Agea
Agenzia
per le Erogazioni
in Agricoltura



Sistema integrato per la valutazione dello stress idrico e l'attribuzione alla siccità

Relazione Tecnico-Metodologica

Versione del 01 settembre 2026

Sommario

1. Finalità e campo di applicazione 3
2. Architettura generale del sistema 3
3. Fonti informative 4
3.1 Appezzamenti agricoli e codici colturali 4
3.2 Sentinel-2 Level-2A 4
3.3 ERA5-Land 4
3.4 JRC ASAP 4
4. Preparazione e armonizzazione dei dati 4
5. Costruzione degli indici satellitari 5
5.1 Maschera nubi e composito decadale 5
5.2 Formule degli indici 5
6. Bilancio idrico e indici meteorologici 5
6.1 Aggregazione decadale 5
6.2 Climatologia e SPEI empirico 5
7. Raccordo storico degli appezzamenti 6
8. Fenologia e baseline storica 6
8.1 Fenologia osservata e attesa 6
8.2 Baseline individuale 6
9. Calcolo dello stress e attribuzione alla siccità 7
9.1 Stress colturale decadale 7
9.2 Evidenza meteorologica 7
9.3 Finestra critica e DAI 7
10. Conferma spaziale e classificazione finale 8
11. Output, qualità, tracciabilità e limiti 8
11.1 Prodotti 8
11.2 Qualità e tracciabilità 8
11.3 Limiti interpretativi 9
12. Riferimenti 9

1. Finalità e campo di applicazione

Il sistema SICCITA v1.0 è una procedura geospaziale integrata progettata per individuare gli appezzamenti agricoli che mostrano stress vegetativo e per stimare quanto tale stress sia coerente con condizioni meteorologiche di siccità. L'obiettivo non è soltanto riconoscere una vegetazione in stato di stress, ma distinguere, per quanto consentito dai dati disponibili, uno stato compatibile con deficit idrico diffuso da anomalie potenzialmente legate a gestione colturale, suolo, patologie, danni locali o altre cause non meteorologiche.

L'unità di analisi è il singolo appezzamento dell'anno target. L'elaborazione è multi-area e multi-anno: provincia, regione o altra area di interesse sono definite nella configurazione iniziale, mentre le fasi di acquisizione, raccordo storico, fenologia, calcolo degli indicatori e produzione cartografica si adattano automaticamente all'estensione territoriale e alla disponibilità dei dati.

> **Principio metodologico**
>
> Lo stress colturale e l'evidenza meteorologica sono calcolati separatamente. L'attribuzione alla siccità nasce dalla loro compresenza nella stessa finestra temporale critica; il contesto spaziale serve come verifica di coerenza e non sostituisce l'indice scientifico principale.

2. Architettura generale del sistema

La catena è articolata in componenti operativi:

Fase	Prodotto principale
Configurazione	Parametri comuni, percorsi, anni e AOI
Osservazione satellitare	Indici satellitari NDVI, NDMI e NDWI decadali
Meteorologia	Indicatori meteorologici P, PET, BAL e SPEI a quattro scale
Storia degli appezzamenti	Corrispondenze geometriche e colturali
Fenologia e riferimento	SOS, picco, EOS e baseline per appezzamento
Attribuzione	Calcolo stress colturale CROP_ST, DR_EVID e DAI (Drought Attribution Index)
Conferma e pubblicazione	Classi finali, supporto spaziale e cartografia

3. Fonti informative

3.1 Appezzamenti agricoli e codici colturali

Gli appezzamenti annuali sono acquisiti come GeoPackage secondo la consueta memorizzazione. Il campo CODI_OCCU identifica l'occupazione colturale.

3.2 Sentinel-2 Level-2A

Gli indici vegetazionali derivano dalla collezione Sentinel-2 Level-2A del Copernicus Data Space Ecosystem, elaborata tramite API openEO. Sono utilizzate le bande B03 (verde), B04 (rosso), B08 (vicino infrarosso), B11 (infrarosso a onde corte) e la Scene Classification Layer (SCL). Gli output sono prodotti su griglia a 10 m; le bande e la maschera a risoluzione nativa diversa vengono riallineate dal backend alla griglia operativa.

3.3 ERA5-Land

La componente meteorologica usa ERA5-Land, rianalisi del Copernicus Climate Change Service. Dal Climate Data Store sono scaricate total_precipitation e potential_evaporation. La risoluzione nativa è circa 0,1° (circa 9 km alle latitudini italiane) e la frequenza originaria è oraria.

3.4 JRC ASAP

Il riferimento fenologico proviene dal sistema ASAP del Joint Research Centre. Il sistema tenta prima l'uso dei crop calendar FAO/JRC a livello subnazionale o nazionale, ma li accetta soltanto quando esiste una corrispondenza con la classe colturale. Per l'Italia le tabelle operative attuali non forniscono righe compatibili; viene quindi usata la Land Surface Phenology JRC ASAP locale a circa 500 m, con start of season (SOS), time of maximum (TOM) ed end of season (EOS), integrata con la curva Sentinel-2 osservata sul singolo appezzamento.

Per le classi nelle quali esiste una corrispondenza viene utilizzato il riferimento JRC; le altre mantengono la fenologia osservata.

Fonte	Risoluzione/frequenza	Impiego
Sentinel-2 L2A	10-20 m; compositi decadali	NDVI, NDMI, NDWI e dinamica vegetativa
ERA5-Land	0,1°; oraria, aggregata per decade	P, PET, BAL e SPEI
JRC ASAP LSP	circa 500 m; fenologia media	SOS, picco ed EOS attesi
GeoPackage appezzamenti	geometria catastale/agricola annuale	Unità di analisi e raccordo storico
Tabelle Excel	codici e mapping	Descrizioni e associazione alle classi JRC

4. Preparazione e armonizzazione dei dati

L'area di interesse è dissolta, controllata e proiettata in WGS84 per i servizi Copernicus e CDS. Per le operazioni vettoriali locali si conserva un sistema proiettato metrico. Gli output sono organizzati per area e

anno, con cache e checkpoint che consentono la ripartenza senza ripetere download, job remoti o intersezioni già completate.

5. Costruzione degli indici satellitari

5.1 Maschera nubi e composito decadale

Il Modulo 1 filtra la collezione Sentinel-2 L2A con una soglia massima di copertura nuvolosa del prodotto pari all'80%. La maschera effettiva è però determinata pixel per pixel dalla SCL, mediante una maschera dilatata che considera classi di suolo/acqua/vegetazione e classi di ombra, nube, cirri e neve. Dopo il mascheramento, le osservazioni valide di ciascuna decade sono aggregate con la mediana, scelta per ridurre l'influenza di residui atmosferici e valori anomali.

5.2 Formule degli indici

Indice	Formula	Significato operativo
NDVI	(B08 - B04) / (B08 + B04)	Vigore e attività fotosintetica
NDMI	(B08 - B11) / (B08 + B11)	Contenuto idrico della vegetazione
NDWI	(B03 - B08) / (B03 + B08)	Risposta legata ad acqua superficiale e umidità

Per aree estese il carico del job è dimensionato in funzione di estensione, durata e risoluzione: l'AOI viene suddivisa automaticamente in tasselli elaborati separatamente e i risultati sono ricomposti localmente in mosaici decadali. L'assenza ripetuta e circoscritta di una specifica decade in un tassello viene registrata come NoData reale.

6. Bilancio idrico e indici meteorologici

6.1 Aggregazione decadale

La precipitazione giornaliera P è ottenuta da total_precipitation. L'evapotraspirazione potenziale è resa positiva secondo la convenzione ECMWF: PET = max(-PEV, 0). Le quantità sono convertite in millimetri e sommate per decadi: giorni 1-10, 11-20 e 21-fine mese. Le decadi incomplete vengono escluse. Il bilancio idrico è BAL = P - PET.

6.2 Climatologia e SPEI empirico

La climatologia di riferimento è 1991-2020 e deve contenere tutte le 1.080 decadi. Per ogni scala k, il bilancio viene cumulato sulle ultime k decadi, con k pari a 1, 3, 9 e 18.

La standardizzazione è empirica e stagionale. Per ogni cella e per ciascuna delle 36 posizioni decadali dell'anno, i valori climatologici sono ordinati, trasformati in probabilità di plotting position e convertiti in z-score tramite l'inversa della distribuzione normale. Il prodotto è quindi uno SPEI-like robusto, coerente con

il significato standardizzato dello SPEI ma senza imporre una distribuzione parametrica fissa al bilancio climatico.

> **Scale temporali**
>
> SPEI1 descrive la decade; SPEI3 circa un mese; SPEI9 circa tre mesi ed è l'indicatore principale del deficit stagionale; SPEI18 circa sei mesi e rappresenta una persistenza più lunga.

7. Raccordo storico degli appezzamenti

L'anno target rimane il master geometrico. Gli appezzamenti degli anni storici sono alleggeriti nei soli campi necessari e confrontati tramite Tabulate Intersection a blocchi di 25.000 record. Non viene eseguito un Intersect completo regionale. Gli indici spaziali, la preselezione per posizione e i checkpoint per blocco rendono il processo scalabile e riavviabile.

Per ogni anno storico vengono calcolati: copertura geometrica totale, percentuale dell'area target occupata dalla stessa coltura, geometria storica dominante, coltura dominante e numero di parti sovrapposte. Un riferimento storico è considerato geometricamente significativo con copertura almeno del 40% e colturamente affidabile quando almeno il 60% dell'area risulta occupato dallo stesso CODI_OCCU.

8. Fenologia e baseline storica

8.1 Fenologia osservata e attesa

La curva NDVI decadale del target viene smussata con una finestra mobile di tre decadi. Sono richieste almeno otto decadi valide e un'ampiezza NDVI minima di 0,10. Il picco è il massimo della curva smussata, eventualmente ricercato entro la finestra JRC. Il SOS è individuato al superamento persistente del 25% dell'ampiezza ascendente; l'EOS al rientro sotto il 30% dell'ampiezza discendente.

Quando la corrispondenza colturale lo consente, JRC rappresenta il riferimento atteso e Sentinel-2 l'osservazione locale. La qualità fenologica combina completezza della serie, ampiezza della curva e affidabilità del livello di associazione JRC. Per stagioni che attraversano il cambio d'anno si applica una logica circolare sulle 36 decadi.

8.2 Baseline individuale

Per ogni appezzamento target, indice e decade viene costruita una baseline storica usando soltanto gli anni raccordati con stessa coltura almeno al 60%. Il valore di riferimento è la mediana dei valori storici validi e viene conservato anche il numero di anni disponibili. Se la baseline non esiste, viene utilizzato il confronto contemporaneo e ridotta la qualità associata alla componente storica.

L'estrazione degli indici sugli appezzamenti usa una rasterizzazione una tantum delle zone e riutilizza lo stesso raster per tutte le statistiche zonali. Gli appezzamenti troppo piccoli per essere rappresentati sulla griglia sono recuperati tramite punti interni, evitando una perdita sistematica delle geometrie minori.

9. Calcolo dello stress e attribuzione alla siccità

9.1 Stress colturale decadale

Per ciascuna decade fenologicamente attiva lo stress è stimato con due confronti complementari. Il confronto contemporaneo misura l'anomalia robusta rispetto agli appezzamenti della stessa coltura; se il gruppo contiene meno di 20 elementi, può essere usato il gruppo JRC con almeno 30 elementi. Uno z-score non inferiore a -0,75 corrisponde a stress nullo; uno z-score pari o inferiore a -2,50 corrisponde a stress 100, con interpolazione lineare fra le due soglie.

Il confronto storico misura il deficit rispetto alla baseline individuale. Per NDVI lo stress cresce da una differenza di -0,05 fino a 100 a -0,20; per NDMI e NDWI cresce da -0,04 fino a 100 a -0,16. Quando entrambi i confronti sono disponibili vengono combinati; gli indici contribuiscono con pesi NDMI 45%, NDVI 35% e NDWI 20%. Il risultato è moltiplicato per un peso fenologico, massimo in prossimità del picco e nullo fuori stagione.

9.2 Evidenza meteorologica

Ogni SPEI è trasformato in un punteggio di siccità 0-100: nessun contributo per SPEI almeno -0,5; crescita progressiva nelle classi -0,5/-1,0, -1,0/-1,5 e -1,5/-2,0; valore 100 per SPEI non superiore a -2,0. BAL30, somma delle ultime tre decadi, vale 0 per bilanci almeno -10 mm e 100 per bilanci non superiori a -70 mm.

Componente meteorologica	Peso
SPEI9 (circa tre mesi)	45%
SPEI3 (circa un mese)	25%
SPEI1 (una decade)	10%
SPEI18 (circa sei mesi)	10%
BAL30 (ultime tre decadi)	10%

I pesi sono rinormalizzati quando uno o più indicatori non sono disponibili. DR_EVID rimane esclusivamente meteorologico e non incorpora indici vegetazionali.

9.3 Finestra critica e DAI

Per ogni appezzamento viene ricercata la finestra di due decadi consecutive con stress medio massimo. CROP_ST è lo stress persistente di tale finestra; DR_EVID è l'evidenza meteorologica calcolata sulla stessa finestra. L'indice di attribuzione alla siccità è:

$$DAI = CROP_ST \times DR_EVID / 100$$

Il prodotto moltiplicativo è deliberatamente conservativo: un elevato stress vegetativo senza deficit meteorologico, o un forte deficit meteorologico senza risposta colturale, non produce automaticamente un'elevata attribuzione alla siccità. Sono inoltre registrati il numero di decadi con stress almeno 45, la massima persistenza consecutiva e la decade critica.

10. Conferma spaziale e classificazione finale

La verifica spaziale considera soltanto appezzamenti con lo stesso CODI_OCCU entro 1.500 m, fino a un massimo di 15 vicini, utilizzando un indice cKDTree. Sono calcolati numero dei vicini, mediana del DAI, media pesata per distanza, percentuale di vicini con DAI almeno 40 e un indicatore di coerenza spaziale.

Con almeno cinque vicini, il valore contestualizzato è DAI_SP = 0,85 × DAI + 0,15 × SP_COH; altrimenti DAI_SP coincide con DAI. Il punteggio scientifico finale FINAL_SC resta però uguale al DAI originale. La componente spaziale influenza la qualità/confidenza e produce classi descrittive quali confermato, confermato forte, isolato, vicinato segnalato o senza vicini.

Classe finale	Intervallo DAI
Debole/nullo	0 - <20
Possibile	20 - <40
Probabile	40 - <60
Forte	60 - <80
Molto forte	80 - 100
Non valutabile	dati insufficienti
Escluso	codice non colturale esplicitamente escluso

11. Output, qualità, tracciabilità e limiti

11.1 Prodotti

GeoTIFF decadali NDVI, NDMI e NDWI, organizzati per area e anno.
GeoTIFF decadali P, PET, BAL, SPEI1, SPEI3, SPEI9 e SPEI18.
Geodatabase storico, fenologico, di stress e finale con campi diagnostici.
Matrici NumPy e metadata JSON per riuso e ripartenza.
CSV di sintesi generale, per coltura e per classe spaziale.
Layer LYRX già tematizzati e relazione Word automatica dei risultati.

11.2 Qualità e tracciabilità

Ogni modulo produce un log persistente, tempi per fase, diagnostica, metadati e checkpoint. I campi PH_Q, HIST_Q, ST_Q, SP_Q e FINAL_Q descrivono aspetti diversi della qualità: fenologia, storico, stress, supporto spaziale e confidenza complessiva. Le assenze di dati non vengono convertite in stress: producono NoData o classi non valutabili.

11.3 Limiti interpretativi

ERA5-Land ha una griglia molto più grossolana degli appezzamenti: il meteo rappresenta il contesto territoriale, non la variabilità intraparcellare.
Gli indici ottici risentono di nubi residue, ombre, neve, pratiche colturali e discontinuità di acquisizione.
La fenologia JRC a 500 m è un riferimento atteso; la risposta locale è affidata a Sentinel-2 e alla qualità della serie osservata.
Il DAI esprime compatibilità e forza dell'attribuzione alla siccità, non una prova causale esclusiva né una stima diretta del danno economico.
Le soglie operative devono continuare a essere validate su casi indipendenti, controlli di campo ed eventi noti.

12. Riferimenti

1. Copernicus Data Space Ecosystem - Sentinel-2 L2A documentation - https://documentation.dataspace.copernicus.eu/APIs/SentinelHub/Data/S2L2A.html
2. Copernicus Climate Data Store - ERA5-Land hourly data from 1950 to present - https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land?tab=documentation
3. JRC ASAP - Documentation - https://agricultural-production-hotspots.ec.europa.eu/documentation.php
4. JRC ASAP - Data download: phenology, crop calendars and administrative layers - https://agricultural-production-hotspots.ec.europa.eu/download.php
5. openEO API - Batch jobs documentation - https://api.openeo.org/v/0.3.0/jobs/