



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



Dipartimento
di matematica
informatica
e geoscienze



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Le coste e la laguna nel clima che cambia - evidenze in FVG

Giorgio Fontolan

**Il Friuli Venezia Giulia nel clima che cambia:
eventi, evidenze, misure**

Venerdì
1 dicembre 2023

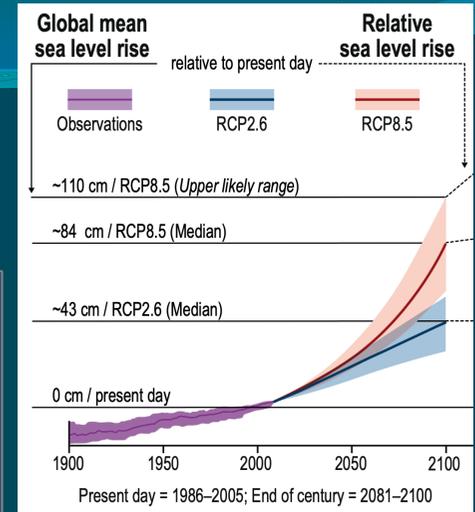
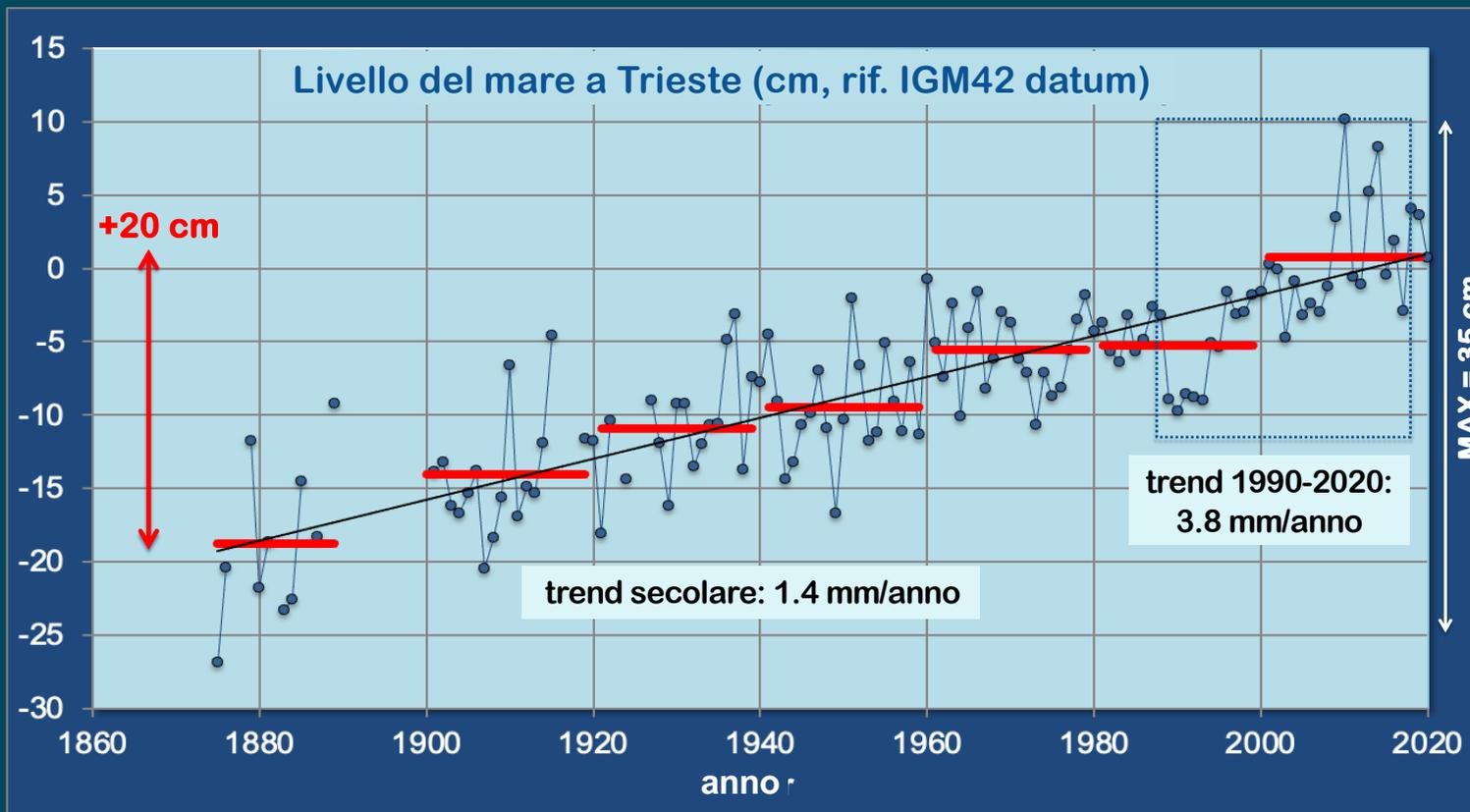
Hotel Savoia Excelsior Palace,
Riva del Mandracchio, 4 - Trieste

Quali criticità ?



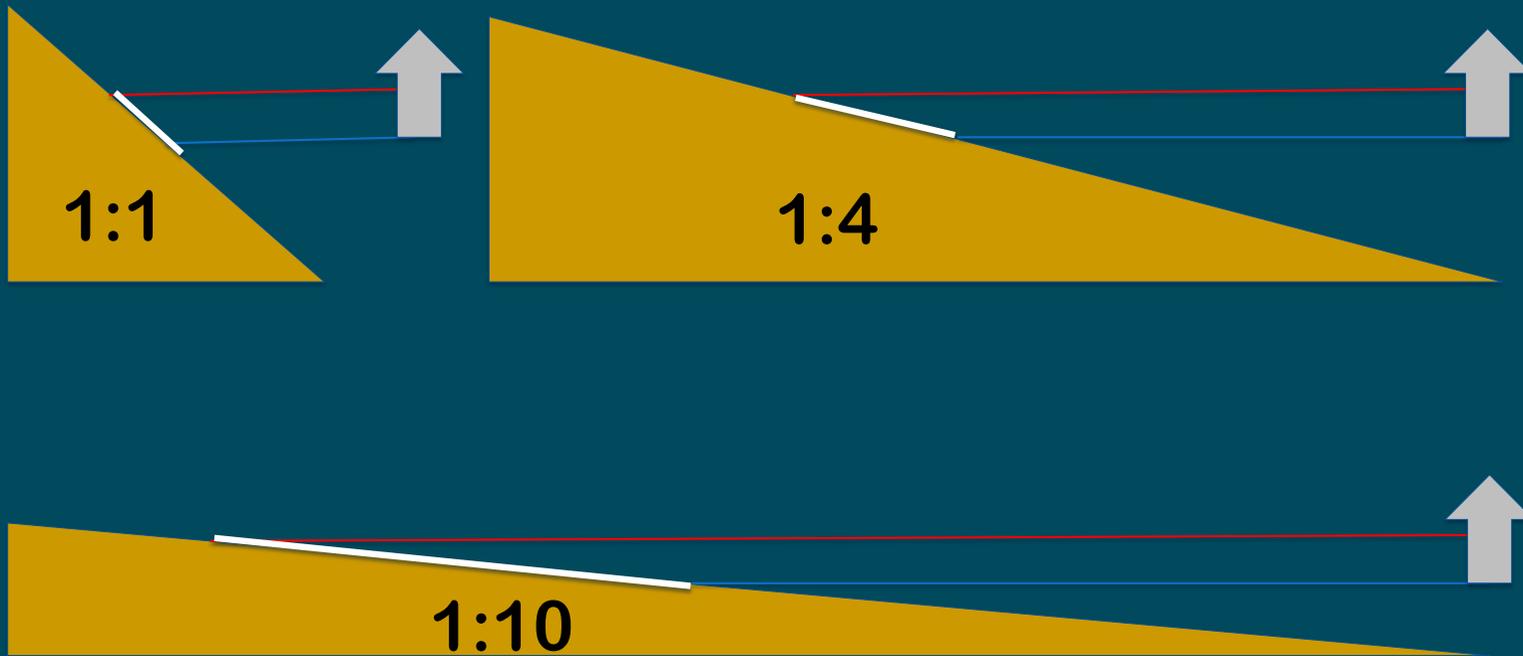
IL LIVELLO DEL MARE

il segnale locale

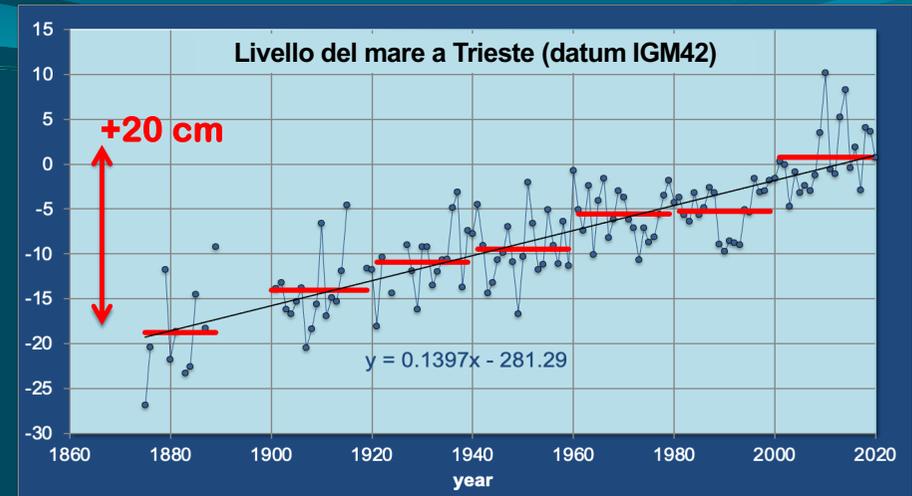


il segnale globale e le proiezioni

Per una spiaggia è questione di geometria.....



Di quanto arretra una spiaggia se il mare si alza di 20 cm ?



1:10 → arretramento: 2 m

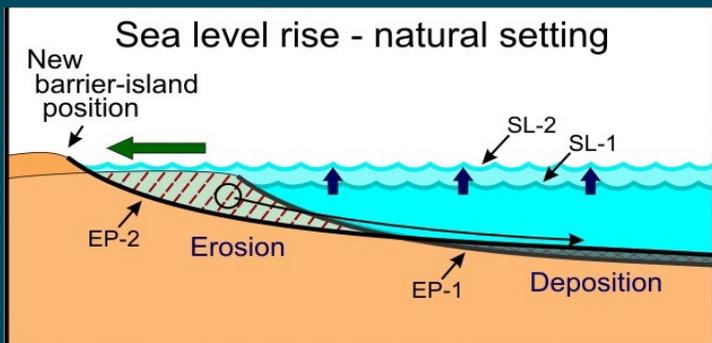
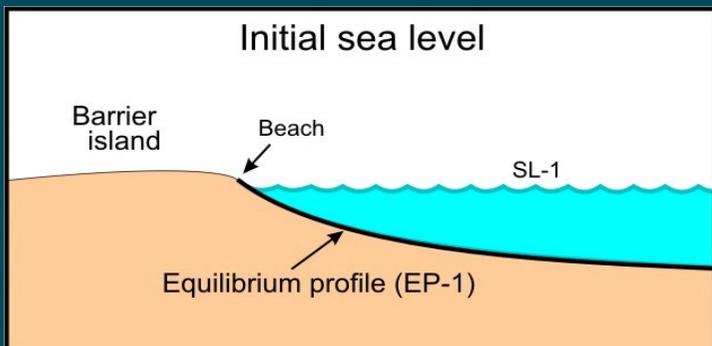
1:100 → arretramento: 20 m

1:1000 → arretramento: 200 m



In un sistema naturale:

l'arretramento della costa porta alla traslazione delle morfologie;
le nuove forme raggiungono l'equilibrio senza creare scompensi di nessun tipo



In un sistema antropizzato:

la presenza di insediamenti urbani, industriali e centri balneari irrigidisce la posizione della linea di costa.



L'erosione aumenta il rischio per i beni dell'uomo, che per difendersi cerca di contrastare i dinamismi naturali

A livello nazionale, così come anche a scala globale, è in atto una generalizzata tendenza erosiva dei litorali, legata sia a cause naturali che antropiche

Naturali

- innalzamento del livello del mare
- subsidenza (abbassamento del suolo per naturale carico litostatico)
- mareggiate, esondazioni fluviali

Antropiche

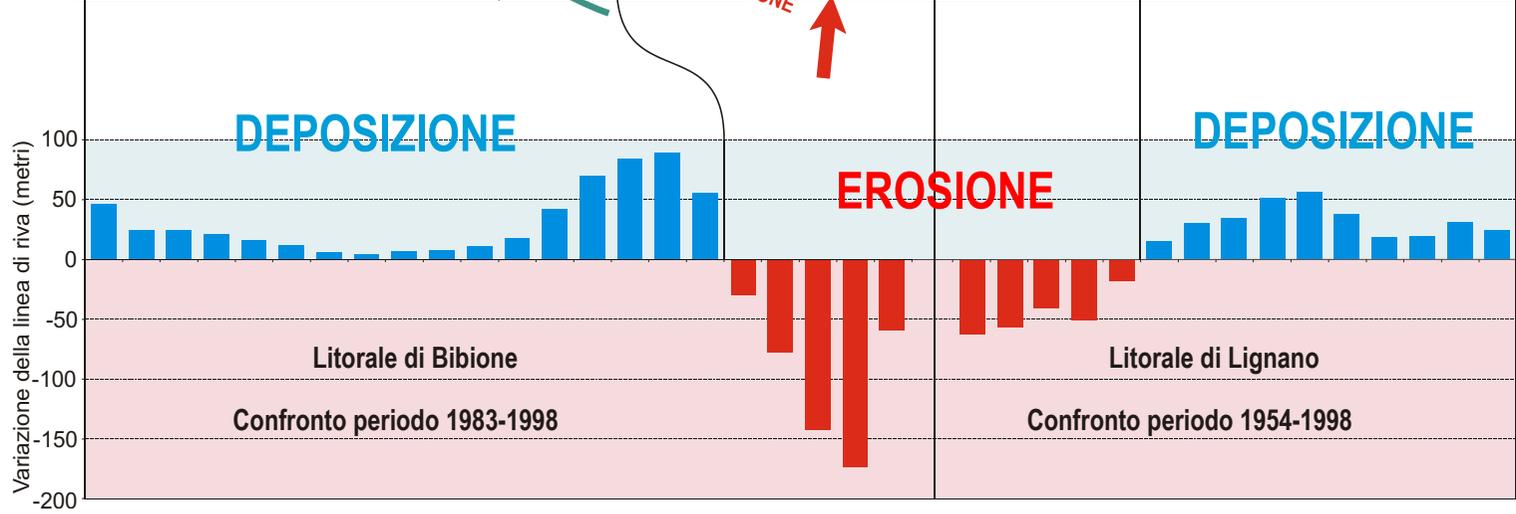
- urbanizzazione della fascia costiera, strutture rigide di difesa
- riduzione del carico solido dei fiumi (regimentazione dei corsi d'acqua, dighe, cave in alveo, derivazioni irrigue)
- subsidenza (per estrazione di fluidi e gas)
- spianamenti, estrazione di sabbia sulla spiaggia, escavazioni

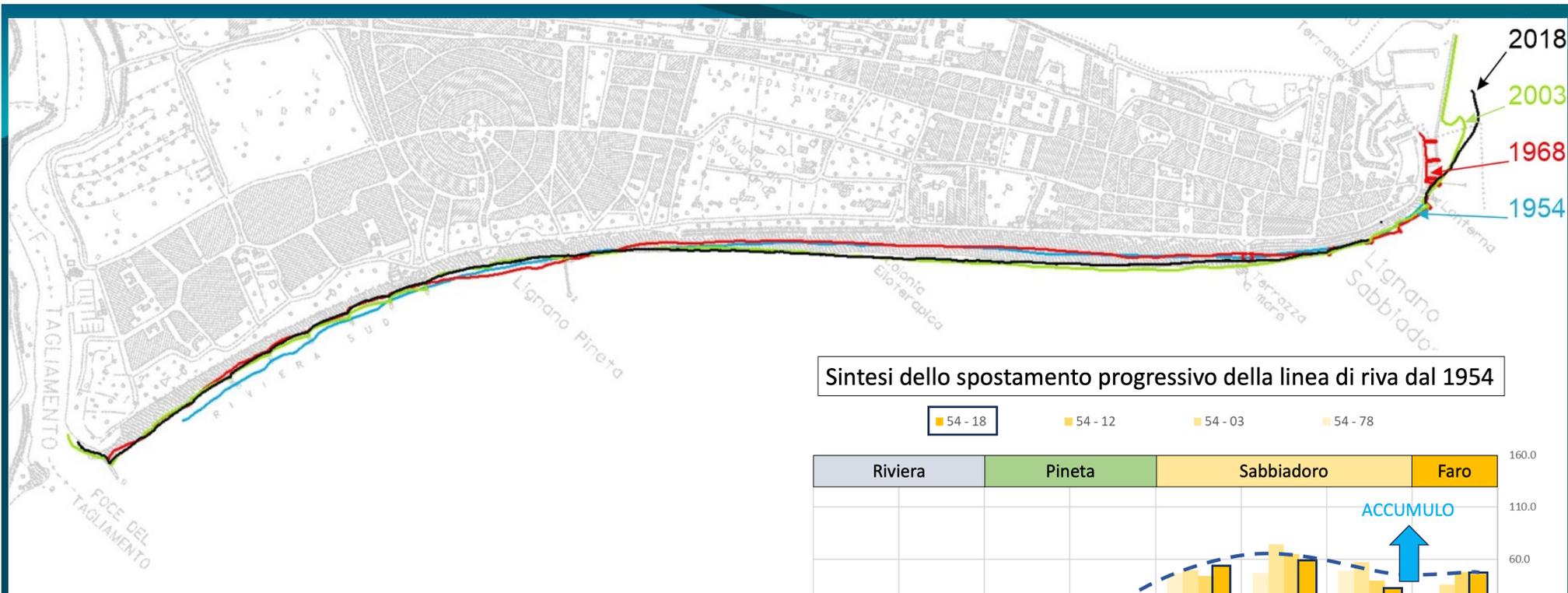


La crisi degli apporti solidi dei fiumi:

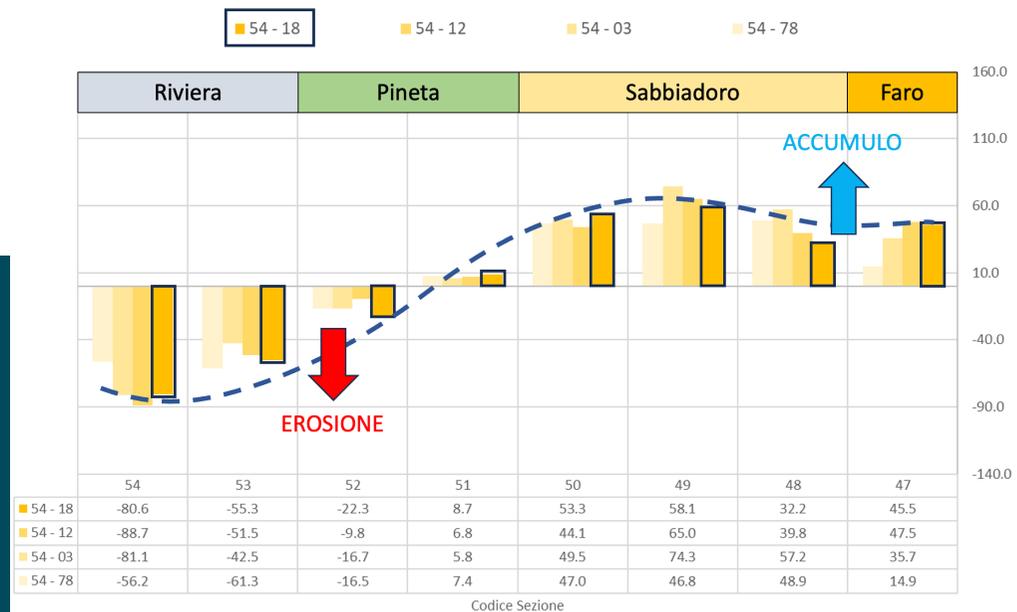
LA FOCE DEL TAGLIAMENTO







Sintesi dello spostamento progressivo della linea di riva dal 1954



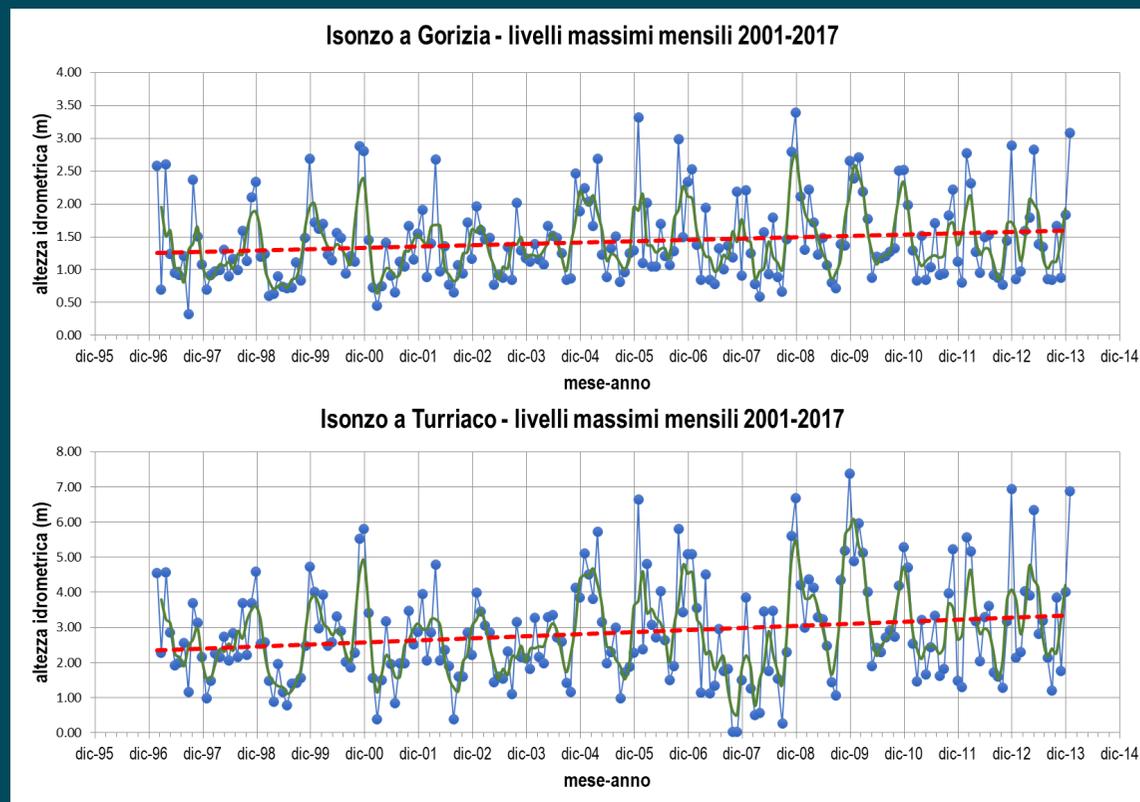
LIGNANO: un sistema in delicato autoequilibrio

IL SISTEMA ISONTINO E GRADO



Trend idrometrico – Fiume Isonzo (una controtendenza?)

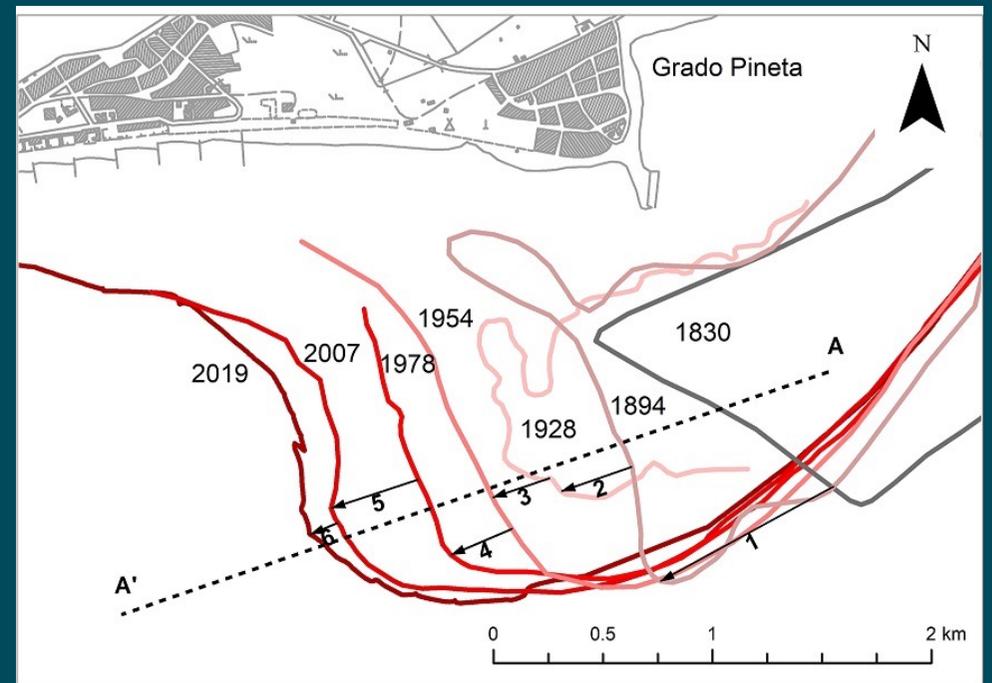
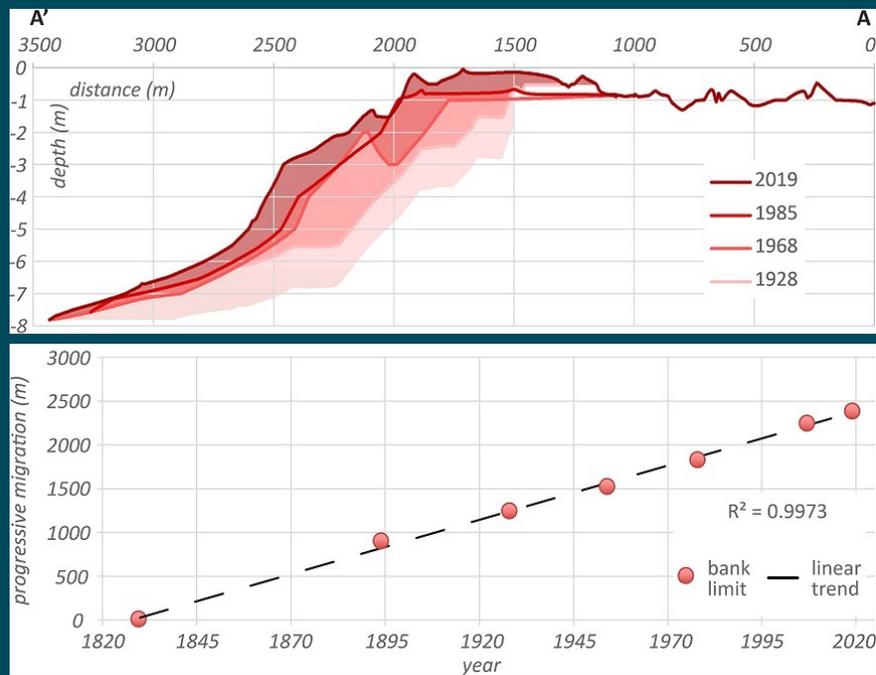
- La portata media annua alla foce è di 196,8 m³/s (da 43,1 a 665,9 m³/s)
- Aree del bacino di drenaggio ad elevata piovosità (2700–3200mm/a) →
→ più trasporto solido
- Attività antropica (dighe fluviali, dragaggi, etc) → meno trasporto solido



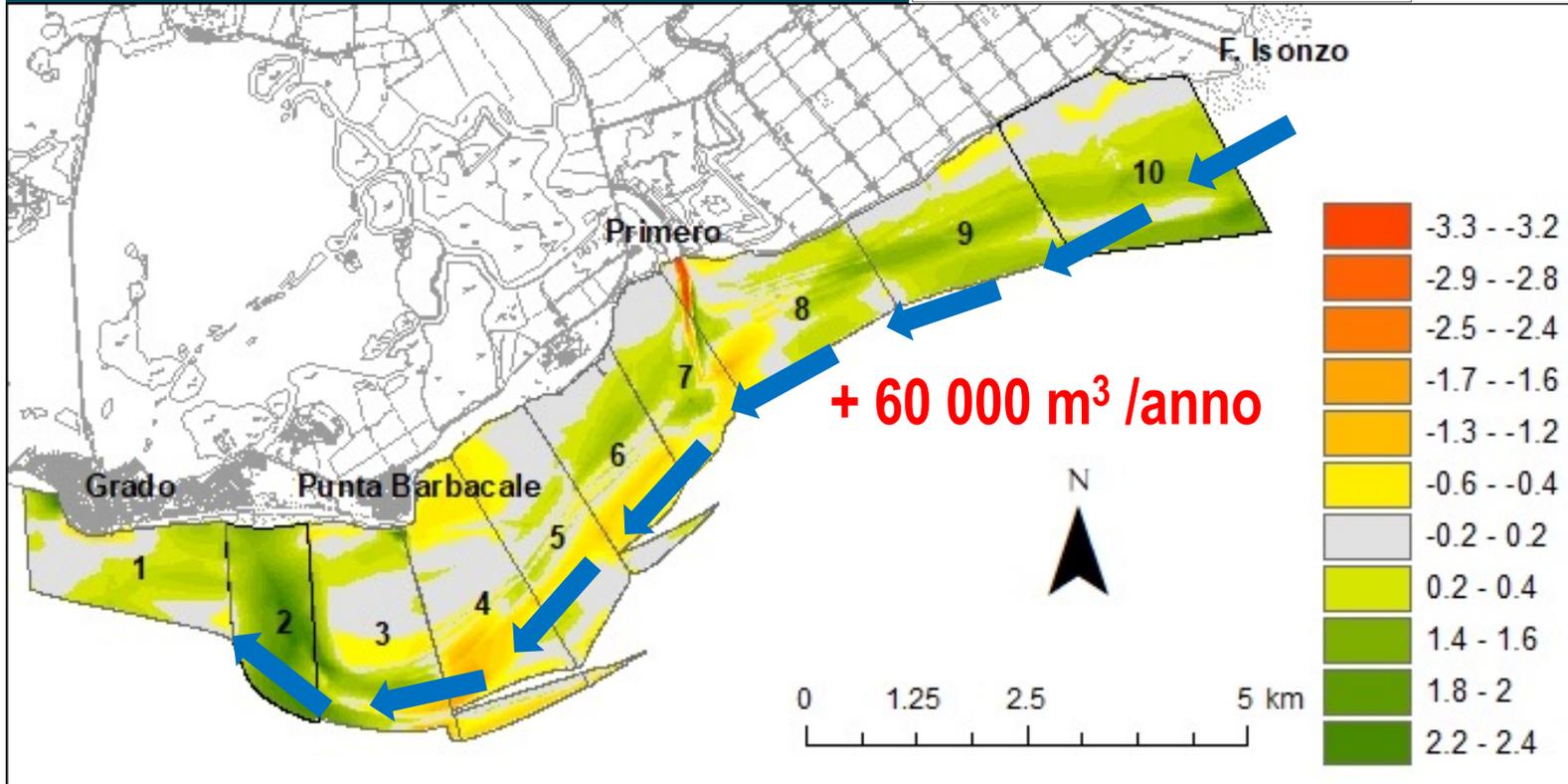
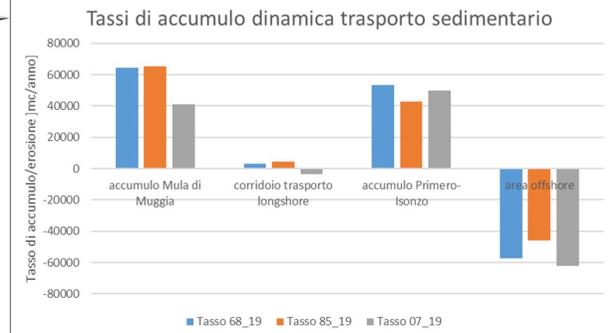
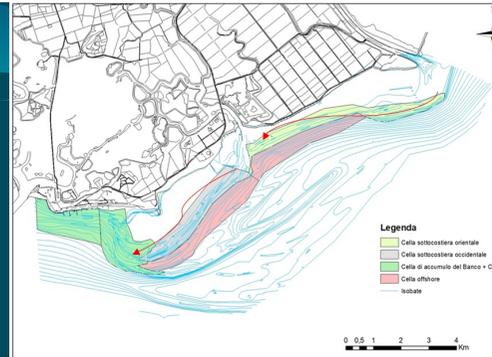
Migrazione del Banco della Mula di Muggia

Migrazione verso ovest negli ultimi 200 anni → verso la spiaggia turistica

Velocità costante nel tempo di $\approx 12,6$ m/anno



Il bilancio sedimentario

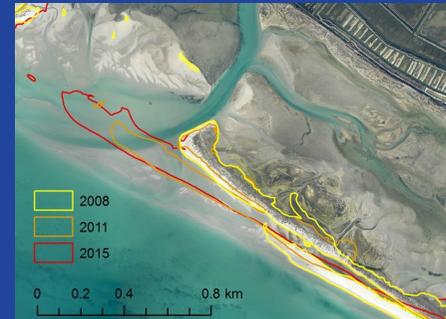
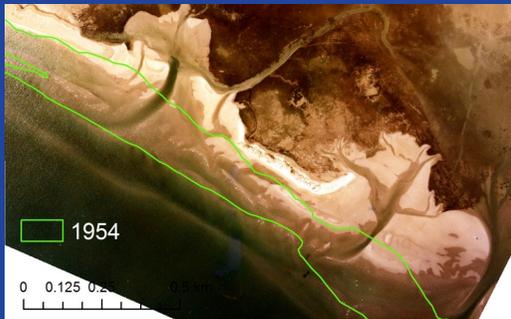


+ 3 milioni di m³ in 50 anni



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

MAPPATURA MORFO-SEDIMENTOLOGICA DELLA COSTA REGIONALE



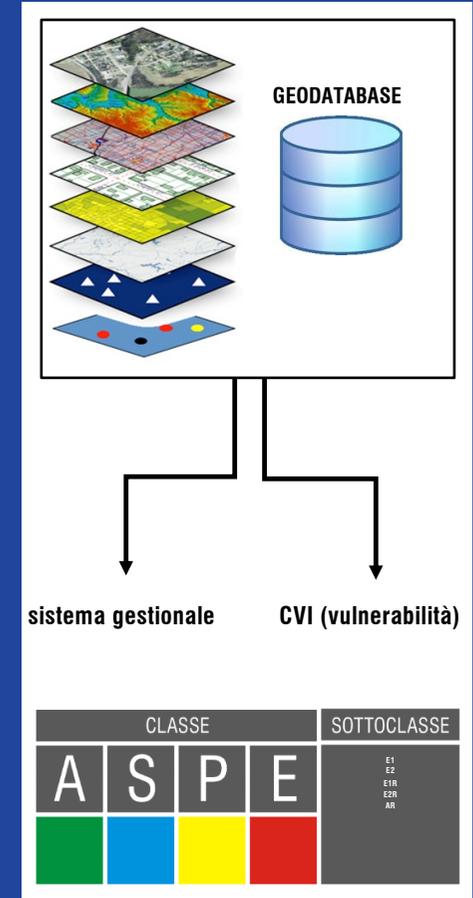
Accordo attuativo di collaborazione
per lo studio e monitoraggio morfo-sedimentologico dello stato dei litorali della Regione Friuli Venezia Giulia finalizzato alla
gestione integrata della zona costiera in applicazione alla Convenzione Quadro tra la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e
l'Università degli Studi di Trieste (DGR 264/2014)

REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA
DIREZIONE CENTRALE DIFESA DELL'AMBIENTE,
ENERGIA E SVILUPPO SOSTENIBILE

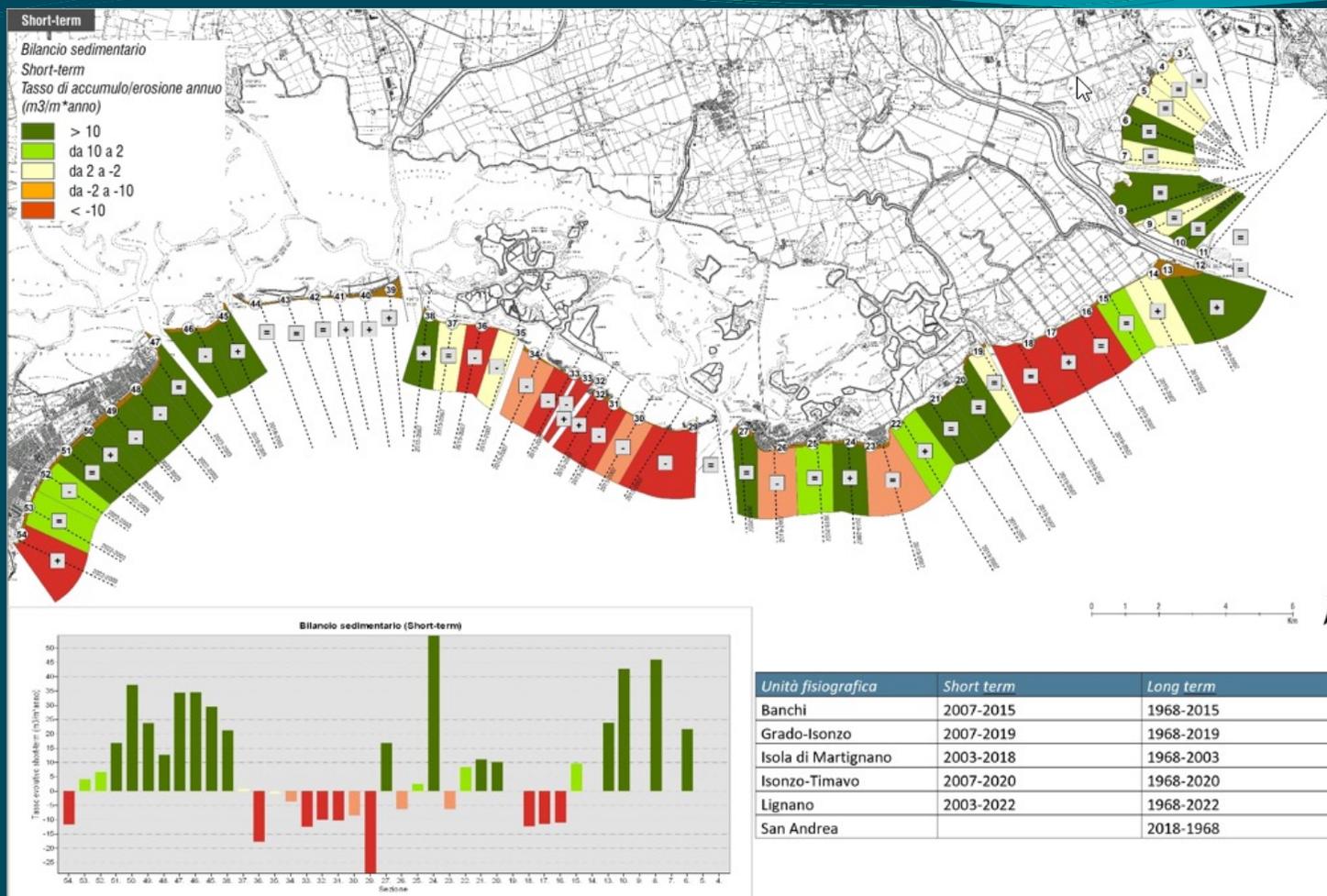


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

DiMige Dipartimento
di matematica
informatica
e geoscienze



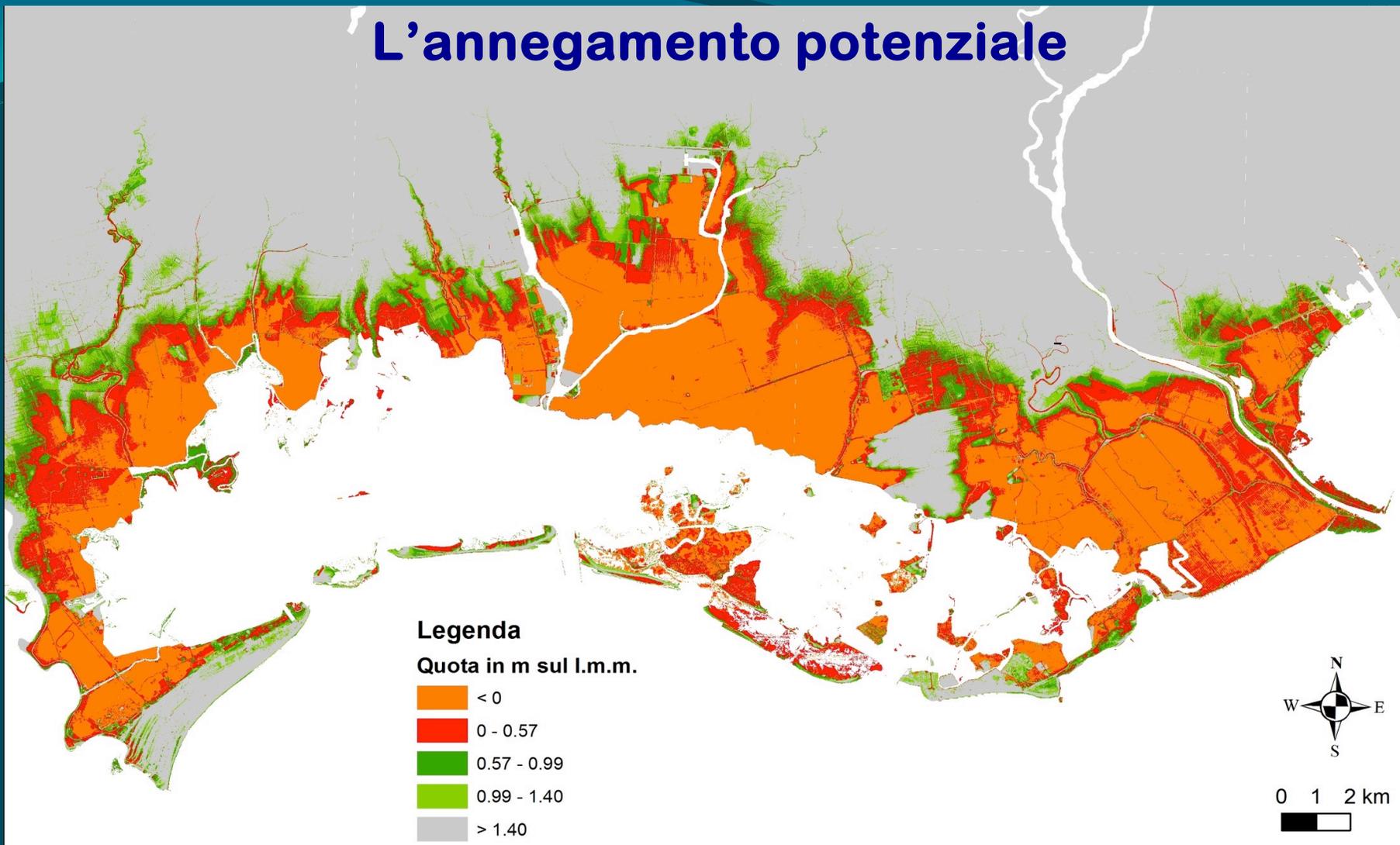
QUADRO REGIONALE - Definizione dei tratti critici → interventi prioritari



La laguna



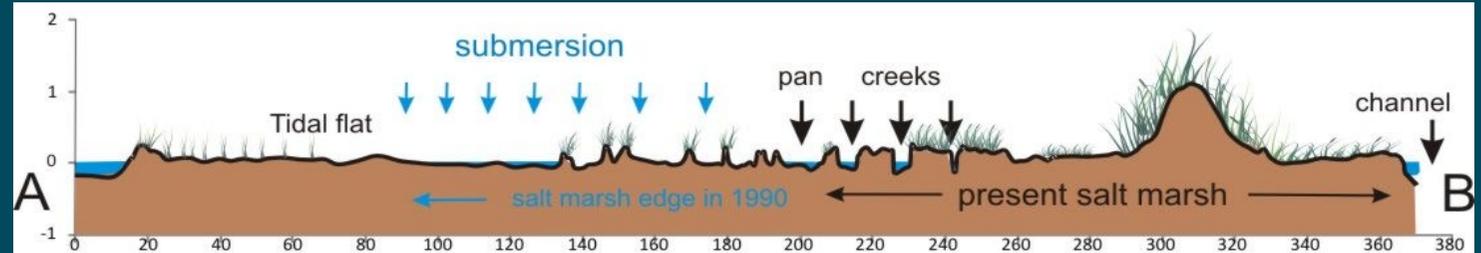
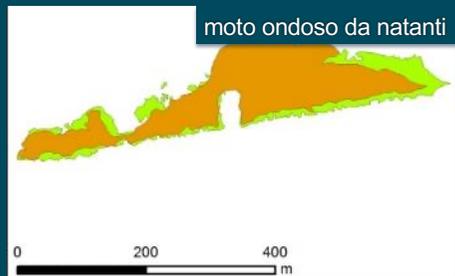
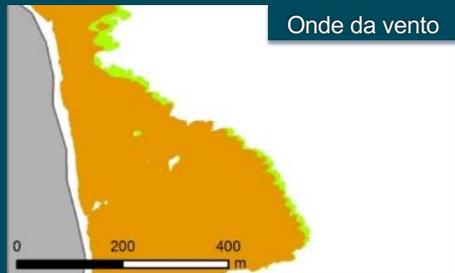
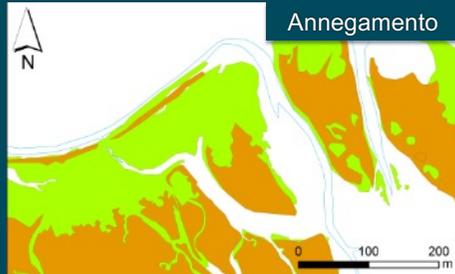
L'annegamento potenziale



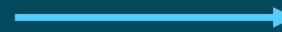
**L'anegamento reale
(barene e piane di marea)**



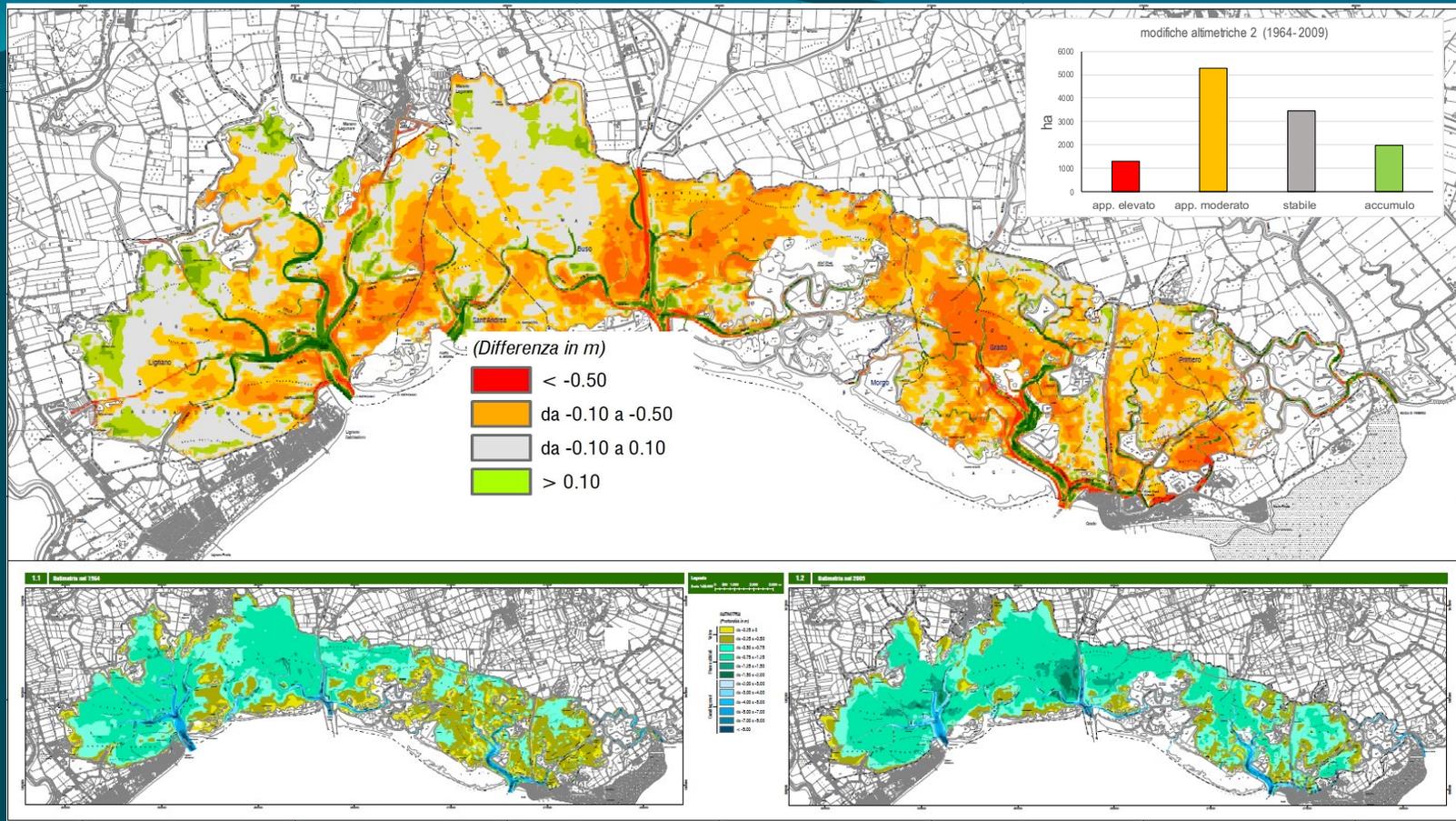
Perdita di barene: 16% a Marano-Grado



1954
904 ettari



2006
761 ettari

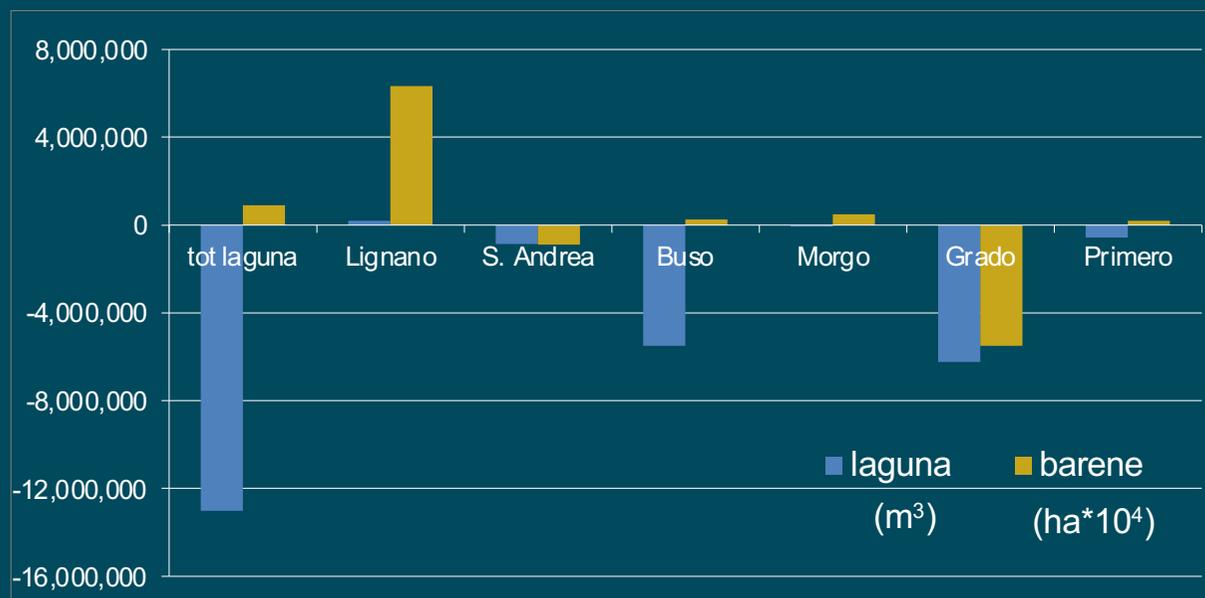


Differenze altimetriche nella Laguna di
Marano e Grado (2009-1964)

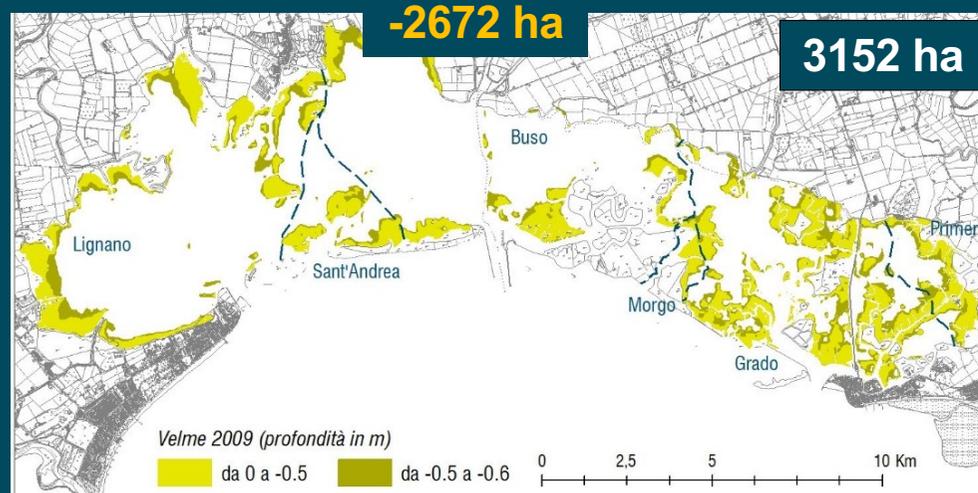
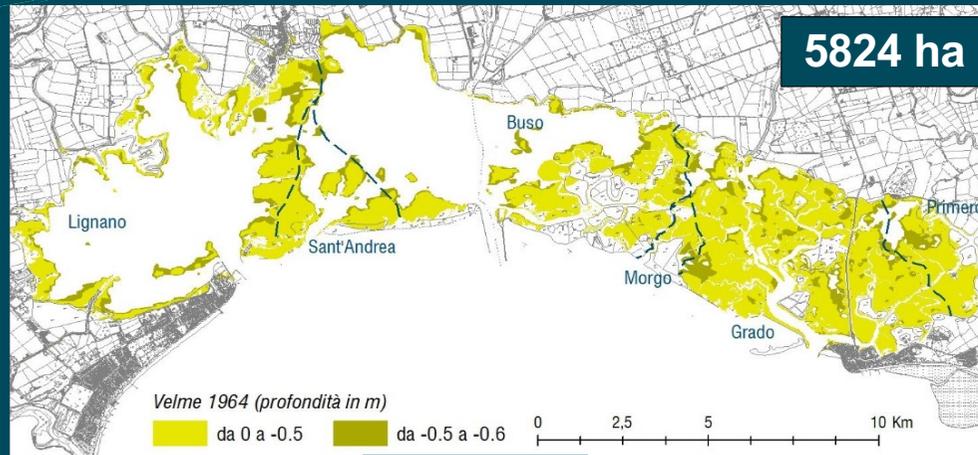
Perdita media: 325.000 m³/a

Dinamiche di bacino e bilanci di massa

	Tot laguna	Lignano	S. Andrea	Buso	Morgo	Grado	Primero
Variazione barene 1954-2006 (ha)	9.1	63.4	-9	2.6	5.0	-54.9	2.1
Bilancio totale 1966- 2011 (m ³ /anno)	-325 000	-5 000	-17 000	-140 000	-1 700	-152 000	-10 000



Piane di marea

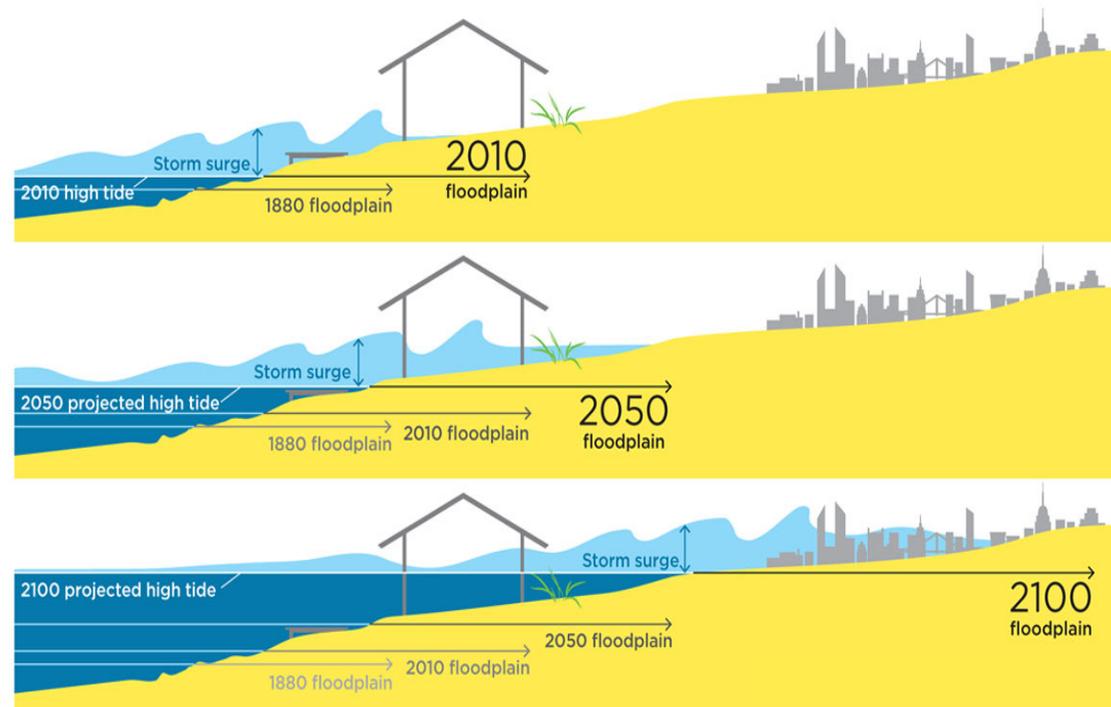
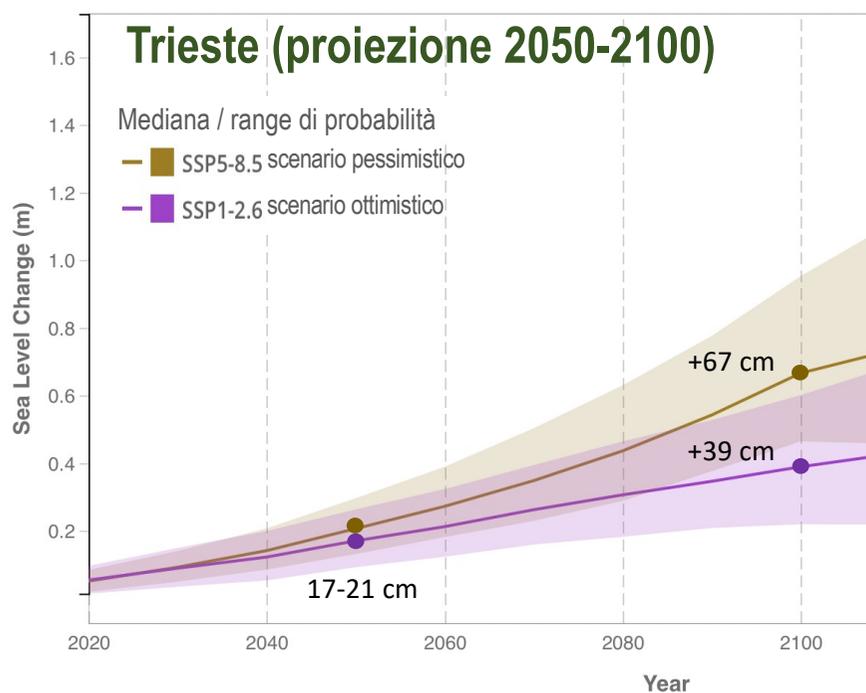


- ✓ Si trovano nella metà inferiore dell'escursione di marea, tra -0.60 m e 0 m
- ✓ Sono soggette all'azione erosiva delle onde generate dal vento
- ✓ I canali secondari tendono a scomparire
- ✓ La risalita del mare provoca una semplificazione morfologica → **MARINIZZAZIONE**

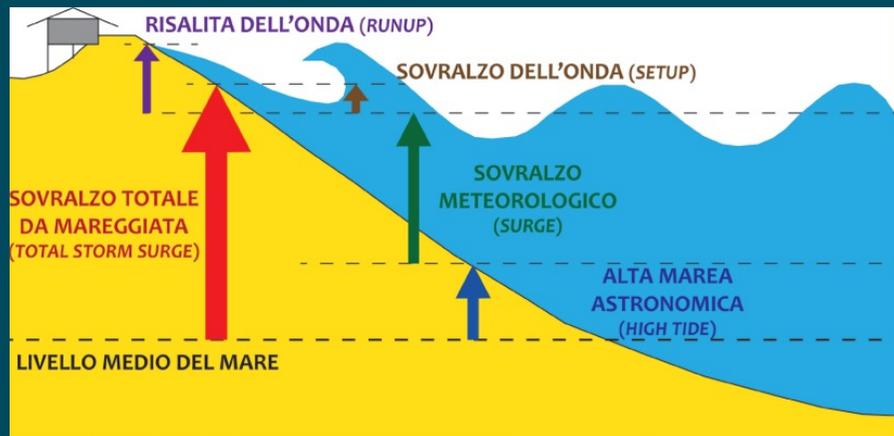
Le città sull'acqua



• *Gli scenari futuri (innalzamento del mare + mareggiata)*



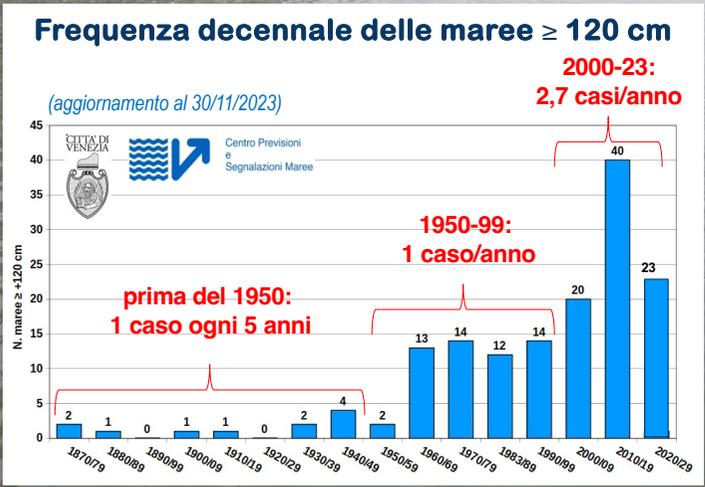
Episodi estremi (mareggiate)



Scenario:	T_R (anni)	Surge (m) <i>Perini et al.</i> (2016)	Marea astrono- mica (m)	Wave set-up (m) <i>Decouterre et al., (1997)</i>	Elevazione totale superficie mare (m)	Direttiva Alluvioni (totale)
Alta probabilità	10	0.79	0.38	0.30	~ 1.47	--
Media probabilità	30	0.90	0.38	0.30	~ 1.58	180
Bassa probabilità	100	1.02	0.38	0.40	~ 1.80	200

T_R = (tempo di ritorno) = ricorrenza statistica dell'evento estremo

L'acqua alta



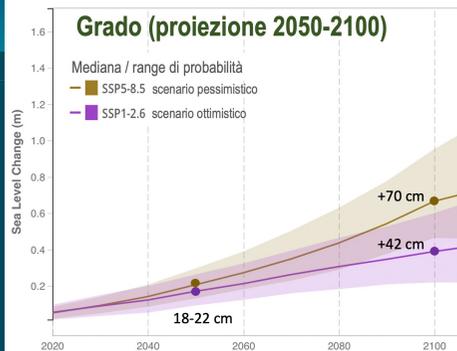
Eventi eccezionali ≥ 140 cm

day-month	year	height (cm)	
12-nov	1951	151	1950-2000: 1,6 eventi ogni 10 anni
15-ott	1960	145	
04-nov	1966	194	
03-nov	1968	144	
14-feb	1979	140	
22-dic	1979	166	
01-feb	1986	159	
08-dic	1992	142	
06-nov	2000	144	2000-2023: 8,2 eventi ogni 10 anni
16-nov	2002	147	
01-dic	2008	156	
23-dic	2009	144	
25-dic	2009	145	
24-dic	2010	144	
01-nov	2012	143	
11-nov	2012	149	
12-feb	2013	143	
29-ott	2018	156	
12-nov	2019	187	
13-nov	2019	144	
15-nov	2019	154	
17-nov	2019	150	
23-dic	2019	144	
08-dic	2020	140 *	
22-nov	2022	173 *	
23-nov	2022	142 *	
27-ott	2023	144 *	

* dato mare (MOSE attivo)

Soglie di inondazione

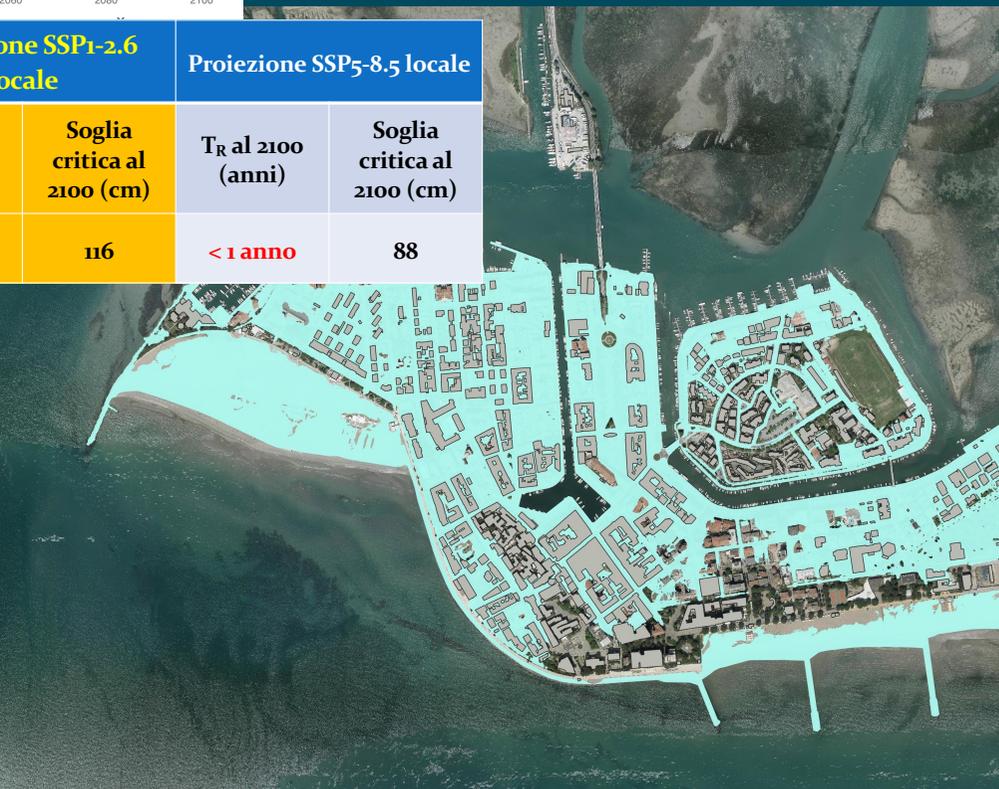
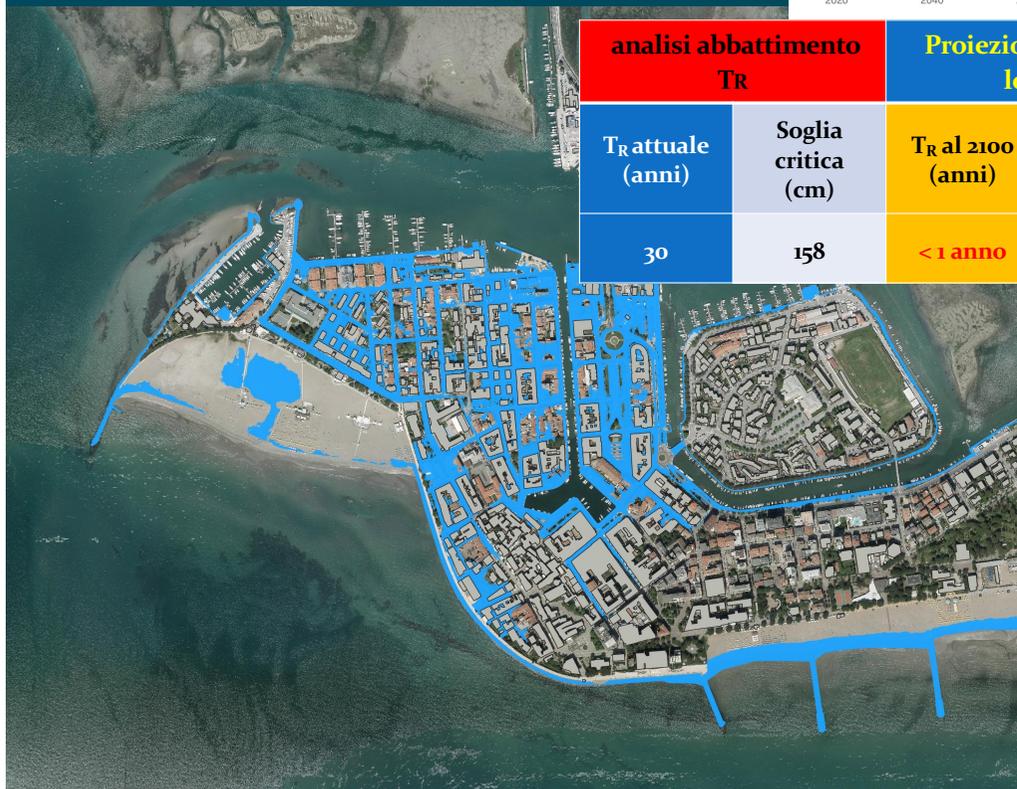
Mareggiata con TR = 30 anni

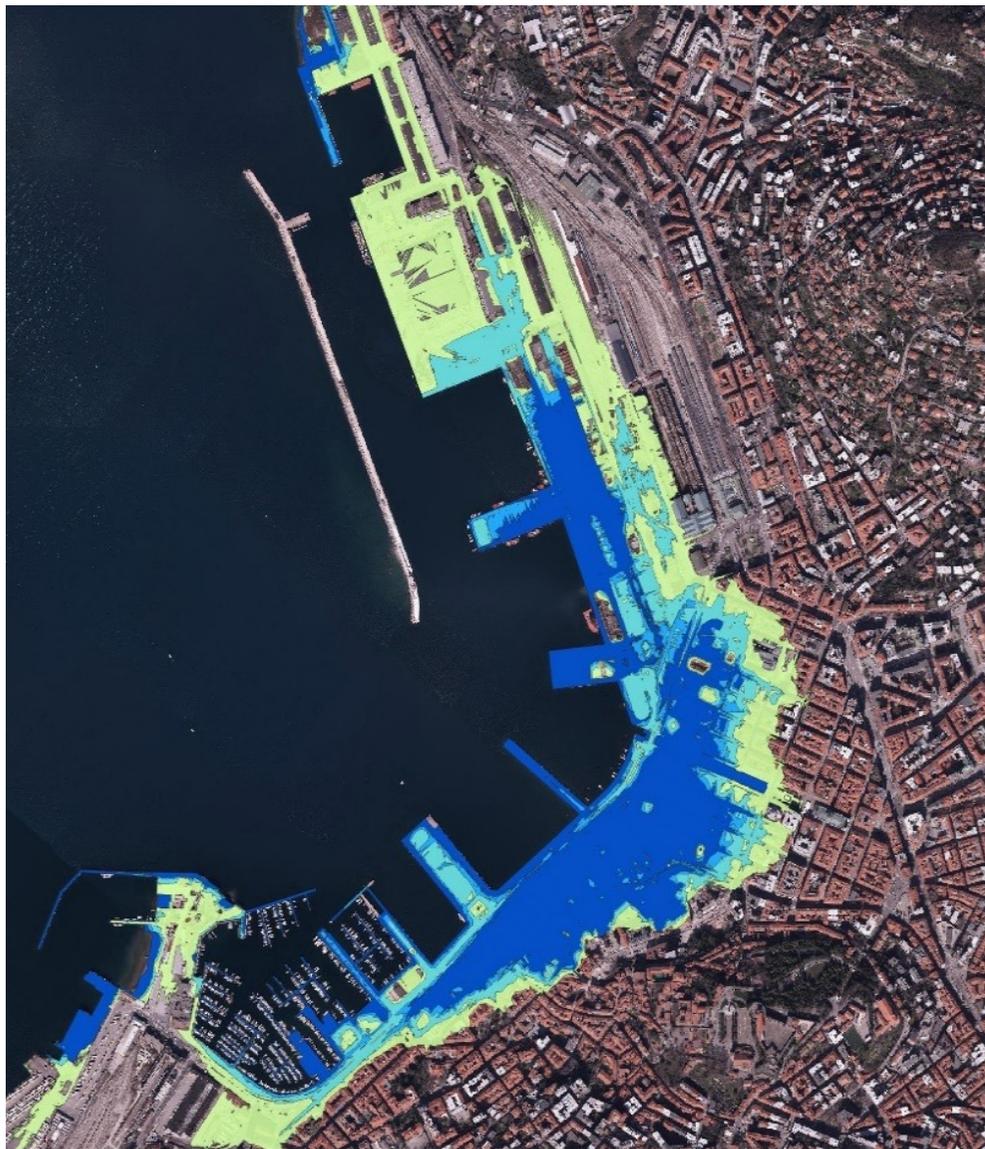


GRADO

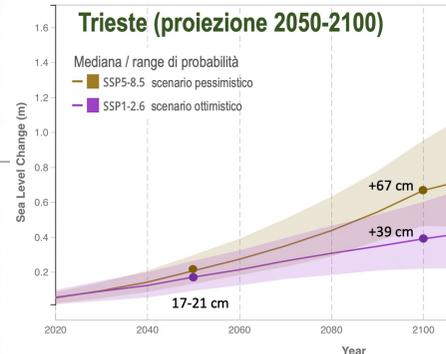
Mareggiata con TR = 30 anni
(+ innalzamento del mare al 2100 nell'ipotesi ottimistica SSP-2.6)

analisi abbattimento TR		Proiezione SSP1-2.6 locale		Proiezione SSP5-8.5 locale	
TR attuale (anni)	Soglia critica (cm)	TR al 2100 (anni)	Soglia critica al 2100 (cm)	TR al 2100 (anni)	Soglia critica al 2100 (cm)
30	158	< 1 anno	116	< 1 anno	88





Scenari di inondazione



TRIESTE

Città di Trieste

Legenda

- Scenario TR=10 anni ■
- Scenario TR=30 anni ■
- Scenario TR=100 anni ■
- Scenario TR=30 anni + SSP5-8.5 ■

Mappa di

**analisi abbattimento
TR**

**Proiezione SSP1-2.6
locale**

**Proiezione SSP5-8.5
locale**

**T_R attuale
(anni)**

30

**Soglia
critica
(cm)**

158

**T_R al 2100
(anni)**

< 1 anno

**Soglia
critica al
2100 (cm)**

119

**T_R al 2100
(anni)**

< 1 anno

**Soglia
critica al
2100 (cm)**

91

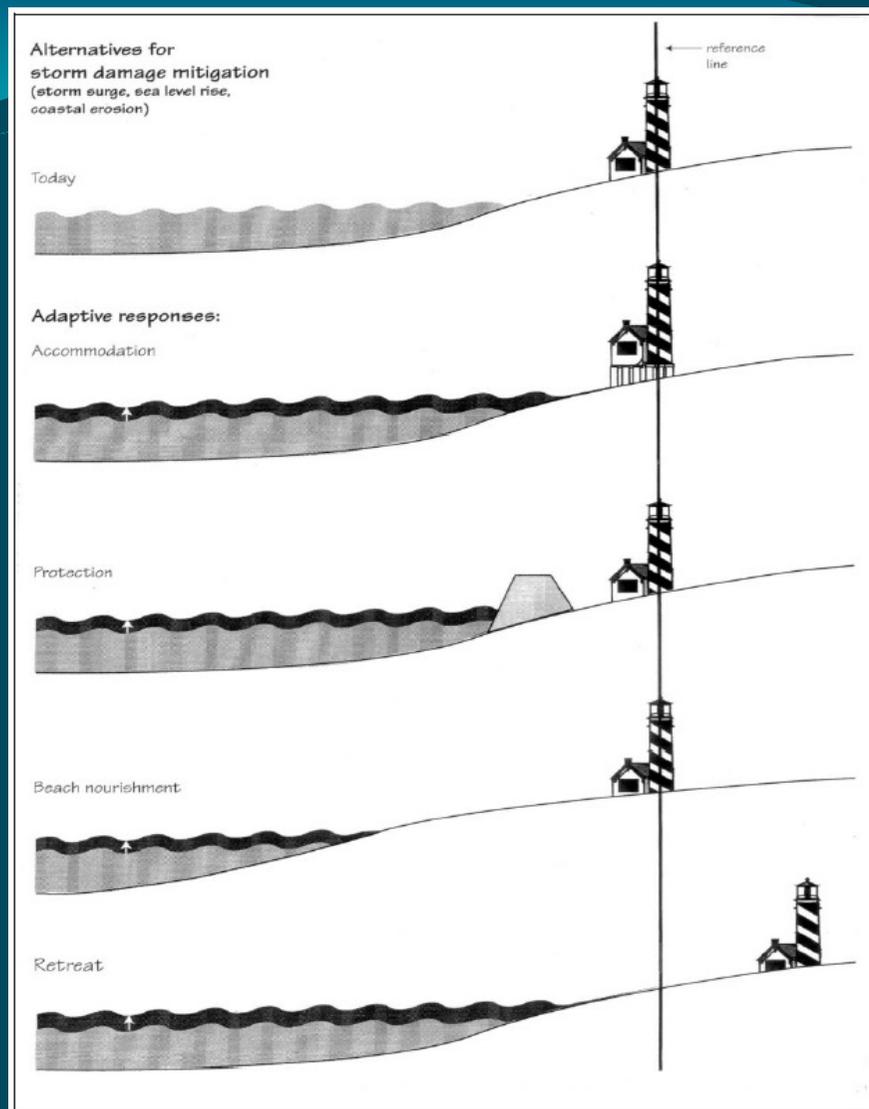
0 150 300





L'adattamento

Tipi di risposte adattive al rischio costiero e RSLR



Stato attuale

Accomodamento

Protezione

Difesa mediante impiego di strutture rigide

Ripascimento

Le spiagge sono ricaricate o rifatte artificialmente

Arretramento

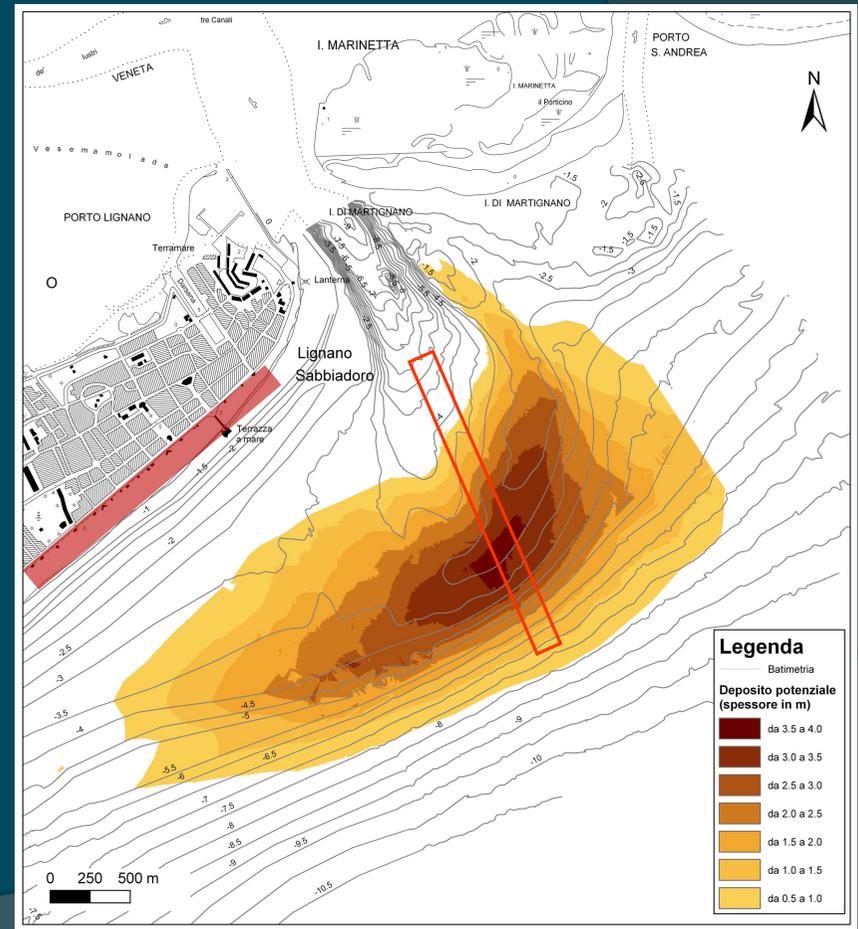
spostando nell'entroterra il bene o l'insediamento in pericolo



Il Brighton Hotel a Coney Island nello Stato di New York fu arretrato di oltre 150 metri nel 1888. Furono usate 120 pedane di carri ferroviari e 6 locomotive per muovere tutta la struttura del peso di 6000 tonnellate. L'impresa durò circa 3 mesi e nello spostamento non si ruppe neanche un vetro.

<http://www.arrrts-archives.com/brbchmove.html>

Ricarica delle spiagge (economia circolare recuperando i sedimenti di dragaggio)



STRATEGIE DI INTERVENTO PER LA LAGUNA

- RECUPERARE I SEDIMENTI
- FAVORIRE LA SEDIMENTAZIONE
- PROTEGGERE I MARGINI





UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI UDINE



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TRIESTE

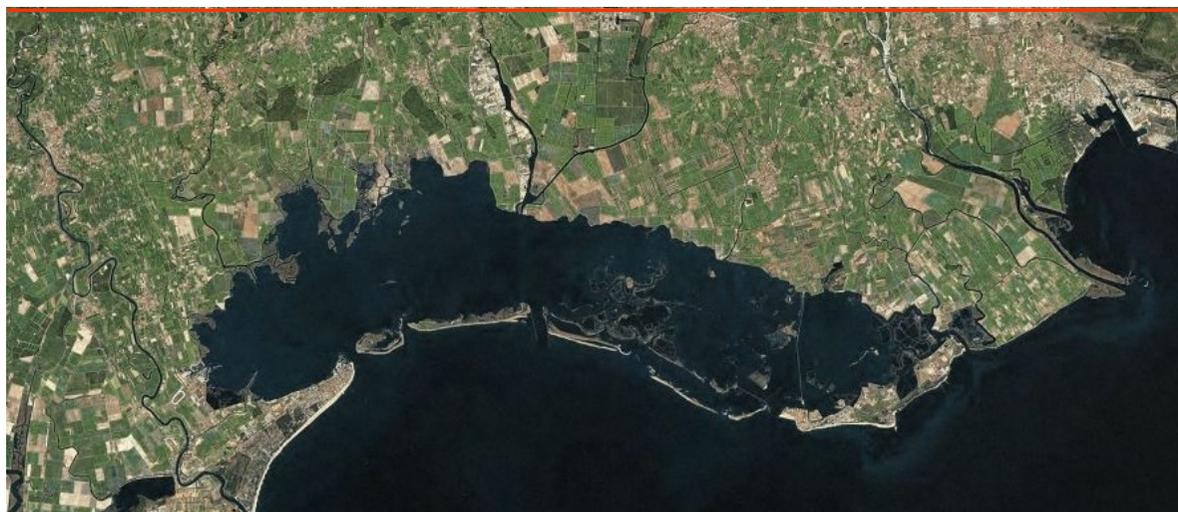


REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



Piano di gestione del sito Natura 2000 della Laguna di Marano e Grado

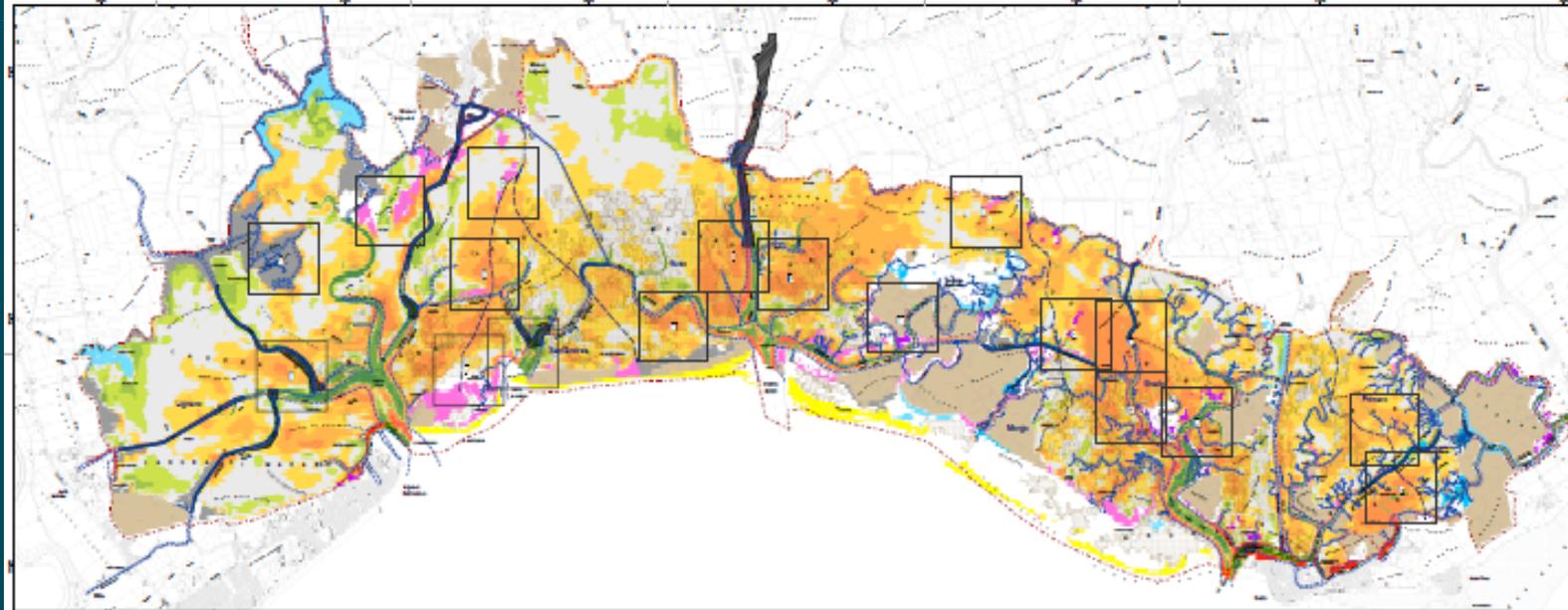
Studio di assetto morfologico ambientale



Responsabili: Marco Petti (UniUD) – Giorgio Fontolan (UniTS)



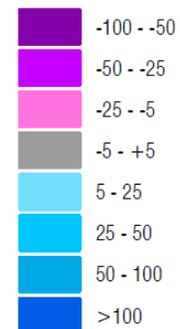
CARTA DELLE CRITICITA' E PROPOSTE DI RECUPERO SEDIMENTARIO



Variazione altimetrica dei fondali dal 1966 al 2011
(variazione espressa in metri)



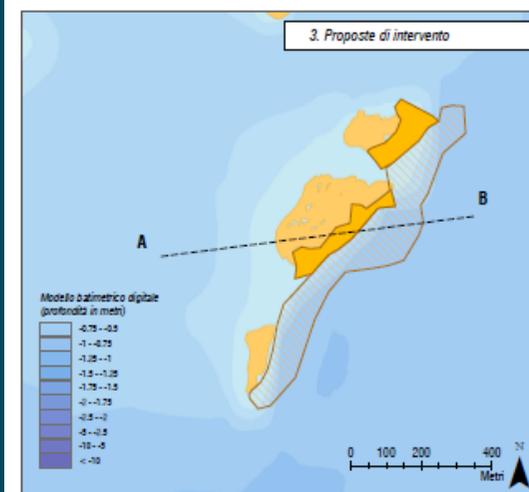
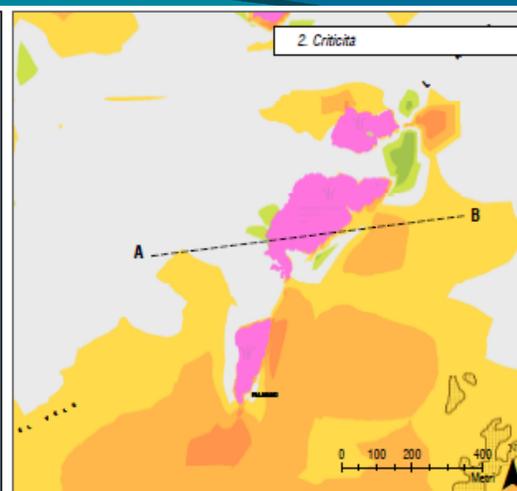
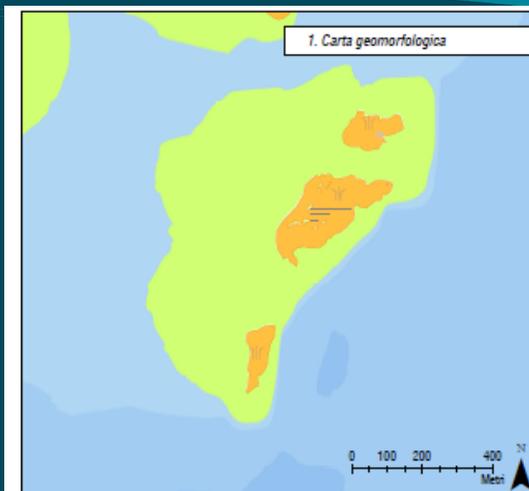
Variazione della superficie di barena dal 1990 al 2006
(valori espressi in %)



- 18 aree critiche
- Esemplificative di criticità diffusa (erosione barene, approfondimento fondali)
- Esemplificazione di situazioni tipo: erosione argini
- Prioritarie ma non esaustive



SCHEDE DI INTERVENTO

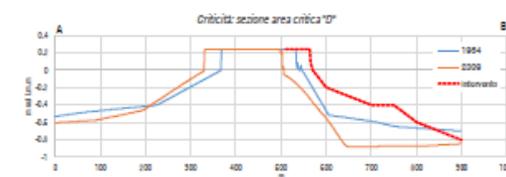


Valenze: barena isolata di buona estensione in area aperta nella laguna di Marano con sviluppato sistema di ghièi e chiani, elevata valenza per l'avifauna costituisce sistema con A. la tendenza ripascifica del lato sottovento indica un certo apporto sedimentario.

Criticità: la barena mostra fenomeni di arretramento sul margine orientale (esposto a bora). L'area di fondale adiacente è interessata da diffusi approfondimenti, siamo lontani da canali navigabili di interesse regionale.

Intervento ipotizzabile: apporto sedimentario nella porzione orientale della barena, creazione di una barena protettiva o in caso di scarsa disponibilità di sedimento dragato utilizzo di barriere temporanee per la creazione di una zona ad acque calme.

Indicazioni operative: area adatta a interventi sperimentali per la creazione di barriere temporanee, particolare attenzione va posta alle relazioni con le aree adiacenti per l'avifauna. Dal punto di vista granulometrico il sedimento è costituito da pelite sabbiosa o pelite molto sabbiosa.



AREE CRITICHE E PROPOSTE DI INTERVENTO

D Palamaio (Le Longhe)

Inquadramento

1. Carta geomorfologica

Morfologie naturali

- Canale naturale
- Isola
- Cordone litorale / Duna
- Accumulo eolico / Duna
- Barena (anno 2006)
- Volma (-0.6m - 0m) (anno 2009)

Elementi antropici

- Canale artificiale/barsa
- Argine
- Argine di confinamento, fog. Di. spand./cost. in mar.
- Molo guardiano
- Portello
- Scogliera
- Valli da pesca

2. Criticità

Variazione della superficie di barena dal 1990 al 2006 (valori in %)

- 100 - -50
- 50 - -25
- 25 - -5
- 5 - +5
- > +5

Variazione altimetrica dei fondali dal 1966 al 2017 (variazione in metri)

- < -2
- da -2.0 a -0.5
- da -0.5 a -0.25
- da -0.25 a -0.1
- da -0.1 a 0.1
- da 0.1 a 0.25
- da 0.25 a 0.5
- da 0.5 a 2
- > 2

3. Proposte di intervento

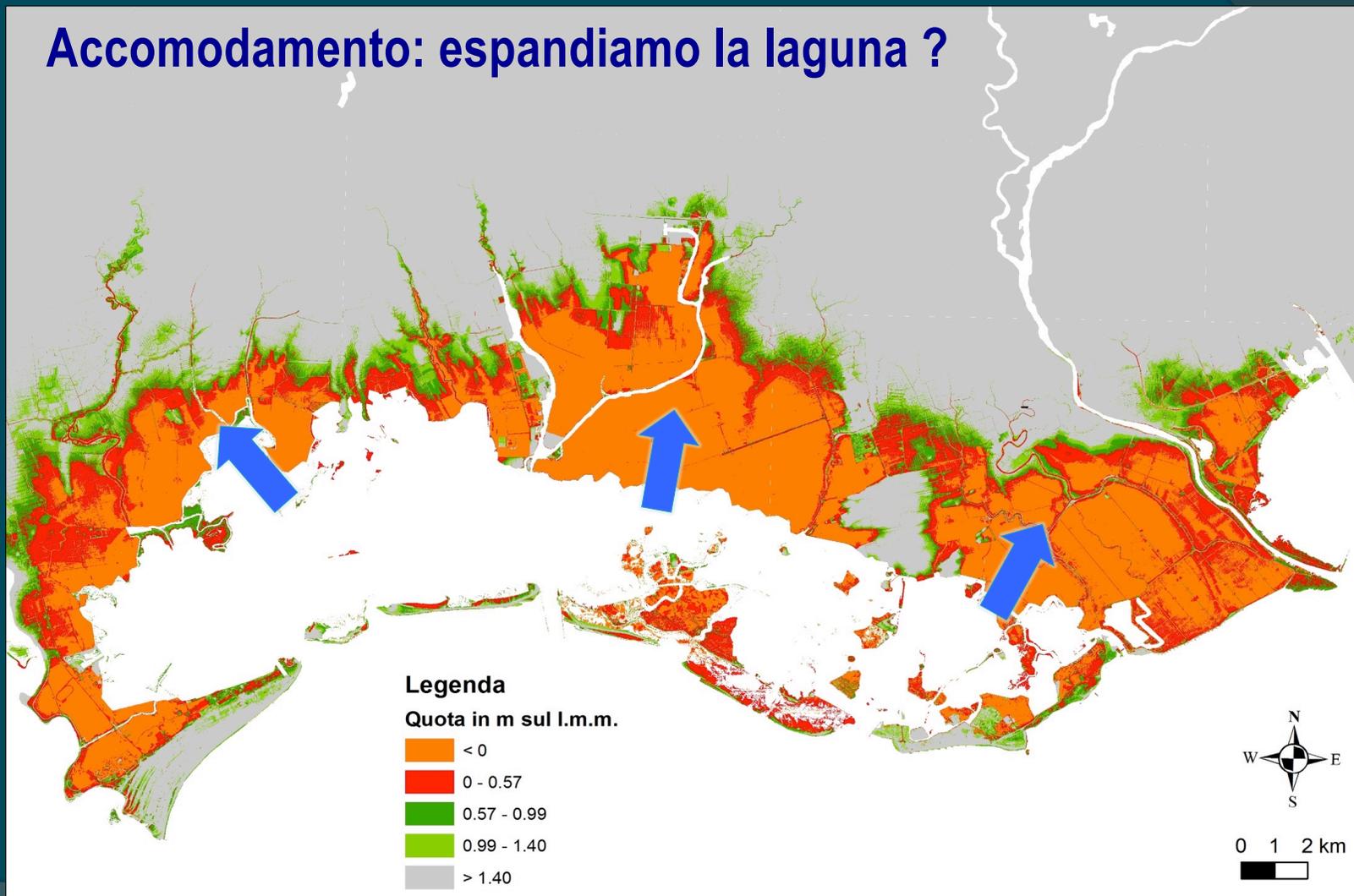
- Area di ricostruzione della volma
- Area di ricostruzione della barena
- Ripristino argine
- Area con interventi di dragaggio prioritari

Altri elementi

- Razonigiane (littoro 2010)
- Canale artificiale o/naturale

A B Sezione topografica

Accomodamento: espandiamo la laguna ?



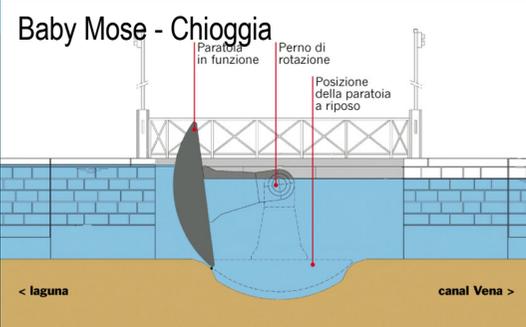


Le città sull'acqua: quale futuro ?





Nuove barriere difensive ?



Porte Vinciane - Cesenatico

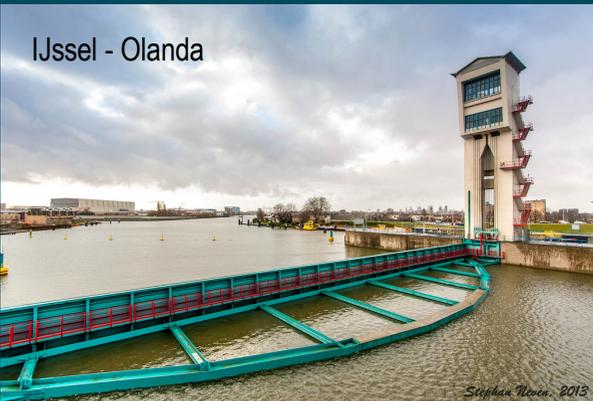


Maeslantkering - Olanda



Galveston Bay, Texas (progetto Ike Dike)

<https://youtu.be/K2iqXkt7uOY>



IJssel - Olanda

Chiuse a mare

GRAZIE

Attività svolte nell'ambito degli accordi di ricerca con:



In collaborazione con:

Comune di Lignano
Comune di Grado
ARPA FVG
Consorzio Marine Lignano
Lignano Sabbiadoro Gestioni
Lignano Pineta
Consorzio Spiaggia Viva
Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia



Giorgio Fontolan

Dipartimento di Matematica Informatica e Geoscienze
Università degli Studi di Trieste
via Edoardo Weiss, 1 - 34128 Trieste (Italy)

fontolan@units.it

Tel. | Ph. +39 0405582260

Cell. | Mob. +39 3346334342

Skype: jure.fontolan



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

