

TI-Seasonal v0.6.1

Guida tecnica e divulgativa al servizio stagionale C3S-5 per la
Leventina

Geoalps Engineering SA

14 settembre 2026

Un servizio stagionale locale costruito sopra il multi-system C3S di Copernicus,
con verifica storica ERA5 e localizzazione climatica MeteoSwiss.

Versione del motore automatico: 0.6.1

Sommario

1. Scopo di TI-Seasonal
2. Cosa sono le previsioni stagionali
3. Copernicus C3S e il Climate Data Store
4. I cinque sistemi usati da TI-Seasonal
5. Dati di riferimento: hindcast, ERA5 e MeteoSwiss
6. Cosa fa il motore TI-Seasonal
7. Probabilità, skill e accordo fra modelli
8. Localizzazione per Bedretto, Airolo, Quinto e Faido
9. Come leggere la pagina web
10. Limiti e corretto utilizzo
11. Automazione, affidabilità e gestione errori
12. Architettura e gestione operativa
13. Fonti ufficiali e attribuzioni

In una frase

TI-Seasonal non cerca di prevedere il tempo di un singolo giorno a mesi di distanza: misura invece se un mese futuro ha maggiore probabilità di risultare relativamente caldo, normale o freddo e relativamente secco, normale o umido, confrontando cinque grandi sistemi stagionali europei con la loro storia di previsione.

1. Scopo di TI-Seasonal

TI-Seasonal è un servizio sviluppato per trasformare le previsioni stagionali globali del Copernicus Climate Change Service (C3S) in un prodotto leggibile e utile per la Leventina. Il servizio combina cinque sistemi di previsione indipendenti, valuta la loro capacità predittiva storica e trasferisce il segnale regionale sulle normali climatiche locali di Bedretto, Airolo, Quinto e Faido.

Il risultato non è una previsione meteorologica puntuale. Non dice, per esempio, che il 15 gennaio nevierà o che il 3 febbraio vi saranno -12°C . Descrive invece il carattere medio atteso di ciascun mese nei sei mesi successivi, con probabilità e indicatori di affidabilità.

- orizzonte: sei mesi successivi al mese di inizializzazione;
- variabili principali: temperatura media a 2 m e precipitazione mensile;
- segnale regionale: cella C3S 46.5°N / 8.5°E su griglia comune $1^{\circ} \times 1^{\circ}$;
- localizzazione: normali climatiche MeteoSwiss 1991-2020;
- verifica: hindcast 1993-2016 confrontati con ERA5;
- uscita: probabilità di tercile, anomalia multimodello, accordo fra modelli, skill storico e valori locali.

2. Cosa sono le previsioni stagionali

2.1 Previsione del tempo e previsione stagionale non sono la stessa cosa

Una previsione meteorologica a pochi giorni cerca di ricostruire l'evoluzione concreta dell'atmosfera. A distanza di settimane o mesi la natura caotica dell'atmosfera rende impossibile mantenere quel livello di dettaglio. La previsione stagionale lavora quindi in modo diverso: cerca segnali statistici legati a componenti del sistema Terra che evolvono più lentamente, come oceani, suolo, ghiaccio marino e grandi configurazioni atmosferiche.

Per questo C3S parla di outlook stagionale e utilizza ensemble: molte simulazioni leggermente diverse che descrivono una distribuzione di esiti plausibili. La domanda utile non è "che temperatura farà il 10 gennaio?", ma "quanto aumenta o diminuisce la probabilità che gennaio sia nel terzo più caldo della climatologia?".

Regola di lettura importante

Un mese classificato nel tercile caldo può comunque contenere una forte ondata di freddo. Il tercile descrive la media mensile, non esclude episodi brevi di segno opposto.

2.2 Ensemble, climatologia e tercili

Per ogni modello TI-Seasonal usa la sua climatologia hindcast. Tutti i valori storici dello stesso mese di inizializzazione e dello stesso lead vengono ordinati e divisi in tre gruppi di pari frequenza: tercile inferiore, centrale e superiore. Le soglie che separano i gruppi sono P33 e P67.

Classificazione dei membri ensemble

$T < P33$ → tercile freddo

$P33 \leq T \leq P67$ → tercile normale

$T > P67$ → tercile caldo

Per la precipitazione: secco / normale / umido

3. Copernicus C3S e il Climate Data Store

Il Copernicus Climate Change Service (C3S), implementato da ECMWF per conto dell'Unione europea, raccoglie previsioni stagionali prodotte da diversi centri meteorologici. I centri utilizzano modelli accoppiati atmosfera-oceano-terra-ghiaccio differenti, con proprie tecniche di inizializzazione e proprie perturbazioni ensemble. Questa diversità è un vantaggio: consente di valutare la robustezza di un segnale confrontando sistemi costruiti in modo indipendente.

Per i prodotti atmosferici C3S riceve i campi dai centri contribuenti su una griglia comune di circa $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. I dati mensili sono distribuiti nel Climate Data Store (CDS), sia come forecast in tempo reale sia come hindcast

retrospettivi. Il periodo comune di riferimento usato nei prodotti C3S e 1993-2016, anche quando un singolo centro dispone di hindcast piu lunghi.

- ECMWF: rilascio operativo tipico il 6 del mese alle 12 UTC;
- altri centri C3S: rilascio operativo tipico il 10 del mese alle 12 UTC;
- dati TI-Seasonal: statistiche mensili su livelli singoli, in formato GRIB;
- TI-Seasonal usa un sottoinsieme europeo di cinque sistemi, non l'intero multi-system C3S globale.

Fonte: C3S Summary of available data e Seasonal forecast product descriptions, consultate il 14.09.2026.

4. I cinque sistemi usati da TI-Seasonal

TI-Seasonal assegna lo stesso peso a cinque sistemi europei operativi. Non vengono mescolati direttamente tutti i membri ensemble, perche i sistemi hanno numerosita diverse. Prima ogni modello viene trasformato in probabilita proprie; solo dopo le probabilita vengono mediate con peso 20% ciascuna.

Centro	Sistema CDS	Modello / famiglia	Forecast usato	Hindcast usato	Atmosfera nativa	Oceano
ECMWF	51	SEAS5.1	51	25	IFS 43r1, ~36 km	NEMO 3.4, 0.25°
Meteo-France	9	System 9	51	31	ARPEGE 6.5, ~0.5°	NEMO 4.2 + SI3, 0.25°
UK Met Office	610	GloSea6-GC5.1	50 qualificanti	28	UM/JULES GA9.1, ~60 km	NEMO 4.0.4 + SI3, 0.25°
DWD	22	GCFS2.2	50	30	ECHAM6.3.05, ~100 km	MPIOM 1.6.3, ~0.4°
CMCC	4	SPS4	50	30	CESM2.3 CAM6, ~0.5°	NEMO 4.2 + CICE6, 0.25°

Configurazioni operative documentate da C3S. I conteggi "usati" sono quelli adottati dal motore TI-Seasonal per il prodotto 2026-09.

4.1 ECMWF - SEAS5.1, system 51

SEAS5 e il sistema stagionale ECMWF basato sull'Integrated Forecasting System (IFS) accoppiato a NEMO. Il system 51 e la versione C3S SEAS5.1: le integrazioni del modello sono sostanzialmente quelle di SEAS5, mentre la produzione C3S e stata riallineata su una nuova interpolazione coerente con la griglia comune 1°. TI-Seasonal usa 51 membri forecast e 25 membri hindcast per anno.

4.2 Meteo-France - System 9

System 9 combina ARPEGE per l'atmosfera, SURFEX per la superficie terrestre e NEMO/SI3 per oceano e ghiaccio marino. Il forecast ha 51 membri distribuiti su tre date di partenza; gli hindcast hanno 31 membri. Questa struttura introduce una diversita utile rispetto ai sistemi "burst" pur restando su una climatologia coerente del singolo modello.

4.3 UK Met Office - GloSea6-GC5.1, system 610

Il Met Office utilizza un sistema lagged-start: produce due membri al giorno. Per il prodotto TI-Seasonal vengono scelti i 50 membri forecast piu recenti ammessi dalla logica C3S. Gli hindcast sono on-the-fly e usano 7 membri per quattro date di partenza mensili (1, 9, 17 e 25), per un totale di 28 membri per anno. Il modello accoppia Unified Model/JULES con NEMO e SI3.

4.4 DWD - GCFS2.2, system 22

GCFS2.2 e il sistema stagionale del Deutscher Wetterdienst. Accoppia ECHAM6/JSBACH a MPIOM e produce 50 membri forecast e 30 hindcast. La risoluzione atmosferica nativa e piu grossolana di altri sistemi, ma il contributo indipendente e utile nel multimodello.

4.5 CMCC - SPS4, system 4

SPS4 e il sistema del Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici. Usa CESM2.3 con CAM6/CLM5.1, NEMO 4.2 e CICE6. Produce 50 membri forecast e 30 hindcast. Anche questo sistema viene trasformato in probabilita proprie prima di entrare nella media C3S-5.

5. Dati di riferimento: hindcast, ERA5 e MeteoSwiss

5.1 Hindcast 1993-2016

Un hindcast è una previsione retrospettiva: il modello di oggi viene fatto partire da condizioni del passato senza usare informazioni del futuro. Confrontando hindcast e realtà osservata si può stimare quanto il sistema sia stato capace, storicamente, di distinguere anni caldi da freddi o secchi da umidi. TI-Seasonal usa il periodo comune 1993-2016, cioè 24 anni, per rendere confrontabili i cinque sistemi.

5.2 ERA5 come riferimento di verifica

ERA5 è la rianalisi atmosferica globale di ECMWF utilizzata da C3S anche per la verifica dei prodotti stagionali. TI-Seasonal scarica temperatura a 2 m e precipitazione mensile sulla stessa area e classifica ogni mese ERA5 nei propri tercili. Gli hindcast dei modelli vengono quindi confrontati con questa sequenza storica.

5.3 Normali MeteoSwiss 1991-2020

La griglia stagionale C3S a 1° non può rappresentare direttamente il forte gradiente altimetrico della Leventina. Per questo TI-Seasonal non interpreta la temperatura assoluta della cella C3S come temperatura di Airolo o Bedretto. Usa invece le normali climatiche spaziali MeteoSwiss 1991-2020: TnormM9120 per la temperatura media mensile e RnormM9120 per la precipitazione media mensile, su griglia svizzera ad alta risoluzione.

Idea chiave della localizzazione

Il modello globale fornisce il segnale di scostamento dalla propria climatologia; MeteoSwiss fornisce il livello climatico locale. In questo modo la quota e la geografia locale restano rappresentate dalle normali svizzere, mentre il segnale stagionale arriva dai modelli C3S.

6. Cosa fa il motore TI-Seasonal

Il flusso operativo può essere letto come una catena di otto passaggi:



Figura 1 - Schema divulgativo del motore TI-Seasonal v0.6.1.

6.1 Acquisizione

Per ciascun run mensile il motore richiede al CDS i campi mensili di temperatura a 2 m e precipitazione totale per i sei lead successivi. Scarica inoltre gli hindcast dello stesso mese di inizializzazione se non sono già presenti in cache. Gli hindcast possono quindi essere riutilizzati negli anni successivi.

6.2 Climatologia specifica di ogni modello

Ogni sistema ha un proprio bias e una propria distribuzione. TI-Seasonal non confronta una temperatura ECMWF con una soglia DWD. Per ciascun modello costruisce P33 e P67 dalla climatologia hindcast dello stesso modello. Questo rende le probabilità comparabili pur rispettando le caratteristiche dei singoli sistemi.

6.3 Multimodello a peso uguale

Le tre probabilità di ogni sistema vengono poi mediate. Ogni centro vale 20%, indipendentemente dal numero di membri. In questo modo un modello con 51 membri non pesa più di un modello con 50 o 31 membri.

Formule principali

$$p_{C3S5(categoria)} = (p_{ECMWF} + p_{MF} + p_{UKMO} + p_{DWD} + p_{CMCC}) / 5$$

$$\Delta T_{C3S5} = \text{media dei 5 } [T_{forecast_media} - T_{clima_hindcast}]$$

$$F_{P_C3S5} = \text{media dei 5 } [P_{forecast_media} / P_{clima_hindcast}]$$

$$T_{locale} = T_{norm_MeteoSwiss} + \Delta T_{C3S5}$$

$$P_{locale} = P_{norm_MeteoSwiss} \times F_{P_C3S5}$$

7. Probabilità, skill e accordo fra modelli

7.1 Probabilità di tercile

Le probabilità pubblicate non sono una misura di sicurezza assoluta. Se il prodotto mostra 64% caldo, significa che il multimodello assegna al tercile caldo una quota media di probabilità del 64%, non che esista il 64% di probabilità di una particolare temperatura o che il mese non possa risultare normale o freddo.

7.2 Accordo fra modelli

L'accordo conta quanti dei cinque sistemi hanno come categoria più probabile la stessa categoria dominante del C3S-5: 5/5 molto alto, 4/5 alto, 3/5 moderato, 0-2/5 basso. L'accordo descrive la coerenza fra i modelli nel run corrente, non la loro bravura storica.

7.3 Skill storico

TI-Seasonal calcola indicatori analoghi a quelli usati nella verifica C3S: correlazione di Spearman sui singoli sistemi, area sotto la curva ROC e Ranked Probability Score (RPS). Aggiunge anche RPSS, cioè il miglioramento del RPS rispetto a una previsione climatologica 1/3-1/3-1/3.

Lettura sintetica RPSS

RPSS > 0 -> storicamente meglio della climatologia

RPSS ~ 0 -> skill molto limitato

RPSS < 0 -> sul campione storico peggio della climatologia

Accordo e skill sono concetti diversi

Cinque modelli possono essere tutti d'accordo nel run corrente e, allo stesso tempo, avere skill storico debole su quella regione e su quel lead. TI-Seasonal mostra entrambe le informazioni proprio per evitare una falsa impressione di certezza.

8. Localizzazione per Bedretto, Airolo, Quinto e Faido

Le quattro località sono punti climatici di riferimento. Non sono quattro celle C3S indipendenti: il segnale stagionale di base resta regionale. La differenza fra le località nasce dalle normali MeteoSwiss, che incorporano quota e clima locale.

Località	Quota di riferimento	Funzione nel prodotto
Bedretto	1402 m	Alta valle / contesto più freddo e piovoso
Airolo	1175 m	Alta Leventina
Quinto	1011 m	Fondovalle alto
Faido	711 m	Leventina centrale, quota inferiore

Per la temperatura l'anomalia multimodello in gradi viene sommata alla normale locale. Per la precipitazione si usa invece un fattore relativo: una variazione del +15% aumenta del 15% la normale locale di ciascun punto. Questo è preferibile a sommare lo stesso numero di millimetri a Bedretto e Faido.

8.1 Esempio: run settembre 2026

Il run usato durante lo sviluppo mostra bene come leggere il prodotto. Tutti e cinque i sistemi indicavano il tercile caldo come categoria dominante da ottobre 2026 a marzo 2027. Per il cuore dell'inverno il C3S-5 dava:

Mese	Freddo	Normale	Caldo	Accordo	ΔT C3S-5
Dic 2026	13.1%	31.3%	55.6%	5/5	+1.16 °C
Gen 2027	11.5%	24.2%	64.3%	5/5	+1.48 °C
Feb 2027	15.5%	26.9%	57.6%	5/5	+1.23 °C

Esempio storico interno TI-Seasonal, run 2026-09. I valori cambiano a ogni aggiornamento mensile.

9. Come leggere la pagina web

Ogni scheda mensile riunisce quattro livelli di informazione:

1. Probabilità C3S-5: barre freddo/normale/caldo e secco/normale/umido.
2. Anomalia regionale multimodello: ΔT in °C e scostamento percentuale della precipitazione.
3. Accordo dei cinque sistemi: misura di coerenza del run corrente.
4. Skill storico: RPSS e, nel dettaglio dei singoli modelli, Spearman e altre metriche.

Le tabelle locali mostrano poi normale climatica e valore C3S-5 localizzato per Bedretto, Airolo, Quinto e Faido. La pagina deve essere letta dall'alto verso il basso: prima il segnale probabilistico regionale, poi la sua traduzione climatica locale.

10. Limiti e corretto utilizzo

- La risoluzione C3S di 1° è troppo grossolana per descrivere direttamente il rilievo alpino; la localizzazione attenua questo problema ma non crea una previsione ad alta risoluzione dinamica.
- La precipitazione stagionale in ambiente alpino ha spesso skill limitato. Un valore pubblicato deve sempre essere letto insieme a RPSS e accordo.
- Il prodotto descrive medie mensili. Non prevede intensità di singoli temporali, eventi alluvionali, valanghe o nevicate specifiche.
- TI-Seasonal non fornisce centimetri di neve stagionali. Una temperatura media più alta può spostare la quota neve ma non esclude forti nevicate durante le fasi fredde.
- Il multimodello riduce la dipendenza da un singolo centro, ma cinque modelli non sono cinque verità indipendenti: condividono osservazioni, conoscenze fisiche e in parte metodi simili.
- Le metriche di skill sono stimate su 24 anni: è un campione utile ma non enorme, soprattutto per fenomeni rari e aree complesse.

11. Automazione, affidabilità e gestione errori

La v0.6.1 introduce il motore `monthly_update.py`, collaudato end-to-end sul run 2026-09. L'obiettivo operativo è un aggiornamento mensile senza intervento manuale. Il principio fondamentale è conservativo: un nuovo run viene pubblicato solo dopo download, calcolo e validazione completa.

1. C3S / CDS - Download mensile dei forecast di ECMWF, Meteo-France, UKMO, DWD e CMCC



2. Hindcast - Climatologia retrospettiva 1993-2016 per lo stesso mese di inizializzazione



3. ERA5 - Riferimento indipendente per verificare la capacità predittiva storica



4. Probabilità - Tercili P33/P67 e probabilità freddo/normale/caldo o secco/normale/umido



5. C3S-5 - Media a peso uguale delle probabilità dei cinque sistemi + accordo fra modelli



6. Localizzazione - Anomalie multimodello applicate alle normali MeteoSwiss 1991-2020



7. Validazione - Controlli fisici e numerici; pubblicazione solo se il prodotto è coerente



8. Web - API JSON e pagina TI-Seasonal con ultimo run valido, probabilità, skill e valori locali

11.1 Ultimo run valido

Se un modello non è ancora disponibile, il CDS restituisce un errore, un file è corrotto o un controllo numerico fallisce, il prodotto pubblico precedente non viene sovrascritto. TI-Seasonal mantiene online l'ultimo run valido.

11.2 status.json

Lo stato dell'ultimo tentativo di aggiornamento viene registrato separatamente in `/data/output/status.json`. Gli stati previsti sono ok, updating e warning. Il file contiene il run richiesto, il run attualmente pubblicato, data e ora del tentativo, esito, messaggio di errore e indicazione di retry.

11.3 Strategia di retry prevista

La strategia proposta è eseguire automaticamente il motore nei giorni 11-17 del mese. Appena il run corrente è stato pubblicato con successo, i tentativi successivi terminano subito. In questo modo un ritardo di uno dei centri viene assorbito automaticamente senza intervento umano.

Stato al 14.09.2026

Il motore v0.6.1 ha completato con successo il ciclo automatico manualmente avviato sul run 2026-09. Al momento di questa guida restano da completare l'installazione del cron QNAP e il banner web che espone `status.json`.

12. Architettura e gestione operativa

12.1 Componenti principali

Percorso / componente	Funzione
/data/archive/runs/YYYY-MM/	Forecast mensili scaricati dal CDS
/data/archive/hindcasts/startMM/	Hindcast 1993-2016 riutilizzabili per mese di partenza
/data/archive/verification/	ERA5 per skill storico
/data/cache/climatology/	Normali MeteoSwiss 1991-2020
/data/output/latest.json	Ultimo prodotto validato
/data/output/multimodel.json	Alias compatibile del prodotto completo
/data/output/status.json	Stato dell'ultimo tentativo di aggiornamento
/data/logs/monthly-update-YYYY-MM.log	Log operativo
/root/.cdsapirc	Credenziali CDS montate read-only

12.2 Endpoint web

- / - pagina principale TI-Seasonal
- /api/health - stato del servizio
- /api/seasonal - prodotto JSON
- /api/multimodel - prodotto C3S-5 JSON
- /guida.pdf - guida PDF, dopo installazione del collegamento web

12.3 Sicurezza e backup

Il file .cdsapirc contiene la chiave CDS e non deve essere inserito nei pacchetti ZIP, nei repository o nella directory web. I pacchetti documentali TI-Seasonal escludono volutamente segreti, cache GRIB/NetCDF e archivi voluminosi. Per un backup live del progetto utilizzare lo strumento create_live_backup.py sul QNAP.

13. Fonti ufficiali e attribuzioni

Questa guida sintetizza la documentazione ufficiale C3S/ECMWF e MeteoSwiss disponibile al 14 settembre 2026, insieme alla metodologia implementata e verificata nel progetto TI-Seasonal. Per dettagli e aggiornamenti dei sistemi si devono considerare authoritative le pagine dei fornitori e del Copernicus Climate Data Store.

1. C3S Seasonal Forecasts - Seasonal forecast monthly statistics on single levels

<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/seasonal-monthly-single-levels>

2. C3S - Summary of available data

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/104239050/Summary+of+available+data>

3. C3S - Description of the seasonal multi-system

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/77213502/Description+of+the+C3S+seasonal+multi-system>

4. C3S - Seasonal forecast product descriptions

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/340775655/C3S+seasonal+forecast+product+descriptions>

5. C3S - Seasonal forecast verification plots

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/320997052/C3S+seasonal+forecasts+verification+plots>

6. ECMWF - Description of SEAS5 C3S contribution

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/83404143/Description+of+SEAS5-v20171101+C3S+contribution>

7. Meteo-France - Description of System 9 C3S contribution

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/462895762/Description+of+System9-v20250101+C3S+contribution>

8. Met Office - Description of GloSea6-GC5.1 C3S contribution

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/636683579/Description+of+GloSea6-GC5.1-v20250924+C3S+contribution>

9. DWD - Description of GCFS2.2 C3S contribution

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/501027781/Description+of+GCFS2.2-v20231101+C3S+contribution>

10. CMCC - Description of SPS4 C3S contribution

<https://confluence.ecmwf.int/spaces/CKB/pages/540957347/Description+of+CMCC-CM3-v20231101+C3S+contribution>

11. MeteoSwiss - Spatial climate normals

<https://opendatadocs.meteoswiss.ch/c-climate-data/c7-spatial-climate-normals>

Attribuzioni dati

Generated using Copernicus Climate Change Service information. Fonte per le normali climatiche locali: MeteoSwiss. Elaborazione e prodotto derivato: Geoalps Engineering SA / TI-Seasonal.

Appendice A - Glossario essenziale

Termine	Significato
C3S	Copernicus Climate Change Service.
CDS	Climate Data Store, portale/API di distribuzione dei dati Copernicus.
Ensemble	Insieme di simulazioni leggermente differenti usate per descrivere l'incertezza.
Hindcast	Previsione retrospettiva prodotta con il sistema stagionale su anni passati.
Tercile	Uno dei tre gruppi di uguale frequenza di una distribuzione climatologica.
P33 / P67	Soglie che separano i tre tercili.
ERA5	Rianalisi globale ECMWF usata come riferimento storico.
ROC AUC	Misura della capacità di discriminare un evento/categoria.
RPS	Ranked Probability Score per categorie ordinate.
RPSS	Skill score del RPS rispetto a una previsione climatologica.
Lagged-start	Ensemble formato combinando membri avviati in date diverse, come UKMO.
Anomalia	Scostamento rispetto alla climatologia del modello o alla normale locale.

Fine guida - TI-Seasonal v0.6.1