



IMPORTANZA DELLE TEMPERATURE SUPERFICIALI MARINE

Alcuni eventi meteorologici estremi nel Mar Mediterraneo

Ten. Giancarlo MODUGNO¹



Sommario

Le superfici marine ricoprono un ruolo particolare nello scambio energetico con l'atmosfera, il quale diviene cruciale durante fenomeni meteorologici intensi (come la convezione a mesoscala) oppure durante eventi legati alla circolazione generale (come gli anticicloni di blocco estivi). Nel recente regime climatico si osservano continue occasioni in cui le temperature superficiali marine (*Sea Surface Temperature* - SST) presentano anomalie positive. Conseguentemente la loro conoscenza in maniera dettagliata può determinare o meno la stima della previsione dell'intensità di eventi estremi. In questo articolo si mostrano i risultati di uno studio di sensibilità sulla supercella di Taranto del 28 Novembre 2012 e dell'influenza delle SST sull'ondata di calore molto intensa e persistente dell'Agosto 2003.

Abstract

Marine surfaces play a special role in the Energy exchange with the atmosphere, which becomes crucial during exceptional meteorological phenomena (such as the supercell) or

¹Centro Operativo per la Meteorologia, Pratica di Mare



during events related to the general circulation (such as summer high pressure). During the recent climate regime, positive anomalies of sea surface temperature (called SST) are observed in continuous occasions; consequently the knowledge of their values in a detailed manner may or may not determine the prediction of intensity of extreme events. This article shows some sensitivity studies on the Taranto supercell on 28 November 2012 and the influence of SST on the intense heatwave of August 2003.

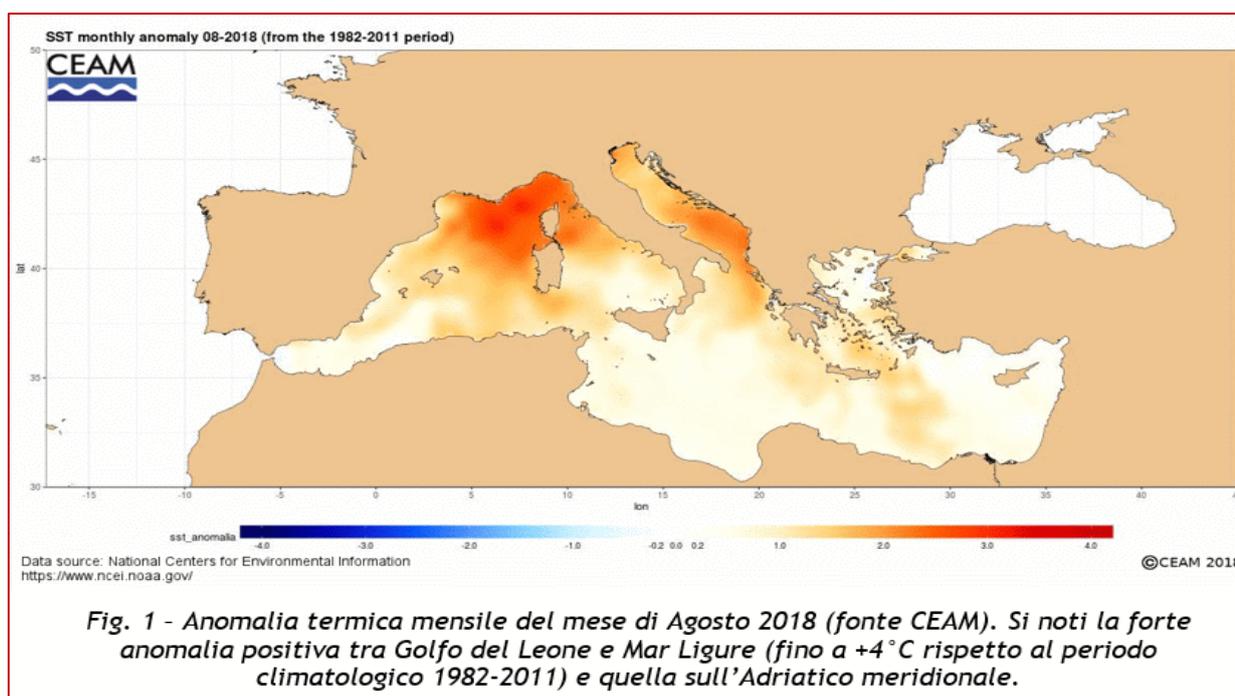
1. Introduzione

Uno degli scenari a cui stiamo già assistendo è il riscaldamento anomalo delle temperature superficiali marine del Mar Mediterraneo.

Il 2018, così come anche molti degli anni passati, ha portato forti anomalie positive delle SST (figura 1) e questo fenomeno è fortemente collegabile a eventi estremi e a volte poco predicibili sulle coste del Mediterraneo, Italia compresa. In particolare, possiamo trovare collegamenti con la formazione di supercelle portatrici di abbondanti piogge ma anche di *Tropical Like Cyclone*, (TLC) strutture cicloniche instabili e intense che presentano similitudini ai cicloni

tropicali. Il principio fisico che sta alla base dell'intensificazione di questi fenomeni meteorologici è il maggiore rilascio di calore latente di condensazione, utile a fornire il "carburante" alla perturbazione aumentando l'instabilità atmosferica verticale: maggiori saranno le SST maggiore sarà l'instabilità atmosferica e la potenziale violenza della perturbazione meteorologica. Tuttavia, come vedremo nel paragrafo 4, è possibile che anche determinate configurazioni sinottiche stabili, come gli anticicloni persistenti estivi, possano portare disagi in concomitanza di forti anomalie positive di SST.

Kirtman (2013) ha mostrato che la frequenza e l'intensità degli eventi precipitativi sulla



terraferma aumenteranno in media nel breve termine climatologico² (seppur con differenze regionali), mentre per il lungo termine Collins (2013) ha evidenziato che vi saranno tempeste sempre più violente con l'aumento delle temperature. Consideriamo, infine, la difficoltà di prevedere ad oggi i fenomeni meteorologici più violenti quali tornado, supercelle e TLC a causa di più fattori, come per esempio la necessità di alta risoluzione nei modelli meteorologici ma soprattutto la ridotta risoluzione delle SST utilizzate come condizioni al contorno sempre negli stessi modelli (vedremo più avanti quanto importante sia questo fattore ai fini della comprensione dell'effetto delle anomalie di SST sulla formazione della supercellatornadica). Un'errata comprensione delle condizioni iniziali delle SST potrebbe portare asottostime o sovrastime della

potenziale intensità nelle situazioni critiche previste nel futuro più vicino a noi.

2. SST: trend in aumento

Uno studio molto recente (Pastor, 2017) ha mostrato i risultati dell'analisi di dati satellitari delle SST del Mar Mediterraneo dal 1982 al 2016, evidenziando la grande varietà termica che caratterizza il bacino.

L'analisi dei dati è stata effettuata filtrando i dati in tre modi diversi sulla scala temporale (giornaliera, mensile, stagionale), riscontrando un evidente e significativo trend al rialzo generale ($1.27^{\circ}\text{C} \pm 0.12^{\circ}\text{C}$ dal 1982 al 2016); inoltre, va considerato che il periodo climatologico presenta tre diversi trend interni, di cui quello più recente più grande del precedente di un fattore 1.8 (il periodo dal 1993 al 2016).

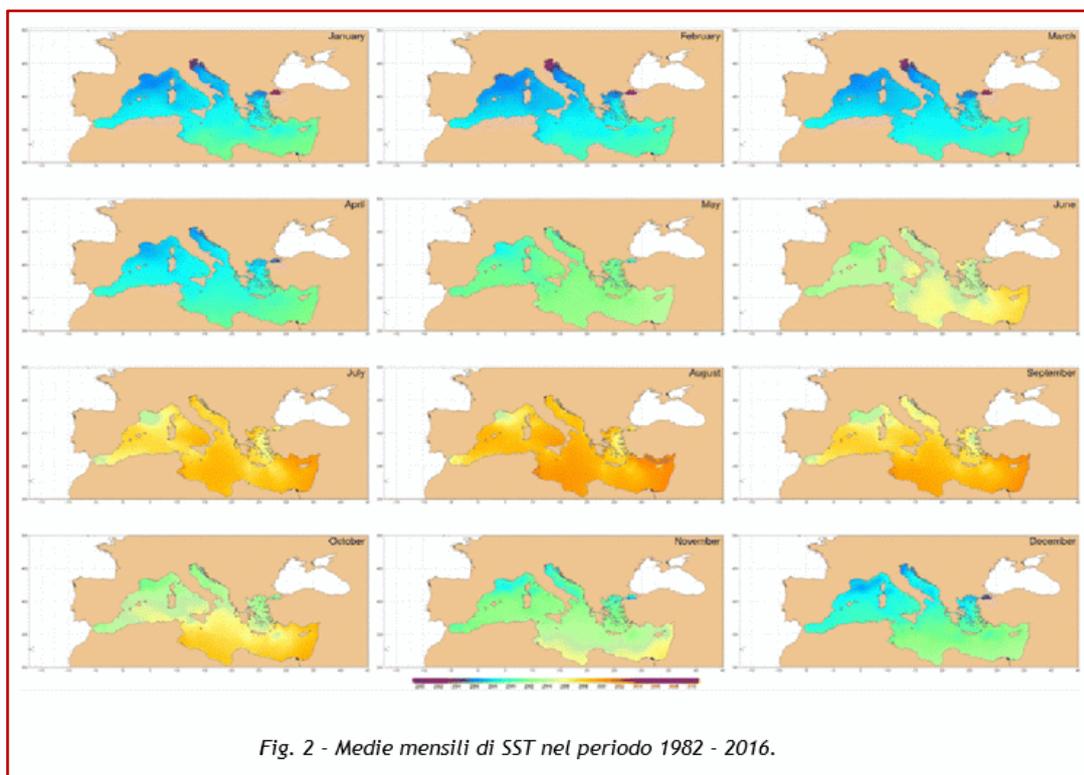


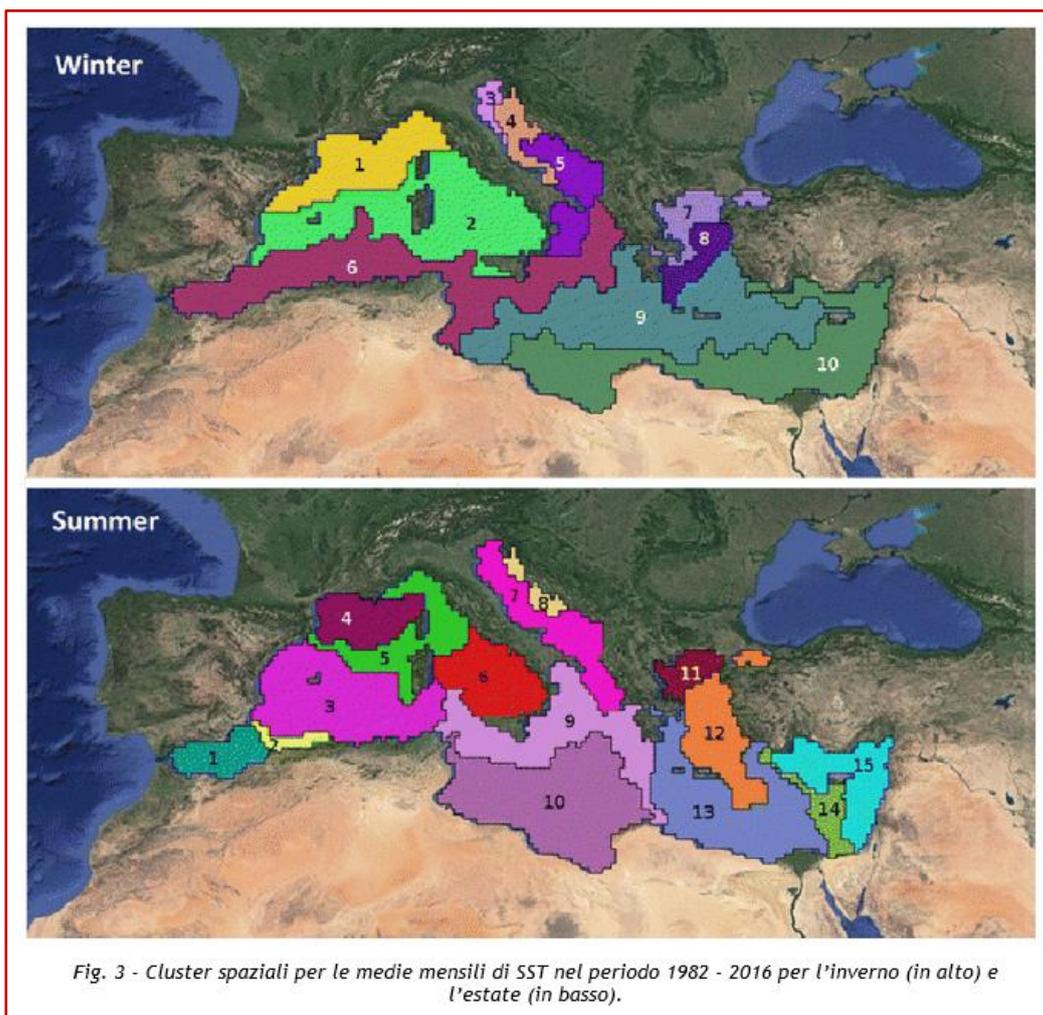
Fig. 2 - Medie mensili di SST nel periodo 1982 - 2016.

²Per breve termine climatologico s'intende un periodo lungo almeno 30 anni.



Il Mar Mediterraneo, sebbene un bacino quasi chiuso e relativamente piccolo, mostra notevoli differenze spaziali e temporali nella distribuzione del riscaldamento riscontrato; di conseguenza il primo risultato fondamentale è che nelle simulazioni di sensibilità modellistica sugli scenari futuri potrebbe essere un'impresione utilizzare SST uniformi e si dovrebbe tenere conto delle varie distribuzioni, gradienti e pattern tipici con cui si riscalda il bacino. E' importante considerare altri due aspetti circa l'evoluzione dello scenario termico mediterraneo. Il primo è che il riscaldamento riscontrato potrebbe appartenere in parte a un ciclo di 70 anni citato in un'altra

pubblicazione (Marullo et al, 2011), il quale ciclo avrebbe un minimo all'inizio degli anni 80 e un potenziale massimo tra il 2015 e il 2020. Il secondo è un meccanismo secondo il quale al di sotto dei 4000 m di altitudine circa sul mar Mediterraneo ci sarebbe un accumulo di vapore acqueo e di particelle inquinanti che produrrebbe un maggiore effetto serra "interno", andandosi a sommare alla variabilità naturale e al trend climatico in atto (una sorta di feedback positivo interno). Quindi non è del tutto chiaro se questo trend debba continuare con questo andamento, forzato dal feedback interno del vapore acqueo, oppure se esso sia parte di un ciclo intrinseco naturale.



3. Mare più caldo, updraft più intenso

Nello studio di Miglietta et al. (2017) si mostrano i risultati di uno studio di sensibilità attraverso modelli numerici sull'evento tornadico di Taranto del 28 Novembre 2012: l'evento è stato eccezionale con intensità catalogabile tra EF2 e EF3, venti che hanno probabilmente superato in maniera abbondante i 200 km/h e provocato purtroppo anche numerosi feriti e una vittima.

I tornado nascono generalmente da strutture temporalesche imponenti quali le supercelle, caratterizzate da una rotazione della struttura causata da un forte *wind-shear* nei bassi strati. È proprio il caso della supercella che ha attraversato Taranto il 28 Novembre 2012: il radiosondaggio di Brindisi, a 70 km da Taranto alle 12 UTC, mostrava un vento a 10 m di altezza di 6 m/s e a 686 metri di altezza di 28 m/s. Le montagne della Sila (2000 mt, Calabria³) hanno avuto un ruolo chiave nello sviluppo temporalesco convettivo a causa dell'avvezione di alte temperature equivalenti potenziali nei bassi strati e di aria fredda nella media troposfera, insieme al forte *wind-shear* verticale. L'esperimento di Miglietta (Fig. 4) et al. (2017) pone in essere l'ipotesi che una certa modifica delle SST possa avere un effetto notevole sull'intensità della supercella. Nelle simulazioni di sensibilità modellistica le SST sono state variate uniformemente rispetto alla simulazione di controllo in difetto ed eccesso di 0.5 K e 1 K, lasciando inalterati gli altri parametri atmosferici.

In tal modo, lo strato limite planetario ha cambiato la sua struttura termica nei bassi strati, determinando in ogni esperimento un diverso impatto da parte delle SST sullo sviluppo della supercella. In particolare,

l'indicazione sui cambiamenti descritti può essere valutata calcolando l'*updraft helicity* UH, un parametro diagnostico che identifica la capacità dell'aria di ruotare in una tempesta (dipende dalla vorticità e dalla velocità verticale dell'aria tra 2 e 5 km di altezza); al di sopra di $UH = 50m^2s^2$ solitamente riscontriamo i mesocicloni, mentre i valori al di sopra di $UH = 100m^2s^2$ sono associati a condizioni favorevoli allo sviluppo di tornado. Il risultato rilevante e sorprendente è che, considerando il quasi ovvio processo per cui più le SST sono alte e più energia è disponibile per la tempesta, l'aumento di UH diventa drammaticamente non lineare con l'aumento delle SST: infatti, il caso con SST più alte presenta UH di $800m^2s^2$ vicino la costa di Taranto, rispetto al valore della simulazione di controllo di $280m^2s^2$.

Si faccia attenzione a una considerazione ben precisa: il fatto che sia attestato un aumento di SST non implica necessariamente che vi possa essere un aumento della frequenza dei fenomeni meteorologici intensi considerati. Difatti, sono le condizioni sinottiche che pongono le basi dell'instabilità; le condizioni termodinamiche particolari (influenza delle SST in questi casi), invece, possono portare all'intensificazione delle strutture temporalesche.

La frequenza con cui avvengono questi eventi, invece, è strettamente collegata alle modifiche dinamiche dei pattern di circolazione meteorologica: un esempio di dinamica futura è mostrato in Romera et al. (2016): uno dei possibili effetti dei cambiamenti climatici futuri sul Mediterraneo è di diminuire la frequenza di TLC anche se si svilupperanno su SST maggiori (essenzialmente aumentano i periodi di alta

³ Vedasi "Numerical Simulations of a Tornadic Supercell over the Mediterranean", Miglietta et al, 2017.

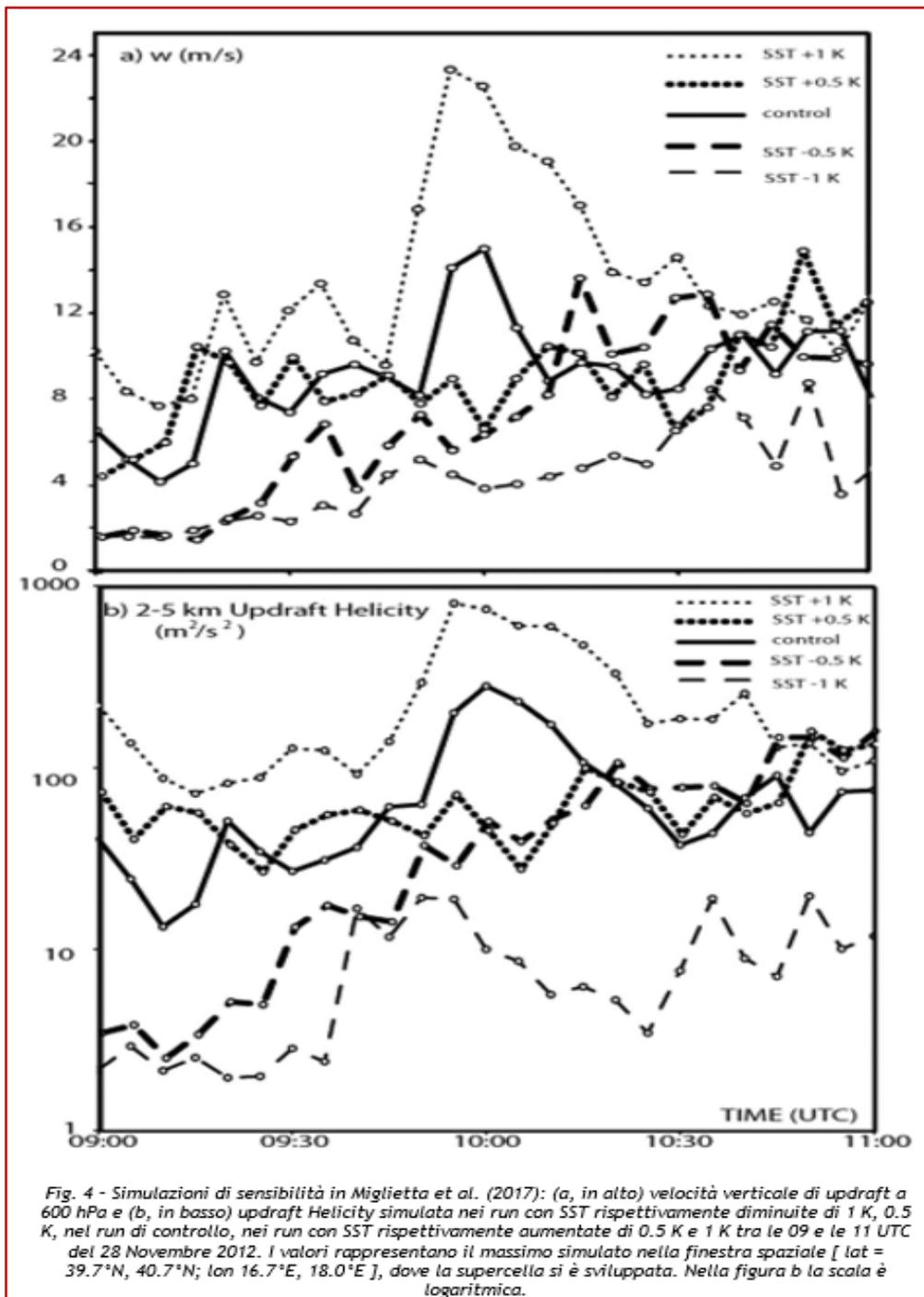


pressione e/o l'alta pressione dura molto di più).

4. Mare più caldo significa estate più calda?

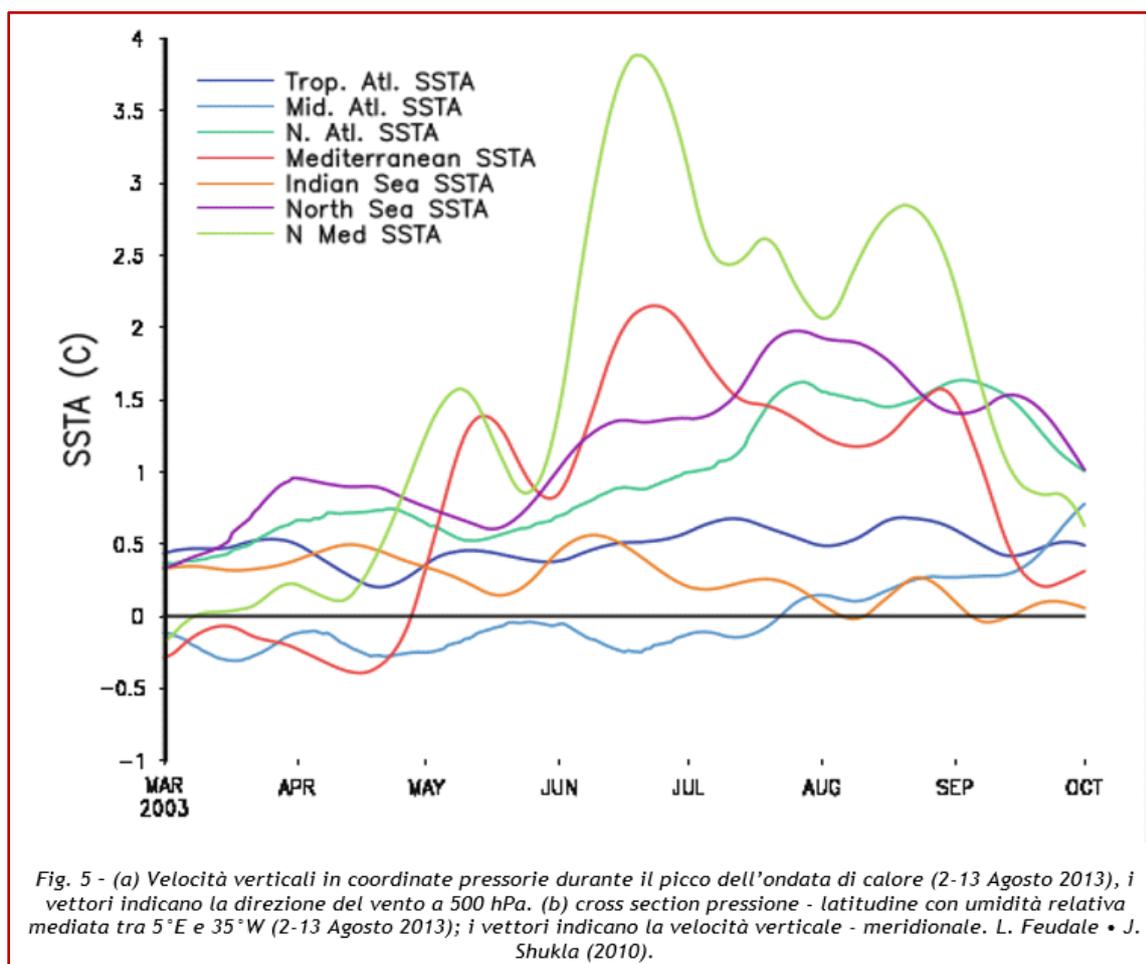
L'aumento di energia messa a disposizione dal mare, tuttavia, può essere un fattore

considerabile anche se si considerano particolari periodi meteorologicamente stabili, come gli anticicloni estivi di blocco. Per esempio, l'estate del 2003 è purtroppo famosa per aver portato numerosissimi disagi e decessi; per quell'evento l'anomalia termica positiva è stata in molte zone



superiore a 5 deviazioni standard (evento estremo) e l'anomalia positiva di SST potrebbe aver avuto un ruolo chiave per l'intensificazione dell'ondata di calore. Nello studio pubblicato nel 2010 da Feudale e Shukla si spiega che le condizioni di blocco anticiclonico di per sé non riescono a spiegare completamente il forte surriscaldamento troposferico nel caso dell'estate 2003 ed è necessario, quindi, considerare altri fattori che facciano da feedback per amplificare il riscaldamento, come la scarsità di precipitazioni (anche nella precedente primavera), l'umidità del suolo scarsa, le SST atlantiche e infine proprio le SST del Mediterraneo. Nella figura 5 è possibile notare che il riscaldamento superficiale dell'Oceano Atlantico e del Mediterraneo superficiali ha

iniziato nella primavera dello stesso anno, quando climatologicamente avrebbe avuto "senso" un raffreddamento a causa delle perturbazioni in transito. Questo riscaldamento è legato alla risalita dell'ITCZ, la linea di convergenza intertropicale, ovvero una linea di instabilità convettiva che abbraccia tutto il globo intorno all'equatore a causa della convergenza di correnti provenienti da nord e da sud e del forte riscaldamento nei bassi strati. In particolare, la risalita in questione di una ITCZ più robusta del normale sarebbe avvenuta sul deserto del Sahel rinforzando i moti discendenti consequenziali sui territori più a Nord, ovvero sul Sud Europa e sull'Oceano Atlantico provocando l'anomalia termica positiva di SST già in primavera.





Qual è il contributo marino? L'aumento sensibile di SST a nord ha permesso la riduzione del gradiente termico meridionale (dT/dy) tra il continente europeo e il Mare del Nord, attuando a sua volta una riduzione dell'attività baroclina nell'area mediterranea - europea e veicolando verso il Nord Atlantico le perturbazioni. Non essendoci attività baroclina né tantomeno ciclogenesi, quindi, la cella di *Hadley* ha avuto la possibilità di espandersi più a Nord allargando l'area e aumentando la persistenza dell'alta pressione.

Infine, sulla base di osservazioni e analisi composite, l'idea elaborata è che un determinato pattern di anomalia di SST generale possa aiutare a realizzare un specifico pattern di circolazione atmosferica, utile in questo caso alla formazione e/o intensificazione di un'ondata di calore. Le anomalie locali di SST, invece, possono avere una forte influenza sulla circolazione locale e più estesa (NDA: sinottica). Questo non significa necessariamente che le anomalie di SST mediterranee influenzano direttamente le ondate di calore europee, bensì che partecipino insieme ad altre concause alla sua formazione.

Quest'ultimo concetto viene ripreso nella seconda parte dello studio di Feudale e Shukla (2010) e dimostrato attraverso uno studio di sensibilità modellistica con le SST nel Mediterraneo (ovvero una simulazione in cui si variano determinati parametri per valutarne l'impatto su determinati pattern e/o situazioni di interesse).

Si giunge alla conclusione che l'influenza delle anomalie di SST fuori dal Mediterraneo sia importante per "inizializzare" l'ondata di calore; quest'ultima viene dunque amplificata dalle anomalie di SST all'interno del Mediterraneo e dal deficit di umidità nel suolo sulle aree che vi si affacciano.

5. Conclusioni

In conclusione, si può attestare che siamo in una chiara fase di riscaldamento nel bacino del Mediterraneo, il quale si manifesta in cluster spaziali e temporali a seconda della zona nel bacino stesso. Gli studi mostrano che assisteremo in futuro all'aumento della frequenza di eventi meteorologici intensi quali nubifragi e tempeste violente. Gli esperimenti di sensibilità mostrano che l'aumento delle SST nel Mediterraneo può portare all'aumento non lineare di alcuni parametri che diagnosticano la nascita di supercelle, dalle quali è più facile che nascano tornado e ci siano forti nubifragi; l'obiettivo fondamentale è poter discernere con precisione sui valori di SST da inserire nei modelli, a livello spaziale e temporale, per poter fare valutazioni numeriche più possibilmente vicine alla realtà (prevista), così da cercare di evitare sottostime e sovrastime dell'intensità dei fenomeni estremi in determinate zone che si affacciano sul Mediterraneo.

Inoltre, l'anomalia positiva di SST nel Mediterraneo si dimostra un pattern fondamentale per l'amplificazione delle ondate di calore estive qualora vi siano una serie di concause specifiche (ITCZ più alta, bassa baroclinicità primaverile estiva, suolo secco), dimostrando che anche i casi di stabilità atmosferica possono trasformarsi in situazioni di forte criticità per l'uomo (come il famoso evento dello smog in alta pressione del 5 Dicembre 1952 su Londra).



Bibliografia

Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichet, T. et al. (2013). Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In: Stocker, T.F., et al. (Eds.). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Kirtman, B., Power, S.B, Adedoyin, J.A., Boer, G.J., Bojariu, R. et al. (2013). Near-term climate change: Projections and Predictability. In: Stocker, T.F., et al. (Eds.), *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York.

Laura Feudale, Jagadish Shukla (2010), *Influence of sea surface temperature on the European heatwave of 2003 summer. Part I: an observational study*. *Climate Dynamic*.

Laura Feudale, Jagadish Shukla (2011), *Influence of sea surface temperature on the European heatwave of 2003 summer. Part II: a modeling study*. *Climate Dynamic*.

Mario Marcello Miglietta, Jordi Mazon, Vincenzo Motola & Antonello Pasini (2017). *Effect of a positive Sea Surface Temperature anomaly on a Mediterranean tornadic supercell*. *Scientific Reports, Nature*. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-13170-0>.

Marullo, S., Artale, V., & Santoleri, R. (2011). *The SST multidecadal variability in the Atlantic-Mediterranean region and its relation to AMO*. *Journal of Climate*, 24, 4385-4401.

Millán, M. (2014). *Extreme hydrometeorological events and climate change predictions in Europe*. *Journal of Hydrology*, 518(Part B), 206-224.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.041>.

MM Miglietta, J Mazon, R Rotunno (2017). *Numerical Simulations of a Tornadic Supercell over the Mediterranean*. *Weather and Forecasting* 32 (3), 1209-1226.

Modugno G, *Valutazione numeriche sull'impatto di un Tropical Like Cyclone in Italia - Rivista Meteo Aeronautica nr 3 del 2018*.

http://www.aeronautica.difesa.it/comunicazione/editoria/rivmeteorologia/orainedicola/Documents/03_2018/RM_03_2018.pdf.

Francisco Pastor (2017), Jose Antonio Valiente, José Luis Palau, *Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982-2016)*. *Pure and applied geophysics*, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-017-1739-z>.



Romera (2016), R. et al. *ClimateChangeprojection of medicanes with a large multi-model ensemble of regionalclimatemodels. Glob. Planet Change* 151, 134-143.

Sitografia

<https://www.nature.com/srep/>

<https://www.nature.com/articles/s41598-017-13170-0>

<https://www.inmeteo.net/blog/2012/11/28/tromba-d-aria-taranto-28-novembre-2012/>

<http://www.ceam.es/>

<http://www.aeronautica.difesa.it/comunicazione/editoria/rivmeteorologia/Archivio/Pagine/default.aspx>