

## ABSTRACT

La Divisione Modelli e Tecnologie per la Riduzione degli Impatti dell'ENEA, attraverso il Laboratorio di Modellistica Climatica e Impatti e col supporto delle risorse di calcolo offerte dal Centro computazionale di RicEca sui Sistemi Complessi (CRESCO), ha sviluppato negli anni una linea di ricerca dedicata ai cambiamenti climatici nella regione mediterranea. Quest'ultima è caratterizzata da un'elevata densità abitativa e da secolari attività antropiche, e per questo è particolarmente esposta e vulnerabile ai cambiamenti climatici. In quest'area, dunque, lo sviluppo di piani di adattamento e mitigazione, la programmazione dell'uso sostenibile del territorio e delle sue risorse e la messa a punto di adeguate strategie di gestione del rischio nel breve e medio termine, richiedono il supporto di proiezioni climatiche quanto più possibile affidabili pur in presenza di intrinseche complessità modellistiche.

Il Mar Mediterraneo è un bacino semichiuso circondato da regioni caratterizzate da una complessa orografia, che favorisce l'insorgenza di venti locali anche molto forti, che innescano contrasti aria-mare molto intensi, che guidano la circolazione termalina propria del bacino e che occasionalmente possono dare luogo a fenomeni estremi per intensità e/o per impatto.

La necessità di realizzare proiezioni climatiche su scale di tempo molto lunghe (secolari) su di un'area moderatamente estesa ma orograficamente complessa che include al suo interno un mare profondo con una propria circolazione termalina, da un lato, impone l'uso di risoluzioni spaziali molto più elevate di quelle usualmente disponibili nei modelli climatici globali, dall'altro indirizza verso l'uso di modelli accoppiati (earth system models). Questi, infatti, consentono una più corretta e coerente simulazione del sistema e dei flussi di massa ed energia tra tutte le componenti che guidano la sua evoluzione su scale temporali più lunghe. Questo approccio è coerente con le linee guida degli attuali programmi internazionali. In particolare, l'iniziativa Med-CORDEX (Mediterranean Coordinated Regional Downscaling Experiment) [1] ha lo scopo di coordinare gli sforzi della comunità di modellistica climatica nello sviluppo di modelli regionali accoppiati, a partire dalle componenti essenziali (atmosfera ed oceano) fino all'idrologia, alle interazioni tra atmosfera e suolo e ai processi biogeochimici.

Presso il laboratorio di modellistica climatica dell'ENEA è stato implementato il modello accoppiato Regional Earth System Model (RegESM) [2] utilizzando la infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni CRESCO/ENEAGRID [3]. La particolarità del sistema RegESM, è quella di essere una piattaforma che può integrare in modo flessibile i vari moduli (atmosfera, oceano, idrologia, onde) che sono dei plug-in della piattaforma stessa e possono essere scelti tra alcuni modelli state of the art attualmente disponibili, venendo attivati/disattivati a seconda delle necessità. Al momento presso il laboratorio, sono state realizzate due diverse configurazioni di RegESM che fanno uso di due modelli atmosferici disitinti: RegCM e WRF.

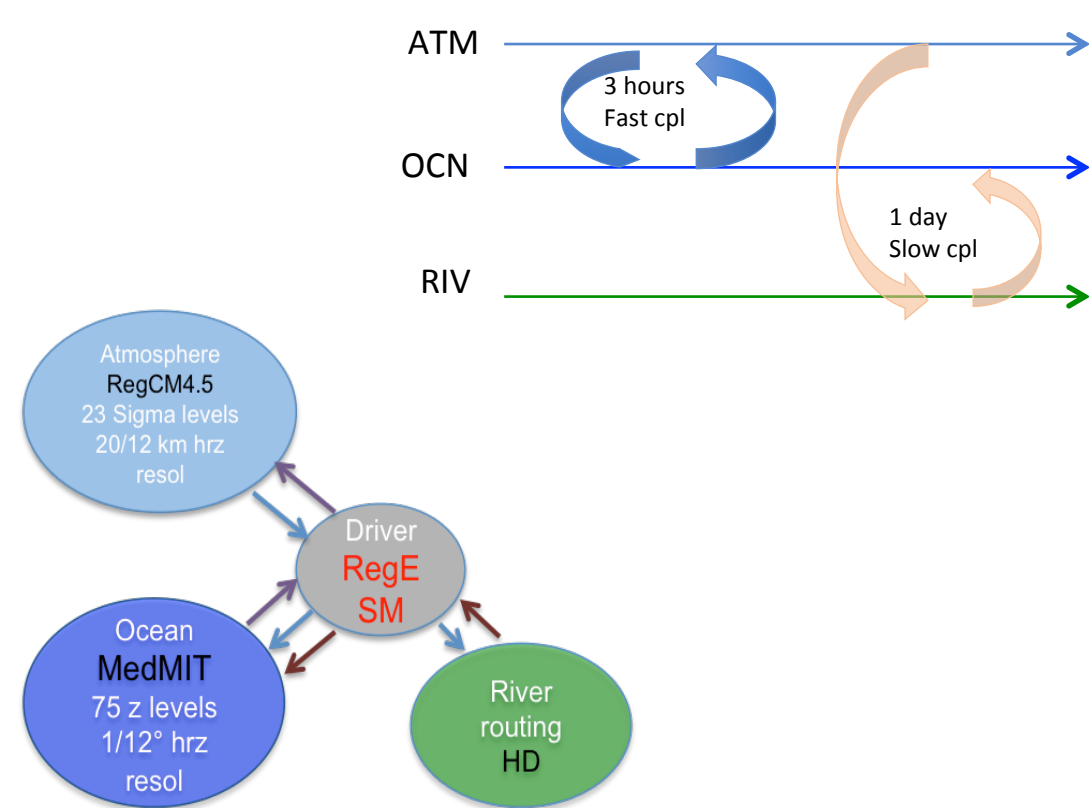
Nella sua prima configurazione (CPL1), i componenti attivi di RegESM sono il modello atmosferico RegCM4.5 ad una risoluzione spaziale di 20km, il modello oceanografico MITgem ad 1/12°, il modello di river routing HD ed il driver Earth System Modeling Framework (ESMF) che ne gestisce le componenti, la sincronizzazione e lo scambio dei dati al contorno. La seconda configurazione (CPL2) utilizza il modello atmosferico WRF.

La validazione dei modelli è stata fatta confrontando i risultati di un run di hindcast sul periodo 1980-2012 guidato dalle rianalisi ERA-interim con dati osservati di temperatura superficiale dell'aria, precipitazione, SST e circolazione superficiale del mare sia a scala stagionale che interannuale. La variabilità interannuale riprodotta dal modello climatico regionale è in buon accordo con la variabilità osservata. Non sono stati osservati nel modello trend spuri. Un bias freddo è presente soprattutto nella zona del Mediterraneo orientale, analogamente ad altre simulazioni accoppiate effettuate sulla stessa regione[6], ma è comunque contenuto entro 0.8 °C.

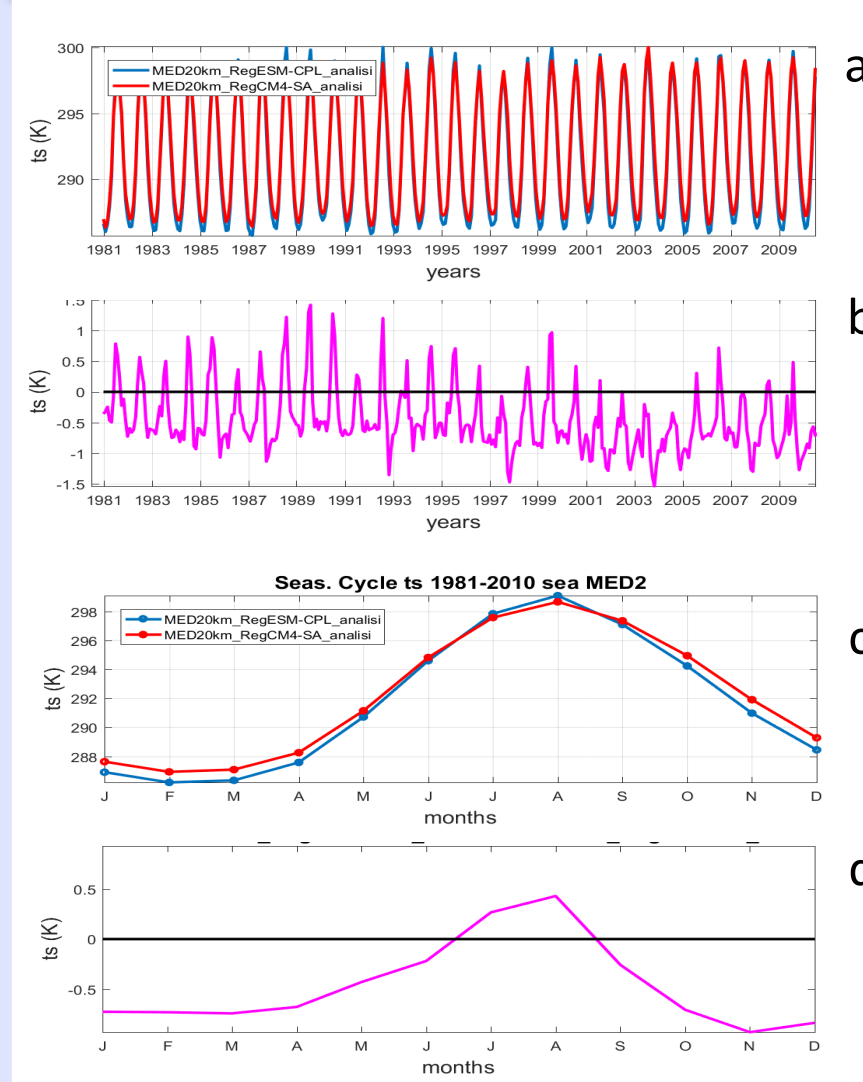
Sono in produzione simulazioni storiche e di scenario RCP2.6 e RCP8.5 per il periodo 1950-2100, guidate dal modello GFDL\_ES2M sul dominio Med-CORDEX con entrambe le realizzazioni. Le simulazioni sono fatte in accordo con i protocolli dell'iniziativa Med-CORDEX e confluiranno nel costruendo dataset.

## Regional Earth System Model - RegESM

- RegESM componenti attive: atmosfera con risoluzione orizzontale di 20/15 km (**RegCM 4.5/WRF**), oceano 1/12° (**MITgem**), apporto fluviale (**HD**), ed il driver, Earth System Modeling Framework (**ESMF**).
- Una simulazione **hindcast** è stata effettuata sul dominio MedCORDEX per valutare il possibile errore sistematico del modello
- E' stato utilizzato il dataset di rianalisi ERA-interim per costruire le condizioni iniziali e laterali
- Il modello è stato implementato sulla piattaforma di calcolo **CRESCO4** su 304 cpus. Il tempo medio di calcolo nella configurazione qui esposta è di 1 anno di simulazione in 24 ore



## Validazione di RegESM/CPL1

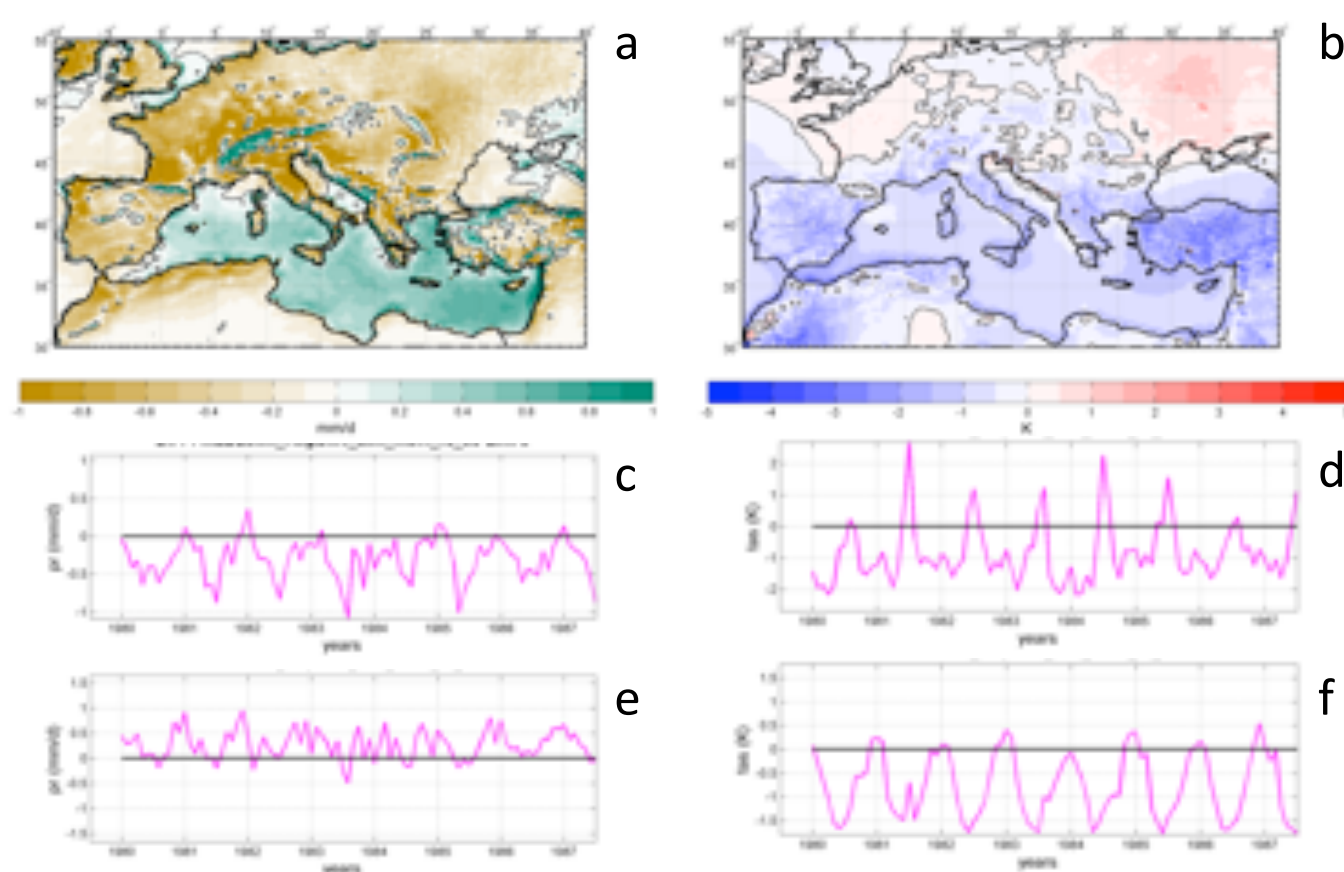


Le temperature superficiali prodotte nel run CPL1 sono state confrontate con quelle delle rianalisi ERA-interim. Si nota un bias generalmente freddo su mare, senza trend evidenti. L'analisi del ciclo stagionale mostra come il bias freddo sia presente in autunno ed inverno.

Figura 4. Serie temporale della temperatura superficiale (1981 – 2010) blu - CPL1, rosso - ERA-interim (a); CPL1 – ERA-interim (b). Ciclo stagionale (c); differenza tra i cicli stagionali (d)

## Tuning del modello RegESM/CPL1

Una prima simulazione in modalità **hindcast** ha consentito di calibrare le parametrizzazioni della componente atmosferica del modello RegESM (**RegCM4.5**) e di valutare i possibili bias del modello stesso, di cui va tenuto conto nelle analisi delle simulazioni di scenario. A questo scopo, è stato usato il dataset di rianalisi ERA - interim.



Il tuning del modello è stato fatto principalmente agendo sullo schema di **land surface BATS**. In particolare, l'emissività sulle regioni desertiche e semi-desertiche è stata modificata, basandosi su stime da satellite, allo scopo di ridurre il bias della temperatura superficiale su queste regioni, che costituiscono una parte piuttosto estesa del dominio di integrazione.

Figura 1. errore sistematico sulla precipitazione (sinistra) e sulla temperatura (destra) nella configurazione scelta. I pannelli mostrano il bias medio annuale (a,b); il bias stagionale su terra (c,d) e su mare (e,f).

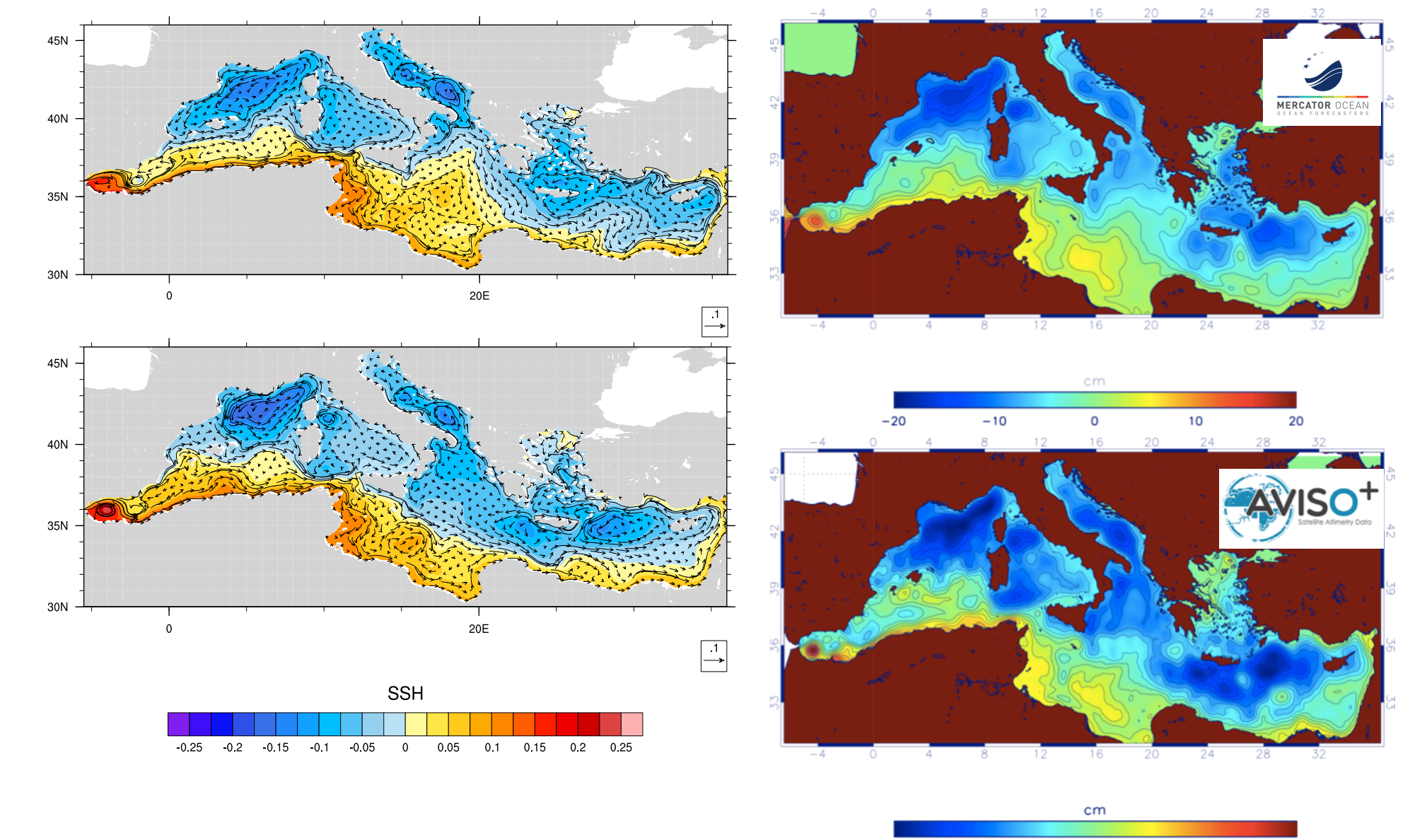


Figura 5 Confronto della circolazione superficiale con i dati osservati. **Sinistra:** Circolazione superficiale (15 m) and Sea Surface Height (colore). **Alto** media climatologica 1980 – 2012 CPL1 **Basso** stesse variabili da una analoga simulazione stand alone del Mediterraneo. **Destra:** Sea surface height 1990 – 2013 da reference datasets. **Alto:** Ocean reanalysis by Mercator **Basso:** Satellite observations from AVISO dataset

## Hindcast 1980 – 2012 CPL1

Sono state realizzate due simulazioni per il periodo 1980-2013: una **fully coupled** (CPL1) ed una dell'atmosfera **stand-alone** (SA). Il confronto tra i risultati dei due run e con le osservazioni disponibili sui periodi comuni, consente di evidenziare gli effetti dell'accoppiamento oceano-atmosfera.

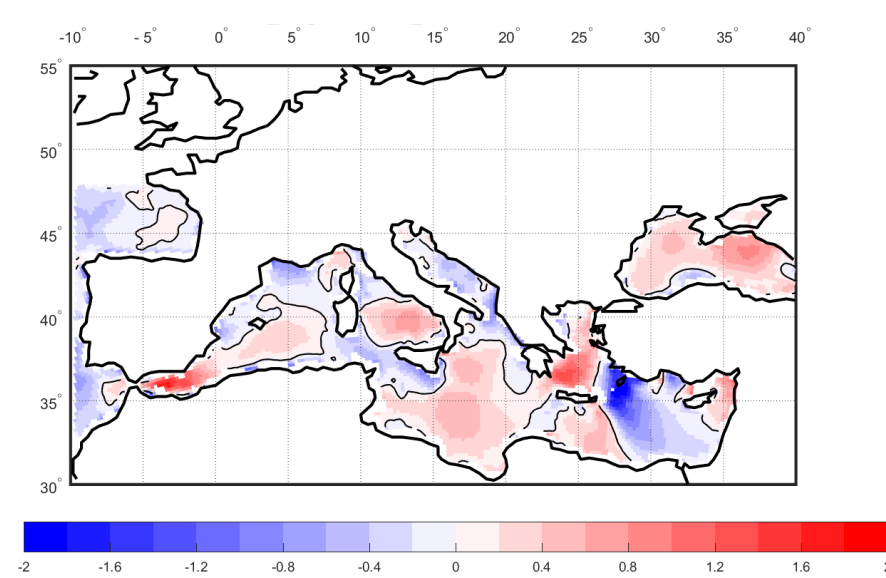


Figura 2. velocità del vento alla superficie, media JJA per gli anni 2000-2010. Differenza tra CPL1 e osservazioni da satellite QuickSCAT.

Si osserva un buon accordo tra il vento simulato e le osservazioni, la cui differenza si mantiene su valori inferiori a 0.5 m/s. Fa eccezione la regione dell'Egeo, a causa della moderata risoluzione orizzontale del modello che non riesce a descrivere adeguatamente la topografia della zona. Gli effetti dell'interazione diretta aria-mare si riflettono in una generale riduzione della precipitazione su mare.

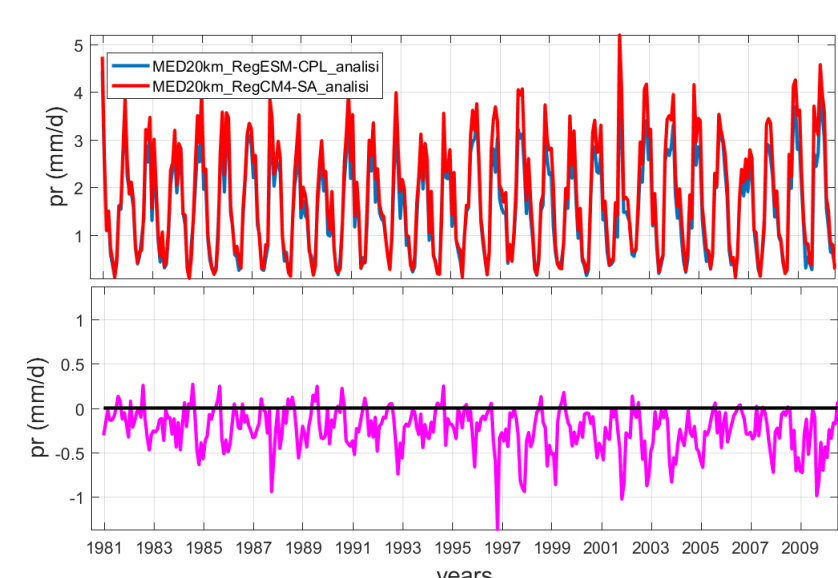


Figura 3. Top. Serie temporale delle precipitazioni su mare: blu - CPL1, rosso - SA Bottom. Differenza delle precipitazioni su mare: CPL1 - SA

## Confronto CPL1 / CPL2

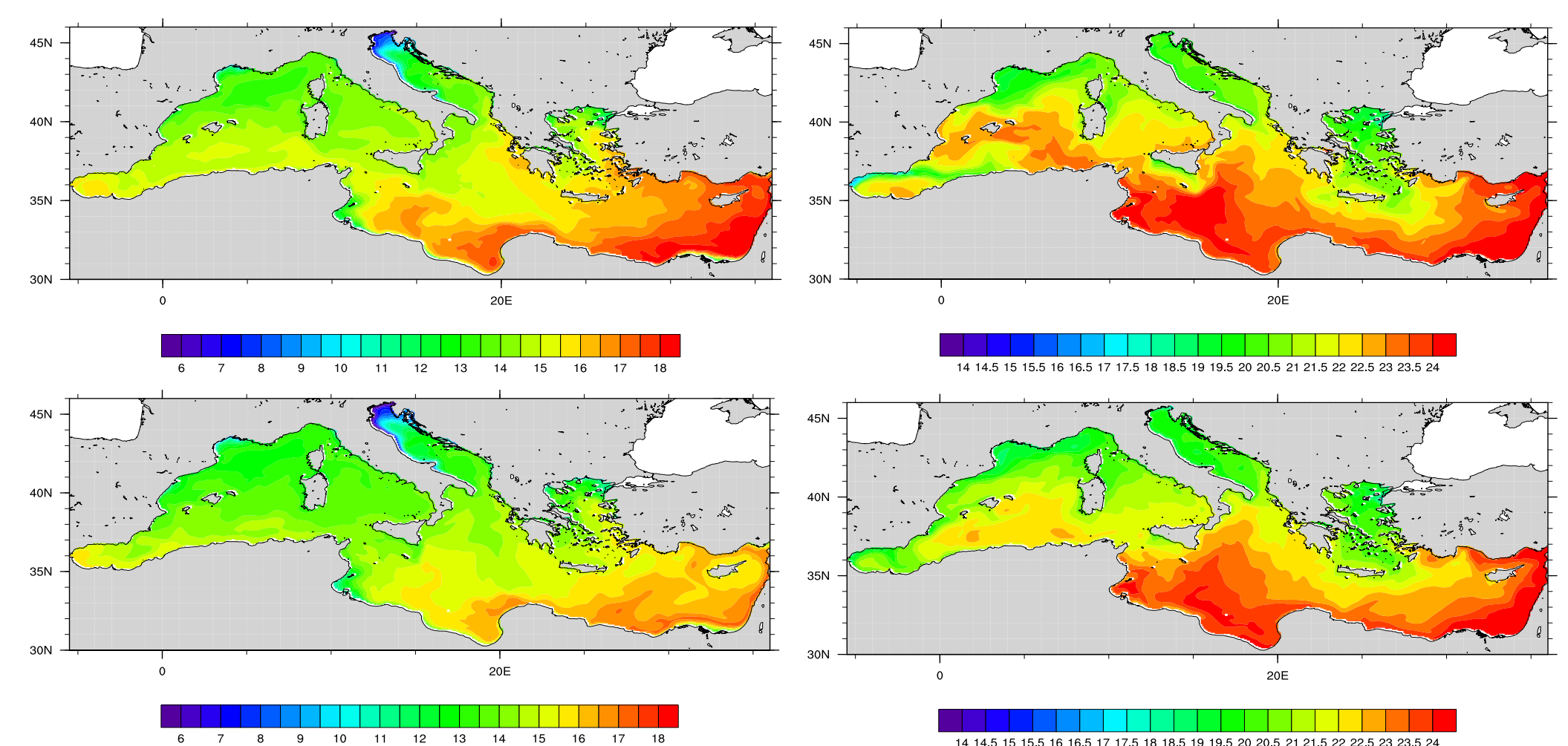


Figura 6 Confronto tra le SST delle due versioni dell'accoppiato: **Alto** CPL2 (WRF-MedMIT-HD). **Basso** CPL1 (RegCM-MedMIT-HD) **Sinistra:** Media DJF 1980-1981 **Destra:** Media SON 1981

Le due simulazioni non differiscono in maniera sostanziale, tuttavia il bias freddo sembra ridursi nella nuova simulazione CPL2