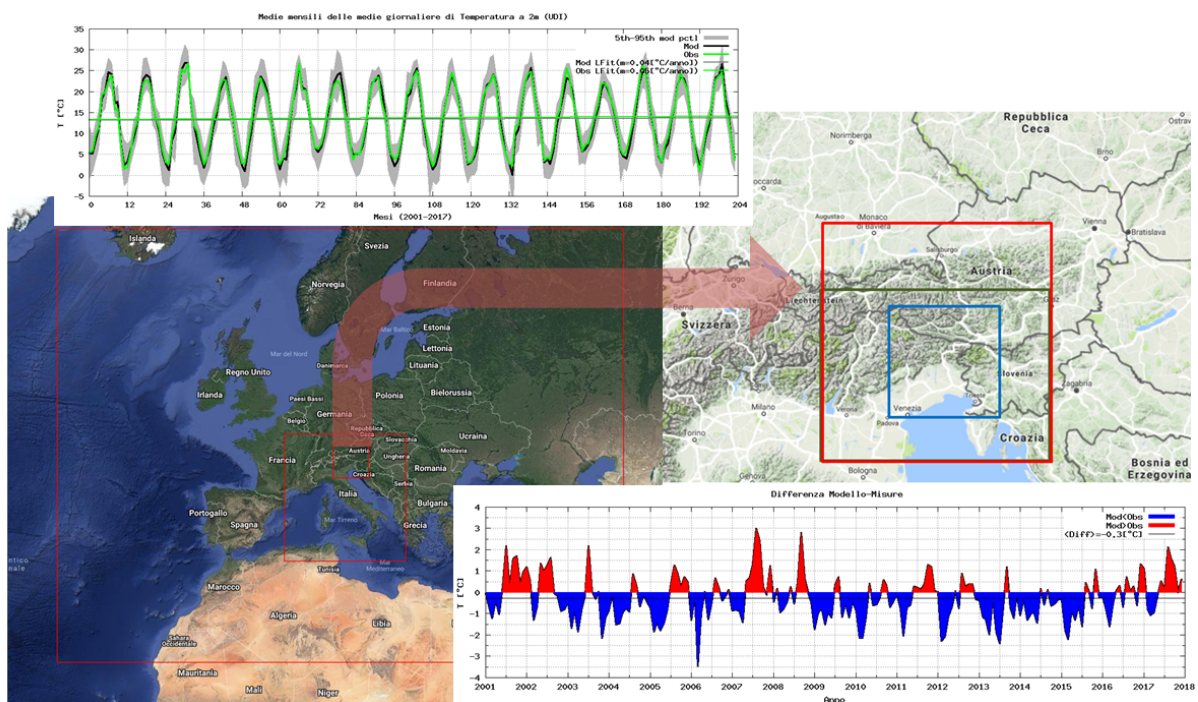


Progetto NAUSICA INTERIM

Catena operativa per la generazione di analisi meteorologiche ad alta risoluzione sul dominio Alpe Adria e analisi della climatologia del database NAUSICA



Progetto NAUSICA INTERIM

Catena operativa per la generazione di
analisi meteorologiche ad alta risoluzione
sul dominio Alpe Adria e analisi della
climatologia del database NAUSICA

Stato di avanzamento del progetto al 05/01/2019

RAPPORTO N. 001/2019

ARPA FVG - CRMA



Centro Regionale di Modellistica Ambientale

Copyright © ARPA FVG - CRMA Copyright © ARPA FVG, 2018



This work is released under the terms of the license Creative Commons Attribution / NonCommercial / ShareAlike.

ARPA FVG-Aria-Elaborati tecnico-scientifici

Documento: ARPA FVG - CRMA

Responsabile: Anna Chiara Goglio

Sito web di riferimento: www.arpa.fvg.it

Data emissione 05/01/2019

Termini uso.

Si ricorda ai lettori di questo rapporto che tutto si può usare ma bisogna stare attenti a quello che si dice. In particolare l'ARPA FVG non è responsabile per eventuali errori di stampa o di interpretazione dei dati. In ogni caso il lettore si assume ogni responsabilità per tutto quello che dice a seguito dell'utilizzo delle informazioni riportate in questo rapporto.

Indice

| | | |
|---|--|----|
| 1 | <i>Introduzione</i> | 7 |
| | 1.1 <i>Obiettivi e motivazioni</i> | 9 |
| | 1.2 <i>Outline del report</i> | 9 |
| 2 | <i>Database Campi Meteorologici</i> | 11 |
| | 2.1 <i>Suite Operativa</i> | 11 |
| | 2.1.1 <i>Gestione dei run</i> | 13 |
| | 2.2 <i>Prodotti generati</i> | 13 |
| 3 | <i>Database Campi Statistici</i> | 15 |
| | 3.1 <i>Campi statistici</i> | 16 |
| | 3.2 <i>Tabelle stimatori statistici</i> | 16 |
| | 3.3 <i>Database disponibile</i> | 18 |
| | 3.4 <i>Suite NAUSICA_stat</i> | 19 |
| | 3.4.1 <i>Generazione dei campi statistici</i> | 19 |
| | 3.4.2 <i>Estrazione delle tabelle</i> | 21 |
| | 3.4.3 <i>Tempi di estrazione ed elaborazione</i> | 23 |
| 4 | <i>Climatologia di NAUSICA</i> | 25 |
| | 4.1 <i>Analisi di qualità</i> | 25 |
| | 4.1.1 <i>Temperatura media</i> | 26 |
| | 4.1.2 <i>Temperature massime e minime</i> | 29 |
| | 4.1.3 <i>Vento medio</i> | 31 |
| | 4.1.4 <i>Vento massimo</i> | 33 |
| | 4.1.5 <i>Precipitazione cumulata</i> | 35 |
| | 4.2 <i>Conclusioni</i> | 40 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5 | <i>Discussione, prospettive future e conclusioni generali</i> | 41 |
| 5.1 | <i>Discussione dei risultati ottenuti</i> | 41 |
| 5.1.1 | <i>Utilizzi diretti del database NAUSICA</i> | 41 |
| 5.1.2 | <i>Consapevolezza acquisita ed estensione dell'utilizzo del database</i> | 42 |
| 5.2 | <i>Prospettive future del progetto</i> | 42 |
| 5.3 | <i>Conclusioni generali</i> | 42 |
| A | <i>Nomenclatura del database di Campi Statistici</i> | 45 |
| | <i>Bibliografia</i> | 57 |

1

Introduzione

*Tal favellò Nausica, e alle compagne:
"Olà", disse, "fermatevi. In qual parte
Fuggite voi, perché v'apparse un uomo?
Mirar credeste d'un nemico il volto?
Non fu, non è: e non fia chi a noi s'attenti
Guerra portar: tanto agli dèi siam cari.
Oltre che in sen dell'ondeggante mare
Solitari viviam, viviam divisi
Da tutto l'altro della stirpe umana.
Un misero è costui, che a queste piagge
Capitò errando, e a cui pensare or vuolsi.
Gli stranieri, vedete, ed i mendichi
Vengon da Giove tutti, e non v'ha dono
Picciolo sì, che lor non torni caro.
Su via, di cibo e di bevanda il nuovo
Ospite soccorrete, e pria d'un bagno
Colà nel fiume, ove non puote il vento"*



Il progetto NAUSICA [1], il cui obiettivo era la creazione per mezzo del *Weather Research and Forecasting (WRF) Model* [2] di un database di analisi meteorologiche ad alta risoluzione sul dominio Alpe Adria, si è concluso nel corso del 2018 con il completamento dell'elaborazione del periodo 2001-2017.

La prosecuzione delle attività, che include la messa in operatività del flusso NAUSICA ed ulteriori analisi e post elaborazioni del database generato, è confluita nel progetto denominato **NAUSICA Interim**.

I campi generati dalla nuova catena operativa NAUSICA_gen descritta nel Capitolo 2, hanno le stesse caratteristiche di quelli che costituiscono il database NAUSICA [3] che vanno ad accrescere. In particolare la risoluzione del dominio più interno è di 2 km e il corrispondente intervallo di salvataggio di 1 ora, l'area dei tre domini innestati è la stessa del caso Nausica ed è evidenziata in Fig.1.1. Le parametrizzazioni utilizzate sono quelle selezionate nelle fasi preliminari del progetto Nausica [3].

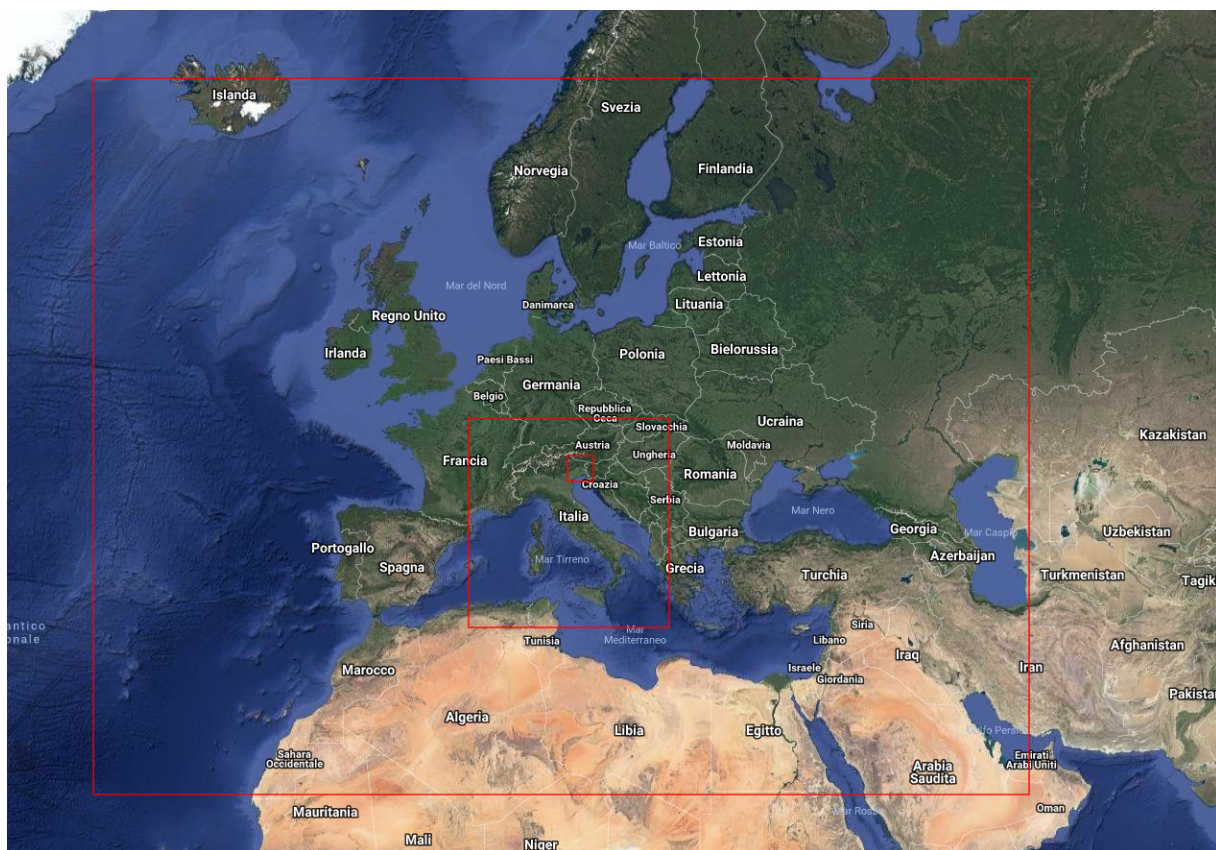


Figura 1.1: Domini innestati delle simulazioni WRF NAUSICA.

Lo scopo di questo report è quello di descrivere funzionamento e struttura delle nuove suite NAUSICA_gen (Capitolo 2) e NAUSICA_stat (Capitolo 3), elencare i nuovi prodotti ottenuti e discuterne i risultati. In particolare viene presentata nel Capitolo 3 una nuova catena di verifica di qualità delle simulazioni applicata all'intero database meteorologico di cui vengono discussi, nel Capitolo successivo, i primi risultati ottenuti. Si tratta in questo caso di analisi della climatologia regionale.

1.1 *Obiettivi e motivazioni*

La scelta di costruire una suite operativa che portasse avanti automaticamente il lavoro svolto dal flusso NAUSICA è stata diretta conseguenza dell'utilità dimostrata dal database 2001-2017 sia in termini di utilizzo dei prodotti come determinanti che in termini di acquisizione di consapevolezza per quanto riguarda la configurazione del modello WRF [2] utilizzata. L'analisi di quest'ultima risulta importante anche per quanto riguarda la catena meteorologica operativa di ARPA FVG che utilizza lo stesso modello numerico. Un ulteriore merito del progetto è quello di essere in grado, grazie alle dettagliate valutazioni di qualità eseguite, di fornire fattori correttivi per i campi che presentano un bias rispetto alle misure aumentando in questo modo l'accuratezza, e di conseguenza lo spettro di applicazioni, del database prodotto. Questa operazione permette infatti, anche senza eseguire alcuna correzione ai campi, di interpretare i risultati delle simulazioni con più consapevolezza.

La nuova classe di verifiche, che confronta gli stimatori statistici derivati dai campi meteo NAUSICA con i corrispondenti calcolati a partire dalle misure dell'OSMER [4], oltre a valutare le caratteristiche dei campi meteo in termini di climatologia, ha consentito l'archiviazione di un ulteriore database di campi statistici derivati distribuibile.

1.2 *Outline del report*

Questo report è organizzato in base alla categoria di prodotto generato: nel Capitolo 3 si descrive il flusso operativo di produzione del database meteorologico, suite *ecFlow* NAUSICA_gen, nei Capitoli seguenti si passa alla descrizione del database statistico derivato e alle conclusioni ricavate dalla valutazione della climatologia di NAUSICA. Per tutto ciò che riguarda gli altri aspetti del progetto (parametrizzazioni scelte, strumenti e metodi utilizzati, misure disponibili per il confronto, ecc.) si rimanda al Report del Progetto NAUSICA [3].

2

Database Campi Meteorologici

In questo Capitolo sono descritti struttura e funzionamento del flusso operativo che andrà ad accrescere automaticamente il database meteorologico NAUSICA. Come descritto nel Report relativo [3], si tratta dei campi prodotti tramite downscaling di analisi ECMWF con risoluzione di 2 km su tutto il dominio denominato *Alpe Adria*, si veda Figura 1.1.

2.1 Suite Operativa

La suite *ecflow NAUSICA_gen* è costituita da una prima famiglia che gestisce il settaggio delle date di inizio e fine simulazione e dell'eventuale flag di restart, la cui logica è discussa nel Paragrafo 2.1.1. Le famiglie successive si occupano di gestire rispettivamente pre-processamento e run della simulazione meteorologica vera e propria. La famiglia che esegue il pre-processamento tramite WPS [5], a differenza del caso della suite *NAUSICA_run* [3], esegue separatamente il run di ogni singola fase, in ordine (si veda Figura 2.1)

- *geogrid*
- *ungrib* per le condizioni al contorno ECMWF
- *ungrib* per la temperatura del mare (attualmente estratta dagli stessi file ECMWF utilizzati per le condizioni al contorno)
- *metgrid*

La fase di simulazione meteorologica tramite modello WRF [2] a partire dalle condizioni iniziali ed al contorno ECMWF è invece strutturata analogamente a quella implementata nella suite *NAUSICA_run* [3]. In Figura 2.2 viene mostrato lo schema della Suite operativa *NAUSICA_gen*, visualizzato tramite *ecflow_ui* [6].

Attualmente i run del WRF [2] vengono eseguiti su coda Julia richiedendo l'utilizzo di 32 processori per 4 nodi (con ripartizione dominio: *nproc_x=16, nproc_y=8*). In questa configurazione ogni singolo run di 7 giorni ha una durata di **4:30 ore**.

WRF THE WEATHER RESEARCH & FORECASTING MODEL

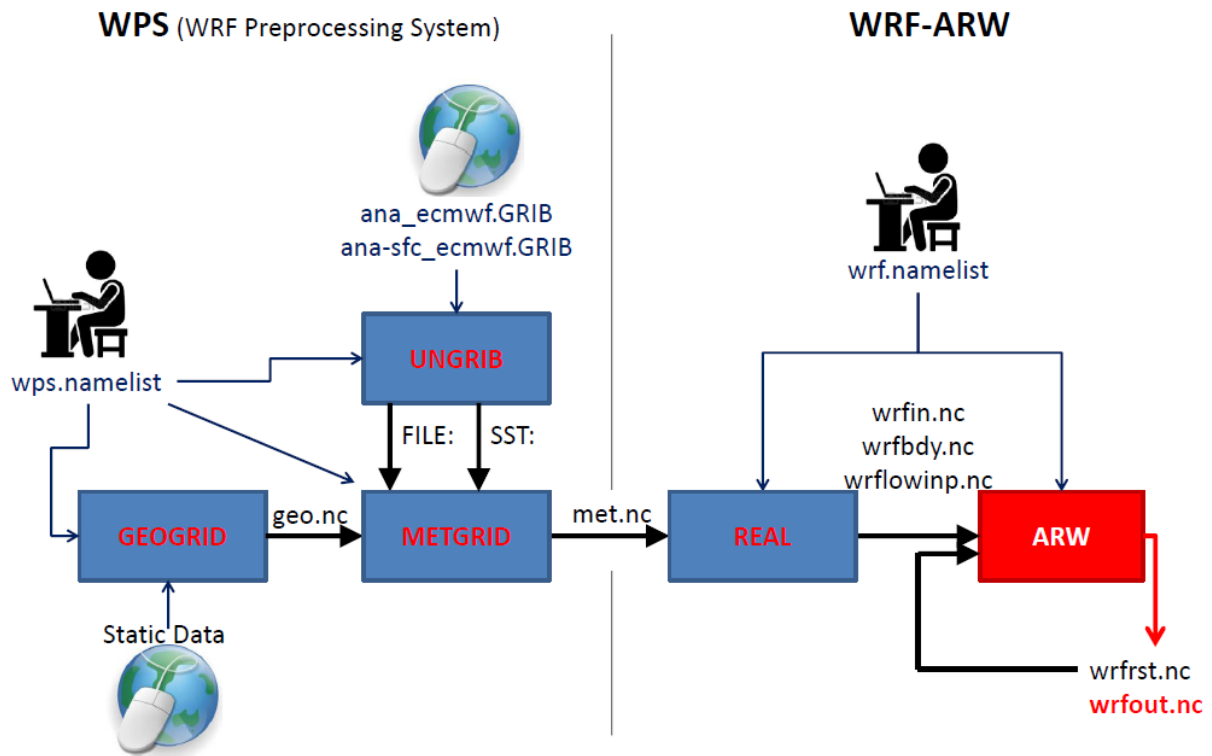


Figura 2.1: Schema a blocchi di WPS e WRF, sono riportati solo gli elementi coinvolti nell'ambito del progetto NAUSICA.

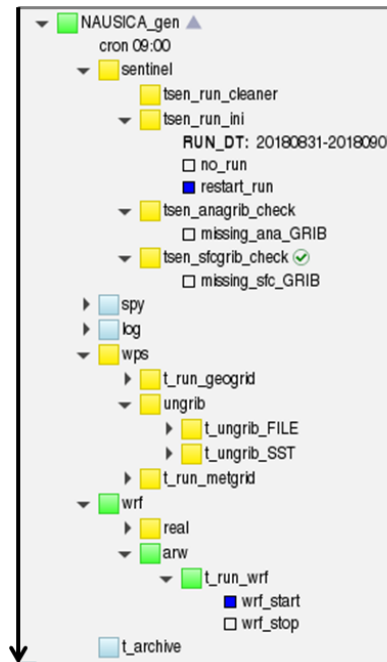


Figura 2.2: Schema della Suite operativa NAUSICA_gen, visualizzato tramite *ecflow_ui*. Il compito di questo flusso è quello di eseguire il downscaling delle analisi meteorologiche ECMWF su dominio Alpe Adria tramite modello WRF proseguendo la costruzione del database NAUSICA.

2.1.1 Gestione dei run

Il funzionamento dell'attivazione dei run della suite ed il settaggio dei parametri caratterizzanti ogni singolo run (date di inizio e fine simulazione, valore del flag di restart, ecc) sono gestiti in base ai valori attribuiti nel file di inizializzazione della suite e in base ai file di restart, *wrfrst*, presenti nell'archivio. L'algoritmo che si occupa di questa parte del flusso, a meno che non vengano fornite date nel file di inizializzazione, funziona come spiegato di seguito.

Viene individuata la scadenza più recente nell'archivio con tutti i restart necessari e viene controllata la presenza dei file di condizioni al contorno per le scadenze necessarie

- Se la scadenza è nell'anno solare attuale viene eseguita una simulazione partendo dai file di restart di durata indicata nel file di inizializzazione della suite (caso 1 in Figura 2.3)
- Se invece questa è precedente all'anno attuale (caso 2 Figura 2.3) il run viene inizializzato al primo gennaio dell'anno corrente e viene eseguita la simulazione di durata indicata nel file di inizializzazione della suite
- In ogni caso se non sono presenti tutti i file di condizione al contorno necessari a tutta la durata del run non viene eseguita la simulazione (caso 3 Figura 2.3)
- Se i restart presenti nell'archivio arrivano ad una scadenza troppo vicina alla data corrente per poter eseguire l'intera simulazione questa non viene eseguita (caso 4 Figura 2.3)

2.2 Prodotti generati

Di ogni run della suite NAUSICA_gen vengono archiviati sia gli output nativi relativi a tutti i domini, *wrfout.nc*, che i file di restart *wrfrst.nc*. In futuro potrebbero venir eliminati i file relativi al dominio continentale.

Gli output nativi del modello sono archiviati in cartelle giornaliere con il codice, attribuito secondo la convenzione CRMA [7], 1390FA01D0_YYYY (dove YYYY è l'anno a cui si riferiscono).

Un anno di simulazioni con la configurazione descritta nel Report NAUSICA [3] occupa uno spazio su disco pari a **1.4 Tb**.

Attualmente il database meteo NAUSICA ha le caratteristiche riportate in Tabella 2.1.

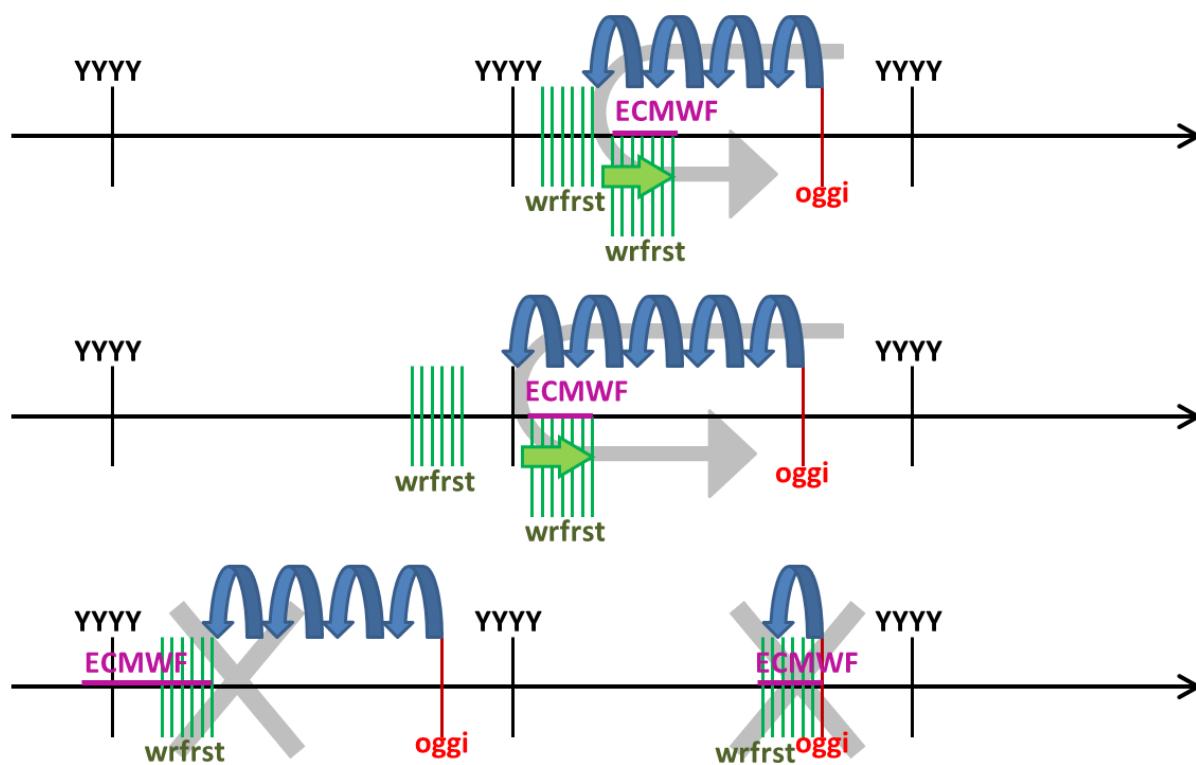


Figura 2.3: Esempi di funzionamento della procedura di inizializzazione dei run della suite NAUSICA_gen. Nel primo esempio è schematizzato il caso più comune: la suite cerca l'ultima scadenza disponibile in archivio che contenga tutti i restart necessari e li trova all'interno dell'anno corrente impostando di conseguenza una simulazione che riparte da questi. Nel caso in cui invece questi siano trovati nell'anno solare precedente alla data di esecuzione, come nel secondo esempio, il run viene eseguito inizializzando la simulazione al primo gennaio da file ECMWF. Nei casi in cui non siano disponibili le condizioni al contorno, esempio 3, o in cui la simulazione sia già aggiornata alla data corrente, esempio 4, non viene eseguito nulla e la suite viene rimessa in coda.

| | wrfout_d03 | wrfout_d02 | wrfout_d01 |
|------------------------------|-------------|---------------|---------------|
| Periodo | 2001-2018 | 2001-2018 | 2001-2018 |
| Risoluzione spaziale | 2 km x 2 km | 10 km x 10 km | 50 km x 50 km |
| Risoluzione temporale | 1 h | 3 h | 6 h |
| Dimensioni | 16 Tb | 2.8 Tb | 0.614 Tb |

Tabella 2.1: Elenco delle caratteristiche attuali del database meteorologico del progetto NAUSICA. Oltre ai campi descritti in Tabella, campi generati dal modello contenuti nei file *wrfout*, sono presenti per ogni giorno anche i file di restart per ogni singolo dominio, file *wrfrst*.

3

Database Campi Statistici

Le verifiche di qualità del database svolte nell'ambito del progetto NAUSICA [3] consistono nel confronto statistico tra distribuzioni empiriche stagionali dei principali campi meteorologici di misure e simulazioni su aree e nei punti di stazione. Inoltre sono stati eseguiti diversi test statistici come regressioni lineari, confronto tra stimatori statistici, test di Kolmogorov-Smirnov, Taylor, oltre a confronti tra istogrammi e spettri. Queste analisi e le conclusioni ricavate sono esaustivamente descritti nel Report del progetto [3].

Ciò che è inoltre interessante e necessario valutare ai fini di una completa consapevolezza delle caratteristiche del database è la climatologia di questo, i test citati non hanno infatti come risultato il confronto dell'andamento nel tempo dei valori dei campi meteorologici. Avendo a disposizione 18 anni di simulazioni NAUSICA, le conclusioni ricavate dalle analisi descritte in questo capitolo, hanno permesso anche di confrontare i trend climatici riscalati dal modello a livello regionale con quelli ricavati tramite analisi delle misure dall'OSMER [8].

Per poter valutare la climatologia del modello è per prima cosa necessario calcolare gli stimatori statistici su cui eseguire i confronti con le misure. A questo scopo è stato generato, tramite la suite *ecFlow* NAUSICA_stat descritta nel Paragrafo 3.4, un intero database di campi statistici derivati. Questo, che come già detto rappresenta un ulteriore base dati distribuibile, è caratterizzato da una risoluzione di 2 km x 2 km. Grazie all'analisi statistica di questi campi derivati, si è ottenuta anche una prima indicazione sulle correzioni da effettuare ai campi meteo per poterli adattare ai valori misurati. Questo rappresenta l'ennesimo merito del progetto NAUSICA che, oltre a fornire un database molto esteso e a metterne in luce le caratteristiche positive e negative, ha consentito di ricavare anche la correzione al primo ordine alle problematiche rilevate.

Nel Paragrafo 3.1, sono descritti i prodotti generabili per mezzo della suite NAUSICA_stat (oggetto del Paragrafo 3.4) e le loro caratteristiche. Vengono inoltre elencate le analisi e le tipologie di output attualmente implementate nella suite. Nel Paragrafo 3.3 vengono poi elencati i prodotti archiviati attualmente disponibili.

3.1 Campi statistici

I campi attualmente elaborati tramite la suite NAUSICA_stat sono:

- Temperatura a 2 metri dal suolo
- Intensità del vento a 10 metri dal suolo
- Radiazione incidente
- Precipitazione
- Umidità relativa
- Evapotraspirazione

Le basi temporali su cui valutare gli stimatori statistici (medie, massime, minime, percentili ed integrali) sono state scelte in base alle scale temporali tipiche per lo studio dei trend climatici regionali: il flusso produce statistiche giornaliere sulle quali calcola quelle annuali, mensili e decadali. Non tutte le variabili e tutti gli stimatori sono applicati su tutte le basi temporali ma sono state scelte le combinazioni utili all'analisi della climatologia. Non sarebbe comunque difficile estendere l'utilizzo della suite ad altri campi e stimatori.

L'elenco dei prodotti che possono essere attualmente generati dal flusso NAUSICA_stat è riportato in tabella 3.1. Come si può leggere, viene calcolata anche la sommatoria termica annuale fissando lo zero di vegetazione al valore standard di 10°C, valore comunque modificabile nel file di inizializzazione della suite.

Data la necessità tecnica di produrre nelle fasi intermedie del flusso file netCDF [9] contenenti tutte le scadenze orarie di un anno per ogni singola variabile estratta dal database meteorologico (cioè precipitazione oraria, radiazione incidente, temperatura a 2 m, componenti del vento a 10 m, flusso di umidità al suolo, umidità specifica a 2 m, pressione alla superficie), i cosiddetti *file estratti*, e analoghi contenenti tutte le scadenze orarie di ogni anno solare per i campi derivati (evapotraspirazione, umidità relativa, intensità del vento e radiazione oraria), i cosiddetti *file derivati*, anche tutti questi vengono salvati ed archiviati. La ragione principale per archiviare anche questo prodotto intermedio è la durata di estrazione che rappresenta di gran lunga l'operazione più dispendiosa dell'intero flusso, si legga il Paragrafo 3.4.3.

3.2 Tabelle stimatori statistici

Al fine di ottenere un confronto diretto tra misure e campi generati è stata implementata nella suite NAUSICA_stat una famiglia che produce per ogni stazione OSMER-ARPA (le stazioni da considerare sono elencate nel file *NAUSICA_stat_stz_osmer.txt*) una tabella *csv* contenente i valori degli stimatori statistici mensili/annuali e decadali/annuali elencati in Tabella 3.1 e ne calcola la statistica su di un periodo indicato da file di inizializzazione. Questo è stato fatto al

| | Statistica giornaliera valori orari | Statistica annuale valori giornalieri | Statistica mensile valori giornalieri | Statistica decadale valori giornalieri | Sommatoria termica valori giornalieri |
|----------------------------|--|--|--|--|--|
| Temperatura a 2 m | -media, massimo, minimo | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | $Z_{veg} = 10^{\circ}\text{C}$ |
| Precipitazione | -massimo, minimo, integrale | -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle massime -massime delle minime -massime delle massime -integrale | -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle massime -massime delle minime -massime delle massime -integrale | -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle massime -massime delle minime -massime delle massime -integrale | |
| Intensità del vento | -media, massimo, minimo | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | |
| Radiazione | -massimo, minimo, integrale | -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle massime -massime delle minime -massime delle massime -integrale | -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle massime -massime delle minime -massime delle massime -integrale | -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle massime -massime delle minime -massime delle massime -integrale | |
| Umidità relativa | -media, massimo, minimo | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | |
| Evapotraspirazione | -media, massimo, minimo | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | -medie delle medie -medie delle massime -medie delle minime -minime delle minime -minime delle medie -minime delle massime -massime delle minime -massime delle medie -massime delle massime -percentili 5°, 50° e 95° delle medie | |

Tabella 3.1: Elenco degli stimatori statistici calcolabili tramite la suite NAUSICA_stat.

fine di produrre un confronto diretto dei valori ricavati dalle simulazioni con quelli calcolati da OSMER [4]. Un esempio di confronto tra Tabelle è riportato in Figura 3.1. Si può già notare dall'esempio riportato che la temperatura media a 2 m presso la stazione di Udine è riprodotta con un'elevata accuratezza. Il confronto è quantificato nel Capitolo 4.

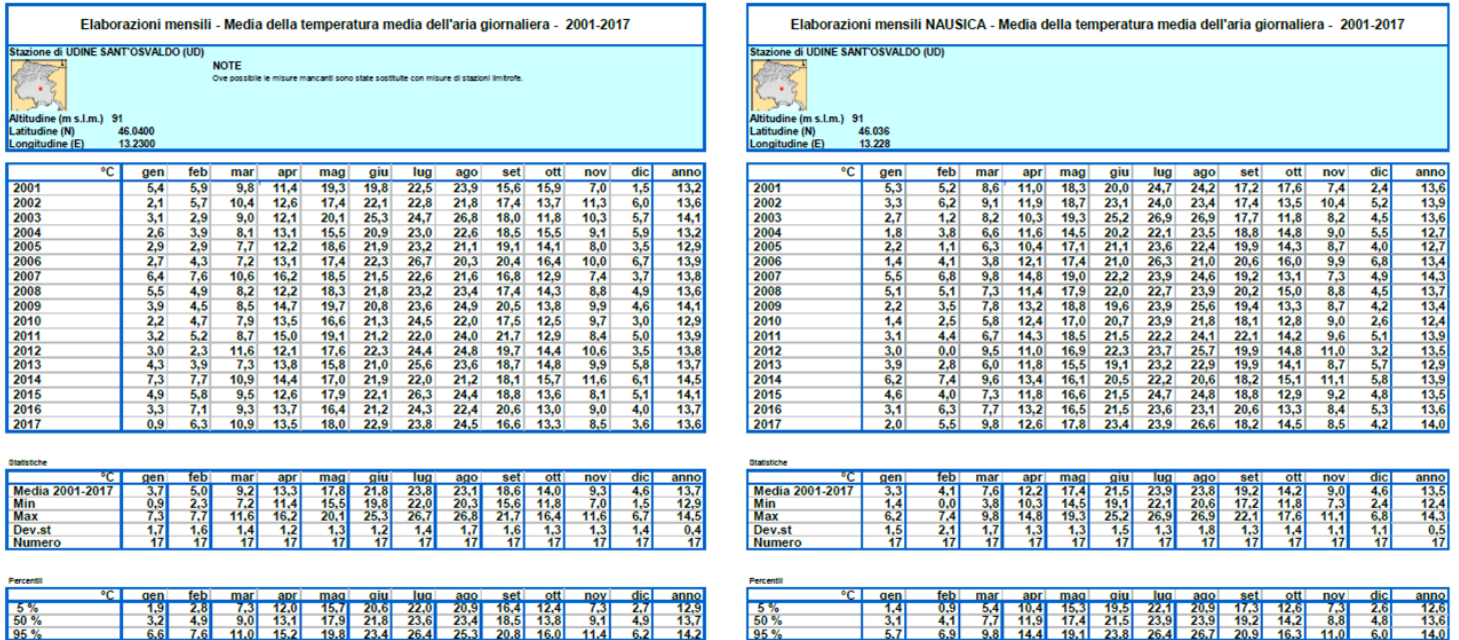


Figura 3.1: Medie mensili ed annuali delle Temperature medie giornaliere ad Udine negli anni 2001-2017. Questo rappresenta un esempio di confronto tra tabelle climatiche OSMER (a sinistra), consultabili in rete, e analoghe ricavate dai campi derivati dal database NAUSICA (a destra). Come verrà discusso nel Capitolo dedicato, i valori relativi a questo stimatore sono riprodotti dal modello con elevata accuratezza.

3.3 Database disponibile

Il database di campi estratti, campi derivati, campi statistici e tabelle csv descritti nel Paragrafo 3.1 attualmente disponibile copre gli anni 2001-2017. I template dei nomi dei file sono i seguenti (Appendice A):

- campi estratti/derivati: ext_%VAR%_%INIZIO%_%FINE%.nc
- campi statistici: %DTOUT%-%STATOUT% (%DTIN%-%STATIN%)_%VAR%_%DATAINIZIO%_%DATAFINE%.nc
- tabelle csv: mytab-%STATOUT%_day-%STATIN%_%VAR%_%DATAINIZIO%_%DATAFINE%.csv per i valori mensili/annuali e dytab-%STATOUT%_day-%STATIN%_%VAR%_%DATAINIZIO%_%DATAFINE%.csv per i valori decadali/annuali

Indipendentemente dalla base temporale di calcolo della statistica (annuale, mensile o decadale), tutti i record sono raggruppati in singoli file in base all'anno solare, sarà quindi presente per ogni anno elaborato un file con un singolo record per le statistiche annuali, un file con 12 record per le statistiche mensili e uno con 36 record per

i decadali. La suite è costruita in modo da poter lavorare anche su periodi che non siano multipli interi di 12 mesi (il periodo viene selezionato nel file di inizializzazione della suite) ma i file prodotti avranno comunque la struttura descritta, eventualmente mancheranno dei record.

Un anno completo di file derivati occupa uno spazio su disco pari a **18 Gb**. Il database meteo NAUSICA ha la risoluzione dei campi meteo da cui viene calcolato, cioè 2 km x 2 km, e copre il dominio do3, si veda Figura 1.1.

Le caratteristiche del database attuale sono riportate in Tabella 3.2.

| | Campi estratti e derivati | Statistica Giornaliera | Statistica Annuale | Statistica Mensile | Statistica Decadale | Sommatorie Termiche | Tabelle |
|--------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| Periodo | 2001-2017 | 2001-2017 | 2001-2017 | 2001-2017 | 2001-2017 | 2001-2017 | 2001-2017 |
| Risoluzione | 2 km x 2 km | 2 km x 2 km | 2 km x 2 km | 2 km x 2 km | 2 km x 2 km | 2 km x 2 km | STZ |
| Dimensioni | 289 Gb | 18 Gb | 2.5 Gb | 0.54 Gb | 7.4 Gb | 8 Mb | 38 Mb |

Tabella 3.2: Elenco delle caratteristiche attuali del database statistico del progetto NAUSICA. Oltre ai campi statistici, sono presenti anche i campi estratti e derivati descritti nel Paragrafo, e le tabelle dei valori estratti e della loro statistica nei punti di stazione.

3.4 Suite NAUSICA_stat

La suite *ecFlow* NAUSICA_stat esegue due diverse tipologie di operazioni dirette tramite file di inizializzazione:

- 1) esegue tutto il flusso di produzione dei campi statistici anno per anno (variabili che definiscono il periodo *STAT_START_DATE* e *STAT_END_DATE*)
- 2) produce le tabelle di valori estratti presso le stazioni OSMER per intervalli di più anni (variabili che definiscono il periodo *TAB_START_DATE* e *TAB_END_DATE*).

Il flusso è corredato da task che controllano la presenza dei file di input relativi al periodo richiesto, controllano gli output generati, archiviano le informazioni relative ai run e spostano i prodotti ripulendo la cartella di lavoro.

3.4.1 Generazione dei campi statistici

Le principali classi di operazioni che il flusso svolge, che si riflettono in nella struttura della suite, sono:

1. Estrazione dei record orari per variabile nei singoli file
2. Derivazione dei campi orari delle variabili non direttamente prodotte dal WRF

Queste fasi sono attualmente gestite tramite un *repeat ecFlow* che cicla sui nomi dei campi da estrarre e di quelli da calcolare, quindi per modificare queste informazioni è necessario modificare il file di

definizione della suite e ricaricarla. In futuro sarebbe auspicabile modificare questi nodi in modo che, come tutti i successivi, leggano dalla tabella di inizializzazione i nomi delle osservabili da gestire. La tabella *csv* di inizializzazione (file *NAUSICA_stat.tab*) contiene per ogni singola variabile che si vuole analizzare, la statistica da calcolare. Questa deve essere indicata su due colonne contenenti rispettivamente la statistica giornaliera in ingresso e quella annuale/mensile/decadale in uscita. Per i percentili si indica *pctl* e i valori vengono invece definiti nel file di inizializzazione (tipicamente sono richiesti il 5°, il 50° e il 95°). Si riporta di seguito un esempio di tabella di inizializzazione:

```
# N;VAR;STAT_IN;STAT_OUT
1;T2C;mean;mean;
2;WI;mean;mean;
3;RH;mean;mean;
4;PREC_ACC_NC;min;mean;
5;T2C;min;mean;
6;WI;min;mean;
7;RH;min;mean;
8;RAD;min;mean;
9;PREC_ACC_NC;max;mean;
10;T2C;max;mean;
11;WI;max;mean;
12;RH;max;mean;
13;RAD;max;mean;
14;T2C;mean;min;
15;WI;mean;min;
16;RH;mean;min;
17;PREC_ACC_NC;min;min;
18;T2C;min;min;
19;WI;min;min;
20;RH;min;min;
21;RAD;min;min;
22;PREC_ACC_NC;max;min;
23;T2C;max;min;
24;WI;max;min;
25;RH;max;min;
26;RAD;max;min;
27;T2C;mean;max;
28;WI;mean;max;
29;RH;mean;max;
30;PREC_ACC_NC;min;max;
31;T2C;min;max;
32;WI;min;max;
33;RH;min;max;
34;RAD;min;max;
35;PREC_ACC_NC;max;max;
36;T2C;max;max;
37;WI;max;max;
38;RH;max;max;
```

```

39;RAD;max;max;
40;T2C;mean;pctl;
41;WI;mean;pctl;
42;RH;mean;pctl;
43;PREC_ACC_NC;sum;sum;
44;RAD;sum;sum;
45;ET;sum;mean;
46;ET;sum;min;
47;ET;sum;max;
48;ET;sum;pctl;
49;ET;sum;sum;

```

3. Calcolo delle statistiche giornaliere a partire dai valori orari
4. Calcolo delle statistiche annuali, mensili e decadali a partire da quelle giornaliere
5. Calcolo della sommatoria termica annuale a partire dalle temperature medie orarie a 2 m

A differenza degli altri casi, per i quali gli applicativi CDO [10] forniscono operatori già pronti, il caso delle decadi richiede più passaggi a causa del fatto che il numero di giorni per decade è variabile. L'algoritmo adottato elabora i dati dividendo inizialmente ogni singolo mese in tre frazioni, due delle quali da dieci giorni e la terza dal ventunesimo giorno del mese a fine mese, poi applica gli operatori che valutano la statistica su questi periodi per poi concatenare tutte le prime, seconde e terze decadi dell'anno solare in tre file distinti (i corrispondenti file generati hanno preamboli dei nomi *dec1*, *dec2*, *dec3*).

In Figura 3.2 è riportato lo schema delle chiamate alle CDO [10] eseguite dal flusso. Le frecce verdi in uscita dai blocchi rappresentano i singoli file intermedi e finali archiviati dal flusso. Per rendere più leggibile il flusso a cui è sottoposta ogni singola famiglia di variabili di statistica giornaliera vengono utilizzati colori differenti. In basso sono inoltre riportate le operazioni necessarie al calcolo dei campi derivati.

3.4.2 Estrazione delle tabelle

La suite NAUSICA_stat contiene due nodi predisposti per estrarre i valori dai campi statistici nei punti di stazione elencati in un apposito file con le coordinate corrispondenti (*NAUSICA_stat_stz_osmer.txt*) e generare per ogni campo e per ogni stimatore statistico due tabelle *csv* analoghe in forma quelle distribuite dall'OSMER [4]. Queste contengono rispettivamente valori mensili/annuali e decadali/annuali preceduti da un preambolo che riassume i metadati necessari. Estratti questi valori i task eseguono il calcolo della statistica per mezzo dello script FORTRAN *simple_statistics.exe* e concatenano gli output ottenuti alle tabelle. In Figura 3.3 è mostrato un'esempio di tabella *csv* prodotta dal flusso.

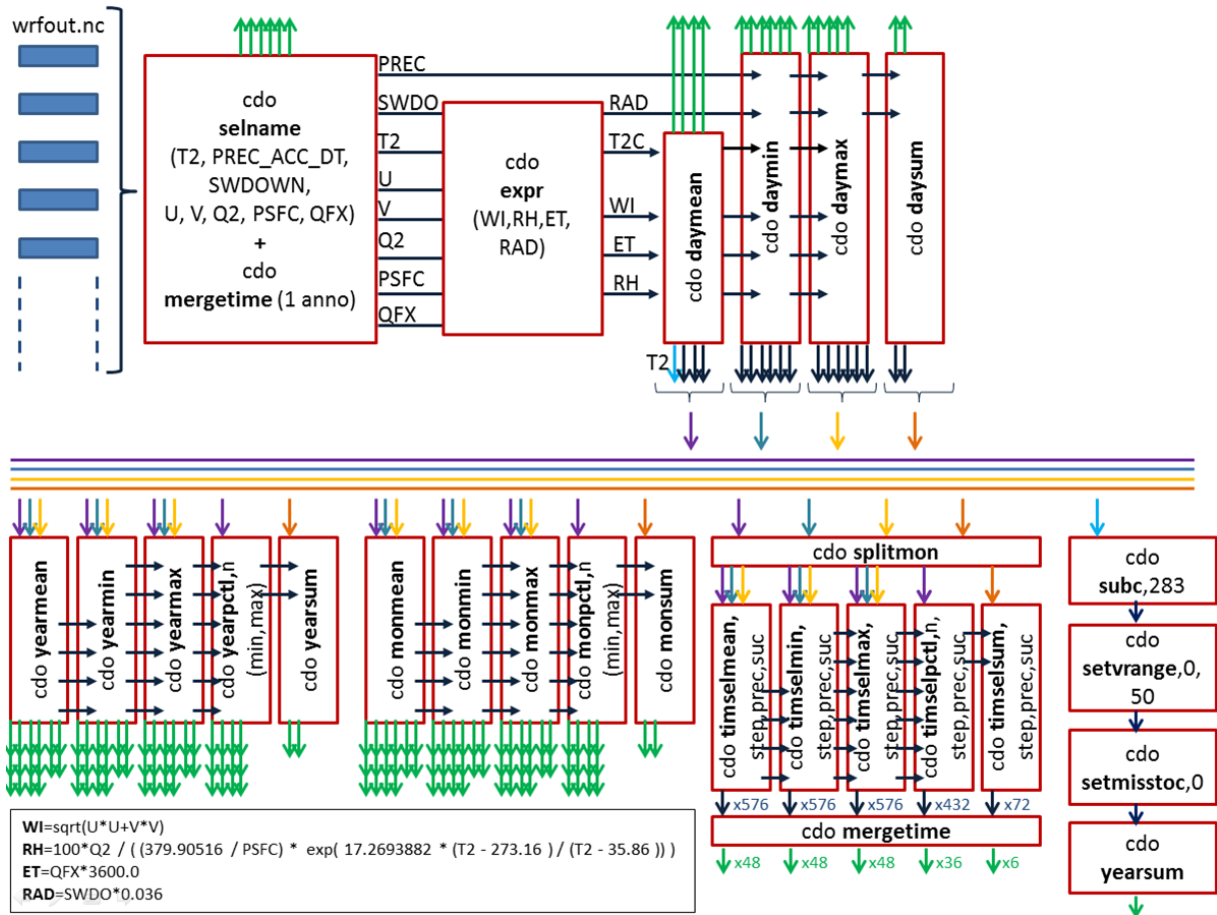


Figura 3.2: Schema delle chiamate alle CDO eseguite dal flusso NAUSICA_stat. Le frecce verdi in uscita dai blocchi rappresentano i singoli file intermedi e finali archiviati. Per rendere più leggibile il flusso a cui è sottoposta ogni singola famiglia di variabili di statistica giornaliera vengono utilizzati colori differenti. I nomi sui connettori corrispondono ai campi elaborati e calcolati. In basso sono inoltre riportate le operazioni necessarie al calcolo dei campi derivati.

```

# NAUSICA_stat output tab
# PERIOD: 20010101-20173112
# VAR: RAD
# STAT: MONTHLY/YEARLY max of DAILY max
#
# STZ NAME: CIV Cividale del Friuli
# STZ LAT LON H[m]: 46.801 13.421 127
#
# First col) year
# 2-13 col) montly stat
# Last-1 col) yearly stat
# Last col) units
#
2001;15.1441;22.025;28.0103;32.4818;34.4193;34.9997;33.905;32.1809;29.2991;22.8448;16.3532;12.3933; 34.9997 ; "MJ/mq" ;
2002;15.152;21.4947;28.3204;32.3688;34.3274;34.8006;34.2316;32.5004;28.0738;23.4179;16.5956;12.5231; 34.8006 ; "MJ/mq" ;
2003;15.648;22.19;28.2075;31.9035;34.5479;34.4199;34.2118;32.3292;29.3597;22.2949;16.3567;12.5297; 34.5479 ; "MJ/mq" ;
2004;16.1511;21.8752;28.3818;32.2267;35.102;34.6159;34.1503;32.1817;28.4418;22.8523;15.6591;12.1611; 35.102 ; "MJ/mq" ;
2005;16.1022;22.9809;28.4812;32.8056;34.396;35.5107;34.2619;32.4301;28.838;23.9824;16.3063;12.1172; 35.5107 ; "MJ/mq" ;
2006;16.0174;22.4893;27.7735;31.9315;35.1875;34.7132;34.4368;32.0232;28.6715;22.4096;17.4427;12.4079; 35.1875 ; "MJ/mq" ;
2007;15.4050;20.3919;28.388;32.1539;34.7982;34.5739;34.765;32.7089;28.0418;23.8003;16.7861;12.4181; 34.8019 ; "MJ/mq" ;
2008;15.7873;21.055;28.4164;32.6378;34.3693;34.5927;33.9708;32.101;28.3963;22.6669;16.2498;12.2653; 34.5927 ; "MJ/mq" ;
2009;15.9872;21.5183;27.6044;32.7674;34.4892;35.0296;34.1164;32.3537;28.9696;23.0607;16.6827;12.3225; 35.0296 ; "MJ/mq" ;
2010;15.0515;19.9017;27.9289;32.4259;34.7289;34.6107;33.9364;32.2841;29.1448;22.3537;16.3002;12.695; 34.7289 ; "MJ/mq" ;
2011;16.3466;22.0827;28.6582;32.6282;33.9792;35.0315;34.2309;32.2446;27.9572;23.4585;16.6596;12.361; 35.0315 ; "MJ/mq" ;
2012;16.4991;21.3332;28.4638;32.4717;34.6253;34.5418;33.9961;32.0302;28.387;22.6033;15.8871;12.6327; 34.6253 ; "MJ/mq" ;
2013;15.8971;21.6887;27.2691;31.8141;34.8757;34.838;34.2820;32.2424;28.2231;22.9832;16.5532;12.5372; 34.838 ; "MJ/mq" ;
2014;15.5246;21.4485;27.8929;32.6959;34.2277;34.8103;34.0103;31.9725;29.0996;22.9516;16.4092;12.2012; 34.8103 ; "MJ/mq" ;
2015;15.7494;21.9138;27.9872;32.3338;34.3657;34.9628;34.4108;31.966;29.0121;23.5417;17.6077;12.199; 34.9641 ; "MJ/mq" ;
2016;15.0834;21.193;27.8651;33.1476;34.7413;34.7236;34.0893;32.16;28.0929;23.1178;16.8084;12.1761; 34.786 ; "MJ/mq" ;
2017;16.1326;21.7997;28.2599;32.8641;34.2603;34.5259;34.7667;32.303;28.3919;22.9896;16.478;12.4017; 34.7667 ; "MJ/mq" ;
# Statistiche #
MEAN;0.15746E+02;0.21611E+02;0.28112E+02;0.32450E+02;0.34585E+02;0.34782E+02;0.34222E+02;0.32236E+02;0.28665E+02;0.22977E+02;0.16537E+02;0.12377E+02;0.34892E+02;
MIN;0.15052E+02;0.19902E+02;0.27260E+02;0.31814E+02;0.33979E+02;0.34420E+02;0.33905E+02;0.31966E+02;0.27957E+02;0.22295E+02;0.15659E+02;0.12117E+02;0.34548E+02;
MAX;0.16498E+02;0.22981E+02;0.28688E+02;0.33148E+02;0.35188E+02;0.35111E+02;0.34767E+02;0.32701E+02;0.29366E+02;0.23982E+02;0.17608E+02;0.12695E+02;0.35511E+02;
STD;0.44295E+00;0.71116E+00;0.35368E+00;0.35171E+00;0.31369E+00;0.25870E+00;0.24897E+00;0.18987E+00;0.43861E+00;0.43650E+00;0.46102E+00;0.17080E+00;0.23332E+00;
NUM;17;17;17;17;17;17;17;17;17;17;17;17;17;
# Percentili #
5TH_PERC;0.15052E+02;0.19902E+02;0.27260E+02;0.31814E+02;0.33979E+02;0.34420E+02;0.33905E+02;0.31966E+02;0.27957E+02;0.22295E+02;0.15659E+02;0.12117E+02;0.34548E+02;
50TH_PERC;0.15787E+02;0.21689E+02;0.28208E+02;0.32472E+02;0.34548E+02;0.34724E+02;0.34212E+02;0.32242E+02;0.28671E+02;0.22989E+02;0.16478E+02;0.12393E+02;0.34810E+02;
95TH_PERC;0.16347E+02;0.22489E+02;0.28481E+02;0.32864E+02;0.35102E+02;0.35032E+02;0.34765E+02;0.32500E+02;0.29299E+02;0.23542E+02;0.17443E+02;0.12633E+02;0.35188E+02;
    
```

Figura 3.3: Esempio di tabella csv generata dal flusso NAUSICA_stat. In particolare la tabella contiene i metadati, i valori mensili ed annuali per gli anni 2001-2018 del massimo del massimo giornaliero della radiazione e la statistica generata in post-processamento su questi.

Attivando la produzione delle tabelle relative a tutte le combinazioni elencate nella tabella di inizializzazione riportata nel Paragrafo precedente si ottengono **4945 tabelle**.

3.4.3 Tempi di estrazione ed elaborazione

Per quanto riguarda i tempi di esecuzione delle varie fasi del flusso NAUSICA_stat è importante sottolineare che l'unica fase dispendiosa in termini di tempo è quella iniziale di estrazione dei record orari relativi ai singoli campi da analizzare. L'ordine di grandezza del *wall-time* per l'estrazione di tutti i campi di un anno è di circa 15 ore mentre tutte le altre operazioni richiedono al massimo 10 minuti ciascuna. Di seguito sono riportati i tempi impiegati per singolo processo e quelli totali:

- Estrazione e calcolo campi derivati: circa 16 ore per anno (12 file)
- Calcolo statistiche giornaliere: circa 150 secondi per anno (18 file)
- Calcolo statistiche annuali: circa 90 secondi per anno (62 file)
- Calcolo statistiche mensili: circa 90 secondi per anno (62 file)
- Calcolo statistiche decadali: circa 11 minuti per anno (186 file)
- Calcolo sommatoria termica annuale: circa 10 secondi per anno (1 file)
- TEMPI TOT: circa 20 ore per anno (341 file per anno)

Nel caso specifico del cluster regionale Fenice [11] la durata elevata dell'estrazione iniziale non è imputabile alla durata media delle chiamate agli applicativi CDO [10] che la eseguono. Da un'analisi eseguita tramite un apposito nodo della sentinella della suite (task *tsy_ext_timecheck*) risulta infatti che mediamente queste richiedono tempi di qualche secondo mentre alcune singole chiamate durano decine di secondi. Questo comportamento lo si può osservare in Figura 3.4.

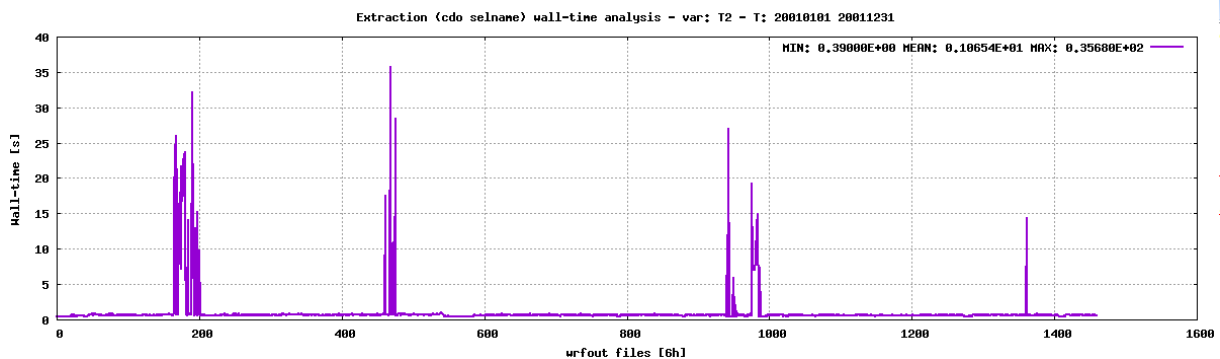


Figura 3.4: Durata delle chiamate agli applicativi CDO sul cluster regionale Fenice per l'estrazione del campo di temperatura a 2 metri dai file *wrfout* per l'anno 2001. Come si nota dalla curva e si legge in legenda, dove sono riportati minimo, media e massimo dei tempi di estrazione in secondi, mediamente le chiamate hanno una durata di circa 1 secondo ma alcune di esse durano 20-30 secondi.

4

Climatologia di NAUSICA

In questo Capitolo sono riportati i risultati dell'analisi della climatologia del database NAUSICA. Questi, oltre che rappresentare l'ennesima valutazione di qualità del database che si va ad aggiungere a quella eseguita nell'ambito del Progetto NAUSICA [3], permettono di valutare ed analizzare i trend climatici sul periodo coperto (attualmente 18 anni) e, cosa altrettanto interessante, forniscono una prima ipotesi di metodologia per la correzione delle debolezze della simulazione osservate. Questa seconda fase di analisi fornisce ulteriore consapevolezza relativamente alle parametrizzazioni del modello applicato all'area specifica, elemento importante anche per quanto riguarda le previsioni meteorologiche operative di ARPA FVG [12], le quali a loro volta utilizzano il modello WRF [2].

Nel Paragrafo 4.1 sono descritte le analisi condotte, in quello successivo vengono discussi i risultati di queste per singolo campo per poi riassumere le informazioni ricavate nel Paragrafo 4.2.

4.1 Analisi di qualità

Pur avendo a disposizione un database esteso sia in termini di dominio che di campi derivati, la valutazione della climatologia NAUSICA è stata inizialmente eseguita valutando i seguenti stimatori statistici:

- Media annuale, mensile e decadale della media giornaliera di temperatura a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine
- Media annuale e mensile della media giornaliera dell'intensità del vento a 10 metri dal suolo presso la stazione di Udine
- Precipitazione cumulata annuale, mensile e decadale presso la stazione di Udine

L'analisi di questi consente una prima valutazione globale dei trend medi di temperatura, vento e precipitazione del database.

La stazione di Udine si trova nella zona di alta pianura della regione e non risulta affetta da fenomeni locali particolarmente dominanti, rappresentando un buon caso studio per una prima analisi. Sarebbe interessante estendere poi l'analisi anche alle altre stazioni e ad aree meteorologicamente omogenee.

Per ottenere informazioni anche sulla larghezza delle distribuzioni dei valori dei campi simulati l'analisi è stata estesa ai seguenti stimatori:

- Massima annuale e mensile della massima giornaliera di temperatura a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine
- Minima annuale e mensile della minima giornaliera di temperatura a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine
- Massima annuale e mensile della media giornaliera dell'intensità del vento a 10 metri dal suolo presso la stazione di Udine

Sono stati cioè scelti il massimo e minimo assoluti che danno una valutazione quantitativa della differenza tra le code delle distribuzioni simulata e misurata, anche se una bassa accuratezza nella riproduzione di questi non rappresenta necessariamente un segnale di bassa accuratezza della simulazione in senso globale. Questa scelta ha senso per grandezze che, come la temperatura, hanno variabilità e andamenti regolari mentre, per campi caratterizzati da una variabilità maggiore come l'intensità del vento, è stato scelto di valutare la massima della media che rappresenta la valutazione di come sono riprodotte le giornate più ventose della media. Il passaggio successivo sarà quello di confrontare i percentili della distribuzione delle temperature e dei venti in modo da valutare la qualità con uno stimatore meno esigente.

4.1.1 *Temperatura media*

Il primo confronto eseguito è, come già accennato, quello relativo all'andamento della media annuale sul database 2001-2017 delle medie giornaliere di temperatura a 2 metri ad Udine. Ciò che si ricava, come si può osservare in Figura 4.1, è che questo stimatore è riprodotto con elevata accuratezza: la differenza misure/modello è inferiore a 0.8°C , inoltre le fluttuazioni sono abbastanza ben riprodotte dal modello. Per quanto riguarda le differenze ciò che si nota è che nella maggior parte dei casi, circa il 70%, i valori osservati sono maggiori di quelli simulati.

Per valutare la capacità del WRF di trasferire a livello regionale il segnale climatico passatogli dalle condizioni al contorno ECMWF [13], sono state calcolate le medie decennali delle medie giornaliere (linee grigie in Figura 4.1). Dal confronto con le analoghe calcolate da OSMER sui dati dell'intera pianura Friulana (si veda Figura 4.2) emerge che quella relativa al periodo 2001-2010 è ben riprodotta mentre quella del decennio successivo è sottostimata dal modello di circa 2°C [8].

Per rendere il confronto più significativo si è analizzato il trend di aumento della temperatura media mensile della media giornaliera a 2 metri ad Udine sui 17 anni a disposizione. Il risultato indica che il modello produce un aumento di circa 0.04°C per anno, si legga il valore del coefficiente angolare del fit lineare eseguito nel plot superiore di Figura 4.3 che riporta l'andamento della temperatura media al

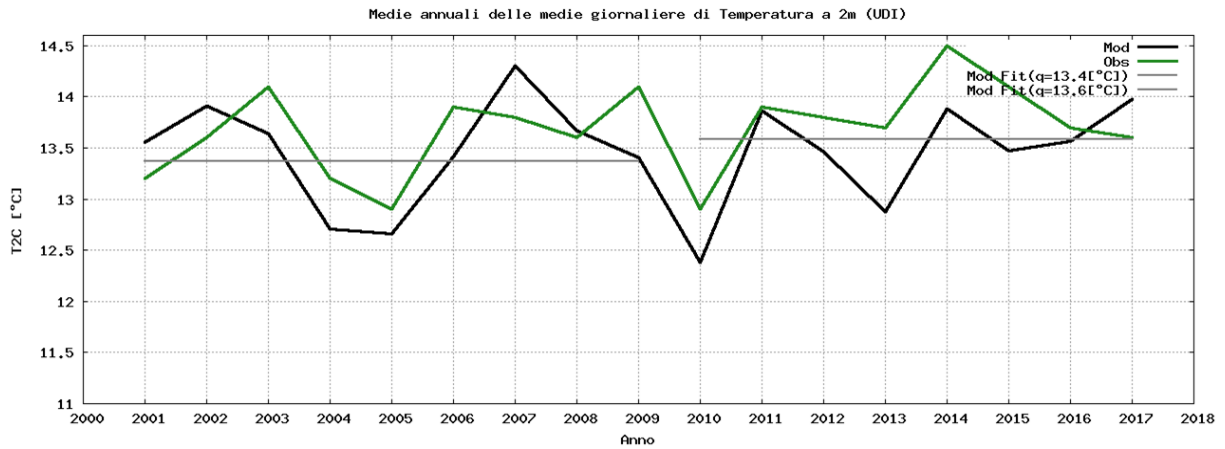


Figura 4.1: Media annuale delle medie diurne di temperatura a 2 metri presso la stazione di Udine dal 2001 al 2017. La linea verde corrisponde alle misure mentre quella nera al modello. Osservando il plot si nota che lo stimatore considerato è riprodotto con elevata accuratezza: la differenza misure/modello è inferiore a 0.8°C e le fluttuazioni sono abbastanza ben riprodotte. Nella maggior parte degli anni considerati, per esattezza 12 anni su 17, i valori osservati sono maggiori di quelli simulati. I fit in grigio rappresentano le medie decennali da confrontare con le analoghe calcolate da OSMER sui dati dell'intera pianura Friulana (si veda Figura 4.2).

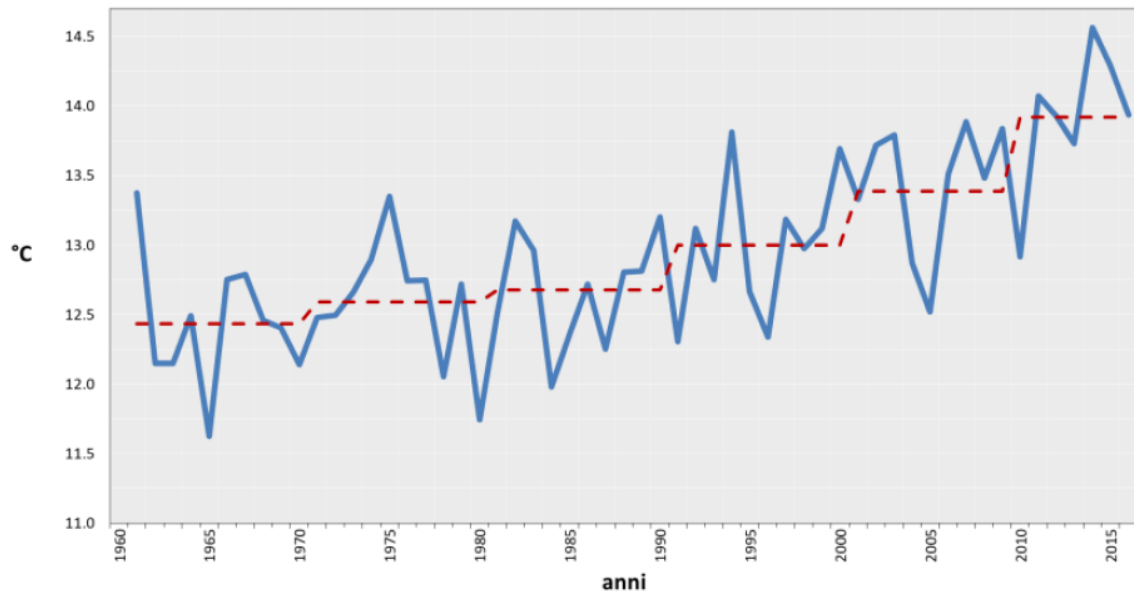


Figura 4.2: Fig. 1.1.4 del Report sui cambiamenti climatici dell'OSMER ARPA FVG. Andamento delle temperature medie annuali nel periodo 1961-2016 per la pianura del Friuli Venezia Giulia. La linea tratteggiata rappresenta l'andamento delle temperature medie nei diversi decenni. Elaborazione a cura di ARPA FVG - OSMER.

suolo presso la stazione di Udine per modello e dati. Dal Report OS-MER sui cambiamenti climatici [8] si evince che l'ordine di grandezza del numero trovato è corretto. Nel report infatti si legge: "Nell'intero periodo 1961-2016 l'aumento medio della temperatura media è stato pari a 0.3°C ogni 10 anni, con una chiara tendenza all'accelerazione nei decenni più recenti".

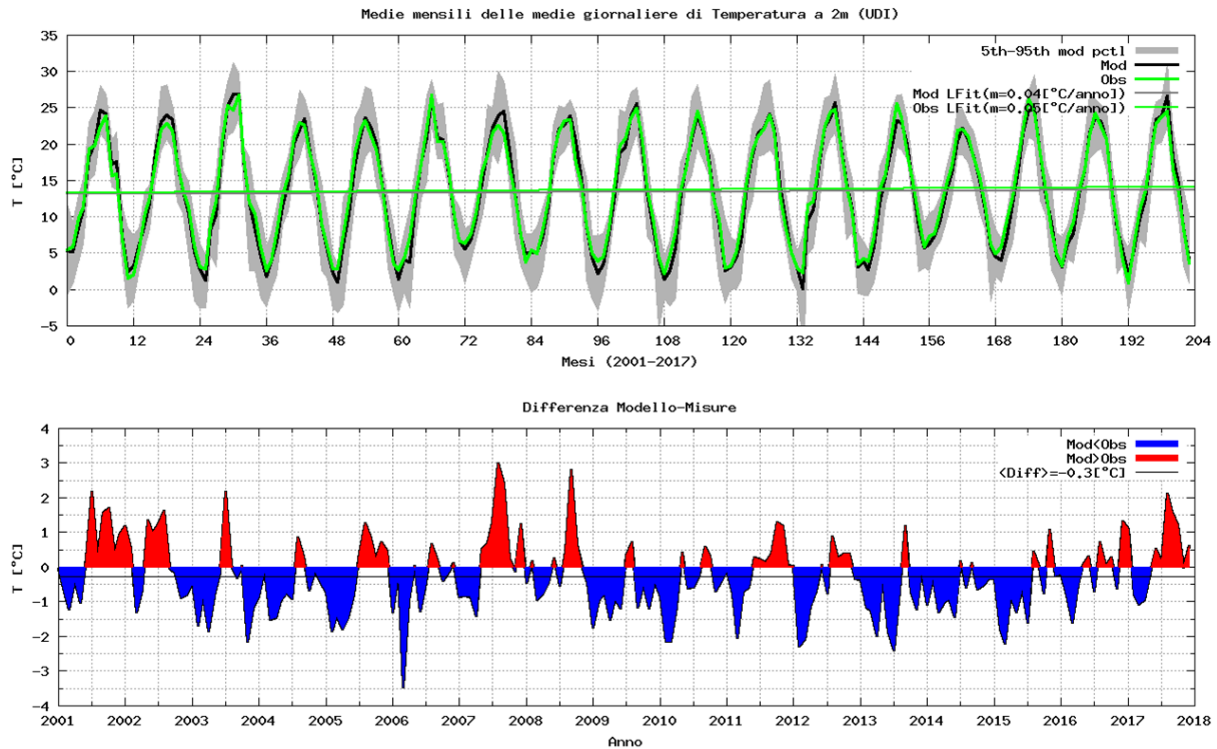


Figura 4.3: Figura superiore: andamento della temperatura media mensile a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per dati (linea verde) e modello (linea nera). L'area grigia rappresenta l'intervallo di valori della distribuzione del modello compresi tra 5° e 95° percentile. I fit lineari, di cui è riportato il coefficiente angolare in legenda, quantificano l'aumento della temperatura nei 17 anni considerati. Come si può osservare, l'accordo misure/modello è molto soddisfacente come quantificato nella figura inferiore. Figura inferiore: valutazione dell'andamento della differenza tra modello e misure. Le aree rosse corrispondono a scadenze mensili per le quali il modello ha prodotto valori di temperatura più elevati di quelli misurati, viceversa quelli blu sono i casi di campo simulato più freddo delle misure. Come si legge in legenda, sui 17 anni considerati, la simulazione produce valori mensili di temperatura a 2 m ad Udine inferiori in media di 0.3°C rispetto alle misure. Solo poche scadenze si discostano più di 1°C .

Dal confronto diretto misure/modello e dalla più leggibile analisi delle differenze tra questi (plot inferiore in Figura 4.3), emerge che i due andamenti sono analoghi e si può quantificare sui 17 anni di database il bias delle medie mensili modello-misure in -0.3°C . Il modello riproduce cioè in modo accurato l'andamento medio della temperatura reale anche se mediamente è di qualche decimo di grado più freddo. In alcuni episodi risulta essere invece più caldo ma non si nota sistematicità in questo tipo di comportamento.

Ripetendo un'analogha indagine sulle scadenze decadalci otteniamo il medesimo risultato. Avendo a disposizione un'analisi su scala temporale inferiore ci si accorge che i picchi mensili caldi e freddi di

Figura 4.3 sono spesso il risultato della media di un comportamento altrettanto oscillante: si confrontino con il plot inferiore di Figura 4.4.

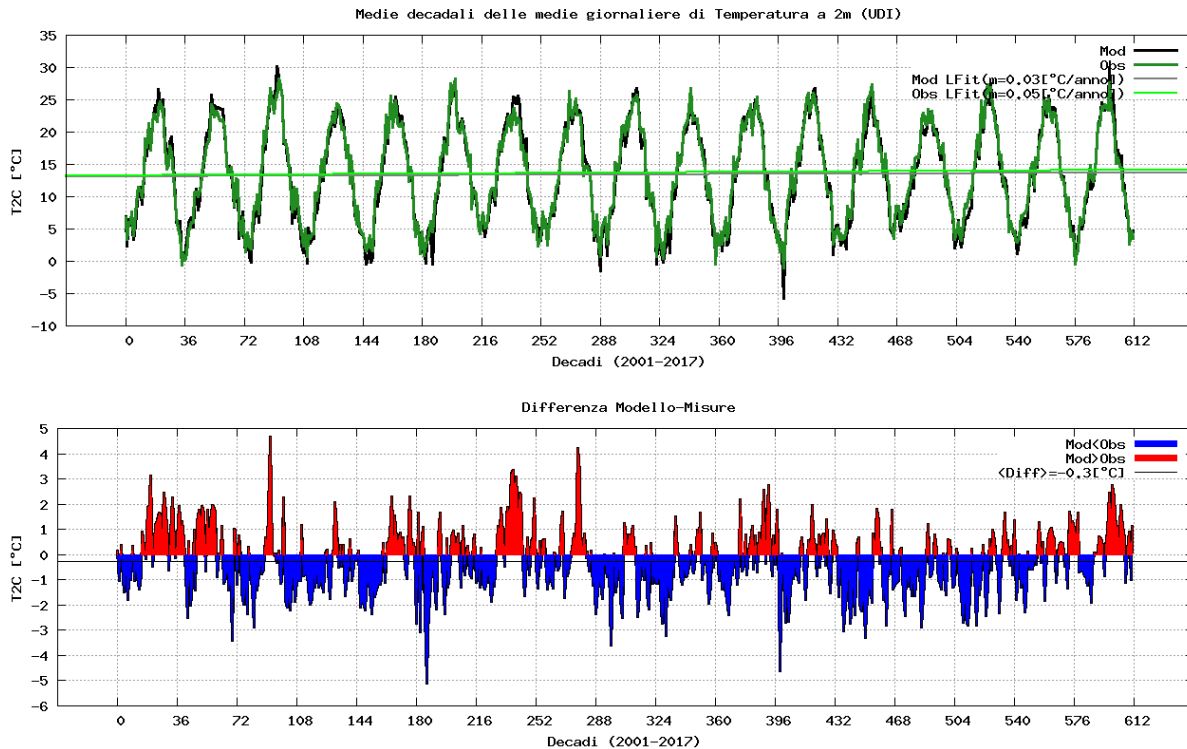


Figura 4.4: Figura superiore: andamento 2001-2017 della temperatura media decennale a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). I fit lineari, di cui è riportato il coefficiente angolare in legenda, quantificano l'aumento della temperatura nei 17 anni considerati. Come si può osservare, l'accordo misure/modello, quantificato nella figura inferiore, è molto soddisfacente. Figura inferiore: valutazione dell'andamento della differenza tra modello e misure. Le aree rosse corrispondono a scadenze decadali per le quali il modello ha prodotto valori di temperatura più elevati di quelli misurati, viceversa quelli blu sono i casi di campo simulato più freddo delle misure. Anche in questo caso risulta che, sui 17 anni considerati, la simulazione produce valori di temperatura a 2 m ad Udine inferiori in media di 0.3°C rispetto alle misure. Solo poche scadenze si discostano più di 1°C .

4.1.2 Temperature massime e minime

Per valutare le code delle distribuzioni sono stati analizzati massimi e minimi assoluti. La conclusione, che va a confermare i risultati delle analisi sulle distribuzioni svolte nell'ambito del progetto NAUSICA [3], è che la distribuzione generata dal modello è più stretta rispetto a quella dei valori misurati, si ha cioè una sovrastima dei valori minimi ed una sottostima dei valori massimi mediamente dell'ordine di 2.5°C ma che raggiunge in alcuni casi anche 5°C .

Dall'analisi dei massimi annuali tra i massimi diurni e dei minimi annuali tra i minimi giornalieri si osserva inoltre che l'andamento del modello segue abbastanza fedelmente quello delle misure per quanto riguarda i minimi mentre, le oscillazioni dei massimi, non sono altrettanto ben riprodotte. Gli andamenti annuali di modello e misure per questi stimatori possono essere osservati in Figura 4.5.

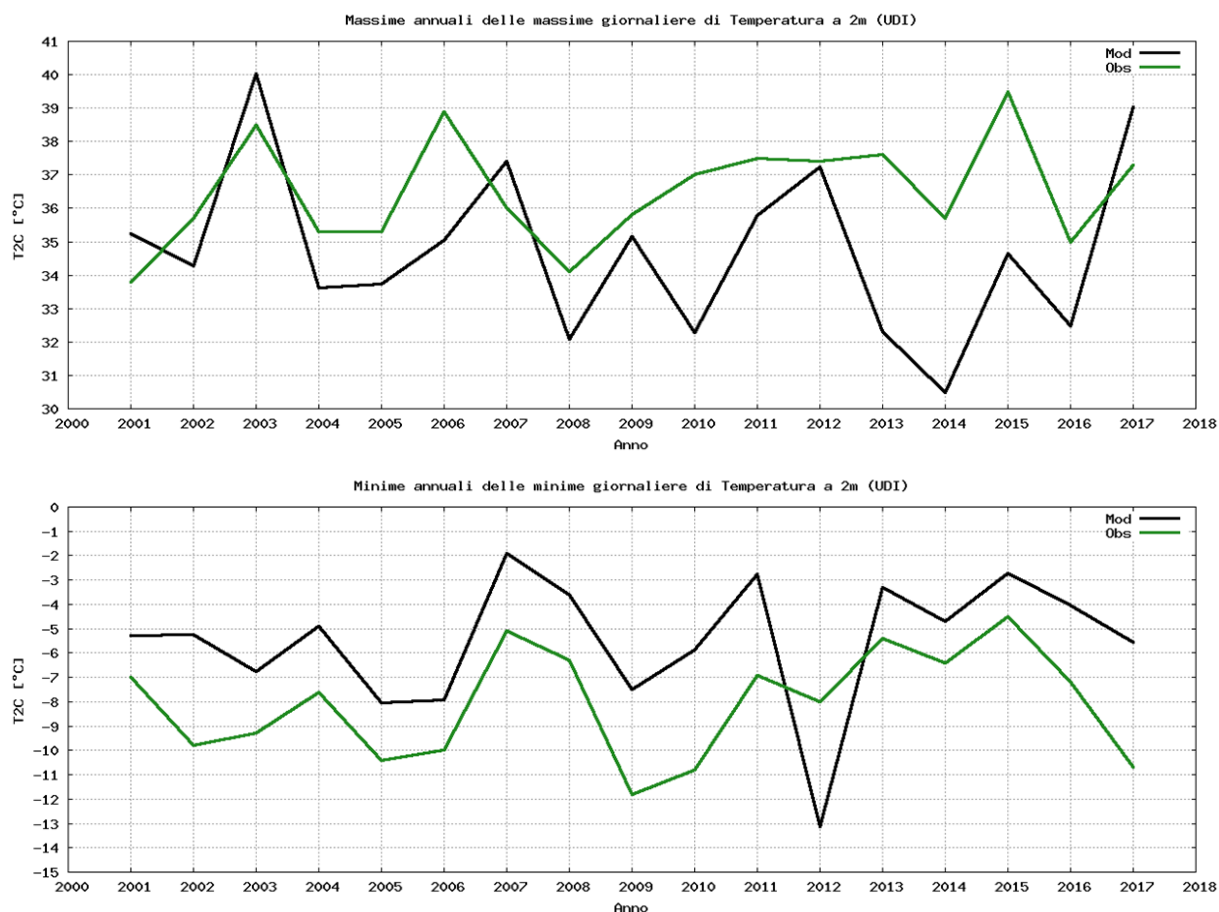


Figura 4.5: Figura superiore: andamento 2001-2017 della massima assoluta annuale della massima diurna di temperatura a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Si osserva che il bias modello/misure per questo stimatore raggiunge anche i -5°C , il modello non riesce infatti a produrre i valori delle massime reali. Anche le oscillazioni non sono ben riprodotte. Figura inferiore: andamento 2001-2017 della minima assoluta annuale della minima diurna di temperatura a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Si osserva che il bias modello/misure anche per questo stimatore raggiunge i -5°C . In questo caso però il modello riproduce accuratamente le oscillazioni delle minime reali.

Da un'analoga analisi sulle statistiche mensili, rappresentata in Figura 4.6, si calcola che i massimi mensili assoluti sono mediamente sottostimati dal modello di 2.3°C mentre i minimi mensili assoluti prodotti dalle simulazioni, Figura 4.7, sono sovrastimati mediamente di 2.4°C . In entrambi i casi gli episodi di tendenza invertita rispetto a quella descritta sono rari, se ne può concludere che il bias è sistematico.

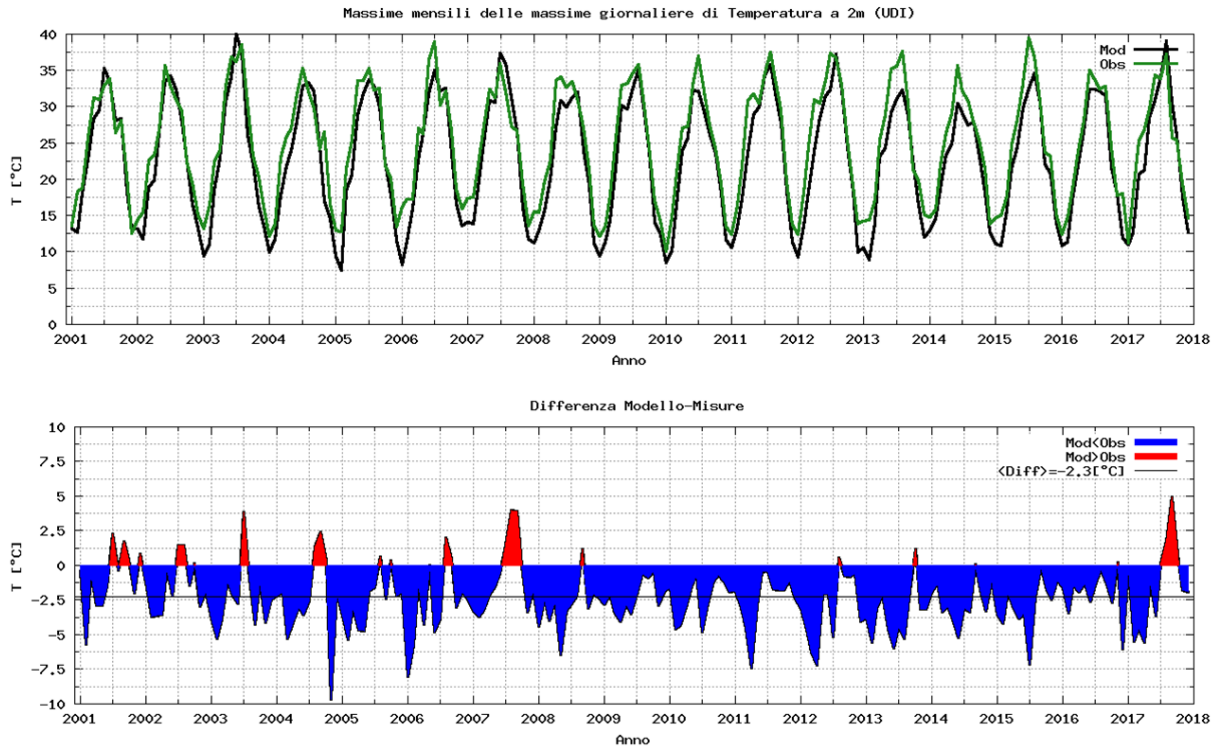


Figura 4.6: Figura superiore: andamento 2001-2017 della temperatura massima assoluta mensile a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Come si nota chiaramente le oscillazioni del campo sono ben riprodotte ma il modello non raggiunge i valori misurati. Figura inferiore: valutazione dell'andamento della differenza tra modello e misure. Le aree rosse corrispondono a scadenze decadal per le quali il modello ha prodotto valori di temperatura massima mensile più elevati di quelli misurati, viceversa quelli blu sono i casi di campo simulato più freddo delle misure. Questo plot mette in evidenza la sistematicità della problematica riscontrata, cioè la sottostima delle massime da parte del modello. Come indicato in legenda la sottostima media mensile delle massime assolute dal 2001 al 2017 è pari a 2.3°C .

4.1.3 Vento medio

Una delle principali debolezze del database già nota grazie alle analisi eseguite per il progetto NAUSICA [3], è la sovrastima della velocità del vento al suolo. Questa è sistematica e riguarda specialmente i venti di bassa intensità. In Figura 4.8 sono per comodità riportati alcuni esempi di confronti tra distribuzioni dei valori della velocità del vento ad Udine estratti dal Report NAUSICA [3] da cui appare evidente la tendenza descritta.

Dall'analisi sui campi rispettivamente della media annuale e mensile, Figure 4.9 e 4.13, si ricava che la sovrastima media del vento per

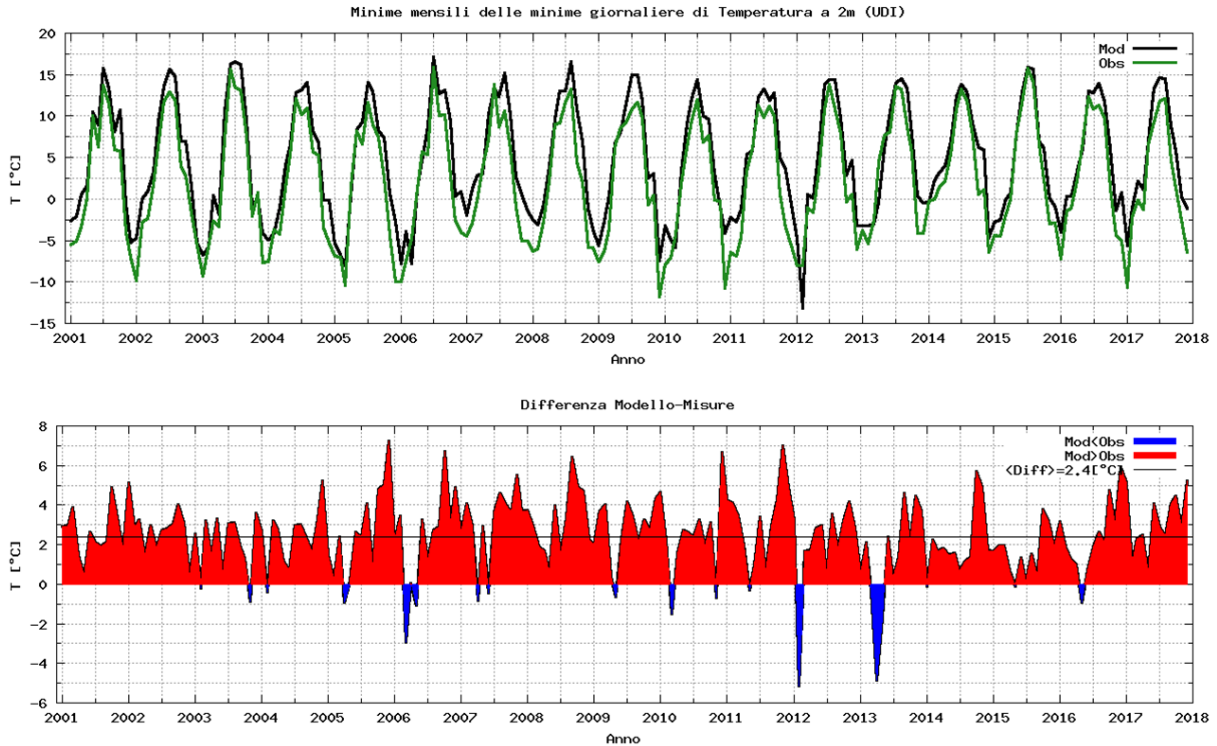


Figura 4.7: Figura superiore: andamento 2001-2017 della temperatura minima assoluta mensile a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Anche in questo caso si osserva che le oscillazioni del campo sono ben riprodotte ma il modello non raggiunge i valori minimi misurati. Figura inferiore: valutazione dell'andamento della differenza tra modello e misure. Le aree rosse corrispondono a scadenze decadali per le quali il modello ha prodotto valori di temperatura minima mensile assoluta più elevati di quelli misurati, viceversa quelli blu sono i casi di campo simulato più freddo delle misure. La sistematicità della problematica riscontrata, cioè la sovrastima delle minime di temperatura da parte del modello appare evidente. Come indicato in legenda la sovrastima media mensile delle minime assolute dal 2001 al 2017 è pari a 2.4°C.

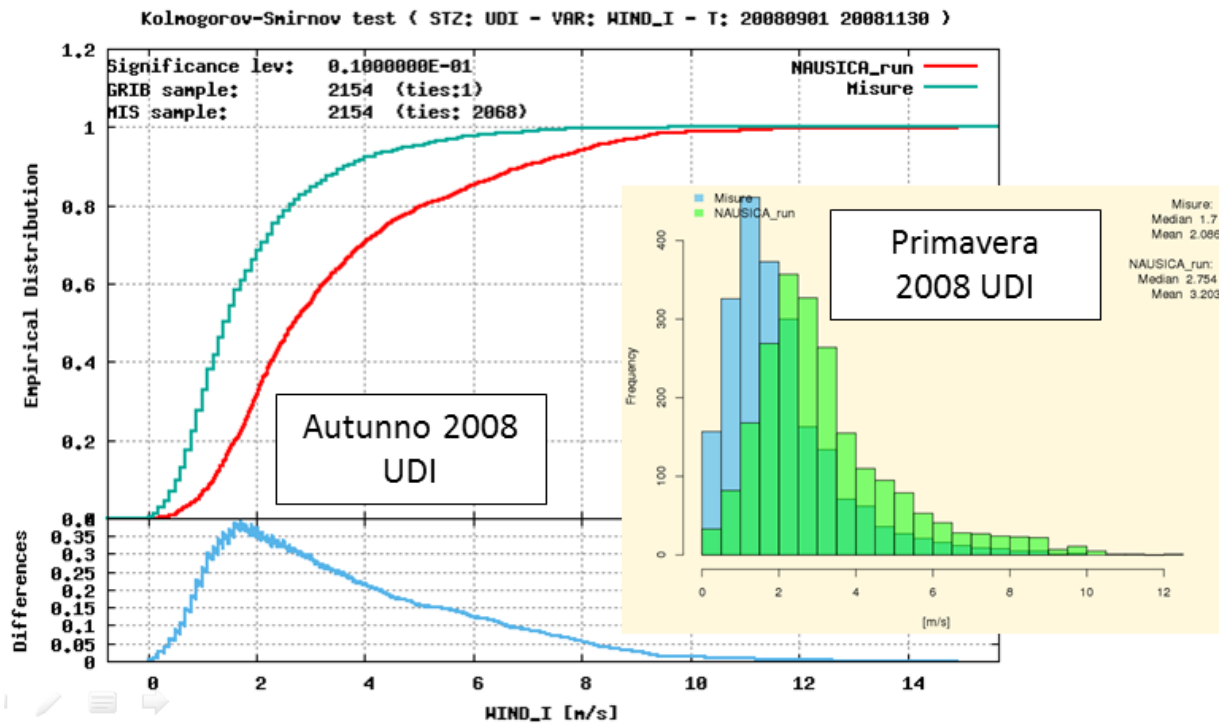


Figura 4.8: Figura principale: confronto tra le distribuzioni empiriche simulata e misurata relative alla velocità del vento a 10 m ad Udine nell'autunno 2008. Figura sovrapposta: confronto tra gli istogrammi relativi ai valori di intensità del vento a 10 metri misurati e simulati presso la stazione di Udine nella primavera 2008. In entrambe le analisi è evidente la sovrastima sistematica presente negli output delle simulazioni.

gli anni a disposizione è di 1.1 m/s. Questa rimane costante, cosa facilmente valutabile dalla Figura 4.9 che riporta le medie annuali, in quanto queste rimangono praticamente invariate nel ventennio considerato. Non ci sono episodi in cui il rapporto misure/modello risulti di segno invertito rispetto alla tendenza descritta.

Osservando i trend di misure e modello si può però constatare che le fluttuazioni risultano ben riprodotte. Questo potrebbe indicare la presenza di un bias sistematico nei valori che potrebbe risultare correggibile tramite l'utilizzo di una semplice costante additiva sottratta ai valori del campo.

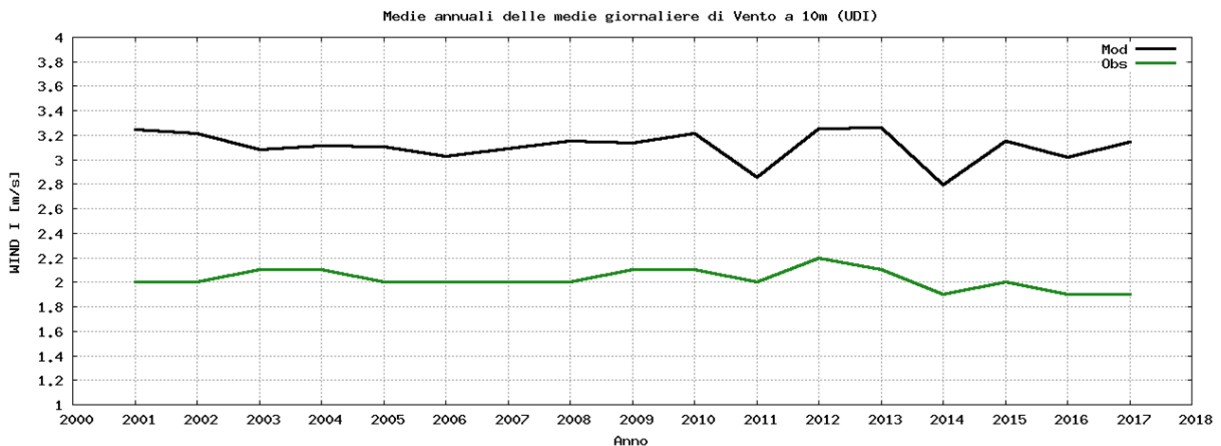


Figura 4.9: Media annuale delle medie diurne di velocità del vento a 10 m presso la stazione di Udine dal 2001 al 2017. La linea verde corrisponde alle misure mentre quella nera al modello. Entrambi gli andamenti descrivono lo stimatore considerato come una quantità tendenzialmente costante nei 17 anni considerati ma la sovrastima dei valori simulati risulta palese.

Anche per questo campo riportiamo per completezza, Figura 4.11, un'esempio di confronto tra tabelle OSMER [4] e tabelle generate dal flusso NAUSICA_stat contenenti i valori statistici. Da queste si può anche ricavare che il valore medio annuale dell'intensità del vento ad Udine è praticamente costante e pari a 2.0 ± 0.1 m/s.

4.1.4 Vento massimo

L'analisi dei massimi annuali e mensili dei valori medi giornalieri di velocità del vento dà un'indicazione sull'accuratezza del modello nel riprodurre il vento nelle giornate più ventose della media. La scelta di questo stimatore è dovuta all'intrinseca variabilità di questo campo che rende poco indicativa la valutazione di massimi e minimi assoluti. Nelle Figure 4.12 e 4.13 sono graficate rispettivamente le serie temporali dei massimi annuali e mensili delle medie diurne di intensità del vento a 10 metri presso la stazione di Udine. Le curve riportate, come nel caso dei valori medi (Paragrafo 4.1.3), evidenziano una sovrastima sistematica dei campi simulati rispetto ai corrispondenti valori misurati che in questo caso, come si legge in legenda di Figura 4.13, ha un bias medio sui 17 anni di 4.0 m/s ma che raggiunge anche i 10 m/s, come calcolabile dalla differenza tra le curve in Figura 4.12.

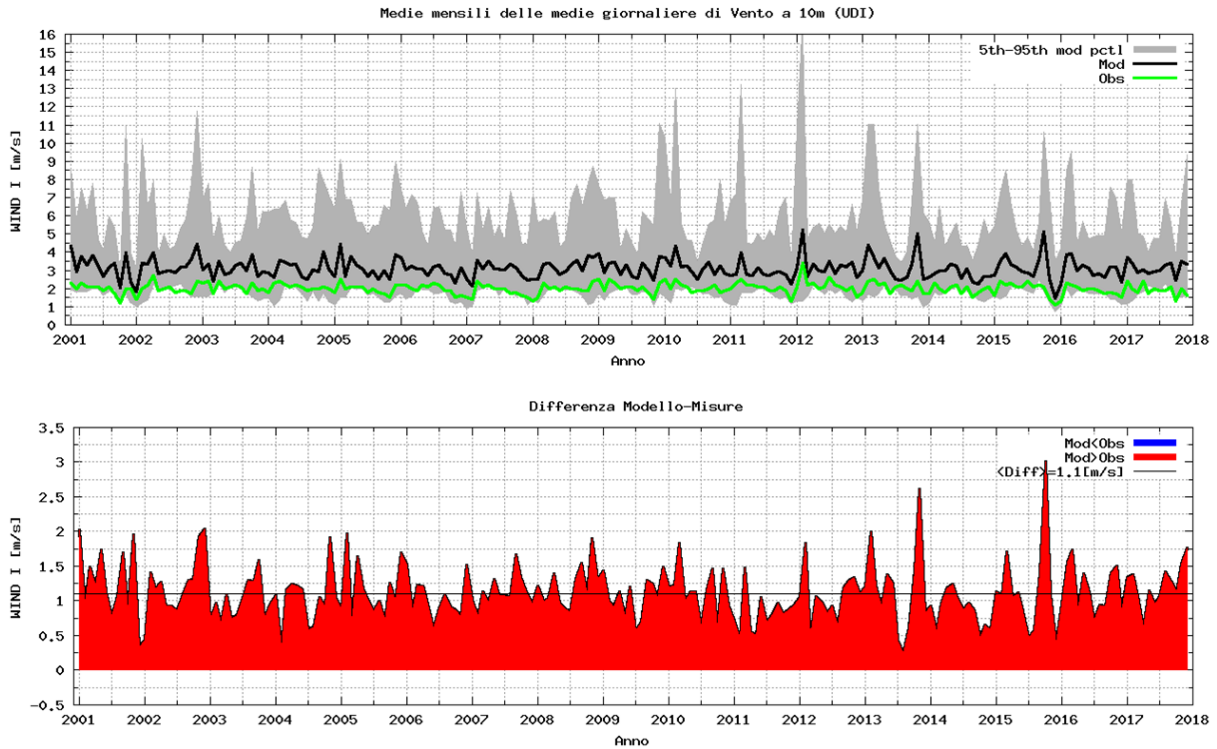


Figura 4.10: Figura superiore: andamento 2001-2017 della velocità media mensile del vento a 10 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). L'area grigia rappresenta l'intervallo di valori della distribuzione del modello compresi tra 5° e 95° percentile. La sovrastima sistemica di questo campo appare molto evidente. Figura inferiore: quantificazione del bias modello/misure. La presenza delle sole aree rosse, che corrispondono a scadenze mensili per le quali il modello ha prodotto valori più elevati di quelli misurati, confermano la sovrastima del campo in questione quantificabile mediamente in 1.1 m/s.

Elaborazioni mensili - Media della velocità media giornaliera del vento a 10 m - 2001-2017

Stazione di UDINE SANT'OSVALDO (UD)

NOTE
Il dato non viene riportato se mancano le misure di più di 5 giorni.

Altitudine (m s.l.m.) 91
Latitudine (N) 46.0400
Longitudine (E) 13.2200

| m/s | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2001 | 2,3 | 2,0 | 2,3 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 2,1 | 1,7 | 1,2 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 2002 | 1,4 | 2,0 | 2,2 | 2,7 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 2,4 | 2,0 |
| 2003 | 2,3 | 2,4 | 1,7 | 2,4 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 1,7 | 2,3 | 1,9 | 2,0 | 2,1 |
| 2004 | 1,8 | 2,3 | 2,4 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 2,1 |
| 2005 | 1,8 | 2,5 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,8 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 2,2 | 2,0 |
| 2006 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 2,2 | 2,1 | 2,3 | 2,2 | 1,9 | 1,9 | 1,5 | 1,6 | 2,0 |
| 2007 | 1,5 | 1,4 | 2,4 | 2,1 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 1,7 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 2,0 | 2,0 |
| 2008 | 1,3 | 1,5 | 2,3 | 2,0 | 2,1 | 1,9 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 2,4 | 2,0 |
| 2009 | 2,5 | 1,9 | 2,5 | 2,3 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 2,1 | 1,8 | 1,4 | 2,3 | 2,1 |
| 2010 | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 2,2 | 2,1 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 1,8 | 1,9 | 2,1 |
| 2011 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 1,9 | 1,3 | 2,0 |
| 2012 | 2,1 | 3,4 | 2,2 | 2,3 | 2,0 | 2,1 | 2,6 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 2,1 | 1,6 | 2,2 |
| 2013 | 1,8 | 2,4 | 2,5 | 2,2 | 2,3 | 1,7 | 2,1 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 2,4 | 1,7 | 2,1 |
| 2014 | 1,7 | 2,3 | 2,0 | 1,8 | 2,1 | 2,2 | 1,7 | 2,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 1,9 |
| 2015 | 1,6 | 2,4 | 2,2 | 2,3 | 2,1 | 2,1 | 2,4 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 1,4 | 1,1 | 2,0 |
| 2016 | 1,3 | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,9 |
| 2017 | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 2,4 | 1,7 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 1,3 | 2,0 | 1,6 | 1,9 |

| Statistiche | m/s | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Media 2001-2017 | 1,9 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 2,0 | 2,0 |
| Min | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,4 | 1,1 | 1,9 | 1,9 |
| Max | 2,5 | 3,4 | 2,5 | 2,7 | 2,3 | 2,2 | 2,6 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 2,2 |
| Dev.st | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 0,1 |
| Numero | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 16 |

| Percentili | m/s | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 5 % | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,7 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,9 | 1,9 |
| 50 % | 1,8 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 |
| 95 % | 2,5 | 2,7 | 2,5 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,4 | 2,1 | 2,1 |

Elaborazioni mensili NAUSICA - Media della velocità media giornaliera del vento a 10 m - 2001-2017

Stazione di UDINE SANT'OSVALDO (UD)

Altitudine (m s.l.m.) 91
Latitudine (N) 46.036
Longitudine (E) 13.228

| m/s | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2001 | 4,3 | 2,9 | 3,8 | 3,3 | 3,8 | 3,2 | 2,7 | 3,2 | 3,4 | 2,1 | 4,0 | 2,3 | 3,2 |
| 2002 | 1,8 | 3,4 | 3,4 | 4,0 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 2,9 | 3,2 | 3,2 | 3,6 | 4,4 | 3,2 |
| 2003 | 3,0 | 3,4 | 2,4 | 3,5 | 2,7 | 2,9 | 3,2 | 3,4 | 3,0 | 3,9 | 2,6 | 3,0 | 3,1 |
| 2004 | 2,9 | 2,6 | 3,6 | 3,4 | 3,3 | 3,4 | 2,7 | 2,5 | 3,0 | 2,9 | 4,0 | 3,0 | 3,1 |
| 2005 | 2,7 | 4,5 | 2,6 | 3,7 | 3,3 | 3,1 | 2,7 | 3,0 | 2,5 | 3,0 | 2,5 | 3,9 | 3,1 |
| 2006 | 3,7 | 3,0 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 2,7 | 3,2 | 3,3 | 2,8 | 2,8 | 2,3 | 3,1 | 3,0 |
| 2007 | 2,5 | 2,2 | 3,5 | 3,1 | 3,5 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,4 | 3,1 | 2,7 | 2,5 | 3,0 |
| 2008 | 2,5 | 2,5 | 3,3 | 3,4 | 3,1 | 2,8 | 2,9 | 3,3 | 3,5 | 3,0 | 3,8 | 3,7 | 3,2 |
| 2009 | 3,9 | 2,9 | 3,4 | 3,4 | 2,8 | 3,3 | 2,7 | 2,6 | 3,4 | 3,0 | 2,4 | 3,8 | 3,1 |
| 2010 | 3,7 | 3,2 | 4,3 | 3,2 | 3,2 | 2,9 | 2,5 | 3,1 | 3,5 | 2,8 | 3,3 | 2,8 | 3,2 |
| 2011 | 2,7 | 2,8 | 4,0 | 2,8 | 2,7 | 3,1 | 2,8 | 2,7 | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,2 | 2,9 |
| 2012 | 3,1 | 5,2 | 2,7 | 3,4 | 3,0 | 2,9 | 3,5 | 2,8 | 3,3 | 3,2 | 3,4 | 2,6 | 3,3 |
| 2013 | 3,0 | 4,4 | 3,7 | 3,1 | 3,7 | 3,0 | 2,5 | 2,4 | 2,6 | 3,3 | 5,0 | 2,5 | 3,3 |
| 2014 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 3,0 | 3,3 | 3,2 | 2,6 | 3,1 | 2,4 | 2,3 | 2,7 | 2,7 | 2,8 |
| 2015 | 2,7 | 3,5 | 3,9 | 3,4 | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 2,7 | 3,6 | 5,1 | 2,5 | 1,5 | 3,2 |
| 2016 | 2,2 | 3,8 | 3,9 | 3,0 | 3,3 | 3,1 | 2,7 | 2,8 | 2,6 | 3,2 | 3,2 | 2,3 | 3,0 |
| 2017 | 3,7 | 3,4 | 2,9 | 3,0 | 2,8 | 3,0 | 3,0 | 3,3 | 3,4 | 2,4 | 3,5 | 3,4 | 3,1 |

| Statistiche | m/s | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Media 2001-2017 | 3,0 | 3,3 | 3,4 | 3,3 | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 2,9 | 3,1 | 3,1 |
| Min | 1,8 | 2,2 | 2,4 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,1 | 2,2 | 1,5 | 2,8 | 2,8 |
| Max | 4,3 | 5,2 | 4,3 | 4,0 | 3,8 | 3,4 | 3,5 | 3,4 | 3,6 | 5,1 | 5,0 | 4,4 | 3,3 | 3,3 |
| Dev.st | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,1 | 0,1 |
| Numero | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |

| Percentili | m/s | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 5 % | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,9 | 2,7 | 2,8 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,2 | 2,4 | 2,1 | 2,8 | 2,8 |
| 50 % | 2,9 | 3,2 | 3,4 | 3,3 | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 3,0 | 3,2 | 3,0 | 3,2 | 3,0 | 3,2 | 3,1 |
| 95 % | 4,0 | 4,6 | 4,0 | 3,8 | 3,7 | 3,3 | 3,3 | 3,6 | 4,1 | 4,2 | 4,0 | 4,0 | 3,3 | 3,3 |

Figura 4.11: Medie mensili ed annuali dell'intensità media del vento a 10 m ad Udine negli anni 2001-2017. Questo rappresenta un esempio di confronto tra tabelle climatiche OSMER (a sinistra), consultabili in rete [4], e analoghe ricavate dai campi derivati dal database NAUSICA (a destra). Le caratteristiche della differenza misure/modello che influenzano il campo del vento, principalmente la sottostima sistemica del simulato, si possono notare anche confrontando questi valori. È inoltre evidente la stabilità dello stimatore statistico media annuale della velocità del vento che, nel caso delle misure risulta essere pari a 2.0 ± 0.1 m/s.

Invece, a differenza di ciò che si osserva per la media del campo descritta nel Paragrafo 4.1.3, nel caso del massimo anche l'andamento annuale dello stimatore selezionato non segue il corrispettivo misurato: la curva nera in Figura 4.12 descrive un valore che fluttua di 10 m/s all'interno del periodo 2001-2017 mentre, la curva verde dell'osservato, copre un range di valori inferiore a 4 m/s. La situazione per i massimi mensili è migliore: in questo caso alcune delle fluttuazioni dei campi seguono quelle dei valori ricavati dalle misure anche se sono sempre sistematicamente sovrastimate, si osservino le curve verde e nera di Figura 4.13.

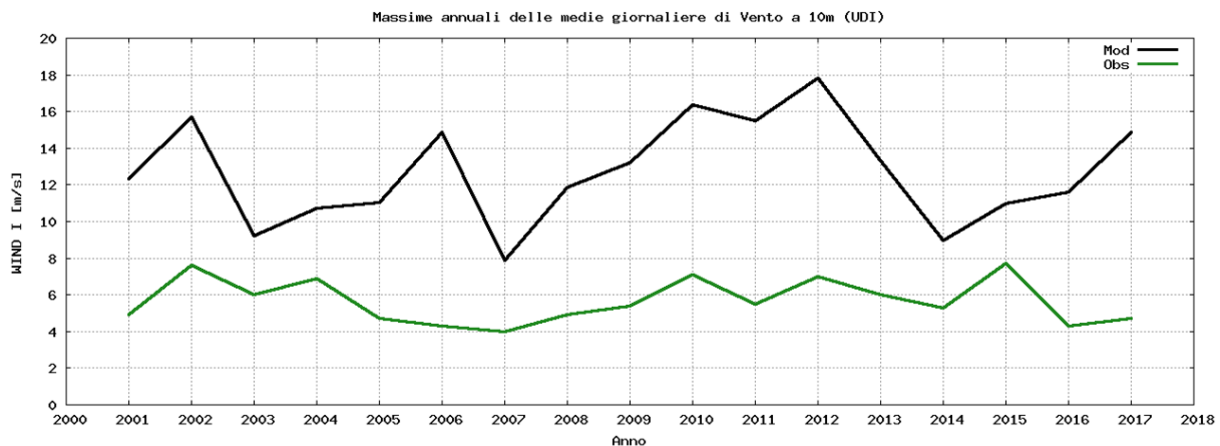


Figura 4.12: Massima annuale delle medie diurne di velocità del vento a 10 m presso la stazione di Udine dal 2001 al 2017. La linea verde corrisponde ai valori ricavati dalle misure mentre quella nera ai valori calcolati sui campi del modello. La sovrastima dei valori simulati appare ancora più accentuata di quella relativa alle medie in quanto raggiunge bias di 10 m/s. Anche le fluttuazioni annuali dei valore sono per questo indicatore mal riprodotte.

4.1.5 Precipitazione cumulata

Dalle analisi delle distribuzioni empiriche stagionali svolte nell'ambito del progetto NAUSICA [3] si è ricavato che le precipitazioni intense, cioè superiori a 10 mm/h, sono riprodotte dal modello con estrema accuratezza. Questo lo si può osservare dal plot sovrapposto in Figura 4.14 copiato dal report [3] che confronta le distribuzioni empiriche di precipitazione oraria superiore a 10 mm/h di misure e modello nell'area di Alta Pianura per l'intero anno 2010 ottenendo la sovrapposizione delle due curve. Dall'altro grafico presente in Figura 4.14 (anche questa riportata dal report NAUSICA [3]) si nota che invece, per quanto riguarda le precipitazioni di bassa intensità, è presente un bias di entità rilevante. Risultano infatti sottostimati gli eventi di pioggia caratterizzati da valori inferiori a 5 mm/h. Valutando l'andamento della pioggia cumulata annualmente ad Udine ricavata dai campi del modello rispetto a quella calcolata sulla base delle misure, Figura 4.15, si conferma la sottostima nella precipitazione simulata. Il bias è dell'ordine di 400 mm/anno. Per avere conferma del fatto che la causa di questo sia una sottostima dei valori deboli sarebbe necessario analizzare gli andamenti dei valori della

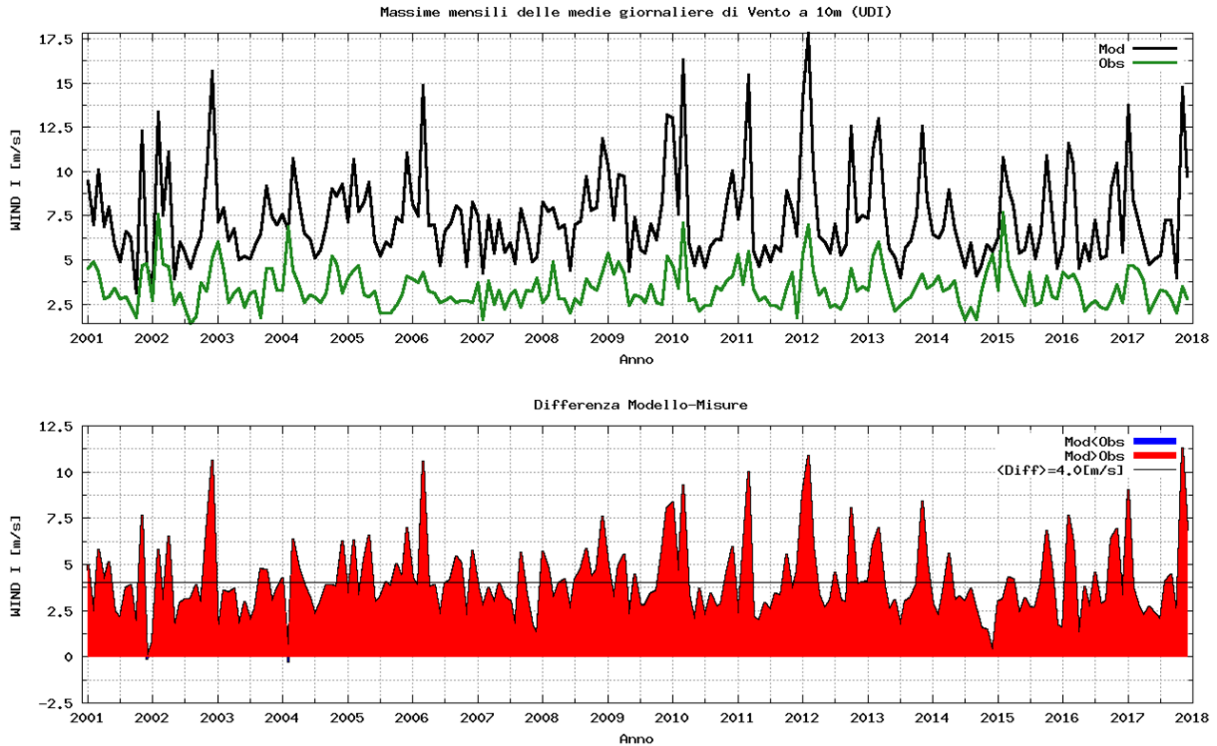


Figura 4.13: Figura superiore: andamento 2001-2017 della velocità massima mensile del vento a 10 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). La sovrastima sistemica di questo campo appare evidente anche in questo caso, anche se le fluttuazioni del campo simulato seguono quelle dell'osservato in modo più fedele di quanto osservato nel caso annuale. Figura inferiore: quantificazione del bias modello/misure. La sovrastima sistemica da parte del modello è confermata ed ha un valore medio sull'intero periodo considerato pari a 4.0 m/s.

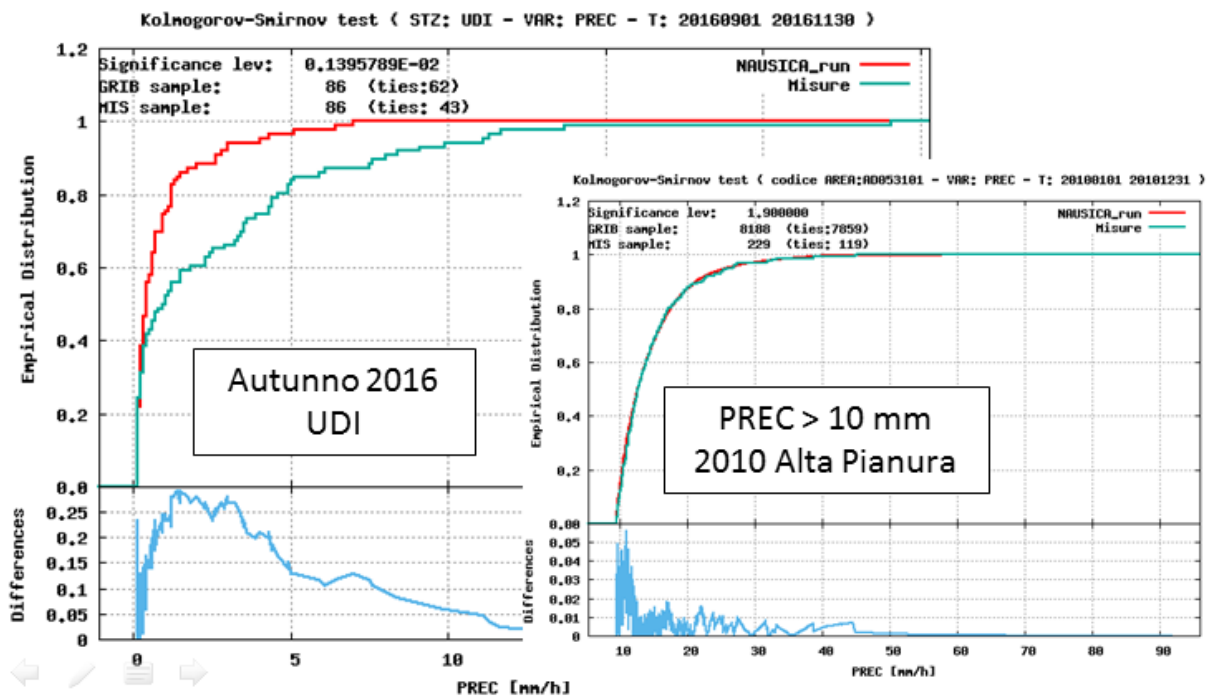


Figura 4.14: Figura principale: confronto tra le distribuzioni empiriche simulata e misurata relative alla precipitazione oraria ad Udine nell'autunno 2016. Si nota la presenza di un bias dell'ordine di qualche mm/h dovuto principalmente ad una sottostima della pioggia negli eventi caratterizzati da intensità inferiore a 10 mm/h. Figura sovrapposta: confronto tra le distribuzioni empiriche simulata e misurata relative alla precipitazione oraria intensa (cioè superiore a 10 mm/h) nell'area dell'Alta Pianura Friulana nell'intero anno 2010. In questo caso la sovrapposizione delle curve indica l'elevata accuratezza del modello nella riproduzione delle piogge intense.

coda superiore della distribuzione dei valori del campo. Attualmente questa analisi non è stata fatta anche se campi e tabelle relativi sono stati prodotti ed archiviati. Si può comunque dedurre che ciò che tendenzialmente il modello sottostima sono le piogge deboli e non gli eventi di precipitazione intensa osservando gli andamenti mensili e decadali riportati rispettivamente in Figura 4.16 e 4.17. Dai grafici riportati nella parte inferiore di queste Figure leggiamo che mediamente sul periodo considerato il WRF sottostima la pioggia di 41 mm al mese e di 15 mm per decade: pur essendoci episodi di sottostima di un'ordine di grandezza più elevato, la tendenza è quella di una simulazione che produce pochi millimetri in meno ogni decade ma lo fa sistematicamente. Questo causa poi il bias considerevole che si osserva integrando su periodi di durata superiore, si vedano le Figure 4.15 e 4.16.

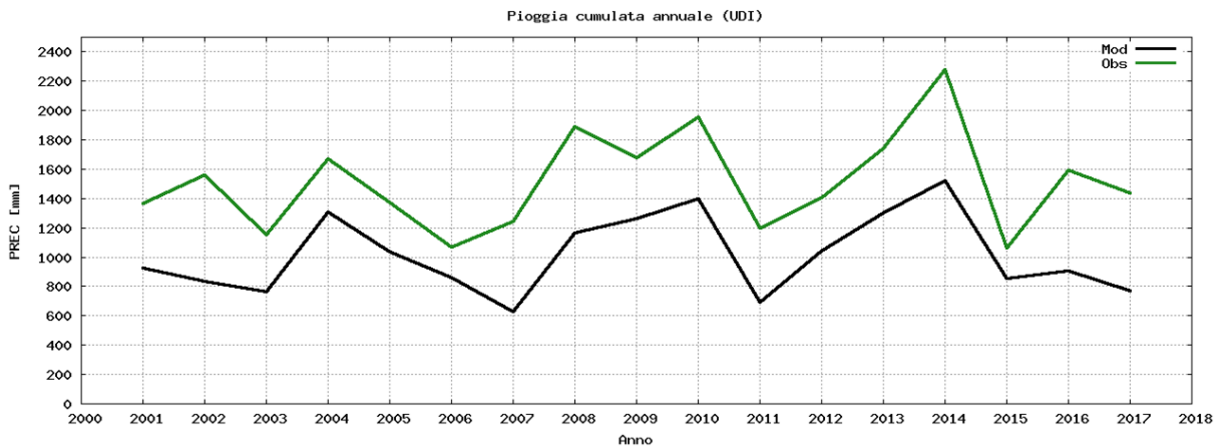


Figura 4.15: Integrale annuale della precipitazione presso la stazione di Udine dal 2001 al 2017. La linea verde corrisponde alle misure mentre quella nera al modello. Si osserva una sottostima annua del modello mediamente di circa 400 mm. Le fluttuazioni dei valori sono invece ben riprodotte dalla simulazione.

Un'altra caratteristica del campo di precipitazione simulato osservabile in Figura 4.15, non altrettanto facile da cogliere nelle analisi mensili e decadali a causa dell'elevata variabilità dei valori che caratterizzano questo campo, è l'ottima accuratezza nella riproduzione delle oscillazioni annuali del valore cumulato: l'andamento dell'integrale annuo del modello risulta parallelo a quello dell'osservato. Si riporta in conclusione al Paragrafo corrente anche il confronto tra le tabelle OSMER [4] e tabelle generate dal flusso NAUSICA_stat contenenti i valori statistici, Figura 4.18.

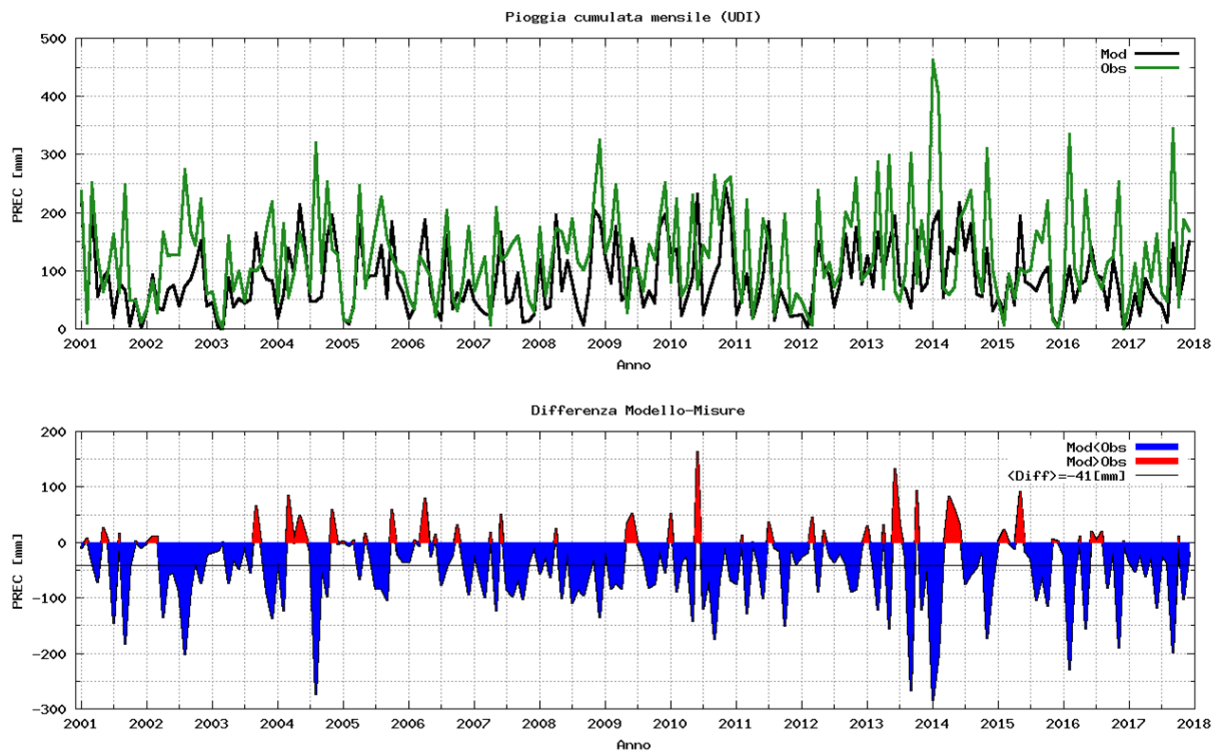


Figura 4.16: Figura superiore: andamento 2001-2017 dell'integrale mensile della precipitazione presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Figura inferiore: Da questo grafico che riporta l'andamento della differenza modello-misure è stato calcolato il bias medio caratterizzante la sottostima della precipitazione mensile simulata: come si legge in legenda questo corrisponde ad un valore di 41 mm per mese.

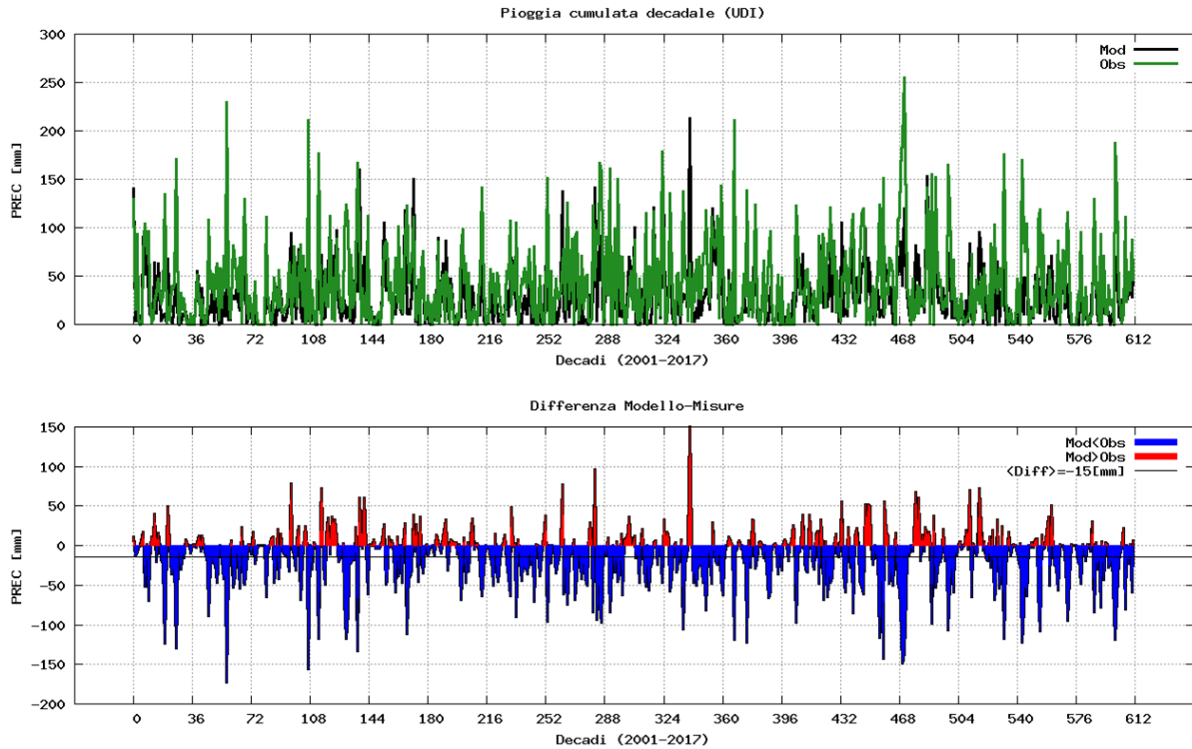


Figura 4.17: Figura superiore: andamento 2001-2017 dell'integrale decadale della precipitazione presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Figura inferiore: Da questo grafico che riporta l'andamento della differenza modello-misure è stato calcolato il bias medio caratterizzante la sottostima della precipitazione decadale simulata: come si legge in legenda questo corrisponde ad un valore di 15 mm per decade. La sottostima che caratterizza questo campo è perciò imputabile ad una sottostima nelle precipitazioni di bassa intensità che contribuisce sempre di più all'aumentare del periodo di integrazione considerato.

Elaborazioni mensili - Piogge cumulate - 2001-2017

Stazione di UDINE SANT'OSVALDO (UD)

NOTE
Ove possibile le misure mancanti sono state sostituite con misure di stazioni limitrofe.
Il dato non viene riportato se sono state sostituite più di 10 misure o se dopo la sostituzione mancano le misure di più di 3 giorni.

Altitudine (m s.l.m.) 91
Latitudine (N) 46.0400
Longitudine (E) 13.2300

| mm | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2001 | 237 | 9 | 251 | 125 | 63 | 98 | 164 | 62 | 249 | 49 | 49 | 11 | 1367 |
| 2002 | 34 | 83 | 27 | 167 | 125 | 127 | 127 | 274 | 169 | 143 | 224 | 60 | 1561 |
| 2003 | 63 | 16 | 0 | 160 | 66 | 99 | 47 | 103 | 100 | 110 | 173 | 219 | 1155 |
| 2004 | 46 | 181 | 54 | 96 | 166 | 131 | 63 | 321 | 97 | 254 | 137 | 128 | 1673 |
| 2005 | 17 | 13 | 38 | 246 | 70 | 114 | 174 | 227 | 155 | 126 | 101 | 96 | 1376 |
| 2006 | 53 | 34 | 125 | 109 | 88 | 21 | 91 | 204 | 54 | 31 | 82 | 176 | 1067 |
| 2007 | 65 | 97 | 124 | 6 | 209 | 117 | 128 | 147 | 160 | 113 | 50 | 29 | 1246 |
| 2008 | 175 | 58 | 101 | 173 | 166 | 130 | 189 | 115 | 102 | 130 | 226 | 325 | 1890 |
| 2009 | 130 | 161 | 249 | 132 | 28 | 104 | 105 | 66 | 146 | 119 | 186 | 251 | 1676 |
| 2010 | 80 | 224 | 57 | 75 | 230 | 69 | 144 | 122 | 265 | 179 | 252 | 262 | 1957 |
| 2011 | 99 | 45 | 222 | 18 | 85 | 190 | 148 | 23 | 84 | 198 | 26 | 61 | 1199 |
| 2012 | 48 | 21 | 7 | 239 | 88 | 114 | 72 | 94 | 201 | 176 | 260 | 84 | 1405 |
| 2013 | 97 | 112 | 287 | 68 | 299 | 64 | 47 | 95 | 302 | 78 | 186 | 108 | 1743 |
| 2014 | 463 | 402 | 287 | 246 | 299 | 190 | 209 | 230 | 105 | 62 | 311 | 101 | 2282 |
| 2015 | 50 | 6 | 94 | 52 | 104 | 97 | 102 | 168 | 148 | 221 | 16 | 1 | 1059 |
| 2016 | 71 | 335 | 107 | 66 | 238 | 122 | 92 | 69 | 114 | 124 | 254 | 0 | 1592 |
| 2017 | 45 | 113 | 41 | 148 | 81 | 164 | 62 | 47 | 344 | 38 | 188 | 168 | 1437 |

Stazione

| mm | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Media 2001-2017 | 104 | 112 | 109 | 114 | 128 | 115 | 116 | 140 | 164 | 127 | 160 | 122 | 1511 |
| Min | 17 | 6 | 0 | 6 | 28 | 21 | 47 | 23 | 54 | 31 | 16 | 0 | 1059 |
| Max | 463 | 402 | 287 | 246 | 299 | 190 | 209 | 231 | 344 | 254 | 311 | 325 | 2282 |
| Dev.st | 108 | 117 | 90 | 69 | 76 | 42 | 50 | 86 | 82 | 64 | 92 | 98 | 336 |
| Numero | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |

Percentili

| mm | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 5 % | 31 | 9 | 0 | 16 | 56 | 55 | 27 | 42 | 181 | 37 | 24 | 11 | 1065 |
| 50 % | 65 | 83 | 94 | 109 | 88 | 114 | 105 | 115 | 148 | 124 | 186 | 101 | 1437 |
| 95 % | 282 | 348 | 258 | 240 | 250 | 188 | 193 | 283 | 310 | 228 | 270 | 275 | 2022 |

Elaborazioni mensili NAUSICA - Piogge cumulate - 2001-2017

Stazione di UDINE SANT'OSVALDO (UD)

NOTE
Ove possibile le misure mancanti sono state sostituite con misure di stazioni limitrofe.
Il dato non viene riportato se sono state sostituite più di 10 misure o se dopo la sostituzione mancano le misure di più di 3 giorni.

Altitudine (m s.l.m.) 91
Latitudine (N) 46.036
Longitudine (E) 13.228

| mm | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2001 | 229 | 16 | 218 | 55 | 88 | 99 | 20 | 78 | 68 | 6 | 50 | 2 | 928 |
| 2002 | 33 | 93 | 37 | 33 | 66 | 74 | 38 | 74 | 85 | 110 | 151 | 39 | 834 |
| 2003 | 45 | 1 | 0 | 88 | 38 | 53 | 44 | 50 | 164 | 109 | 86 | 83 | 761 |
| 2004 | 18 | 60 | 138 | 95 | 213 | 152 | 47 | 48 | 55 | 158 | 196 | 126 | 1307 |
| 2005 | 19 | 8 | 41 | 181 | 85 | 91 | 92 | 144 | 52 | 184 | 80 | 61 | 1038 |
| 2006 | 18 | 36 | 120 | 187 | 64 | 35 | 15 | 161 | 34 | 62 | 47 | 83 | 862 |
| 2007 | 48 | 34 | 27 | 23 | 87 | 167 | 44 | 51 | 97 | 12 | 13 | 24 | 625 |
| 2008 | 120 | 35 | 40 | 196 | 66 | 118 | 80 | 32 | 7 | 76 | 204 | 191 | 1164 |
| 2009 | 123 | 78 | 176 | 49 | 61 | 155 | 103 | 38 | 66 | 45 | 175 | 197 | 1264 |
| 2010 | 131 | 137 | 23 | 54 | 90 | 231 | 25 | 61 | 92 | 113 | 247 | 196 | 1399 |
| 2011 | 24 | 56 | 95 | 18 | 49 | 90 | 184 | 15 | 69 | 48 | 21 | 23 | 691 |
| 2012 | 24 | 3 | 51 | 151 | 108 | 92 | 37 | 77 | 164 | 88 | 175 | 77 | 1046 |
| 2013 | 126 | 72 | 167 | 98 | 145 | 195 | 78 | 186 | 36 | 170 | 65 | 79 | 1300 |
| 2014 | 180 | 203 | 53 | 141 | 128 | 218 | 135 | 181 | 61 | 55 | 139 | 30 | 1525 |
| 2015 | 52 | 29 | 94 | 41 | 195 | 82 | 76 | 65 | 92 | 107 | 20 | 3 | 852 |
| 2016 | 49 | 108 | 46 | 76 | 83 | 140 | 94 | 88 | 33 | 120 | 66 | 2 | 904 |
| 2017 | 11 | 61 | 22 | 87 | 61 | 48 | 40 | 11 | 147 | 48 | 87 | 150 | 773 |

Stazione

| mm | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Media 2001-2017 | 74 | 60 | 73 | 93 | 96 | 120 | 68 | 73 | 78 | 89 | 107 | 80 | 1016 |
| Min | 11 | 1 | 0 | 18 | 38 | 35 | 15 | 11 | 7 | 6 | 13 | 2 | 625 |
| Max | 229 | 203 | 218 | 196 | 213 | 231 | 184 | 181 | 164 | 184 | 247 | 197 | 1525 |
| Dev.st | 65 | 53 | 64 | 59 | 49 | 59 | 45 | 48 | 45 | 52 | 73 | 69 | 267 |
| Numero | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |

Percentili

| mm | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 5 % | 16 | 2 | 0 | 22 | 48 | 45 | 19 | 14 | 26 | 11 | 19 | 2 | 678 |
| 50 % | 48 | 56 | 51 | 67 | 85 | 99 | 47 | 65 | 68 | 88 | 86 | 77 | 928 |
| 95 % | 190 | 150 | 185 | 189 | 198 | 221 | 145 | 165 | 164 | 173 | 213 | 196 | 1424 |

Figura 4.18: Integrali mensili ed annuali della precipitazione ad Udine negli anni 2001-2017. Questo rappresenta un esempio di confronto tra tabelle climatiche OSMER (a sinistra), consultabili in rete, e analoghe ricavate dai campi derivati dal database NAUSICA (a destra). La sottostima per i valori simulati descritta nel Paragrafo corrente appare evidente dai valori riportati.

4.2 Conclusioni

Riassumendo le informazioni più rilevanti nell'analisi della climatologia del database NAUSICA si può affermare che la temperatura al suolo è riprodotta dal modello con accuratezza più che soddisfacente: il bias delle medie di temperatura è inferiore ad 1°C e il trend climatico risulta congruente con quello misurato. Si osserva però l'incapacità del modello di riprodurre i valori estremi, sia massimi che minimi, della distribuzione di questo campo.

Viceversa la velocità del vento risulta sistematicamente sovrastimata dalla simulazione. Questo lo si osserva sia nelle analisi relative ai valori medi, i quali mediamente hanno un bias superiore ad 1 m/s , che a quelli relativi alle giornate più ventose della media. L'andamento delle fluttuazioni del campo nel periodo considerato risulta comunque riprodurre correttamente quello ricavato dai valori misurati.

Infine i valori della precipitazione risultano sottostimati rispetto a quelli misurati. L'analisi condotta è in accordo con le conclusioni precedentemente raggiunte [3] in quanto indica che questo bias è dovuto ad una carenza di precipitazioni deboli e non ad una sbagliata riproduzione dei valori negli eventi intensi. Il risultato è una sottostima media di 15 mm per decade che si propaga raggiungendo il valore di 40 mm per mese e 400 mm per anno.

Nel prossimo Capitolo verranno discusse le conclusioni dei punti di forza e debolezza del database appena elencati.

5

Discussione, prospettive future e conclusioni generali

In questo Capitolo vengono discussi i punti di forza e le debolezze del database NAUSICA messi in evidenza dall'analisi svolta nell'ambito del progetto NAUSICA INTERIM. Sono elencati alcuni possibili utilizzi del database archiviato anche alla luce di quanto emerso grazie alle analisi eseguite. Infine si prospettano alcuni sviluppi futuri a breve e lungo termine del lavoro svolto.

5.1 Discussione dei risultati ottenuti

I risultati ottenuti dal progetto, riportati nei capitoli precedenti, evidenziano i punti di forza delle simulazioni prodotte. Nel prossimo Paragrafo verranno elencate alcune delle applicazioni che direttamente ne conseguono.

Lo spettro di utilizzo del database non si riduce però a queste in quanto, l'analisi statistica svolta e la consapevolezza acquisita, permettono non soltanto di individuare gli ambiti nei quali intervenire per un miglioramento nelle produzioni future, ma anche di fornire una correzione al primo ordine ai campi generati che estende la significatività dell'informazione contenuta.

5.1.1 Utilizzi diretti del database NAUSICA

L'elevata accuratezza nella riproduzione dei valori delle precipitazioni intense rende l'utilizzo della catena modellistica NAUSICA adatto alla generazione di input per i modelli della Protezione Civile e come strumento di consultazione in Sala Meteo. Associando a questo anche l'elevata accuratezza nella riproduzione dei valori medi di temperatura, si può concludere che il flusso genera un database utilizzabile anche in ambito di studi climatici. Si può infatti calcolare a partire da questo e con sufficiente affidabilità trend su climate change, tempi di ritorno di eventi estremi e di breve durata.

5.1.2 *Consapevolezza acquisita ed estensione dell'utilizzo del database*

Grazie alla dettagliata analisi delle debolezze dei campi simulati si può giungere alla formulazione di una ulteriore ottimizzazione del modello WRF per il dominio considerato. Essendo questo utilizzato anche nella catena operativa di previsione di ARPA FVG [14], questa acquisizione di consapevolezza rappresenta un altrettanto importante sviluppo in ambito modellistico.

In particolare ciò che si può ipotizzare in base soprattutto alle dimostrate tendenze del modello a sottostimare le precipitazioni deboli e a generare distribuzioni di temperature più strette di quelle osservate, è la necessità di agire sul modello a livello di parametrizzazioni del Boundary Layer e, soprattutto, del Surface Layer che, in base alla teoria della similarità definisce le equazioni dei profili verticali dei campi fatti evolvere dalla dinamica del modello.

Quella appena descritta non è però l'unica indicazione di correzione che ci fornisce lo studio presentato. Le analisi eseguite sui singoli indicatori statistici consentono infatti anche di calcolare le correzioni da applicare ai campi del modello per ridurre il bias osservato tra questo e misure in corrispondenza di punti di stazione e/o aree. In particolare, nel Capitolo 4, sono state calcolate le correzioni al primo ordine per precipitazioni deboli, estremi di temperatura e venti deboli. Questi fattori correttivi rendono significative anche queste osservabili per utilizzi in Sala Meteo e per la correzione dei relativi campi che li renderebbe adatti anche ad essere utilizzati come input nei modelli della Protezione Civile. Il fattore correttivo ricavato per le precipitazioni cumulate potrebbe generare anche un campo di precipitazione utilizzabile in ambito di studi climatici.

5.2 *Prospettive future del progetto*

Il database prodotto offre sicuramente molte possibilità di utilizzo: da semplice base dati distribuibile a utilizzo come determinante per svariati ambiti di modellistica. Potrebbero inoltre essere estese e svolte in modo più dettagliato tutte le analisi finora eseguite sia in ambito di confronti spaziali con le misure che di analisi della climatologia. Si ritiene anche importante sottolineare che, come descritto nei Capitoli relativi ai prodotti disponibili (sia in NAUSICA INTERIM, Paragrafi 2.2 e 3.3, che in NAUSICA [3]), i prodotti già generati su cui svolgere analisi di vario tipo sono ancora tanti. Le analisi riportate rappresentano infatti solo una prima fase di lettura dei risultati prodotti.

5.3 *Conclusioni generali*

Concludendo questo report è inevitabile sottolineare la vastità di risultati raggiunta dal Progetto NAUSICA che, oltre a creare un database di analisi meteorologiche di quasi 20 anni che andrà automaticamente estendendosi con il passare del tempo, ha dimostrato di aver messo a

disposizione una catena modellistica capace di generare campi di accuratezza sufficiente da renderli utilizzabili in Sala Meteo, come input per i modelli della Protezione Civile e per studi climatici. Ha inoltre costituito uno strumento di dettagliata valutazione del modello WRF, che rappresenta attualmente il modello utilizzato operativamente dal CRMA [14] per le previsioni meteorologiche, e delle performance delle sue parametrizzazioni applicate al territorio del Friuli Venezia Giulia. È necessario da ultimo ribadire che sono ancora molte le analisi che possono essere eseguite sui campi prodotti e, tante di queste, sono anche già state sviluppate e sono ordinatamente archiviate per essere analizzate in futuro.

A

Nomenclatura del database di Campi Statistici

Calcolo dei campi

Flusso di operazioni eseguito dalla suite:

1. Estrazione (e concatenazione in un unico file) dai wrfout.nc relativi al dominio regionale AlpeAdria (d03) prodotti dai run NAUSICA dei seguenti campi:

- **SWDOWN** = DOWNWARD SHORT WAVE FLUX AT GROUND SURFACE [W/m²]
- **PREC_ACC_NC** = ACCUMULATED GRID SCALE PRECIPITATION OVER 1h PERIOD OF TIME [mm]
- **T2** = TEMP at 2 M [K]
- **U10** = U at 10 M [m/s]
- **V10** = V at 10 M [m/s]
- **Q2** = QV at 2 M [m/s]
- **PSFC** = SFC PRESSURE [Pa]
- **QFX** = UPWARD MOISTURE FLUX AT THE SURFACE [W/(m²s)]

2. Calcolo dei campi derivati:

- **WI** = WIND SPEED [m/s] = $\sqrt{U^2 + V^2}$
- **ET** = EVAPOTRANSPIRATION [mm/m²] = $QFX \cdot 3600.0$
- **RH** = RELATIVE HUMIDITY [%] = $\frac{Q2}{379.91/PSFC} e^{17.27 \frac{T2-273.16}{T2-35.86}}$
- **T2C** = TEMPERATURE at 2 M in CELSIUS [C] = $T2 - 273.15$

3. Calcolo delle seguenti statistiche giornaliere:

media giornaliera sui campi T2C, WI, ET, RH

$\forall t_d = YYYYMMDD, \forall \vec{x} \in d03$

$daymean(field(\vec{x}, t_d)) =$

$mean\{field(\vec{x}, T), T \in [t_d\ 00:00:00, t_d\ 23:00:00] \mid field(\vec{x}, T) \neq MV\}$

minimo giornaliero sui campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH

$\forall t_d = YYYYMMDD, \forall \vec{x} \in d03$

$daymin(field(\vec{x}, t_d)) =$

$min\{field(\vec{x}, T), T \in [t_d\ 00:00:00, t_d\ 23:00:00] \mid field(\vec{x}, T) \neq MV\}$

massimo giornaliero sui campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH

$\forall t_d = YYYYMMDD, \forall \vec{x} \in d03$

$daymax(field(\vec{x}, t_d)) =$

$max\{field(\vec{x}, T), T \in [t_d\ 00:00:00, t_d\ 23:00:00] \mid field(\vec{x}, T) \neq MV\}$

somma giornaliera sui campi SWDO, PREC

$$\forall t_d = YYYYMMDD, \forall \vec{x} \in d03$$

$$daysum(field(\vec{x}, t_d)) =$$

$$sum\{field(\vec{x}, T), T \in [t_d 00:00:00, t_d 23:00:00] \mid field(\vec{x}, T) \neq MV\}$$

4. Calcolo delle seguenti statistiche annuali:

media annuale su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03, \forall daystat = \{daymean, daymin, daymax\}$$

$$yearmean(daystat, \vec{x}, t_y) =$$

$$mean\{daystat(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

minimo annuale su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03, \forall daystat = \{daymean, daymin, daymax\}$$

$$yearin(daystat, \vec{x}, t_y) =$$

$$\min\{daystat(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

massimo annuale su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03, \forall daystat = \{daymean, daymin, daymax\}$$

$$yearmax(daystat, \vec{x}, t_y) =$$

$$\max\{daystat(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

somma annuale su somme giornaliere (per i campi SWDO, PREC)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03$$

$$yearsom(daysum, \vec{x}, t_y) =$$

$$sum\{daysum(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

5°, 50°, 95° percentili annuali su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03$$

$$yearpctl(daymean, daymax, daymin, \vec{x}, t_y) =$$

$$n^\circ pctl\{daymean(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

ATTENZIONE: il calcolo dei percentili richiede in input i file di minimo e massimo giornalieri

5. Calcolo delle seguenti statistiche mensili:

media mensile su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03, \forall daystat = \{daymean, daymin, daymax\}$$

$$monmean(daystat, \vec{x}, t_y) =$$

$$mean\{daystat(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

minimo mensile su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03, \forall daystat = \{daymean, daymin, daymax\}$$

$$monmin(daystat, \vec{x}, t_y) =$$

$$\min\{daystat(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

massimo mensile su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03, \forall daystat = \{daymean, daymin, daymax\}$$

$$monmax(daystat, \vec{x}, t_y) =$$

$$\max\{daystat(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

somma mensile su somme giornaliere (per i campi SWDO, PREC)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03$$

$$years\text{sum}(days\text{sum}, \vec{x}, t_y) =$$

$$\text{sum}\{days\text{sum}(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

5°, 50°, 95° *percentili annuali* su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03$$

$$\text{monpctl}(day\text{mean}, day\text{max}, day\text{min}, \vec{x}, t_y) =$$

$$n^\circ \text{pctl}\{day\text{mean}(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

ATTENZIONE: il calcolo dei percentili richiede in input i file di minimo e massimo giornalieri

6. Calcolo delle seguenti statistiche decadali:

media decadale su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall d_y = decade \in t_y, \forall \vec{x} \in d03, \forall day\text{stat} = \{day\text{mean}, day\text{min}, day\text{max}\}$$

$$\text{tinselmean}, d_y(day\text{stat}, \vec{x}) =$$

$$\text{mean}\{day\text{stat}(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in d_y\}$$

minimo decadale su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall d_y = decade \in t_y, \forall \vec{x} \in d03, \forall day\text{stat} = \{day\text{mean}, day\text{min}, day\text{max}\}$$

$$\text{tinselmin}, d_y(day\text{stat}, \vec{x}) =$$

$$\text{min}\{day\text{stat}(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in d_y\}$$

massimo decadale su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH), su massimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH) e su minimi giornalieri (per i campi SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall d_y = decade \in t_y, \forall \vec{x} \in d03, \forall day\text{stat} = \{day\text{mean}, day\text{min}, day\text{max}\}$$

$$\text{tinselmax}, d_y(day\text{stat}, \vec{x}) =$$

$$\text{max}\{day\text{stat}(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in d_y\}$$

somma decadale su somme giornaliere (per i campi SWDO, PREC)

$$\forall t_y = YYYY, \forall d_y = decade \in t_y, \forall \vec{x} \in d03$$

$$years\text{sum}(days\text{sum}, \vec{x}, t_y) =$$

$$\text{sum}\{days\text{sum}(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in t_y\}$$

5°, 50°, 95° *percentili annuali* su medie giornaliere (per i campi T2C, WI, ET, RH)

$$\forall t_y = YYYY, \forall d_y = decade \in t_y, \forall \vec{x} \in d03$$

$$\text{tinselsum}, d_y(day\text{mean}, day\text{max}, day\text{min}, \vec{x}) =$$

$$n^\circ \text{pctl}\{day\text{mean}(\vec{x}, t_d), t_d = YYYYMMDD \in d_y\}$$

ATTENZIONE: il calcolo dei percentili richiede in input i file di minimo e massimo giornalieri

ATTENZIONE: Prima del calcolo della statistica sulle decadi è necessario separare in singoli file le 3 decadi di ogni mese (*splitmon*). Dopo il calcolo i campi statistici prodotti vengono raggruppati (*mergetime*) in 3 file contenenti ciascuno i valori relativi a tutte le 1°, 2° e 3° decadi dell'anno.

7. Calcolo della sommatoria termica annuale: su medie giornaliere (per il campo T2C)

$$\forall t_y = YYYY, \forall \vec{x} \in d03, \text{fissata } Th$$

$$[subc, Th + setvrange, 0, 50 + setmisstoc, 0 + yearsum](days\text{sum}, \vec{x}, t_y) =$$

$$\sum \begin{cases} day\text{mean}(\vec{x}, t_d) - Th & \forall x \in [0, 50] \\ 0 & \forall (\vec{x}, t_d) < 0 \vee (\vec{x}, t_d) > 50 \end{cases}$$

$$t_d = YYYYMMDD \in t_y$$

Nomenclatura output

La nomenclatura adottata per i file di output ripercorre a ritroso la procedura utilizzata per il calcolo del campo

Campi estratti:

ext_%VARNAME_EXT%_%STARTDATE%_%ENDDATE%.nc

Campi derivati:

ext_%VARNAME%_%STARTDATE%_%ENDDATE%.nc

Campi di statistica giornaliera:

day-%OUTSTAT%_%VARNAME%_%STARTDATE%_%ENDDATE%.nc

Campi di statistica annuale:

year-%OUTSTAT%_day-%INSTAT%_%VARNAME%_%STARTDATE%_%ENDDATE%.nc

Campi di statistica mensile:

month-%OUTSTAT%_day-%INSTAT%_%VARNAME%_%STARTDATE%_%ENDDATE%.nc

Campi di statistica decadale:

dec%N%-%OUTSTAT%_day-%INSTAT%_%VARNAME%_%STARTDATE%_%ENDDATE%.nc

Campi sommatoria termica:

gdd_day-%INSTAT%_%VARNAME%_%STARTDATE%_%ENDDATE%.nc

Tabelle m/y csv:

mytab-%OUTSTAT%_day-%INSTAT%_%VAR_NAME%_%START_DATE%_%END_DATE%_%STZ%.csv

Tabelle d/y csv:

dytab-%OUTSTAT%_day-%INSTAT%_%VAR_NAME%_%START_DATE%_%END_DATE%_%STZ%.csv

dove

VARNAME_EXT={SWDO, PREC, T2 e T2C, U, V, Q2, PSFC, QFX}

VARNAME={SWDO, PREC, T2C, WI, ET, RH}

OUTSTAT/INSTAT={max, min, mean, sum, 5pctl, 50pctl, 95pctl}

N={1, 2, 3}

Elenco delle figure

- 1.1 Domini innestati delle simulazioni WRF NAUSICA. 8
- 2.1 Schema a blocchi di WPS e WRF, sono riportati solo gli elementi coinvolti nell'ambito del progetto NAUSICA. 12
- 2.2 Schema della Suite operativa NAUSICA_gen, visualizzato tramite *ecflow_ui*. Il compito di questo flusso è quello di eseguire il downscaling delle analisi meteorologiche ECMWF su dominio Alpe Adria tramite modello WRF proseguendo la costruzione del database NAUSICA. 12
- 2.3 Esempi di funzionamento della procedura di inizializzazione dei run della suite NAUSICA_gen. Nel primo esempio è schematizzato il caso più comune: la suite cerca l'ultima scadenza disponibile in archivio che contenga tutti i restart necessari e li trova all'interno dell'anno corrente impostando di conseguenza una simulazione che riparte da questi. Nel caso in cui invece questi siano trovati nell'anno solare precedente alla data di esecuzione, come nel secondo esempio, il run viene eseguito inizializzando la simulazione al primo gennaio da file ECMWF. Nei casi in cui non siano disponibili le condizioni al contorno, esempio 3, o in cui la simulazione sia già aggiornata alla data corrente, esempio 4, non viene eseguito nulla e la suite viene rimessa in coda. 14
- 3.1 Medie mensili ed annuali delle Temperature medie giornaliere ad Udine negli anni 2001-2017. Questo rappresenta un esempio di confronto tra tabelle climatiche OSMER (a sinistra), consultabili in rete, e analoghe ricavate dai campi derivati dal database NAUSICA (a destra). Come verrà discusso nel Capitolo dedicato, i valori relativi a questo stimatore sono riprodotti dal modello con elevata accuratezza. 18
- 3.2 Schema delle chiamate alle CDO eseguite dal flusso NAUSICA_stat. Le frecce verdi in uscita dai blocchi rappresentano i singoli file intermedi e finali archiviati. Per rendere più leggibile il flusso a cui è sottoposta ogni singola famiglia di variabili di statistica giornaliera vengono utilizzati colori differenti. I nomi sui connettori corrispondono ai campi elaborati e calcolati. In basso sono inoltre riportate le operazioni necessarie al calcolo dei campi derivati. 22

- 3.3 Esempio di tabella *csv* generata dal flusso NAUSICA_stat. In particolare la tabella contiene i metadati, i valori mensili ed annuali per gli anni 2001-2018 del massimo del massimo giornaliero della radiazione e la statistica generata in post-processamento su questi. 22
- 3.4 Durata delle chiamate agli applicativi CDO sul cluster regionale Fenice per l'estrazione del campo di temperatura a 2 metri dai file *wrfout* per l'anno 2001. Come si nota dalla curva e si legge in legenda, dove sono riportati minimo, media e massimo dei tempi di estrazione in secondi, mediamente le chiamate hanno una durata di circa 1 secondo ma alcune di esse durano 20-30 secondi. 23
- 4.1 Media annuale delle medie diurne di temperatura a 2 metri presso la stazione di Udine dal 2001 al 2017. La linea verde corrisponde alle misure mentre quella nera al modello. Osservando il plot si nota che lo stimatore considerato è riprodotto con elevata accuratezza: la differenza misure/modello è inferiore a 0.8°C e le fluttuazioni sono abbastanza ben riprodotte. Nella maggior parte degli anni considerati, per esattezza 12 anni su 17, i valori osservati sono maggiori di quelli simulati. I fit in grigio rappresentano le medie decennali da confrontare con le analoghe calcolate da OSMER sui dati dell'intera pianura Friulana (si veda Figura 4.2). 27
- 4.2 Fig. 1.1.4 del Report sui cambiamenti climatici dell'OSMER ARPA FVG. Andamento delle temperature medie annuali nel periodo 1961-2016 per la pianura del Friuli Venezia Giulia. La linea tratteggiata rappresenta l'andamento delle temperature medie nei diversi decenni. Elaborazione a cura di ARPA FVG - OSMER. 27
- 4.3 Figura superiore: andamento della temperatura media mensile a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per dati (linea verde) e modello (linea nera). L'area grigia rappresenta l'intervallo di valori della distribuzione del modello compresi tra 5° e 95° percentile. I fit lineari, di cui è riportato il coefficiente angolare in legenda, quantificano l'aumento della temperatura nei 17 anni considerati. Come si può osservare, l'accordo misure/modello è molto soddisfacente come quantificato nella figura inferiore. Figura inferiore: valutazione dell'andamento della differenza tra modello e misure. Le aree rosse corrispondono a scadenze mensili per le quali il modello ha prodotto valori di temperatura più elevati di quelli misurati, viceversa quelli blu sono i casi di campo simulato più freddo delle misure. Come si legge in legenda, sui 17 anni considerati, la simulazione produce valori mensili di temperatura a 2 m ad Udine inferiori in media di 0.3°C rispetto alle misure. Solo poche scadenze si discostano più di 1°C . 28

- 4.4 Figura superiore: andamento 2001-2017 della temperatura media decadale a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). I fit lineari, di cui è riportato il coefficiente angolare in legenda, quantificano l'aumento della temperatura nei 17 anni considerati. Come si può osservare, l'accordo misure/modello, quantificato nella figura inferiore, è molto soddisfacente. Figura inferiore: valutazione dell'andamento della differenza tra modello e misure. Le aree rosse corrispondono a scadenze decadali per le quali il modello ha prodotto valori di temperatura più elevati di quelli misurati, viceversa quelli blu sono i casi di campo simulato più freddo delle misure. Anche in questo caso risulta che, sui 17 anni considerati, la simulazione produce valori di temperatura a 2 m ad Udine inferiori in media di $0,3^{\circ}\text{C}$ rispetto alle misure. Solo poche scadenze si discostano più di 1°C . 29
- 4.5 Figura superiore: andamento 2001-2017 della massima assoluta annuale della massima diurna di temperatura a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Si osserva che il bias modello/misure per questo stimatore raggiunge anche i -5°C , il modello non riesce infatti a produrre i valori delle massime reali. Anche le oscillazioni non sono ben riprodotte. Figura inferiore: andamento 2001-2017 della minima assoluta annuale della minima diurna di temperatura a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Si osserva che il bias modello/misure anche per questo stimatore raggiunge i -5°C . In questo caso però il modello riproduce accuratamente le oscillazioni delle minime reali. 30
- 4.6 Figura superiore: andamento 2001-2017 della temperatura massima assoluta mensile a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Come si nota chiaramente le oscillazioni del campo sono ben riprodotte ma il modello non raggiunge i valori misurati. Figura inferiore: valutazione dell'andamento della differenza tra modello e misure. Le aree rosse corrispondono a scadenze decadali per le quali il modello ha prodotto valori di temperatura massima mensile più elevati di quelli misurati, viceversa quelli blu sono i casi di campo simulato più freddo delle misure. Questo plot mette in evidenza la sistematicità della problematica riscontrata, cioè la sottostima delle massime da parte del modello. Come indicato in legenda la sottostima media mensile delle massime assolute dal 2001 al 2017 è pari a $2,3^{\circ}\text{C}$. 31

- 4.7 Figura superiore: andamento 2001-2017 della temperatura minima assoluta mensile a 2 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Anche in questo caso si osserva che le oscillazioni del campo sono ben riprodotte ma il modello non raggiunge i valori minimi misurati. Figura inferiore: valutazione dell'andamento della differenza tra modello e misure. Le aree rosse corrispondono a scadenze decadal per le quali il modello ha prodotto valori di temperatura minima assoluta più elevati di quelli misurati, viceversa quelli blu sono i casi di campo simulato più freddo delle misure. La sistematicità della problematica riscontrata, cioè la sovrastima delle minime di temperatura da parte del modello appare evidente. Come indicato in legenda la sovrastima media mensile delle minime assolute dal 2001 al 2017 è pari a 2.4°C . 32
- 32subsection.4.92 Media annuale delle medie diurne di velocità del vento a 10 m presso la stazione di Udine dal 2001 al 2017. La linea verde corrisponde alle misure mentre quella nera al modello. Entrambi gli andamenti descrivono lo stimatore considerato come una quantità tendenzialmente costante nei 17 anni considerati ma la sovrastima dei valori simulati risulta palese. 33
- 4.10 Figura superiore: andamento 2001-2017 della velocità media mensile del vento a 10 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). L'area grigia rappresenta l'intervallo di valori della distribuzione del modello compresi tra 5° e 95° percentile. La sovrastima sistematica di questo campo appare molto evidente. Figura inferiore: quantificazione del bias modello/misure. La presenza delle sole aree rosse, che corrispondono a scadenze mensili per le quali il modello ha prodotto valori più elevati di quelli misurati, confermano la sovrastima del campo in questione quantificabile mediamente in 1.1 m/s. 34
- 4.11 Medie mensili ed annuali dell'intensità media del vento a 10 m ad Udine negli anni 2001-2017. Questo rappresenta un esempio di confronto tra tabelle climatiche OSMER (a sinistra), consultabili in rete [4], e analoghe ricavate dai campi derivati dal database NAUSICA (a destra). Le caratteristiche della differenza misure/modello che influenzano il campo del vento, principalmente la sottostima sistematica del simulato, si possono notare anche confrontando questi valori. È inoltre evidente la stabilità dello stimatore statistico media annuale della velocità del vento che, nel caso delle misure risulta essere pari a 2.0 ± 0.1 m/s. 34
- 4.12 Massima annuale delle medie diurne di velocità del vento a 10 m presso la stazione di Udine dal 2001 al 2017. La linea verde corrisponde ai valori ricavati dalle misure mentre quella nera ai valori calcolati sui campi del modello. La sovrastima dei valori simulati appare ancora più accentuata di quella relativa alle medie in quanto raggiunge bias di 10 m/s. Anche le fluttuazioni annuali del valore sono per questo indicatore mal riprodotte. 35

- 4.13 Figura superiore: andamento 2001-2017 della velocità massima mensile del vento a 10 metri dal suolo presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). La sovrastima sistematica di questo campo appare evidente anche in questo caso, anche se le fluttuazioni del campo simulato seguono quelle dell'osservato in modo più fedele di quanto osservato nel caso annuale. Figura inferiore: quantificazione del bias modello/misure. La sovrastima sistematica da parte del modello è confermata ed ha un valore medio sull'intero periodo considerato pari a 4.0 m/s. 36
- 4.14 Figura principale: confronto tra le distribuzioni empiriche simulata e misurata relative alla precipitazione oraria ad Udine nell'autunno 2016. Si nota la presenza di un bias dell'ordine di qualche mm/h dovuto principalmente ad una sottostima della pioggia negli eventi caratterizzati da intensità inferiore a 10 mm/h. Figura sovrapposta: confronto tra le distribuzioni empiriche simulata e misurata relative alla precipitazione oraria intensa (cioè superiore a 10 mm/h) nell'area dell'Alta Pianura Friulana nell'intero anno 2010. In questo caso la sovrapposizione delle curve indica l'elevata accuratezza del modello nella riproduzione delle piogge intense. 36
- 4.15 Integrale annuale della precipitazione presso la stazione di Udine dal 2001 al 2017. La linea verde corrisponde alle misure mentre quella nera al modello. Si osserva una sottostima annua del modello mediamente di circa 400 mm. Le fluttuazioni dei valori sono invece ben riprodotte dalla simulazione. 37
- 4.16 Figura superiore: andamento 2001-2017 dell'integrale mensile della precipitazione presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Figura inferiore: Da questo grafico che riporta l'andamento della differenza modello-misure è stato calcolato il bias medio caratterizzante la sottostima della precipitazione mensile simulata: come si legge in legenda questo corrisponde ad un valore di 41 mm per mese. 38
- 4.17 Figura superiore: andamento 2001-2017 dell'integrale decadale della precipitazione presso la stazione di Udine per misure (linea verde) e modello (linea nera). Figura inferiore: Da questo grafico che riporta l'andamento della differenza modello-misure è stato calcolato il bias medio caratterizzante la sottostima della precipitazione decadale simulata: come si legge in legenda questo corrisponde ad un valore di 15 mm per decade. La sottostima che caratterizza questo campo è perciò imputabile ad una sottostima nelle precipitazioni di bassa intensità che contribuisce sempre di più all'aumentare del periodo di integrazione considerato.

4.18 Integrali mensili ed annuali della precipitazione ad Udine negli anni 2001-2017. Questo rappresenta un esempio di confronto tra tabelle climatiche OSMER (a sinistra), consultabili in rete, e analoghe ricavate dai campi derivati dal database NAUSICA (a destra). La sottostima per i valori simulati descritta nel Paragrafo corrente appare evidente dai valori riportati. 39

Elenco delle tabelle

- 2.1 Elenco delle caratteristiche attuali del database meteorologico del progetto NAUSICA. Oltre ai campi descritti in Tabella, campi generati dal modello contenuti nei file *wrfout*, sono presenti per ogni giorno anche i file di restart per ogni singolo dominio, file *wrfrst*. 14
- 3.1 Elenco degli stimatori statistici calcolabili tramite la suite NAUSICA_stat. 17
- 3.2 Elenco delle caratteristiche attuali del database statistico del progetto NAUSICA. Oltre ai campi statistici, sono presenti anche i campi estratti e derivati descritti nel Paragrafo, e le tabelle dei valori estratti e della loro statistica nei punti di stazione. 19

Bibliografia

- [1] CRMA. Pag. intranet ARPA FVG Progetto NAUSICA.
http://ms05lxarpa.arpa.fvg.it/wiki/index.php/Project_NAUSICA.
- [2] WRF. Weather Research and Forecasting Model (WRF).
<http://www.wrf-model.org/index.php>.
- [3] CRMA-ARPA FVG. Progetto nausica - downscaling di analisi meteorologiche sul dominio alpe adria.
http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/tema/aria/utilita/Documenti_e_presentazioni/tecnico_scientifiche_docs/2018geno01_arpafvg_crma_goglio_nausica_rap2018_001.pdf.
- [4] OSMER ARPA FVG. Elaborazioni in forma tabellare o grafica che descrivono le variabili meteo-climatiche più importanti per la regione fvg. <http://www.osmer.fvg.it/clima.php?ln=>.
- [5] WRF Preprocessing System (WPS).
http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide/-users_guide_chap3.html.
- [6] ECMWF. Workflow manager ecFlow.
<https://software.ecmwf.int/wiki/display/ECFLOW/Home>.
- [7] CRMA. Classificazione delle simulazioni crma, pag. intranet wiki-crma.
http://ms05lxarpa.arpa.fvg.it/wiki/index.php/Elenco_simulazioni.
- [8] ARPA FVG. Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e dei loro impatti più significativi per il fvg.
http://www.osmer.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/01_REPORT_cambiamenti_climatici_e_impatti_per_il_FVG/impattiCCinFVG_marzo2018.pdf.
- [9] Formato netCDF. https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/-docs_rc/.
- [10] Climate Data Operators (CDO).
<https://code.zmaw.de/projects/cdo>.
- [11] Pagina intranet wiki-crma relativa al cluster regionale Fenice.
<http://ms05lxarpa.arpa.fvg.it/wiki/index.php/FENICE>.
- [12] Trac Git Workflow. http://grid1.mercuriofvg.it/trac/operative_workflows/browser.

- [13] ECMWF. Sito analisi ecmwf.
<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/>.
- [14] CRMA. Pagina intranet wiki-crma relativa all'operatività.
<http://ms05lxarpa.arpa.fvg.it/wiki/index.php/WRF:Operativita%27>.