



SCUOLA NORMALE SUPERIORE  
CONVEGNO PROGETTO MAREGOT- PISA, 8 OTTOBRE 2019

GESTIONE E PREVENZIONE DEL RISCHIO COSTIERO DI UN TERRITORIO IN EVOLUZIONE

# RESISTENZA, RESILIENZA E ANTIFRAGILITÀ PER LA DIFESA DELLA COSTA



UNIVERSITÀ  
degli STUDI  
di CATANIA



PROF. ING. ENRICO FOTI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA  
efoti@dica.unict.it

GRUPPO DI LAVORO

R. E. MUSUMECI · L. CAVALLARO · C. IUPPA ·  
C. GIARRUSSO · M. MARINO · M. STAGNITTI



La cooperazione al cuore del Mediterraneo



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

# necessità di un approccio innovativo per la difesa della costa

---



# necessità di un approccio innovativo per la difesa della costa

criticità



cambiamenti climatici

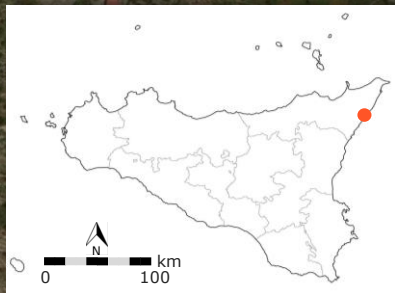
- innalzamento del livello del mare
- maggiore frequenza delle forzanti
- maggiore severità delle forzanti

misure di mitigazione

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

# criticità | **erosione costiera** e vulnerabilità alle mareggiate

Sant'Alessio Siculo (ME)



Anno 1900



Anno 2017



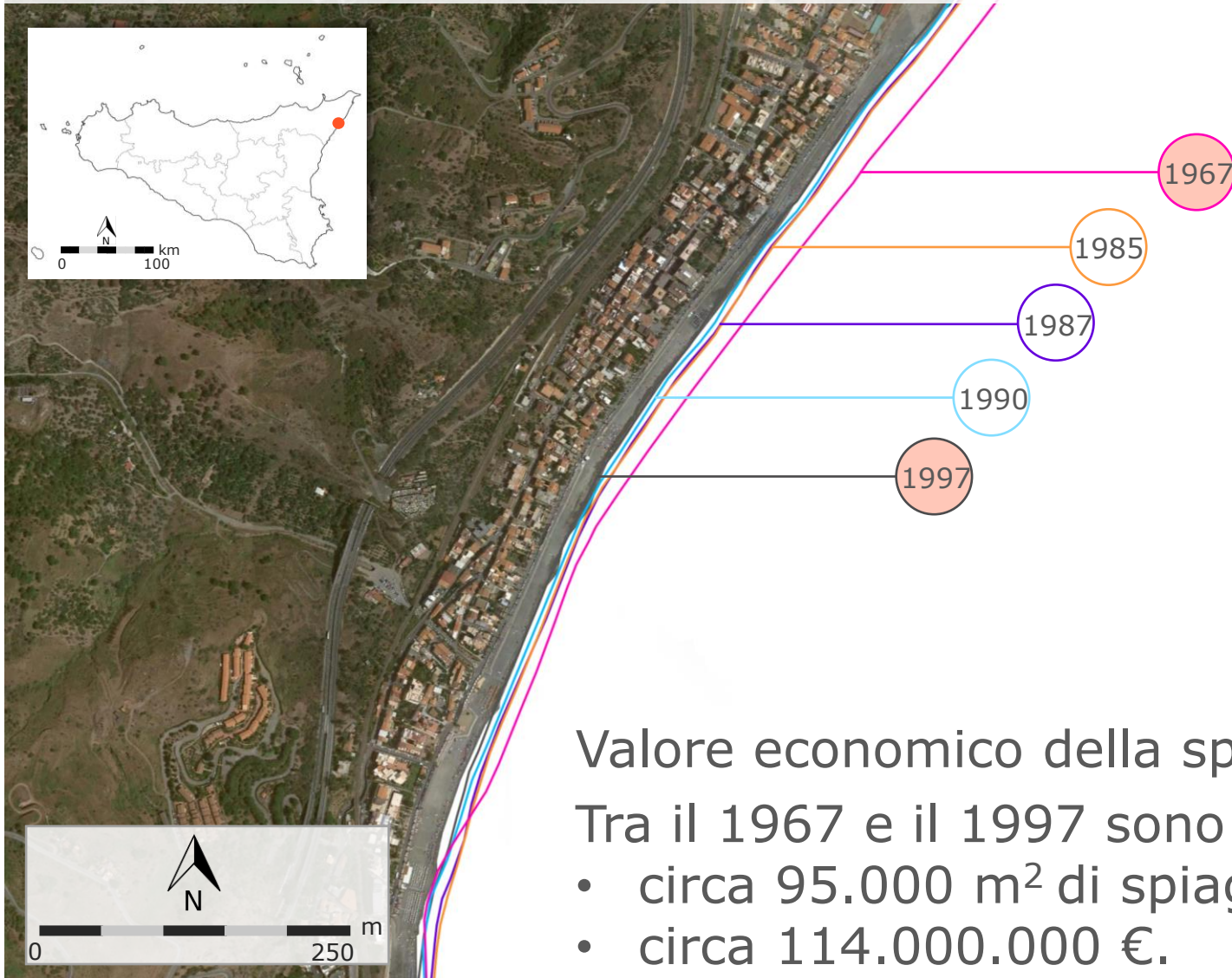
**Qual è il valore economico della spiaggia?**

Collegatevi a [www.menti.com](http://www.menti.com)

<https://www.mentimeter.com/s/0222ff45fc3130cb49769547ad95b6aa/9de1f012254b>

# criticità | erosione costiera e vulnerabilità alle mareggiate

## Sant'Alessio Siculo (ME)



Anno 1900



Anno 2017



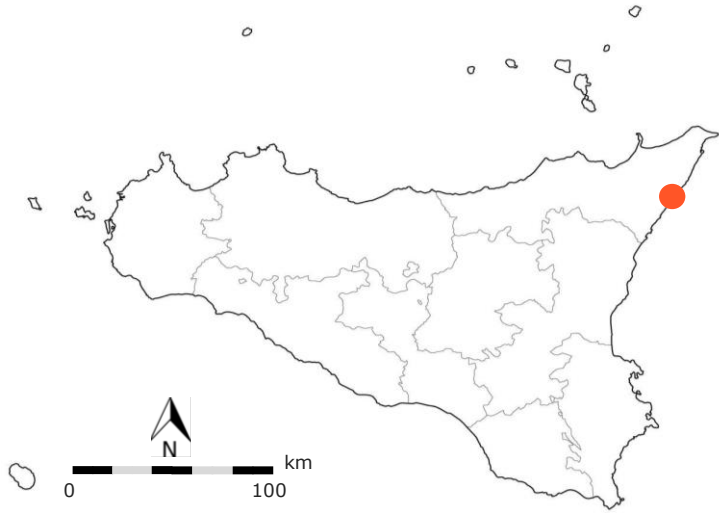
Valore economico della spiaggia: **1.200 €/m<sup>2</sup>** (NOMISMA, 2005)

Tra il 1967 e il 1997 sono stati persi:

- circa 95.000 m<sup>2</sup> di spiaggia;
- circa 114.000.000 €.

# criticità | **erosione costiera** e vulnerabilità alle mareggiate

Sant'Alessio Siculo (ME)



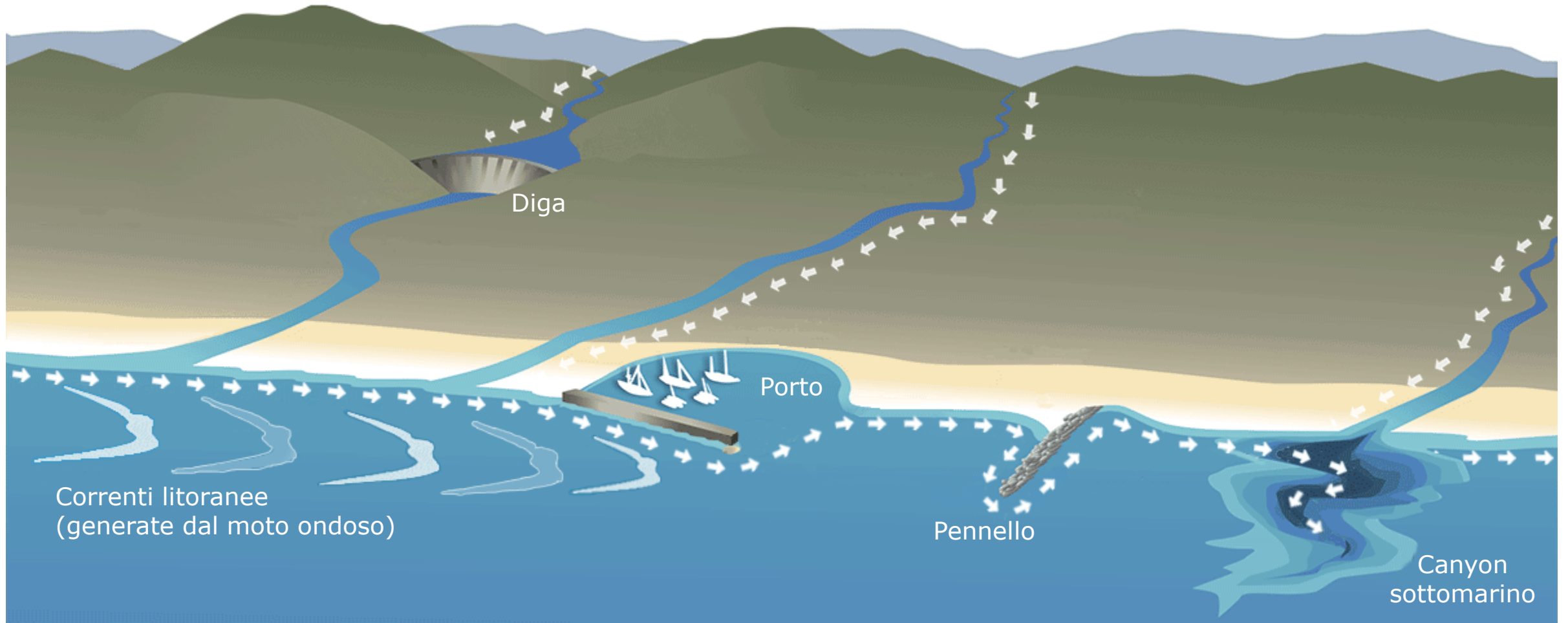
Anno 2003



Anno 2003





# cause dell'erosione costiera



# erosione costiera in Italia

variazione 1960-2012

 arretramento  
 avanzamento

Arretramento medio annuo (km/anno)	Veneto	Sicilia	Toscana	Puglia	Calabria	Emilia-Romagna
1960-1994	2,0	9,8	2,3	3,0	8,6	2,0
1994-2012	2,5	10,9	3,6	3,7	12,7	1,1

L'erosione costiera in Italia. Le variazioni della linea di costa dal 1960 al 2012 – Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare. Agg. Marzo 2017 (dati elaborati)





Venezia, 4 novembre 1966



Acqua Alta a Venezia (Ermanno Reberschak)

Venezia, 29 ottobre 2018



## Maltempo a Venezia, marea record Centro storico allagato per il 70%

Il picco di marea nel pomeriggio, a 156 cm. Piazza San Marco interdetta ai turisti

di Antonella De Gregorio

**CORRIERE DELLA SERA**

### **difese passive**

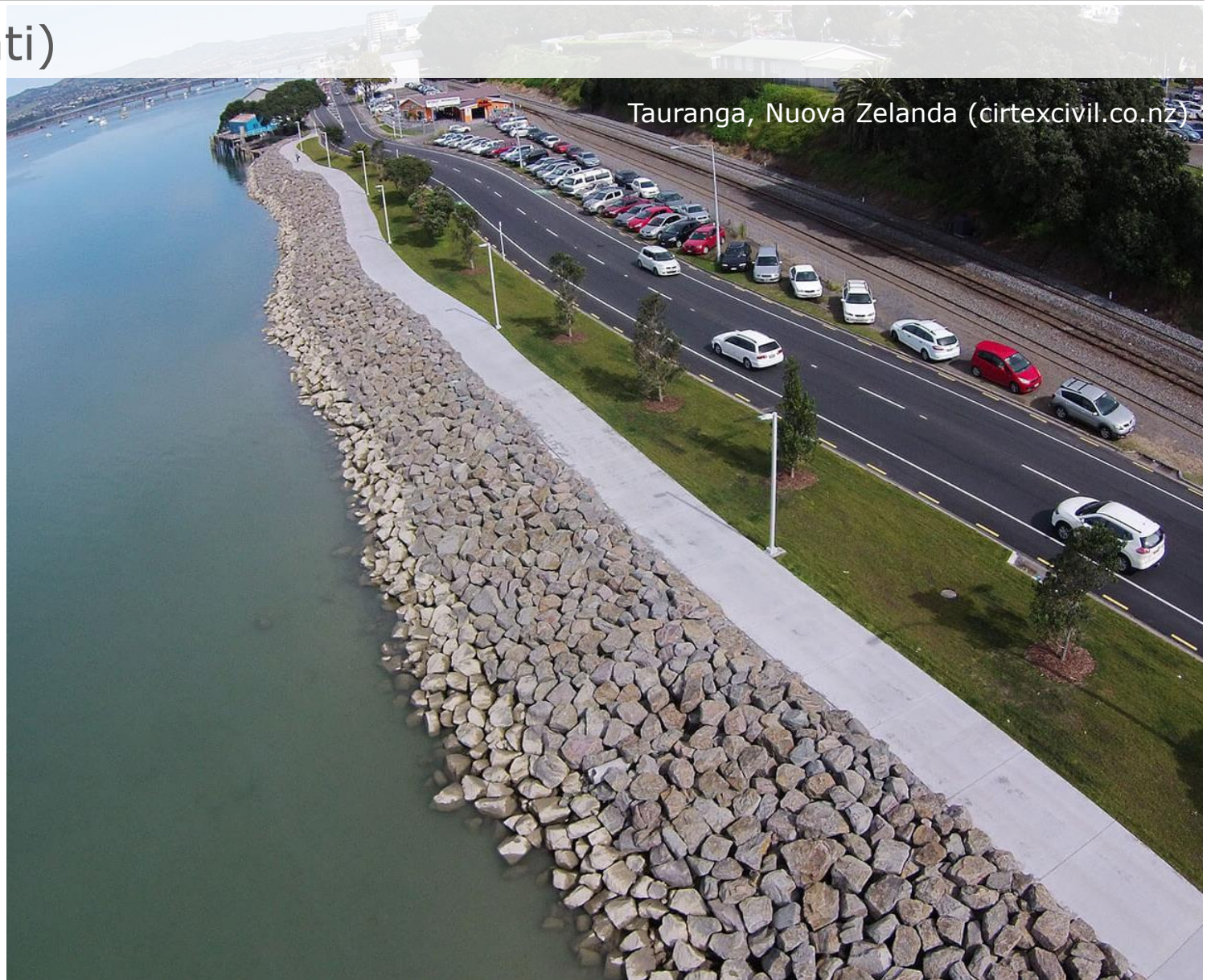
producono un'attenuazione dell'energia del moto ondoso incidente, al fine di bloccare il fenomeno erosivo

### **difese attive**

oltre ad attenuare l'energia del moto ondoso incidente, producono un incremento localizzato della spiaggia

# opere di **difesa passiva**

## difese aderenti (opere resistenti)



# opere di **difesa** **passive**

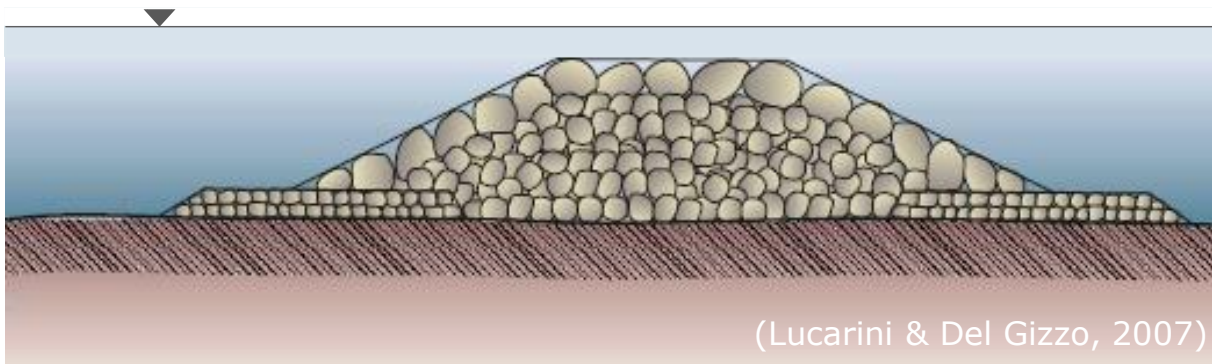
ripascimento

Costa laziale, (SIDRA S.p.A.)



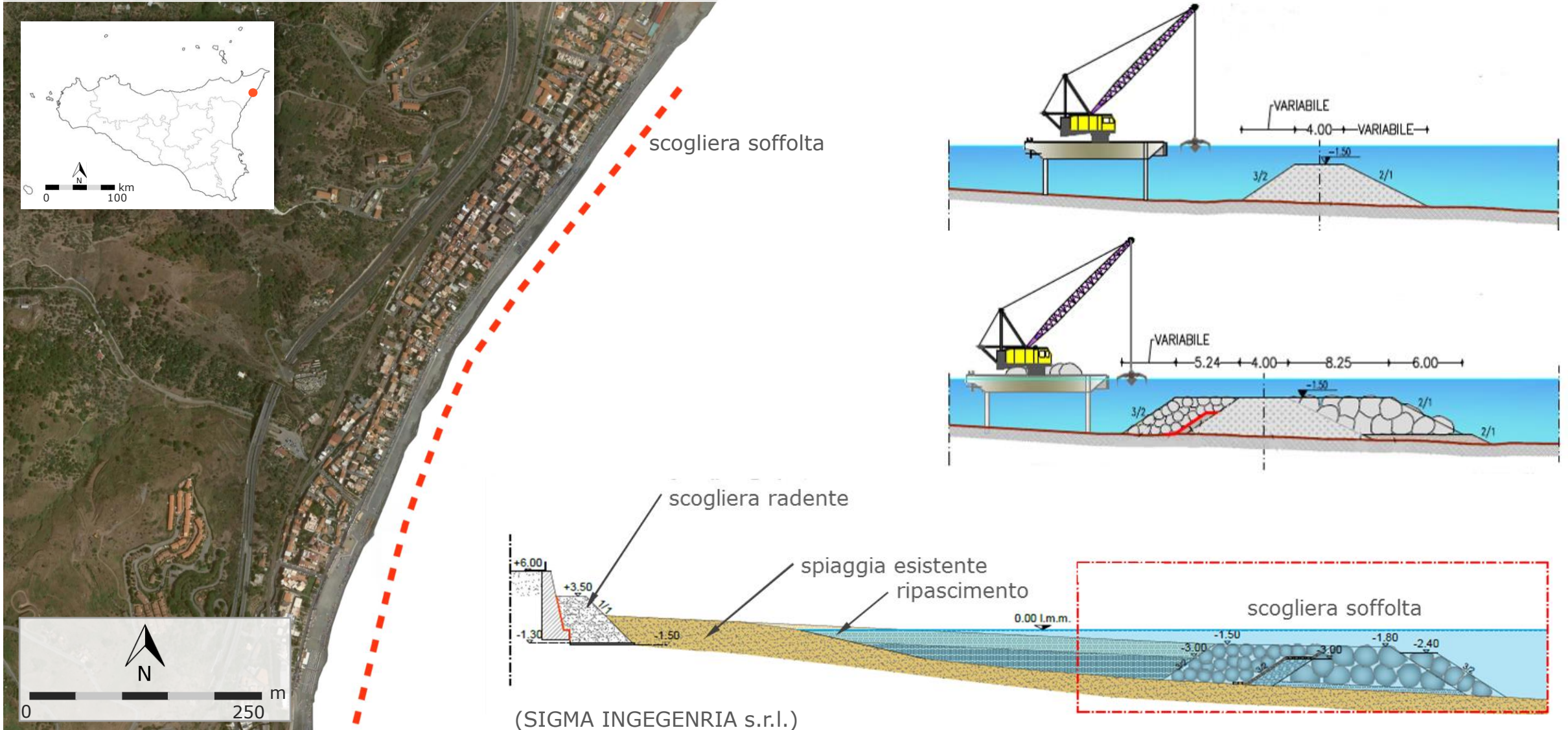
# opere di **difesa attiva**

barriere e pennelli



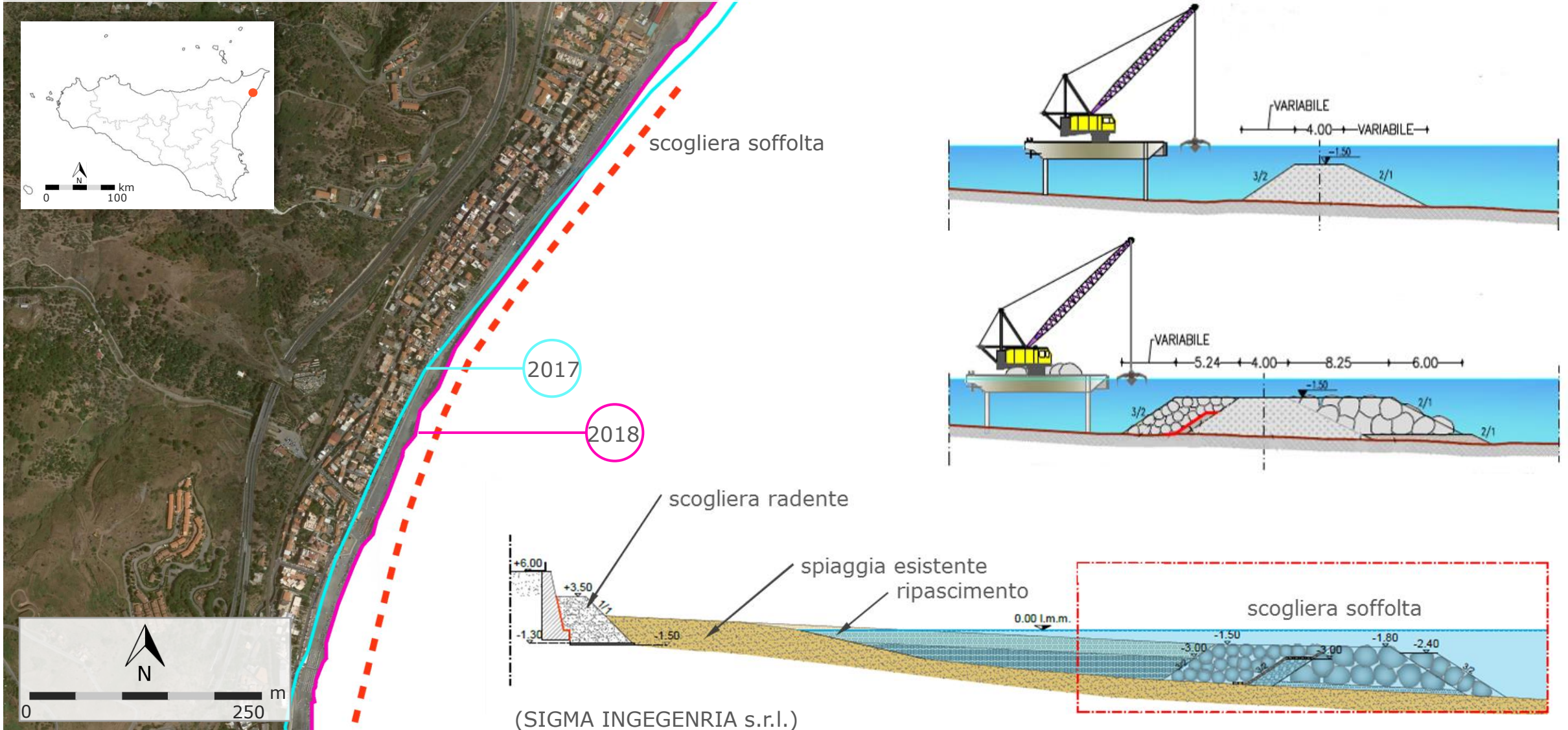
# opere di **difesa attiva**

Sant'Alessio Siculo (ME) | ripascimento protetto con scogliera soffolta



# opere di **difesa attiva**

Sant'Alessio Siculo (ME) | ripascimento protetto con scogliera soffolta



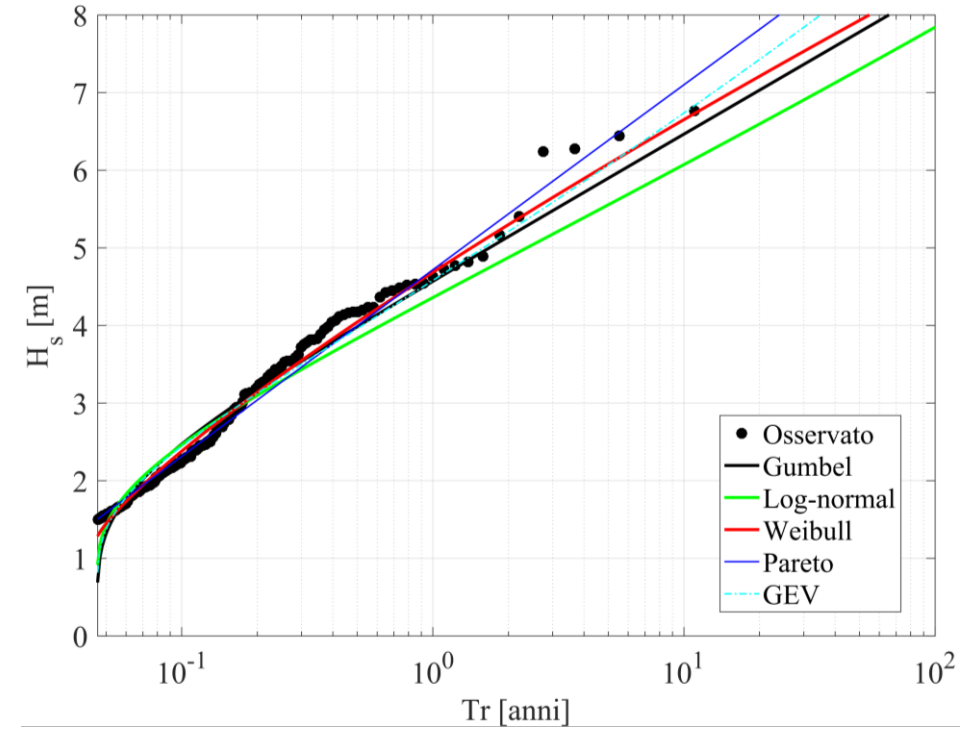
# opere di difesa della costa | **approccio metodologico tradizionale**



Dati meteo-marini storici  
altezze e periodi d'onda, correnti, venti...



Analisi di tipo statistico  
Principio di stazionarietà

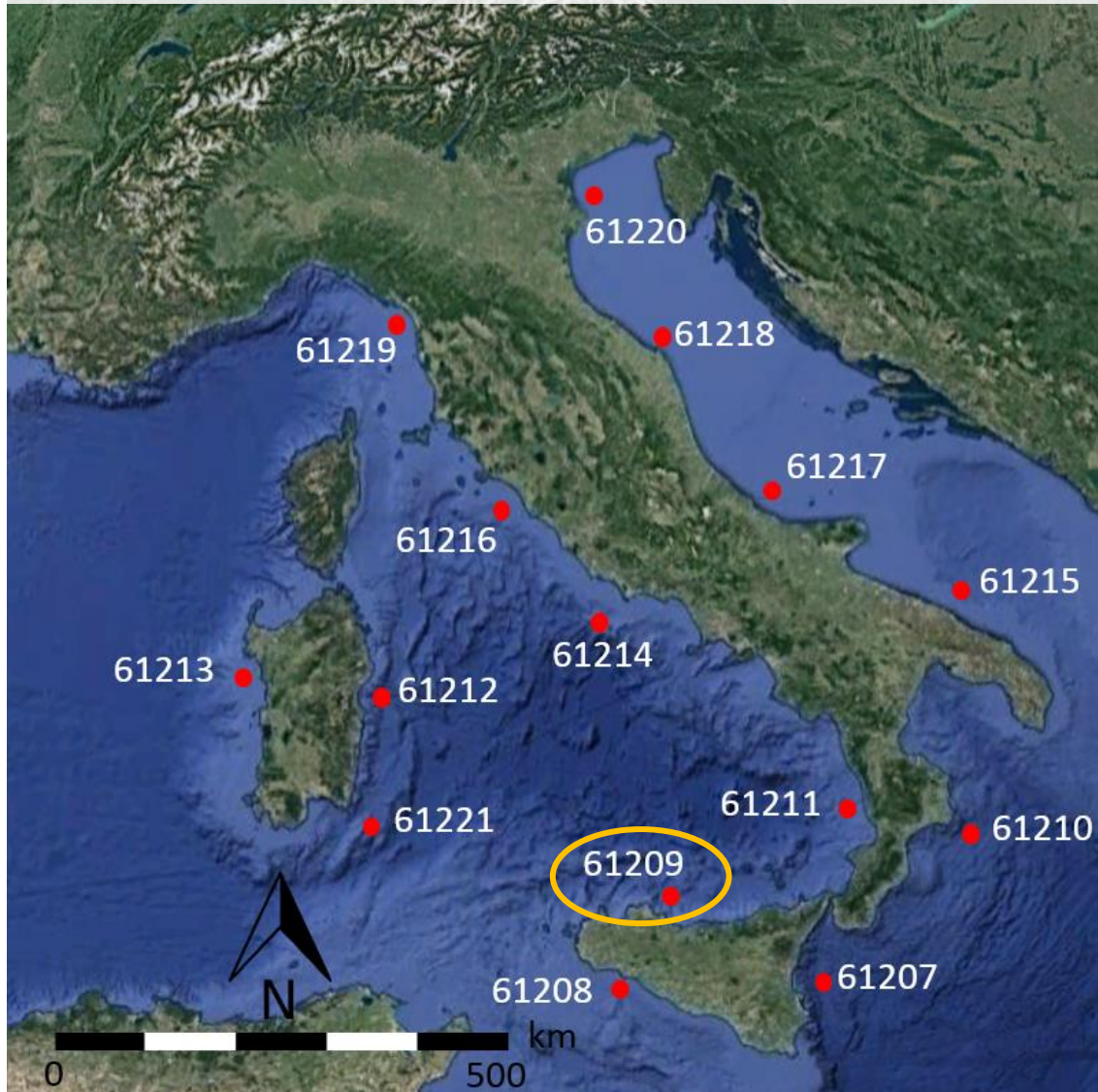


Condizioni di progetto  
per un fissato tempo di ritorno



# criticità | **carenza di dati** meteo-marini

Posizione delle boe RON nel 2014



Datawell-Wavec



Datawell BV



TRIAXIS Wave Buoy



AXIS WatchKeeper Buoy



1989

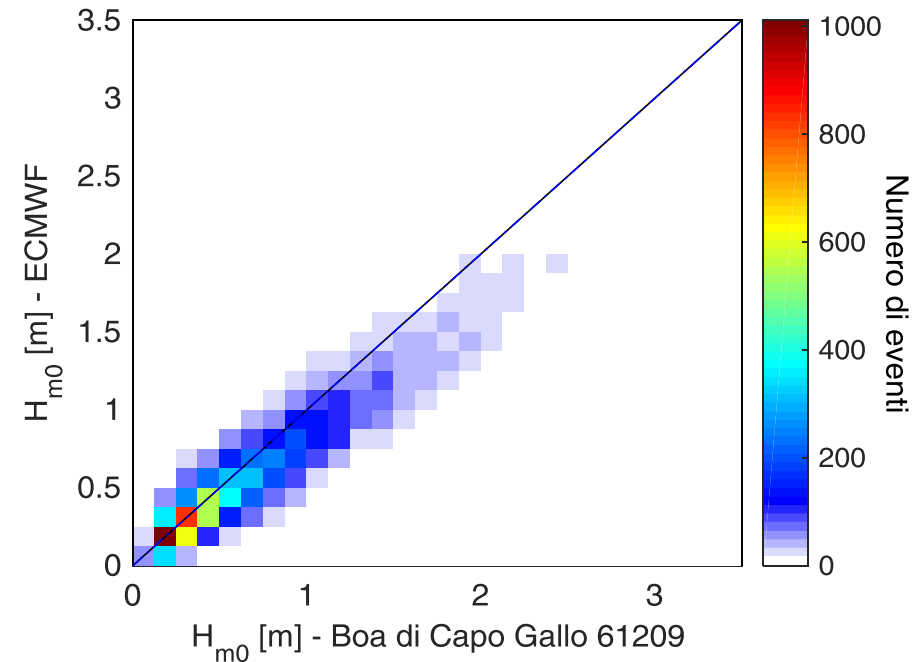
1999

2002

2009

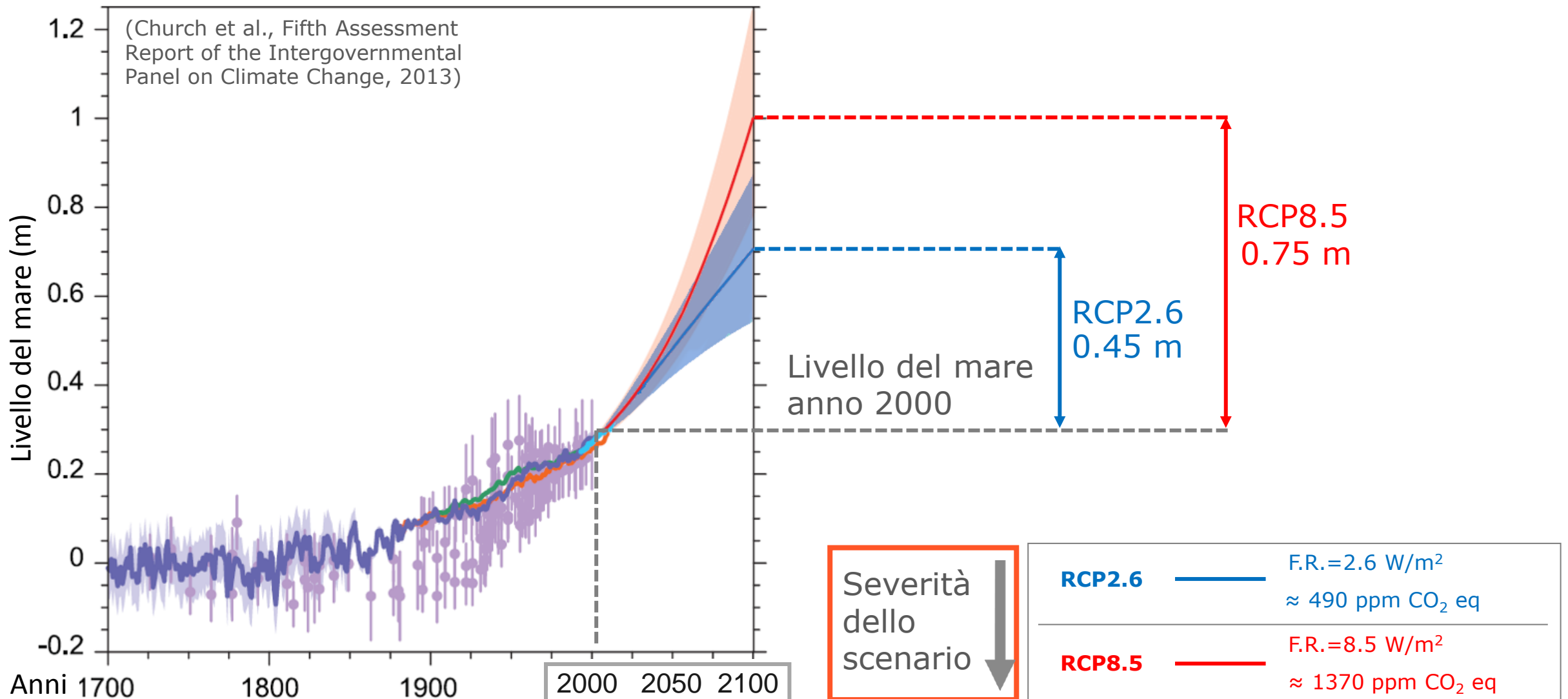
2014

La RON è dismessa



# 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

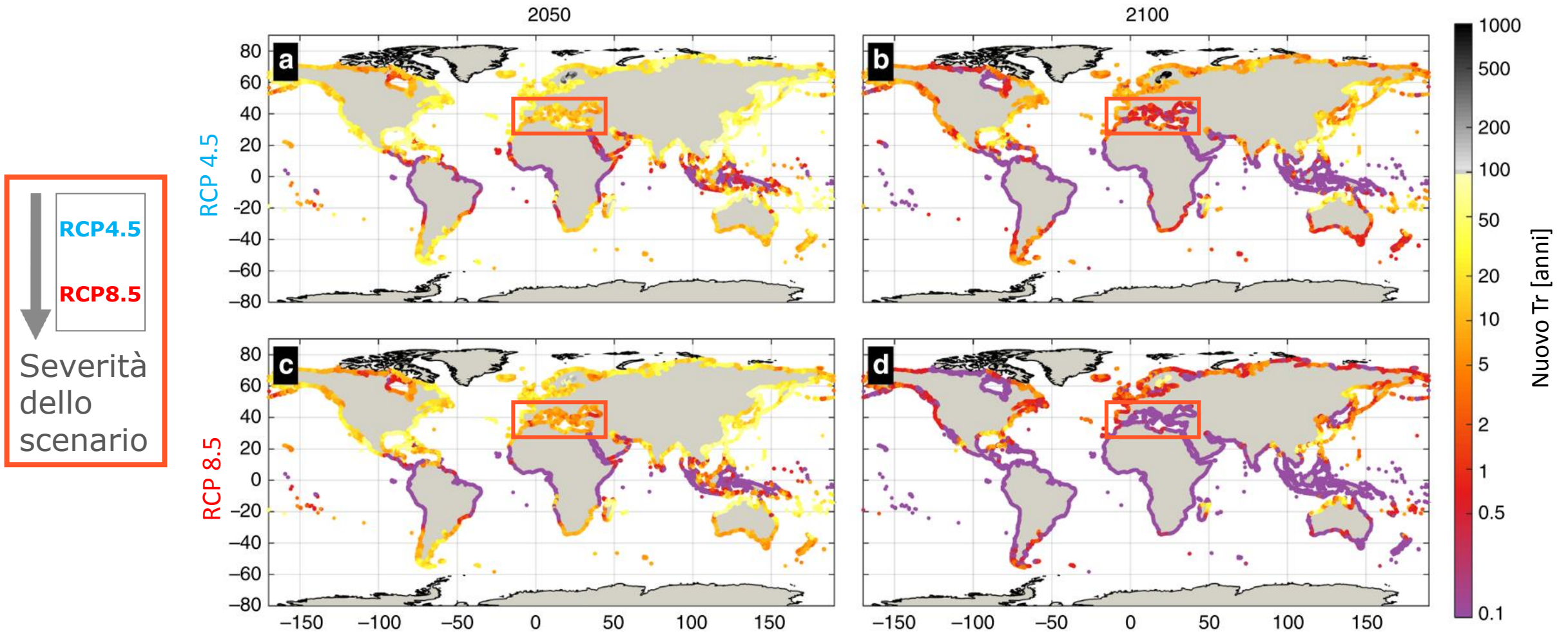
Innalzamento (cm) min e max del livello del **Mar Mediterraneo** stimato al 2050



(courtesy of Malanotte-Rizzoli, Marchi Lecture 2018)

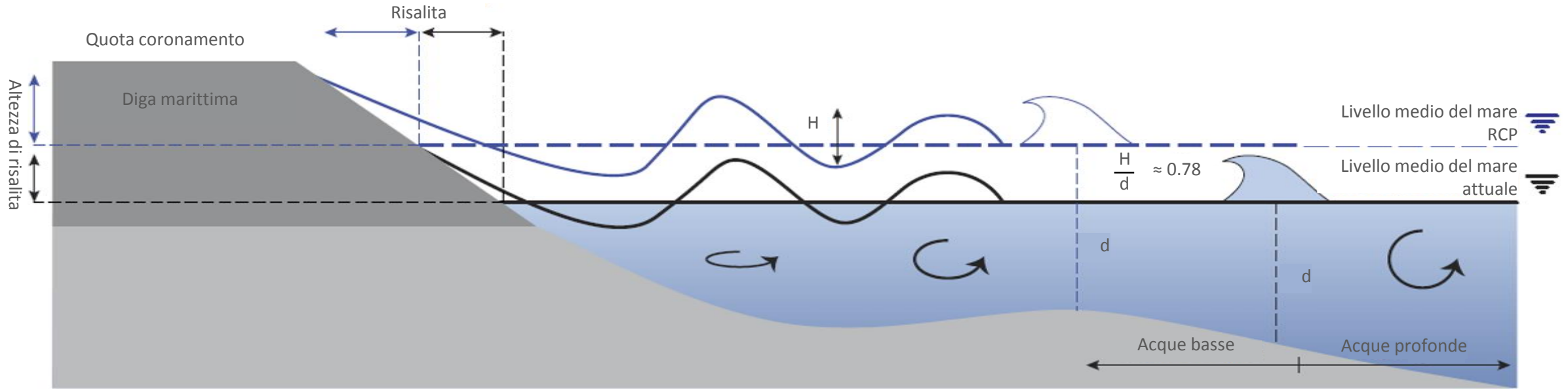
# cambiamenti climatici | maggiore frequenza delle forzanti

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



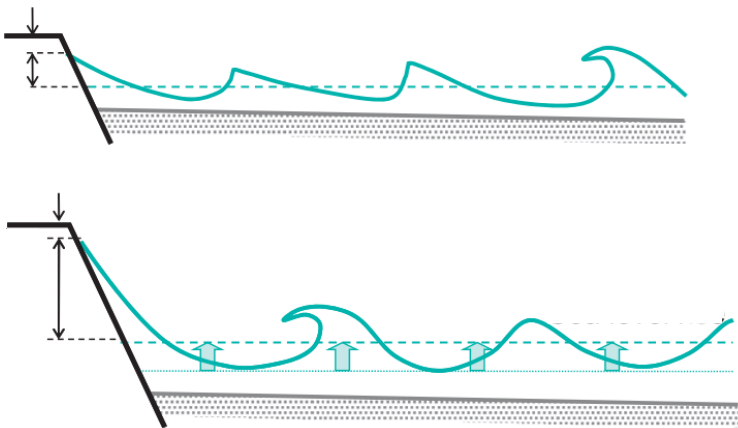
(Vousdoukas et al., Nature Communications, 2018)

# cambiamenti climatici | maggiore severità delle forzanti

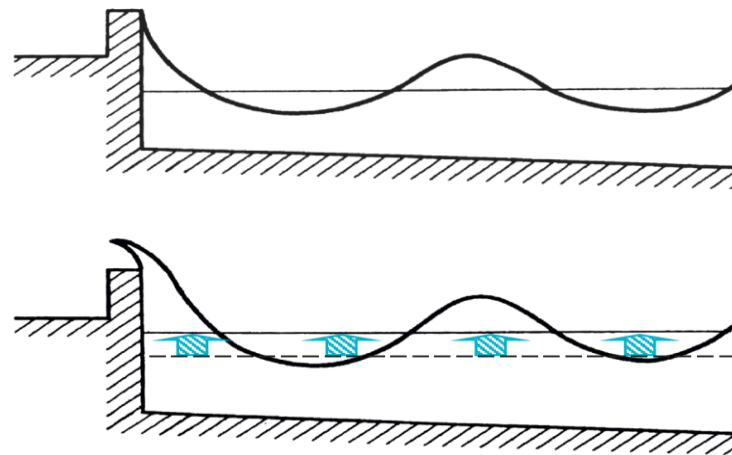


(Arns et al., Scientific Reports, 2017)

## Risalita

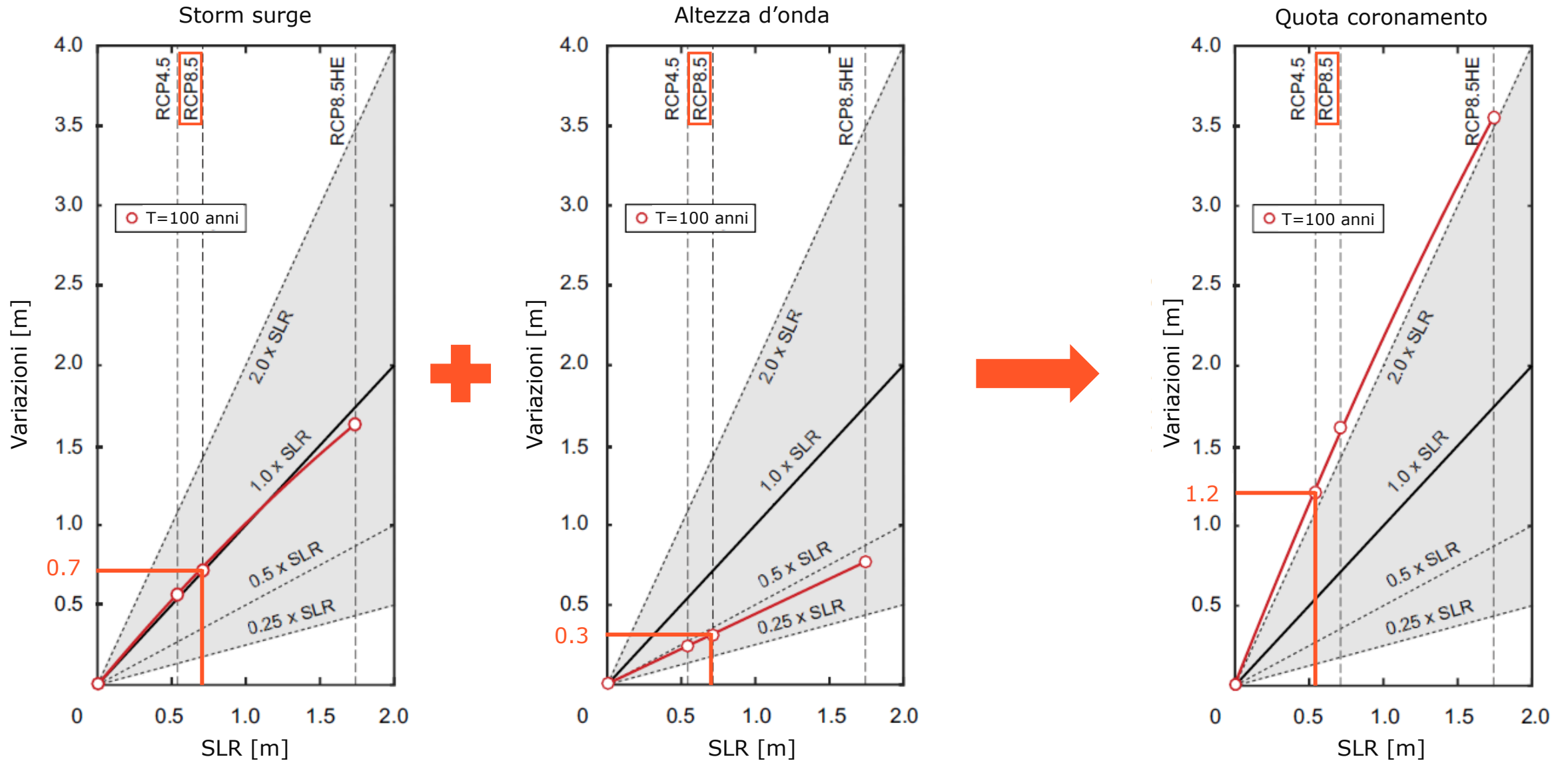


## Tracimazione



(Isobe et al., Ocean Engineering, 2013)

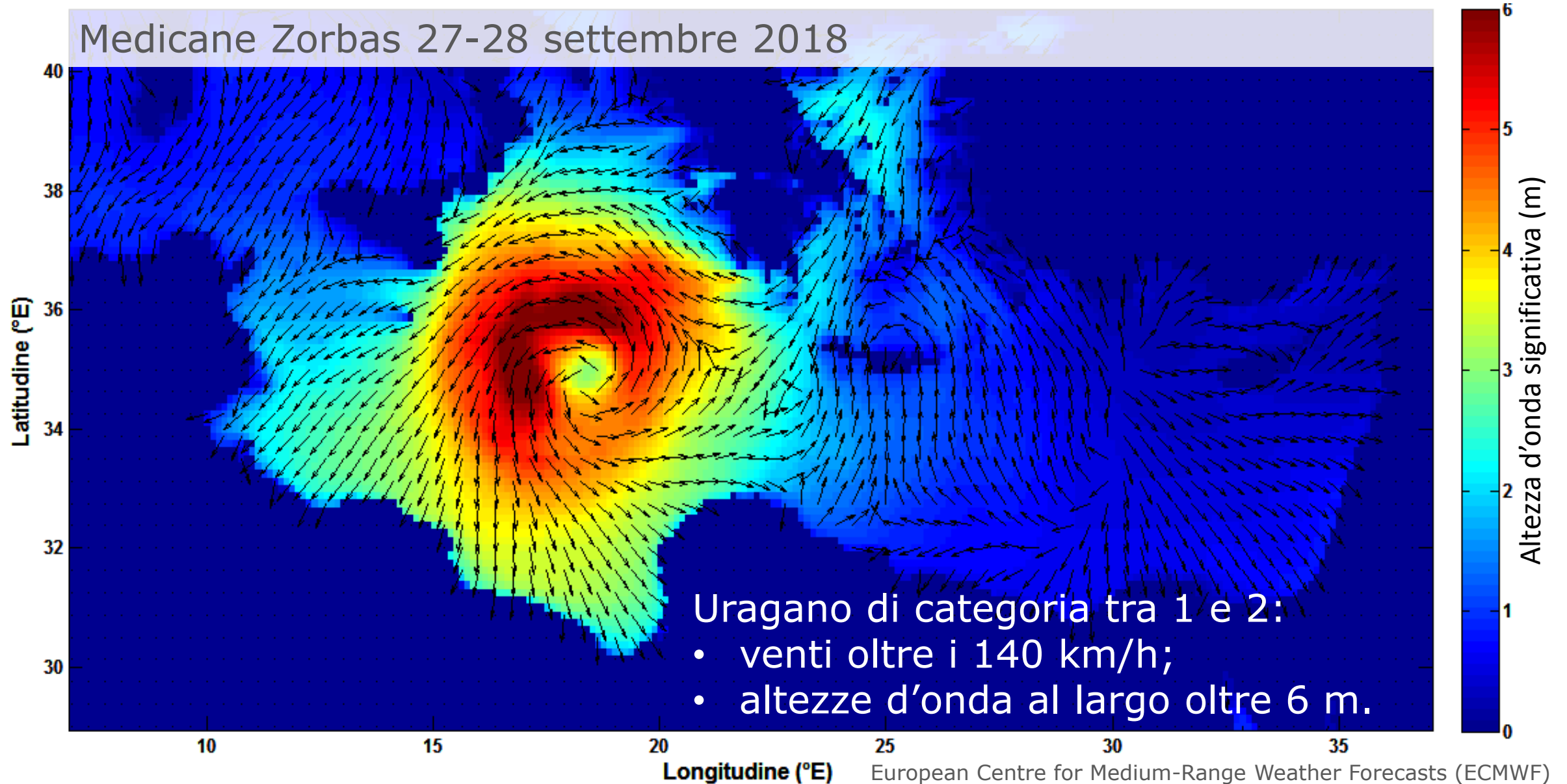
# cambiamenti climatici | maggiore severità delle forzanti



SLR= Innalzamento del livello del mare

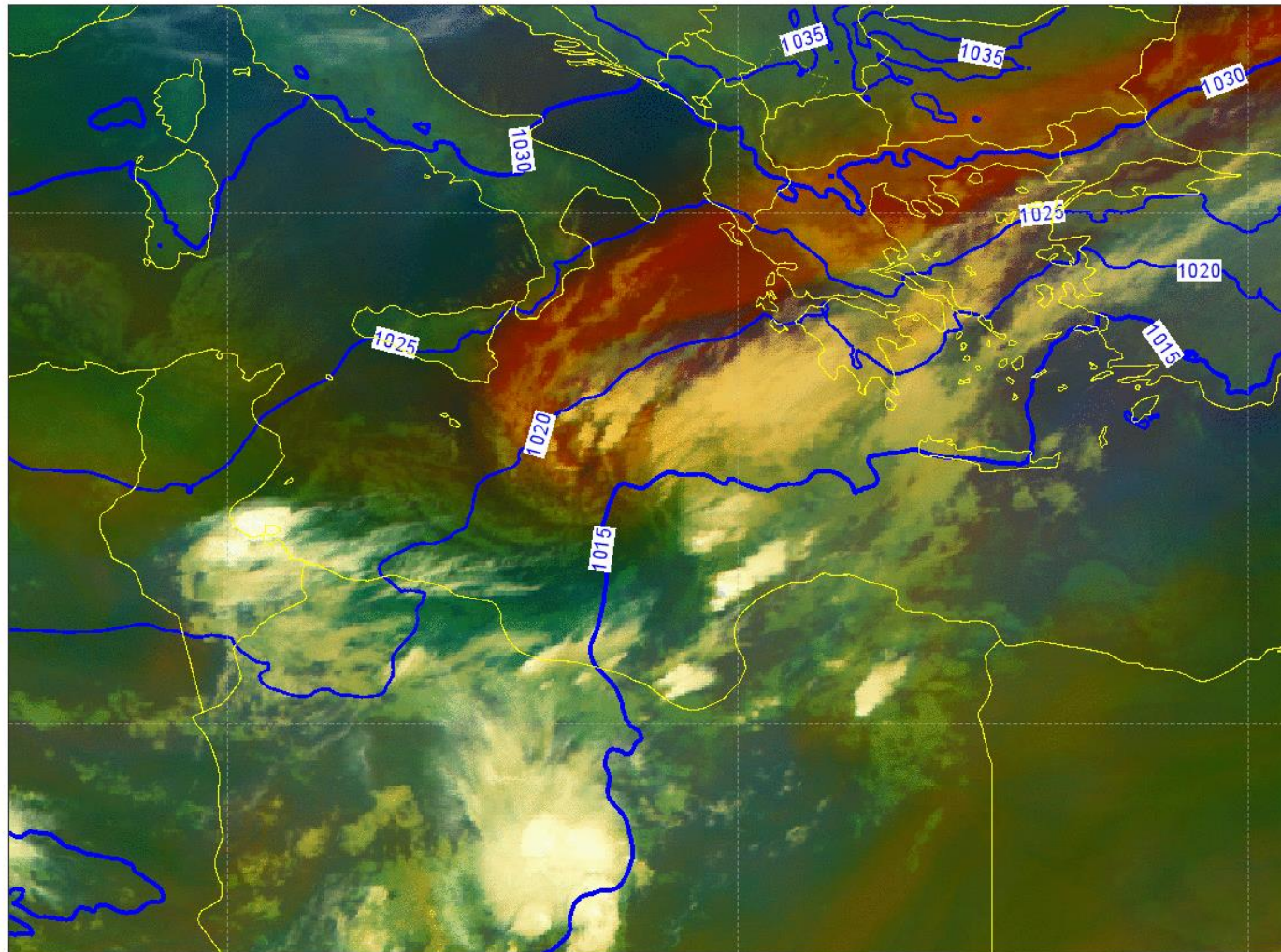
Elaborazioni relative a Pellworm Ovest, Germania (Arns et al., Scientific Reports, 2017)

# cambiamenti climatici | maggiore severità delle forzanti



## Medicane Zorbas 27-28 settembre 2018

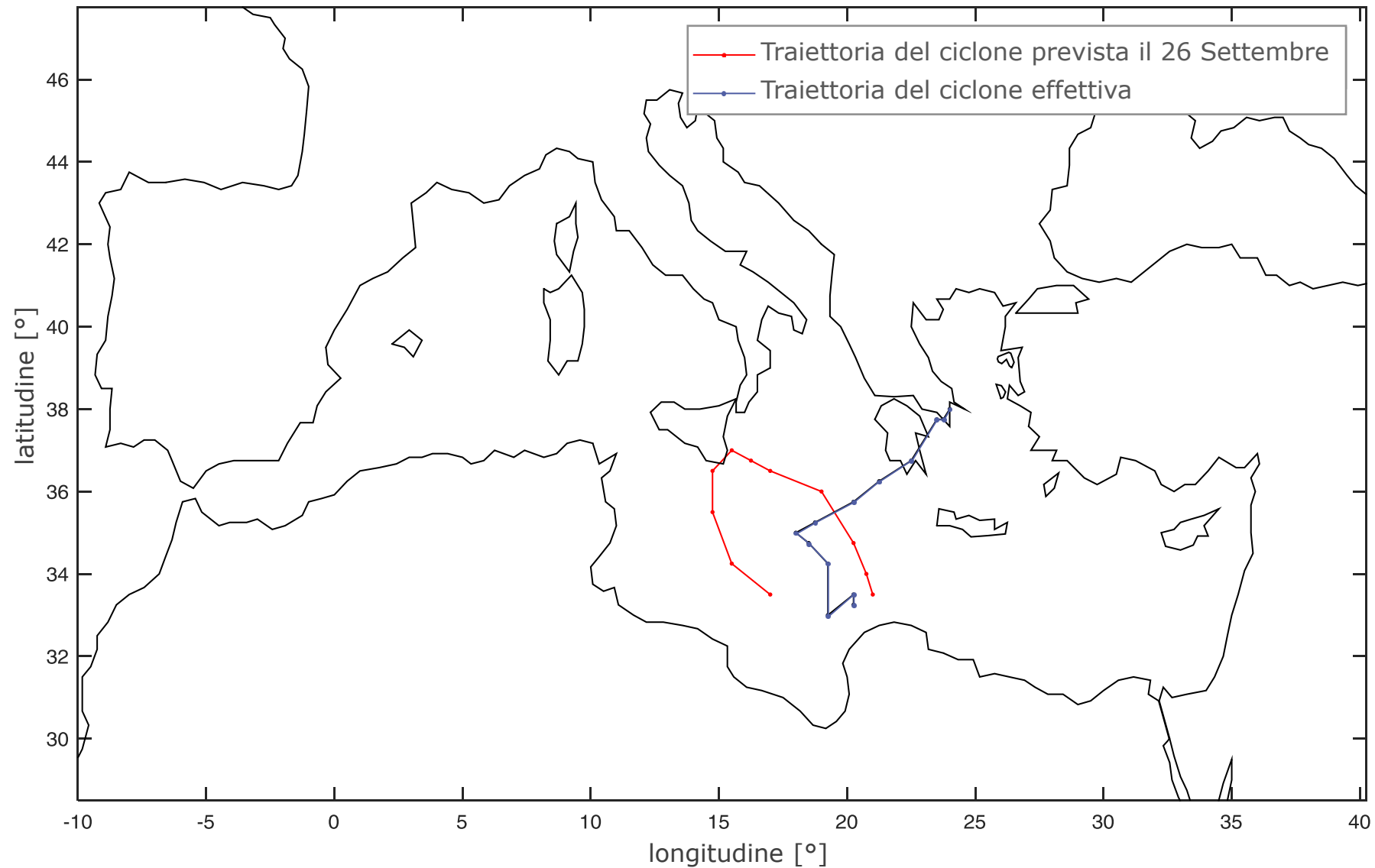
Thursday 27 September 2018 00 UTC ecmf t+0 VT:Thursday 27 September 2018 00 UTC surface Mean sea level pressure  
WMS: msg\_airmass 20180927 000000





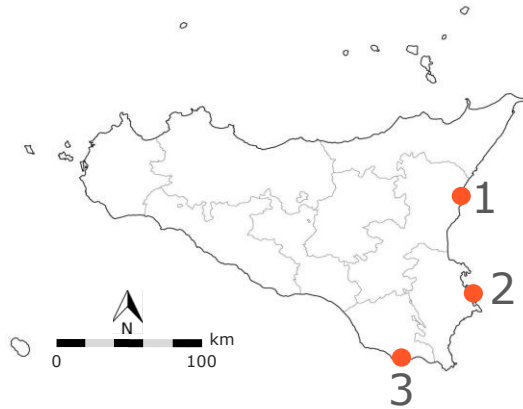
# cambiamenti climatici | maggiore severità delle forzanti

Medicane Zorbas 27-28 settembre 2018



# cambiamenti climatici | maggiore severità delle forzanti

Medicane Zorbas 27-28 settembre 2018



2 - Ortigia (SR)



3 - Sampieri (RG)



1 - Stazzo (CT)



*Innalzamento del livello del mare, variazioni nella frequenza e nell'intensità delle mareggiate e la risultante erosione costiera causeranno danni ecologici significativi, perdite economiche e altri problemi sociali lungo le zone di costa bassa.*



(EEA Report No 1/2017)

Aumento  
della  
frequenza  
delle  
inondazioni

Incremento  
dell'erosione  
costiera

Maggiore  
severità di  
eventi  
meteorologici  
estremi

Alterazione  
degli habitat  
delle specie  
marine

## Misure istituzionali

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

## Misure di preparazione e prevenzione

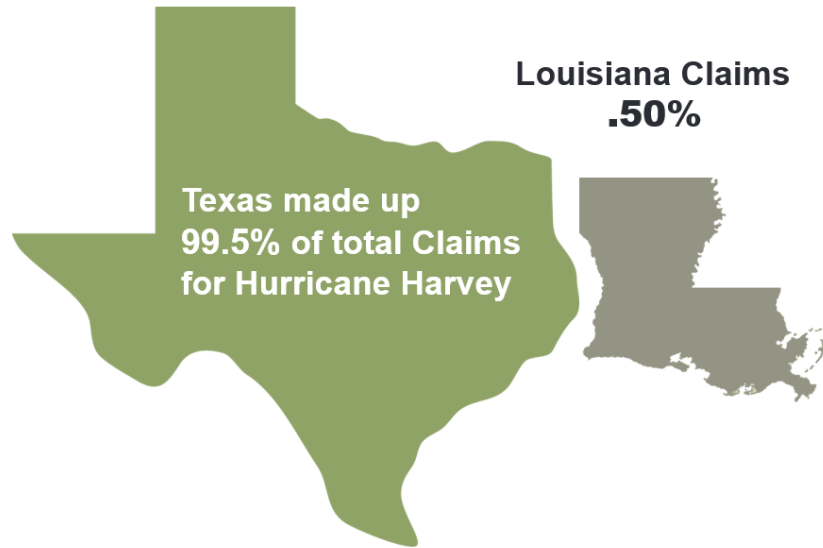
- Miglioramento del sistema di monitoraggio
- Miglioramento dei sistemi di previsione
- Sviluppare una rete di allerta

## Misure strutturali

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

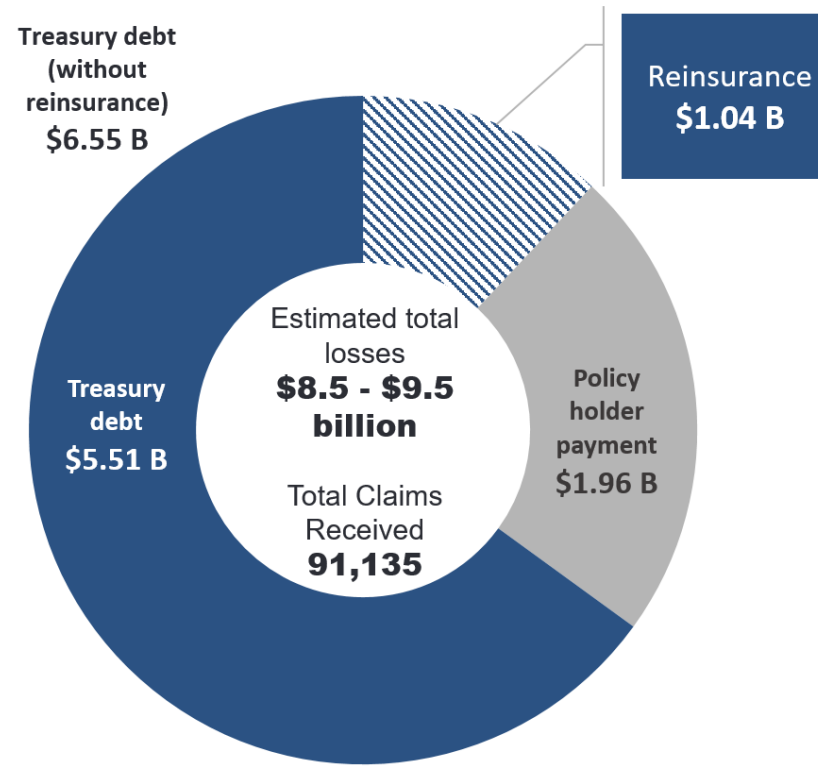
## National Flood Insurance Program (NFIP)

### Impact of Reinsurance on Hurricane Harvey Losses



**FEMA recovered \$1.042 billion from the private markets**

26% of losses covered by reinsurance between **\$4 and \$8 billion**



Note: As of November 30, 2017

### Limiti

- Si contrasta solo indirettamente sviluppo in aree a rischio
- Le valutazioni non tengono conto degli effetti dei cambiamenti climatici

(Summary Of The January 2018 Traditional Reinsurance Placement)

# misure istituzionali | buyout programs

- Permettono ai residenti di zone ad elevato rischio costiero di vendere le proprie abitazioni e trasferirsi in zone più sicure.
- Utilizzati negli stati di New York, New Jersey e Connecticut (USA) a seguito degli uragani Irene e Sandy.



La prima demolizione del New Jersey Blue Acres Program (2014)



Casa in attesa di demolizione nel New Jersey (le Scienze, dicembre 2018)

Coinvolgimento di enti locali, regionali e nazionali

Studi specifici per ogni singola comunità

Premi per incentivare la partecipazione dei residenti

Buy-In for Buyouts -The Case for Managed Retreat from Flood Zones, Policy focus Report 2016, Lincoln Institute of Land Policy

## Misure istituzionali

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

## Misure di preparazione e prevenzione

- Miglioramento del sistema di monitoraggio
- Miglioramento dei sistemi di previsione
- Sviluppare una rete di allerta

## Misure strutturali

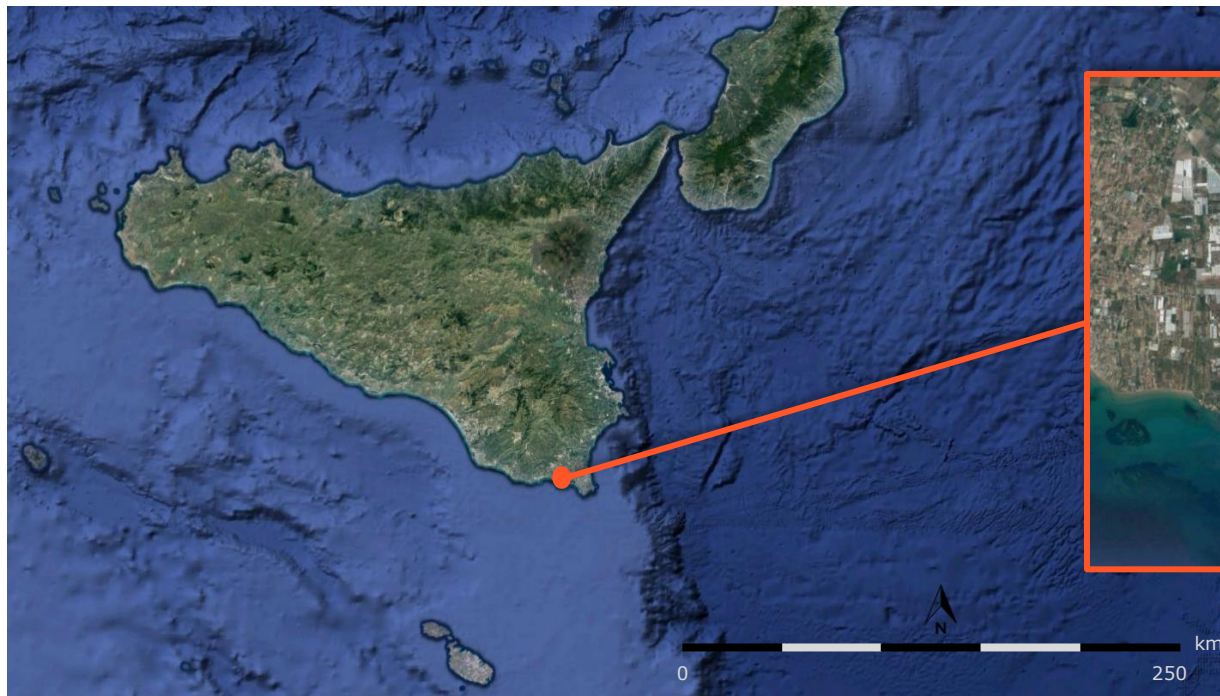
- Adattamento delle strutture esistenti
- Interventi resilienti basati sulle Nature Based Solutions (NBS)
- Interventi antifragili basati su soluzioni integrate

# misure di preparazione e prevenzione | progetto NEWS



## Nearshore hazard monitoring and Early Warning System

- **Finalità:** sviluppo di un sistema integrato di monitoraggio, early warning e adattamento ai rischi provenienti dal mare.
- **Sito di sperimentazione**



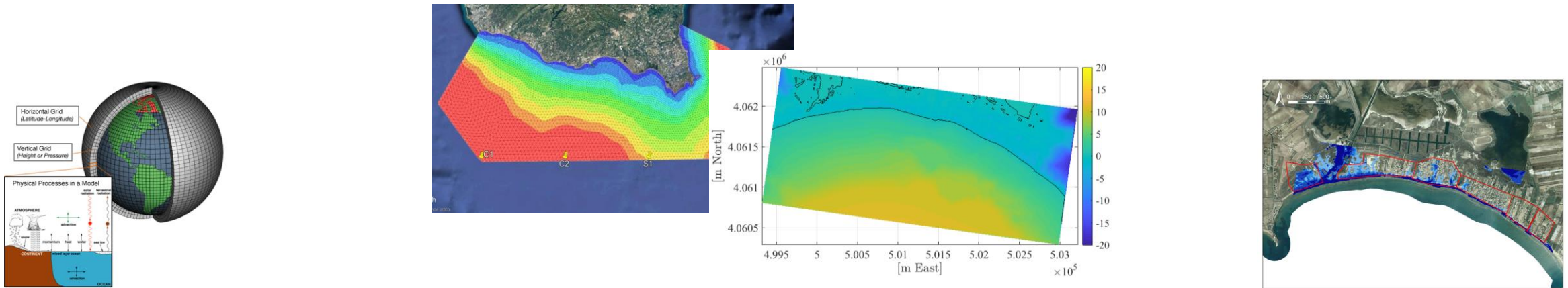
Granelli (SR)





# misure di preparazione e prevenzione | progetto NEWS

Approccio tradizionale per la previsione di inondazioni costiere



Dati di previsione  
dei centri  
meteorologici



Propagazione del  
moto ondoso verso  
riva



Valutazione della  
risalita del moto  
ondoso

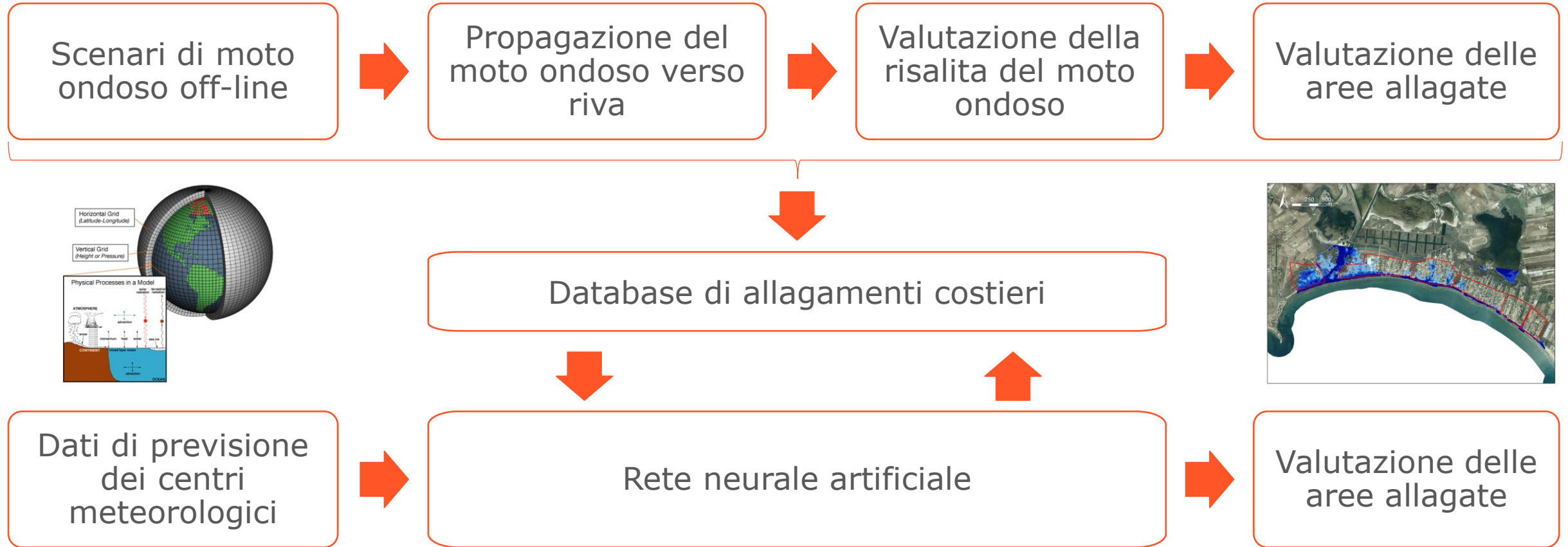


Valutazione delle  
aree allagate

tempi  
computazionali  
dell'ordine di  
**10-12 ore!**

# misure di preparazione e prevenzione | progetto NEWS

Approccio proposto per la previsione di inondazioni costiere



tempi  
computazionali  
dell'ordine di  
**pochi secondi!**

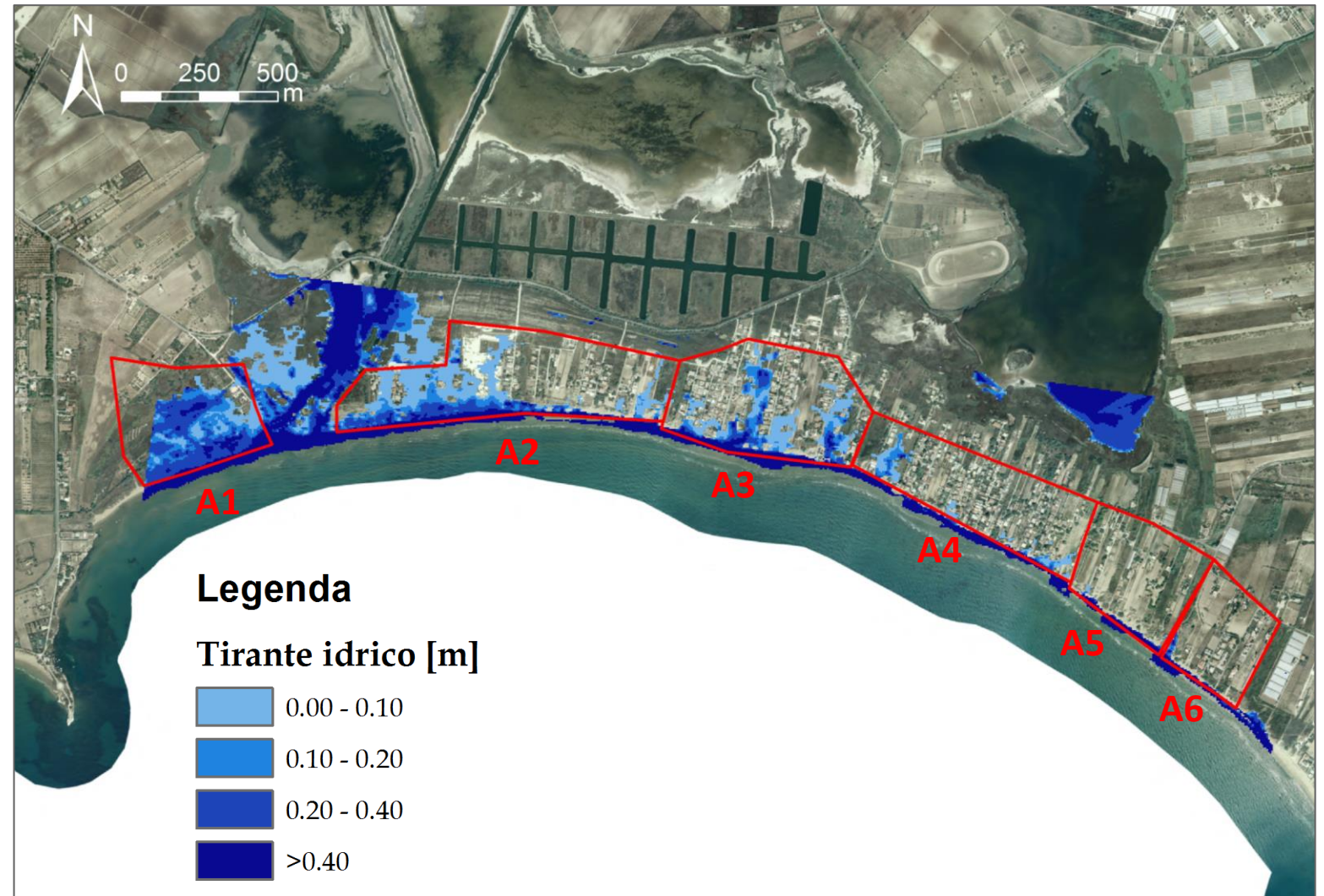
# misure di preparazione e prevenzione | progetto NEWS

Inondazioni costiere con **tempo di ritorno pari a 50 anni**

Caratteristiche del moto ondoso a largo:

- **Sovralzo** = 0.25 m s.l.m.m.
- **Altezza d'onda** = 5 m
- **Direzione dell'onda** = 180 °N
- **Periodo di picco** = 10 s

	Area allagata [%]
A1	84
A2	46
A3	41
A4	21
A5	10
A6	9



## Misure istituzionali

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

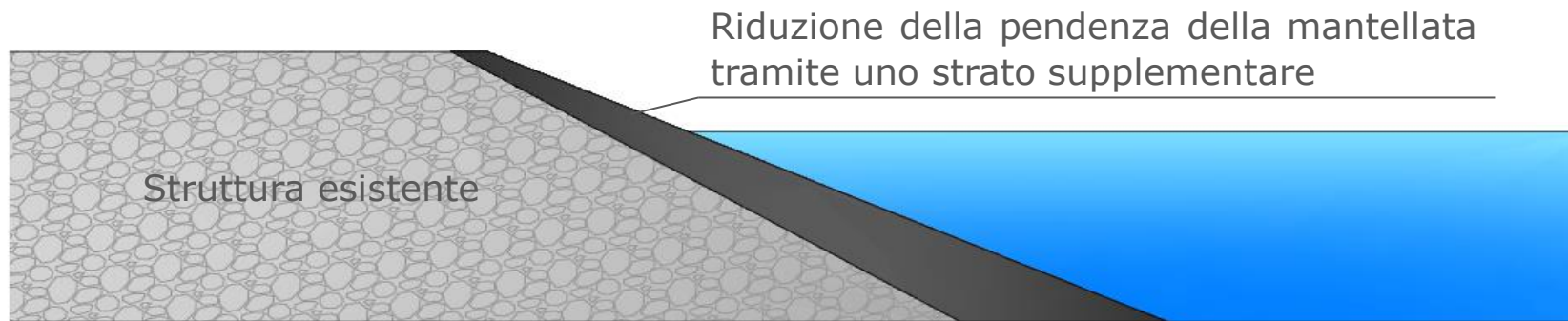
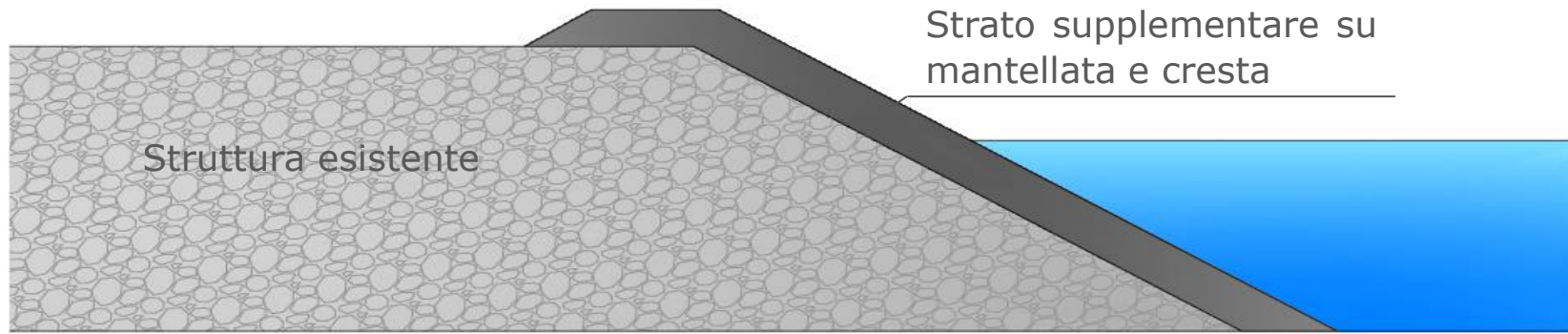
## Misure di preparazione e prevenzione

- Miglioramento del sistema di monitoraggio
- Miglioramento dei sistemi di previsione
- Sviluppare una rete di allerta

## Misure strutturali

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

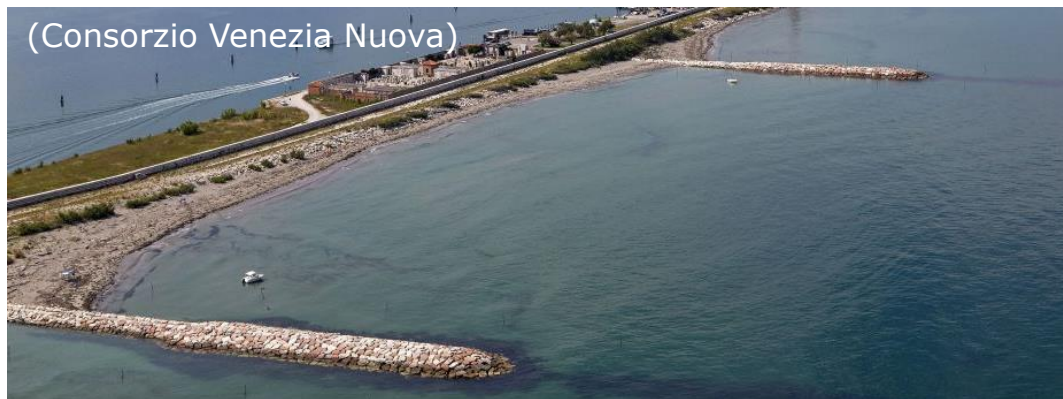
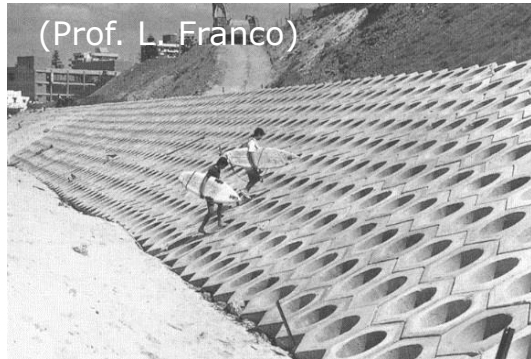
# misure strutturali | adattamento delle strutture esistenti



(Adapted from Burcharth et al., Coastal Engineering, 2014)

## Interventi resistenti

## Interventi resilienti



# misure strutturali | interventi resilienti basati sulle NBS

## The Sand Motor

Costa compresa tra Ter Heijde e Kijkduin (Paesi Bassi)

- 18.7 milioni di m<sup>3</sup> di sabbia versati in un punto strategico e diffusi naturalmente dall'azione delle onde, delle correnti e del vento.
- Il trasporto solido nella direzione Nord-Est ha esteso l'accumulo di sabbia di circa 750 m lungo la spiaggia in meno di un anno.
- Alla fine del 2015, l'accumulo di sabbia era lungo circa 2.5 km e largo 350 m.
- Costo di circa 70 milioni di euro.



# misure strutturali | interventi resilienti basati sulle NBS

## Ripristino della vegetazione dunale

Gela (CL) (Tomaselli et al., LIFE Leopoldia, 2014)



Leopoldia gussonei



Elytrigia juncea



Crucianella maritima



Asparagus stipularis-  
Retametum gussonei



Juniperus macrocarpa



# misure strutturali | interventi resilienti basati sulle NBS

## Posidonia spiaggiata per la protezione della costa

Castelvetrano (TP) ([trapani.gds.it](http://trapani.gds.it))



Rizomi

Frutto



Palle di Posidonia



**Quale immagine evoca più correttamente il concetto di antifragilità?**

Collegatevi a [www.menti.com](http://www.menti.com)

<https://www.mentimeter.com/s/56c8f093beb5c5787aaeed5c942b4c8d/abe7eb5afb75>

Interventi resistenti

Interventi resilienti

Interventi antifragili

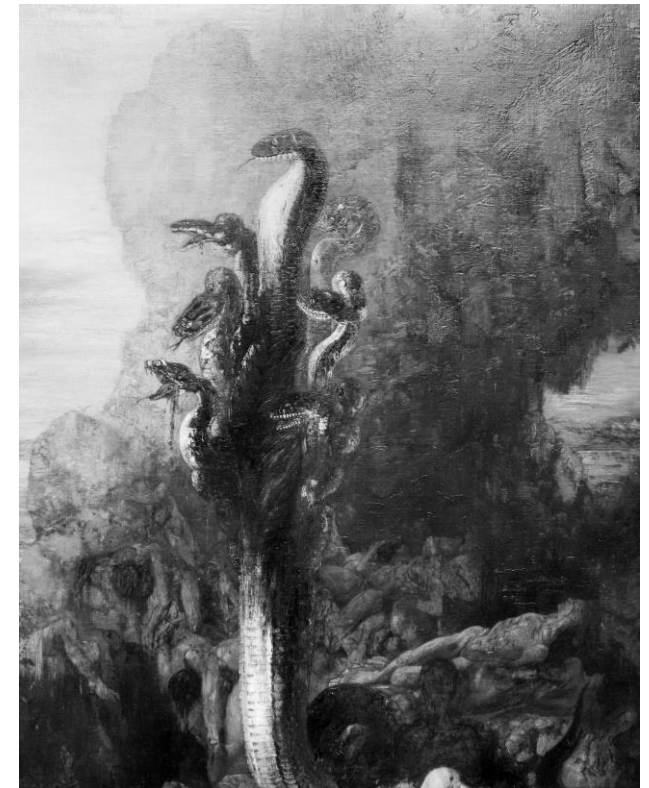
Spada di Damocle | fragile



Araba Fenice | resiliente



Idra | antifragile



(Taleb, Antifragile: prosperare nel disordine, 2012)

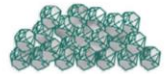
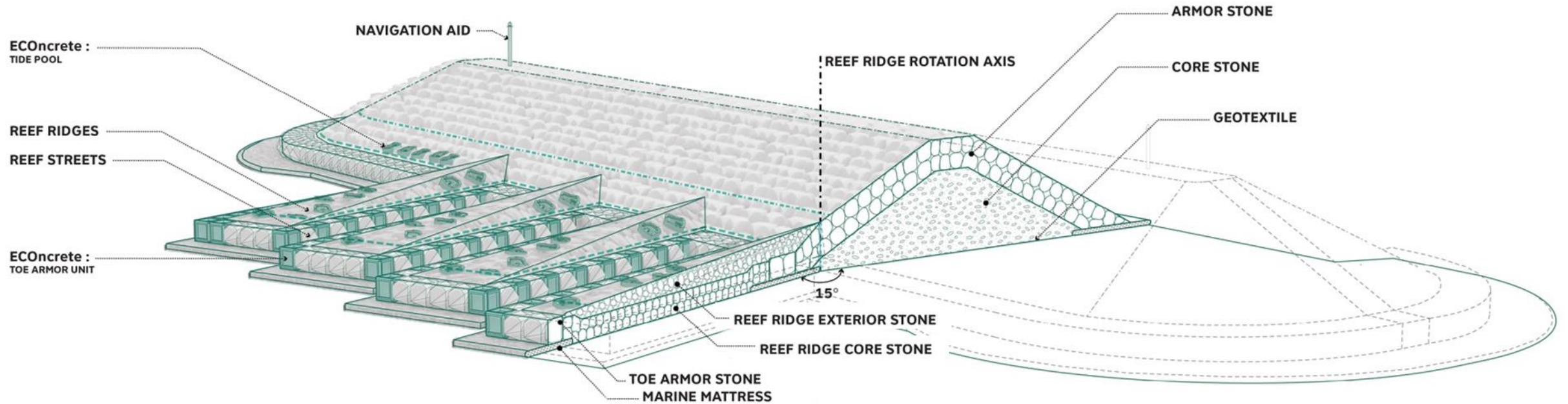
# esempio di sistema antifragile | Living Breakwater Projects (2014)

Integrazione di tecniche tradizionali e tecniche innovative

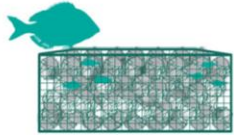


# esempio di sistema antifragile | Living Breakwater Projects (2014)

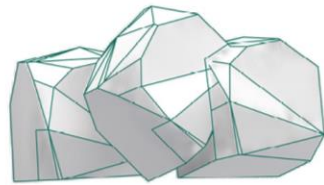
## Integrazione di tecniche tradizionali e tecniche innovative



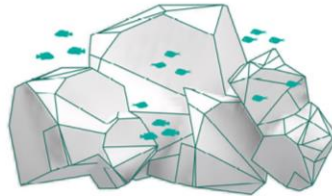
**INTERNAL CORE STONE**  
D<sub>50</sub>= 16"



**MARINE MATTRESS**  
HT= 12"



**REEF RIDGE CORE STONE**  
D<sub>min</sub>= 24" D<sub>50</sub>= 30"  
D<sub>max</sub>=36"



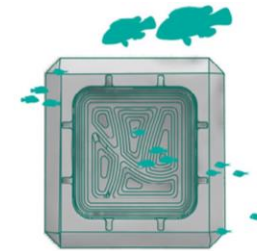
**REEF RIDGE EXTERIOR STONE**  
D<sub>15</sub>= 15" D<sub>50</sub>= 24"  
D<sub>100</sub>=36"



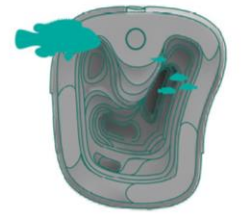
**STONE ARMOR UNIT**  
D<sub>50</sub>= 40"



**STONE TOE ARMOR UNIT**  
D<sub>50</sub>: 48"



**ECOncrete® TOE ARMOR UNIT**  
Dimension: 48"x 48"x 48"



**ECOncrete® TIDE POOLS**  
Dimension: 44"x 48"x27"

Tottenville (New York, USA)

# esempio di sistema antifragile | laguna di Venezia

---



# laguna di Venezia | **misure integrate** di mitigazione

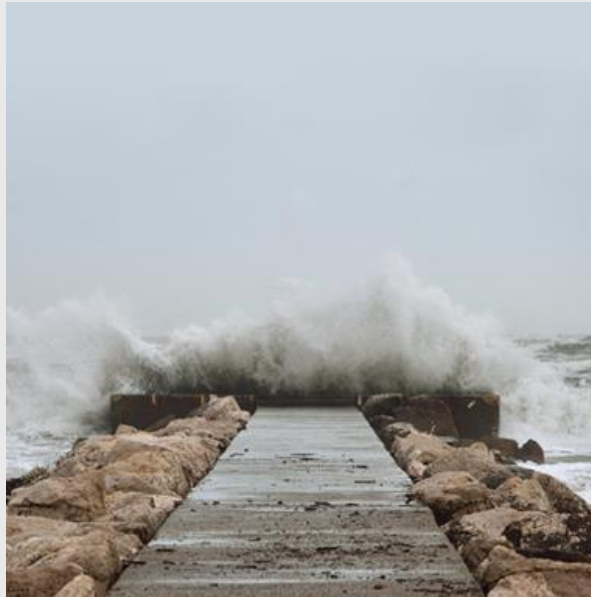


# laguna di Venezia | molteplicità di **problemi idraulico-ambientali**

Acqua Alta



Mareggiate



Erosione

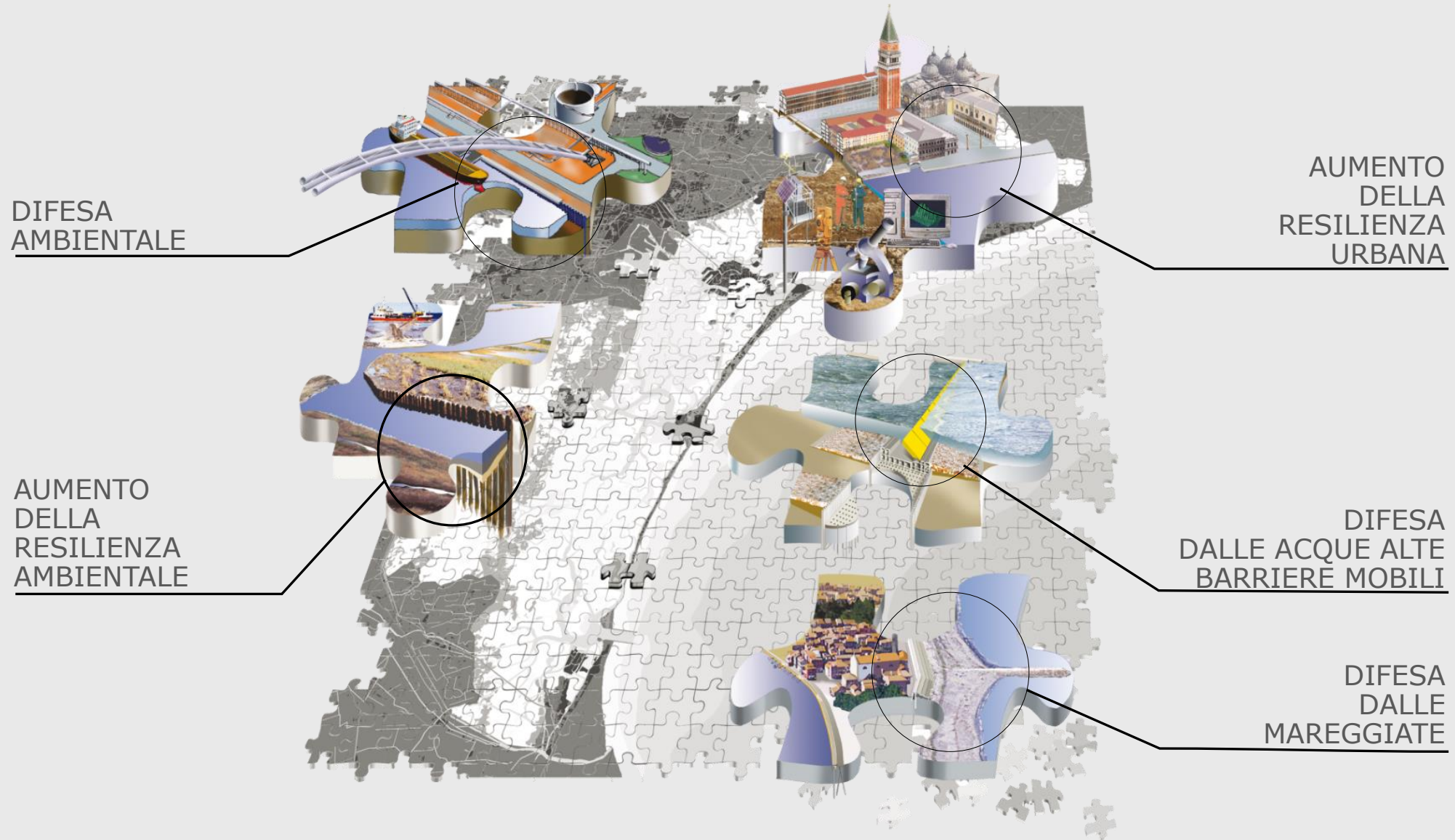


Inquinamento





# laguna di Venezia | soluzioni integrate



Fonte: Consorzio Venezia Nuova (CVN)

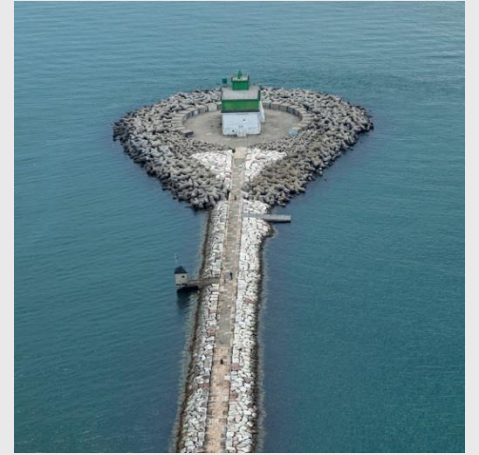
# laguna di Venezia | soluzioni integrate



56 km di spiagge nuove e protette



12 km di dune ripristinate e naturalizzate



11 km di moli foranei rinforzati



16 km<sup>2</sup> barene ricostruite e naturalizzate

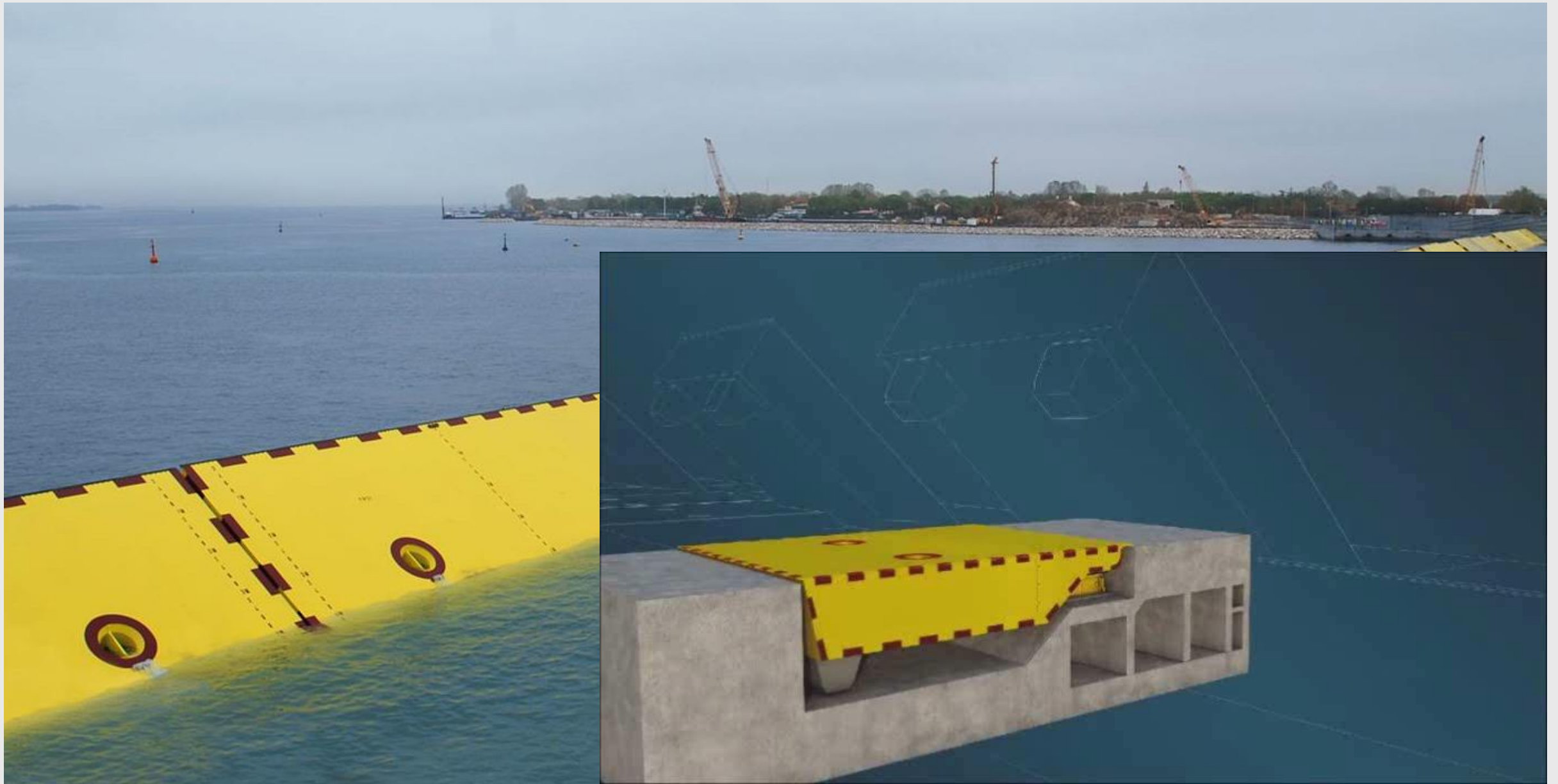


39 km barene protette

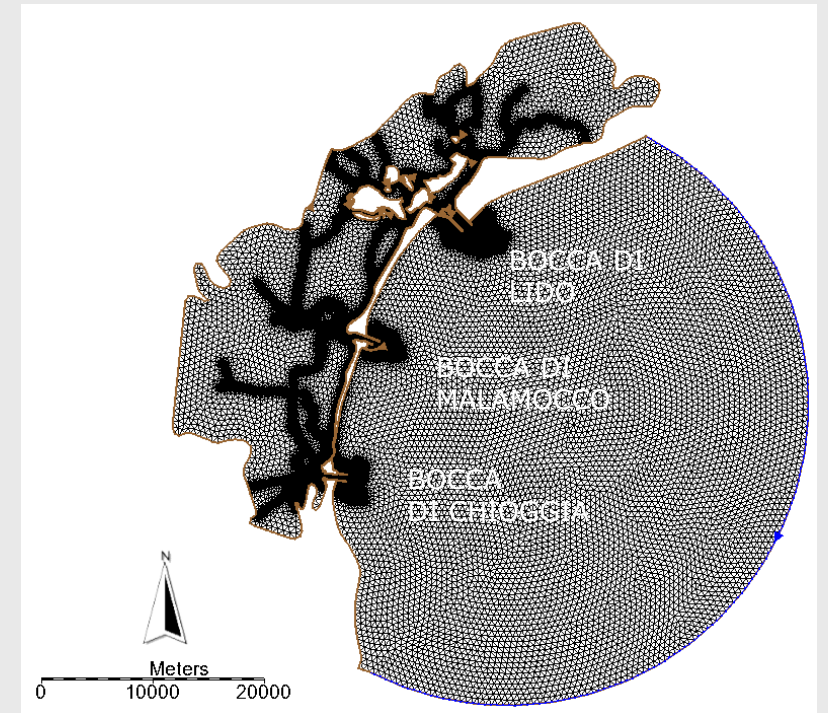
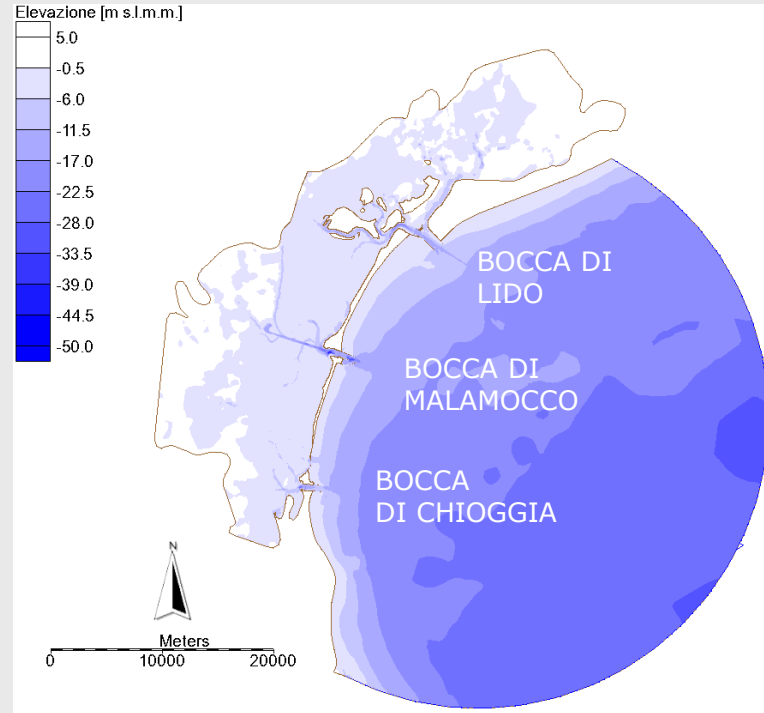


12 isole minori recuperate

# il sistema MOSE | le barriere



# il sistema MOSE | non solo Acqua Alta



(Foti et al., Journal of Marine Science and Engineering, 2017)

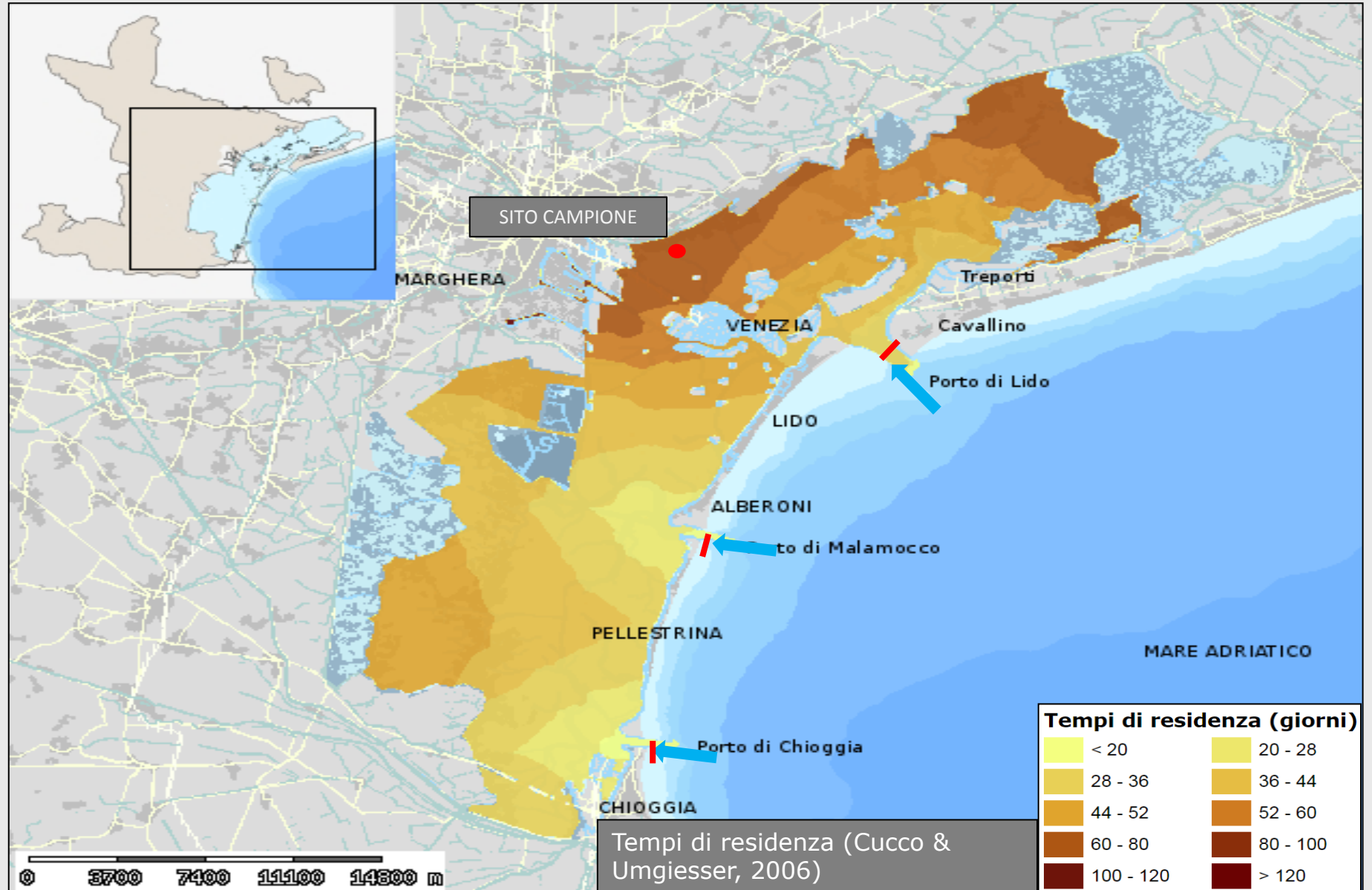
# il sistema MOSE | possibili effetti sulla circolazione estiva



(veneziatoday.it)



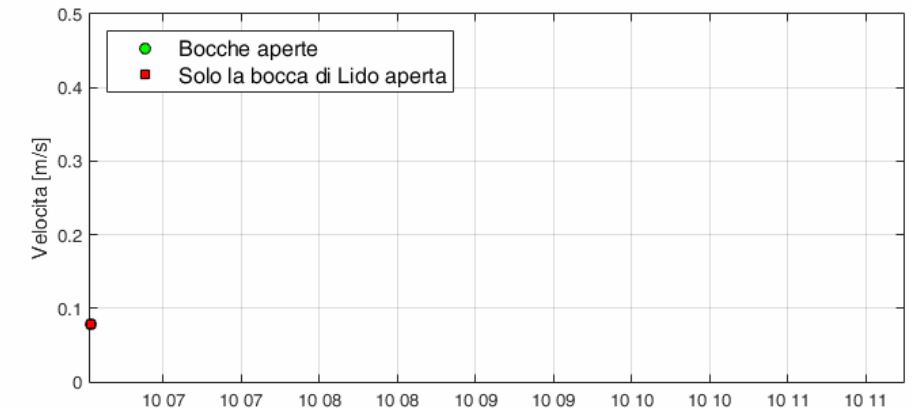
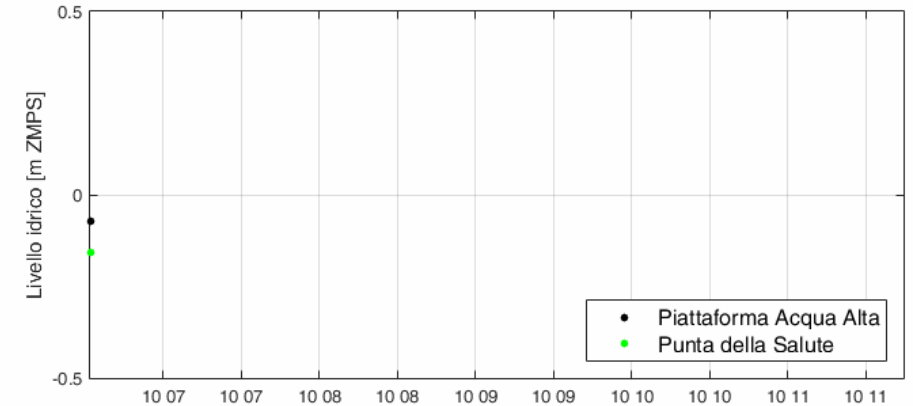
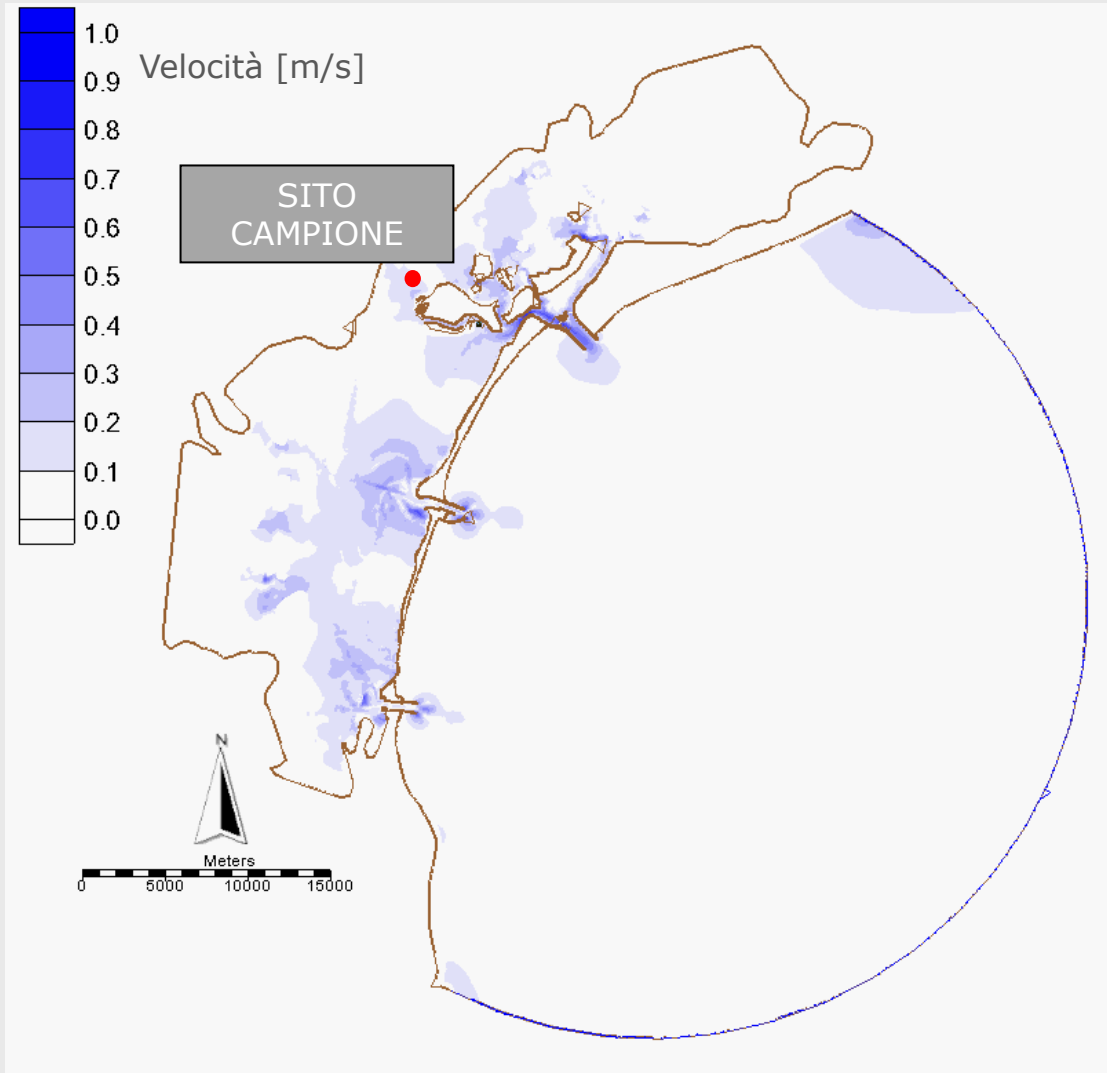
(nuovavenezia.gelocal.it)



(Foti et al., Journal of Marine Science and Engineering, 2017)

# il sistema MOSE | possibili effetti sulla circolazione estiva

## Configurazione con la sola bocca di Lido aperta



(Foti et al., Journal of Marine Science and Engineering, 2017)

# conclusioni

---

- Le coste italiane sono soggette ad **elevato rischio di erosione e inondazione**, imputabile sia alla considerevole densità abitativa, che determina una grande esposizione, sia alle caratteristiche morfodinamiche di tali aree, che comportano un notevole fattore di pericolosità.
- Le opere di difesa costiera richiedono per il loro corretto dimensionamento la disponibilità di una mole ingente di dati. Dati che oggi in Italia non sono disponibili ma sempre più necessari, soprattutto alla luce dei **cambiamenti climatici, che producono maggiore severità e frequenza delle forzanti** e impongono dunque un approccio innovativo alla progettazione di opere di difesa.
- Nell'ambito di una appropriata gestione integrata della zona costiera, il **semplice adeguamento** delle opere esistenti agli effetti dei cambiamenti climatici **non è efficace**. Pertanto bisogna favorire l'integrazione di misure diverse che tendano a **trasformare i sistemi costieri da vulnerabili a resilienti o meglio ancora antifragili**.