



Studio dell'interazione aria-mare nella regione mediterranea: sviluppo di nuove parametrizzazioni per il modello di previsione

S. Marullo, E. Napolitano, I. Cionni, A. Di Sarra, G. Pace

STUDIO DELL'INTERAZIONE ARIA-MARE NELLA REGIONE MEDITERRANEA: SVILUPPO DI NUOVE PARAMETRIZZAZIONI PER IL MODELLO DI PREVISIONE

S. Marullo, E. Napolitano, I. Cionni, A. Di Sarra, G. Pace

Febbraio 2022

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità 2021

Obiettivo: *Tecnologie*

Progetto: 1.8 Energia elettrica dal mare

Linea di attività: LA1.19 *Studio dell'interazione aria-mare nella regione mediterranea: sviluppo di nuove parametrizzazioni per il modello di previsione*

Responsabile del Progetto: Gianmaria Sannino ENEA

Responsabile del Work package: Gianmaria Sannino ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Piano triennale di realizzazione 2019-2021 della ricerca di sistema elettrico nazionale*"

Responsabile scientifico ENEA: Gianmaria Sannino

Responsabile scientifico Politecnico di Torino: Giuliana Mattiazzo

Indice

| | |
|---|----|
| SOMMARIO | 4 |
| 1 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI..... | 6 |
| 1.1 IMPATTO DELLE DIFFERENZE NELLE STIME DEI FLUSSI DI CALORE SULLE SIMULAZIONI NUMERICHE | 6 |
| 2 CONCLUSIONI | 10 |
| 3 BIBLIOGRAFIA | 11 |

Sommario

In questo rapporto vengono descritti gli esperimenti numerici finalizzati alla valutazione dell'impatto delle incertezze relative alle stime di flussi di calore tra atmosfera ed oceano sui modelli di previsione in un contesto tipicamente Mediterraneo. Per l'analisi dell'impatto delle varie parametrizzazioni utilizzabili per la stima dei flussi di calore sulle simulazioni marine, è stato utilizzato un modello unidimensionale di turbolenza oceanica inteso come laboratorio numerico per la valutazione delle varie soluzioni proposte, nell'ottica più generale di una riduzione del costo computazionale degli esperimenti numerici. Il modello scelto per questa attività è stato il GOTM. GOTM è l'abbreviazione di "General Ocean Turbulence Model". È un modello unidimensionale della colonna d'acqua che include i più importanti processi idrodinamici e termodinamici legati al mescolamento verticale in acque marine. GOTM contiene un modulo specificamente dedicato all'interazione aria-mare che include varie parametrizzazioni dei flussi di calore tra aria e mare. Questo modulo calcola il flusso di calore, la quantità di moto e gli scambi di "freshwater" tra l'oceano e l'atmosfera, nonché la radiazione solare in entrata. I flussi e la radiazione solare possono essere prescritti o calcolati dal modello.

Il risultato dell'analisi ha dimostrato che l'uso dei dati meteo derivati dalla rianalisi ERA5 o misurati in situ producono le migliori simulazioni quando utilizzati internamente al GOTM per il calcolo dei flussi ad ogni passo di integrazione. Questo grazie all'ottima corrispondenza tra dati in situ e rianalisi mostrata nel report L.1.11. In questa relazione si dimostra che le differenze tra dati in situ e rianalisi ERA5 sono abbastanza piccole producendo simulazioni equivalenti e minime differenze tra le temperature del mare simulate e misurate.

Nel caso in cui le simulazioni hanno usato flussi di calore direttamente forniti da ERA5 o, in parte ERA5 e in parte dati satellitari o in situ le discrepanze sono state decisamente più evidenti variando in un intervallo compreso tra 1 e 3.5 °C.

Introduzione

Nell'ambito del WP1 L1.11 è stato fornito un panorama aggiornato della capacità di stima dei flussi di calore tra atmosfera ed oceano, tenendo conto delle formulazioni empiriche attualmente utilizzate e dei dati modellistici forniti dai distributori istituzionali, focalizzando su quelli recentemente resi disponibili dal Climate Data Store (CDS) gestito da ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) nell'ambito del Copernicus Climate Change Service su incarico dell'Unione Europea.

L'analisi dei prodotti disponibili per la stima dei flussi di calore all'interfaccia aria-mare nel Mediterraneo ha evidenziato una serie di opportunità e di limitazioni che possono tradursi in raccomandazioni e valutazioni per gli utenti dei prodotti meteorologici disponibili da modelli (Copernicus Data Service, ad esempio) e di relazioni empiriche per la stima delle componenti del flusso di calore.

In effetti il confronto tra le più recenti rianalisi modellistiche e i dati in situ raccolti presso la stazione di acquisizione dati dell'ENEA in Lampedusa hanno confermato che ERA5 riproduce con ottima accuratezza i parametri meteorologici che modulano la variabilità dei flussi di calore all'interfaccia aria mare attraverso formule empiriche o modelli numerici. Fa eccezione il caso del vento dove si osserva una certa tendenza di ERA5 a sottostimare l'intensità per valori alti.

In questo WP si valuterà l'importanza dei discostamenti osservati rispetto alle applicazioni ovvero se le piccole differenze osservate tra misure in situ di riferimento e stime empiriche o modellistiche sono abbastanza piccole rispetto all'uso dei prodotti disponibili per i modelli oceanografici. L'ideale per un tale tipo di valutazione sarebbe produrre simulazioni con modelli oceanografici (Ocean General Circulation Models - OGCM) forzandoli con i vari prodotti di flussi di calore aria-mare e/o dati meteorologici derivati sia da fonti modellistiche che in situ. Di fatto, però, un tale approccio non è realisticamente realizzabile a causa dei costi computazioni rispetto alle risorse disponibili. In alternativa, la soluzione scelta, è stato quella di utilizzare un sofisticato modello unidimensionale di turbolenza che, sia pur trascurando le componenti di avvezione orizzontale, contenesse tutta la fisica dell'interazione aria mare e del mescolamento verticale delle acque marine. Il modello scelto per questa applicazione è stato il GOTM. GOTM è l'abbreviazione di "General Ocean Turbulence Model"; è un modello unidimensionale della colonna d'acqua che include i più importanti processi idrodinamici e termodinamici legati al mescolamento verticale delle acque. Inoltre, è stato progettato in modo tale da poter essere facilmente accoppiato a modelli a circolazione 3-D e utilizzato come modulo per il calcolo del mixing. Il nucleo del modello calcola le soluzioni per le versioni unidimensionali delle equazioni di trasporto di quantità di moto, sale e calore. GOTM contiene un modulo dedicato all'interazione aria-mare che include varie parametrizzazioni dei flussi di calore tra aria e mare. Questo modulo calcola il flusso di calore, la quantità di moto e gli scambi di "freshwater" tra l'oceano e l'atmosfera, nonché la radiazione solare in entrata. I flussi e la radiazione solare possono essere prescritti o calcolati dal modello.

Il GOTM (Burchard et al., 1999, Umlauf and Burchard, 2005) è un modello unidimensionale della colonna d'acqua progettato per studiare i processi idrodinamici e biogeochimici nelle acque marine e limniche. Il modello include un'ampia varietà di funzioni di chiusura turbolenta per la parametrizzazione dei flussi turbolenti verticali di quantità di moto e calore, dimostrando di essere uno strumento utile per lo studio dell'evoluzione della stratificazione verticale di temperatura (Burchard and Bolding, 2001). GOTM fornisce quindi, un'utile piattaforma per confrontare molte parametrizzazioni dello strato limite superficiale dell'oceano. Il successo della modellazione della turbolenza all'interno di GOTM ha portato all'uso di questo modulo in modelli di circolazione generale oceanica come il General Estuarine Transport Model (GETM), il Regional Ocean Modelling System (ROMS), il Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO), il Semi-implicit Cross-

scale Hydrosceince Integrated System Model (SCHISM), il Finite Volume Community OceanModel (FVCOM) e il Proudman Oceanographic Laboratory Coastal Ocean Modelling System (POLCOMS). Una dettagliata descrizione della fisica e dei metodi numerici usati in GOTM può essere trovata in <https://gotm.net/manual/stable/pdf/a4.pdf>

1 Descrizione delle attività svolte e risultati

1.1 impatto delle differenze nelle stime dei flussi di calore sulle simulazioni numeriche

In questa sessione vengono descritti gli esperimenti numerici effettuati con GOTM per studiare la variabilità dei processi legati agli scambi di calore e momento per una varietà di forzanti atmosferici disponibili. La simulazione GOTM è stata avviata il 4 giugno 2017 ed è andata avanti per un anno in corrispondenza del periodo in cui la maggior parte delle misure oceanografiche ed atmosferiche erano disponibili sulla boa oceanografica ENEA di Lampedusa. Le condizioni iniziali sono state impostate come i profili verticali medi di temperatura e salinità, acquisiti molto vicino alla boa durante una crociera oceanografica il 3 e 4 giugno 2017 (Figura 1).

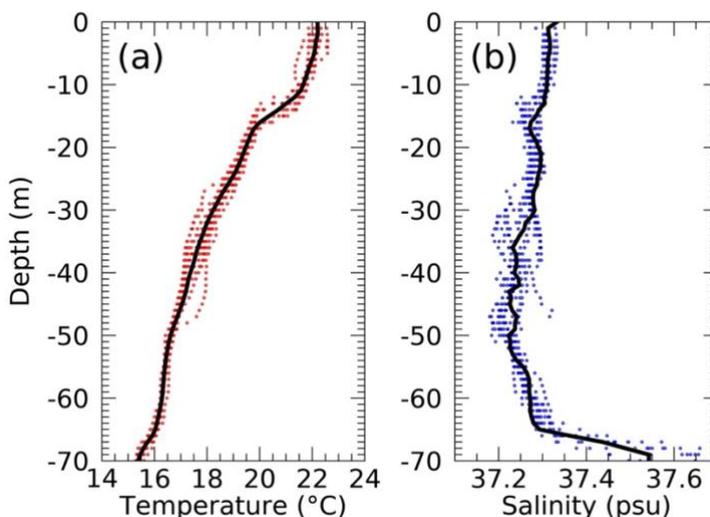


Figura 1. Profili di temperatura (a) e salinità (b) acquisiti dal 3 al 4 giugno 2017 in prossimità della boa oceanografica di Lampedusa ((35.49°N, 12.47°E). I punti rappresentano i singoli profili. Le linee nere rappresentano invece i profili medi di temperatura (a) e salinità (b) utilizzati come condizione iniziale per la simulazione.

Partendo dalle condizioni iniziali di figura 1, il modello è stato forzato utilizzando diversi data set per le componenti dei flussi di calore: misurati in situ presso l’osservatorio di Lampedusa, forniti da ERA5 o stimati da dati satellitari. Lungo la verticale sono stati utilizzati 140 livelli in 70 m di fondale con risoluzione verticale crescente fino a 4 cm in prossimità della superficie. l’intervallo temporale utilizzato per le simulazioni è stato di 60 sec, salvando le uscite ogni ora.

Per il confronto con tutte le simulazioni numeriche sono state utilizzate le misure di temperatura dell’acqua acquisite dal sensore SBE39Plus della boa. Il sensore si trova alla profondità media di 1

m benché tale profondità, per effetto del moto ondoso, può essere soggetta a piccole variazioni tipicamente inferiori al metro. Di fatto, la variabilità della profondità di misura è considerata utilizzando il sensore di pressione della SBE39Plus, associando quindi ad ogni singola profondità di misura il corrispondente livello verticale del modello.

La configurazione del modello in termini di parametri ed opzioni e di chiusura turbolenta attenuazione della luce con la profondità e condizioni al bordo è riportata in tabella 1.

Tabella 1. Opzioni per i differenti parametri utilizzati in GOTM

| | Parametro | Opzione |
|---|---|---|
| 1 | Flussi alla superficie (calore e momento) | Prescribed (From ERA5, in situ measurements or Satellite data) |
| | | Calculated (using meteorological inputs: measured or ERA5) |
| 2 | Radiazione ad onda corta | Prescribed (From ERA5, in situ measurements or Satellite data) |
| | | Calculated (using ERA5 Cloud Cover): Rosati and Miyakoda 1988 + Payne 1972 for the albedo |
| 3 | Radiazione ad onda lunga | Prescribed (From ERA5, in situ measurements or Satellite data) |
| | | Bignami et al. 1995: Calculated (using ERA5 data or in situ measurements) |
| 4 | Chiusura turbolenta | turbulence model calculating turbulent kinetic energy and length scale |
| 5 | Tipo di equazione per l'energia cinetica turbolenta | Dynamic equation (k- ϵ style) |
| 6 | Length scale method | Dynamic dissipation rate equation |
| 7 | Stability method | Constant stability functions |
| 8 | Estinzione della luce | Jerlov Type I, 1968 |

Utilizzando la configurazione riportata in tabella 1 sono stati effettuati diversi esperimenti numerici che differiscono tra di loro solo per l'uso di differenti parametrizzazioni o prodotti di flusso di calore all'interfaccia aria-mare (tabella 2).

I primi due esperimenti sono stati dedicati alla valutazione dell'impatto di dati meteorologici derivati dalle misure in situ o dalle rianalisi ERA5 sulla simulazione della temperatura del mare alla profondità del sensore nominalmente installato ad 1 m. I dati meteo vengono utilizzati dal modello per il calcolo dei flussi di calore e momento "while running". In questo particolare caso i dati meteo forniti al modello sono stati: temperatura dell'aria e temperatura di rugiada in prossimità della superficie, frazione di copertura nuvolosa, vento a 10 m e pressione atmosferica. Tutti questi dati, ad eccezione della copertura nuvolosa sono disponibili sia da ERA5 che dalle misure della boa. Quindi, poiché le misure della frazione di copertura nuvolosa non erano effettuate sulla boa, entrambi gli esperimenti sono stati eseguiti utilizzando la frazione di copertura nuvolosa ERA5, il che implica che l'irradianza netta a onda corta era la stessa in entrambi i casi.

I risultati delle varie simulazioni sono riportati e confrontati in tabella 2 e figura 1. Il confronto mostra che entrambi gli esperimenti 1 e 2 riproducono correttamente il ciclo annuale con prestazioni molto simili. I due esperimenti infatti sottostimano (esperimento 1) e sovrastimano (esperimento 2) la temperatura a 1 m di circa un decimo di grado. Lo stesso vale per l'errore quadratico medio che in entrambi i casi vale circa 0.4 °C e il coefficiente di correlazione che è molto vicino all'unità.

Le simulazioni successive sono state effettuate imponendo i flussi all'interfaccia aria-mare piuttosto che lasciarli calcolare al modello sulla base delle informazioni meteorologiche e della temperatura superficiale simulata ad ogni step di integrazione.

Tabella 2. Sommario degli esperimenti numerici effettuati. Per esperimento viene riportata: la perdita netta di calore dal mare verso l'atmosfera (latente + sensibile + onda lunga), il guadagno di calore dovuto all'onda corta e il flusso netto. Inoltre, nelle ultime tre colonne sono riportati il Mean Bias Error (MBE), il Root Mean Squared Error (RMSE) e il coefficiente di correlazione, che esprimono la differenza media, l'errore quadratico medio e il coefficiente di correlazione della temperatura simulata rispetto alla temperatura di riferimento misurata sulla boa. *uguali poiché entrambi basati sulla copertura nuvolosa di ERA5. + uguali perché si tratta comunque di irradianza ad onda corta da ERA5.

| Esperimento | Forzante | Flusso dal mare (W/m ²) | Flusso verso il mare (bilancio ad onda corta) (W/m ²) | Flusso netto (W/m ²) | MBE (°C) | RMSE (°C) | Coefficiente di correlazione |
|-------------|--|-------------------------------------|---|----------------------------------|----------|-----------|------------------------------|
| 1 | Flusso di calore e momento calcolati da GOTM usando bulk formulae con dati meteorologici ERA5 | -215.2 | 217.4* | 2.2 | -0.08 | 0.40 | 0.997 |
| 2 | Flusso di calore e momento calcolati da GOTM usando bulk formulae con dati meteorologici in situ | -215.8 | 217.4* | 1.6 | 0.13 | 0.42 | 0.997 |
| 3 | Flussi di calore da ERA5 | -198.8 | 216.6+ | 17.8 | 1.07 | 0.55 | 0.995 |
| 4 | Flussi di calore da ERA5 ma onda corta da dati in situ | -198.8 | 215.7 | 16.9 | 1.17 | 0.58 | 0.994 |
| 5 | Flussi di calore da ERA5 ma onda corta da SEVIRI | -198.8 | 221.7 | 22.9 | 1.80 | 0.61 | 0.991 |
| 6 | Flussi di calore da ERA5 ma onda lunga da misure in situ | -182.6 | 216.6+ | 34.0 | 2.68 | 0.95 | 0.978 |
| 7 | Flussi di calore da ERA5 ma onda lunga da SEVIRI | -176.2 | 216.6+ | 40.4 | 3.54 | 1.08 | 0.973 |

Prima di passare alle simulazioni con flussi imposti è stato effettuato un test preliminare, fornendo a GOTM i flussi di calore e di quantità di moto calcolati applicando le stesse formule empiriche e gli stessi dati utilizzati negli esperimenti 1 e 2. Il modello ha restituito gli stessi risultati della versione "calcolata dal modello", dandoci la certezza che le differenze ottenute fornendo direttamente flussi di calore diversi possono essere interamente attribuite al set di dati selezionato e non a differenze di come le formule empiriche sono trattate dal modello o da noi stessi.

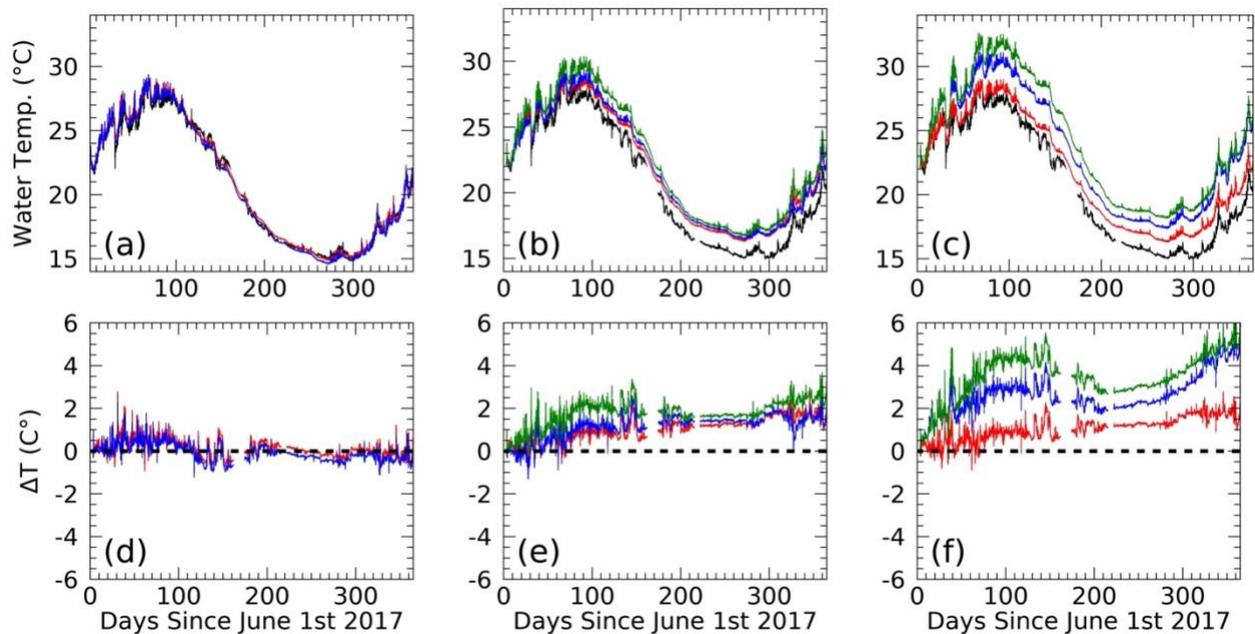


Figura 1. Confronto tra simulazioni della temperatura del mare ad 1 m di profondità e simulazioni. Misura in situ della temperatura dell'acqua a 1 m di profondità (curve nere in (a - c)) e temperature dell'acqua simulate alla stessa profondità utilizzando flussi di momento e calore calcolati dal modello a partire da dati meteo ECMWF (curva rossa - esperimento 1) of in situ (curva blu - esperimento 2). Pannello (b) simulazione fornendo direttamente i flussi da ERA5 (curva rossa - esperimento 3), da ERA5 ma utilizzando l'irradianza ad onda corta misurata in situ (curva blu - esperimento 4), da ERA5 ma utilizzando l'irradianza ad onda corta fornita da SEVIRI (curva verde). Pannello (c) simulazione fornendo direttamente i flussi da ERA5 (curva rossa -esperimento 5), da ERA5 ma utilizzando l'irradianza ad onda lunga misurata in situ (curva blu -esperimento 6), da ERA5 ma utilizzando l'irradianza ad onda lunga fornita da SEVIRI (curva verde - esperimento 7). Le differenze tra le temperature misurate e simulate a 1 m di profondità sono riportate nei pannelli d, e, f, per: (d) Esperimento 1 (rosso) e esperimento 2 (blu). (e) Esperimento 3 (rosso), esperimento 4 (blu) ed esperimento 5 (verde). (f) Esperimento 3 (rosso), esperimento 6 (blu) e esperimento 7 (verde).

Utilizzando la configurazione mostrata in tabella 1, gli esperimenti con flussi di calore sono iniziati utilizzando direttamente i flussi forniti da ERA5 (esperimento 3) che va considerato quindi come una sorta di riferimento per quelli successivi. In questo caso il flusso netto imposto era di 17.8 W/m² (media annuale) a cui è corrisposta una sovrastima della temperatura a 1 m di circa 1°C in presenza di un errore quadratico medio di circa 0.6 °C.

Nel caso degli esperimenti 4,5,6, e 7). La sovrastima della temperatura è andata via via aumentando raggiungendo il valore di 3.5 °C dell'ultimo esperimento.

2 Conclusioni

Nella precedente fase del progetto (report LA1.11) è stata fatta una valutazione dei parametri essenziali per il calcolo dei flussi di calore tra aria e mare concludendo che gli errori sulle stime erano, nella maggior parte dei casi, molto piccoli ma segnalando che, in ogni caso, era necessaria una valutazione dell'impatto di tali errori potrebbero avere sulle stime in specifiche applicazioni.

In questo rapporto è stato valutato l'impatto delle diverse stime dei flussi di calore e delle procedure per calcolarli sulle simulazioni prodotte da un modello unidimensionale (GOTM) per la temperatura dell'acqua marina, in prossimità della superficie. Le simulazioni sono state prodotte attraverso un intero ciclo stagionale dal 4 Aprile 2017 al 3 Aprile 2018.

Nel caso in cui i flussi di calore sono stati stimati dal modello utilizzando i dati meteorologici acquisiti dalla boa meteo-oceanografica di Lampedusa o dedotti dalle rianalisi ERA5, i valori di temperatura simulati concordavano molto bene con i dati di riferimento in situ: la sottostima era $-0,1$ °C quando il modello è stato eseguito con i dati meteorologici in situ mentre si osservava una sovrastima di $0,1$ °C quando sono stati utilizzati i dati meteorologici forniti da ERA5 (Figura 1 e tabella 2).

Al contrario, quando i flussi di calore sono stati imposti piuttosto che calcolati nel modello utilizzando dati meteo, la distanza tra le temperature simulate e quelle misurate risultata più consistente. In effetti, quando la simulazione è stata effettuata utilizzando ERA5 ma sostituendo la radianza ad onda corta della rianalisi con le misure in situ si è trovata ancora una buona corrispondenza tra la temperatura dell'acqua modellata e quella misurata su un intervallo di tempo relativamente esteso (circa un mese a partire dall'inizio della simulazione), durante il quale il contributo dell'avvezione laterale potrebbe essere stato trascurabile (figura 1 b). Per il restante periodo della simulazione la differenza si attesta intorno al grado centigrado.

Le differenze più grandi si osservano quando la radiazione ad onda lunga calcolata da GOTM viene sostituita con irradianze prodotte da ERA5, o misurate da satellite. Usando direttamente i flussi di ERA5 il bilancio netto di calore su base annuale si allontana da situazioni di bilancio nullo o quasi ottenuta usando dati meteo per attestarsi intorno a 17 W/m² di guadagno netto del mare e quindi una sovrastima della temperatura dell'acqua di poco più di 1 °C. Risultati simili sono stati ottenuti utilizzando flussi ERA5 in cui l'irradianza ad onda corta era misurata in situ. Valori ancora più alti di bilancio annuale di calore e sovrastima della temperatura dell'acqua sono stati osservati utilizzando dati SEVIRI sia per l'onda corta che per quella lunga; $22,9$ W/m² and $40,4$ W/m² rispettivamente a cui corrispondono sovrastime della temperatura dell'acqua di $1,80$ °C e $3,54$ °C. Ovviamente, non è possibile escludere che questo risultato insoddisfacente per i dati SEVIRI possa essere parzialmente causato dalla compensazione di una sovrastima/sottostima in un termine di flusso con un altro, dato che anche i flussi latenti e sensibili contribuiscono al bilancio totale.

Una trattazione corretta del problema implicherebbe la necessità di disporre di stime satellitari di tutte le componenti del flusso. Ad oggi, solo i dati satellitari geostazionari sono in grado di fornire dati con una risoluzione temporale sufficiente a risolvere il ciclo diurno, escludendo le latitudini superiori a 60 °N e 60 °S. In queste alte latitudini, solo i satelliti in orbita polare possono fornire dati sul flusso radiativo con sufficiente frequenza temporale grazie all'intensificazione delle orbite nelle zone polari. D'altra parte va notato che l'irradianza ad onda lunga prodotta da SEVIRI è il risultato di una parametrizzazione empirica che combina gli output del modello NWP ECMWF e la stima della copertura nuvolosa derivata da satellite e quindi non può essere considerato un prodotto satellitare completo, essendo il contributo del

satellite limitato alla determinazione della copertura nuvolosa (vedi http://www.osi-saf.org/lml/doc/osisaf_cdop3_ss1_atbd_geo_flx.pdf).

Inoltre, le misure del flusso di calore latente e sensibile da satellite si basano principalmente su dati a microonde che stimano empiricamente le variabili meteorologiche, che a loro volta entrano in formule empiriche (per un esempio, vedi Algorithm Theoretical Basis Document HOAPS release 3.2 https://www.cmsaf.eu/SharedDocs/Literatur/document/2011/saf_cm_dwd_atbd_hoaps_1_1_1.pdf). Questo significa che le stime satellitari dei flussi turbolenti possono soffrire dello stesso problema di qualsiasi determinazione equivalente basata su formule empiriche.

La sfida per il futuro è quindi quella di puntare comunque sulle future missioni spaziali con particolare riferimento alle misure nella banda delle microonde.

Le future missioni a microonde, come il Copernicus Imaging Microwave Radiometer (CIMR) e il Geostationary Interferometric Microwave Sounder (GIMS) (Liu et al., 2011) potrebbero fornire dati con frequenze giornaliere, o anche sub-giornaliere, risolvendo il ciclo diurno su scala globale, potenzialmente utile per le stime del flusso di calore turbolento. Il CIMR contribuirà alle stime dei flussi turbolenti di calore all'interfaccia aria-mare e umidità in prossimità della superficie, contemporaneamente a misure di temperatura superficiale del mare, velocità del vento, salinità della superficie del mare, ghiaccio marino, tasso di pioggia e acqua liquida integrata nelle nuvole, aprendo una nuova era per applicazioni satellitari senza precedenti.

3 Bibliografia

Biglami, F.; Marullo, S.; Santoleri, R.; Schiano, M.E. Longwave radiation budget in the Mediterranean Sea. *J. Geophys. Res. Ocean.* **1995**, *100*, 2501–2514.

Burchard, H.; Bolding, K.; Ruiz-Villarreal, M. *GOTM, a General Ocean Turbulence Model. Theory, Implementation and Test Cases*; Technical Report EUR 18745; Joint Research Centre, European Commission: Ispra, Italy, 1999.

Burchard, H.; Bolding, K. Comparative Analysis of Four Second-Moment Turbulence Closure Models for the Oceanic Mixed Layer. *J. Phys. Oceanogr.* **2001**, *31*, 1943–1968.

Jerlov, N. *Optical Oceanography*; Elsevier Publishing Company: Amsterdam, The Netherlands; London, UK; New York, NY, USA, 1968; Volume 5.

Liu, H.; Wu, J.; Zhang, S.; Yan, J.; Niu, L.; Zhang, C.; Sun, W.; Li, H.; Li, B. The Geostationary Interferometric Microwave Sounder (GIMS): Instrument overview and recent progress. In Proceedings of the 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, BC, Canada, 24–29 July 2011; pp. 3629–3632.

Payne, R.E. Albedo of the Sea Surface. *J. Atmos. Sci.* **1972**, *29*, 959–970.

Rosati, A.; Miyakoda, K. A General Circulation Model for Upper Ocean Simulation. *J. Phys. Oceanogr.* **1988**, *18*, 1601–1626.

Umlauf, L.; Burchard, H. Second-order turbulence closure models for geophysical boundary layers. A review of recent work. *Cont. Shelf Res.* **2005**, *25*, 795–827.