

# Erosione costiera e cambiamento climatico

## Capire il passato > guardare al futuro

*Conferenza Finale del Progetto MAREGOT*

*Martedì 26 e Venerdì 29 Maggio 2020*

## Sorvegliare la dinamica costiera per interpretare il passato e adattarsi ai cambiamenti

Carlo Brandini, Massimo Perna, Michele Bendoni, Stefano Taddei, Valentina Vannucchi, Giovanni Vitale, Valerio Capecchi, Gianni Messeri, Maurizio Iannuccilli, Luigi Cipriani, Gianfranco Boninsegni, Bernardo Gozzini.



# Sorvegliare e monitorare



**Monitoraggio** (ingl. *monitoring*): Osservazione, a scopo di controllo, di una grandezza variabile eseguita mediante appositi strumenti.

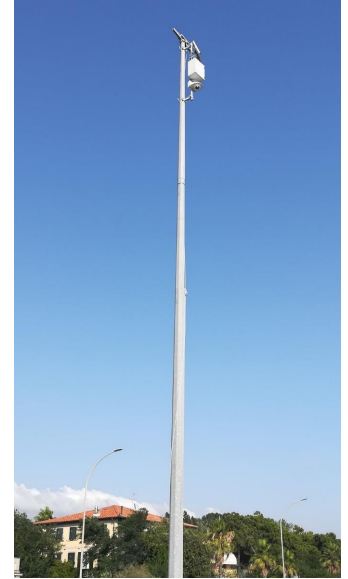
**Sorveglianza** (fr. *surveillance*): Seguire con attenzione qualcosa che interessa particolarmente.

La sorveglianza ci predispone ad agire, a prendere misure di contrasto, ad elaborare strategie.



satelliti

webcam



**Strumenti di sorveglianza per la costa emersa**



Rilievi a terra



droni

# Il monitoraggio satellitare come strumento di supporto alla gestione della fascia costiera



La LR 80/ 2015 della regione Toscana “Norme in materia di difesa del suolo, tutela delle risorse idriche e tutela della costa e degli abitati costieri” ha stabilito la necessità del **monitoraggio a scala regionale del litorale**.

Regione Toscana e Consorzio LaMMA hanno avviato un’attività di monitoraggio costiero, con particolare riferimento al monitoraggio annuale della linea di riva, attraverso l’utilizzo di immagini, usufruendo dei vantaggi legati alla disponibilità di dati satellitari a risoluzione molto più elevata che in passato (inferiore a 1 m), e a costi sostenibili.

L’attività con cadenza annuale di monitoraggio dell’erosione costiera consente di disporre di un “termometro” dell’erosione, valutando gli andamenti di erosione/accrescimento nelle singole aree con un elevato dettaglio non solo spaziale ma anche temporale.



# Monitoraggio della fascia costiera con i satelliti: linea di riva e non solo



Interreg



UNION  
EUROPÉENNE



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional

## Pléiades (AIRBUS) :

4 bande multispettrali (Ris. spaziale : 2 m)

1 banda pancromatica (Ris. spaziale : 0.5 m)

### Banda

Panchromatic

Blue

Green

Red

NIR

### Risoluzione spettrale

from 0.47 to 0.83  $\mu\text{m}$

from 0.43 to 0.55  $\mu\text{m}$

from 0.50 to 0.62  $\mu\text{m}$

from 0.59 to 0.71  $\mu\text{m}$

from 0.74 to 0.94  $\mu\text{m}$

### Vantaggi:

Rilievi a scala regionale con visione sincrona

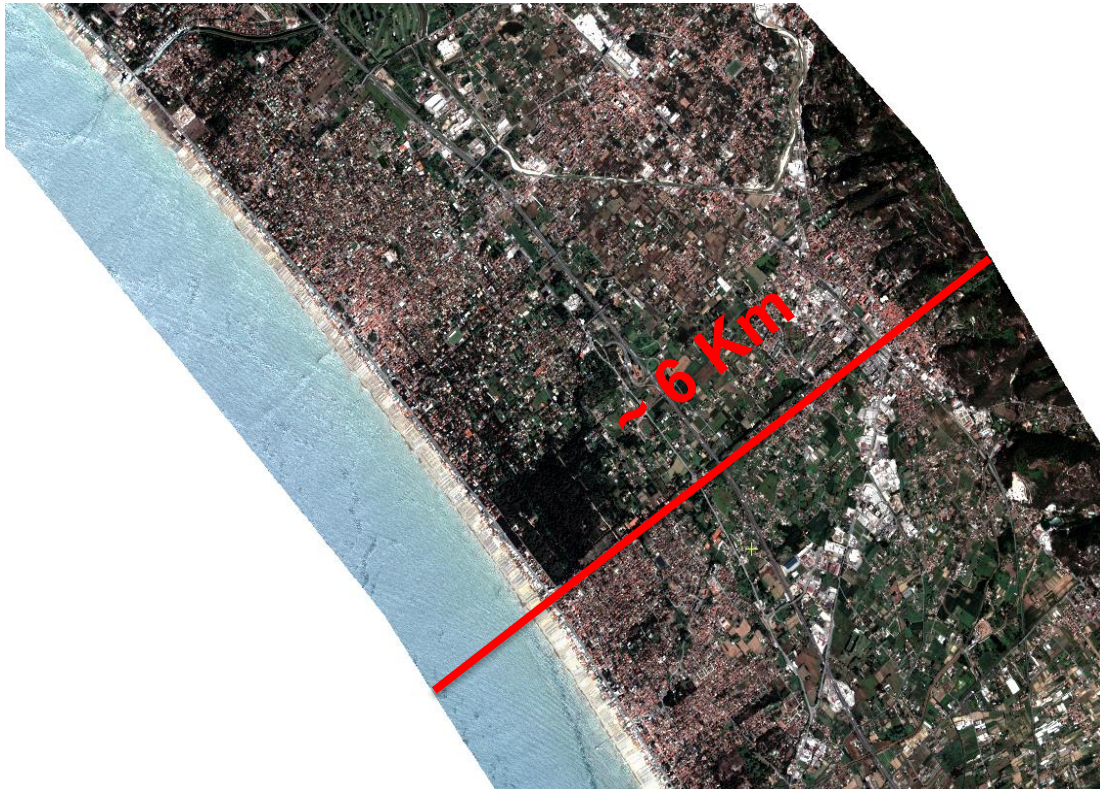
Visione simultanea di vari aspetti

Costi inferiori ai rilievi a terra

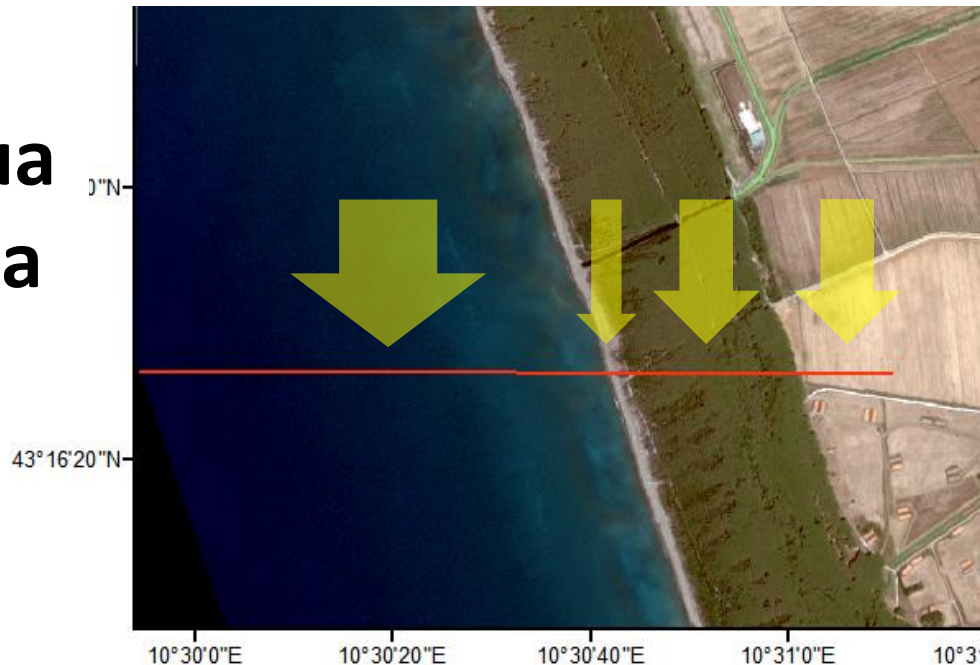
### Svantaggi:

Necessità di svolgere comunque rilievi a terra per caratterizzazione dato e correzioni

Precisione inferiore



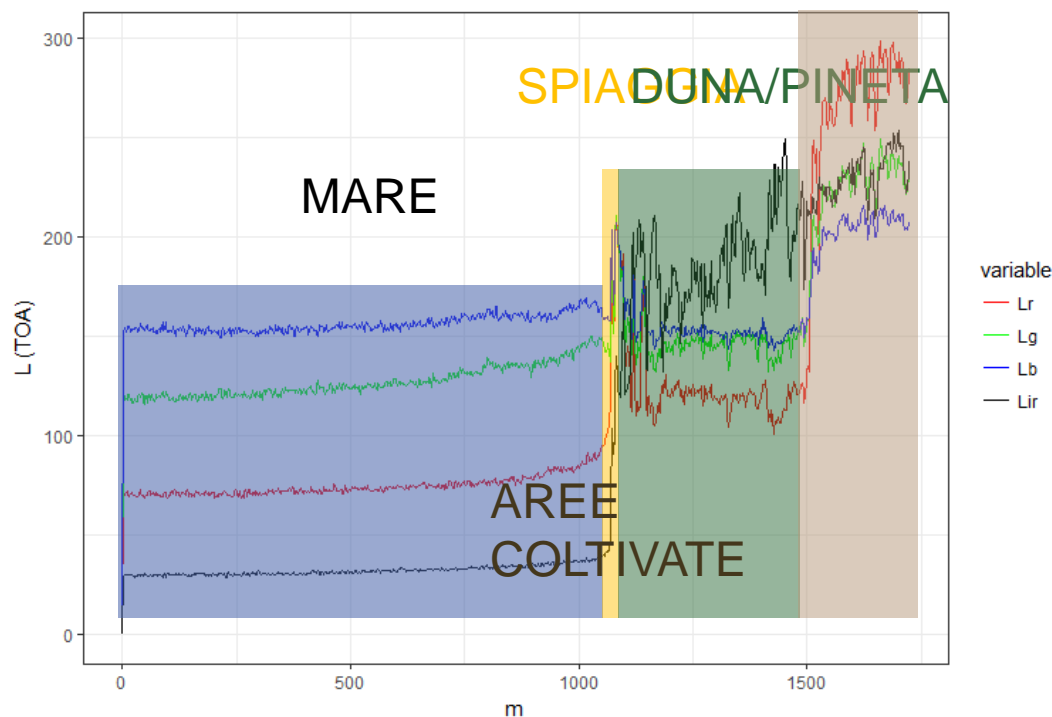
# Come si individua la linea di riva da satellite



## PLEIADES

- Risoluzione spettrale 16 bit
- Risoluzione temporale 2gg

Necessità di elaborare le immagini con procedure di pre-processing: pan sharpening, ortorettifica, ecc.

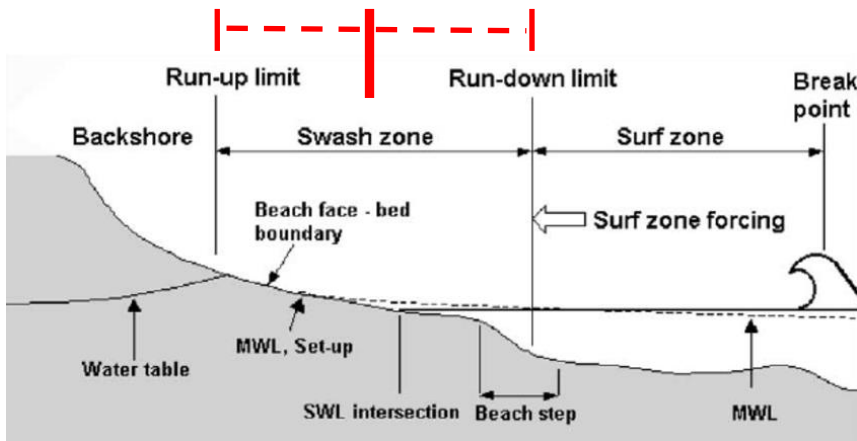
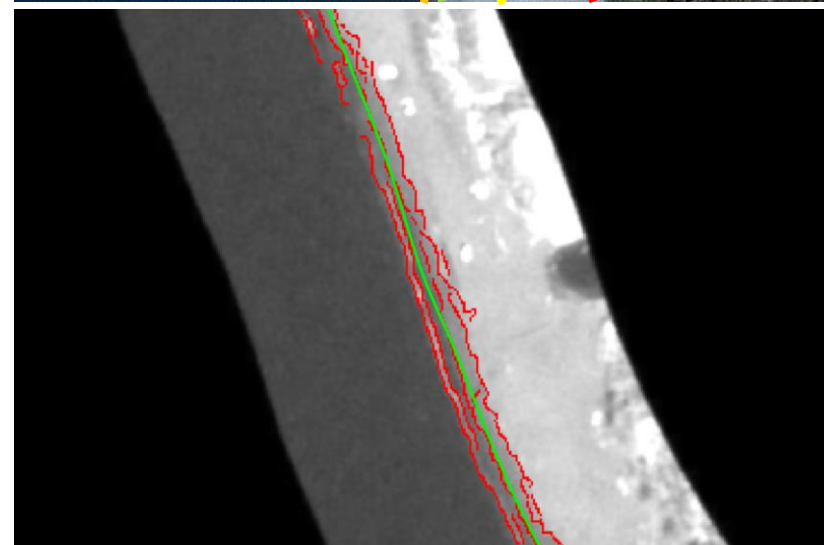
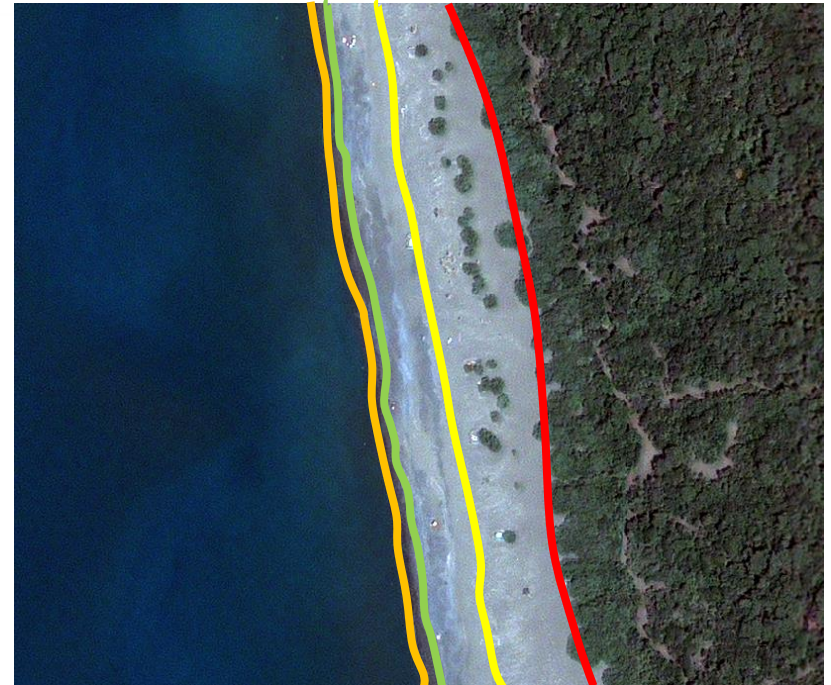


# Quello che si vede dal satellite...

Immagini satellitari (VHR) testate: Pléiades, WorldView2, Kompsat → precisione submetrica, buona rivisitazione.

Linea di riva, per definizione (linee guida nazionali): coincide con la quota 0 s.l.m (isoipsa 0).

*Proxy* per linea di riva: Mediana della Fascia *run-up / run-down*, nella maggior parte dei casi l'isoipsa 0 ricade all'interno di questa fascia.



# Stima dei trend a medio e lungo termine



Interreg

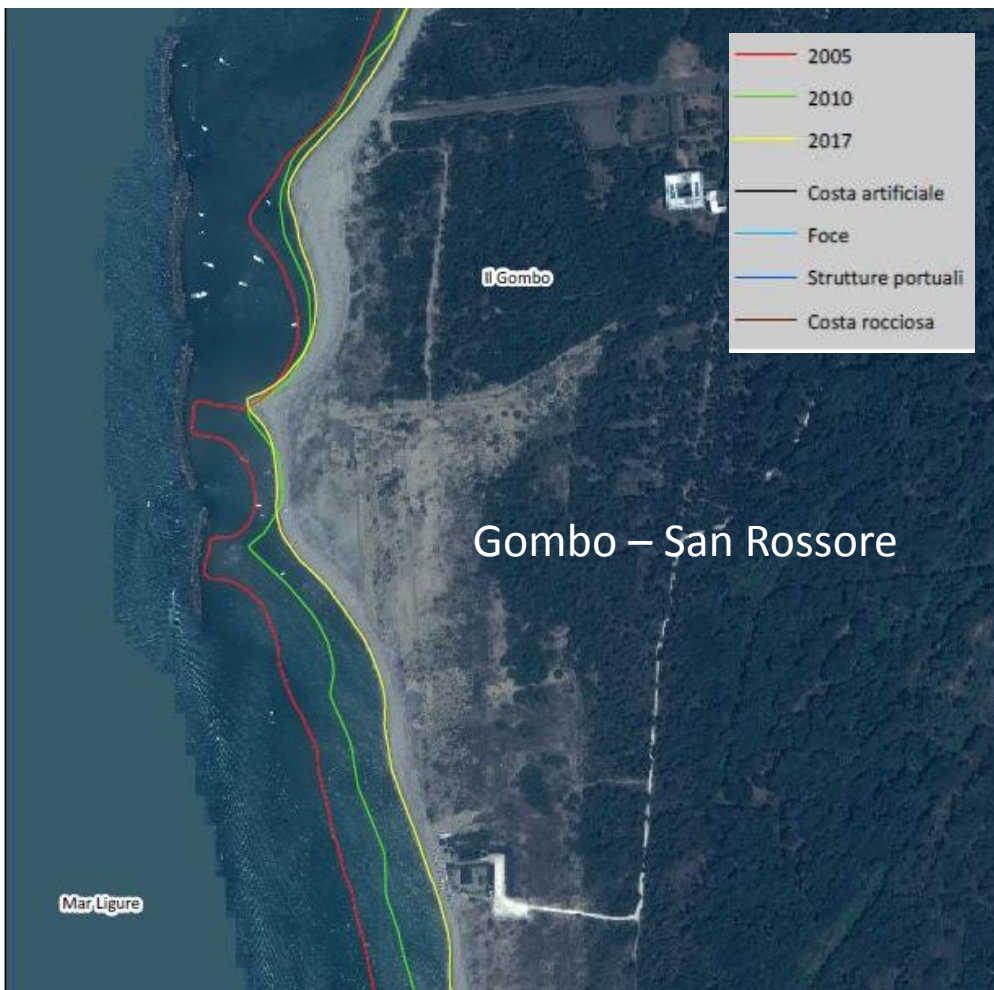
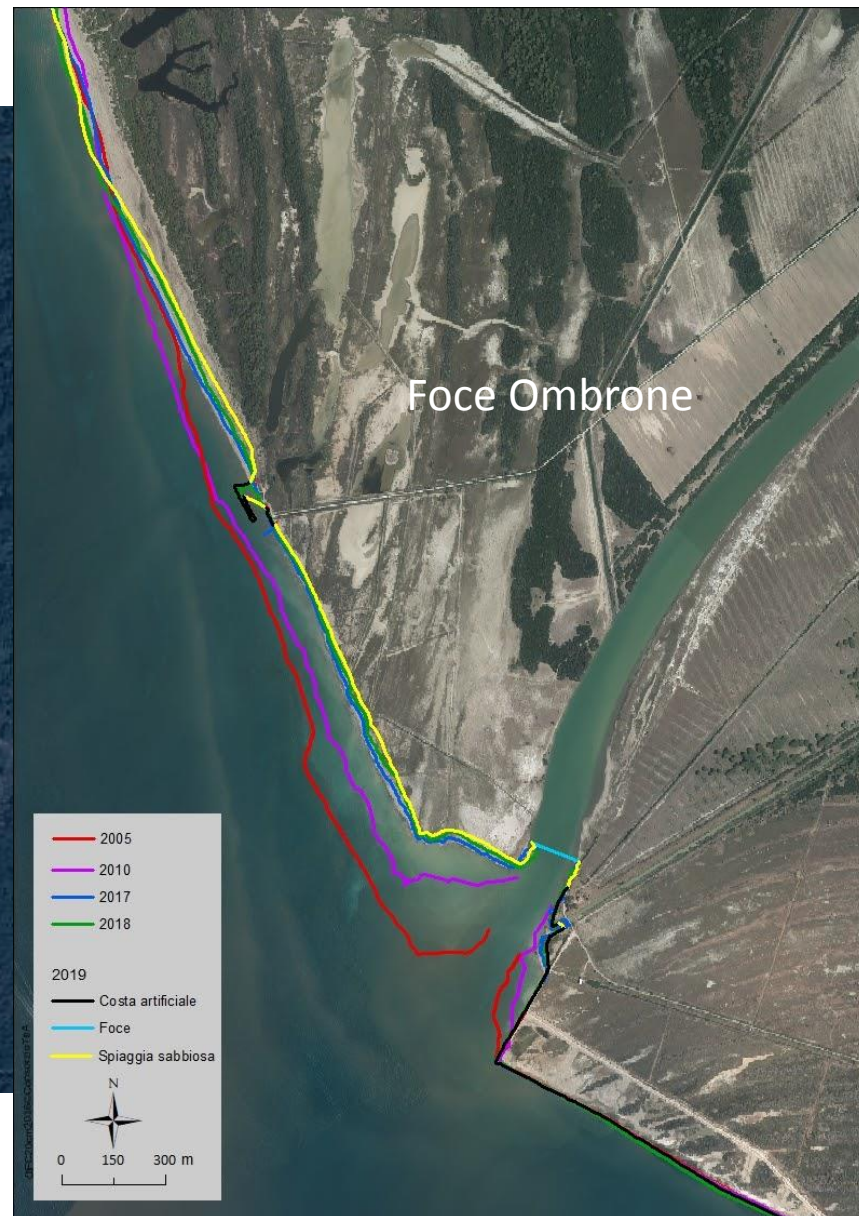


UNION EUROPEENNE



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional



Mar Ligure



REGIONE LIGURIA



PARCO NAZIONALE  
CINQUE TERRE  
Area Marina Protetta delle Cinque Terre



# Bilanci per settori



Interreg



UNION EUROPEENNE

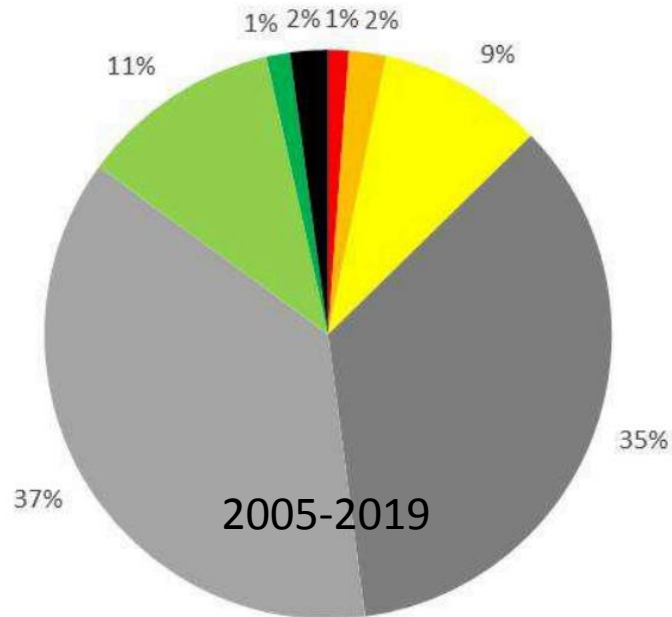
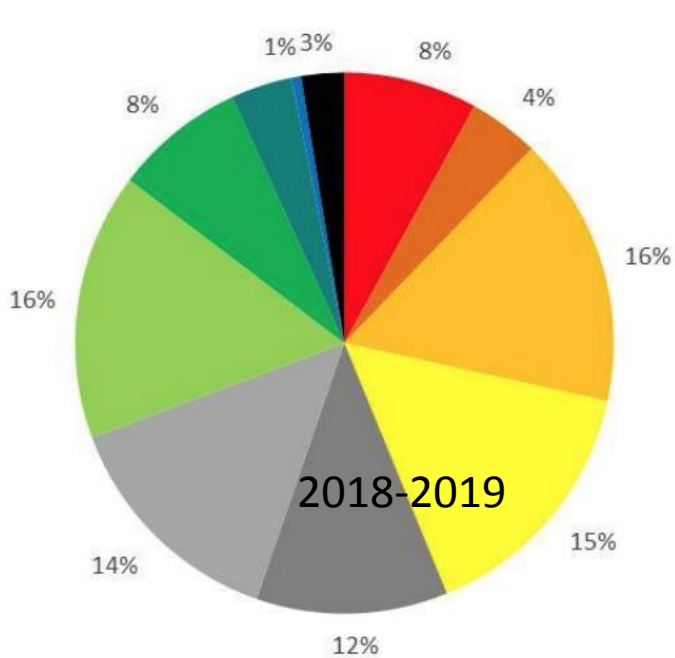
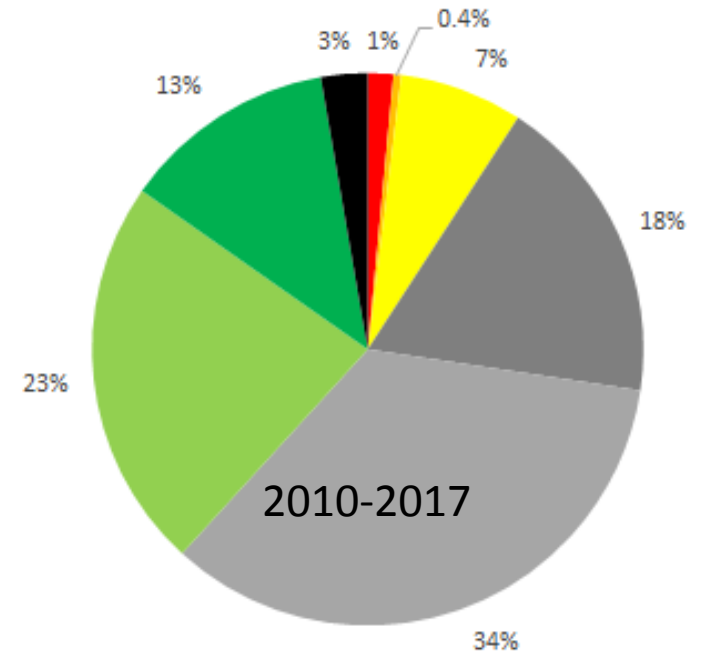
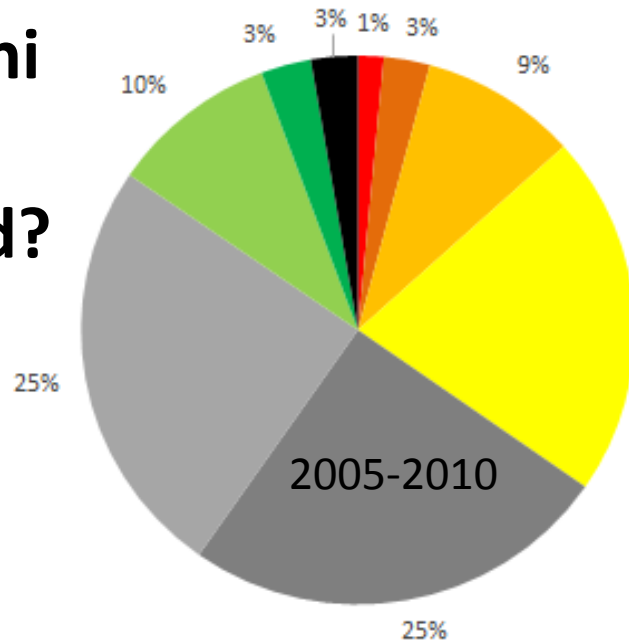


MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional



... su quanti anni  
 si devono  
 calcolare i trend?



- Erosione >5 m/anno
- Erosione tra 3-5 m/anno
- Erosione tra 1.5-3 m/anno
- Erosione tra 0.5-1.5 m/anno
- Equilibrio (-0.5/0 m/anno)
- Equilibrio (0/0.5 m/anno)
- Avanzamento tra 0.5-1.5 m/anno
- Avanzamento tra 1.5-3 m/anno
- Avanzamento tra 3-5 m/anno
- Avanzamento >5 m/anno
- Costa artificiale

# ... e quanto sono rappresentativi i dati «per settore» per la valutazione dell'erosione a scala locale?



vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
01_2005_2017	1	87	-6,73	12,58	-4,86	-5,04	10,20	-53,49	14,79	68,28	-1,47	2,57
03_2005_2017	1	44	6,11	8,22	6,10	6,15	9,13	-14,31	22,43	36,74	-0,12	-0,55
04_2005_2017	1	55	-3,64	14,77	0,71	-0,66	6,78	-65,85	11,69	77,54	-2,24	5,26
05_2005_2017	1	64	2,52	8,20	3,96	3,12	7,62	-15,89	16,44	32,33	-0,63	-0,45
06_2005_2017	1	119	-6,63	9,24	-7,24	-7,00	10,33	-25,40	17,37	42,77	0,33	-0,54
07_2005_2017	1	86	-20,10	8,56	-19,57	-20,26	8,12	-36,22	-0,96	35,26	0,07	-0,54
08_2005_2017	1	103	-17,94	15,37	-15,06	-16,90	14,81	-54,21	9,42	63,63	-0,59	-0,49
10_2005_2017	1	96	-18,34	11,31	-16,32	-17,75	13,54	-45,03	1,57	46,60	-0,41	-0,89
11_2005_2017	1	87	-14,21	20,25	-17,54	-15,25	20,62	-49,39	58,43	107,82	0,71	0,73
12_2005_2017	1	104	28,58	25,46	28,88	30,92	18,07	-44,27	75,89	120,16	-0,82	0,83
13_2005_2017	1	127	14,07	28,29	10,03	11,01	19,85	-31,32	89,10	120,42	1,05	0,45
15_2005_2017	1	39	-2,15	10,95	-1,36	-1,11	8,41	-39,99	13,89	53,88	-1,23	2,15
16_2005_2017	1	134	-2,27	9,67	-3,53	-2,95	9,88	-19,28	19,80	39,08	0,55	-0,52
17_2005_2017	1	41	-10,52	7,59	-12,72	-11,07	8,14	-22,36	8,32	30,68	0,57	-0,49
18_2005_2017	1	21	-2,12	8,28	-2,60	-1,83	9,38	-18,32	10,23	28,55	-0,06	-1,14
19_2005_2017	1	59	-0,16	5,47	-0,95	-0,25	4,36	-10,82	10,73	21,55	0,32	-0,63
20_2005_2017	1	74	-7,36	14,11	-6,36	-6,89	9,73	-80,48	37,40	117,88	-1,40	9,04
21_2005_2017	1	25	-14,06	14,87	-16,42	-13,17	17,94	-48,16	6,81	54,97	-0,33	-0,67
22_2005_2017	1	17	16,10	14,89	23,44	16,95	10,63	-13,08	32,57	45,65	-0,72	-1,00
23_2005_2017	1	111	12,62	13,87	17,42	13,63	12,69	-22,56	42,14	64,70	-0,54	-0,48
24_2005_2017	1	105	-7,53	6,35	-8,09	-7,73	6,58	-19,97	7,49	27,46	0,27	-0,67

# Vantaggi del monitoraggio annuale



**Interreg**



UNION  
EUROPEENNE

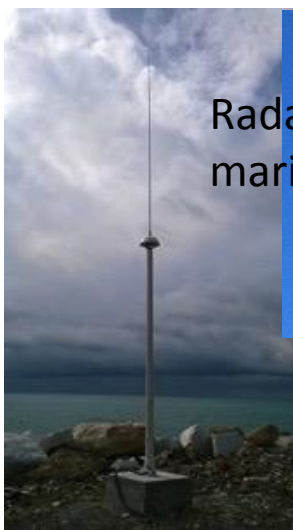


**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

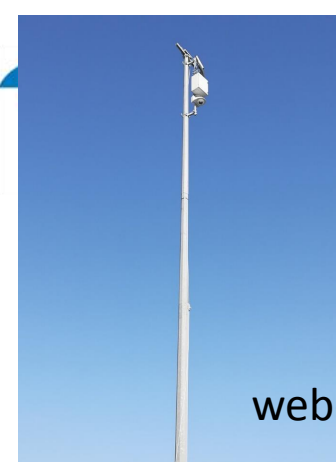
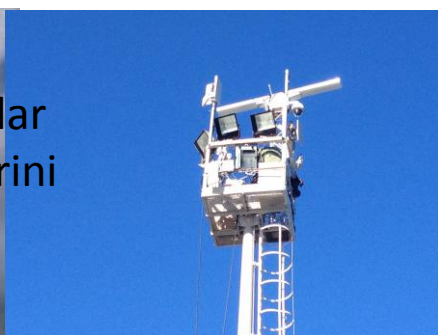
Fonds européen de développement régional



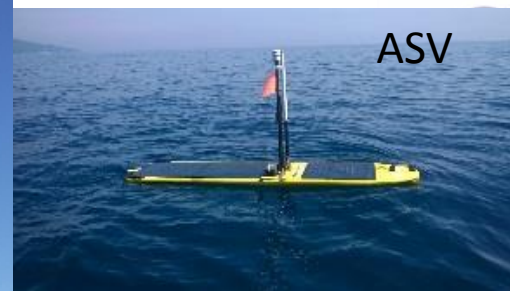
La cooperazione al cuore del Mediterraneo



Radar marini



webcam



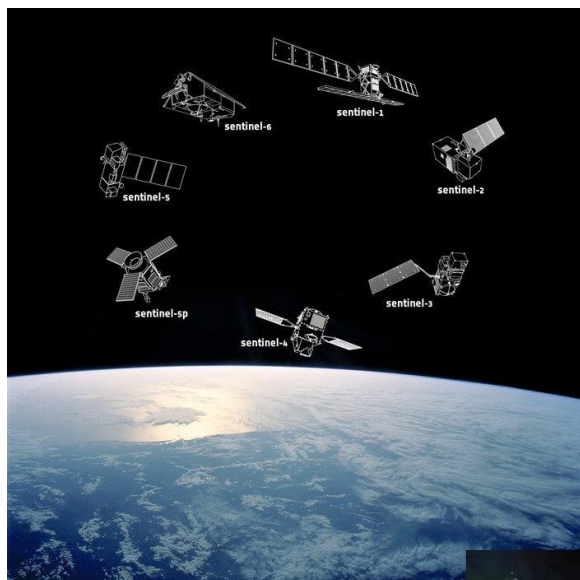
ASV



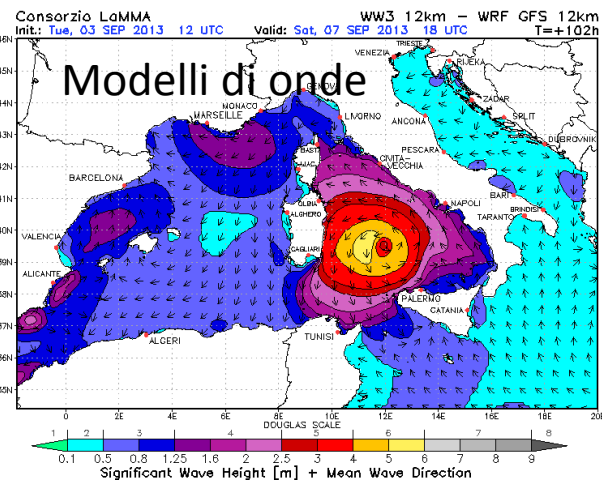
boe



Strumenti di sorveglianza marina



satelliti



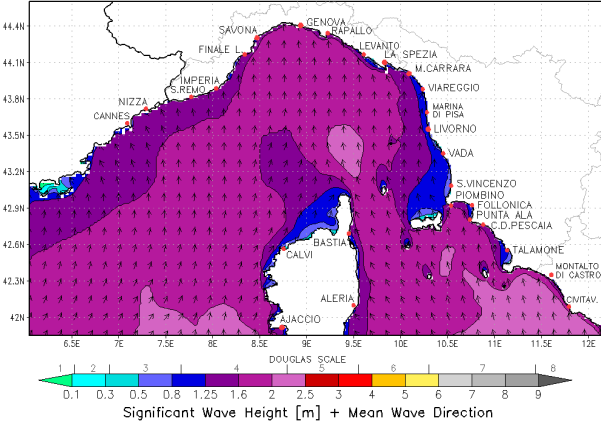
La cooperazione al cuore del Mediterraneo

# ... modelli operativi a supporto della sicurezza



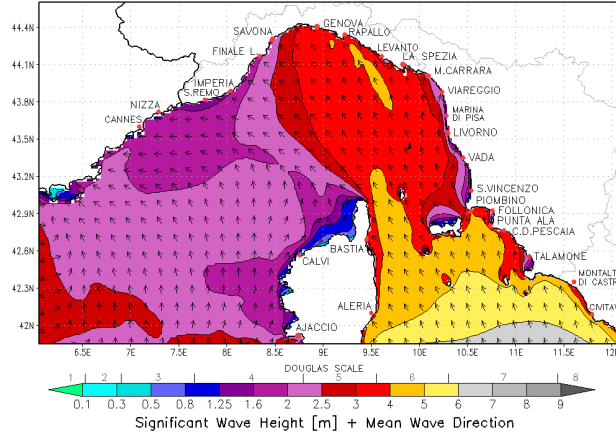
## La mareggiata del 28-30 Ottobre 2018

Consorzio LaMMA WW3 3km - WRF ECMWF 3km  
Init: Mon, 29 OCT 2018 00 UTC Valid: Mon, 29 OCT 2018 00 UTC T=+0h



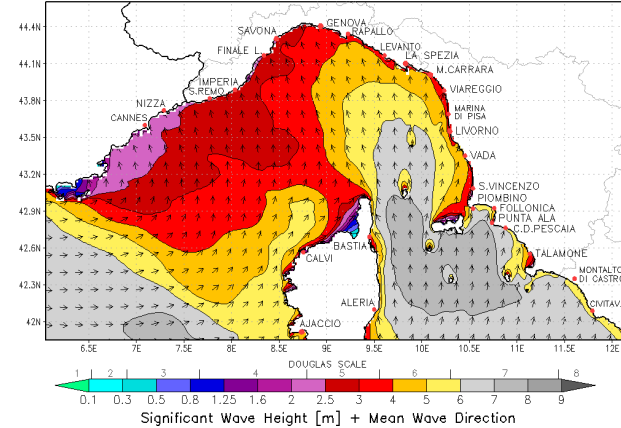
## Sud e Scirocco, il passaggio del minimo barico

Consorzio LaMMA WW3 3km - WRF ECMWF 3km  
Init: Mon, 29 OCT 2018 12 UTC Valid: Mon, 29 OCT 2018 12 UTC T=+0h



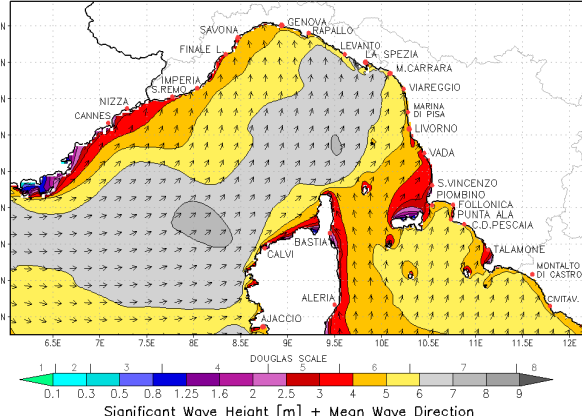
## Il libeccio e il mare incrociato

Consorzio LaMMA WW3 3km - WRF ECMWF 3km  
Init: Mon, 29 OCT 2018 12 UTC Valid: Mon, 29 OCT 2018 18 UTC T=+6h



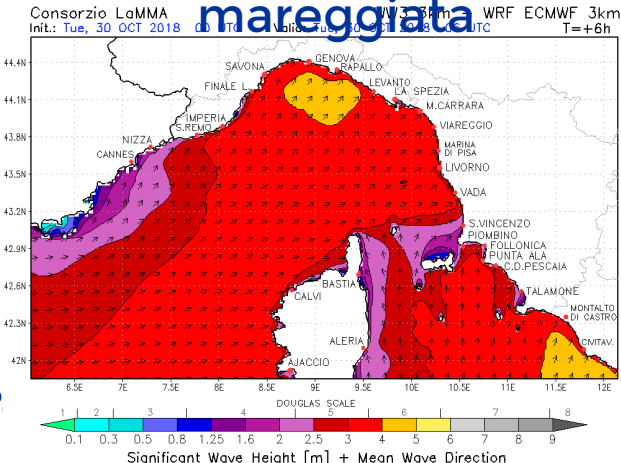
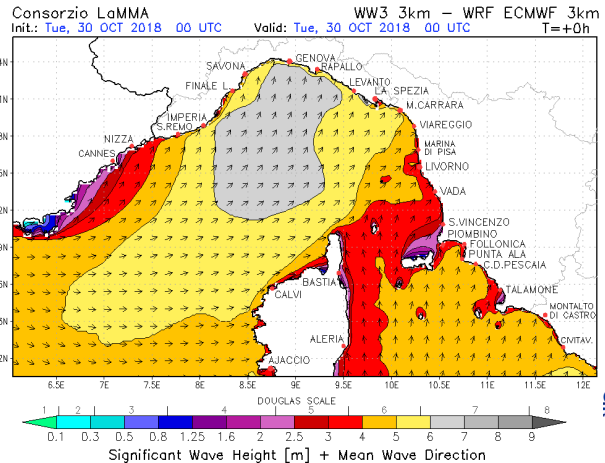
## La previsione della mareggiata: il picco

Consorzio LaMMA WW3 3km - WRF ECMWF 3km  
Init: Mon, 29 OCT 2018 12 UTC Valid: Mon, 29 OCT 2018 21 UTC T=+9h



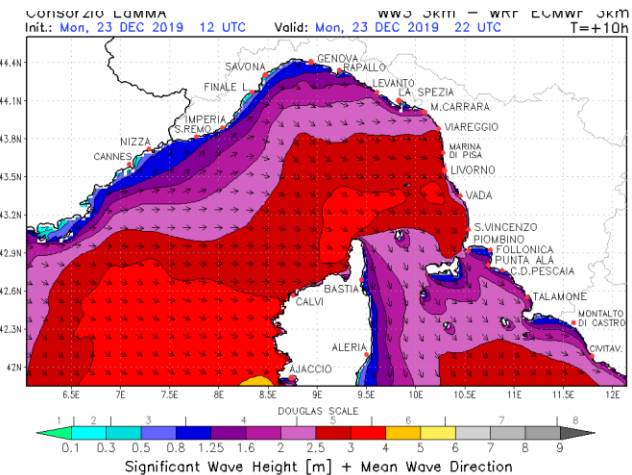
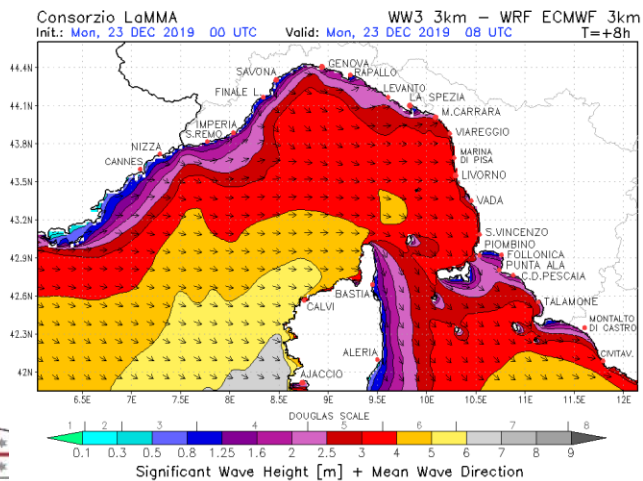
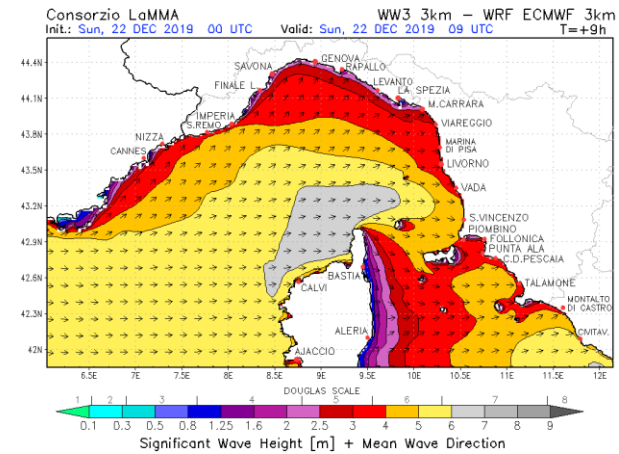
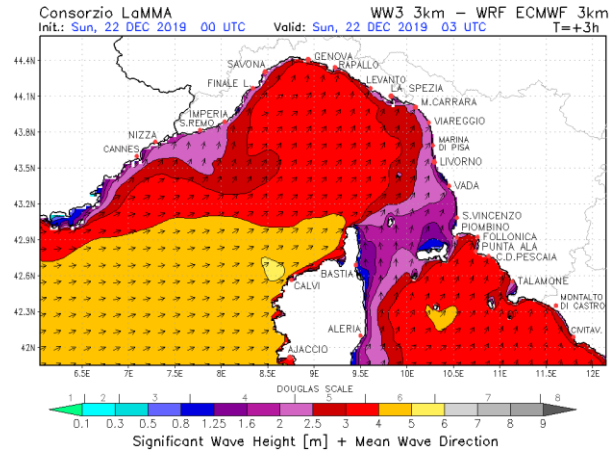
## La coda della mareggiata

Consorzio LaMMA WW3 3km - WRF ECMWF 3km  
Init: Tue, 30 OCT 2018 00 UTC Valid: Tue, 30 OCT 2018 00 UTC T=+0h

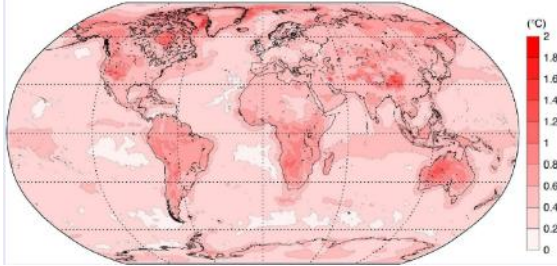


# Eventi intensi

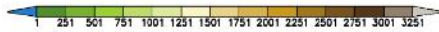
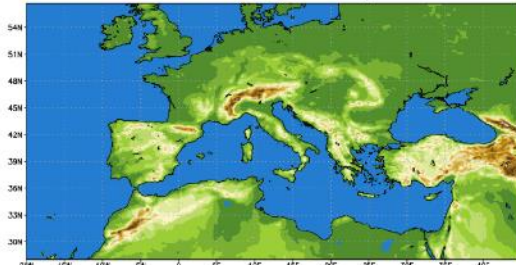
## La mareggiata del 22-23 Dicembre 2019



# Hindcast delle mareggiate sulla costa



BOLAM grid (~7 km res)



MOLOCH grid (~2.5 km res)

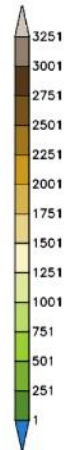
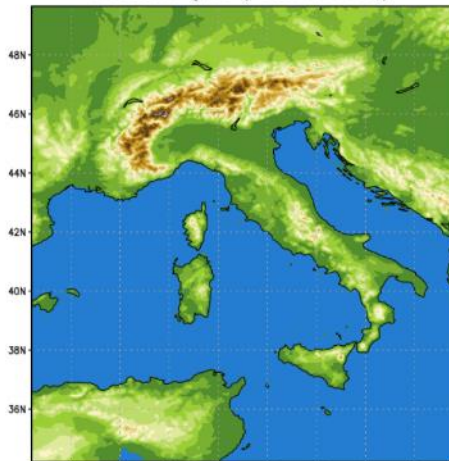


Figure 2: extent of the MOLOCH domain



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional

ERA5 (rianalisi climatologica ECMWF) con dati ogni 3 ore forniti su 137 layer verticali



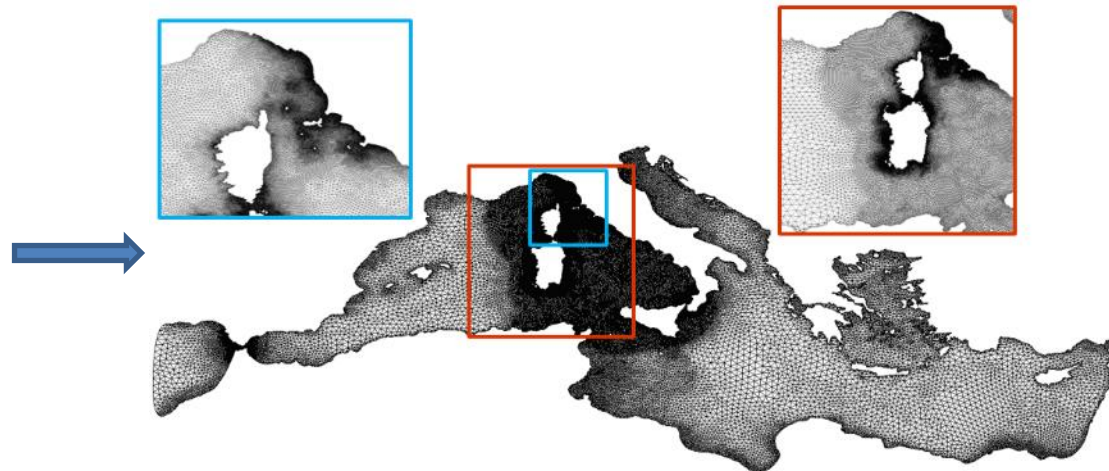
Modello atmosferico idrostatico BOLAM, griglia a 7 km, 50 livelli verticali, output ogni 60 min



Modello atmosferico non idrostatico MOLOCH, con griglia a 2.5 km, 60 livelli verticali, output ogni 30 min

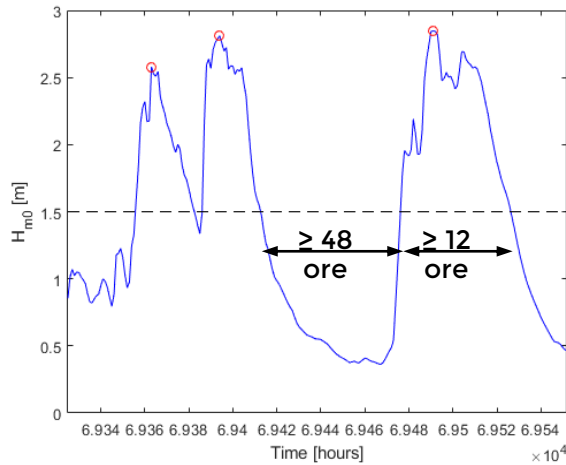


Modello di onda WW3 a maglia non strutturata, con risoluzione a 0.5 km lungo la costa Toscana, lo stretto di Messina e Bonifacio, 1.0 km lungo la costa della Sardegna e Corsica, circa 3.0 km lungo le coste tirreniche e nello stretto di Gibilterra, circa 6.0 km lungo le coste del Mediterraneo

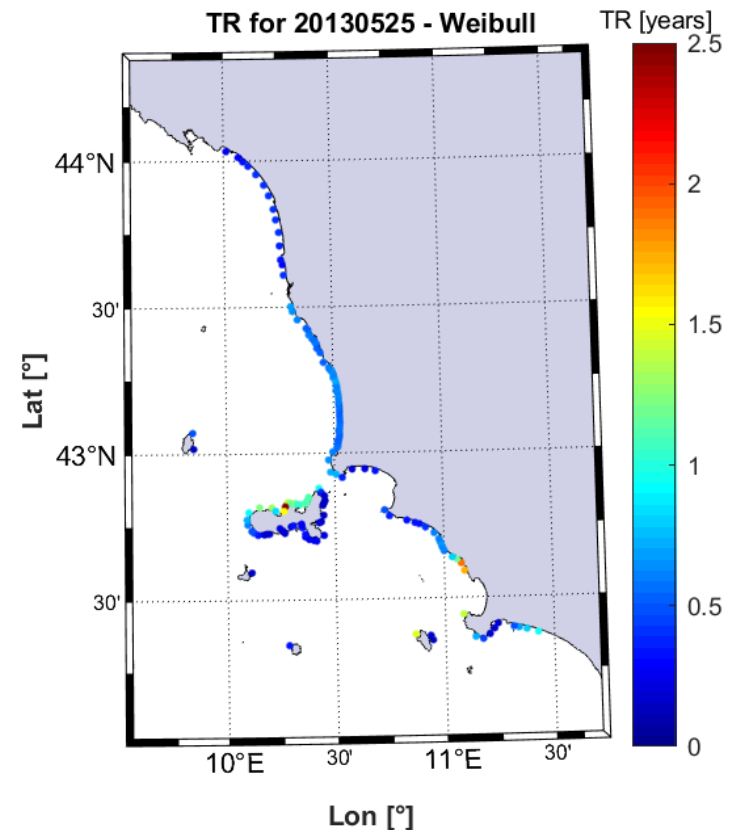
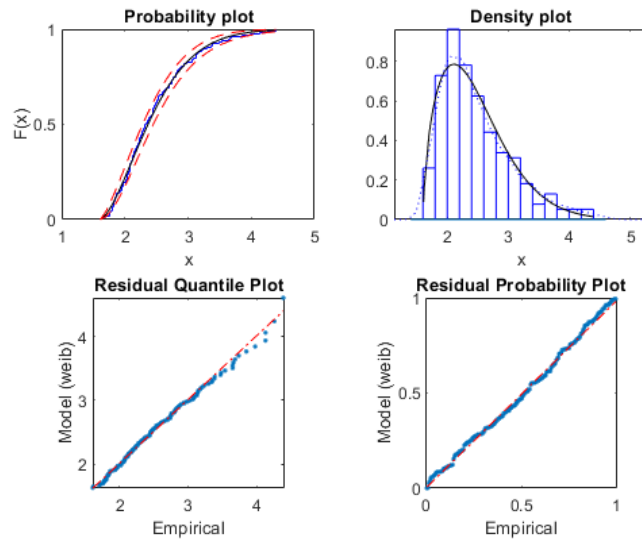


REGIONE LIGURIA





- POT (Peak-Over-Threshold) + distribuzione di Weibull (3 parametri)
- Determinazione parametri Weibull per ciascuna località a costa
- Calcolo  $TR(H_{m0,evento})$  per ogni località a costa



# Ricostruzione impatto eventi estremi

Mareggiata del 28 Novembre 2008



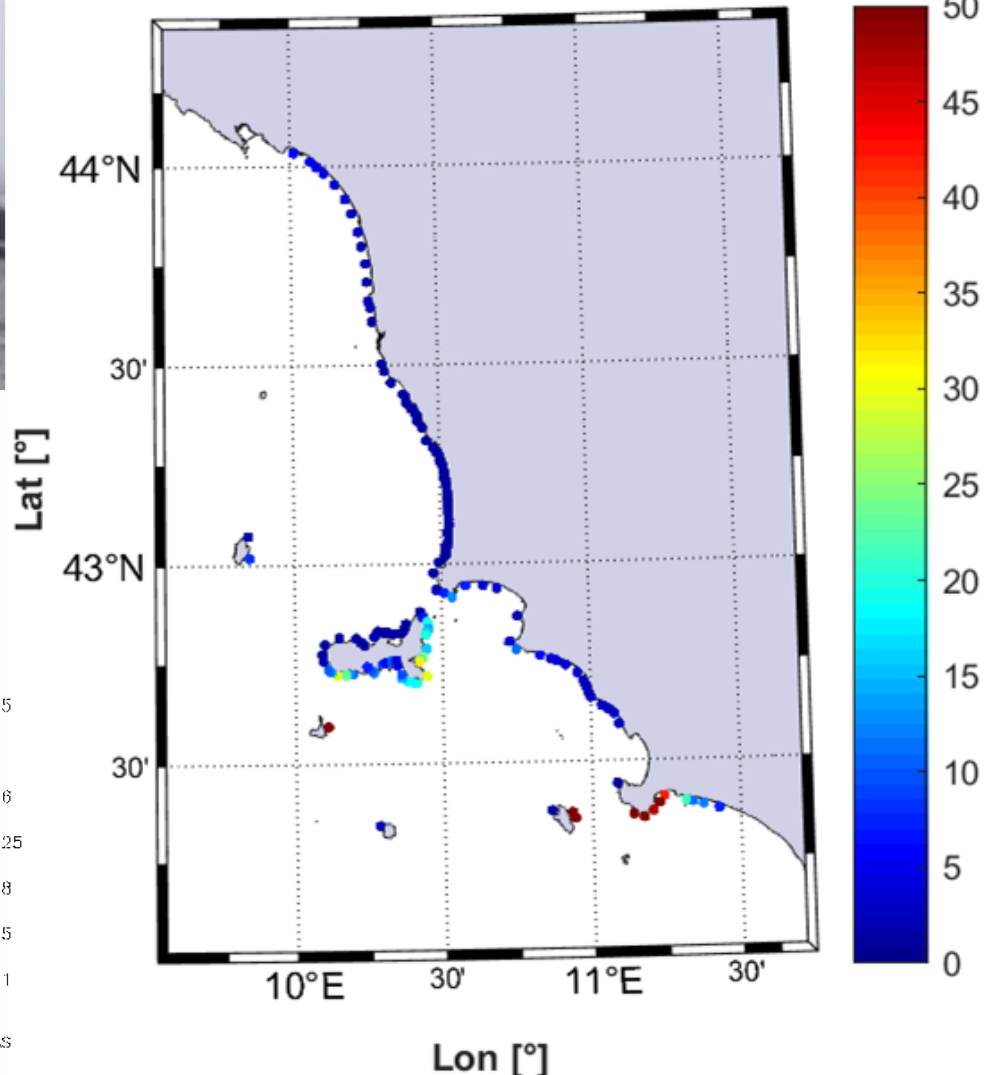
**Interreg**  
UNION EUROPEA  
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



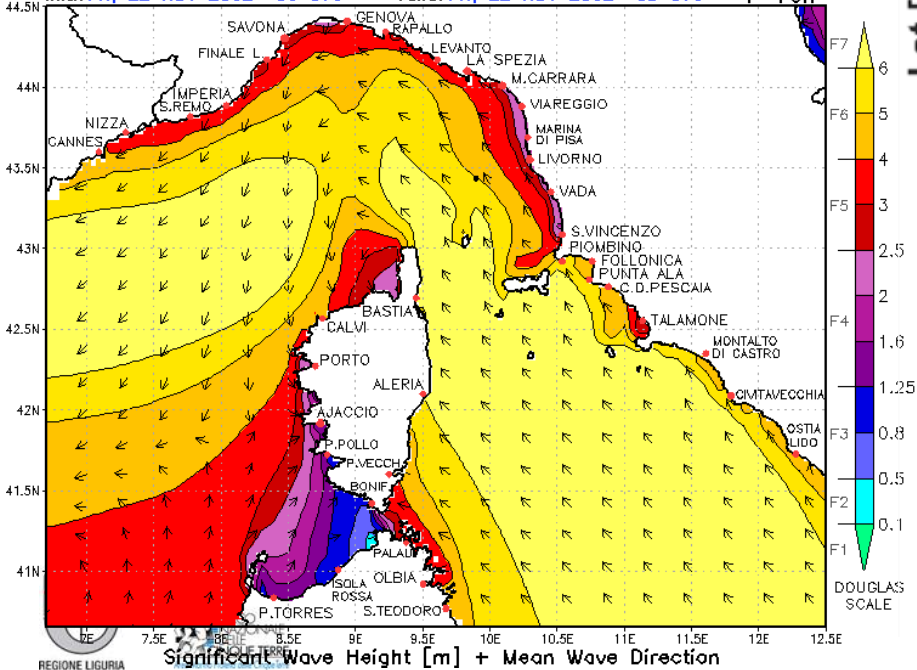
Fonds européen de développement régional  
Fondus strukturné uve uvevojéni m m s regionál

TR for 20081128 - Weibull

TR [years]



Consorzio LaMMA WW3 0.15deg - WRF 0.2deg  
Init.: Frì, 28 NOV 2008 00 UTC Valid: Frì, 28 NOV 2008 09 UTC T=+9h

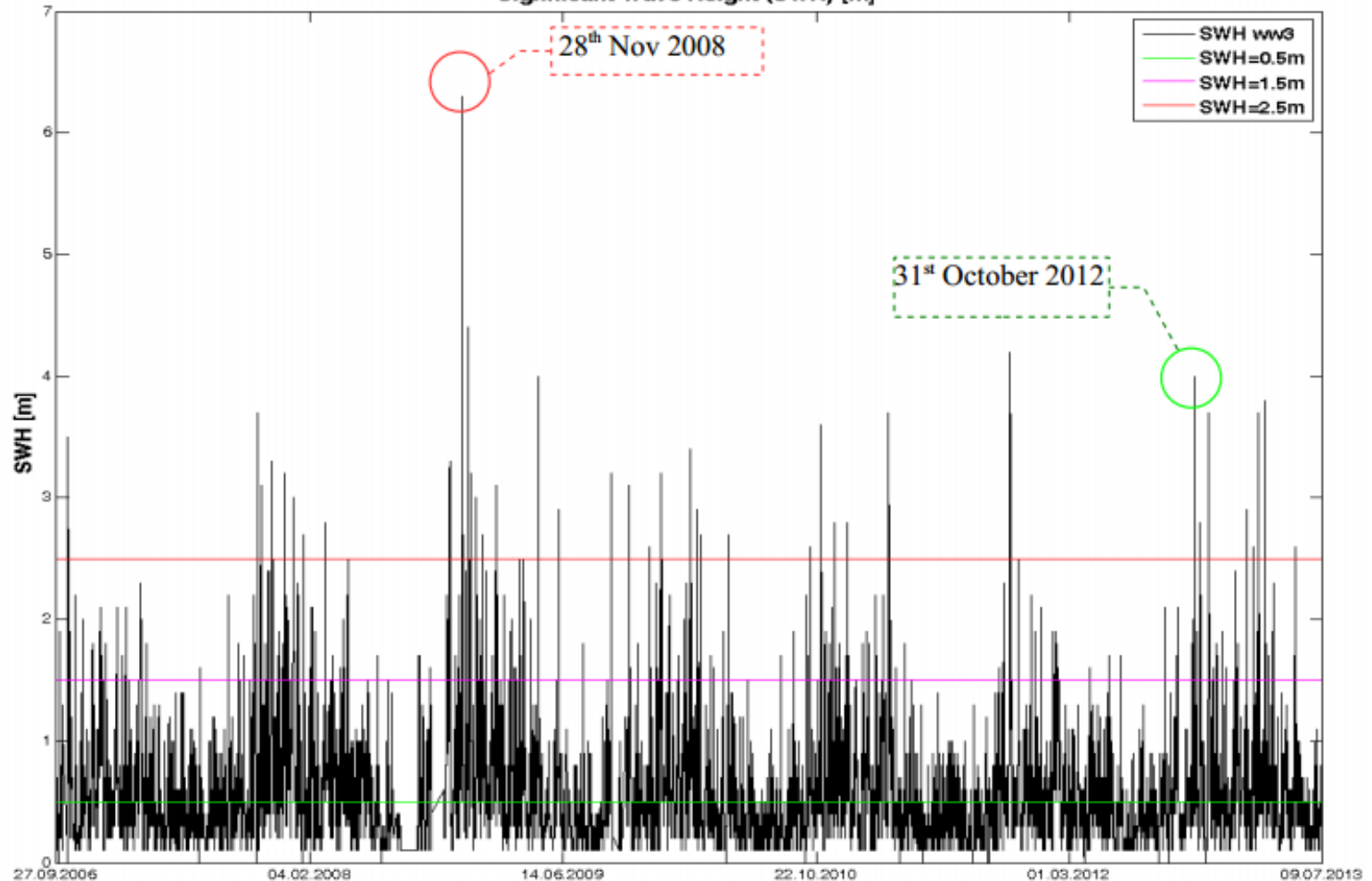


La cooperazione al cuore del Mediterraneo

# Ricostruzione impatto eventi estremi

## Esempio Isola del Giglio

Consorzio LAMMA, WW3 model (res. 3Km) - Hourly data for 2006-2013  
Significant Wave Height (SWH) [m]



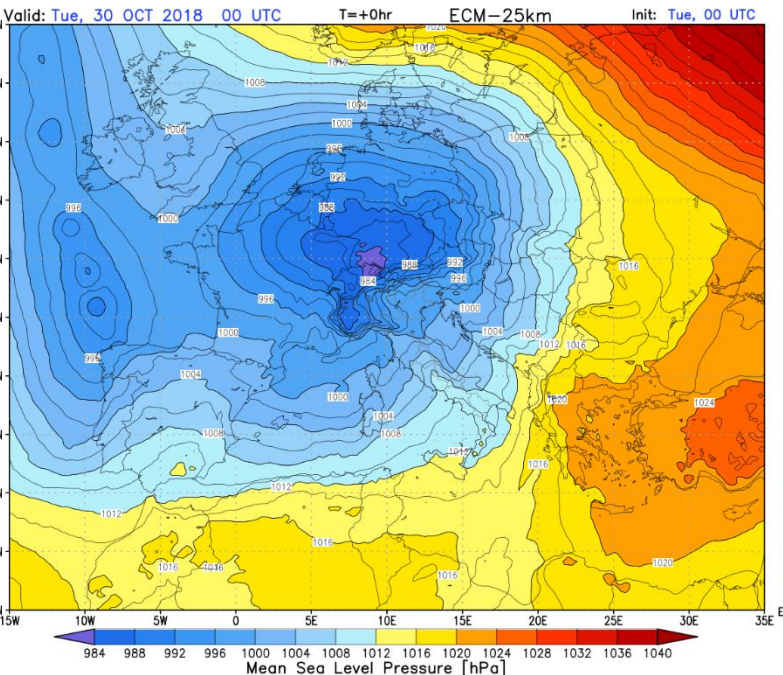
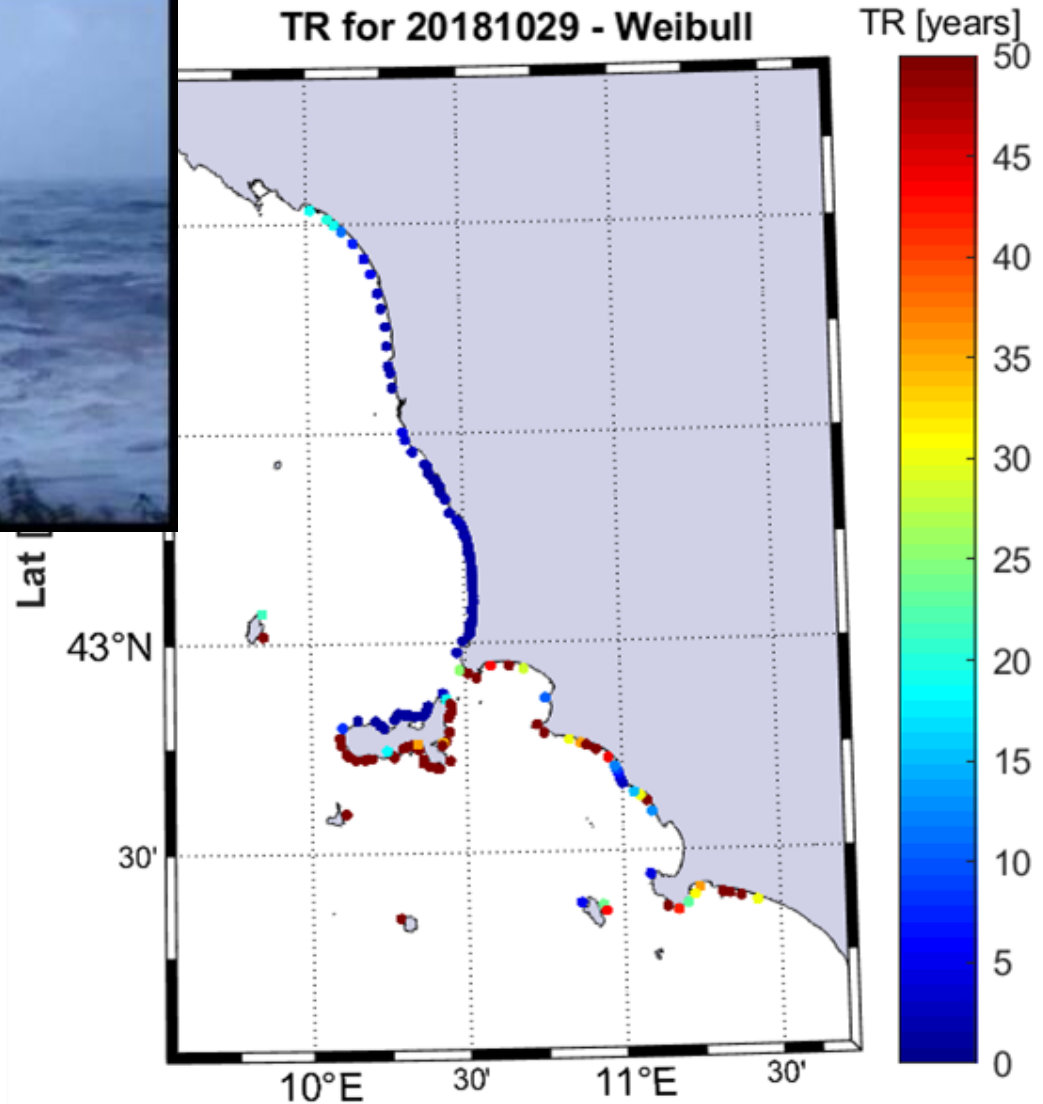
# Ricostruzione impatto eventi estremi

Consorzio LaMMA  
 Init: Mon, 29 OCT 2018 12 UTC Valid: Mon, 29 OCT 2018 23 UTC T=+11h

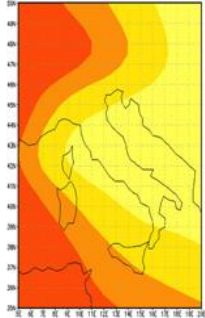
Fonds européen de développement régional  
 Europa-Regionen ein Herz für Europa



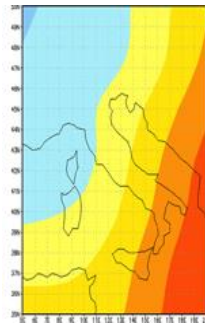
TR for 20181029 - Weibull



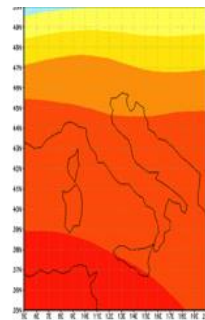
# Mareggiate intense e tipi di circolazione atmosferica: una prospettiva climatologica



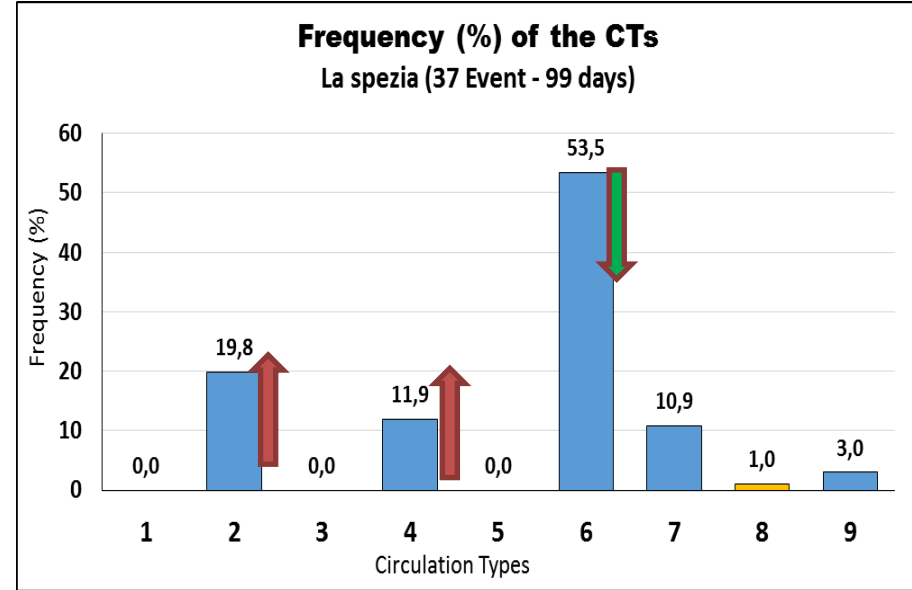
**CT2 -** Alta pressione a nord delle Alpi, bassa sopra l'Italia centrale verso sud. Vento da nord sul nord Italia, circolazione di vento ciclonica su parte centro-meridionale del paese.



**CT4 -** Depressione atlantica associata a una bassa pressione profonda sul golfo del Leone / Mar Ligure. Blocco ad alta pressione sui Balcani. Flusso meridionale caldo e umido sull'Italia centro-settentrionale con condizioni meteorologiche molto instabili.



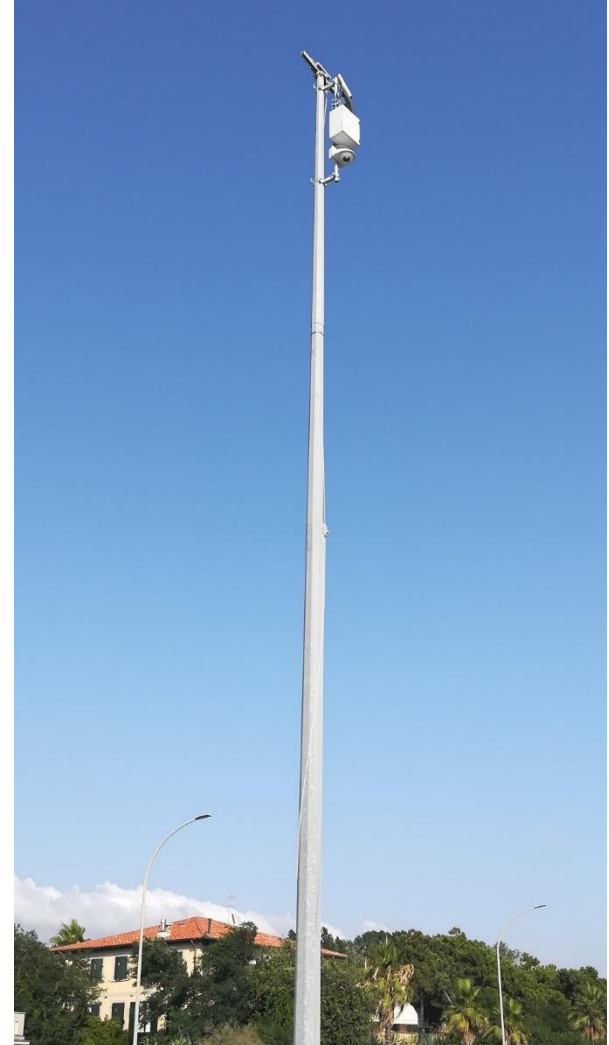
**CT6 -** Alta pressione sull'Africa settentrionale e flusso zonale sull'Europa centrale con forte pendenza di pressione. Venti occidentali che dominano il centro-nord Italia.



CT4, ciclonico, spesso associato a tempeste intense con forti piogge, è meno frequente, ma mostra una tendenza ad aumentare in modo significativo. Lo stesso per CT2. CT6 (circolazione zonale) è più frequente, ma tende a diminuire nell'ultimo decennio

# **Gli strumenti combinati di sorveglianza per la previsione da breve a lungo termine**

# Webcam



La cooperazione al cuore del Mediterraneo

# Immagini e rielaborazioni



Interreg



MARITIME Variance

## Snapshot



## Timex

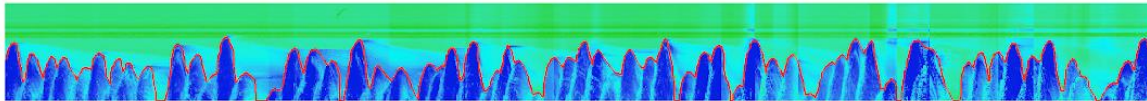


L'immagine di Scatto singolo (**Snapshot**) per l'individuazione di elementi geomorfologici della spiaggia.

Immagine di Media della serie temporale (**Timex**) per identificare le zone preferenziali di frangimento e stime di evoluzione-

L'immagine di deviazione standard della serie temporale (**Variance**) → identificazione delle zone di maggior cambiamento nella serie temporale (*surf zone*, aree di frangimento).

## Timestack



L'immagine di **Time stack** viene costruita affiancando la sequenza temporale di immagini costituite dai pixel di un unico transetto perpendicolare alla costa scelto nell'immagine di **Snapshot** (evoluzione della zona di *swash*, statistiche di *run-up*)



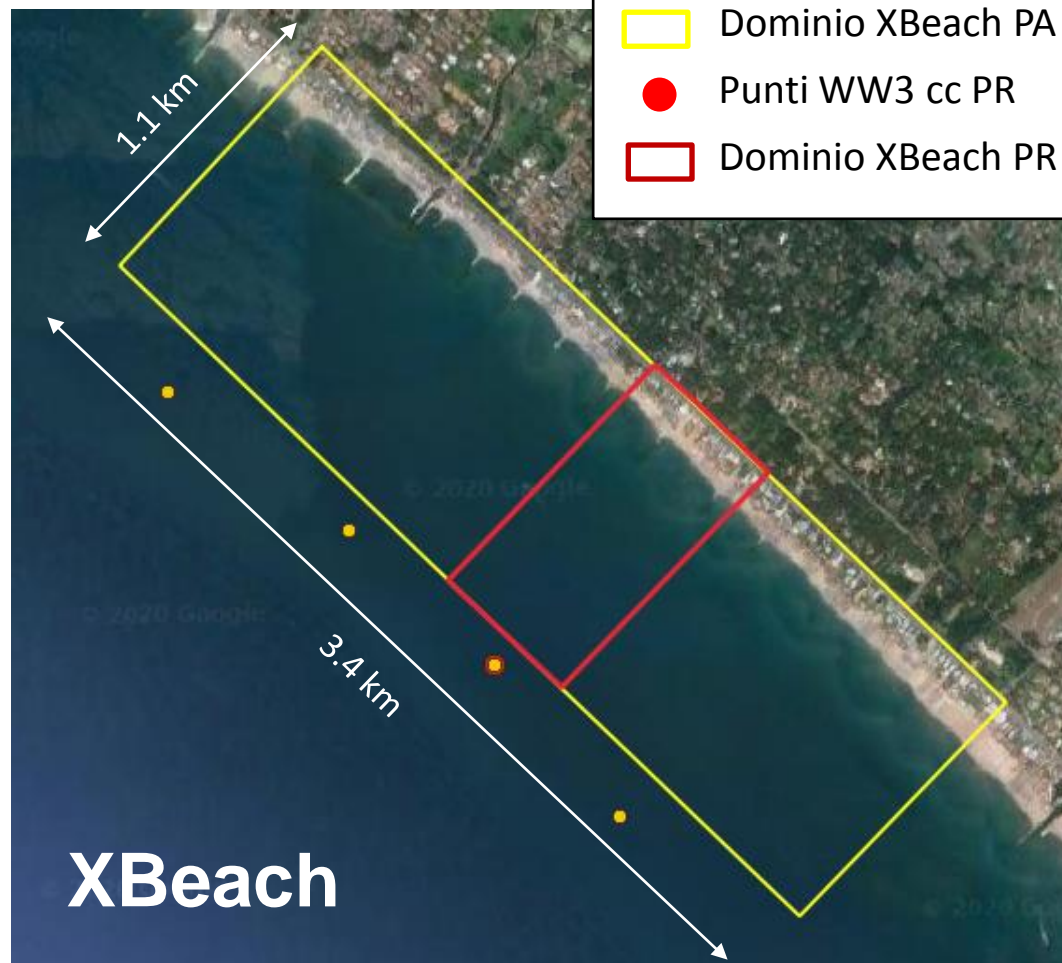
# Approcci alla modellistica

- Confronto Phase-Averaging (PA)  
Phase-Resolving (PR)
- Dati webcam (run-up) calibrazione  
modello (in corso)
- Esempio su evento del 28 Ottobre  
2012
- cc spettrali  $S(x,y,f,\theta)$

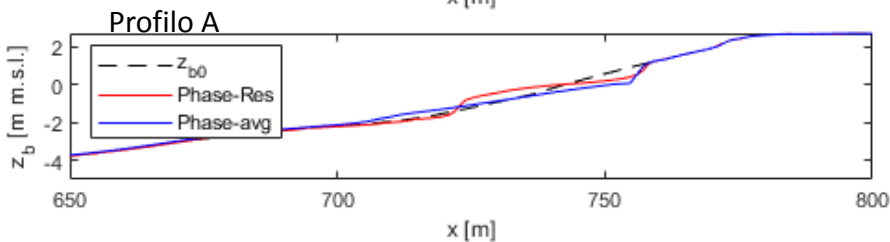
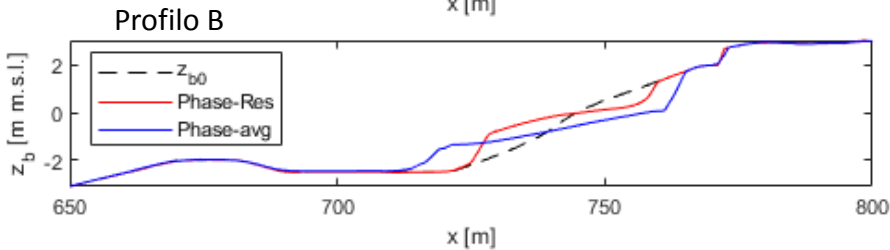
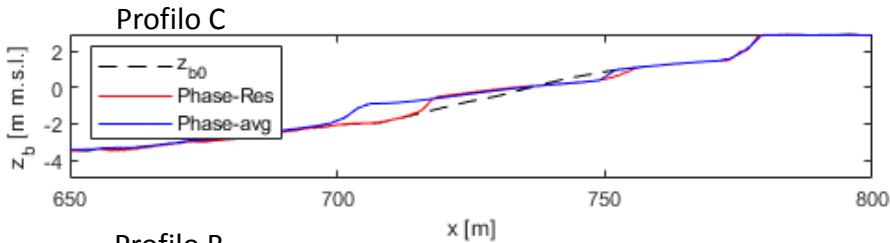
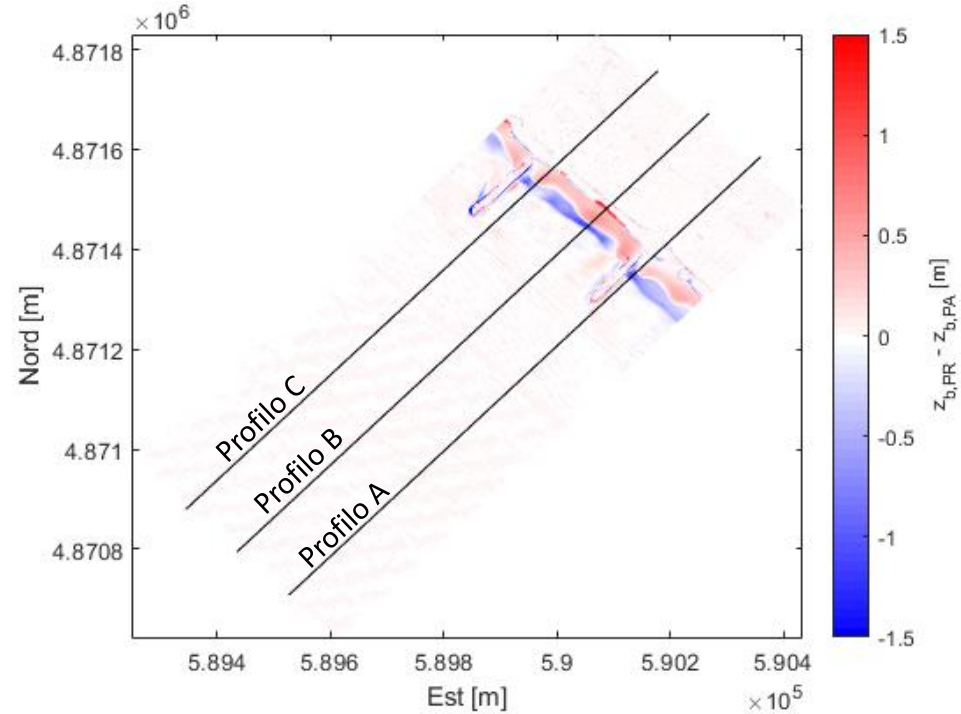
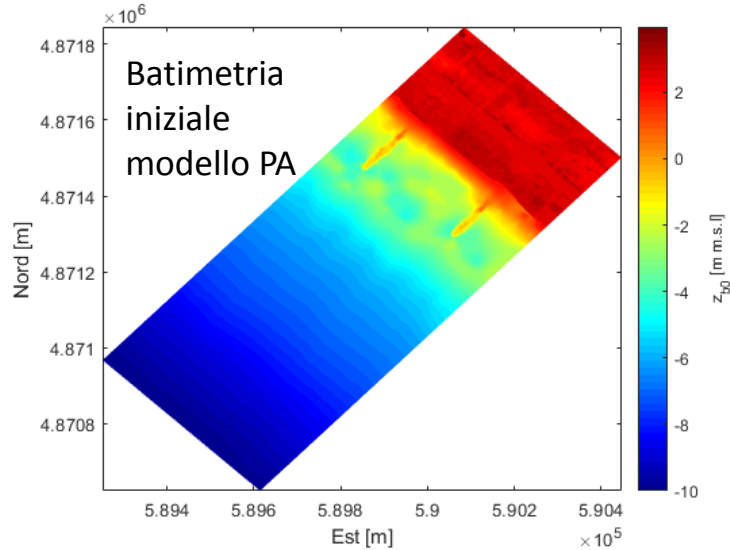
Grid info	$\Delta x$ (m)		$\Delta y$ (m)	
	min	max	min	max
PA	2.5	12	5	15
PR	0.5	1.5	2	2

- Tempi di calcolo PR proibitivi per  
simulazioni di intera mareggiata  
( $\approx$  24-48 ore)

Spiaggia di Ronchi (MS)



# Simulazioni XBeach



Dati da webcam e rilievi batimetrici per verifica performance dei modelli PA e PR

# Simulazioni Delft3D



Interreg

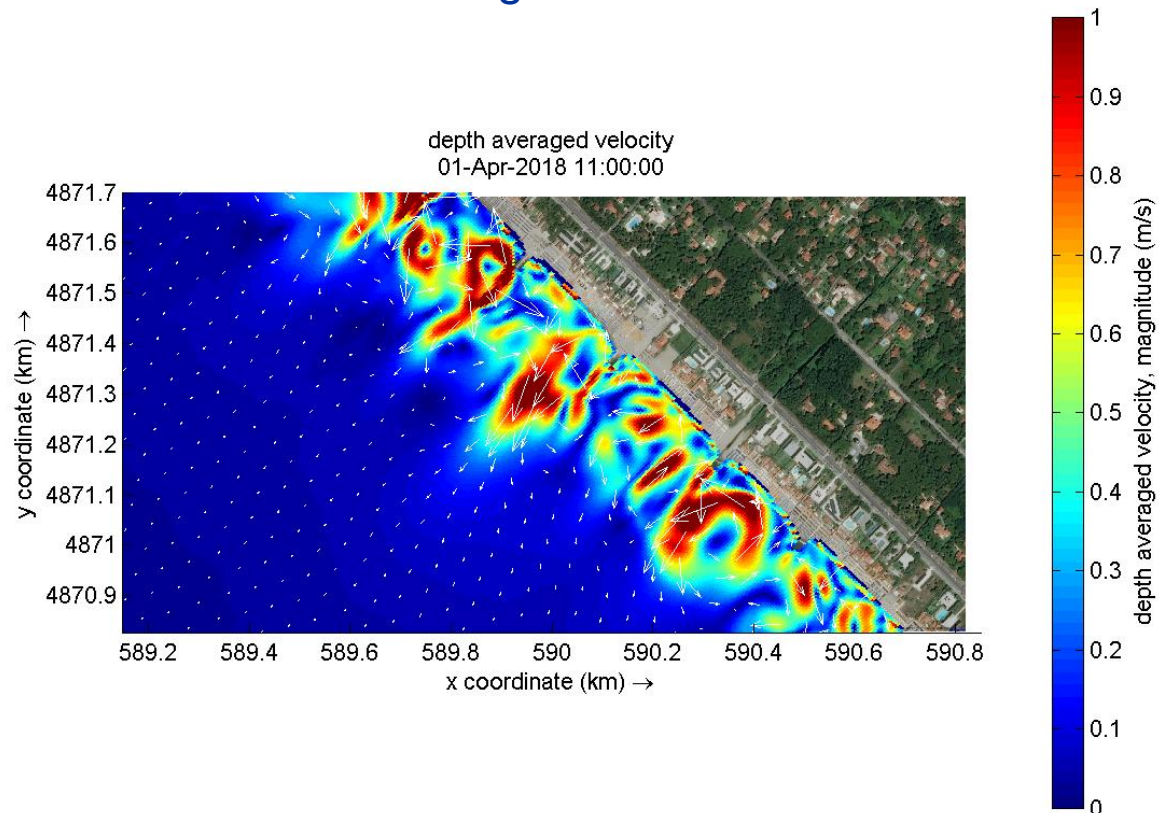


MARITTIMO-IT FR-MARITIME

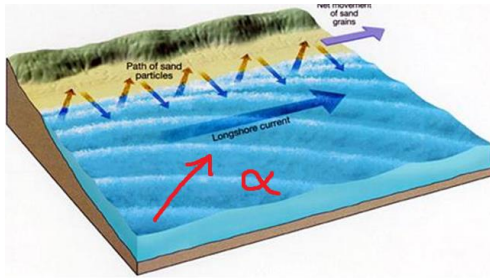
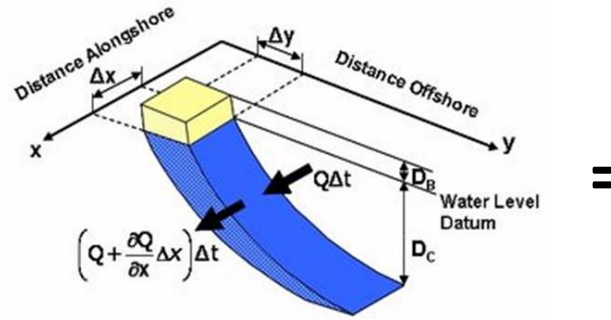
Fonds européen de développement régional

modulo WAVE → modello spettrale per lo studio della propagazione del moto ondoso attraverso fondali caratterizzati da una morfologia irregolare

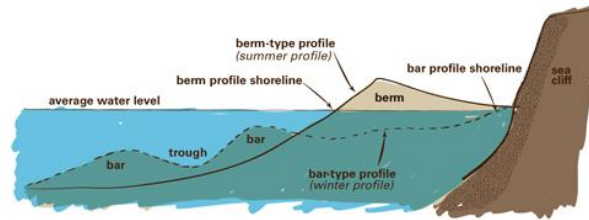
modulo FLOW → è un modulo idrodinamico in grado di risolvere le equazioni del moto dei fluidi e di simulare il comportamento idrodinamico in termini di flussi e livelli risultanti da forzanti meteorologiche e di marea



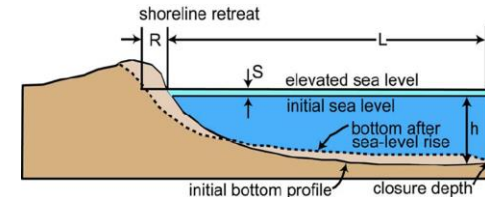
# Comprendere i processi morfodinamici a lungo termine tramite un semplice bilancio



Trasporto longitudinale



Trasporto trasversale



Sea Level Rise

$$\partial Y / \partial t = (-K \partial Q / (d_c \partial X)) + (CE^{(1/2)} \Delta E) - c(\Delta S_{res} / \tan \beta) + v_{LT}$$

**processi non risolti**

Modello fisico  
semplificato  
Parametri incerti



Incertezza nella  
soluzione del  
modello



Stima dei parametri incerti  
mediante assimilazione  
(Kalman Filter)

# Ridurre l'incertezza nella previsione a lungo termine

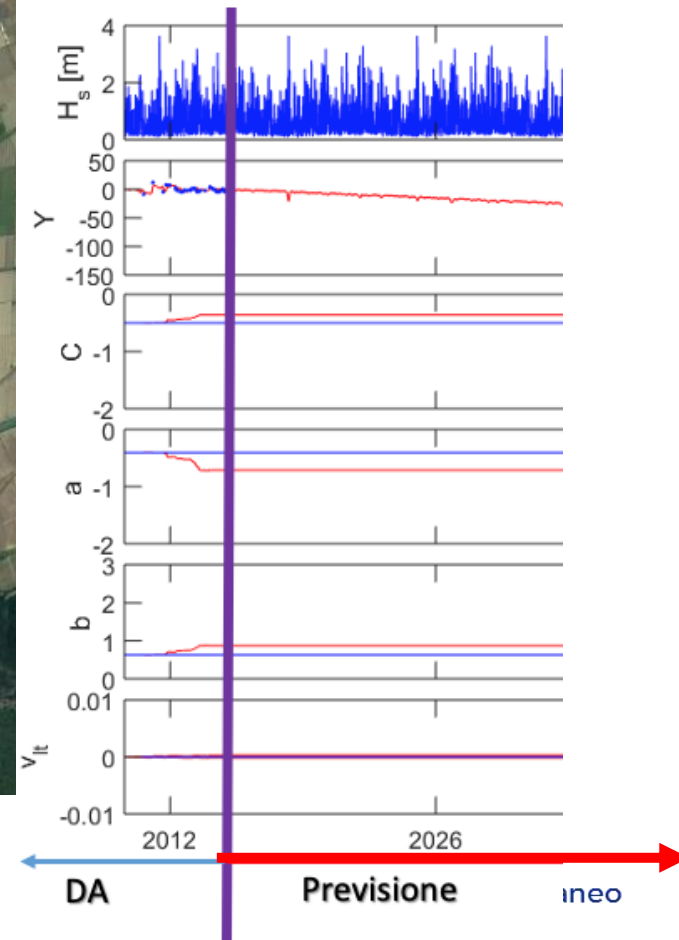
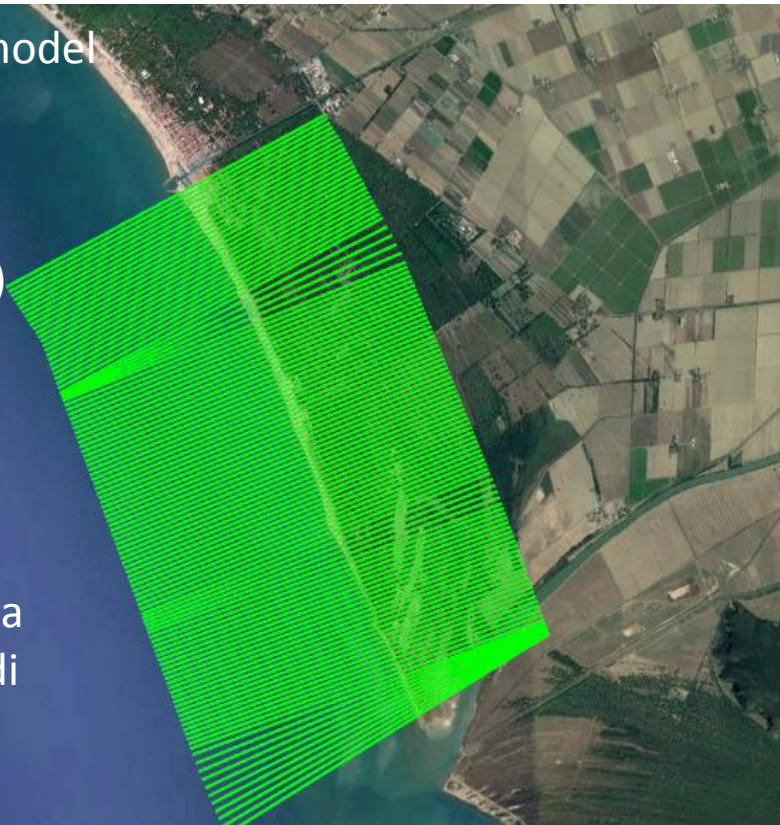
Modello fisico semplificato  
Parametri incerti



l'assimilazione dei dati osservati tramite il filtro di Kalman aumenta l'affidabilità del modello.

COSMOS COAST model  
(USGS)  
Shorelines data  
assimilation  
(SLR = 1 m/100 yr)

117 transetti  
perpendicolari alla  
costa distanziati di  
ca 50 metri.



# Scenari di erosione a lungo termine

Esempio di applicazione di un modello morfodinamico a lungo termine per l'area della foce dell'Ombrone



# Scenari di erosione a lungo termine

**Esempio di applicazione di un modello morfodinamico a lungo termine per l'area della foce dell'Ombrone**

Nel 2100 stimato un arretramento massimo in prossimità della foce di oltre 700 m rispetto alla posizione attuale





Interreg



UNION  
EUROPEENNE



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional

# Sorvegliare, verso il futuro

→ Abbiamo strumenti nuovi (osservazioni, modelli) di sorveglianza della fascia costiera, sia della componente terrestre che di quella marina, con cui si sta cercando di contribuire alla sicurezza, alla gestione e alla pianificazione della costa.

→ La capacità di questi strumenti di risolvere scale molto diverse tra loro, dalla scala di mareggiata (a breve termine) fino alla scala dei cambiamenti a lungo termine, non è ancora completa. È necessario utilizzare al meglio i dati di osservazione, garantire la sostenibilità del monitoraggio, ma anche migliorare i modelli.

→ La sorveglianza è solo una componente (necessaria) della gestione integrata, e dovrebbe essere estesa anche ad altri ambiti, per comprendere i valori economici e ambientali, ma anche sociali, storici e culturali, e un po' anche la nostra visione del futuro.



REGIONE LIGURIA



PARCO NAZIONALE  
CINQUE TERRE  
Aree Marine Protette delle Cinque Terre

La cooperazione al cuore del Mediterraneo





## Erosione costiera e cambiamento climatico Capire il passato > guardare al futuro

# Grazie

