di siccità

Copernicus Global Land Service

Providing bio-geophysical products of global land surface



fAPAR_{anomaly}

$$A_t = \frac{X_t - \bar{X}}{\delta}, \text{ con } A_t \in [-4, 4]$$

X_t il valore decadale di fAPAR al tempo t

\bar{X} la media su lungo periodo

δ la deviazione standard rispetto alla decade t



CReIAMO PA

Prodotto operativo Copernicus: 1 km x 1 km dal 1999
Prodotto (dimostr.) Copernicus: 300 m x 300 m dal 2014



WATER EXPLOITATION INDEX PLUS (WEI+)

WATER EXPLOITATION INDEX (WEI)

Indicatori del livello di pressione o di stress idrico che le attività umane esercitano sulla risorsa idrica naturale in un determinato territorio e in un determinato intervallo temporale

$$WEI = \frac{\text{Prelievo idrico annuo}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile annua media su lungo periodo}} \times 100 \text{ [\%]}$$

$$WEI+ = \frac{\text{Consumo della risorsa idrica}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile}} = \frac{\text{Prelievo} - \text{Restituzione}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile}} \times 100 \text{ [\%]}$$

Sembrano simili ma non vanno confusi

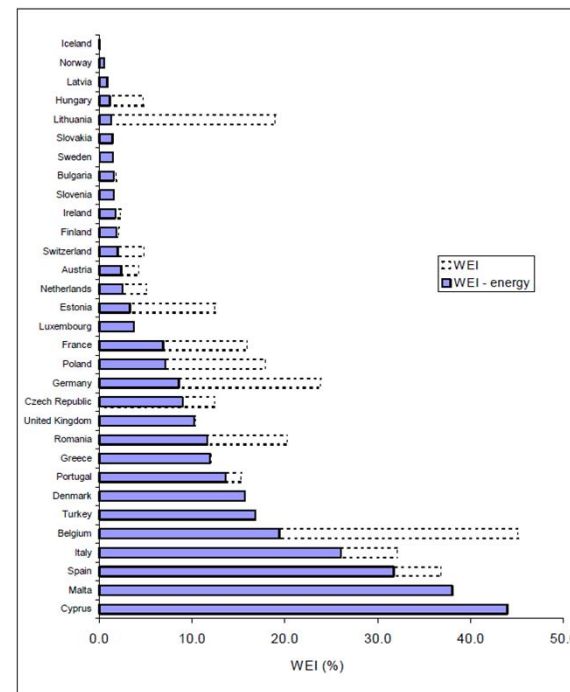


ESPRESSIONE DEL WEI E DEL WEI+

- numeratore nel WEI
Prelievo idrico annuo

- numeratore nel WEI+

Consumo della risorsa idrica = Prelievo – Restituzione



ESPRESSIONE DEL WEI E DEL WEI+

- Denominatore nel WEI *LTAA—long term annual average ≥ 20 anni*

$$RWR_{LTAA} = P_{LTAA} - Eta_{LTAA} + ExIn_{LTAA}$$

Risorsa idrica rinnovabile (renewable water resources) *Precipitazione* *Evapotraspirazione reale* *External inflow*

- Denominatore nel WEI+ *Δt intervallo temporale*

$$RWR_{\Delta t} = P_{\Delta t} - Eta_{\Delta t} + ExIn_{\Delta t} - \Delta S_{\Delta t}$$

Risorsa idrica rinnovabile (renewable water resources) *Precipitazione* *Evapotraspirazione reale* *External inflow* *Variazione volumi invasati*



LIVELLI DI STRESS IDRICO

WEI

- $0\% \leq WEI \leq 20\%$
- $20\% \leq WEI \leq 40\%$
- $WEI > 40\%$

No stress

Stress idrico

Stress idrico molto grave

WEI+

- $0\% \leq WEI+ \leq 20\%$
- $20\% \leq WEI+ \leq 40\%$
- $WEI+ > 40\%$

No stress

Stress idrico

Stress idrico molto grave



SPUNTI DI RIFLESSIONE DA DISCUTERE NEL GDL SUL WEI+

A dispetto della sua semplice (solo apparente) formulazione, il WEI+ nasconde molteplici problemi

Al numeratore soprattutto il termine “Restituzione”

- Come considerare l'uso di acqua desalinizzata e di tutte le risorse “non convenzionali” ai sensi del DM 28 luglio 2004?
- Come considerare l'uso dell'acqua depurata? (già conteggiata come prelievo?)
- Come considerare l'acqua d'irrigazione che si infiltra? (restituzione all'ambiente?)
- Come considerare le perdite nelle condotte di adduzione e distribuzione? (restituzione all'ambiente?)
- Come considerare la qualità dell'acqua? (l'acqua che viene restituita in condizione non utilizzabili va ancora considerata come restituzione della risorsa o è acqua “consumata”?)
- Come considerare trasferimenti idrici tra bacini? (come prelievo da una parte e restituzione dall'altra?)
- Possibilità di WEI+ negativo?
- ...

Al denominatore:

- La risorsa idrica naturale rinnovabile è comprensiva dell'e-flow?
- ...

La definizione delle soglie dipende da come vengono risolti i problemi sopra elencati, e non solo!



CReIAMO PA

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



CReIAMO PA