

Indicatori e mappe di vulnerabilità e rischio della costa e analisi delle criticità future

Dott. Geol. Luisa Perini
Servizio Geologico, Sismico e
dei Suoli della Regione;

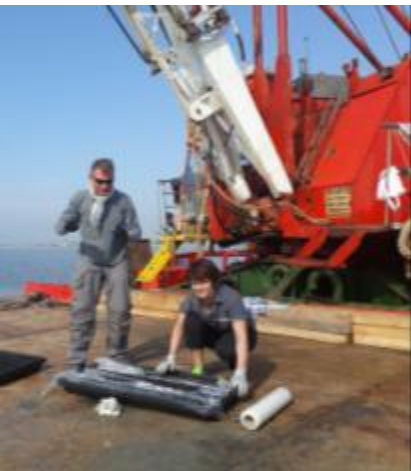
Temi trattati

- **Panoramica delle attività del servizio geologico a supporto dell'ingegneria costiera**
- **Le banche dati tematiche e indicatori**
- **Gli indicatori di vulnerabilità**
- **Possibili conseguenze dei cambiamenti climatici**

Il ruolo del servizio geologico regionale

Supporto al governo regionale sui temi legati ai 'rischi e alle dinamiche costiere' - 'risorse naturali' – alla MSP con particolare riferimento alle interazioni tra gli usi del mare e la costa

- Costruzione di quadri conoscitivi
- Sviluppo e gestione di banche dati e di cartografie tematiche
- Supporto alla 'Protezione Civile' – valutazione del livello di criticità e impatti
- Supporto alla progettazione regionale degli interventi
- Partecipazione a Tavoli Tecnici regionali - interregionali e nazionali relative alle principali direttive e strategie



Conoscenze per la gestione del rischi costieri

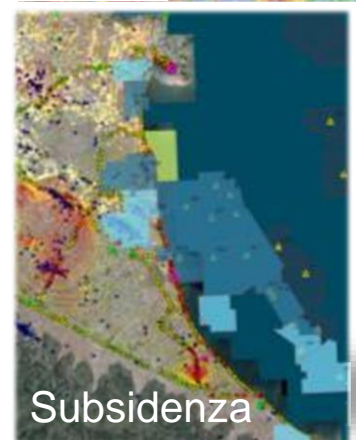
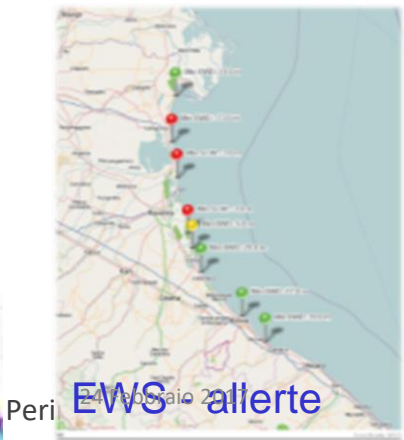
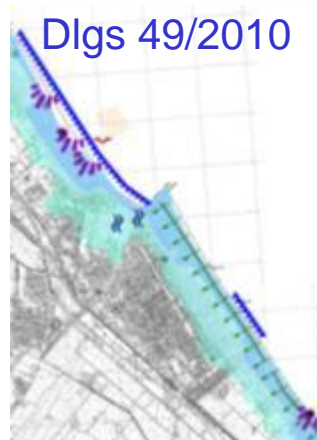
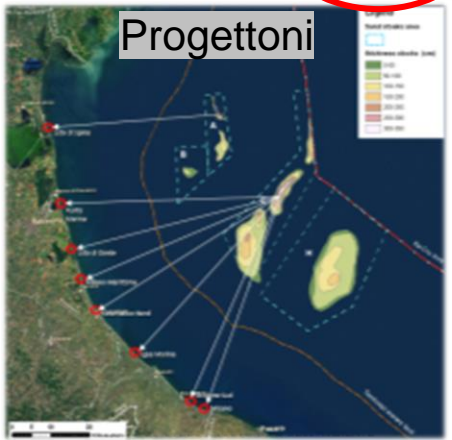
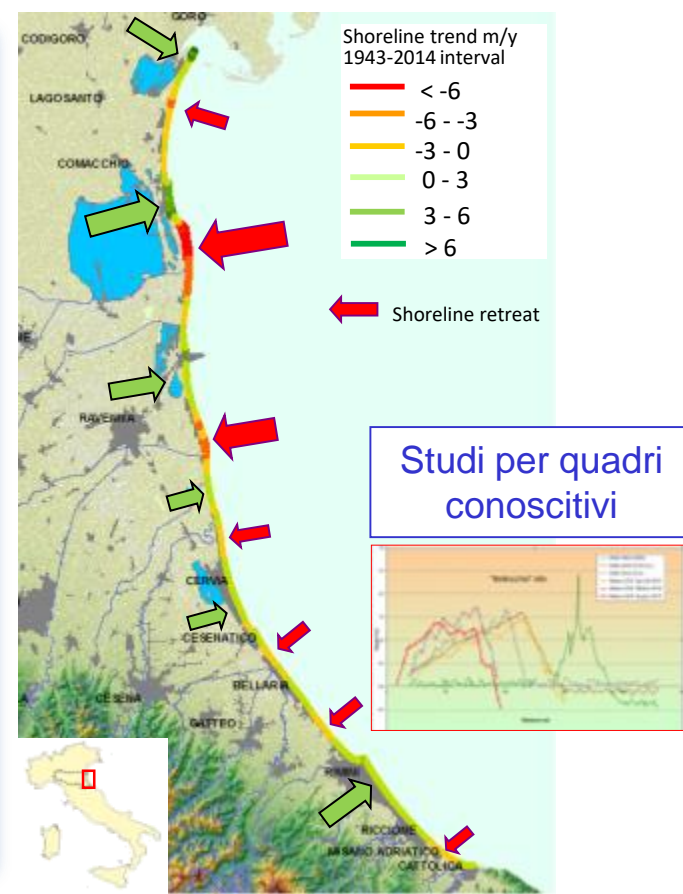
Le decisioni devono essere basate su informazioni scientificamente corrette
– accurate, aggiornate e organizzate

Relazioni e accordi con università e centri di ricerca

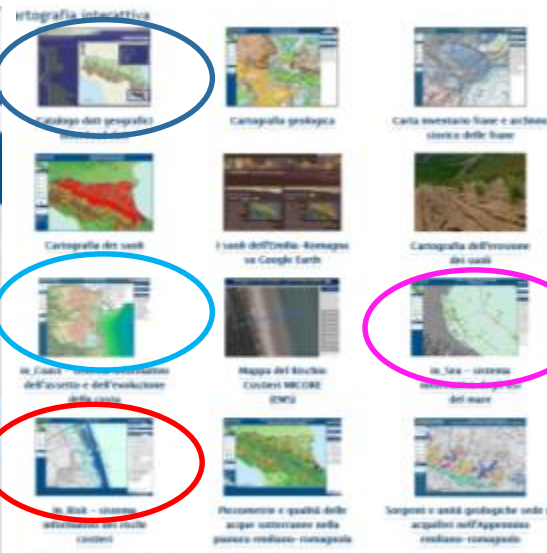
Molteplici le tematiche affrontate:

- **Geologia**
- **Cartografia morfologica – e degli usi della costa e del mare**
- **Dinamiche evolutive**
- **Analisi di rischio e valutazione impatti da mareggiata**
- **Cartografie di vulnerabilità e rischio ai sensi del dlgs 49/2010**
- **Analisi su impatti legati ai cambiamenti climatici**
- **Analisi sugli impatti legati alle attività umane a terra e a mare**

Il Sistema Informativo del Mare e della Costa

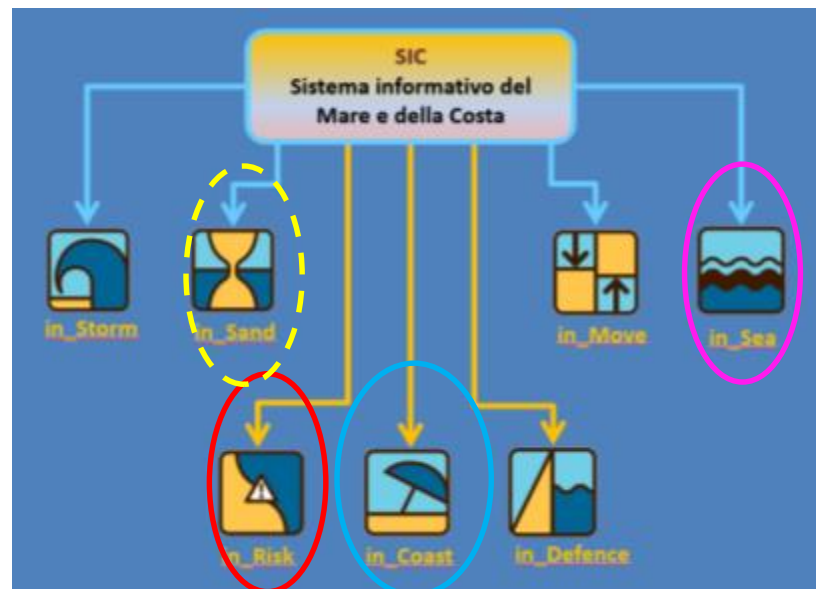


Il Sistema Informativo del Mare e della Costa interfacce web



<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa>

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati>





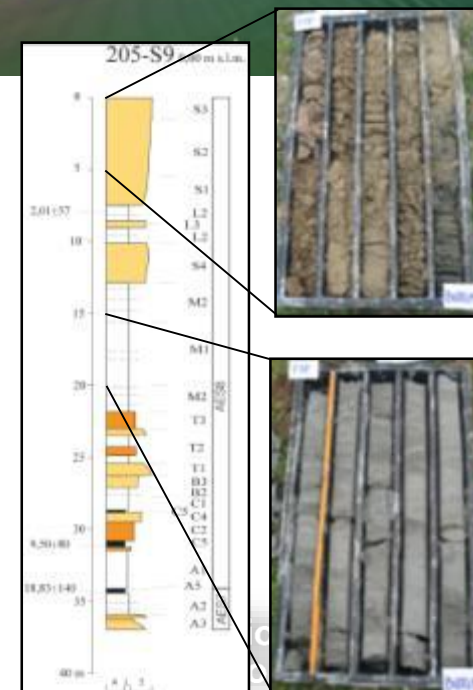
Dati geologici – geomorfologici – studi sulle dinamiche evolutive

Obiettivi generali

- Supportare la pianificazione territorial regionale e subordinata
- Supportare la pianificazione e la progettazione degli interventi

Obiettivi specifici

1. Comprendere i processi naturali e quelli indotti dalle attività antropiche sul lungo e nel breve periodo
2. Analizzare le morfologie costiere, il loro stato e la loro evoluzione
3. Caratterizzare i depositi costieri dal punto di vista sedimentologico (ambienti deposizionali) e geotecnico (compattazione residua cedimenti attesi)



Evoluzione storica della costa

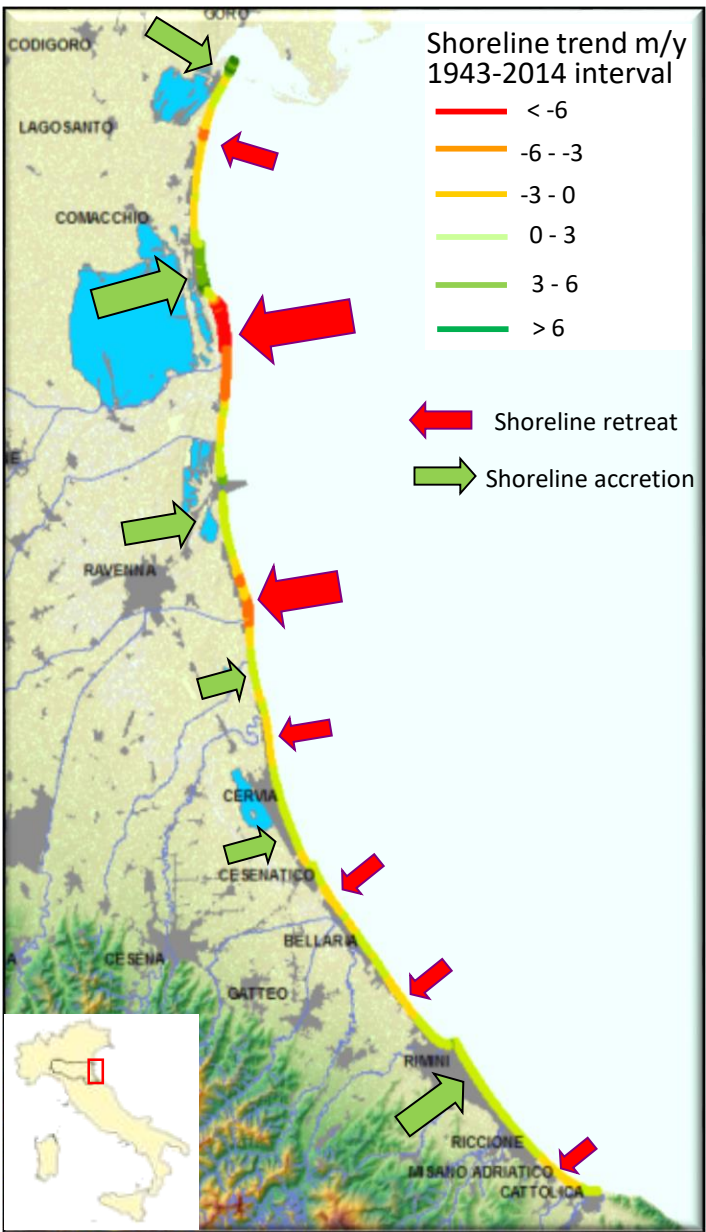


Cartografie storiche e line di riva recenti

1810-21 1893-94, 1943-45, 1953, 1982, 1998, 2005, 2008, 2011, 2014

Risulta evidente un processi di rettificazione della linea di riva innescayto alla fine del XIX secolo

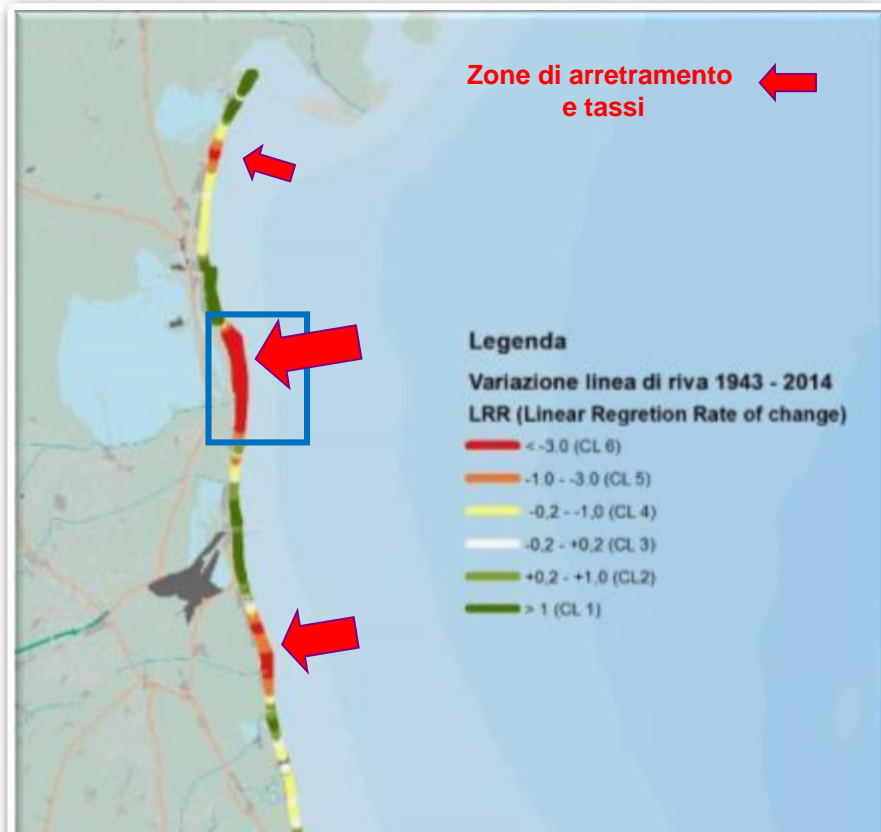
Il fenomeno più evidente è lo smantellamento delle foci fluviali



FOCE FIUMI UNITI



L'area di Foce reno

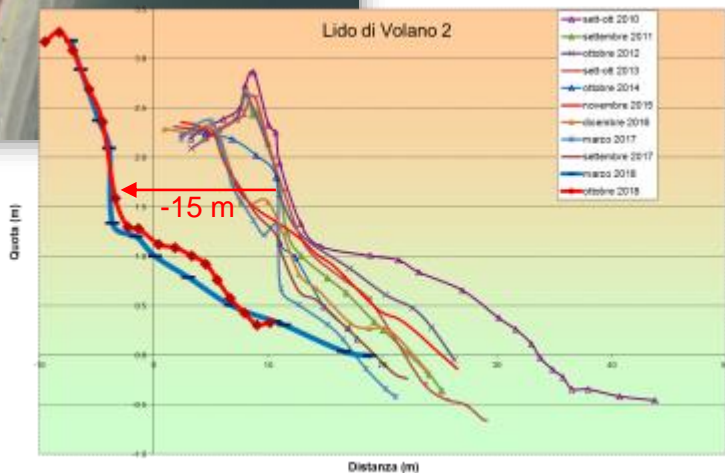
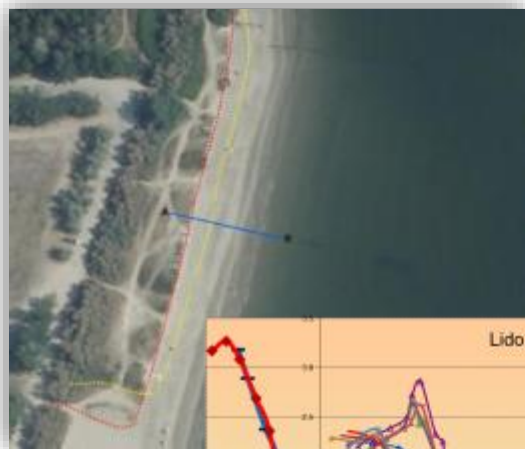




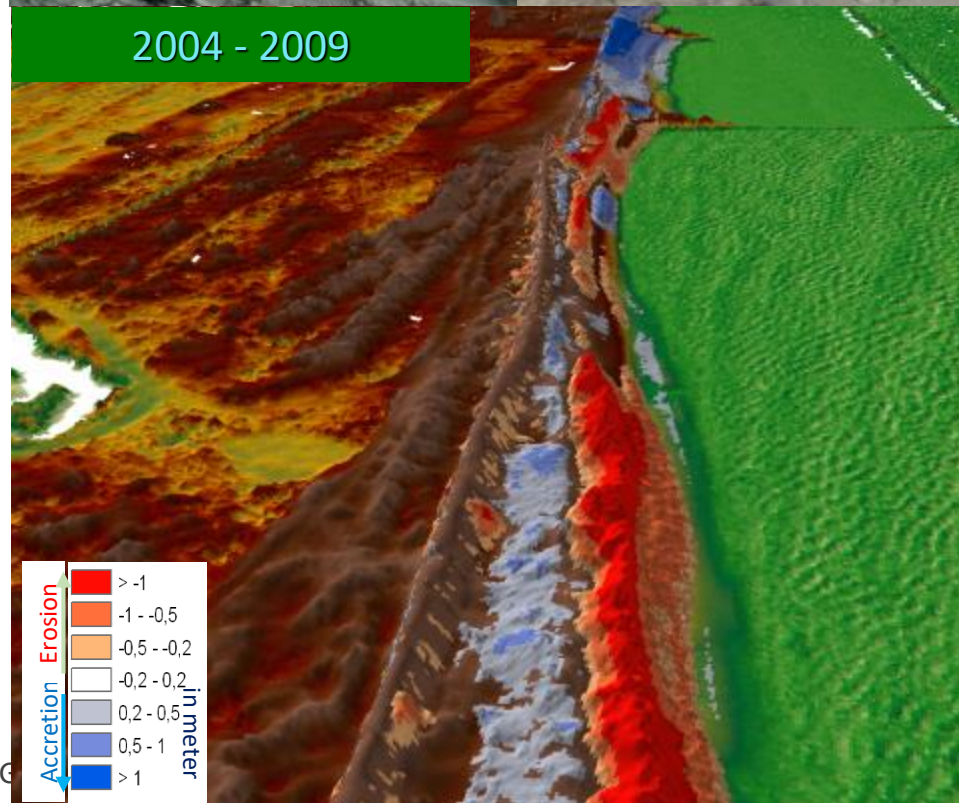
Approfondimenti sulla morfologia costiera

in_Coast

I rilievi Lidar, ripetuti nel tempo forniscono uno strumento di analisi fondamentale; affiancato da rilievi di campo a partire dal 2010

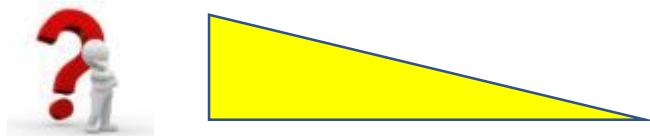


2004 - 2009

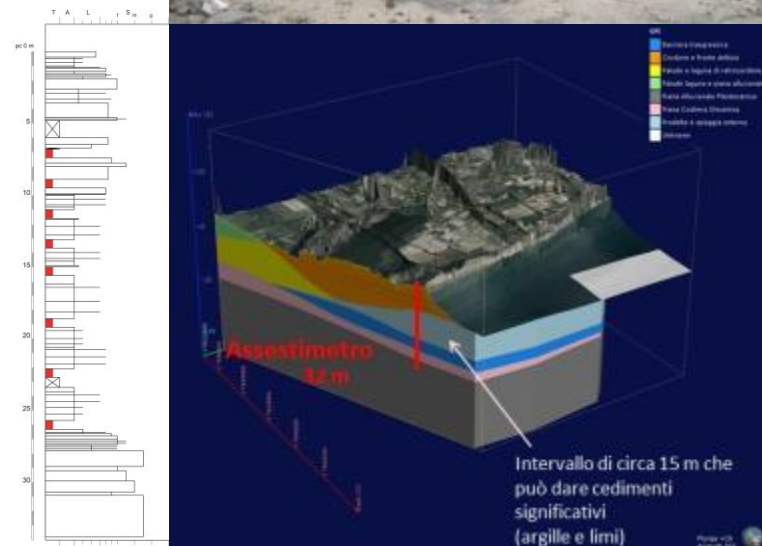


tipologia e caratteristiche dei sedimenti superficiali e di quelli del sottosuolo:

✓ *reali dimensioni del cuneo sabbioso della spiaggia... sempre più frequenti gli affioramenti di argille*



✓ *caratteristiche geotecniche del sottofondo: stratigrafie, CPTU; prove di laboratorio; 2 siti pilota attrezzati anche con assestometro ancorato alla base Olocene*

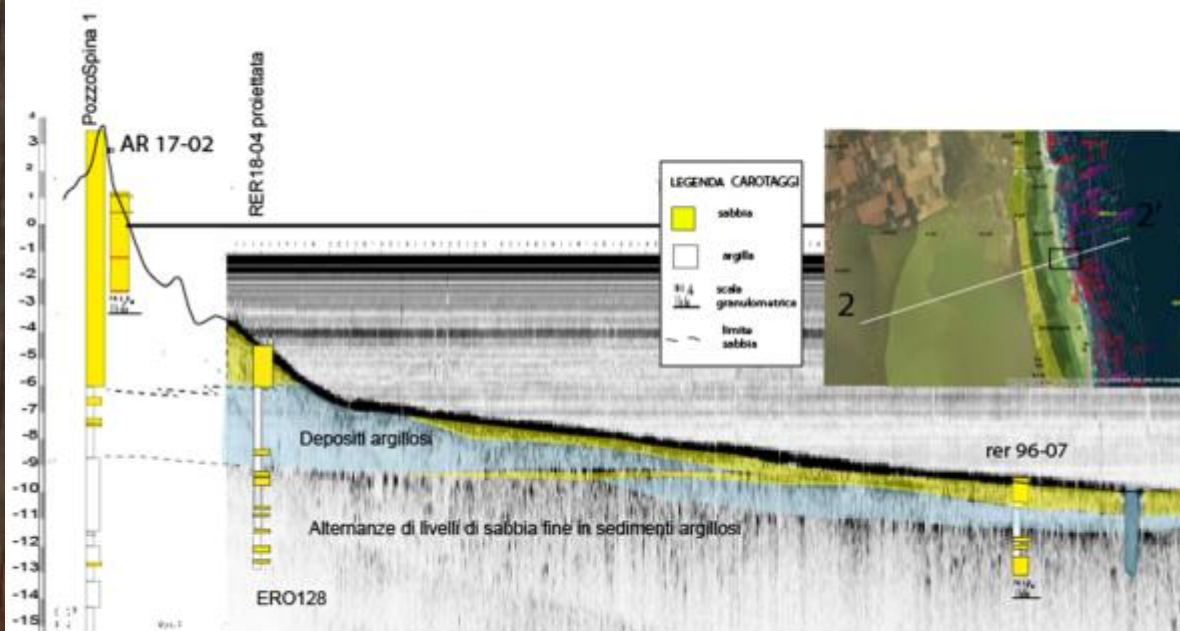




in_Coast

Approfondimenti a mare

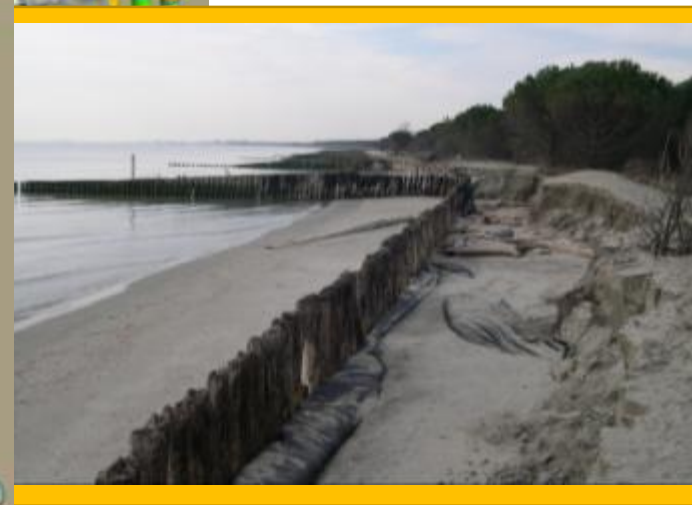
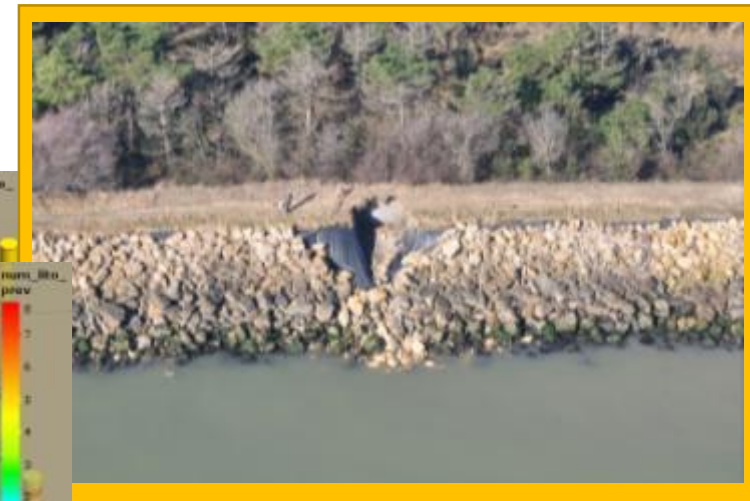
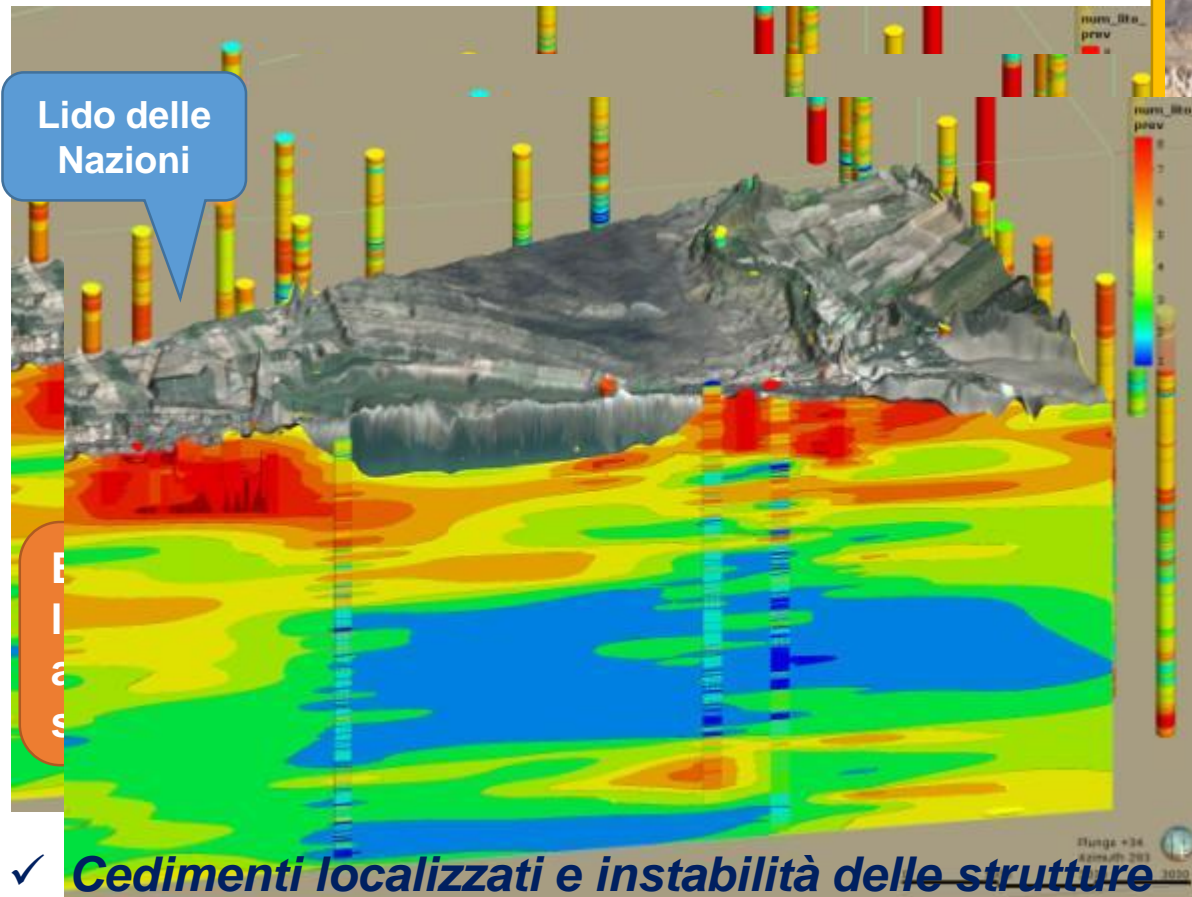
Indagini e quantificazione del cuneo di spiaggia da terra a mare





Importanza della geologia di sottosuolo per la stabilità delle opere

in_Coast



- ✓ **Cedimenti localizzati e instabilità delle strutture**
- ✓ **Compattazione generalizzata (subsidenza) e inefficienza della risposta del sistema di difesa**

Le banche dati delle Opere di difesa



in_Defence

Difese longitudinali distaccate



Argini in massi



Diversi cataloghi elaborate a partire dalla foto-interpretazione dei voli aerei 1943 - 1982 - 1998 - 2005 - 2008 - 2014 - dati lidar - dati costruttivi

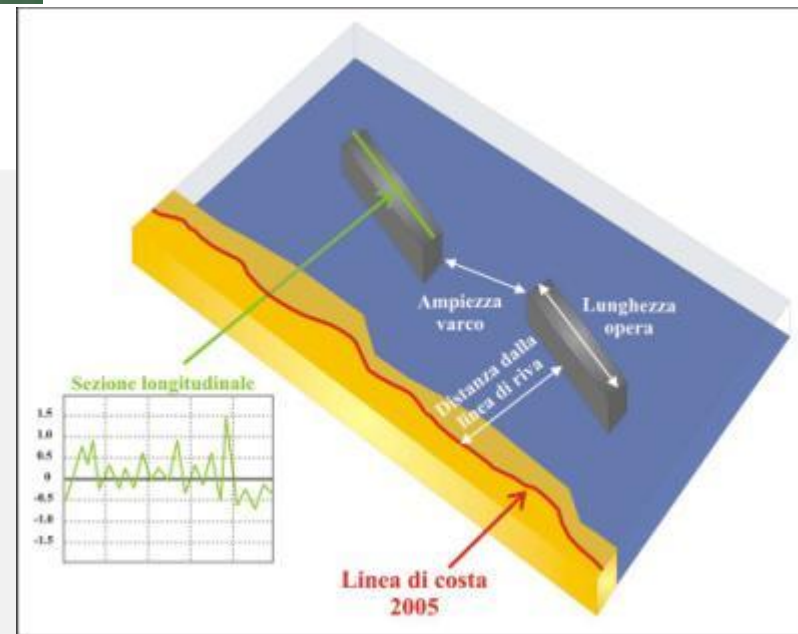


Pennelli in pietra



Pennelli in legno

- ✓ tipo
- ✓ stato
- ✓ materiali
- ✓ posizione
- ✓ direzione
- ✓ altezza
- ✓ lunghezza
- ✓ ampiezza
- ✓ distanza dalla costa
- ✓ Anno di costruzione



Indicatore lunghezza costa protetta



in_Defence

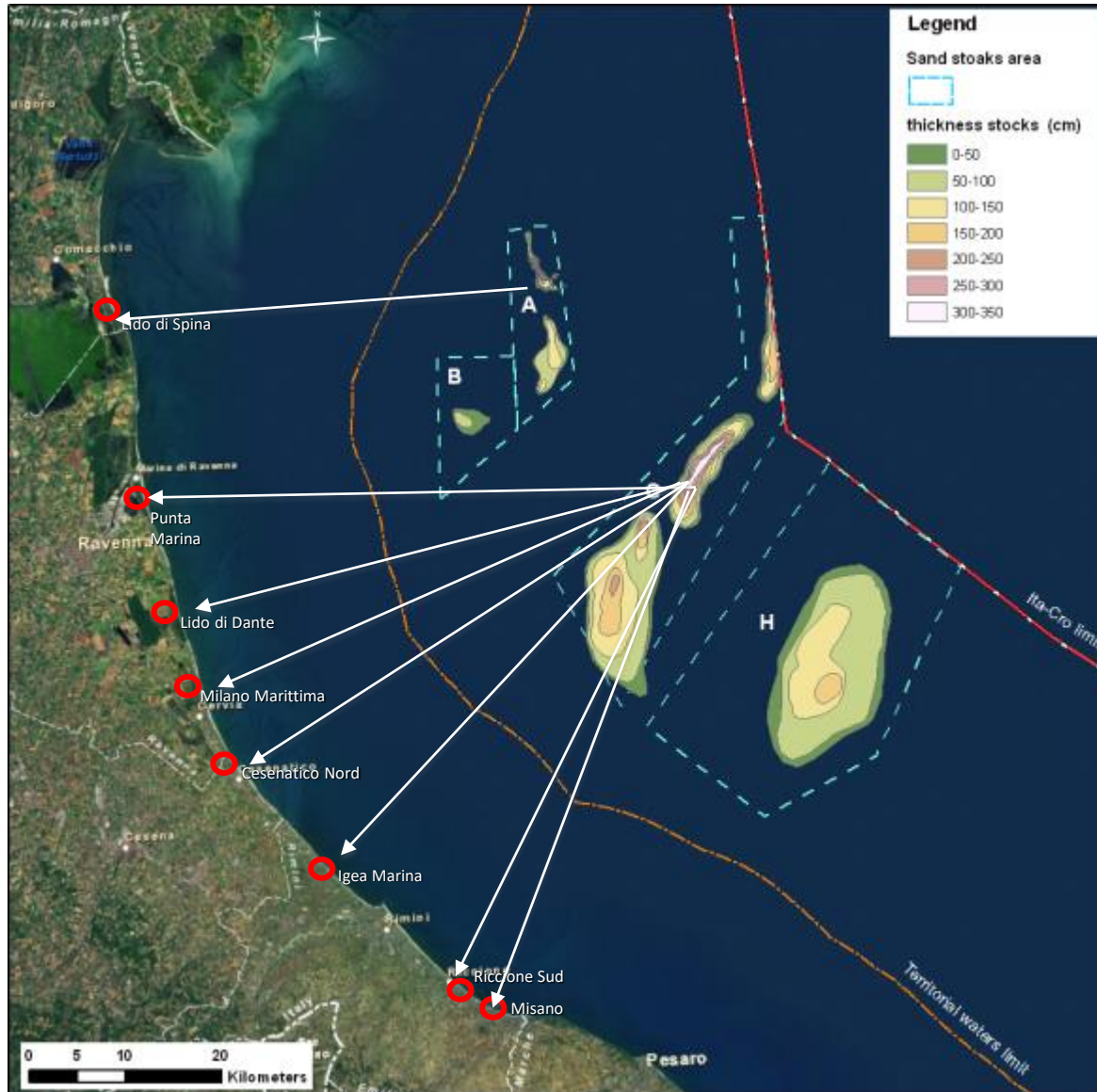


Le sabbie sottomarine

3 progettati realizzati nel 2002, 2007 e 2016



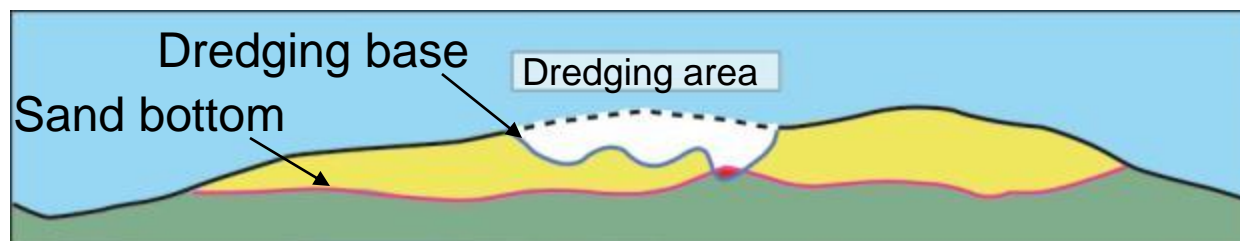
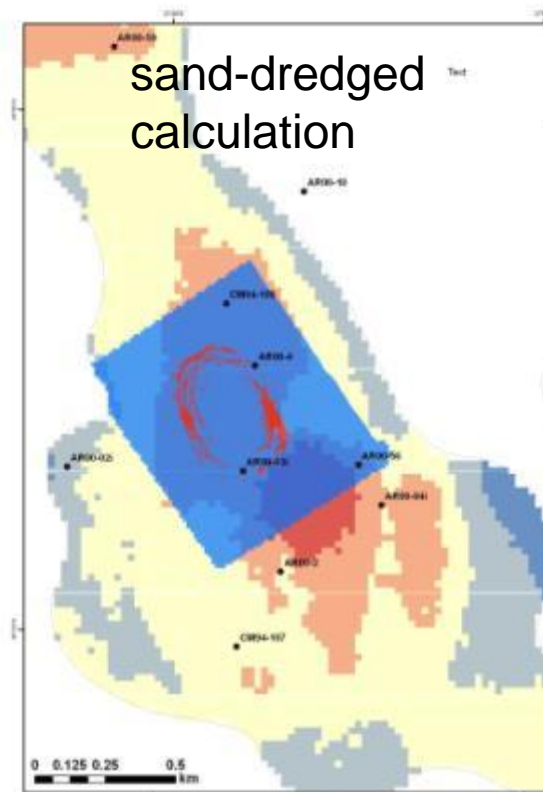
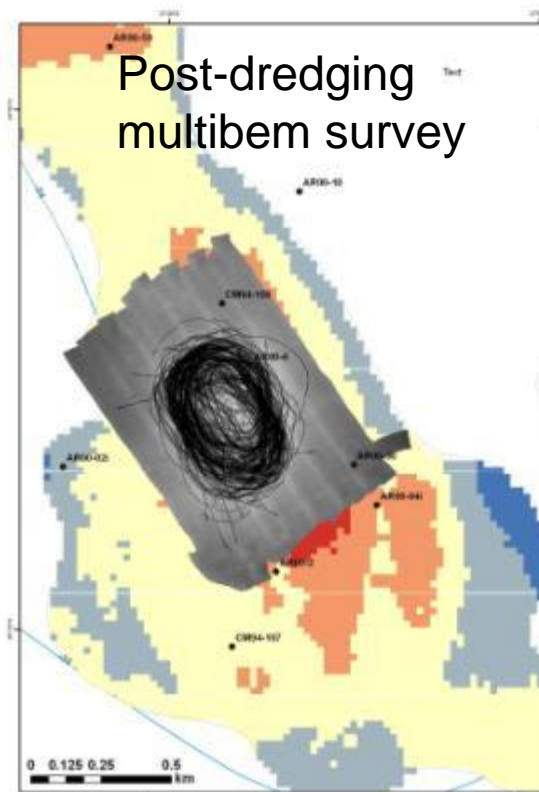
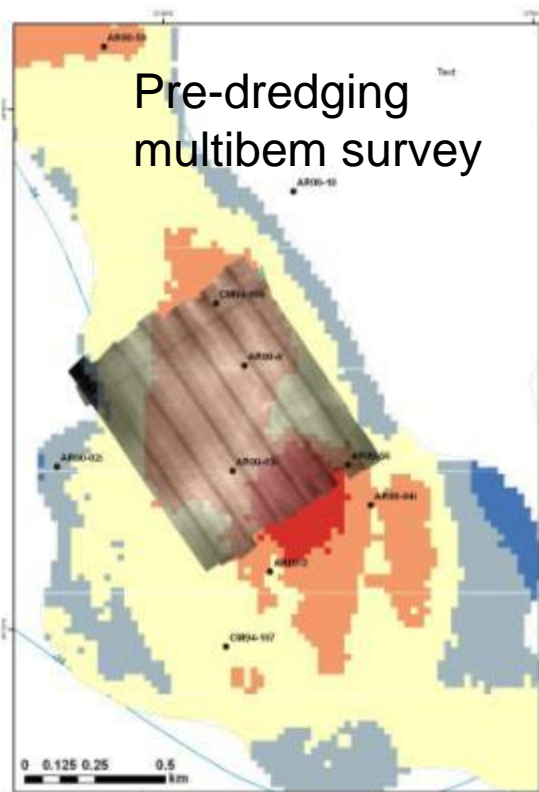
in_Sand





in_Sand

Calcolo dei volumi dragati – verifiche volumi residuali



- Tutti gli avvisi e allerte
- I parametri meteomarine che caratterizzano l'evento
- I dati di sopralluoghi e rilievi post-evento
 - Analisi post evento



in_Storm Sistema Informativo Gestione dati delle Mareggiate

HOME

PREVISIONI

- Avvisi meteo di eventi costieri
- Valutazione impatti
- Protezione Civile

RILEVAZIONI

- Condizioni meteo marine
- Impatti generali e locali

STB

- Relazioni tecniche STB
- Relazioni generali STB

MAREGGIATE

- Mareggiate con impatti

ANALISI

- Analisi Mareggiate

REPORT

- Per anno
- Per località

Relazioni tecniche STB

[Nuova relazione tecnica](#)

Filtri di ricerca

Inizio validità Fine validità

STB Località

Codice	Inizio validità	Fine validità	Stato	STB	Azioni
1234567890	1-feb-2017	10-feb-2017	Bozza	STB Romagna - sede Cesena	
2014_09_I	22-set-2014	23-set-2014	Bozza	STB Po di Volano e della costa	
2014_09_J	21-set-2014	22-set-2014	Bozza	STB Po di Volano e della costa	
2014_08_I	31-ago-2014	1-set-2014	Bozza	STB Po di Volano e della costa	



Indicatori: tipologia di danno e frequenza

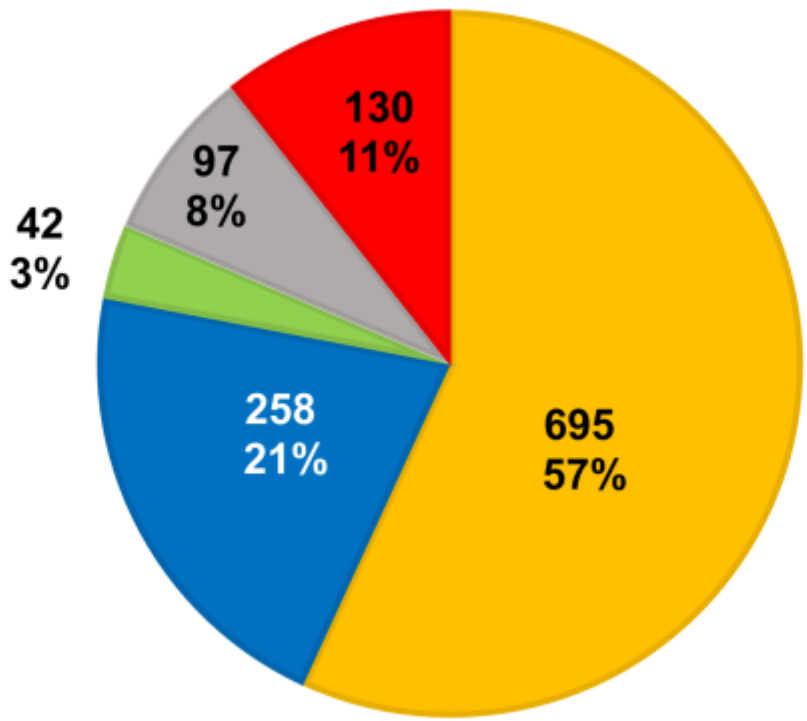


Legenda

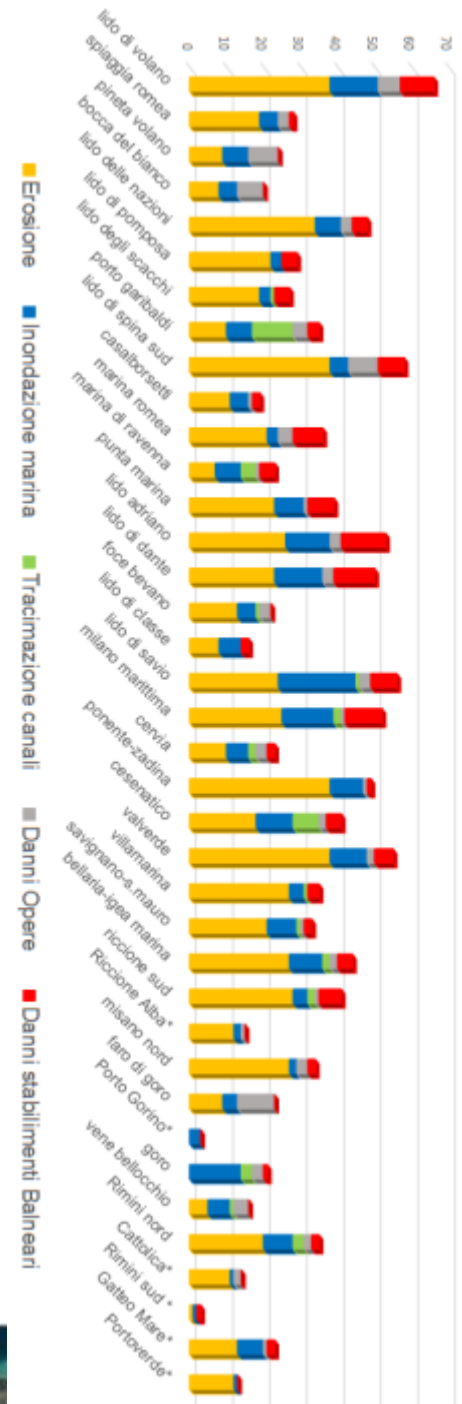


Legenda

TOTALI IMPATTI PER TIPO DAL 1943 AL 2018



Impatto Inondazione 1946-2018



Tipologia di Impatto per Località dal 1946 al 2018





in_Sea

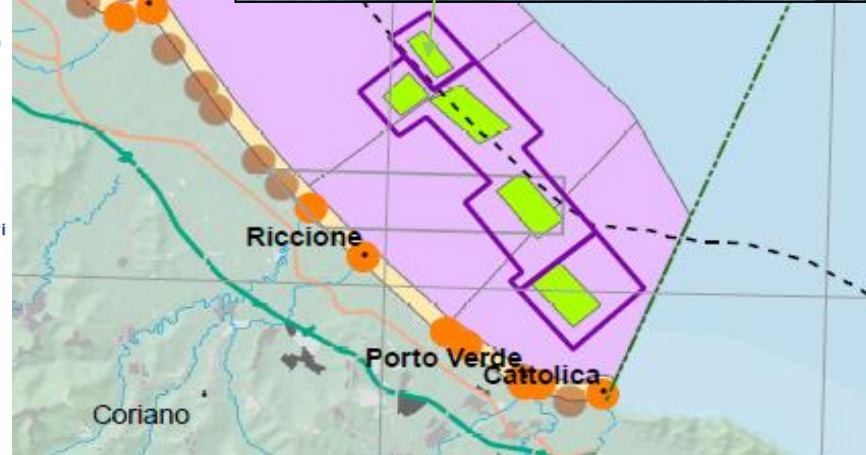
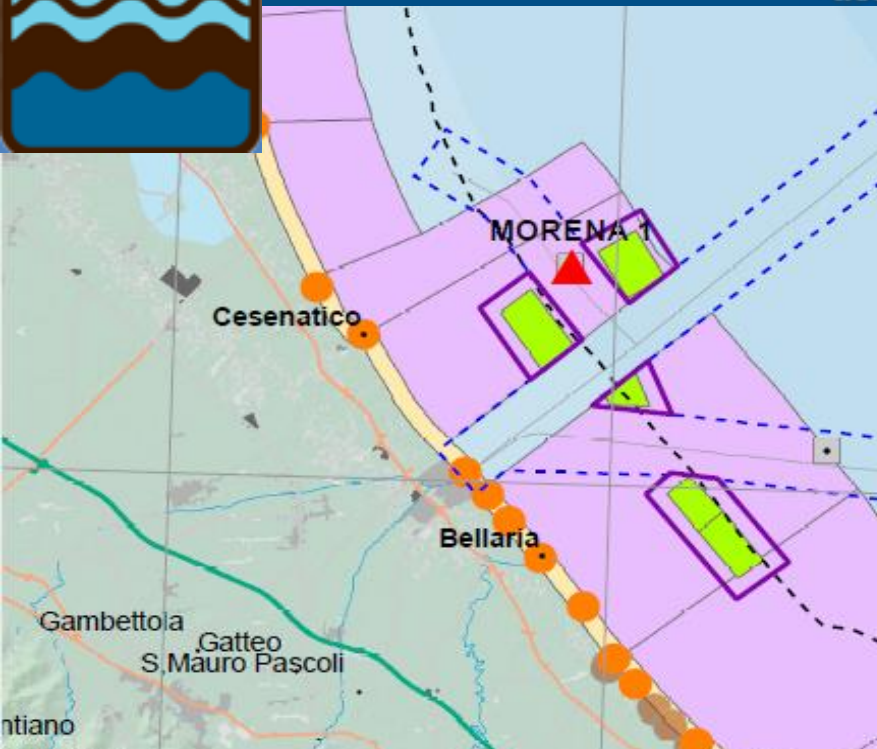
in_Sea

In_Sea è nata allo scopo di analizzare le pressioni antropiche degli usi antropici del mare sulla costa - ora strumento di supporto della MSP (D.Lgs 201/2016 recepimento della direttiva EU 2014/89/EU)

Principali temi

- Energia
- Ambiente
- Acquicoltura e pesca
- Trasporti
- Sabbie sottomarine , In_Sand
- Difese costiere
- Usi della costa (turismo)





- Sicurezza e salute
- Risorse Impianti idrocarburi
- Risorse Concessioni dei titoli marittimi
- Area di rispetto
- Limiti amministrativi
- Quadri di unione
- Basi topografiche
- Linee di Costa 2005
- Isobate 2006
- Opere di Difesa 2005
- Colonia Mare

Limiti marittimi e terrestri

- Area di studio
- Limite della piattaforma continentale
- Acque territoriali (12 mn)
- 3 miglia nautiche (limite indicativo)

Energia

- Piattaforme non in dismissione
- Terminali marini
- Condotte sottomarine
- Area di rispetto delle condotte sottomarine

Zone di esercitazione militare

- Zona Echo 345 (Non in uso)
- Echo 346 Zona A
- Echo 346 Zona B

Zone di tutela ambientale esistenti

- AMP - Tecnoreef ADRI.BLU
- SIC IT4070026 (Paguro)
- ZTB -Area fuori Ravenna

Classificazione ai sensi del Reg. (CE) n° 853/04

- Zona B - dalla linea di costa alle 0,3 mn
- Zona A - dalle 0,3 mn alle 2 mn/5mn

Mitilicoltura

- Zone di allevamento reale e potenziale
- Aree in concessione

Aree di raccolta di molluschi bivalvi

- In acque interne
- Piattaforme estrattive e terminali marini

Zone di divieto di raccolta

- Canali e scolmatori di piena
- Aree di Tutela Biologica (Sacca di Goro)



INDICATORI DI SUSCETTIBILITA' ALL'EROSIONE E INONDAZIONE COSTIERA

Necessari per monitorare i cambiamenti che avvengono nel tempo, supportano le strategie quali: **Sviluppo sostenibile** e **Cambiamenti climatici** e la scelta delle **priorità di intervento** nei punti critici della costa Emiliano-Romagnola

Analizzata la **Suscettibilità del sistema costiero ai fenomeni di erosione (Se) costiera e inondazione marina (Si) in occasione di eventi di mareggiata**, che è funzione delle caratteristiche fisiche intrinseche del territorio e non tiene conti di aspetti economici e sociali.

Il lavoro implica l'elaborazione di numerosi **indicatori** che riguardano:

- **Lo stato morfologico e di protezione della costa**
- **Le dinamiche evolutive**
- **L'antropizzazione della costa**

SUSCETTIBILITÀ ALL'EROSIONE (Se)

Se = Ind. Morfologici 50%+ Ind. Evolutivi 40%+ Pressione Antropica 10%

PARAMETRI MORFOLOGICI	
Ampiezza spiaggia libera	40%
Quota media spiaggia	40%
Pendenza spiaggia sommersa	20%

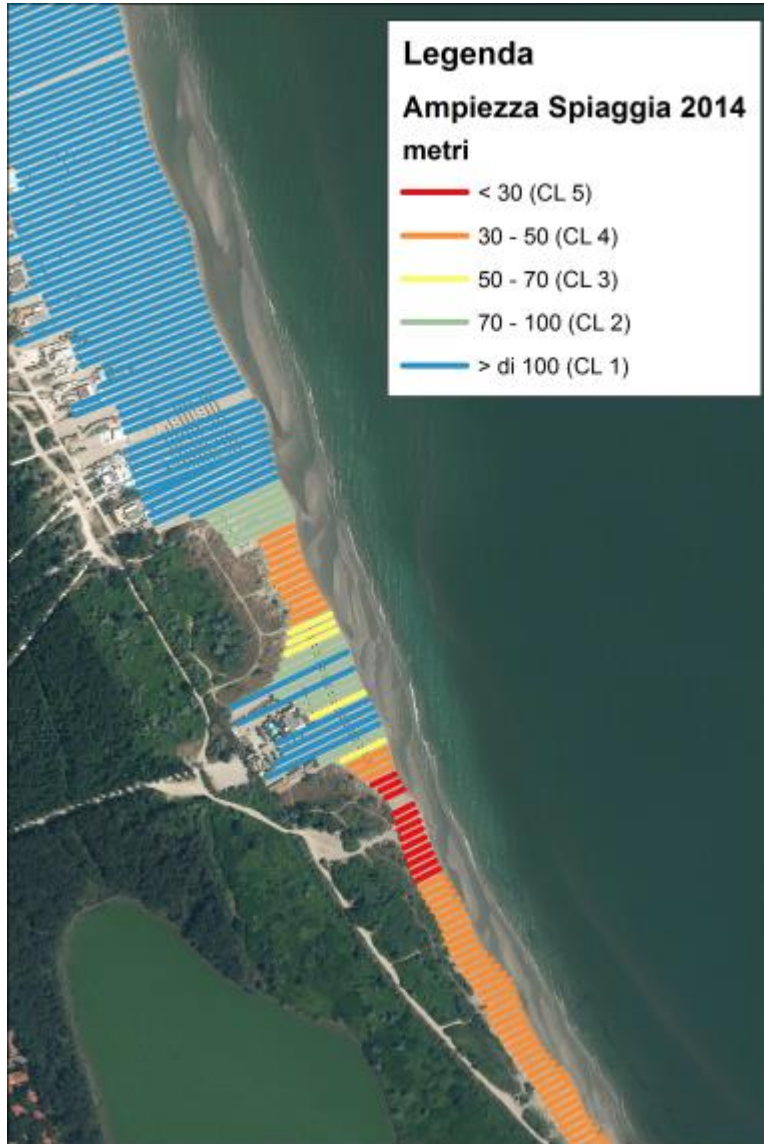
PARAMETRI EVOLUTIVI	
Tassi di evoluzione delle Linea di riva storiche	40%
Evoluzione recente	30%
Dinamica spiaggia sommersa	20%
Tassi subsidenza	10%

Metodologia di analisi:

- Elaborazione e classificazione dei singoli parametri
- Analisi pesata delle tre tipologie di indicatore
- Elaborazione e classificazione di **Se**

PRESSIONE ANTROPICA	
Percentuale di antropizzazione della costa	10%

I parametri Morfologici



PARAMETRI MORFOLOGICI	
Ampiezza spiaggia libera	40%
Quota media spiaggia	40%
Pendenza spiaggia sommersa	20%

La cartografia di riferimento per l'elaborazione dei parametri **ampiezza**, **quota media**, **quota di chiusura** della spiaggia è il poligono di 'spiaggia emersa', mappato con fotointerpretazione del Volo Agea 2014. Costruiti una serie di transetti ortogonali alla linea di riva, paralleli tra loro e equidistanti 10 metri, la cui lunghezza è compresa tra la linea di riva e il limite interno della spiaggia. Per ogni transetto sono stati calcolati, i suddetti parametri estraendo le quote dal DTM-Lidar 2012.

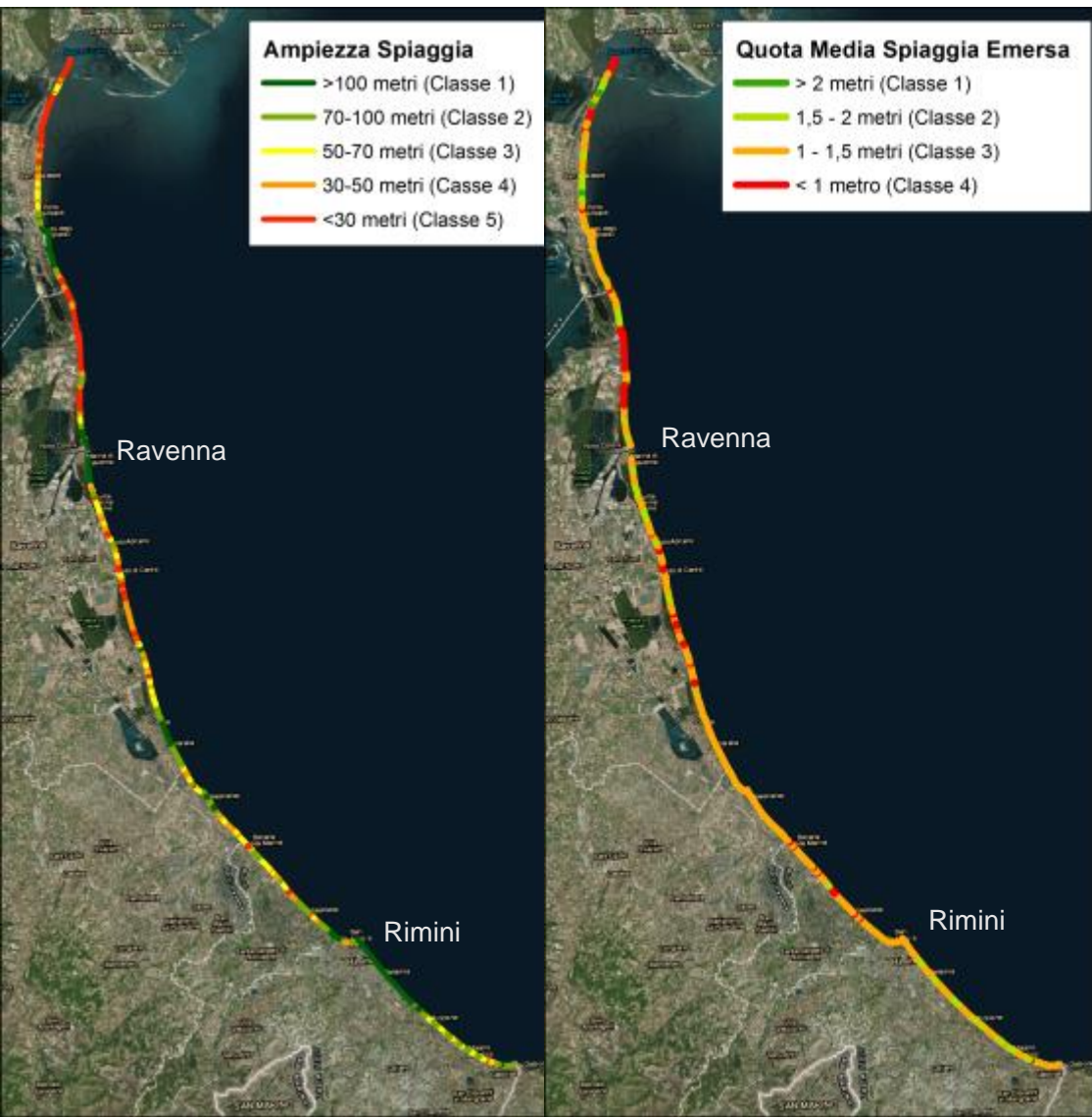


in_Risk

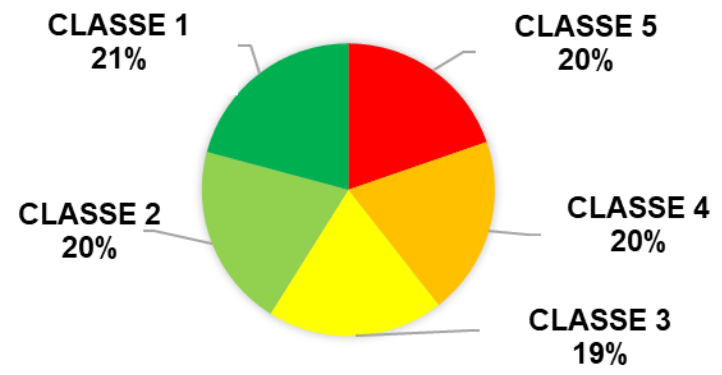
I Parametri Morfologici

PARAMETRI MORFOLOGICI

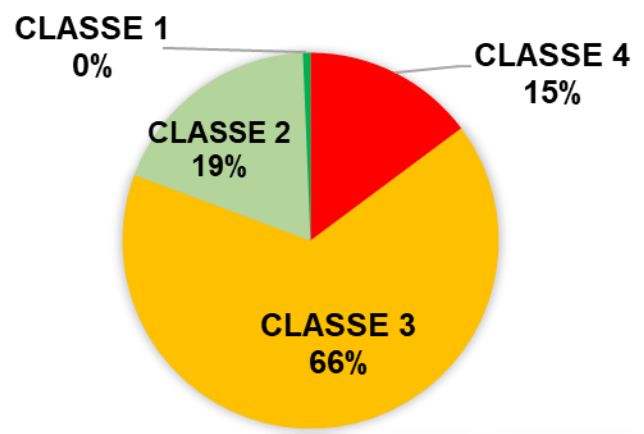
Ampiezza spiaggia libera	40%
Quota media spiaggia	40%
Pendenza spiaggia sommersa	20%



AMPIEZZA SPIAGGIA



QUOTA MEDIA SPIAGGIA



I parametri Morfologici



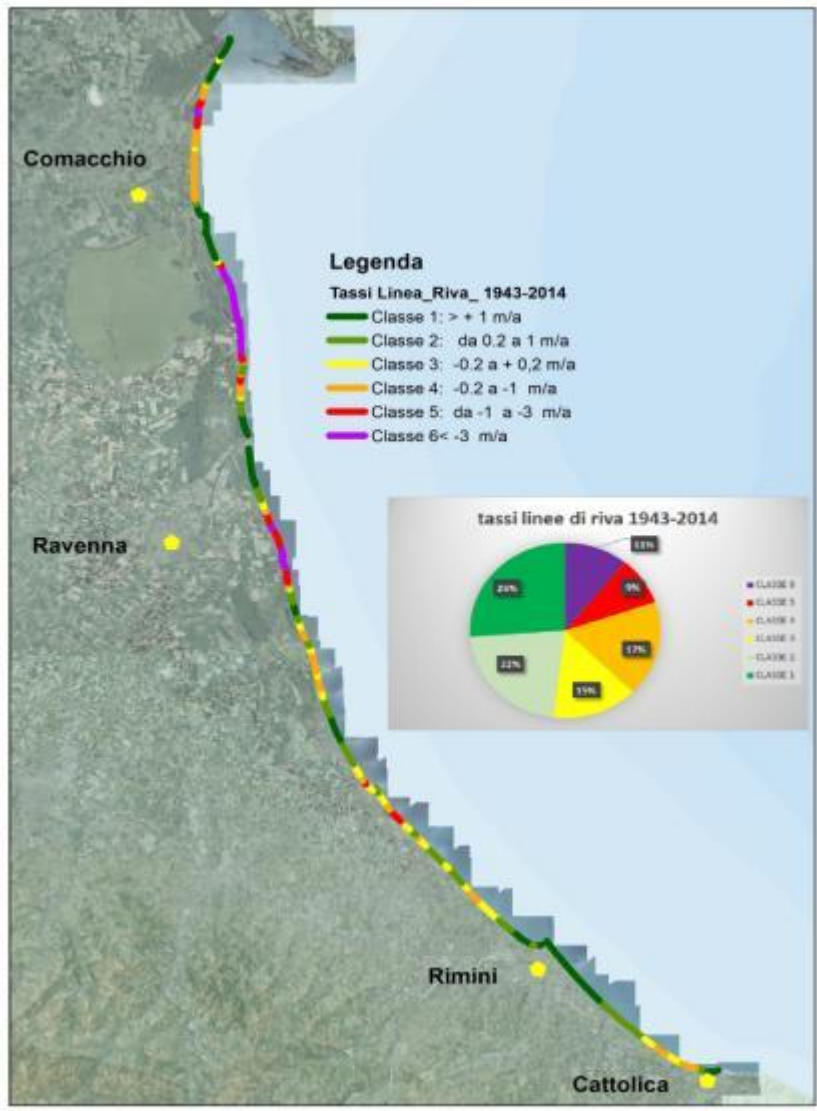
l'analisi combinata di parametri diversi consente di individuare punti particolarmente critici

Circa 16km di spiaggia presentano la combinazione più critica di spiaggia con Qm < 1 m e Ampiezza spiaggia < 50 m

Ampiezza spiaggia < 50 m e Q m < 1 m		
	lunghezza in Km	% costa provinciale
FE	4,42	19,6
RA	6,7	15,0
FC	1,02	11,7
RN	3,42	10,5



I parametri Evolutivi



PARAMETRI EVOLUTIVI

Linea di riva storica	40%
Evoluzione recente	30%
Dinamica spiaggia sommersa	20%
Tassi subsidenza	10%

Considerati diversi parametri, tuttavia il dato più rappresentativo è quello dell'evoluzione Storica delle linee di riva, che individua i tratti caratterizzati da fenomeni di **EROSIONE CRONICA** che possono essere localmente mitigati degli interventi di difesa

EVOLUZIONE LINEA RIVA STORICA 1943-2014

classe	tassi arretramento/avanzamento in metri/anno	FERRARA		RAVENNA		FORLÌ-CESENA		RIMINI	
		lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%
CLASSE 6	< - 3	1,7	7,7	10,0	22,4	0,0	0,0	0,0	0,0
CLASSE 5	da - 1 a - 3	2,4	10,8	5,3	11,9	1,8	20,2	0,3	0,8
CLASSE 4	da - 0,2 a - 1	7,3	32,6	6,2	13,9	1,8	20,2	3,8	11,5
CLASSE 3	da - 0,2 a 0,2	1,5	6,5	4,1	9,2	4,1	46,6	6,3	19,2
CLASSE 2	da 0,2 a 1	0,8	3,4	10,5	23,4	1,1	12,9	11,3	34,7
CLASSE 1	> 1	8,8	39,2	8,5	19,1	0,0	0,0	11,0	33,7
		22,5	100,0	44,6	100,0	8,7	100,0	32,6	100,0

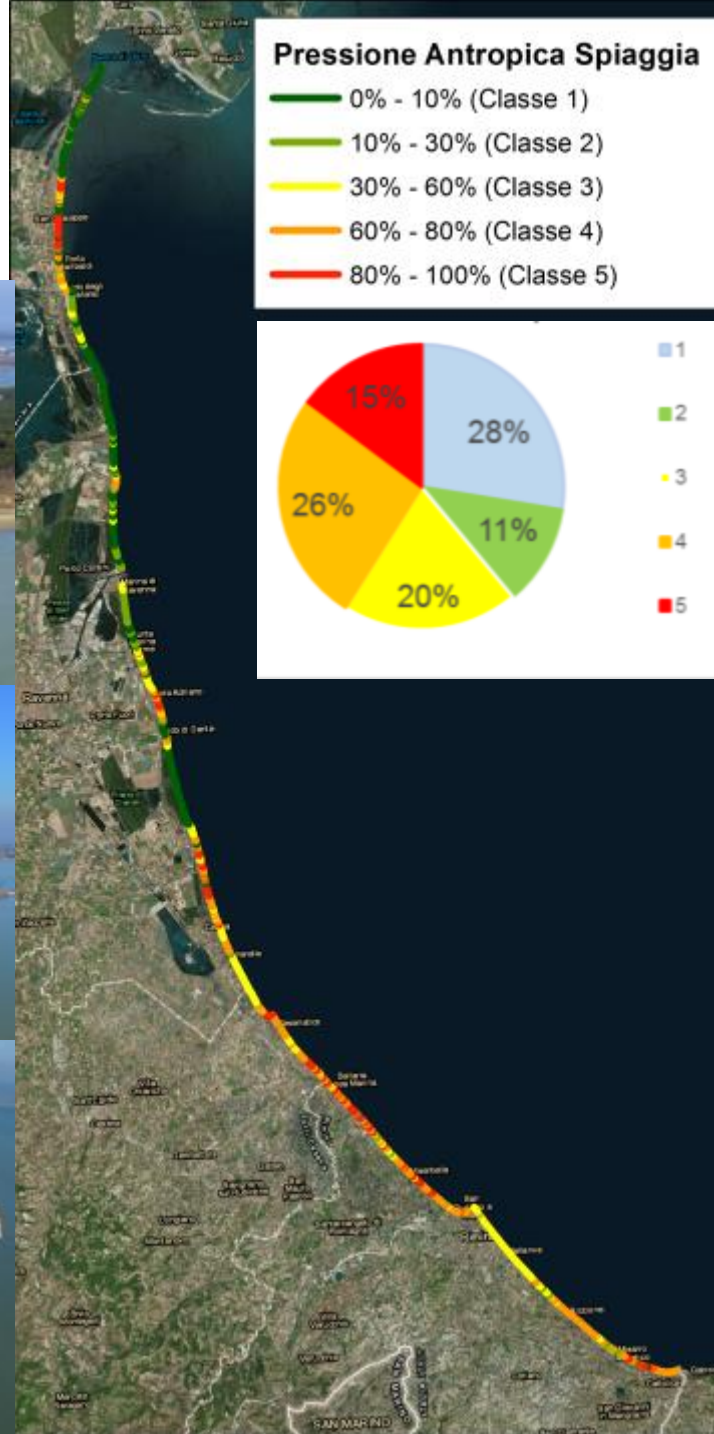


La Pressione Antropica

Calcolata lungo transetti spazati 10 metri - per una fascia di ampiezza di 300 m dalla linea di riva

La classe minore (1) rappresenta le aree naturali o con ridottissime infrastrutture antropiche

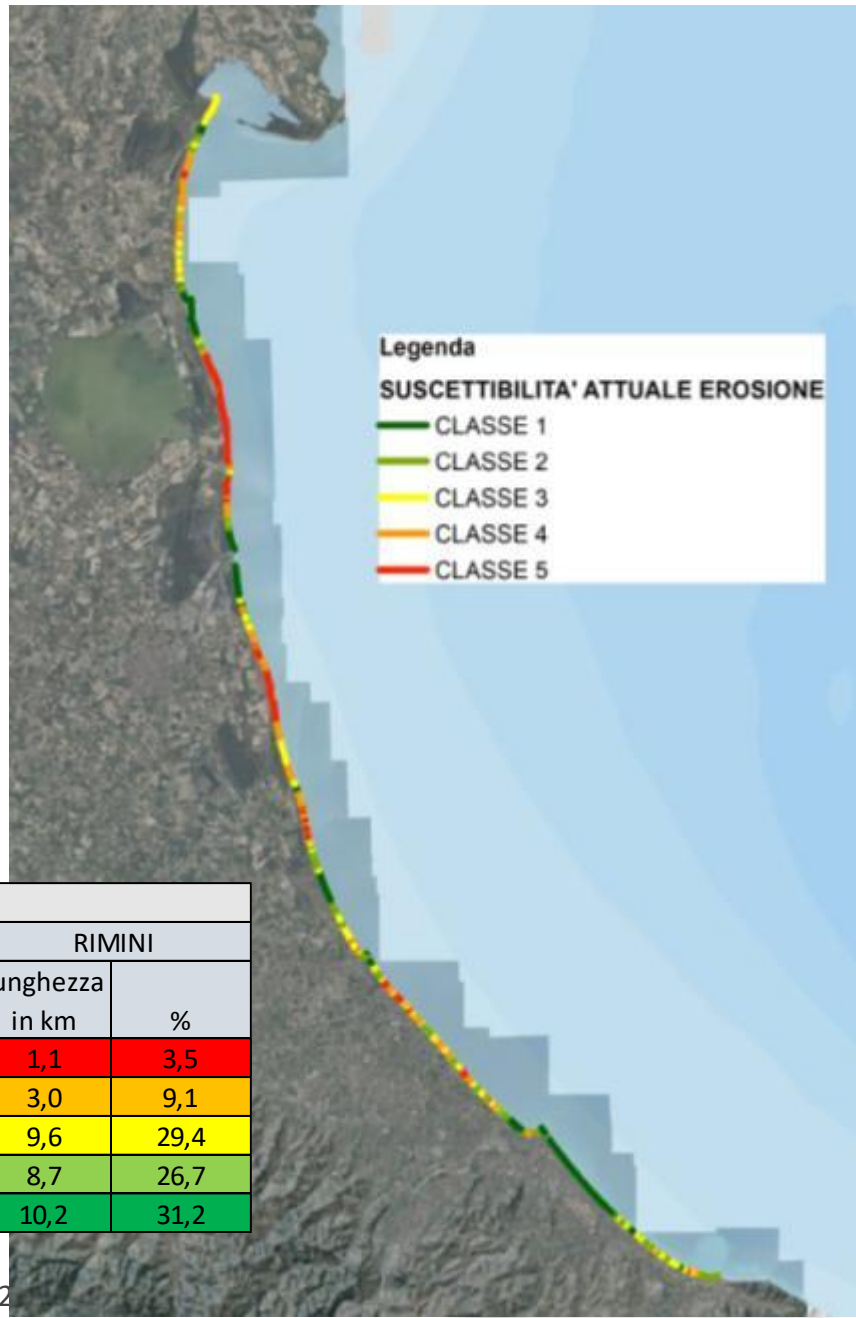
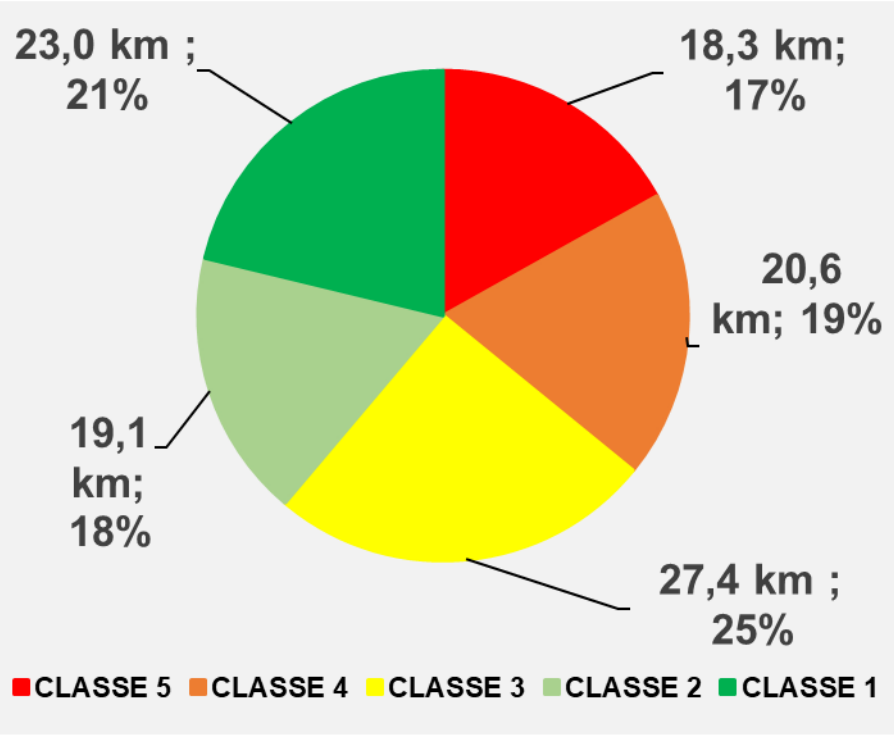
Le classi 4 e 5 rappresentano le aree dove oltre il 60% della superficie è antropizzata





Suscettibilità all'EROSIONE

in_Risk



SUSCETTIBILITA' EROSIONE PER PROVINCE									
classe	FERRARA		RAVENNA		FORLI'-CESENA		RIMINI		
	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	
CLASSE 5	1,3	5,8	14,4	32,2	1,5	17,2	1,1	3,5	
CLASSE 4	6,8	30,2	9,2	20,5	1,7	19,2	3,0	9,1	
CLASSE 3	7,1	31,6	6,8	15,4	3,9	44,5	9,6	29,4	
CLASSE 2	2,4	10,7	6,9	15,4	1,2	13,3	8,7	26,7	
CLASSE 1	4,9	21,8	7,4	16,5	0,5	5,8	10,2	31,2	

SUSCETTIBILITÀ ALL'INONDAZIONE (Si)

Si = Ind. Morfologici 80%+ Ind. Evolutivi 10%+ Pressione Antropica 10%

PARAMETRI MORFOLOGICI	
Ampiezza spiaggia libera	20%
Quota chiusura spiaggia	30%
Caratteristiche del dosso costiero	40%
Presenza di ventagli washover	10%

PARAMETRI EVOLUTIVI	
Tassi subsidenza	10%

PRESSIONE ANTROPICA	
Percentuale di antropizzazione della costa	10%

Metodologia di analisi:

- Elaborazione e classificazione dei singoli parametri
- Analisi pesata delle tre tipologie di indicatore
- Elaborazione e classificazione di **Si**

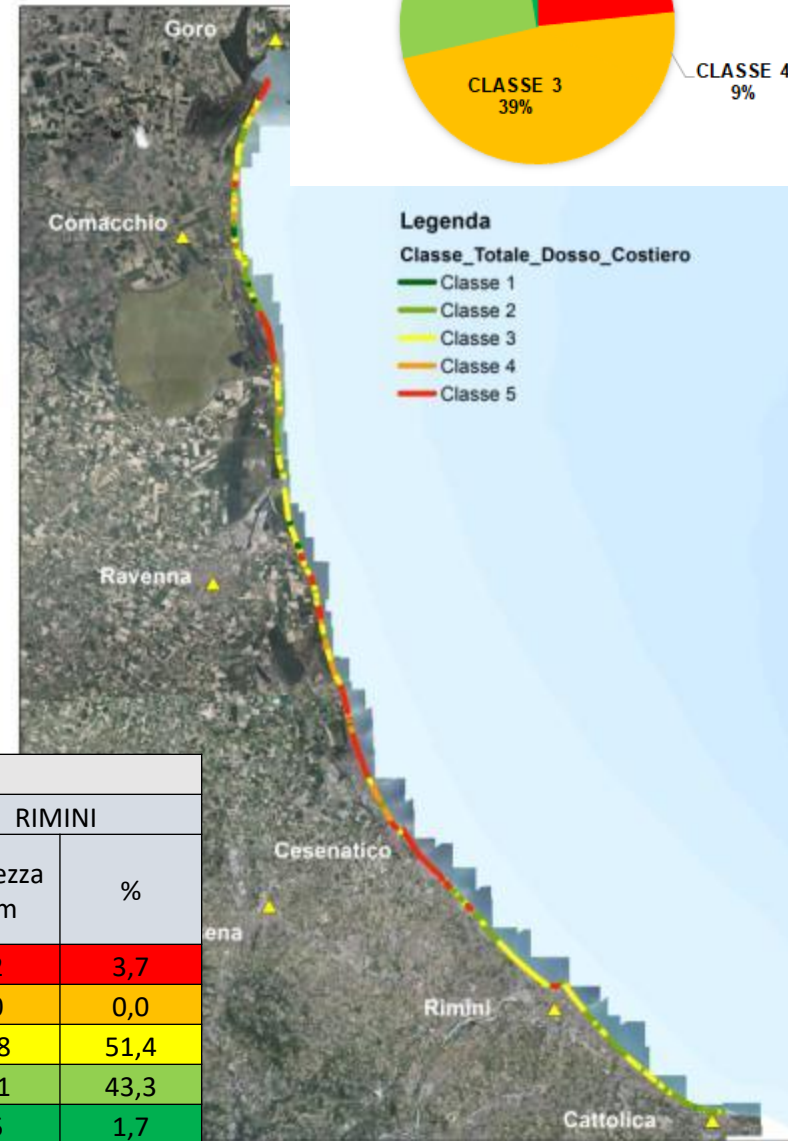
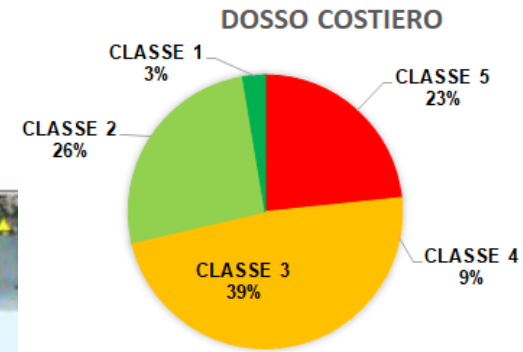


Il Dosso Costiero

Riflette le caratteristiche del retrospiaggia dal punto di vista altimetrico, considerate le quote >2 m. Include:

- la duna sia embrionale che stabilizzata
- I rilevati artificiali quali: strade, aree antropizzate e opere di difesa

Calcolati e incrociati 3 parametri del dosso:
quota media, quota massima e ampiezza



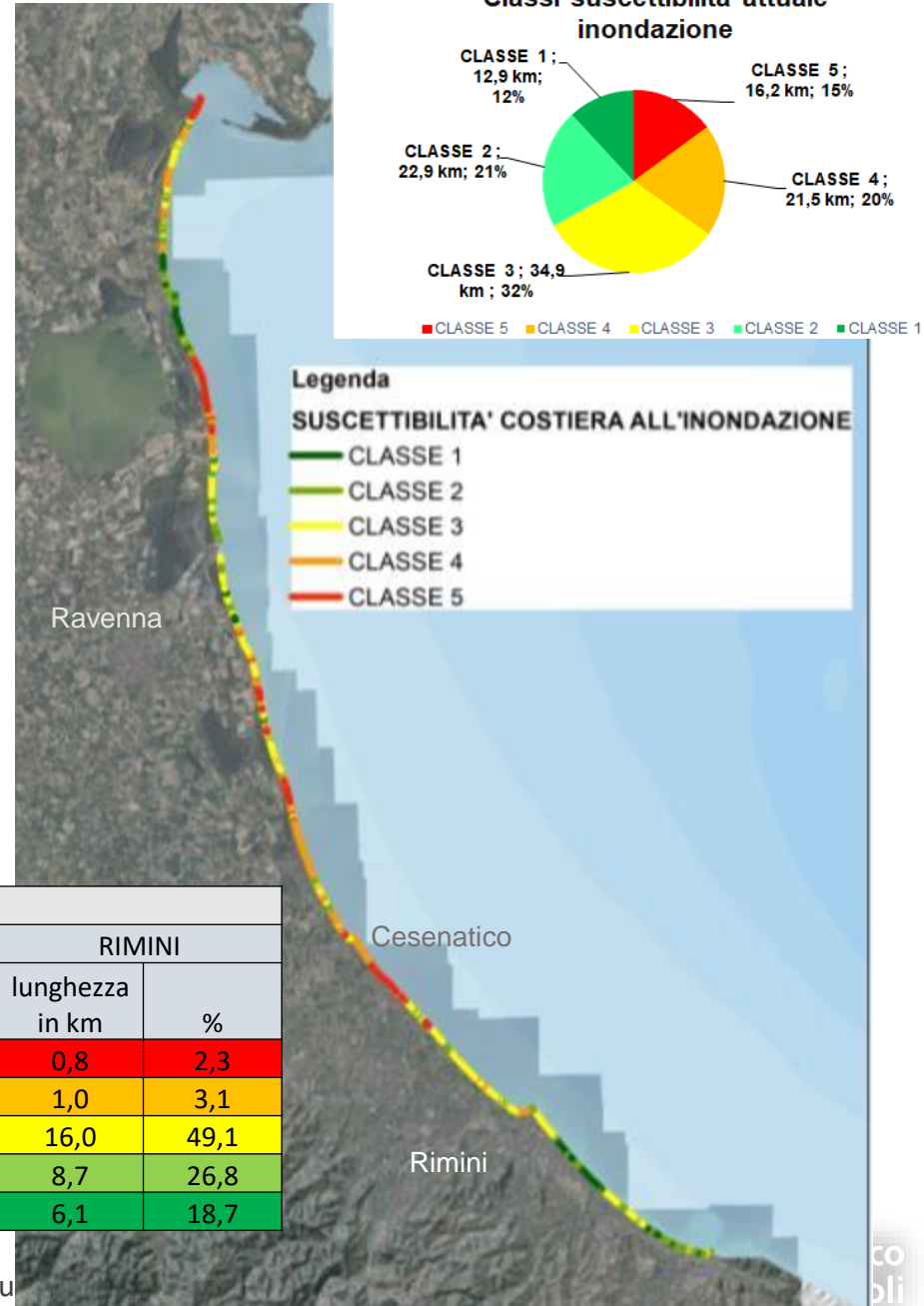
DOSSO COSTIERO

classe	FERRARA		RAVENNA		FORLÌ-CESENA		RIMINI	
	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%
CLASSE 5	3,3	14,8	14,1	31,5	6,7	77,6	1,2	3,7
CLASSE 4	1,5	6,6	7,6	17,0	1,0	11,5	0,0	0,0
CLASSE 3	9,5	42,0	14,8	33,3	1,0	11,0	16,8	51,4
CLASSE 2	6,7	29,6	7,4	16,6	0,0	0,0	14,1	43,3
CLASSE 1	1,6	7,1	0,7	1,6	0,0	0,0	0,5	1,7



Suscettibilità all'INONDAZIONE

oltre il 37% della costa presenta un'elevata propensione ai fenomeni di inondazione marina



SUSCETTIBILITA' INONDAZIONE PER PROVINCE								
classe	FERRARA		RAVENNA		FORLI'-CESENA		RIMINI	
	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%	lunghezza in km	%
CLASSE 5	2,7	12,0	8,8	19,7	4,0	45,9	0,8	2,3
CLASSE 4	4,3	19,1	12,5	28,1	3,5	40,7	1,0	3,1
CLASSE 3	4,4	19,6	13,4	30,1	1,0	11,9	16,0	49,1
CLASSE 2	6,1	27,1	8,0	18,0	0,1	1,5	8,7	26,8
CLASSE 1	5	22,2	1,9	4,2	0,0	0,0	6,1	18,7

Possibili conseguenze dei cambiamenti climatici

CAUSE

Innalzamento del livello del mare

Incremento di eventi di
'Storm Surge'

Frequenza degli eventi estremi

Riscaldamento del mare

CONSEGUENZE

Perdita di spiaggia

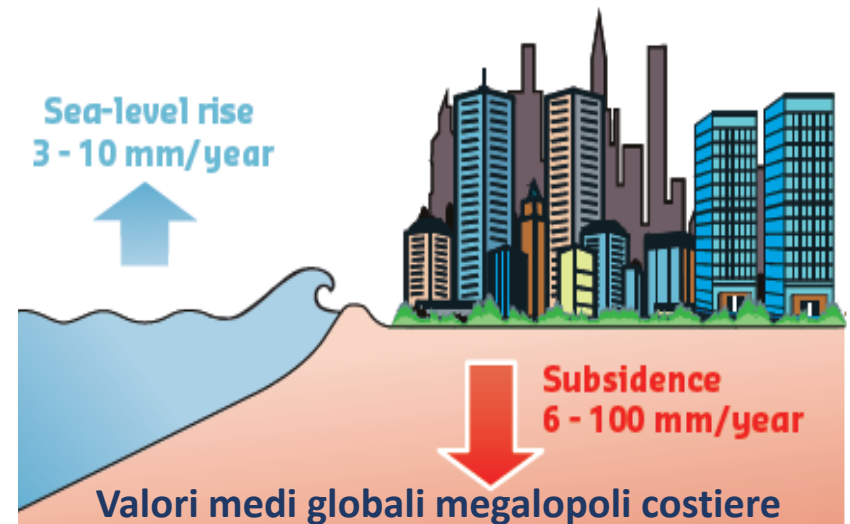
Riduzioni di aree umide e naturali

Perdita di ecosistemi marino costieri

Perdita di aree agricole

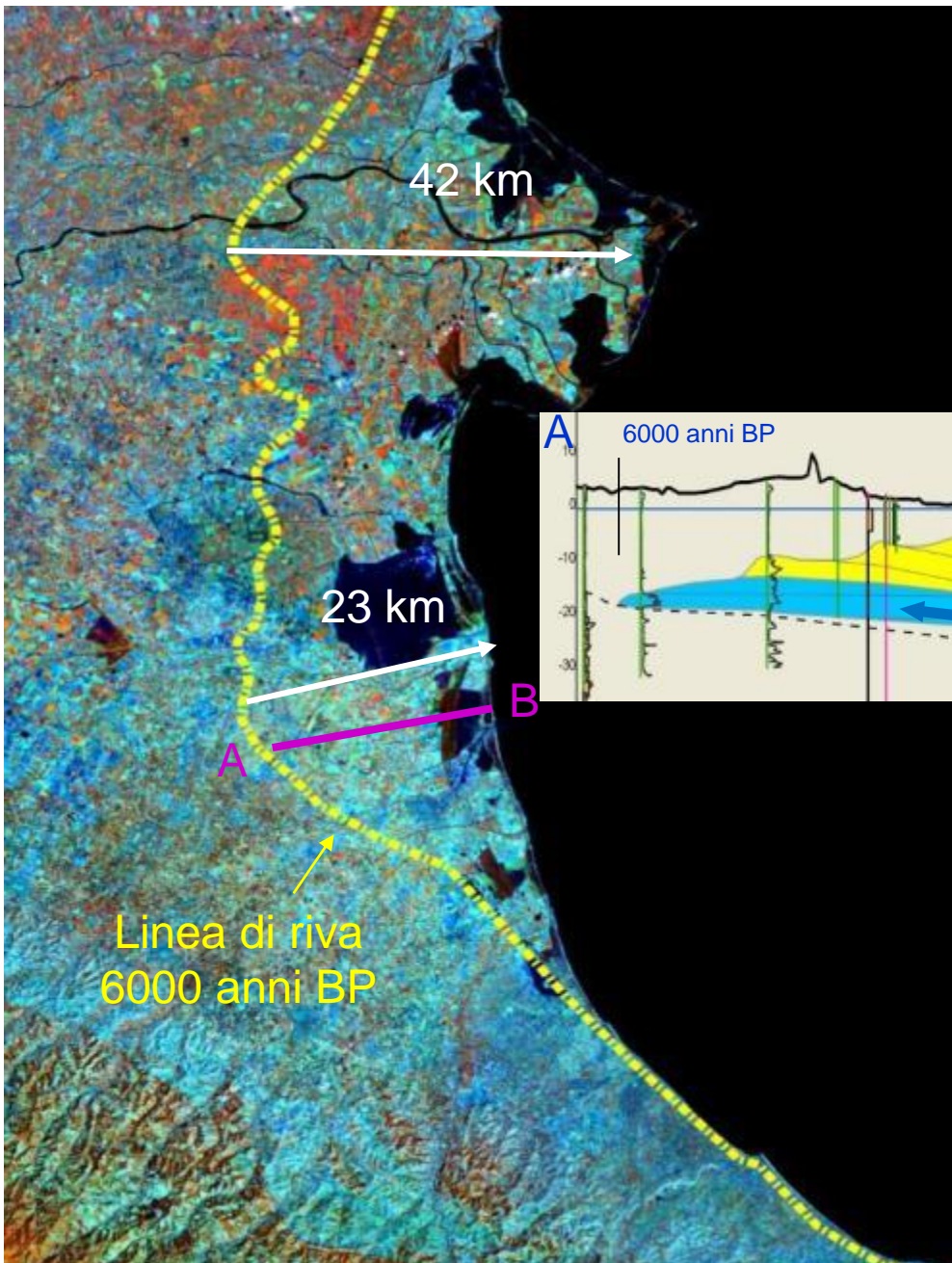
Salinizzazione degli acquiferi

Particolarmente a rischio le città costiere e soprattutto le megalopoli (Jakarta, Ho Chi Min City; Bangkok, New Orleans) dove l'impatto combinato di innalzamento del livello del mare e subsidenza (10 x s.l.r) – impatti per svariati miliardi di dollari/anno

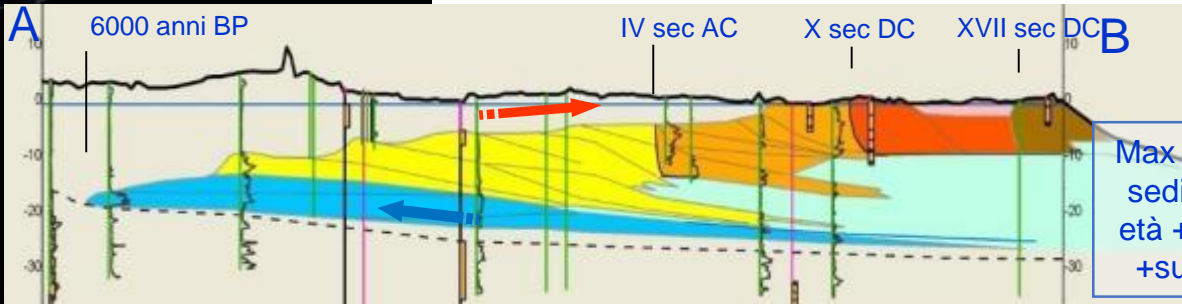
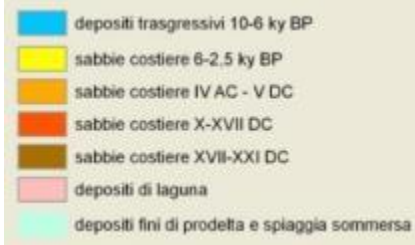


Fattori influenti sugli scenari futuri: assetto geologico

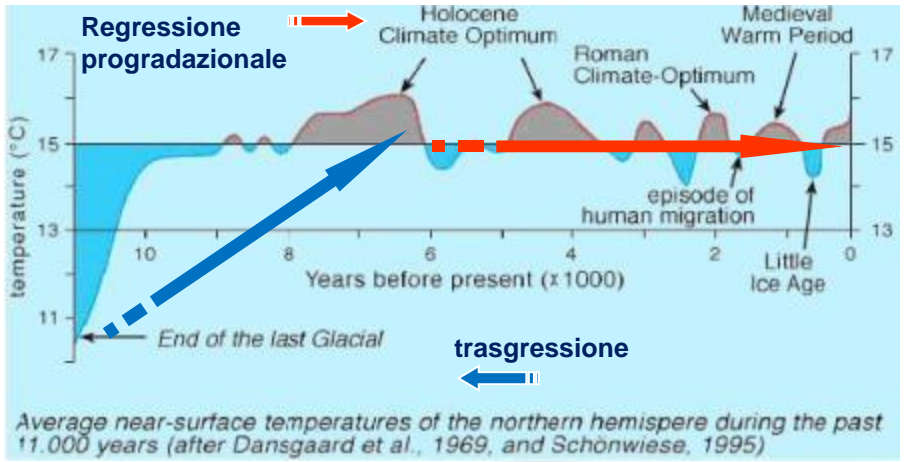
Le oscillazioni eustatiche tardo quaternarie dell'Adriatico



Avanzamento massimo 7-4 m/a



Max spessori di sedimenti finietà + recente = +subsidenza



Analisi cartografiche sugli impatti da innalzamento del livello del mare al 2100

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 17, 2271–2287, 2017
<https://doi.org/10.5194/nhess-17-2271-2017>
© Author(s) 2017. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 License.



Analizzati, tramite elaborazioni GIS, gli **effetti combinati di innalzamento del livello del mare e subsidenza al 2100**, valutando:

Sea-level rise along the Emilia-Romagna coast (Northern Italy) in 2100: scenarios and impacts

Luisa Perini¹, Lorenzo Calabrese¹, Paolo Luciani¹, Marco Olivieri², Gaia Galassi³, and Giorgio Spada³

¹Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, Bologna, Italy

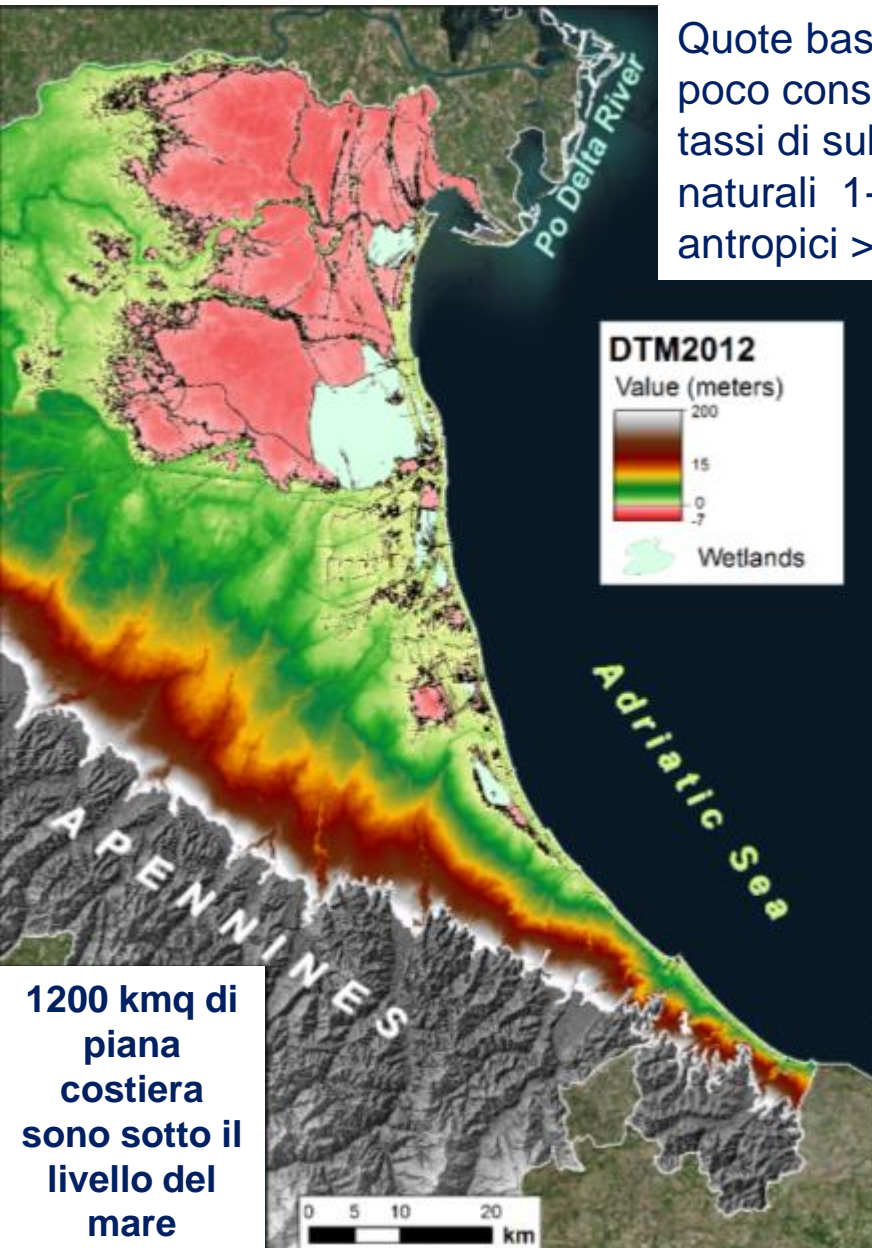
²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna, Bologna, Italy

³Dipartimento di Scienze Pure e Applicate (DiSPeA), Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, Urbino, Italy

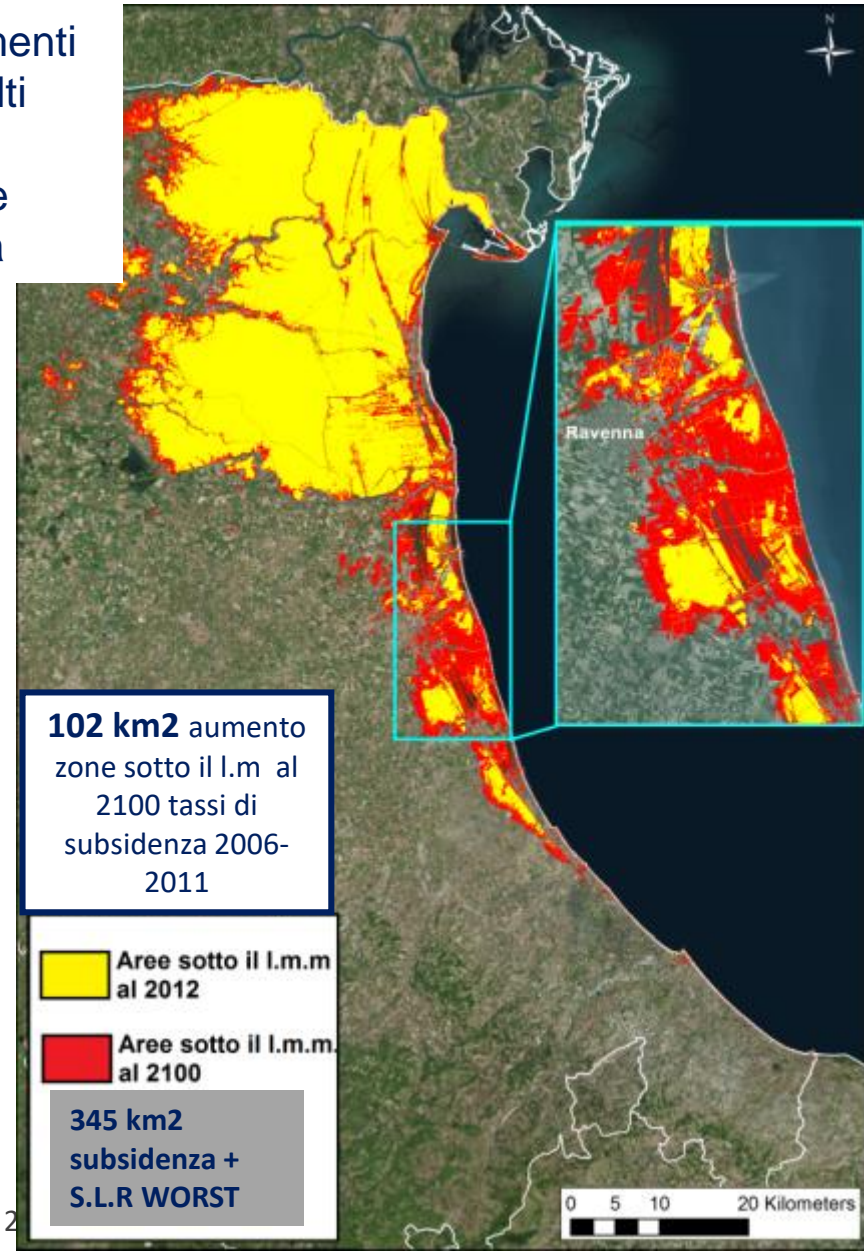
Correspondence: Giorgio Spada (giorgio.spada@gmail.com)

1. La perdita di territorio con quote sopra il livello del mare (1)
2. L'aumento delle aree potenzialmente inondabili al 2100 per uno scenario di evento di mareggiata $Tr=100$ anni, ovvero scenario P2 della direttiva alluvioni

La perdita di territorio con quote sopra il livello del mare (1)



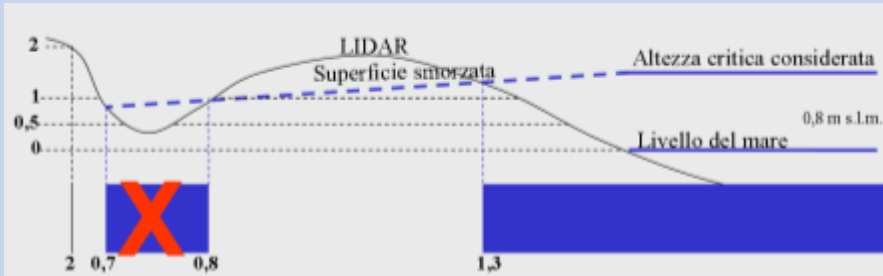
Quote basse, sedimenti poco consolidati - alti tassi di subsidenza naturali 1-5 mm/a e antropici > 15 mm/a



Metodologia caso 2

Elaborato un Modello digitale del terreno al 2100: DTM 2012 + DVMM

Applicalo il **Modello in_coastFlood**



Utilizzati gli **Scenari di livello del mare**

$$S_{\text{tot(W\&B)}} = S_{\text{W\&B}} + S_{\text{st}}$$

$S_{\text{W\&B}}$ = proiezioni IPCC ARS5

s.l.r. dati **IPCC -ARS5** –downscaling E-R
Mareggiate scenario P2 Dir- Alluv. (Tr100a)

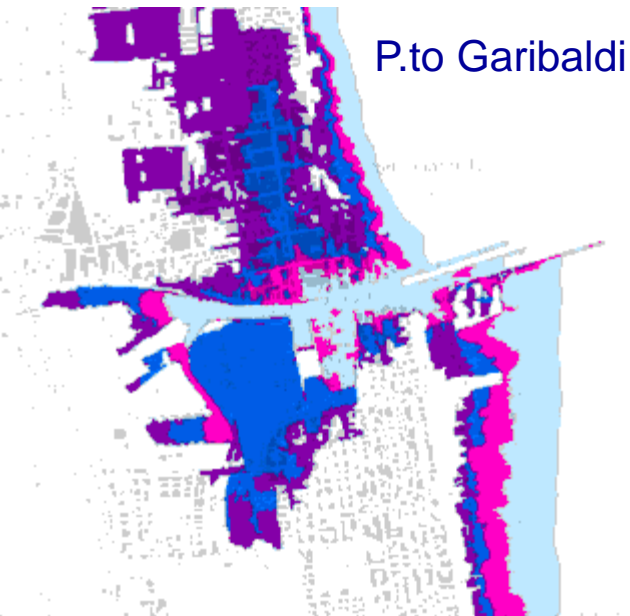
S_{st} = surge+astronomical tide+wave set up

$Stot_B$	$0.23 + 1,81 = \mathbf{2,04 \text{ m}}$
$Stot_w$	$0.55 + 1,81 = \mathbf{2,36 \text{ m}}$

Ipotesi e **limiti** di lavoro

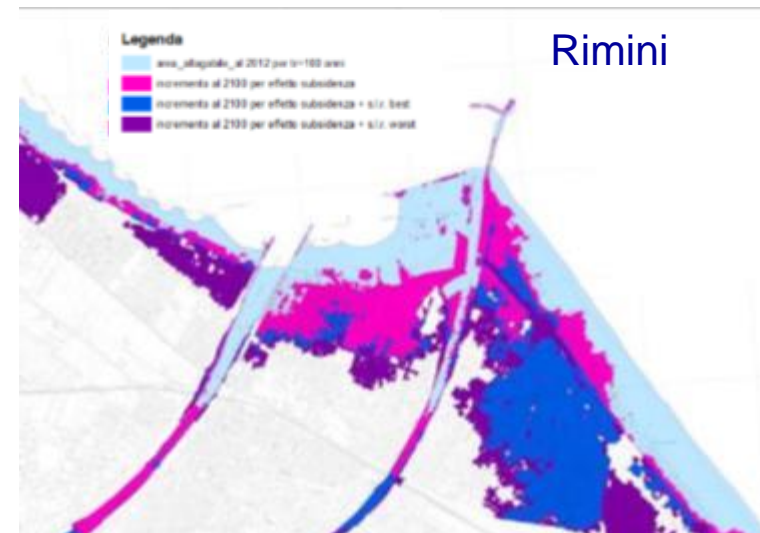
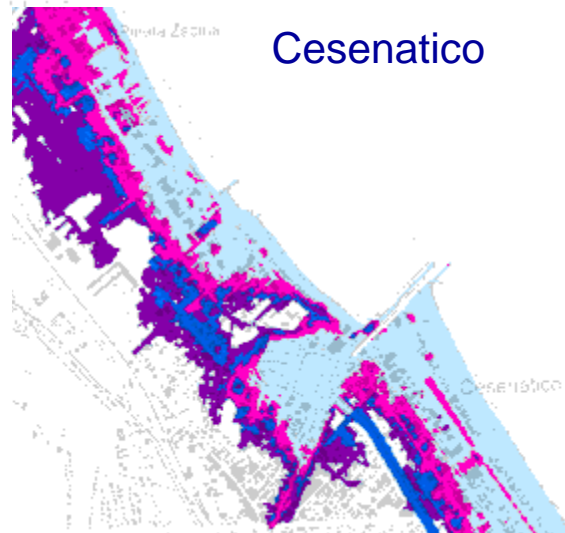
- non considerate le future variazioni dei parametri meteomarini (Hs e surge).
- opere di difesa e dune inalterate; per esse è stata ipotizzata solo una perdita di quota dovuta agli attuali tassi di subsidenza – ipotesi no intervento
- non simulati i processi morfo-dinamici
- valori in gioco costanti da ora al 2100 – esempio i tassi di subsidenza

Prodotti: cartografia delle aree allagabili al 2100



Incremento DELLE AREE ALLAGABILI per effetto combinato di mareggiata e

- subsidenza
- subsidenza + innalzamento l.m (best)
- subsidenza + innalzamento l.m (best)



Risultati

caso 2: mareggiata + s.l.r + subsidenza al 2100

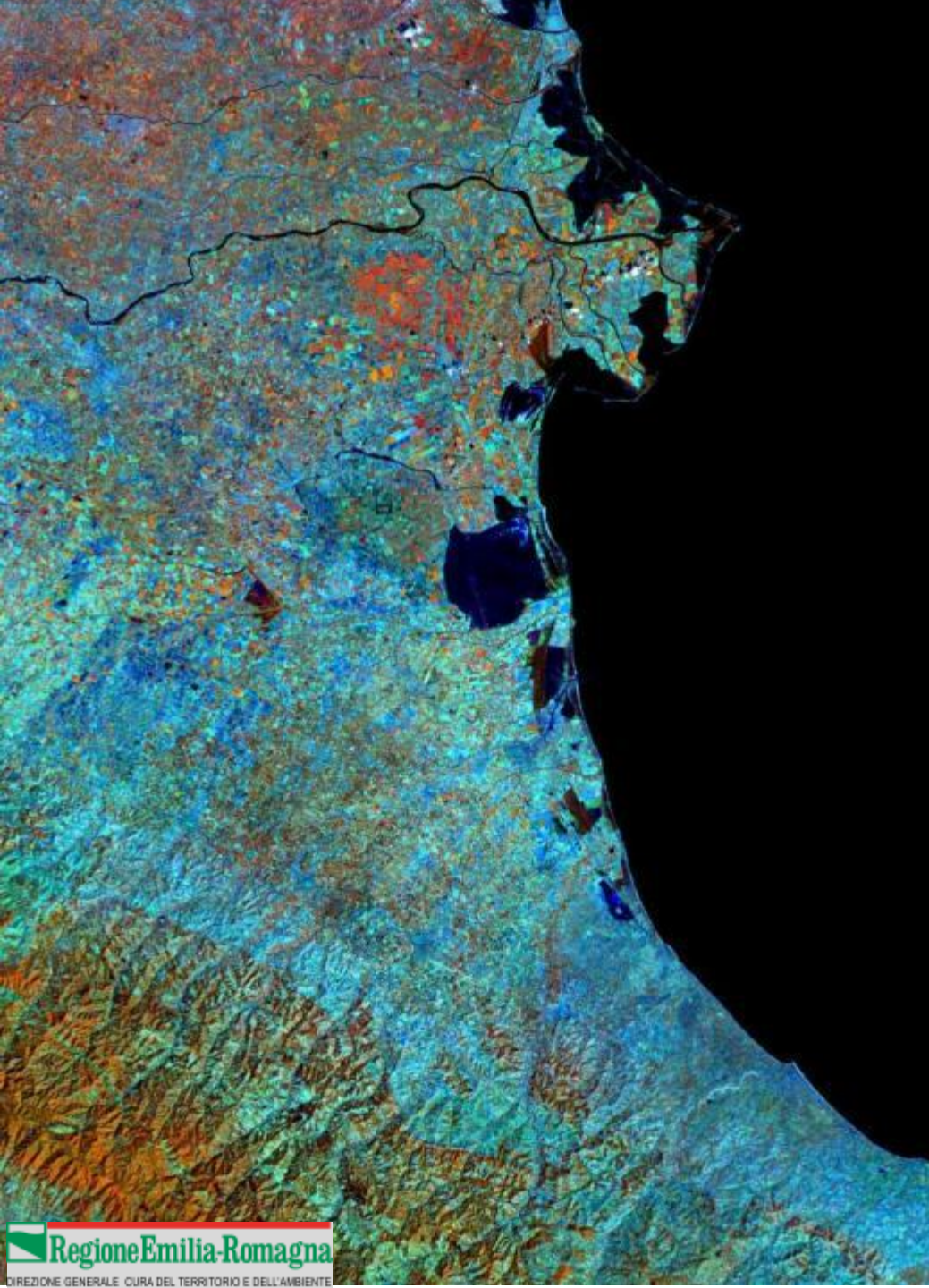
–

Superfici allagabili totali per scenari di inondazione da mareggiata con Tr= 100 anni – poco frequenti

cartografia	Superficie regionale coinvolta	% incremento rispetto al 2012
Aree allagabili al 2012	29 km ²	
Mappe al 2100: solo contributo subsidenza - scenario mareggiata Tr 100 anni (P2)	59 km ²	+ 95%
Mappe al 2100: scenario subsidenza +slr 'Best'+ Tr 100 anni (P2)	72 km ²	+ 133%
Mappe al 2100: scenario subsidenza +slr 'worst'+ Tr 100 anni (P2)	105 km ²	+ 236%

Il massimo aumento del rischio di inondazione è atteso nelle zone centrali: **ravennate e cesenate**, anche perché sono ampie le aree con quote prossime al livello del mare

Utilizzati i tassi di **subsidenza** (dati 2006-2011) producono un incremento delle aree vulnerabili del **doppio rispetto ad oggi**; per lo **scenario 'worst'** l'aumento sarebbe invece di **3.5 volte**



Grazie per l'Attenzione

luisa.perini@regione.emilia-romagna.it

SegrGeol@Regione.Emilia-Romagna.it