

# METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE DEGLI ALLAGAMENTI COSTIERI



Dott. Ing. Luca Cavallaro

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA  
luca.cavallaro@unict.it

## criticità



## cambiamenti climatici

- **innalzamento** del livello del mare
- **maggiore frequenza** delle forzanti
- **maggiore severità** delle forzanti

## misure di mitigazione

- misure **istituzionali**
- misure **strutturali**
- misure di **preparazione e prevenzione**

# criticità | inondazioni costiere



Malta  
24 Febbraio 2019

# criticità | inondazioni costiere

Percezione del rischio è molto bassa.

**Catania, onda anomala trascina un'auto in mare. Trovati due corpi, un altro ragazzo è disperso**



*È successo a Santa Maria la Scala, frazione marinara di Acireale, dove continuano le ricerche. Ritrovata anche la macchina. Due feriti anche nel Ragusano. Danni in tutta la regione*

di F. Q. | 25 Febbraio 2019



Santa Maria la Scala  
24 Febbraio 2019

# criticità | inondazioni costiere

---

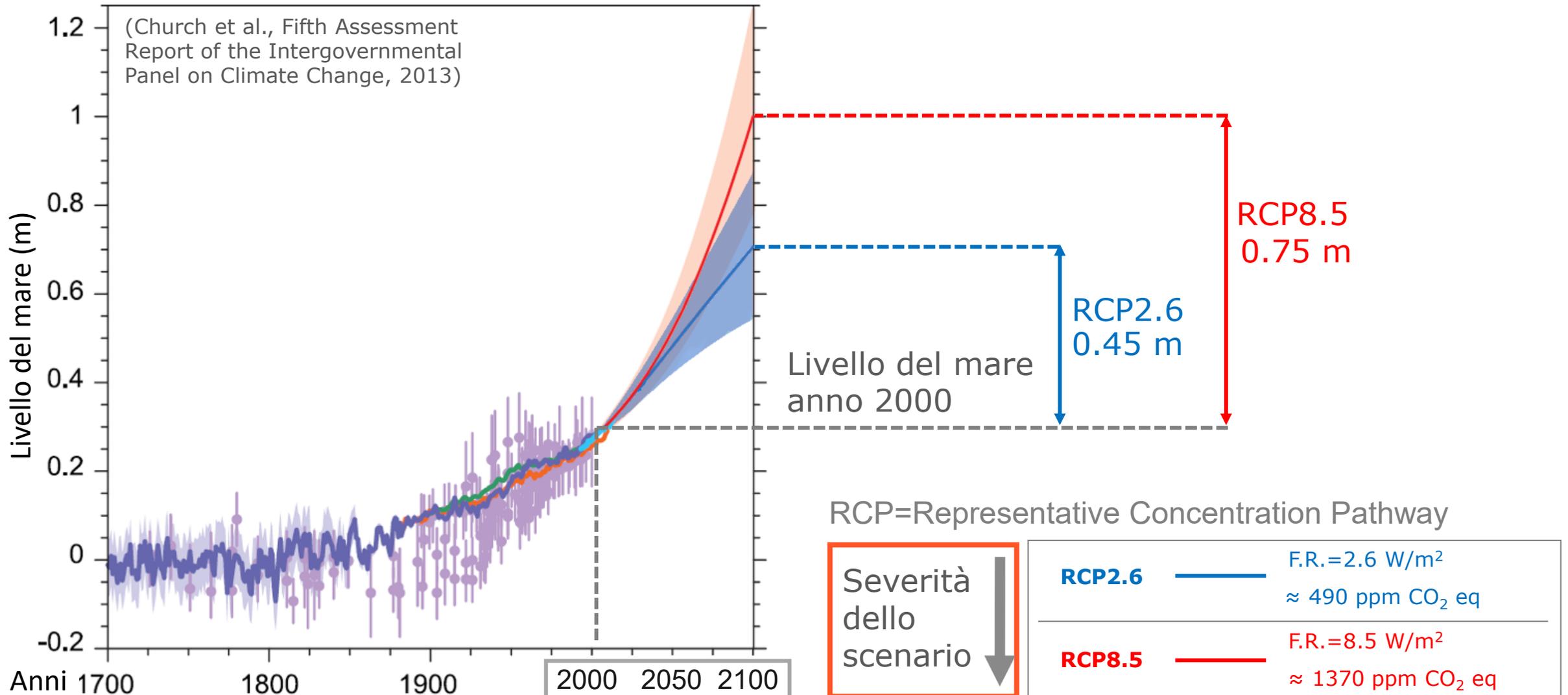
Percezione del rischio è molto bassa.



Napoli  
28 Dicembre 2020

# cambiamenti climatici | innalzamento del livello del mare

Livello medio del mare **globale**: aggregazione di dati storici e previsioni



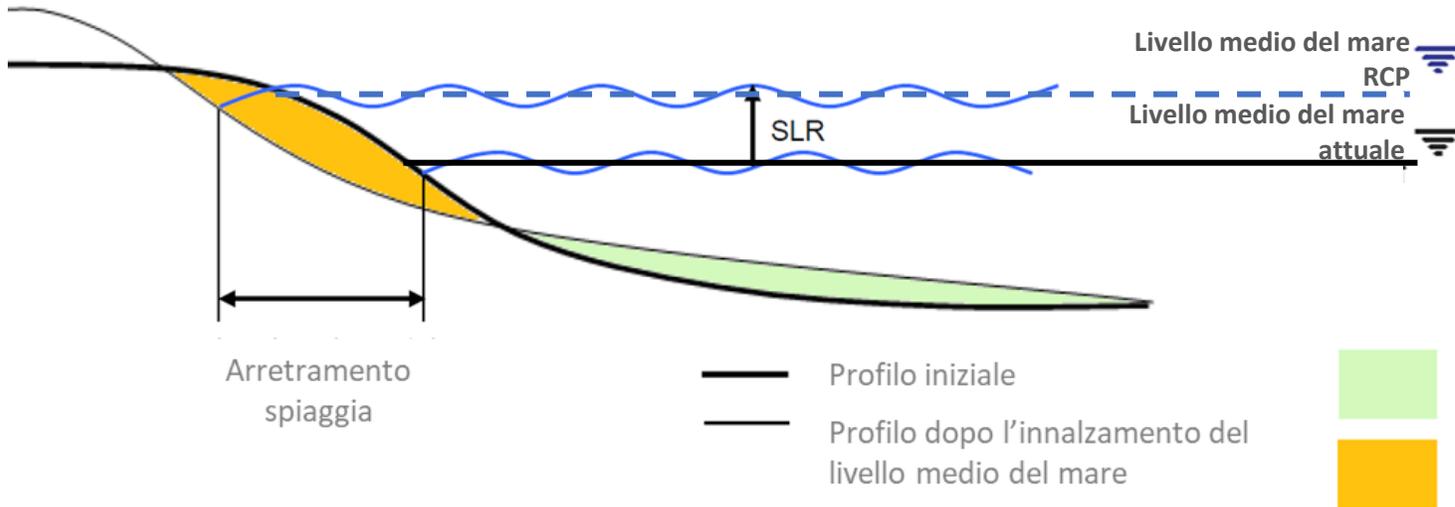
# cambiamenti climatici | innalzamento del livello del mare

Innalzamento (cm) min e max del livello del **Mar Mediterraneo** stimato al **2050**



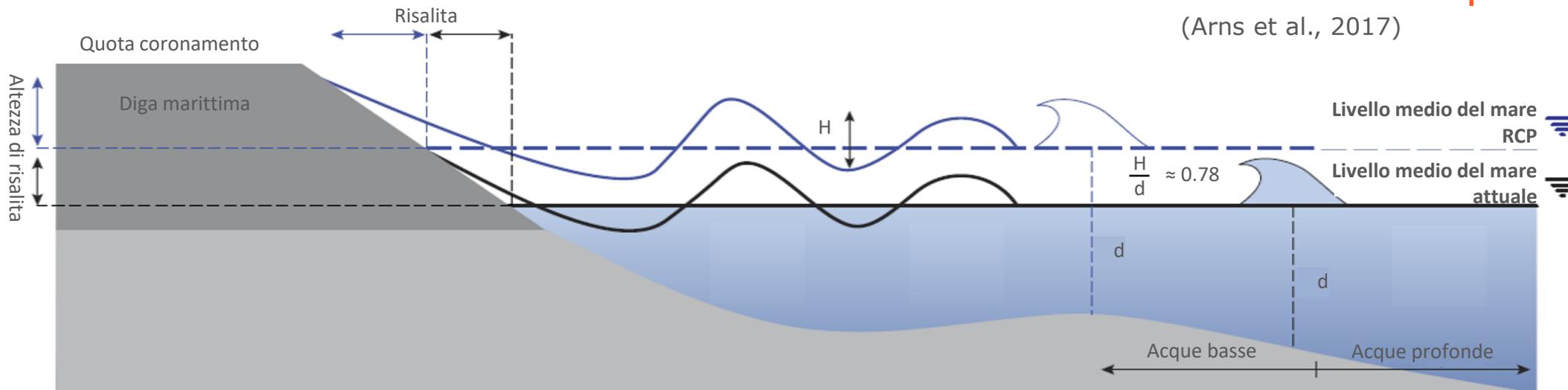
(courtesy of Malanotte-Rizzoli, Marchi Lecture 2018)

# cambiamenti climatici | innalzamento del livello del mare



## effetti sulle spiagge

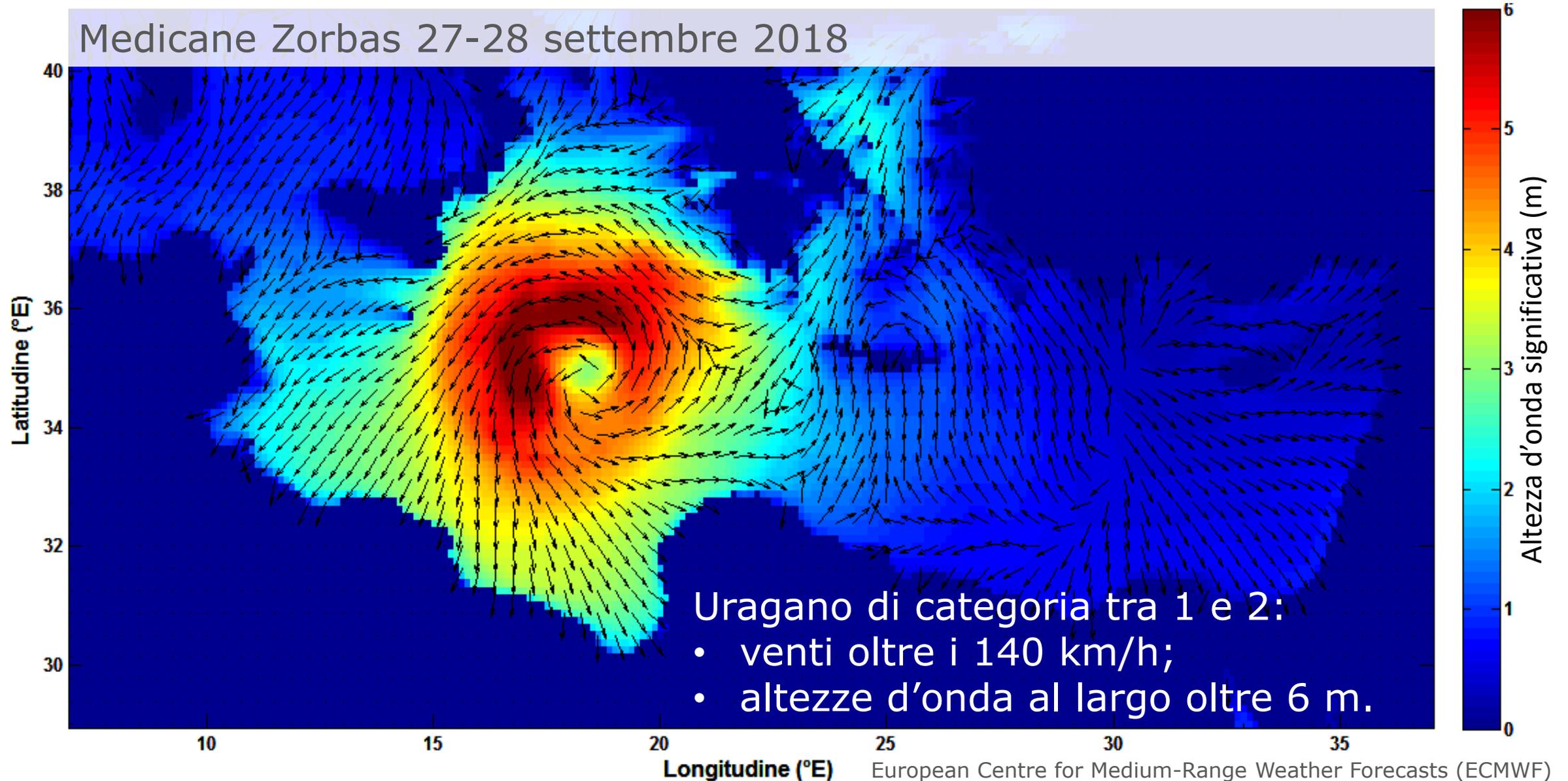
(Zhu et al., 2010)



## effetti sulle opere di difesa

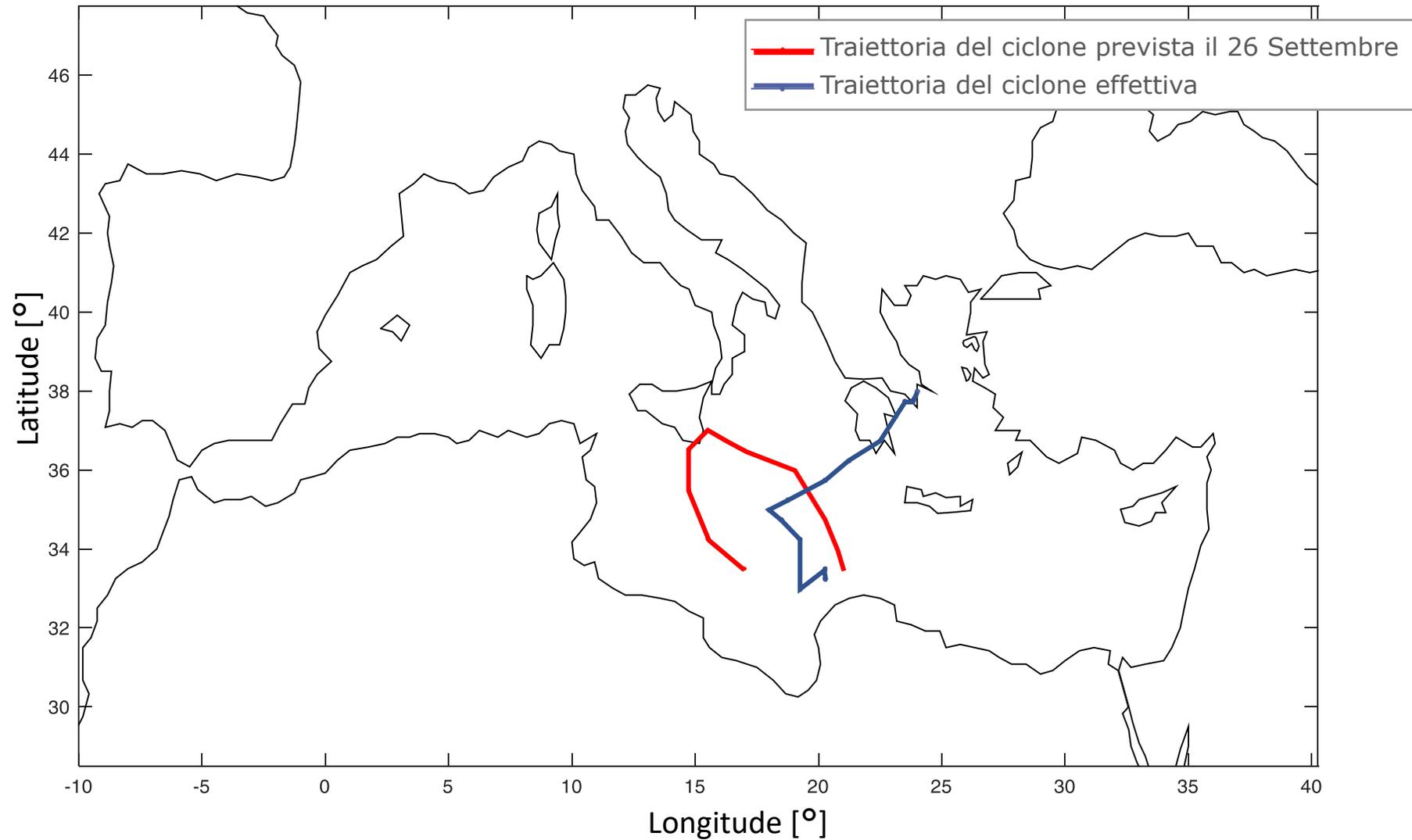
(Arns et al., 2017)

# cambiamenti climatici | maggiore severità delle forzanti



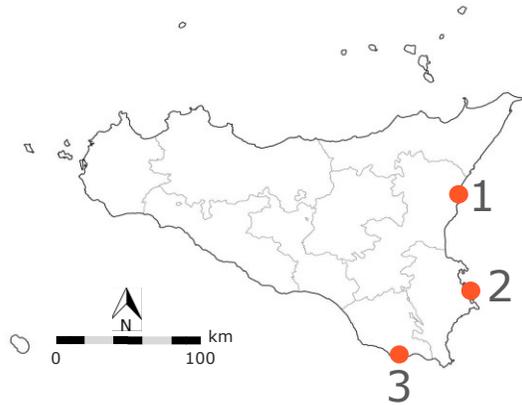
# cambiamenti climatici | maggiore severità delle forzanti

Medicane Zorbas 27-28 settembre 2018



# cambiamenti climatici | maggiore severità delle forzanti

Medicane Zorbas 27-28 settembre 2018



2 - Ortigia (SR)

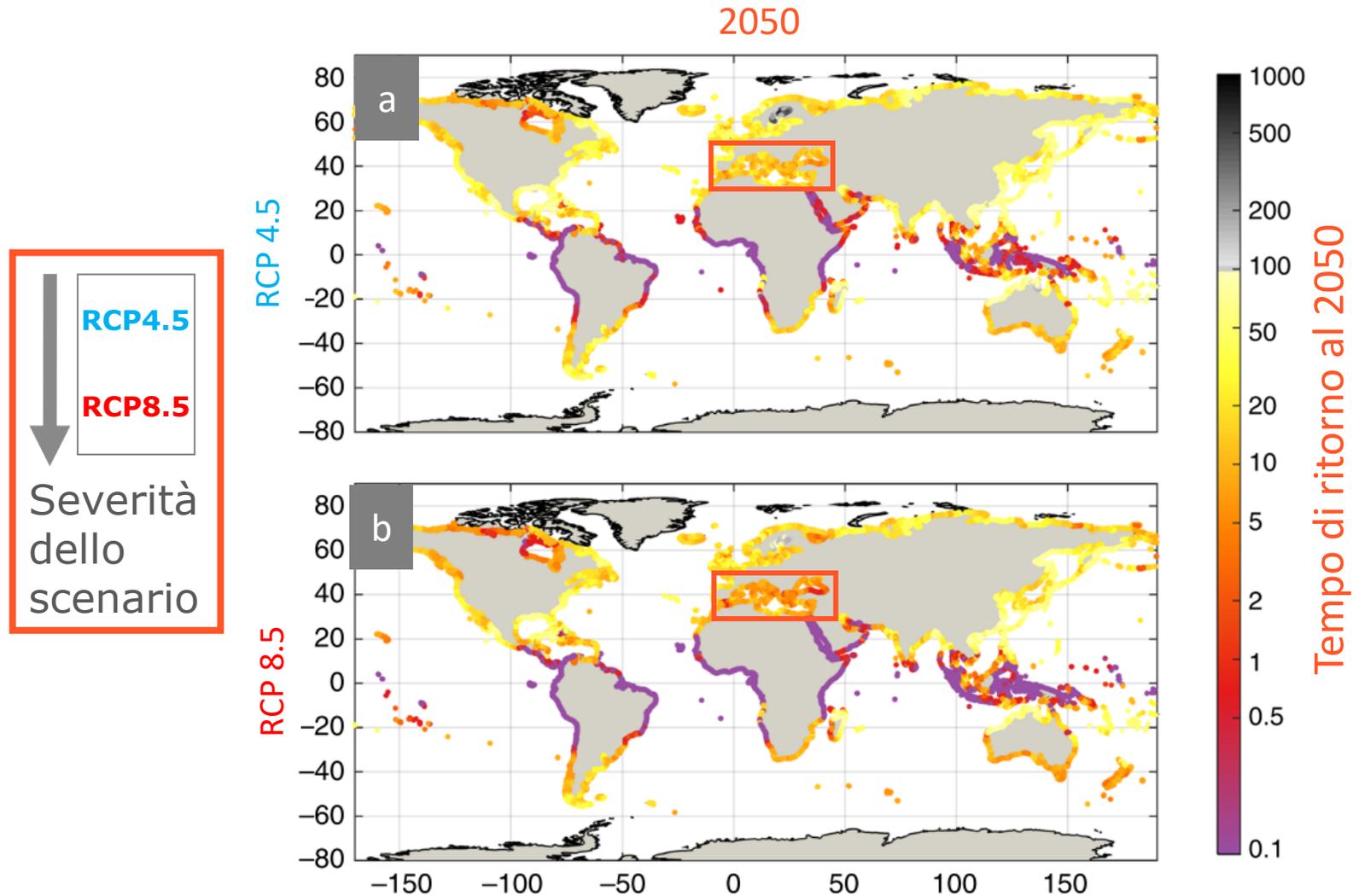


3 - Sampieri (RG)



# cambiamenti climatici | maggiore frequenza delle forzanti

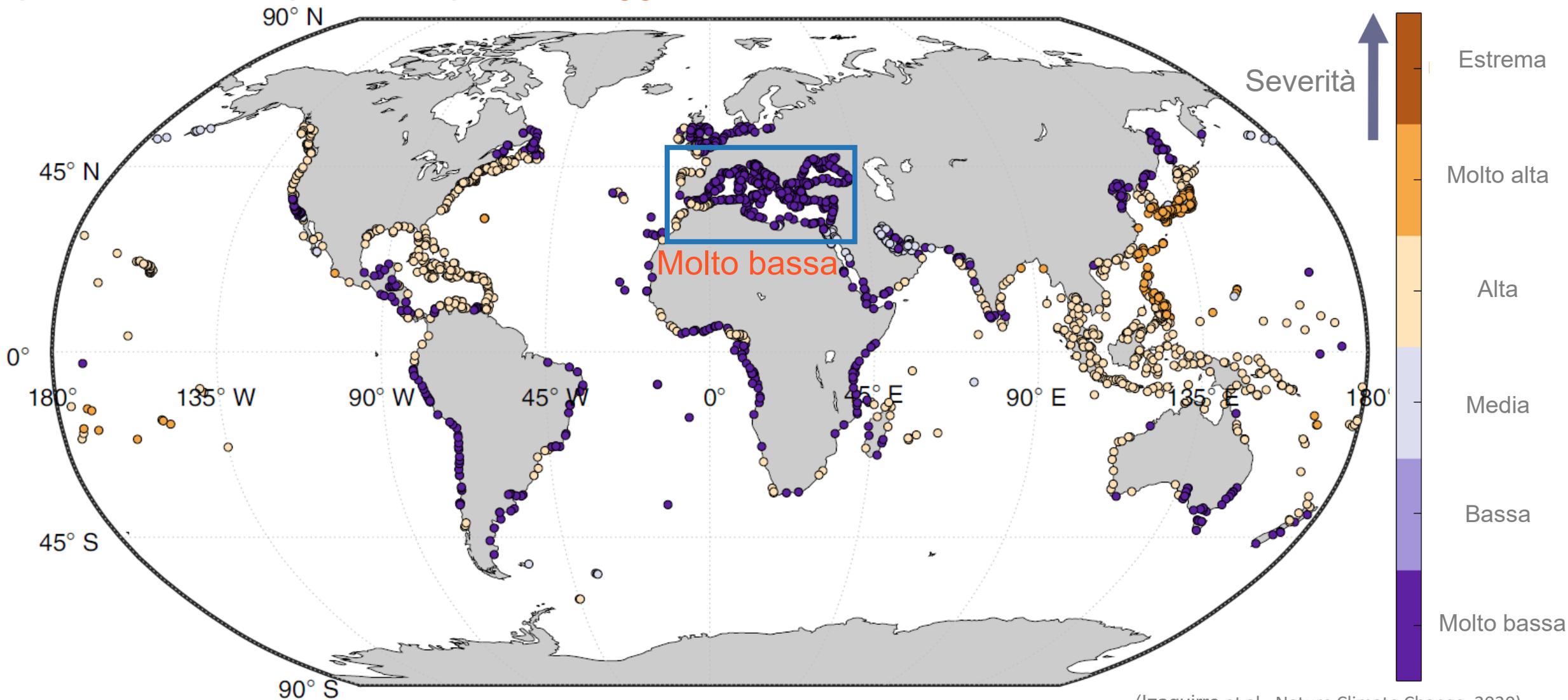
Frequenza prevista per gli attuali livelli estremi del mare con  $T_r = 100$  anni



(Vousdoukas et al., Nature Communications, 2018)

# cambiamenti climatici | effetti sulla operatività portuale

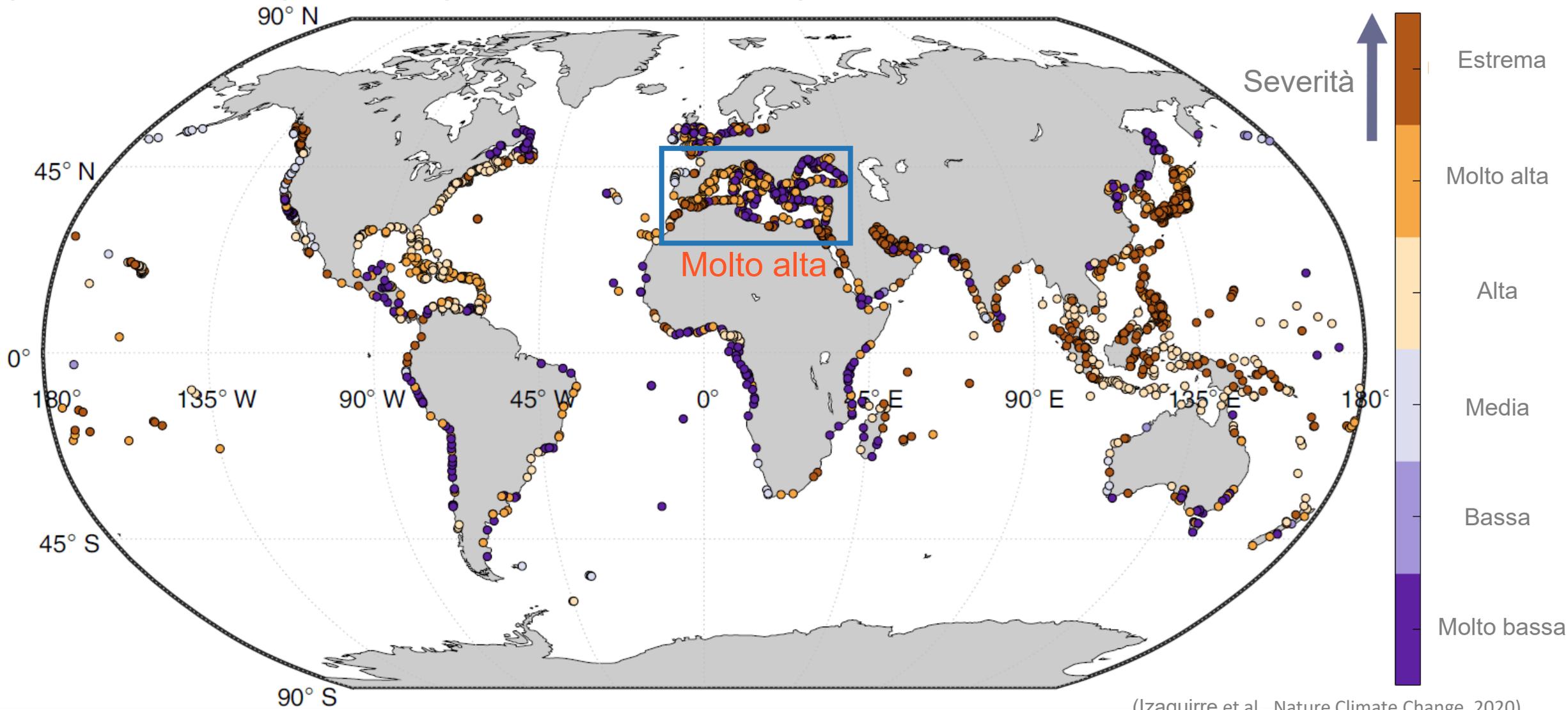
probabilità di inoperatività portuale oggi



(Izaguirre et al., Nature Climate Change, 2020)

# cambiamenti climatici | effetti sulla operatività portuale

probabilità di inoperatività portuale **al 2100** nell'ipotesi di scenario **RCP 8.5**



(Izaguirre et al., Nature Climate Change, 2020)

## Misure strutturali

- Adattamento delle strutture esistenti
- Interventi resilienti basati sulle Nature Based Solutions (NBS)
- Interventi antifragili basati su soluzioni integrate

## Misure istituzionali

- Politiche assicurative
- Incentivare strutture resilienti
- Limitare lo sviluppo in aree ad elevato rischio
- Ricollocazione

## Misure di preparazione e prevenzione

- Progettazione e implementazione di un sistema di *Early Warning*
- Miglioramento del sistema di monitoraggio
- Miglioramento dei sistemi di previsione



Centro di previsione

Enti

Monitoraggio e  
previsione

Analisi dei  
dati

Avvisi agli  
Enti  
competenti

Strategia di  
intervento

Strumenti di misura  
Modelli numerici



Stima  
dell'eccezionalità  
dell'evento



Valutazione possibili  
impatti dell'evento  
(valutazione aree  
allagabili)



- Allarme
- Restrizioni
- Evacuazione



Previsione del  
moto ondoso al  
largo



Propagazione del  
moto ondoso verso  
riva



Valutazione dalla  
risalita del moto  
ondoso e delle aree  
allagate

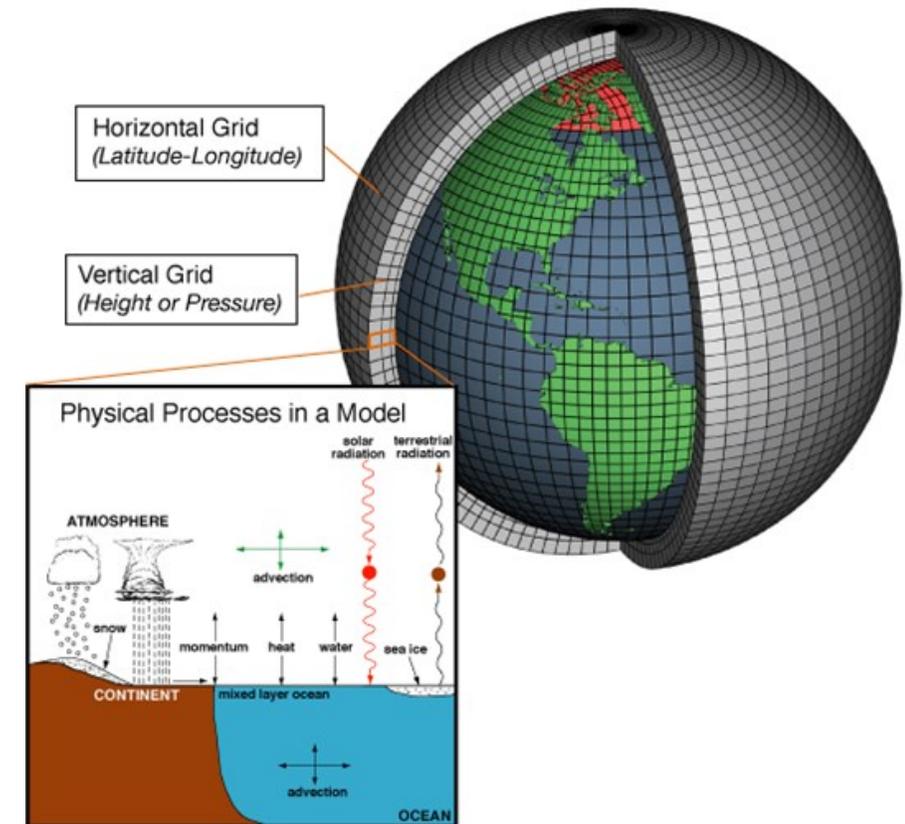
# Early Warning | valutazione delle aree inondabili

Previsione del moto ondoso al largo

Propagazione del moto ondoso verso riva

Valutazione dalla risalita del moto ondoso e delle aree allagate

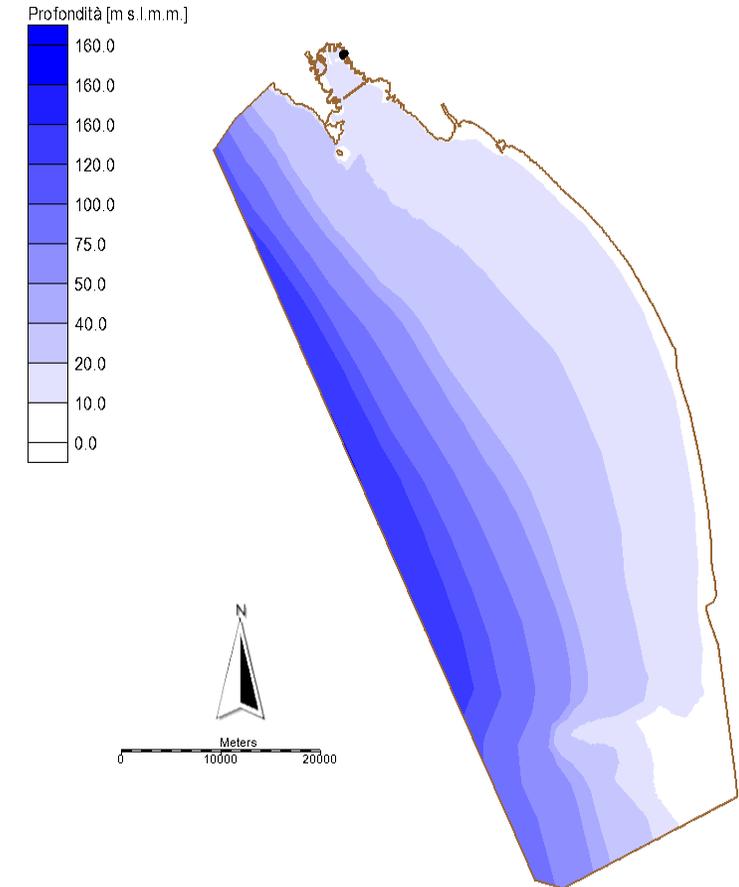
In assenza di dati diretti bisogna affidarsi ai centri di previsione, come, ad esempio, ECMWF, CMEMS e NOAA, che forniscono dati di moto ondoso al largo.



# Early Warning | valutazione delle aree inondabili

La trasformazione del moto ondoso verso la riva deve essere condotta con modelli che permettano di simulare fenomeni quali:

- rifrazione a causa dei fondali e delle correnti;
- diffrazione;
- shoaling;
- generazione dal vento
- dissipazioni dovute al whitecapping, al frangimento, all'interazione onde-fondali.



## SWAN

*Simulating WAVes Nearshore*



Previsione del moto ondoso al largo



Propagazione del moto ondoso verso riva



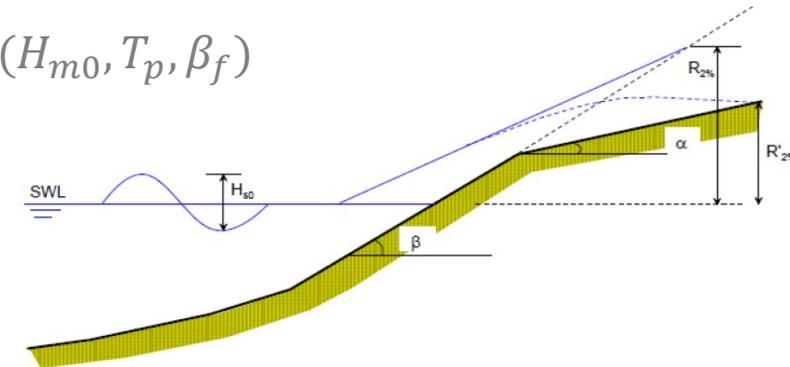
Valutazione dalla risalita del moto ondoso e delle aree allagate

La valutazione della risalita del moto ondoso sulla spiaggia può essere effettuata tramite:

- Modelli empirici

$H_{m0}$  : altezza d'onda  
 $T_p$  : periodo di picco  
 $\beta_f$  : pendenza spiaggia

$$R_{2\%} = f(H_{m0}, T_p, \beta_f)$$



- Modelli numerici

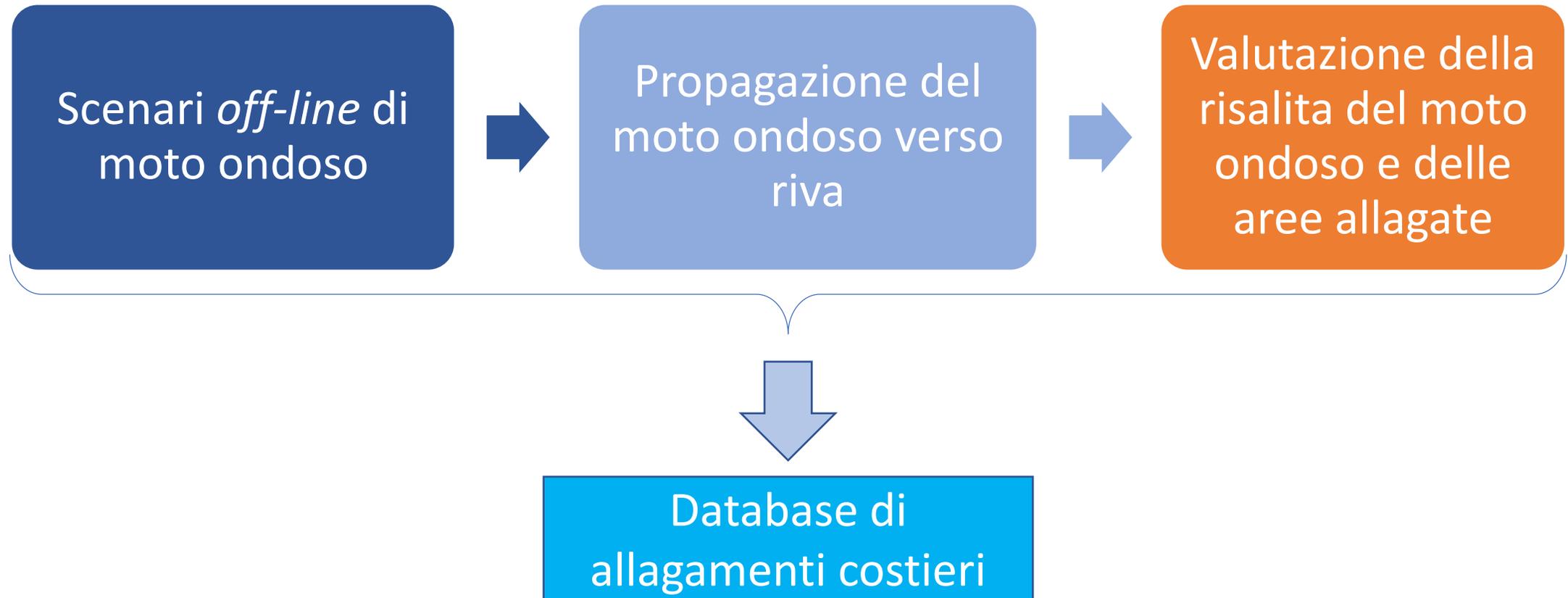
Modelli 2DH



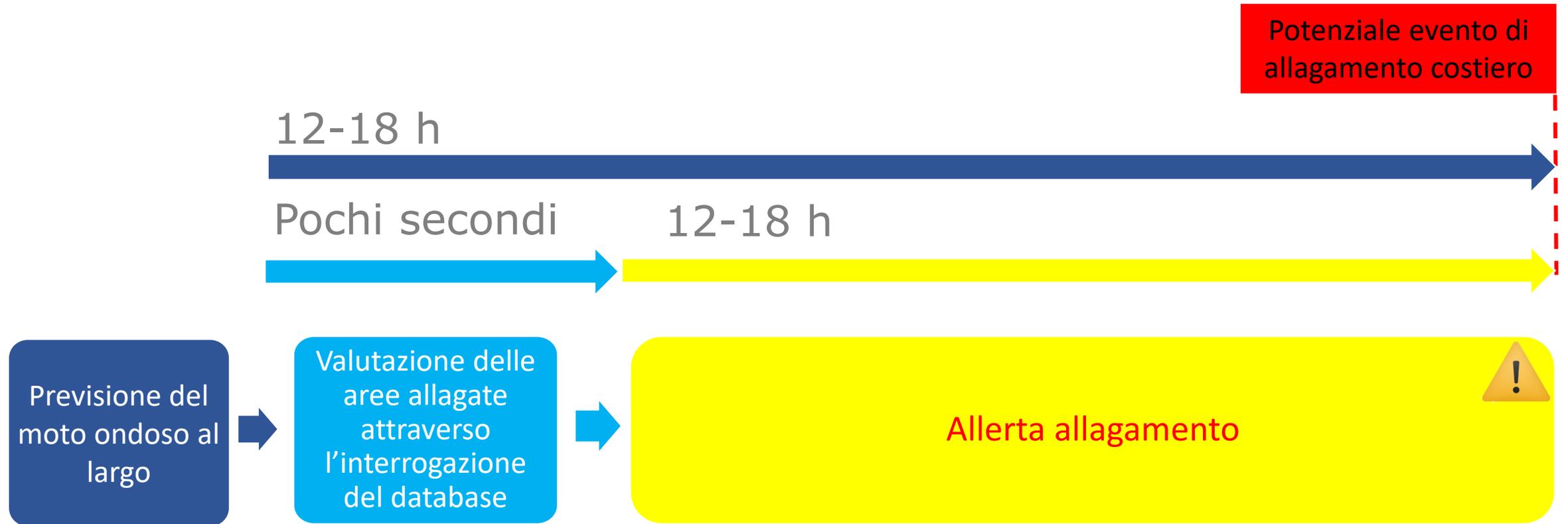
# Early Warning | problema: i tempi di allerta in *real-time*



La valutazione delle aree allagate attraverso modelli numerici richiede tempi computazionali dell'ordine di 10-12 ore.

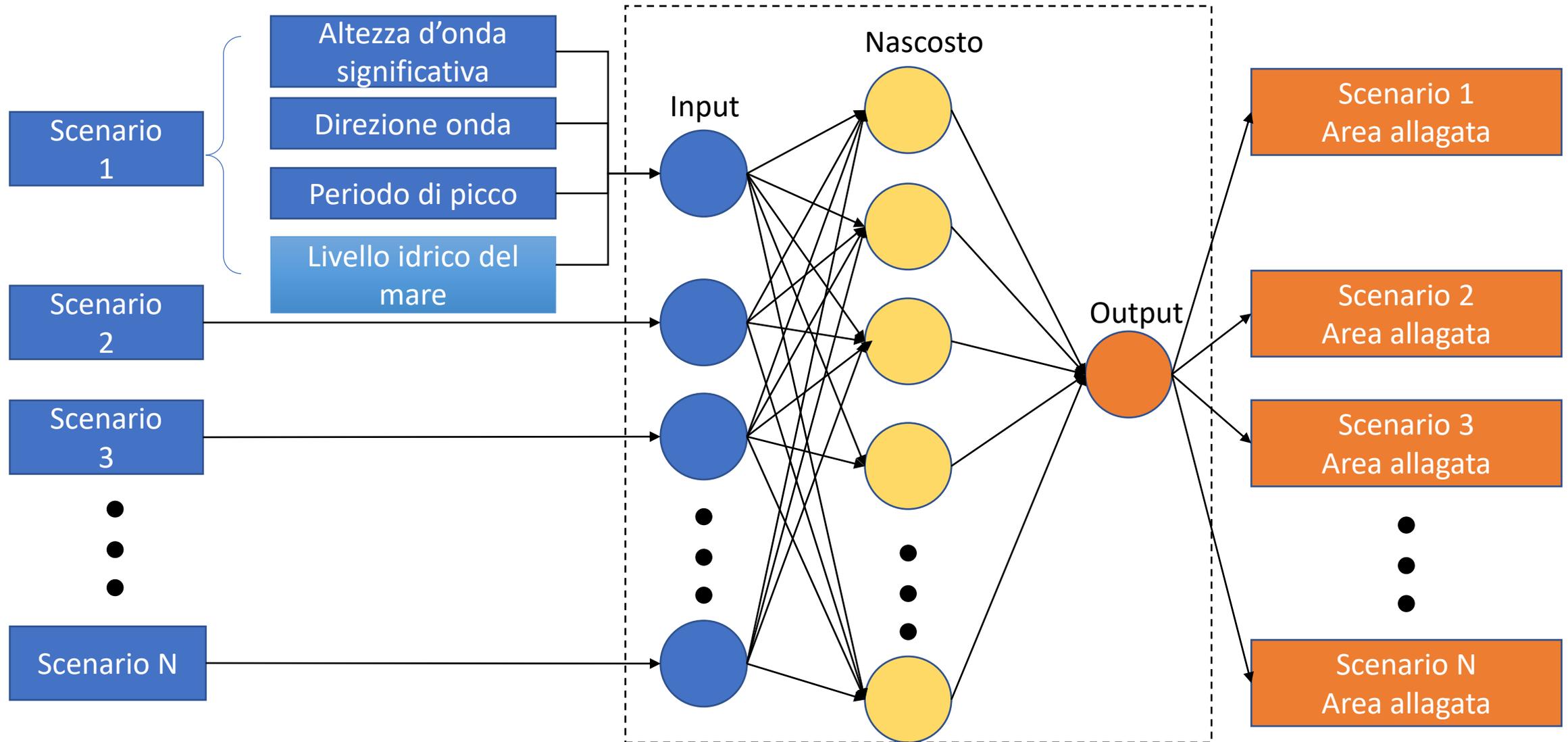


# Early Warning | soluzione: valutazione *off-line* degli allagamenti



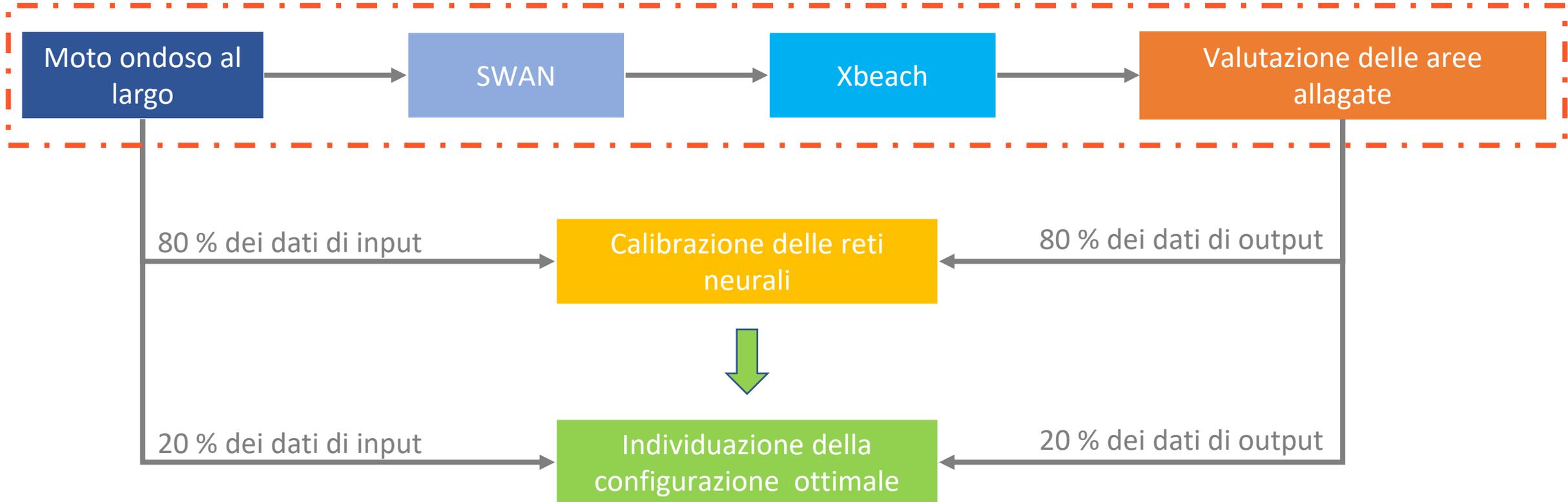
Come interrogare il database?

# Early Warning | interrogazione del database con reti neurali

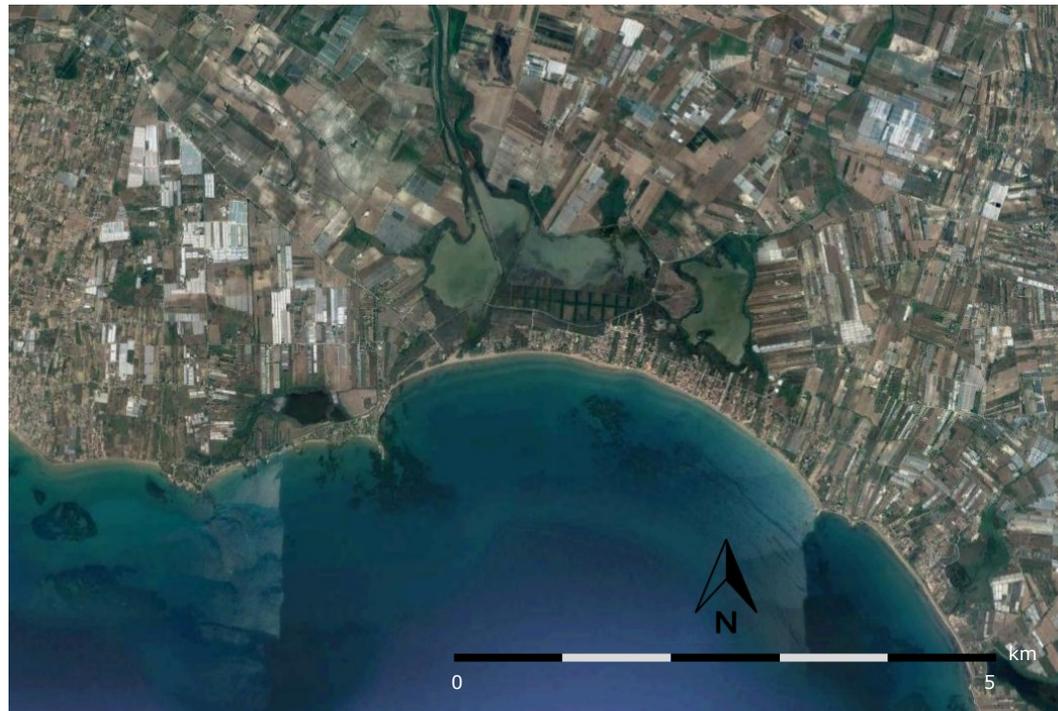
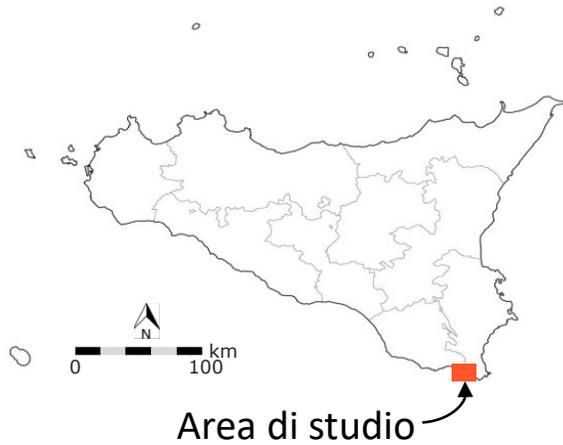


# modello di *Early Warning* | allenamento delle reti neurali

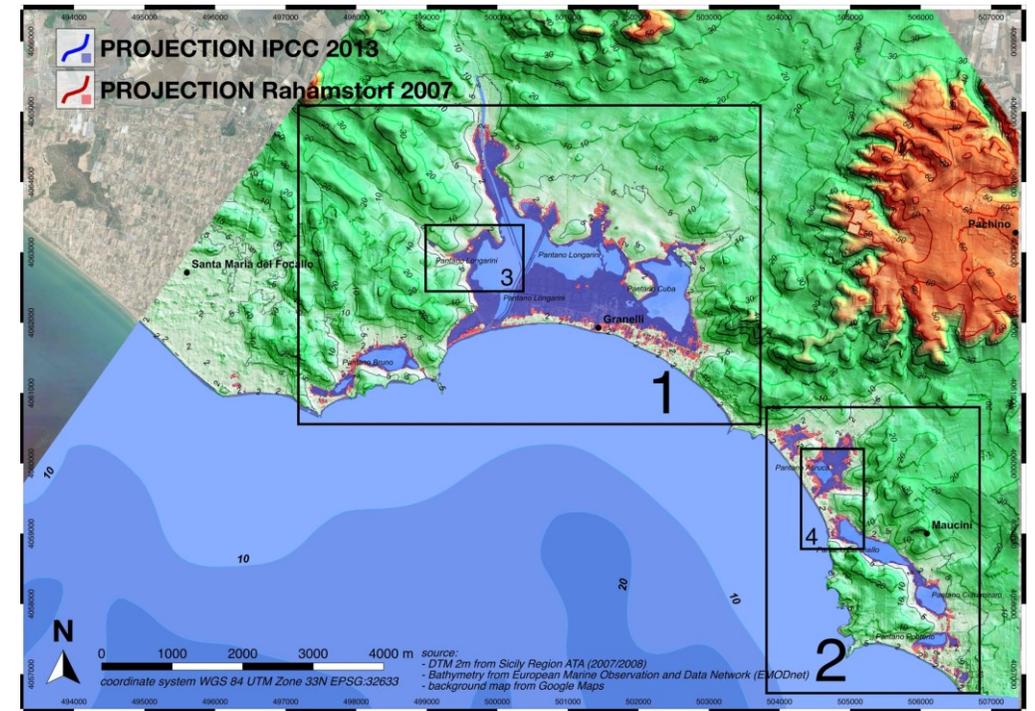
dati di input/output di allenamento



# caso studio | centro abitato di Granelli (Pachino - SR)

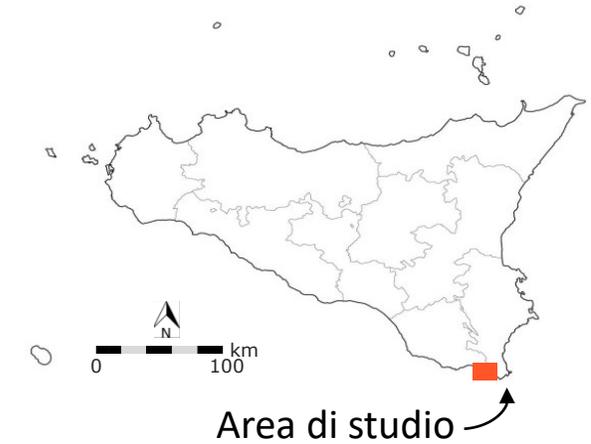
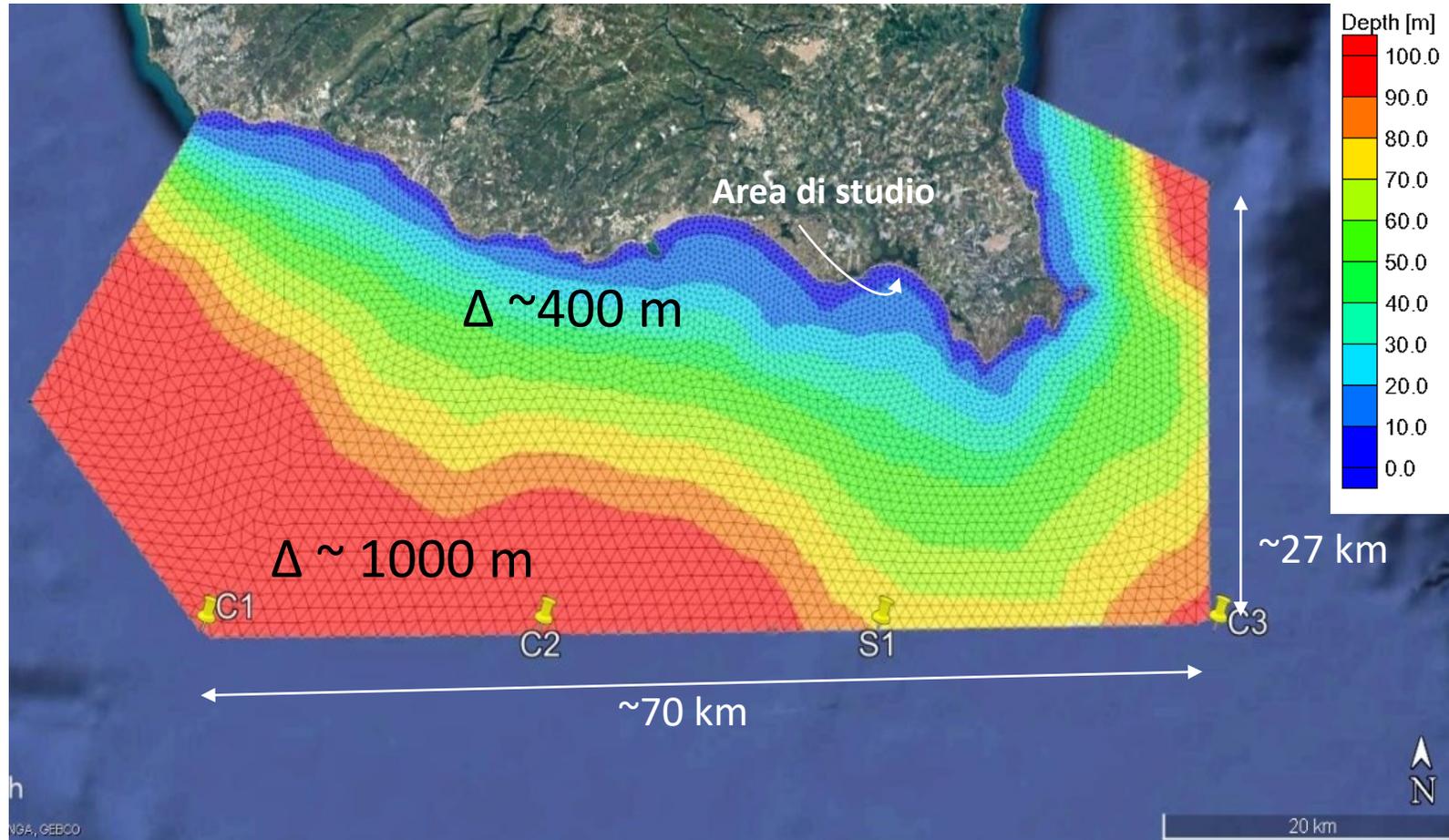


Proiezione al 2100 delle aree allagate  
(ENEA)



# caso studio | propagazione del moto ondoso (SWAN)

SWAN (Booij *et al.*, 1999)

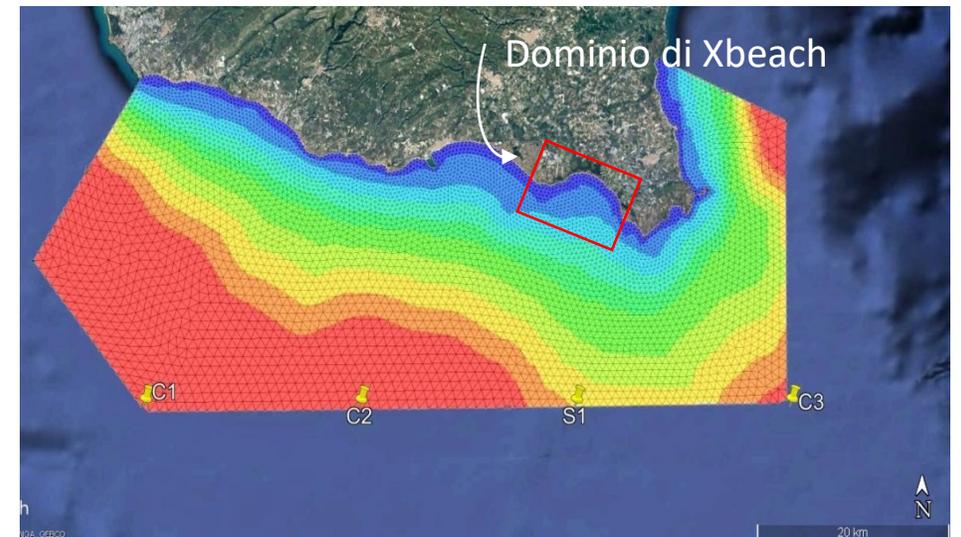
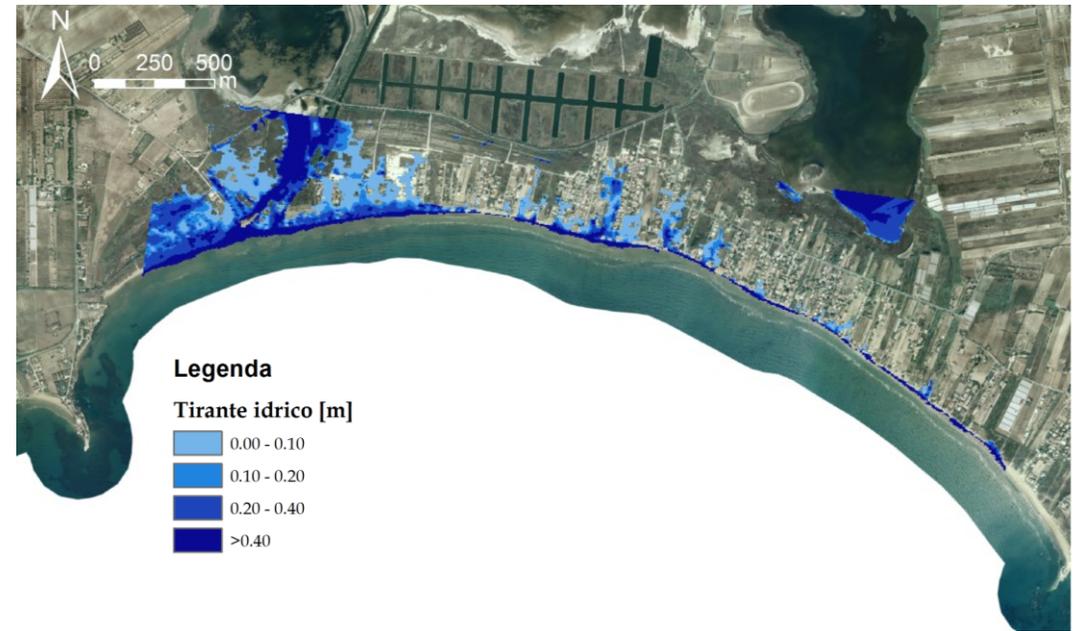
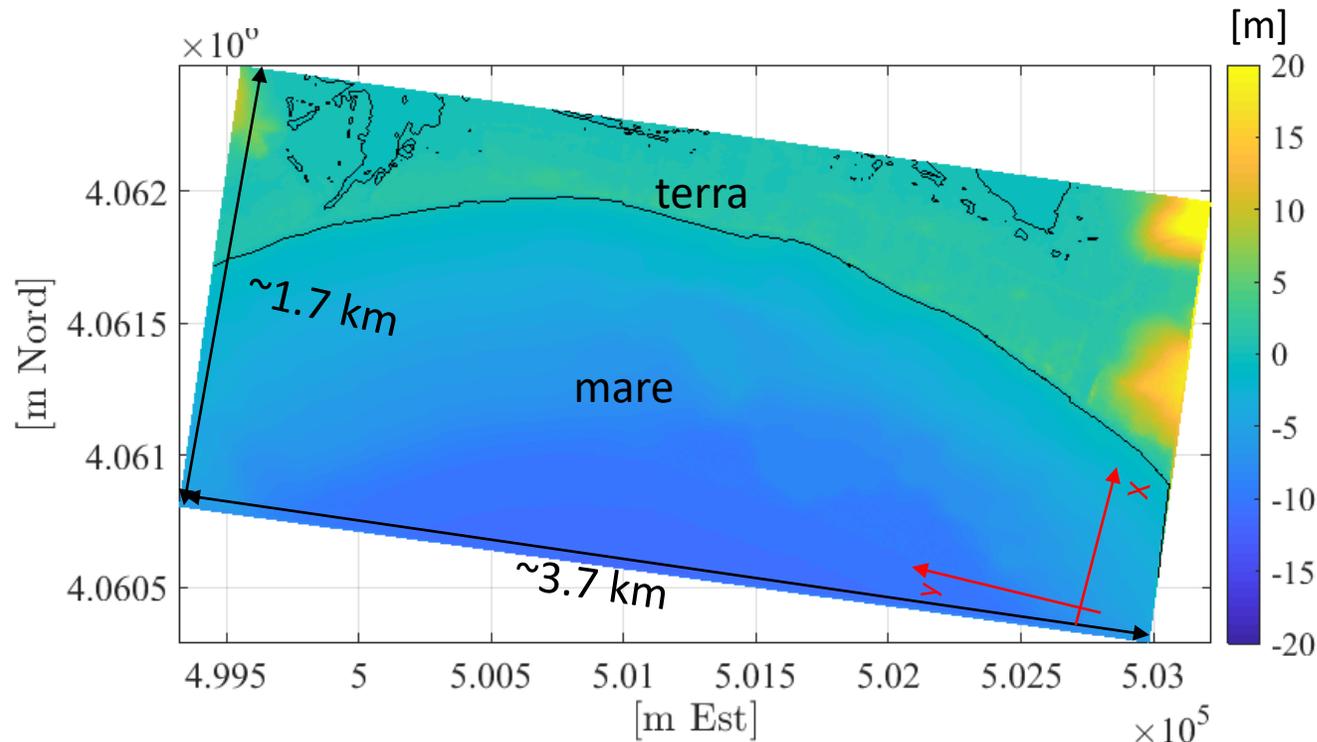


1680 scenari (moto ondoso al largo e livelli idrici)		
Parametri	Range	Passo
Altezza d'onda	2-8 m	0.5 m
Direzione dell'onda	120-270 °N	10 °N
Periodo d'onda	2.5-12 s	2.5 s
Livello medio del mare	0.0-0.5 m	0.25 m

La griglia non strutturata è composta da 12743 elementi triangolari e da 6598 nodi.

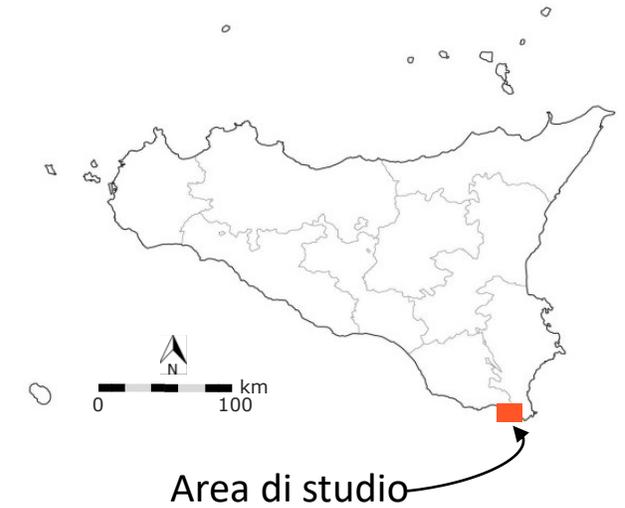
# caso studio | propagazione e risalita del moto ondoso (Xbeach)

Xbeach (Roelvink *et al.*, 2009)



Griglia a maglie rettangolari costituita da 207940 celle  
La dimensioni delle celle variano da 10 m a 2.5 m  
in direzione x, mentre sono pari a 10 m in direzione y

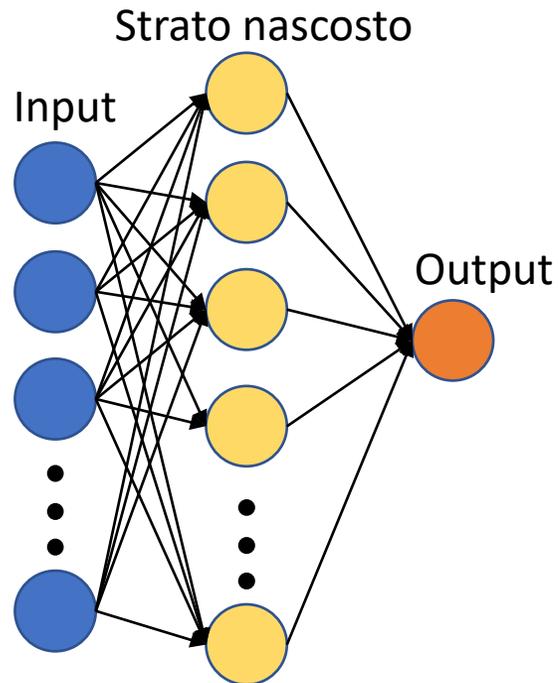
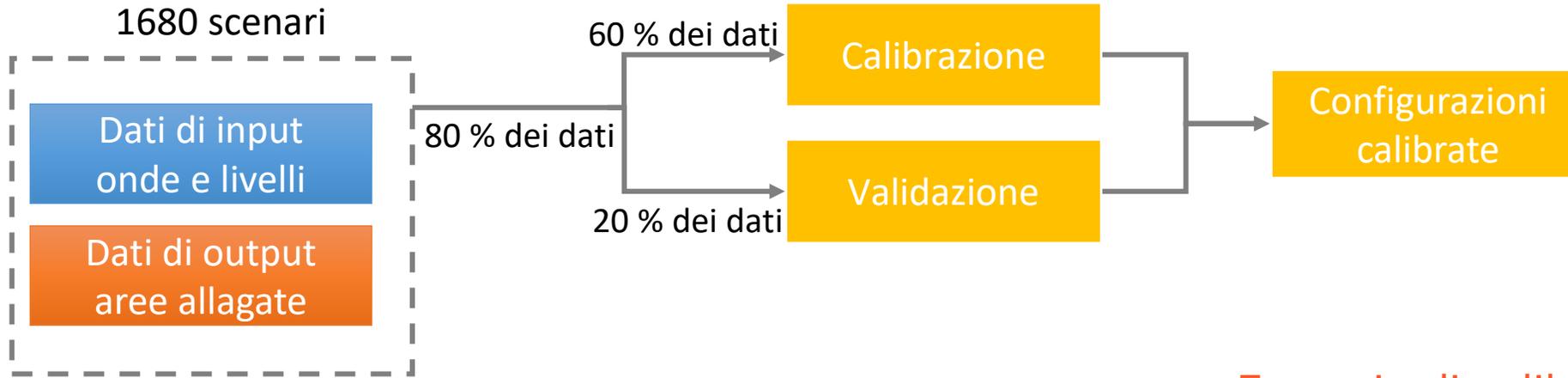
# caso studio | vulnerabilità agli allagamenti costieri



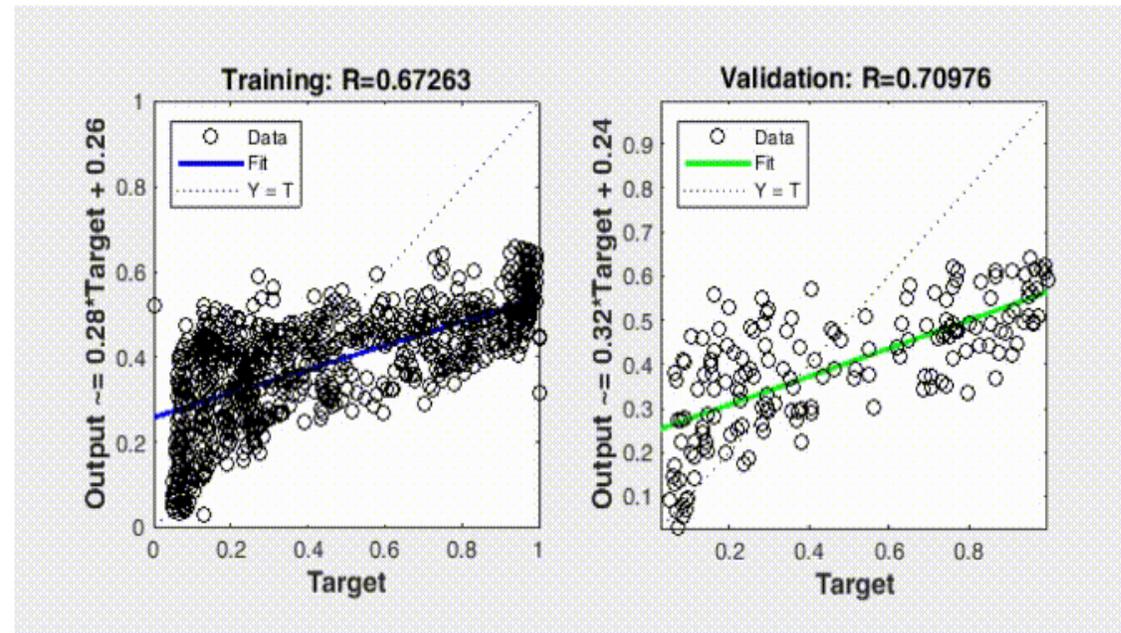
Densità abitativa



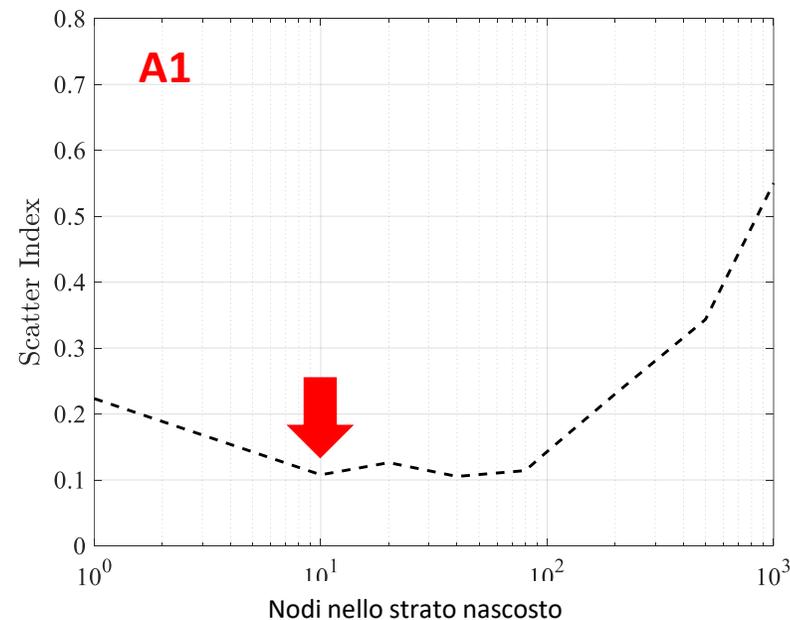
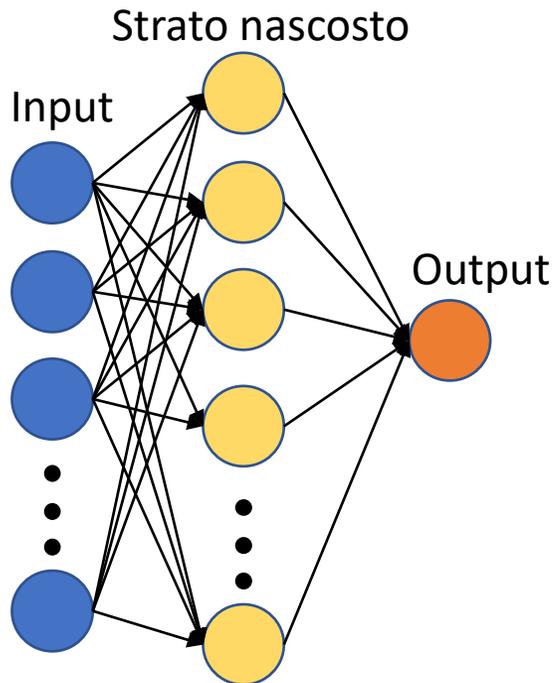
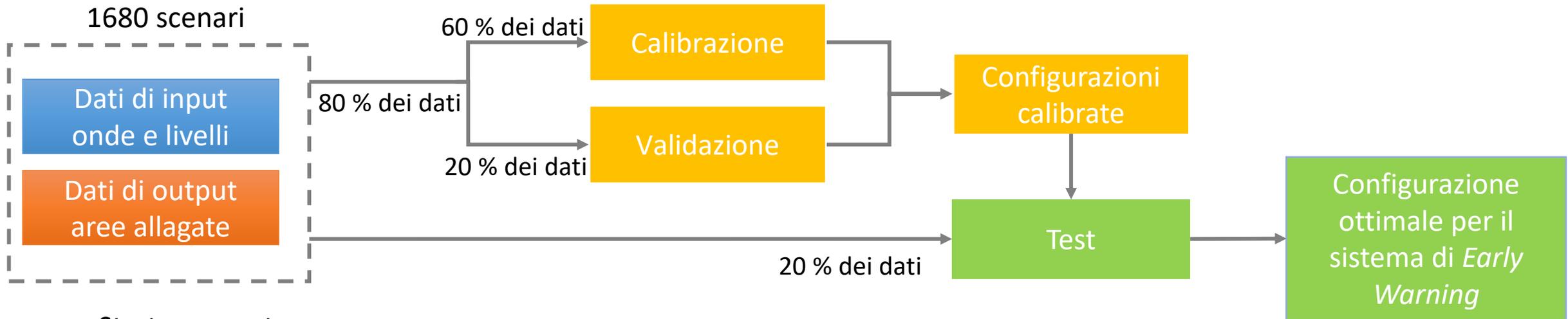
# caso studio | allenamento delle reti neurali per l'*Early Warning*



Esempio di calibrazione di una rete neurale



# caso studio | allenamento delle reti neurali per l'Early Warning



# caso studio | applicazione reti neurali per l'analisi del rischio



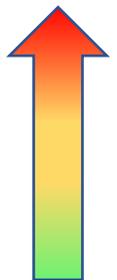
$N_{fl}$  numero medio annuo di allagamenti nella zona urbana

Densità abitativa

Alta

media

bassa



# validazione del sistema di *Early Warning* | misure di campo

Il sistema di previsione richiede una validazione continua.

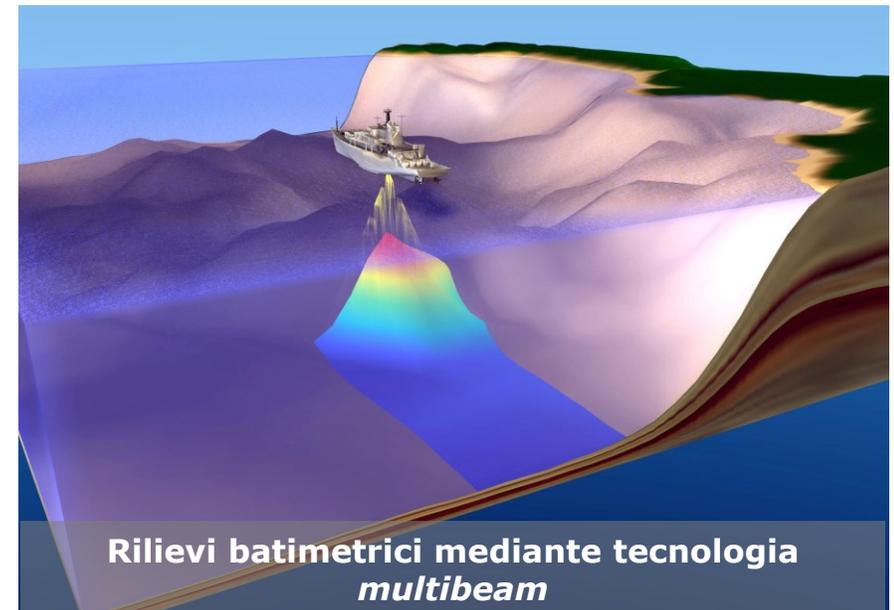
Per il sito selezionato sono attualmente in corso sia una campagna di misure per il monitoraggio continuo del clima ondoso (boa ondometrica) che rilievi morfologici della spiaggia emersa (*laser scanner*) e sommersa (*multibeam*).



**Boa Ondometrica**

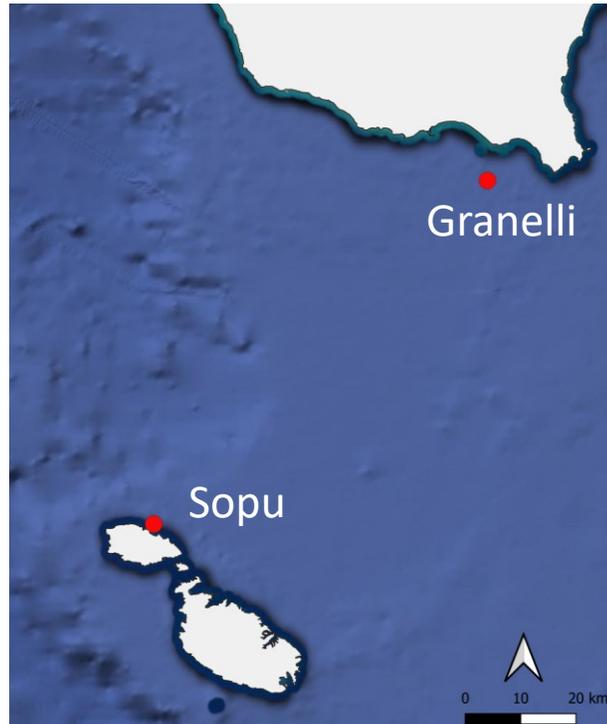


**Rilievi della spiaggia emersa  
mediante *laser scanner***



**Rilievi batimetrici mediante tecnologia  
*multibeam***

# validazione del sistema di *Early Warning* | misure di campo

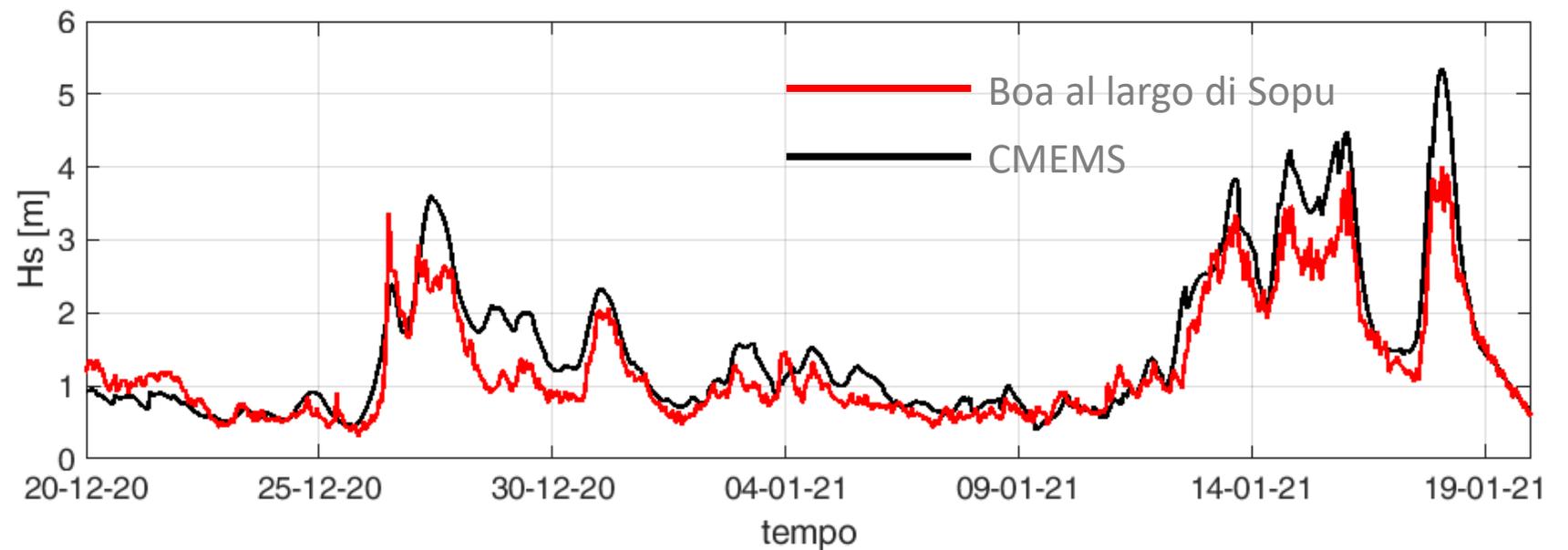
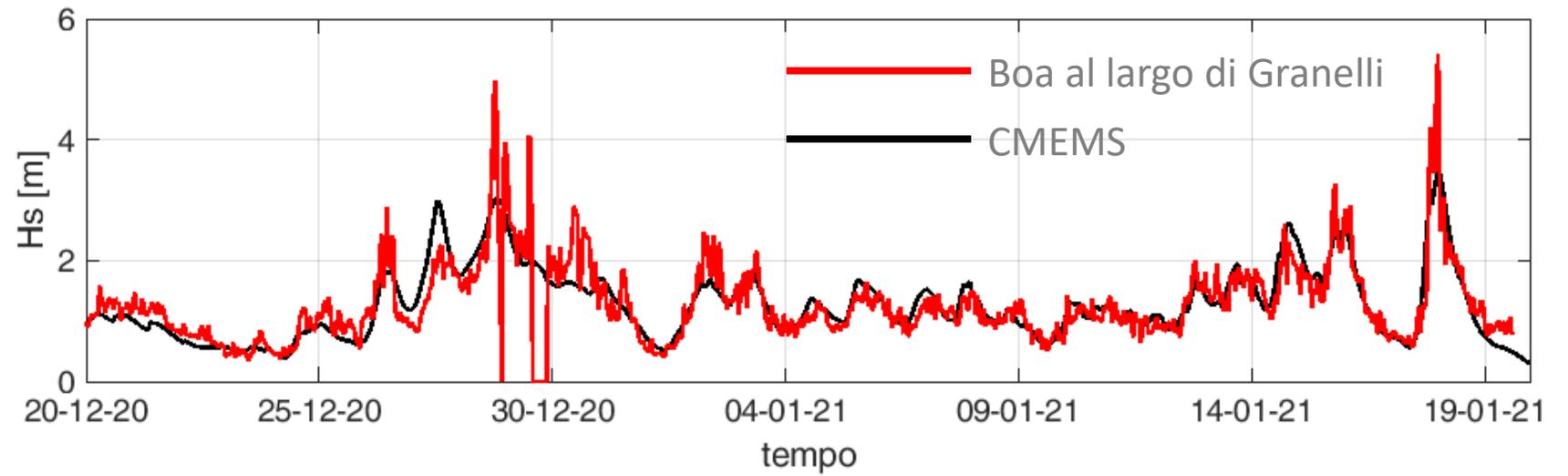
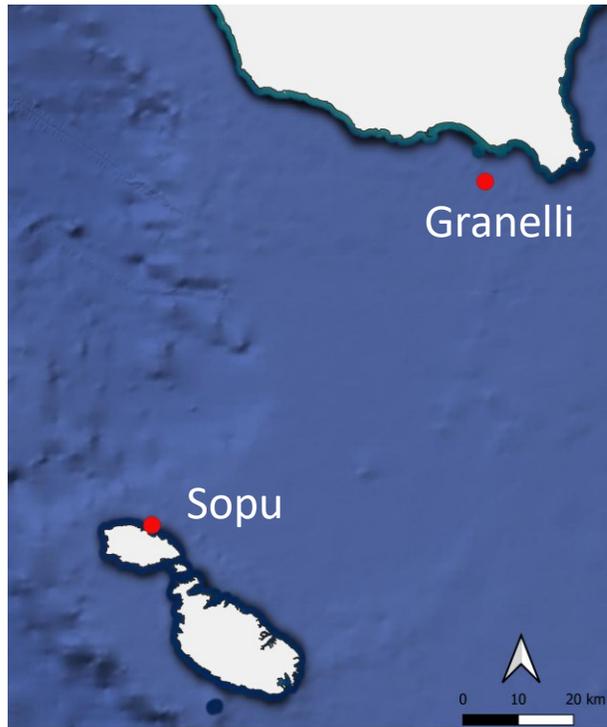


Boa ondametrica Granelli  
27.07.2020 prima installazione a mare.  
29.07.2020 disancoramento.  
20.10.2020 seconda installazione a mare.  
25.02.2021 disancoramento  
29.03.2021 terza installazione  
30.03.2021 disancoramento  
29.04.2021 quarta installazione

Boa ondametrica Ta'Sopu  
04.08.2020 prima installazione a mare.



# validazione del sistema di *Early Warning* | misure di campo



# conclusioni

---

- ❑ La valutazione degli allagamenti costieri assume una rilevanza crescente soprattutto in relazione ai cambiamenti climatici in atto
- ❑ I rischi per la popolazione possono essere mitigati attraverso sistemi di Early Warning come quello elaborato nell'ambito del progetto NEWS
- ❑ Componenti il gruppo di lavoro:

Prof. Ing. Enrico FOTI

Prof. Ing. Rosaria Ester MUSUMECI

Dott. Ing. Claudia GIARRUSSO

Dott. Ing. Claudio IUPPA



# conclusioni

---

Riferimenti dell'attività di ricerca fin qui svolta:

Iruppa, C., Cavallaro, L., Musumeci, R. E., & Foti, E. (2020). COASTAL FLOODING RISK ASSESSMENT BY A NEURAL NETWORK APPROACH. Coastal Engineering Proceedings, (36v), 9-9.

Iruppa, C., Cavallaro, L., Giarrusso, C., Musumeci, R. E., & Foti, E. , (2019). Coastal flooding risk assessment by a neural network approach, SCACR2019 – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research Engineering, Geology, Ecology & Management 9th – 11th September 2019 – Bari, Italy

 **Interreg  
Italia-Malta**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale  
European Regional Development Fund

