

# Marine heatwaves in the Mediterranean Sea

### Simona Masina

Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici -CMCC Italy

*ICTP-CLIVAR Summer School* 24-29-July-2023

www.cmcc.it

## Outline

### • MHWs in the Med

➢ past conditions and trends

- Surface and subsurface conditions
- Heat waves in the Med-European region: clustering technique and drivers
- MHWs in the Med: work in progress on drivers
- Extreme MHWs in the Med

➢The 2003 event in the Med-European region

The 2022 MWH in the Med

➤The present situation

## Take home messages







Annual, basin-mean observed and simulated SST99Q and T99Q values (°C) and their linear trend for 1980–2017 for the different layers.

T99Q time series reveal a warming of about 0.02 °C/year at every layer, which decreases slightly with depth

29 events over 1982–2017, 20 days long, Imean of about 0.6 °C, max of 44% of the Mediterranean Basin.



to the MHW of 2003 and the highest duration to the 2015 event.



Relative to surface simulated events, **frequency of subsurface MHWs reduces** as we go deeper in the water Column. Conversely, their **ensemble-mean duration and severity monotonically increase with depth**.

Individually, the most notable MHWs at depth occur in different years from those at surface.



In deep layer longer preservation of the heat content in smaller regions, and longest duration. Surface temperature anomalies developed during the summer could propagate into the water column when it is weakly stratified.

## **Average marine heatwave intensity**



## Marked differences with depth.

At surface, mean event duration between 8 and 13 days, except for the Levantine Basin (~20–70 days) and some parts of the Aegean (~20 days) (model underestimates)

In deeper layers, average MHW duration increases progressively from 20 days at 23 m to 20–50 days almost everywhere at 41 and 55 m but far from boundary currents.

## **Average marine heatwave duration**



## **Towards stakeholder-relevant information**

#### **Exclusive Economic Zones (EEZs):**

providing MHW information on a national-scale creates a direct narrative on needs for observations and provides background for stakeholder-specific interactions

We propose ocean heat content (e.g. 0-20 m, 0-40 m, 0-100 m)



Dayan, H., et al. 2023.

For the subsurface we use a regional REANALYSIS at 1/24 horizontal resolution (observations are assimilated into a model)



## An assessment from the surface to the subsurface

### to meet national needs

Linear trends over the period 1987-2019 of SST (in °C/year)

## **Even adjacent EEZs may experience very different average conditions and long-term trends.**

Basin-scale patterns of trend are similar between SST and OHC (i.e. the peak warming occurs in the eastern part of the basin) but with notable exceptions (look at the negative cooling in Southern Greece)

It is not sufficient for national-level stakeholders to receive basin-scale information; a local viewpoint of ocean processes and changes is necessary.

Dayan et al., 2023

Black lines: Exclusive Economic Zone (EEZ)





Daily sea-surface temperature (SST) from NOAAOISSTV2 (Reynolds et al., 2007; Huang et al., 2020) from 1° January 1982 to 23rd November 2021 at a regular resolution of 0.25°x0.25°

- Summer MHW frequency and duration increase
- Winter MCS a linear decrease

 Positive linear tendency of mean intensity is observed only for the western Mediterranean

Simon et al., 2023



Since 1987, a substantial and significant increase in MHW frequency and total days across the basin at the surface and in the subsurface.



Surface

#### Subsurface (OHC 0-100 m)



#### Subsurface manifestation of MHWs can vary hugely



MHWs which manifest at the surface do not always leave a signal on the depth-integrated indicators

#### Heat waves in the Med-European region: clustering technique and drivers











Study period: 1950-2009

#### 78 Heatwave events

Six heatwave patterns obtained by a hierarchical clustering algorithm for the Euro-Mediterranean region:

- (a) 'Russian' cluster (RU),
- (b) (b) 'Western Europe' cluster (WE),
- (c) 'Eastern Europe' cluster (EE),
- (d) 'Iberian' cluster (IB),
- (e) 'North Sea' cluster (NS),
- (f) 'Scandinavian' cluster (SC).

Daily maximum temperature anomalies are in color and expressed in deg K and isolines are the 500 hPa geopotential height anomaly.



### WE European Summer blocking high



#### The Russian Cluster:

- T anomaly up to 4 °C
- 14 events
- Shape similar to the 2010 catastrophic event in Russia (note that the 2010 is not included in the analysis period)

#### The Western Europe Cluster:

- T anomaly up to 5 °C
- 11 events
- The first half of the 2003 August event belongs to this cluster
- The T pattern of the 2003 event is very similar to this cluster



#### The North Sea Cluster:

- T anomaly up to 6 °C (the hottest)
- 11 events
- Summer 1976 was very similar to this pattern

#### The Scandinavian Cluster:

- T anomaly up to 6 °C
- 10 events
- The first half of the 2003 August event belongs to this cluster
- The T pattern of the 2003 event is very similar to this cluster

## The Iberian pattern is caused by warm air advection from Tropical Atlantic



#### The Eastern Europe Cluster:

- T anomaly up to 4 °C
- 23 events
- Localized events around the Baltic and Black Sea

#### Stefanon et al., 2012



#### The Iberian Cluster:

- T anomaly up to 3 °C (weakest)
- 9 events
- Second center over Turkey
- <u>The only exception to the phase lock between the</u> <u>anticyclone and the temperature anomaly</u>





Correlation between the rainfall occurrence anomaly between January and May, and the detrended summer maximum temperature anomaly at the heatwave location.

In Western and Eastern Europe, a positive temperature anomaly in summer (heatwave) is associated with a precipitation deficit in winter and spring in Southern Europe.

## A similar clustering approach for the SST

- Cluster analysis of ESA-CCI SST (1981-2016)
- 187 events
- Six marine heatwave patterns obtained by a hierarchical clustering algorithm for the southern Europe-and western Asia



## The role of air-sea heat fluxes for Marine Heatwaves in the Mediterranean Sea ...work in progress



The contribution of Q' in driving a MHW onset/decline phase N is quantified through the following ratio of change

$$P(N) = \frac{\Delta SST_Q(N)}{\Delta SST'_{obs}(N)}$$

a positive heat flux contribution value during a MHW phase indicates a favoring role of heat flux in the SST evolution, i.e., a warming (cooling) effect of heat flux during onset (decline). Analogously, a negative contribution value during either an onset or a decline phase, indicates that heat flux opposes the corresponding SST tendency.

#### Denaxa et al. Submitted to the State of the Planet in the context of OSR#8

Surface heat fluxes contribute to the observed surface warming (cooling) during the onset (decline) in 92% (58%) events detected in the Mediterranean Sea



In 44% (17%) of the events, heat flux presents a major role during the development (decline) of MHWs, in terms of explaining more than half of the observed change in SST anomaly

Almost half (42%) of the observed MHWs in the basin decay under non-favorable heat flux conditions (i.e., heat flux opposing the SST decrease) → oceanic processes are the dominant driver of most MHW declines

#### Denaxa et al. submitted



- Short-lasting onset/decline phases (shorter than 5 days) tend to experience a smaller contribution of heat flux in forming the SST evolution, compared to longer phases
- There is an inverse relationship between MHW severity and the contribution of heat fluxes

Denaxa et al. submitted

## The 2003 HW Event



Surface air temperature anomalies (in °C, with respect to the 1961 to 1990 reference period), June–August 2003. Data source: Hansen et al., 2001; NASA/GISS



- At European scale, the temperatures exceeded +1.9°C (around two standard deviations)
- Daily max temperature were 7.5°-12.5°C above average
- Estimate of around 40,000 deaths were registered in Europe

Garcia Herrera et al., 2010

## The 2003 MHW Event



Bonino et al., 2023



Monthly anomalies of 500 hPa geopotential height and 850 hPa T anomaly (colored square)

Stefanon et al., 2012

Garcia Herrera et al., 2010

#### Mean of 5 days prior the first peak of cluster 2 events -> JJA season

Work in progress...





• the prolonged high sea surface temperatures (SST) in the northern North Atlantic and the Med

NO CONSENSUS on the driver/consequence contribution to the European Heat Wave

Garcia Herrera et al., 2010

## The 2003 MHW Event in the Ligurian Sea



- Data show that the anomalous warming was prevalently confined to within a few meters below the sea surface.
- The limited vertical propagation of heat is ascribed to the high temperature difference that arose between the surface and the deeper layers due to protracted calm weather conditions.
- Reduced wind activity may have been
  the principal cause of the temperature anomaly at the sea surface.
- The analysis of the wind speed at the original time resolution (one hour) from May to September revealed that the year 2003 was characterised by long periods with low wind speeds, especially from June to August. Such long periods of persistently calm weather conditions are generally not observed during the summer months in this area

Sparnocchia et al., 2006

### Seasonal Forecasts of Med 2003



Box plots represent the median, interquartile range, and range of the 40-member forecast ensemble.

MHWs which manifest at the surface do not always leave a signal on the depth-integrated indicators

Subsurface extreme indicators are easier to predict than commonly-used surface indicators

### Seasonal Forecasts of N.E. Pacific 2014



**Subsurface extremes**: there are general patterns (e.g., duration increases with depth)

Mc Adam et al., 2023

## MHW of Summer 2022

fe Monde

<sup>6</sup> PLANÈTE



#### Alerte à la canicule marine en Méditerranée

Les anomalies de température au large de l'Espagne, de la France et de l'Italie menacent les écosystèmes

-		ten organization restored in the second	202		
es ecosystemes de la mer Méditerranée sont-ils ir-	3aout au 2 septembre. « Dans l'at- mosphère, une canicule ne dure	des et la region de Criypre. Cette année, a contrario, la canicule ma-	«Matheureusement, les resul- tats de nos travaux montrent que	«L'événement	elle aussi de la mer Rouge, le
rémédiablement en pé-	jamais aussi longtemps. Dans la	rine frappe la partie occidentale,	la mer Méditerranée est en train	en cours est	poisson lion (Pterols miles), com-
mile est de que commen-	mer, our. sur les cores françaises,	sur environ 50 % a 60 % de sa su-	ae sabb une acceleration des im-	l'un des dix plus	lante qui se pourrit coulôment
lumière des canicules marines	mai fin inin at fin inillet and de-	nicule de l'été 2003. Les côtes du	ment dimetione locuelle consti-	excentionnels	des larges de poissons et de crus-
qui se multiplient dans la Grande	vmient être suivis d'une nouvelle	Maghreb sont du reste moins tou-	tue une menace sans précédent	de ses desethers	tacés locaux en multipliant
Bleue, Cet été, le phénomène	hausse début août », précise l'ex-	chées actuellement. Et en Grèce	pour la santé et le fonctionne-	de ces dernieres	par 30 le volume de son estomac.
s'avère particulièrement préoc-	pert de Météo-France. En face	et en Egypte, la mer est même	ment de ses écosystèmes », pointe	années»	Le premier spécimen avait été
cupant. Un différentiel de 6,5 °C	de Marseille, la canicule marine	plus fraiche que d'ordinaire.	l'étude. Les premières victimes	DOWN MEADIN	repéré au large d'Israël en 1991.
par rapport à la normale saison-	est «extrêmement întense», avec	Sur l'ensemble de la Méditerra-	sont les populations de coraux et	charbair an modilizations	On le trouve maintenant en mer
nière a été mesuré par satellite le	28 °C mesurés le 19 juillet, au lieu	née, selon les données de Coper-	les prairies de posidonie (Posido-	original	Egée et en mer lonienne.
19 juillet au large de Marseille.	d'une moyenne saisonnière de	nicus, la température moyenne	nia oceanica), de longues herbes	deconsider's	Du côté de Portofino, dans le
C'est depuis le mois de mai, soit	21,5 C. En face de Bastia, elle est	a augmente de 0,036 °C par an	vertes endemiques qui tapissent		nord de l'italie, les pecheurs re-
plus de sotxante-uix jours en cu-	«commue aepuis jin mai»,	entre 1993 et 2020, son pres de l'C	ies ionas sabieux jusqu'a environ	Cost Personality day any	monten dans jeurs mets «des
mule, que la mer presente « des	moisinant los an 'C. Minna chosa	dans la partis accidentale de la	theant los polscons invinilles dos	cest rensemble des comma-	cadas à houche isune (Snheroand
nortanies - note Sumuel Somot	arv Baldares	Méditerranée est l'un des nhis ex.	nródateurs et stockent entre 11%	et des espèces sont en train d'être	viridencis) et de mércus bruns
spécialiste des vagues de chaleur		ceptionnels de ces dernières an-	et 42 % du CO. émis depuis la	remplacées par d'autres. En	(Epinephelus marainatus), deux
en Méditerranée à Météo-France.	Plus 1 °C en vingt-sept ans	nées. Il s'explique par la succession	révolution industrielle par les	juin 2023, un rapport du WWF	poissons qui étaient rares dans la
Cela concerne les eaux situées en-	«Ces canicules marines se déclen-	de deux anticyclones venus d'Afri-	pays du pourtour méditerra-	avait alerté sur « le désastre » de	région il y a encore vingt ans.
tre 0 et 20 mètres de profondeur,	chent lors d'une situation durable	que tropicale apportant des vents	néen, selon l'association World	la «tropicalisation» en cours en	Signe d'une aggravation de la si-
entre les iles Baléares et la côte du	de hautes températures et de	très chauds, qui réchauffent l'at-	Wild Fund for Nature (WWF).	Méditerranée, où le réchauffe-	tuation générale, les connaissan-
Levant espagnol, mais également	conditions stables, un soleil sans	mosphère et font ensuite monter	Cest également l'hécatombe	ment de l'eau serait «20 % plus	ces de laboratoire ne se vérifient
tace a la cote d'Azur, en France,	nuage, des vents cuimes. Leau de	la temperature de la mer en l'ab-	chez la grande hacre (Pinha hobi-	rapide » que dans les autres mers	A solté de Site (Vérsult) dans
donuie la mar de Lieurie insentante,	froider de profondeur ne nervent	tion de la frámence de cer conicu-	sant démasar 1 mètre de baut	berbiyores essentiallement ori-	L'étano de Thau par exemple les
colfe de Tarente et tout autour	nlus remanter faisant énormé-	les est liée au réchauffement cli-	qui a la caractéristique de filtrer	ginaires de l'océan Indien et en-	larves (Thuitres ne survivent nas à
de la Corse.	ment souffrir les coraux, les crusta-	matique mondial», analyse Ro-	les déchets en suspension dans	trées par la mer Rouge, en pas-	une température supérieure à 28
Ces chiffres approchent - voire	cés, les poissons», explique Ru-	nan McAdam, chercheur en	l'eau et de servir d'habitat à envi-	sant par le canal de Suez, «trans-	ou 29 °C, alors qu'en théorie, elles
dépassent - les deux précédents	bén del Campo, porte-parole de	modélisations océaniques au	ron 150 espèces. David Diaz,	forment les zones de récifs autre-	peuvent résister jusqu'à 32 °C.
records enregistrés dans un	l'Agence nationale de météorolo-	Centre euro-méditerranéen sur	chercheur de l'Institut espagnol	fois dominées par des forêts	« Ce sont les interactions entre les
passé récent. Celui de l'intensité,	gie espagnole. Jusqu'aux pre-	les changements climatiques,	d'océanographie, à Palma de Ma-	d'algues complexes et riches	espèces qui bouleversent la situa-
observe le 5 aout 2018 au large de	miers jours d'aout, l'effet ther-	base a Bologne, en Ralle.	jorque, le confirme: «Les canacu-	en trodiversite».	tion, plus que les limites physiques
da Francessa da 6.6.50 h la	mostat de la Mediterranee - c'est-	Four une bonne partie de la	ies marines affectent dangereuse-	Des a present, « 986 espèces non	des organismes eux-memes. En
normale saisonnière et celui de	températures extérieures - pour	c'est la chronique d'une mort an-	créent des habitats fires nour les	sont recensées en Méditerranée	nosse niejn de choses normi les on
la durée, avec une canicule qui	rait être annihilé: «Normale-	noncée. D'après une étude me-	poissons et les crustacés, comme	La vérétation sous-marine	ganismes vivants qui remettent en
s'était étendue, en 2003, du	ment, en hiver, la mer tempère	née dans onze pays du pourtour	les gorgones, qui disparaissent	autochtone pátit donc non seule-	cause la survie, le développement
	le froid et en été, elle tempère	méditerranéen entre 2015 et	surtout le littoral. »	ment de la température plus	et la reproduction des espèces»,
	le chaud. En ce moment, ce n'est	2019, dont les résultats ont été		élevée de la mer, mais aussi du dé-	rappelle Franck Lagarde, cher-
En face de Bastia.	pas le cas, en particulier la nuit. »	publiés début juillet par la revue	«986 espèces non indigènes »	veloppement de nouveaux ani-	cheur en écologie et biologie ma-
la chalour	Les cartes publiées par le service	Global Change Biology, une cin-	Ce qui se passe « équivaut à des tr-	maux voraces, tels que les pois-	rine à l'Institut français de recher-
la chaleur	marin europeen copernicus	quantanie u espèces contransent	formes sous-munns, avec une	sons upins (sigunus rivalatus).	and invite à d'abord a abcener
est «continue	riode c'est le nord de la partie	trait de Gibraltar au Proche-	commo si alles átolant hrildes s	discomment et remelacée par	le miller neturel pour comprendre
depuis fin mai»,	orientale de la Méditerranée qui	Orient. Un processus qui peut	aloute-t-il. Selon M. Diaz, les sor-	des alaues tropicales envahissan-	les phénomènes en cours ».
21/05 11/00	est le plus concerné : de la mer	être considéré comme «équiva-	tes de «villes» constituées jus-	tes que les poissons transforment	Tous les scientifiques sont au
aveculie	Adriatique, au large de Venise,	lent au blanchissement de la	qu'ici par les gorgones, les coraux	en gazons. » Le WWF estime que	moins d'accord sur un point:
temperature de	jusqu'aux côtes libanaises, en	grande barrière de corail » en	et les éponges, « se réduisent peu à	la biomasse de ces étendues	les bouleversements actuels de la
l'eau avoisinant	passant par la Croatie, le sud du	Australie, les episodes de canicule	peu a retat de villages, forçant les	vegetales est «quarante-quatre	Mediterranee sont aujourd'hui
les 30 °C	resoponnese, se sud de la Crète, le	marine devenant «davantage la	animaux mooses à partir, tandis	Jois plus faitre que dans les forêts	nors de controte.
	INTO DE LA ITRE EREC. IL SOU DE MIO-	norme our rexception	oue a dutres arrivers a aneurs ».	a against a danses the connent.	GOILLAUME DELACEOIX

Reprocessed Mediterranean Sea Surface Temperature (REP)

- Mediterranean Basin
- Daily SST

٠

- 0.05° res.
- 1982-2021 (+near real time)
  - ESA CCI/C3S data + adjusted version of the AVHRR Pathfinder dataset version 5.3.





## Short-term forecasting 2022

Mediterranean Forecasting System physical component: forecast & analysis (MedFS)

- Coupled hydrodynamic-wave model including tides. 3DVAR assimilation scheme (OceanVar) of temperature and salinity vertical profiles and along track satellite Sea Level Anomaly observations.
- NEMOv3.6 + Wave Watch-III.
- Horizontal grid resolution is 1/24° (4-5 km).
- Vertical resolution: 141 unevenly spaced vertical levels.
- Analysis: Rolling dataset of previous two years.
- Forecasts: 10-day.





**Summer 2022 in the Med:** one of the largest/most intense on record (anomalies > 5°C). CMCC/Copernicus **short-term forecasts** captured the **onset, eastward shifts, persistence and decay** of this event

## MHW of Summer 2023



2023-05-01



## This week forecast July 18-27

Temperature Forecast: 2023-07-18 for 2023-07-18



## Take home messages

- In the Med Sea **significant trends of increase** in most MHW properties since 1982 (number and duration, intensity mainly in the western Med)
- MHW duration is longer in the subsurface than at the surface, MHW intensities decrease with depth and peak in different regions
- Subsurface extreme indicators are easier to predict than commonly-used surface indicators
- European heatwave events are primarily caused by the synoptic conditions (persistent blocking). However, the pre-existing hydrological condition can influence the events by amplifying the temperature anomaly
- Surface heat fluxes contribute to the observed surface warming during the onset phase of the majority of the events (92%) detected in the Med Sea while oceanic processes are the dominant driver of most (83%) MHW declines (preliminary results...much more work needed on identification of drivers)
- We need to work on the understanding of processes and drivers!!!!