

DOI: 10.5281/zenodo.8009674



Piano Urbanistico
Generale Lecce

La città per tutti

Futura linea di costa leccese

Gianandrea Mannarini⁽¹⁾

Mario Leonardo Salinas⁽¹⁾

Giorgia Verri⁽¹⁾

Vladimir Santos da Costa⁽¹⁾

Riccardo Barzaghi⁽²⁾



*⁽¹⁾ CMCC, Ocean Predictions and Applications Division
via Marco Biagi 5, 73100 Lecce*



*⁽²⁾ Politecnico di Milano, DICA
Piazza Leonardo Da Vinci 32, 20133 Milano*

www.cmcc.it

26/6/2023

Contenuti

Introduzione

Metodo

Risultati

Conclusioni

Contenuti

Introduzione

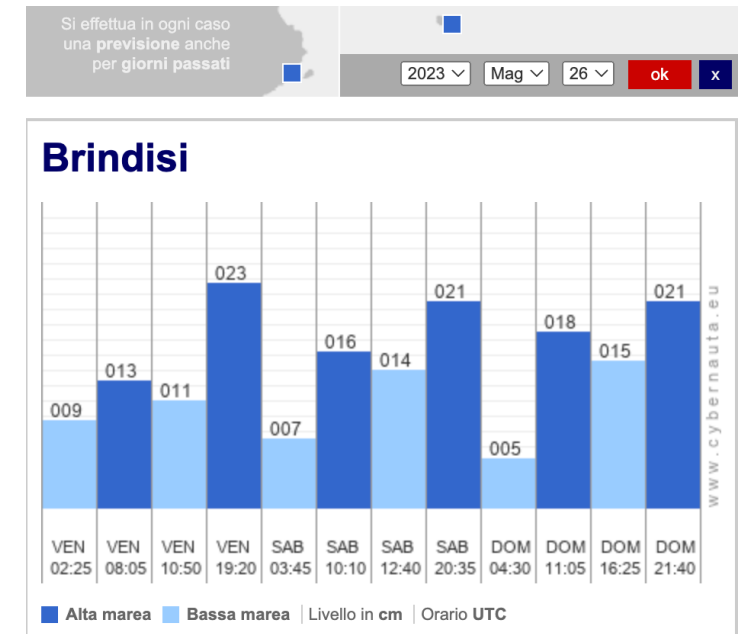
Metodo

Risultati

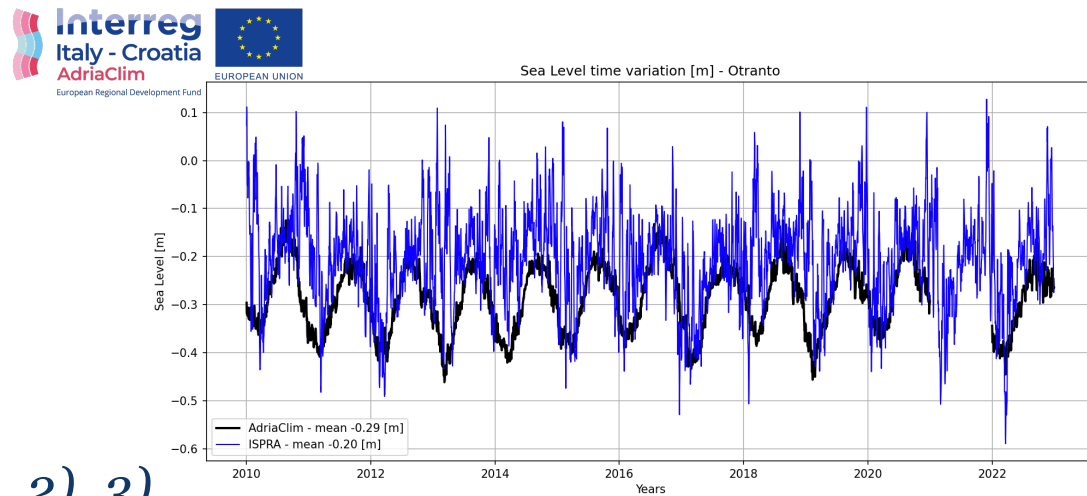
Conclusioni

Tempi scala per il livello del mare

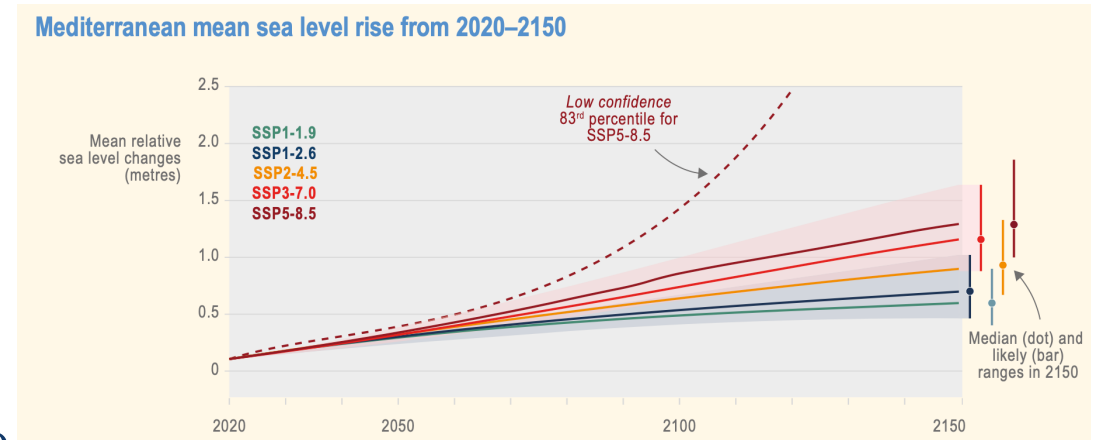
- 1) scala giornaliera: marea astronomica (variazione periodica dell'attrazione luni-solare)
- 2) scala stagionale: variazione termosterica (effetto periodico della temperatura sulla densità dell'acqua)
- 3) scala interannuale: fluttuazioni della pressione atmosferica(*) e dell'apporto fluviale
- 4) scala decennale: crescita del livello medio mare su scala globale dovuta al cambiamento climatico



1)



2), 3)

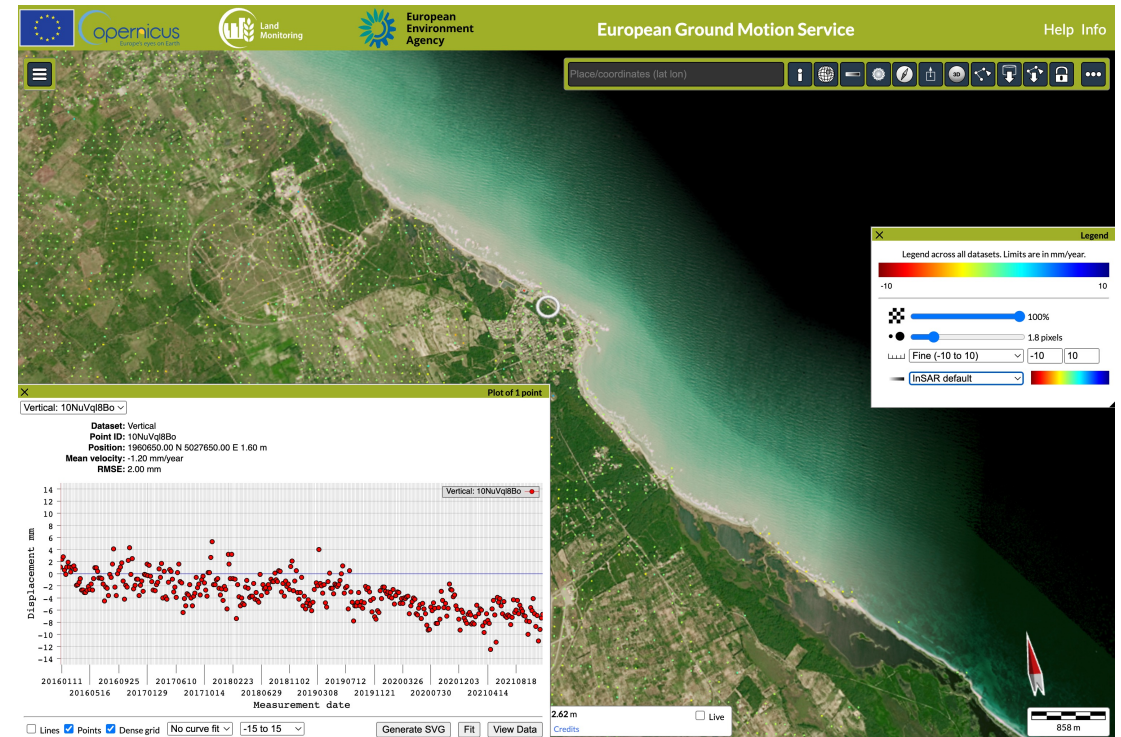
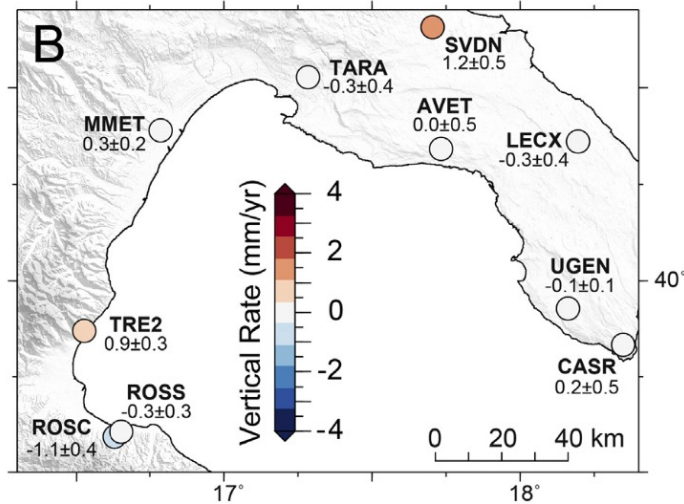
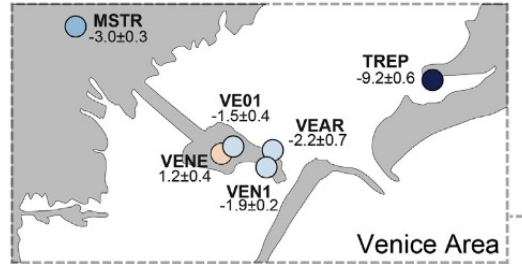


4)

*) Un aumento di pressione di 1hPa o 1mBar corrisponde ad una diminuzione di 1cm del livello locale del mare, Hughes and Bingham (2008)

Subsidenza e altri moti verticali del terreno

- ▣ *graduale affondamento o assestamento del terreno rispetto al fondo del mare*
- ▣ *naturale o risultato di attività umane (estrazione da acquiferi o altri depositi, bonifiche, costruzioni)*
- ▣ *può accentuare la crescita relativa del livello medio mare*
- ▣ *in questo lavoro: trascurata*



Contenuti

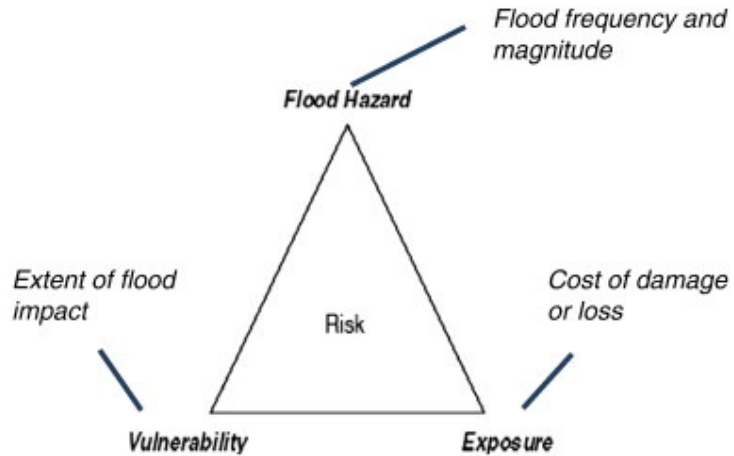
Introduzione

Metodo

Risultati

Conclusioni

Valutazione del rischio costiero



Focus di questo lavoro: **Vulnerabilità**
(rispetto al pericolo "innalzamento del livello del mare")

Dávila 2014,
<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.12.007>

"bathtub model"

IDEA CHIAVE

inondazione delle aree:

- sotto il livello di interesse
- idraulicamente connesse alla costa



CONTRO

- trascura:
 - caratteristiche del suolo (pendenza, attrito, permeabilità)
 - conservazione della massa d'acqua

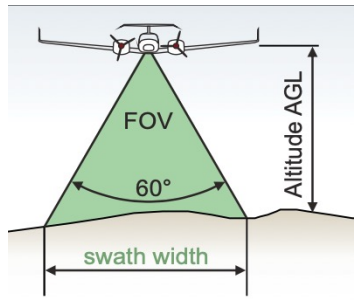
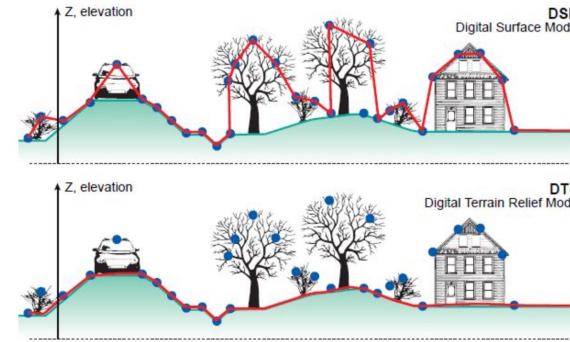
PRO

- calcoli rapidi
- possibile iper-risoluzione spaziale

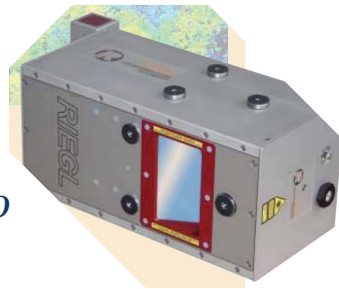
*) Anderson 2018,
<https://www.nature.com/articles/s41598-018-32658-x>

Dati: Digital Elevation Model (DEM)

- Insieme di dati che descrivono l'altezza del terreno rispetto ad un riferimento
- realizzato a partire da nuvola di punti rilevati con radar o LiDAR
- esistono la variante DSM (con elementi antropici e vegetazione) e DTM (solo superficie topografica)



sensore
LiDAR
avio-
trasportato

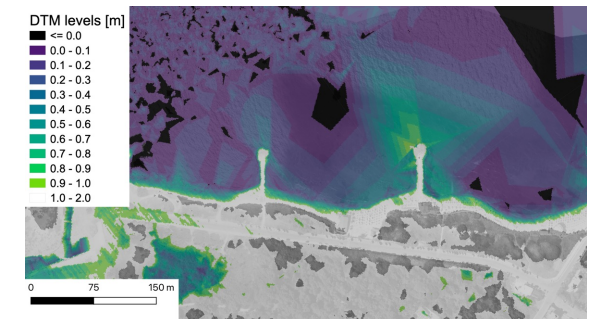


- ❑ data delle misure: estate 2015
- ❑ risoluzione orizzontale: 1 m
- ❑ accuratezza verticale: 30 cm (livello CISIS 6 di 9)
- ❑ quote ortometriche riferite al geoido ITALGEO05

Dati forniti dal Comune
di Lecce:

- DTM
- DSM
- ortofoto

Nota: presenza,
specie a Sud di Frigole, di
artefatti numerici (v.
anomalie vicino pennelli →)



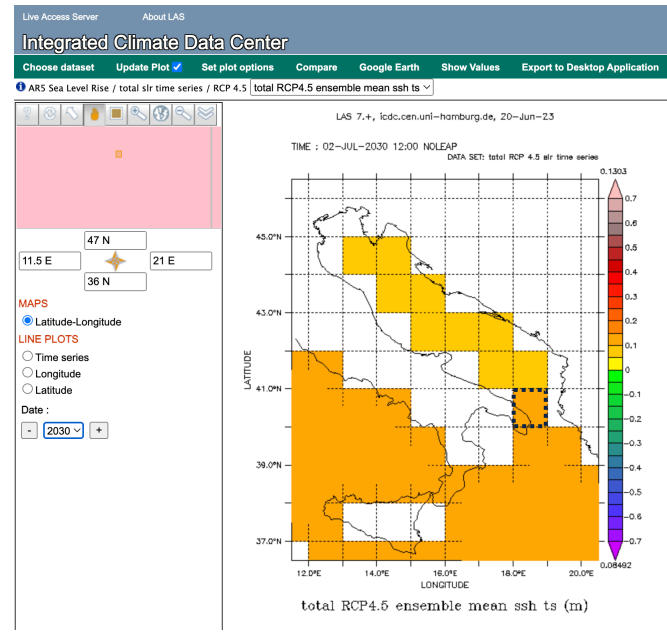
Dati: Mean sea level (MSL)

→ Livello medio della superficie marina, attorno al quale occorrono escursioni dovute a maree, ciclo stagionale, ed eventi estremi

IPCC AR5 (globale)

- risoluzione: 1° x 1° (circa 111 km)
- basato su 10 fonti geofisiche che determinano cambiamenti a lungo termine nell'elevazione della superficie marina (SSH)

 cella modellistica considerata per Lecce →

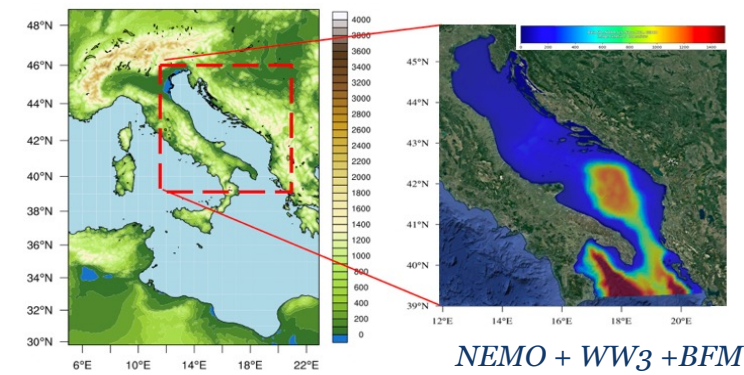


- 5 componenti del ghiaccio (ghiaccio dinamico della Groenlandia e bilancio di massa superficiale, ghiaccio dinamico antartico e bilancio di massa superficiale, ghiacciai montani del resto del mondo)
- 3 componenti relative all'oceano, tutti derivati dai modelli CMIP5 (SSH dinamico, anomalia SSH termosterico globale ed effetto del barometro inverso dall'atmosfera)
- deposito di acqua nel suolo
- aggiustamento isostatico glaciale (come variazione del livello del mare rispetto alla terraferma)

Adriaclim (subregionale)



- modellazione integrata del ciclo idrico locale del bacino Adriatico
- rilascio (prognosticamente risolto) da oltre 100 bacini fluviali



WRF (6km, 6h)
+ WRFHYDRO (600m, 1h)

NEMO + WW3 + BFM
(2km, 3h-daily)

Catena modellistica di Adriaclim:

- globale (IPSL-CM5A-Mr di CMIP5)
- regionale (LMDZ e NEMO di Medcordex)
- subregionale: WRF (6km, 6h) + WRFHYDRO (0.6km, 1h) + NEMO (2km, 3h)

Dati: Extreme sea level (ESL)

→ Livello di innalzamento estremo ma episodico della superficie marina, dovuto a combinazione di molteplici circostanze meteo-marine

Origine del dato

Kirezci et al 2020 (*) e IHE Delft CoFu viewer (**)

(valori estremi per due scenari climatici e tre tempi di ritorno, $RP=1, 10, 100$ anni)

Effetti considerati

- marea astronomica (FES2014)
- mareggiate (GTSR, Muis_2017)
- sovrizzo d'onda (GOW2, con SPM e pendenza 3.3%)
- valori estremi fittati su una Generalized Pareto Distribution
- innalzamento livello medio (da IPCC AR5) sommato a livelli estremi storici

Effetti trascurati

- futuri cambiamenti del clima ondoso

www.nature.com/scientificreports

SCIENTIFIC
REPORTS

nature research

Check for updates

OPEN Projections of global-scale extreme sea levels and resulting episodic coastal flooding over the 21st Century

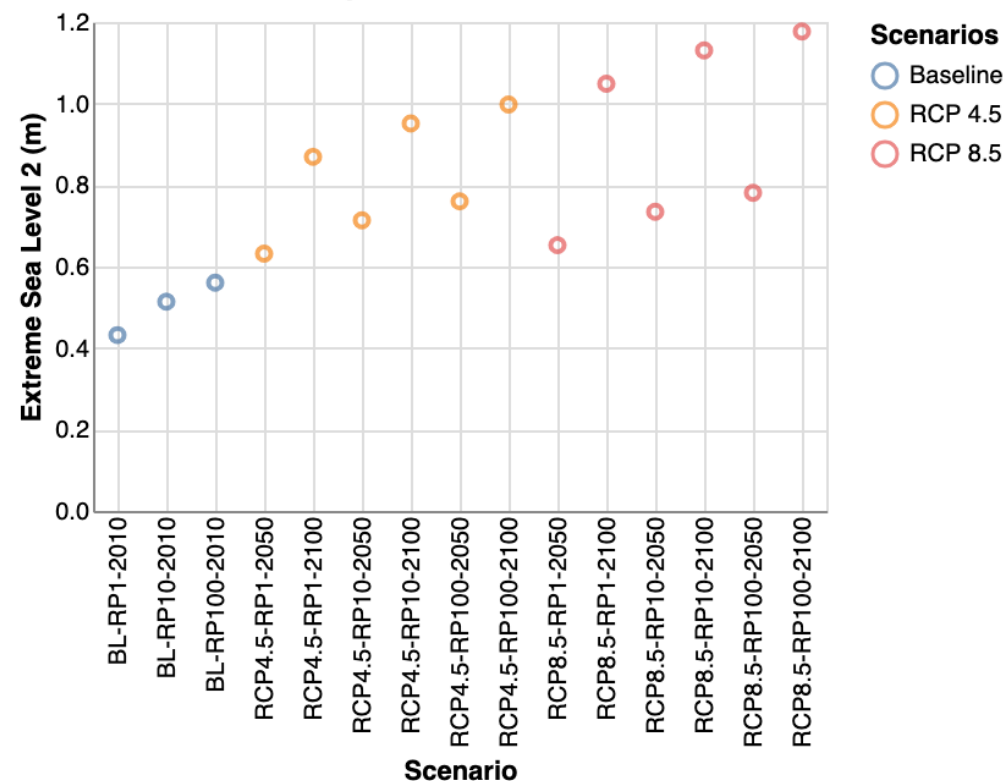
Ebru Kirezci¹, Ian R. Young^{2,3}, Roshanka Ranasinghe^{2,3,4}, Sanne Muis^{5,6}, Robert J. Nicholls⁷, Daniel Lincke⁸ & Jochen Hinkel^{8,9}



- CoFu viewer
- dataset “Extreme Sea Level 2”
- estrazione dei dati relativi al punto più vicino al territorio di interesse per il PUG

Nota: valori per tempi di ritorno annuali ($RP=1$) non forniti direttamente da Kirezci et al 2020, ma ricavati da IHE Delft sulla base dei dati per $RP=100$ ed ESL distribution riportati nel paper

Scenario /Time comparison: [Lat 40.4950; Lon 18.1350]



Riferimento temporale

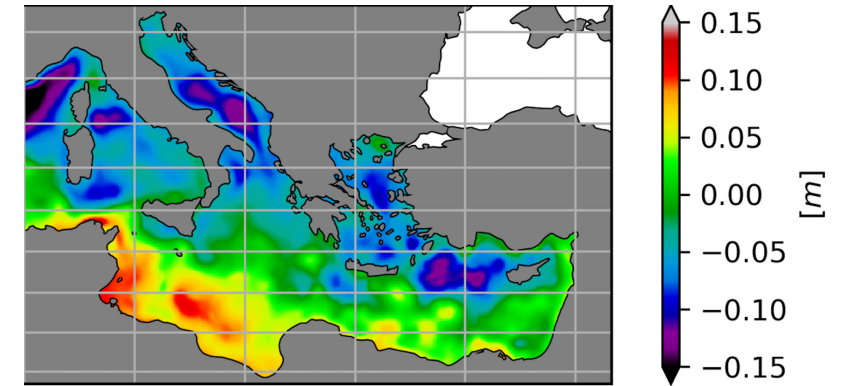
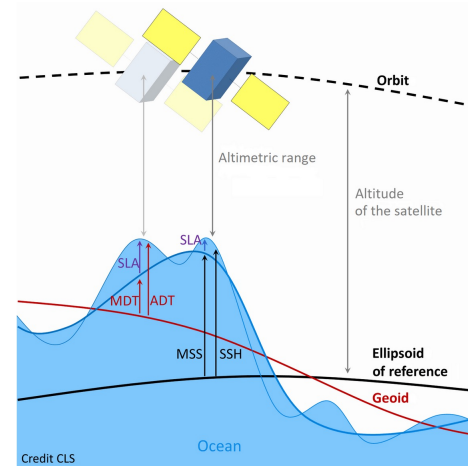
DTM e ortofoto risalenti al 2015

2015



Riferimenti verticali

- *Geoide*: superficie equipotenziale del pianeta, espressa come ondulazione rispetto ad un ellissoide di riferimento
- *MSL (Mean Sea Level) o MSS*: media di lungo periodo del livello del mare
- *MDOT (Mean Dynamic Ocean Topography)*: deviazione media del MSL rispetto al geoide
- *RSLR: relative sea level rise* (differenza di MSL tra due istanti di tempo)



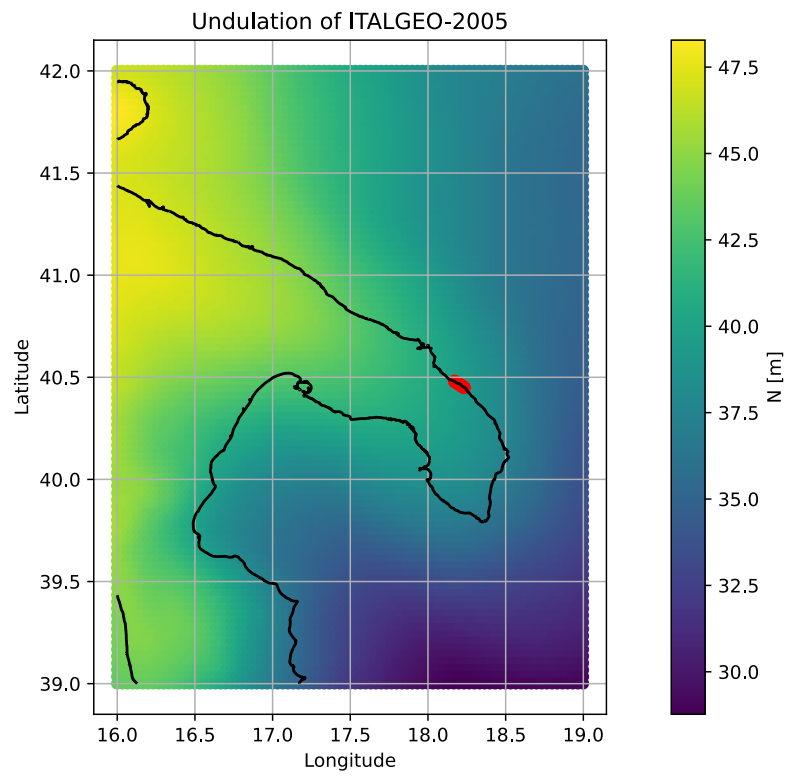
SMDT-MED-2014 [*]

costa Adriatica della Puglia (dato del 2014) :
MDOT= -9.1 cm

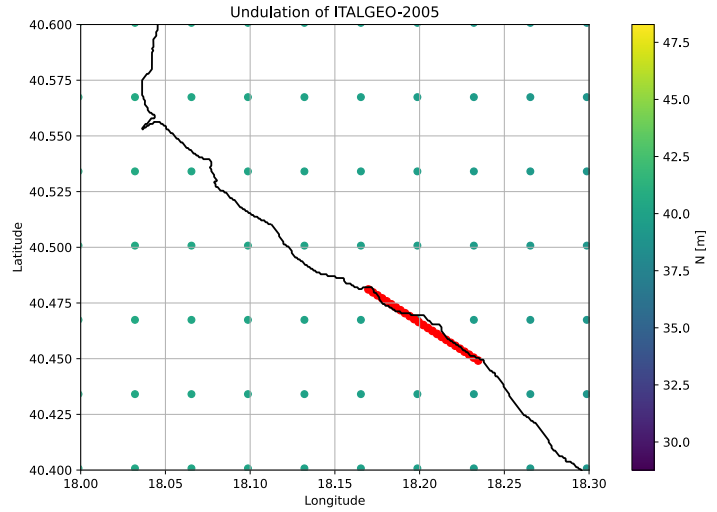
*) Rio, Pascual et al (2014), DOI: 10.5194/os-10-731-2014

Ondulazione dei geodi

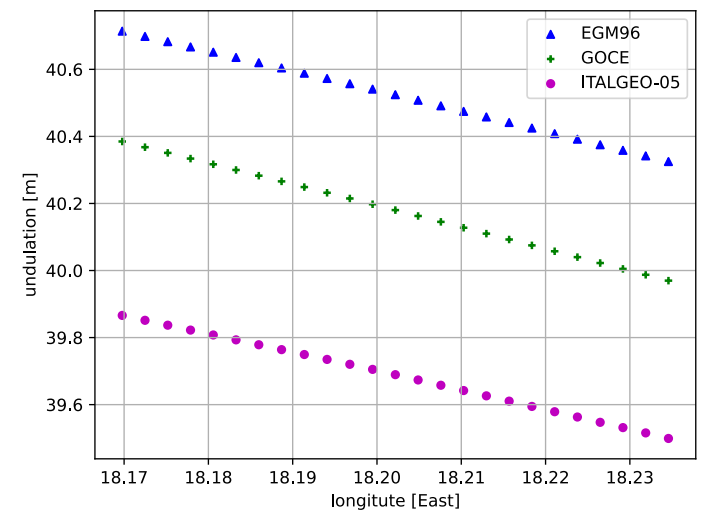
<i>geoide</i>	<i>uso per</i>	<i>grado</i>	<i>risoluzione</i>	<i>gradiente (m/deg Lon)</i>
<i>EGM96</i>	<i>ESL</i>	<i>360</i>	<i>30'</i>	<i>-6.0</i>
<i>GOCE</i>	<i>MDOT</i>	<i>260</i>	<i>30'</i>	<i>-6.4</i>
<i>ITALGEO05 (*)</i>	<i>DTM</i>		<i>2'</i>	<i>-5.7</i>



• **rosso:** tratto fra torri costiere di Torre Rinalda e Torre Chianca



→ gestione delle maree permanenti (deformazione del pianeta dovute all'attrazione luni-solare) mediante approccio "mean tide" (**)



→ *Ipotesi: superfici di riferimento per quote ortometriche sono assimilabili*

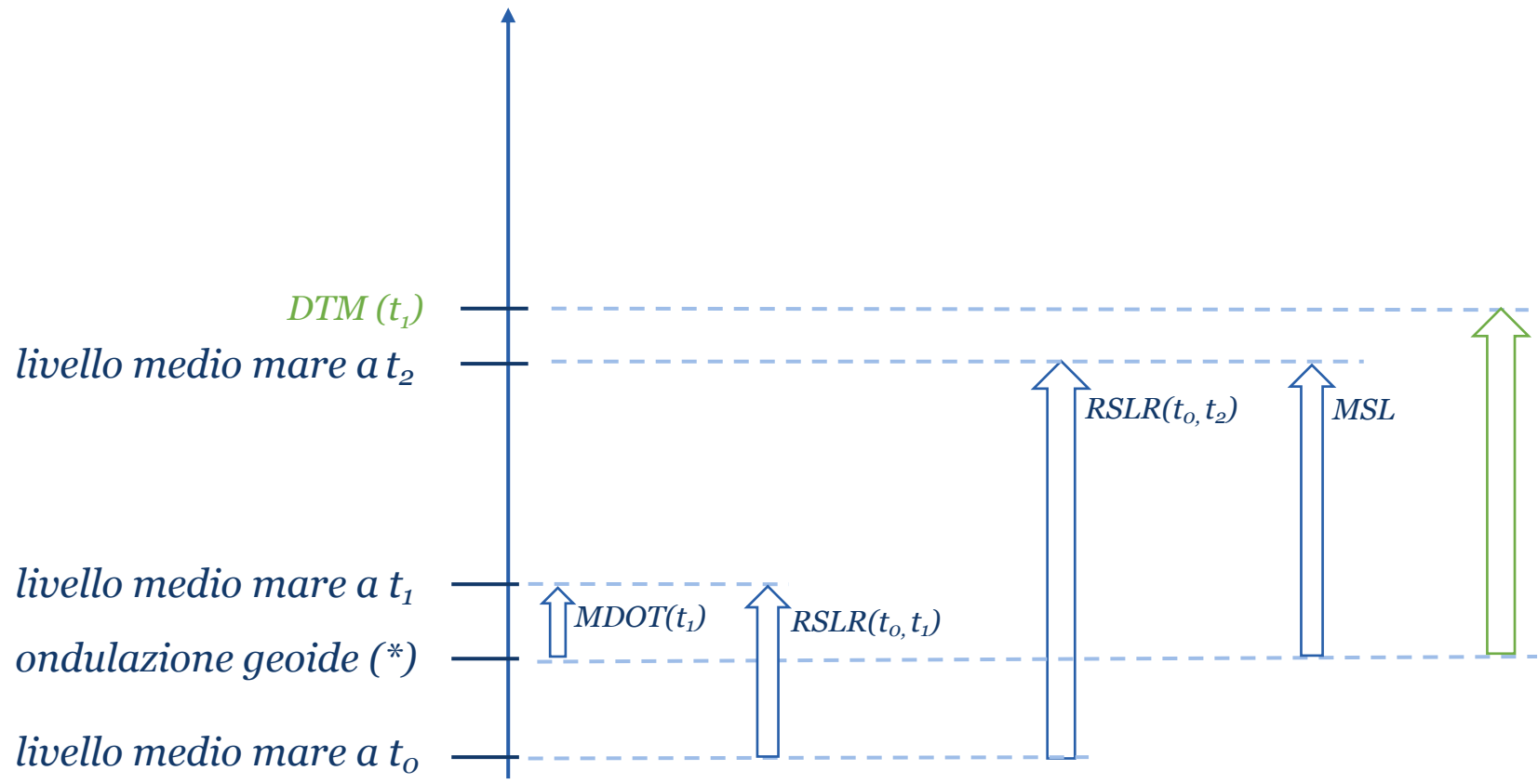
Giustificazione:

- varie stime dell'unico geoid terrestre*
- localmente, stesso gradiente orizzontale (tilting entro il 7%)*
- differenze riconducibili a termine di offset dei modelli di geoid*

*) Barzaghi et al, 2007 "Refining the estimate of the Italian quasi-geoid"
 **) NASA, 1998 "The Development of the Joint NASA GSFC and the NIMA Geopotential Model EGM96"



Soluzione per MSL

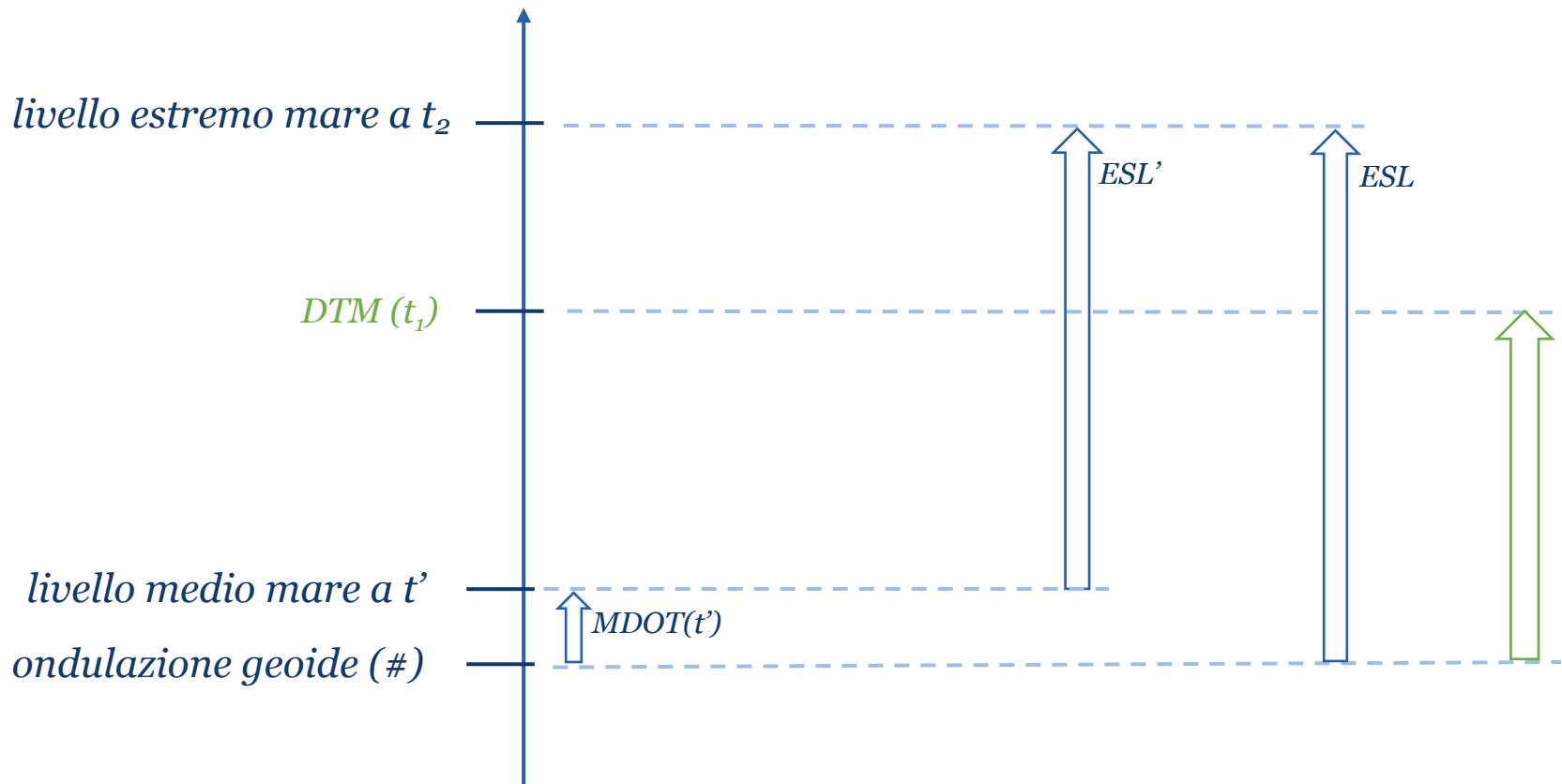


$$MSL = RSLR(t_0, t_2) + MDOT(t_1) - RSLR(t_0, t_1)$$

- *MSL*: futuro livello medio, riferito al geoida
- *RSLR* relative sea level rise (da IPCC)

*) geoida del sea level IPCC ignoto, ma ondulazione assunta localmente parallela a quella del geoida del DTM

Soluzione per ESL



$ESL = ESL' + MDOT(t')$

- ESL' : futuro livello estremo, rispetto livello medio di t'
- ESL : futuro livello estremo, rispetto geoide (= valori forniti da Kirezci et al 2020)

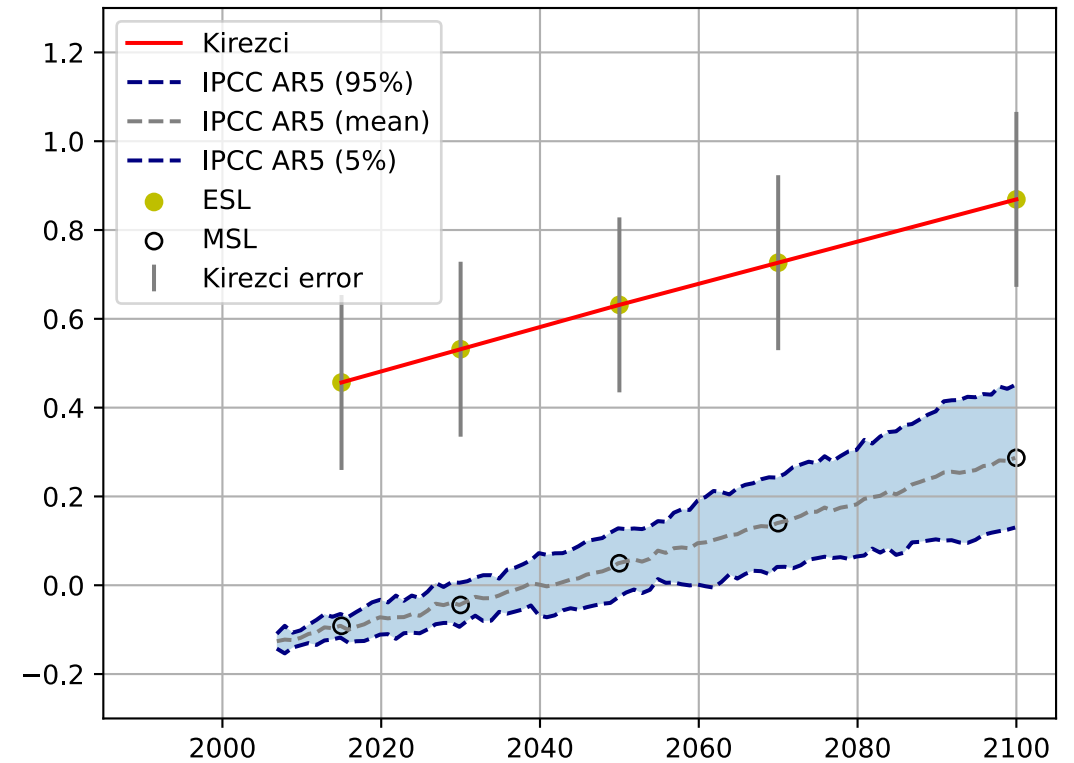
#) ondulazione del geoide del DTM (ITALGEO05) e del geoide di ESL (EGM96) sono localmente parallele e dunque assimilate

Lecce, RCP4.5

- corrisponde a riscaldamento a fine secolo di circa 1.8 C (in linea con Accordo di Parigi che lo limiterebbe a 1.5-2.0 C, *)
- crescita a fine secolo relativa del MSL dal 2015: 38 (25-52) cm
- Per ESL, considerati i tempi di ritorno annuali (RP=1)

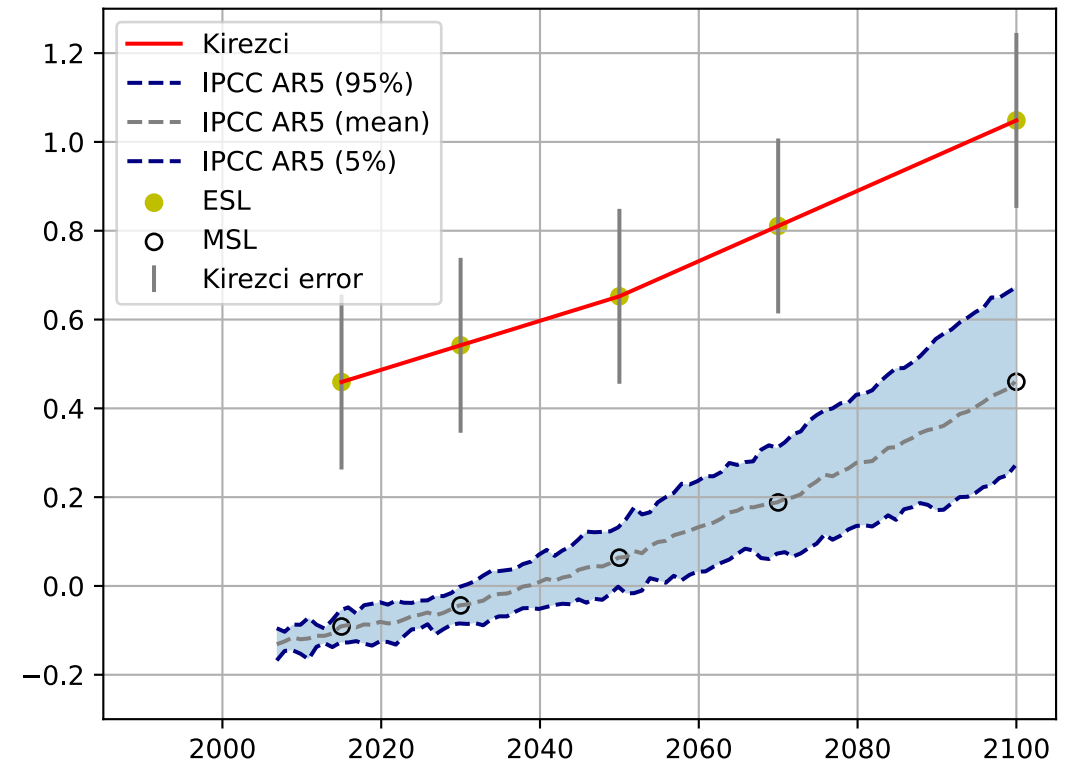
NB: Tutte le quote in tabella e nei risultati seguenti sono ortometriche (= riferite al geoide)

	year	esl	esl_err	p95	p05	msl
0	2015	0.456640	0.197	-0.064705	-0.117666	-0.091303
1	2030	0.531550	0.197	0.005625	-0.093686	-0.044399
2	2050	0.631430	0.197	0.128196	-0.027124	0.049476
3	2070	0.726454	0.197	0.242415	0.041195	0.139777
4	2100	0.868990	0.197	0.451147	0.129979	0.287037



*) IPCC: Table SPM-2, in: Summary for Policymakers (archived 16 July 2014), in: IPCC AR5 WG1 2013, p. 21
<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

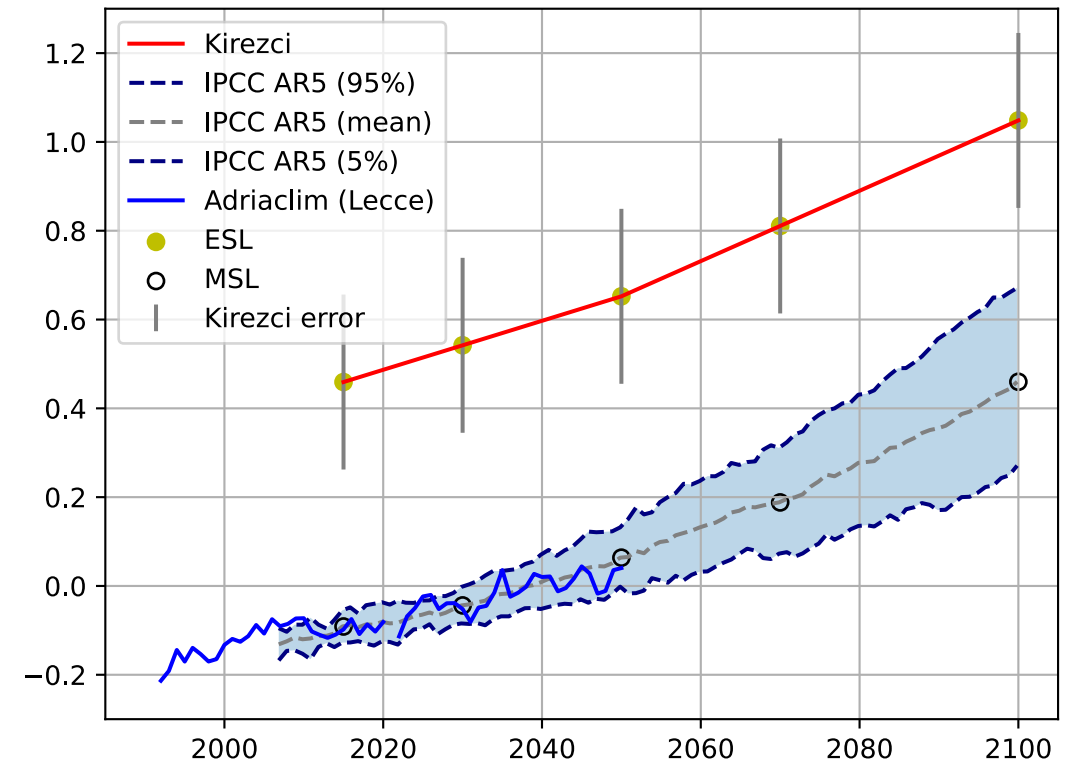
- *corrisponde a riscaldamento a fine secolo di circa 3.7 C (molto alto, ma abbastanza in linea con trend osservato, *)*
- *crescita relativa del MSL dal 2015 a fine secolo: 55 (40-73) cm*
- *differenze di livelli marini di RCP4.5 apprezzabili solo dal 2050*



	year	esl	esl_err	p95	p05	msl
0	2015	0.459247	0.197	-0.054963	-0.127480	-0.091303
1	2030	0.541980	0.197	-0.002235	-0.084414	-0.043824
2	2050	0.652290	0.197	0.131942	-0.001564	0.063717
3	2070	0.810734	0.197	0.310914	0.072773	0.188138
4	2100	1.048400	0.197	0.671322	0.270995	0.459824

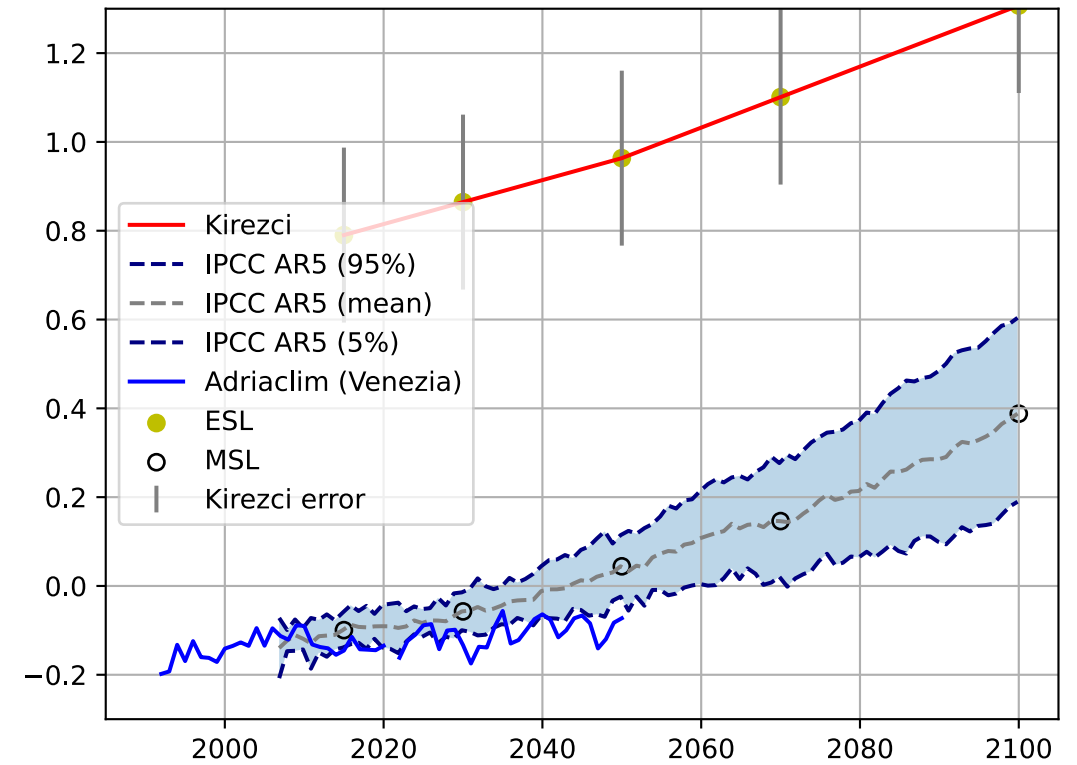
*) *Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report,*
https://report.ipcc.ch/ar6syrr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf § 2.3.1 (2023)

➤ *Proiezione di Adriaclim (modello subregionale) risulta nel range di confidenza di IPCC (globale)*



	year	esl	esl_err	p95	p05	msl
0	2015	0.459247	0.197	-0.054963	-0.127480	-0.091303
1	2030	0.541980	0.197	-0.002235	-0.084414	-0.043824
2	2050	0.652290	0.197	0.131942	-0.001564	0.063717
3	2070	0.810734	0.197	0.310914	0.072773	0.188138
4	2100	1.048400	0.197	0.671322	0.270995	0.459824

- *Previsione di Adriacim (modello subregionale) restituisce previsione di innalzamento più lento che in IPCC*



Calcolo inondazione costiera

- *uso del bathtub model:*
solo zone (x,y) del terreno (da DTM) a quota inferiore a quella del mare all'anno t (H(t)) e connesse alla costa vengono inondate

- *raffigurazione mediante isolinee corrispondenti alla soluzione dell'equazione:*

$$H(t) - \text{DTM}(x, y) = 0$$

- *soluzione numerica in qGIS mediante comando*
`gdal_countour -fl <H>`



- *rimozione delle isolinee non connesse alla costa*
- *sovrapposizione a ortofoto*
- *estrazione di transetto perpendicolare alla costa via qGIS plugin profiletool*
- *aggiunta su transetto dei livelli ortometrici <H> di interesse*



Contenuti

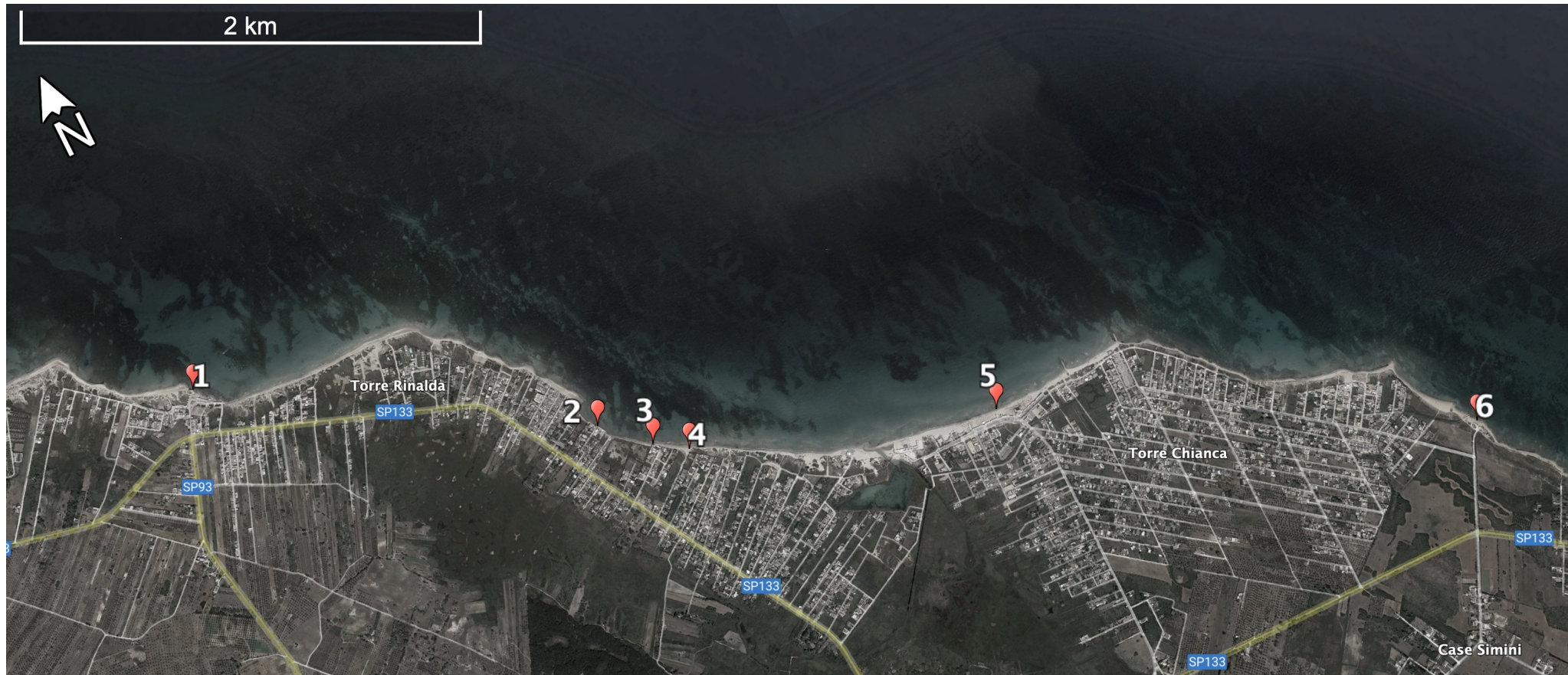
Introduzione

Metodo

Risultati

Conclusioni

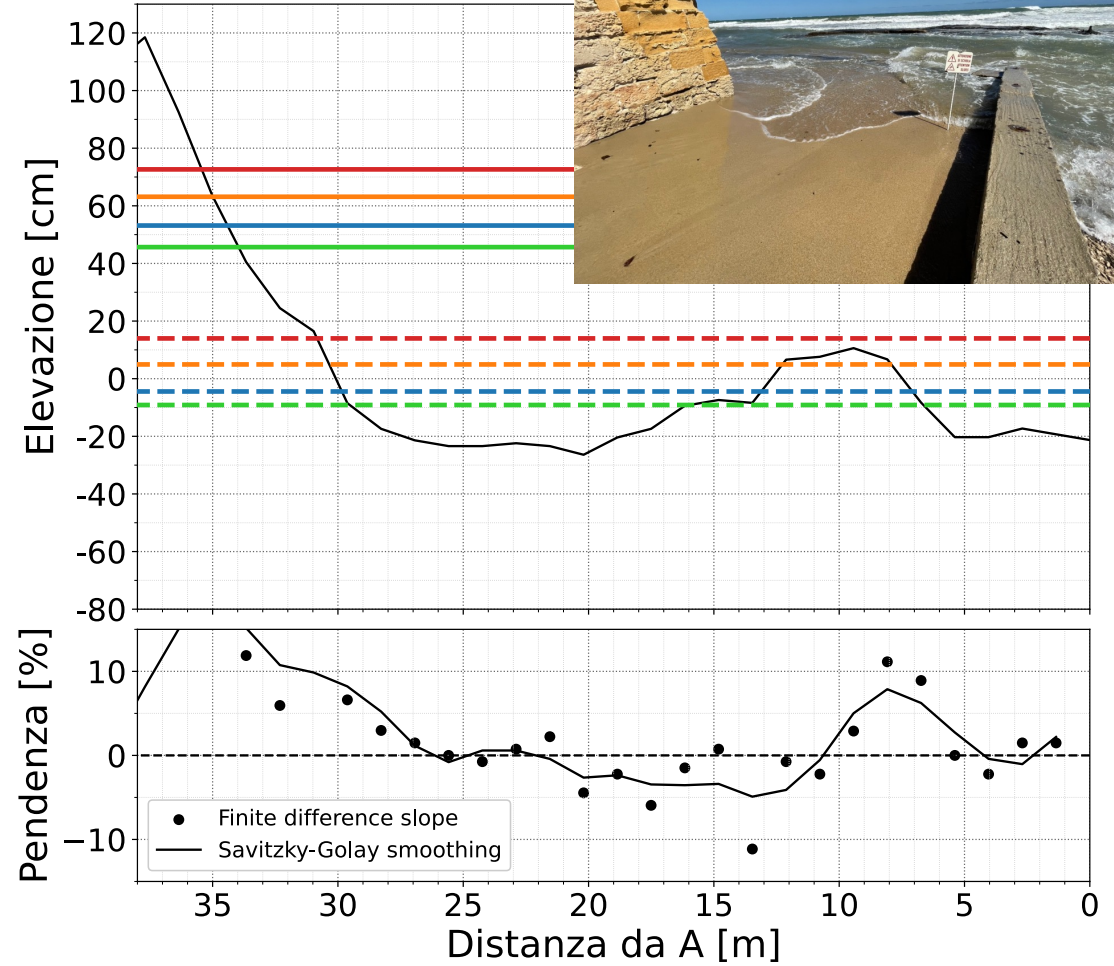
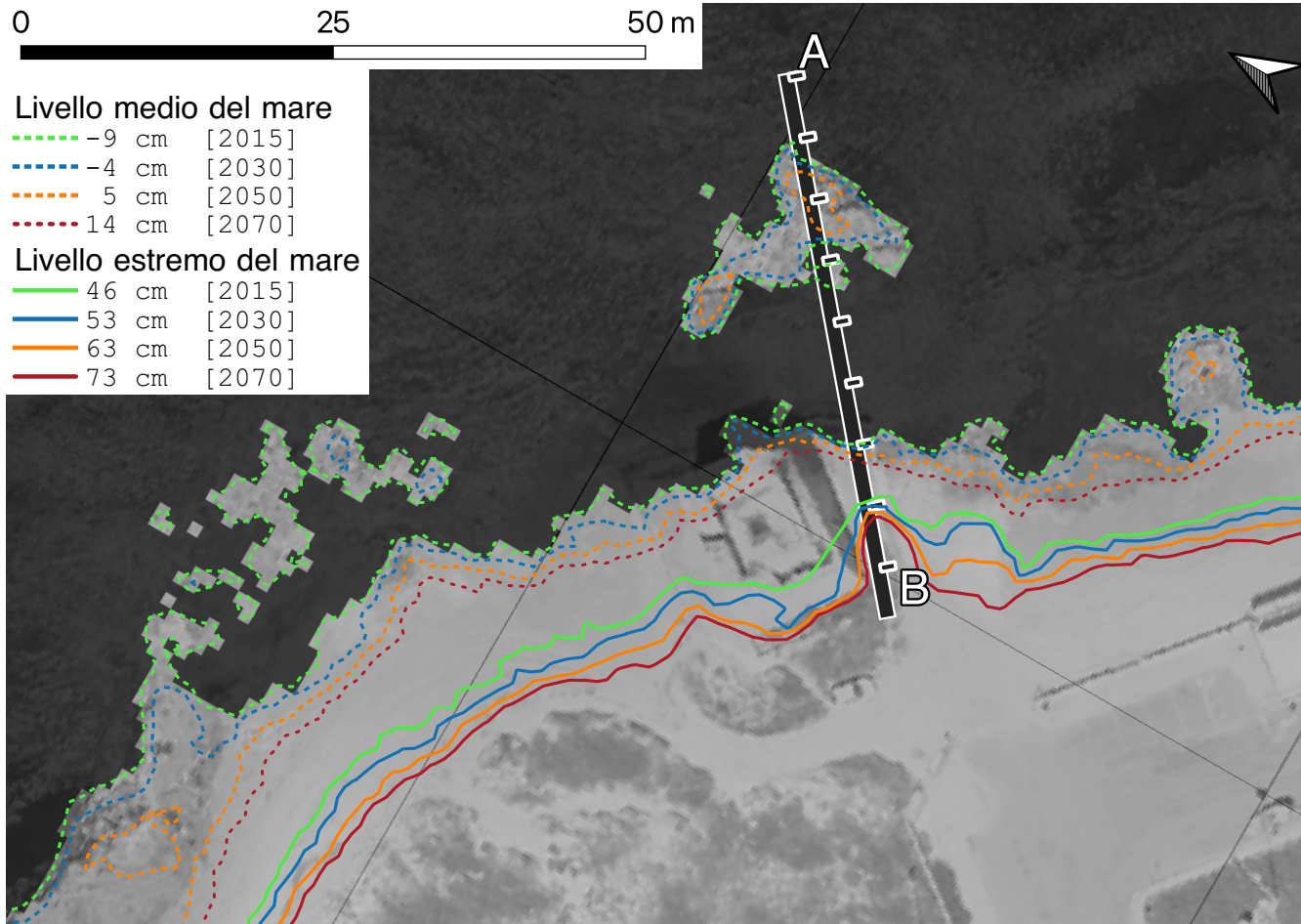
Siti di interesse (POI)



Criteri di scelta

- *beni culturali*
- *abitazioni*
- *lidi*

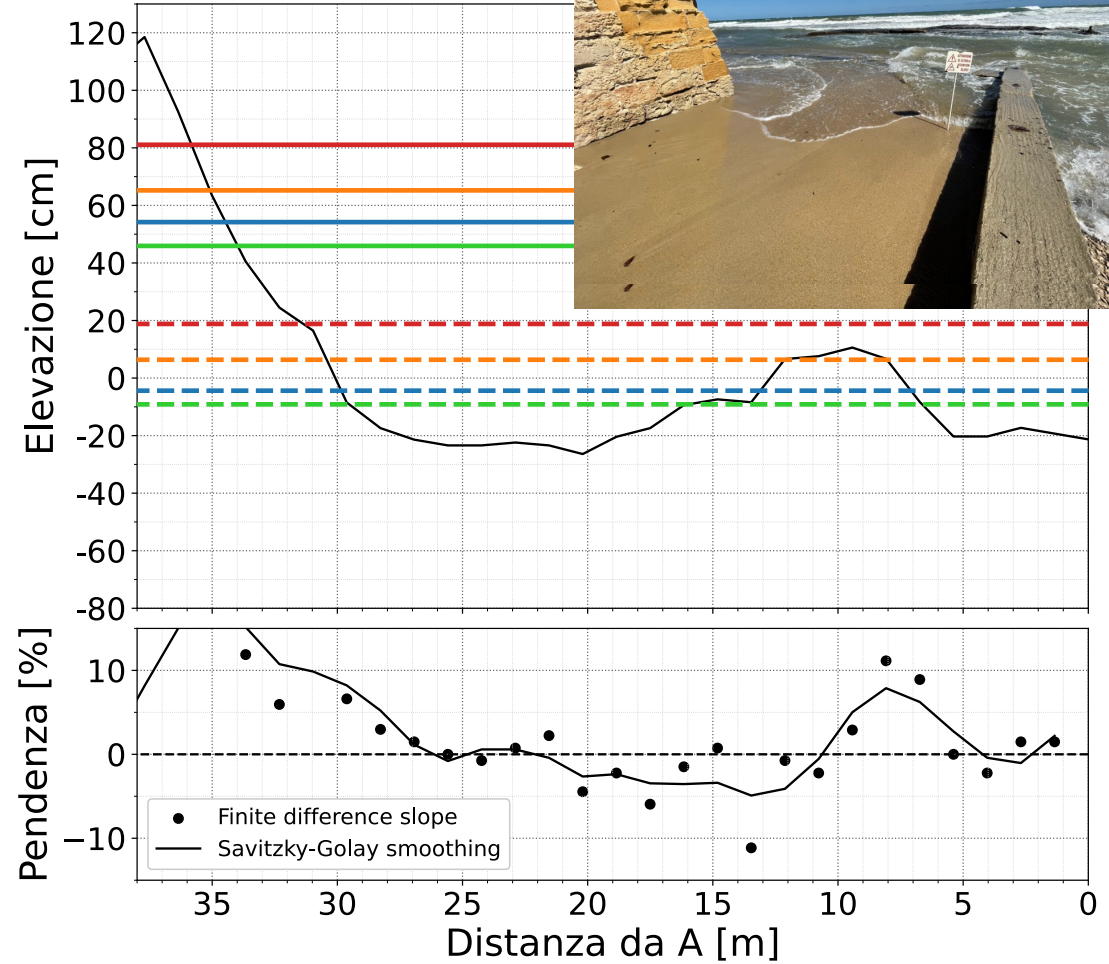
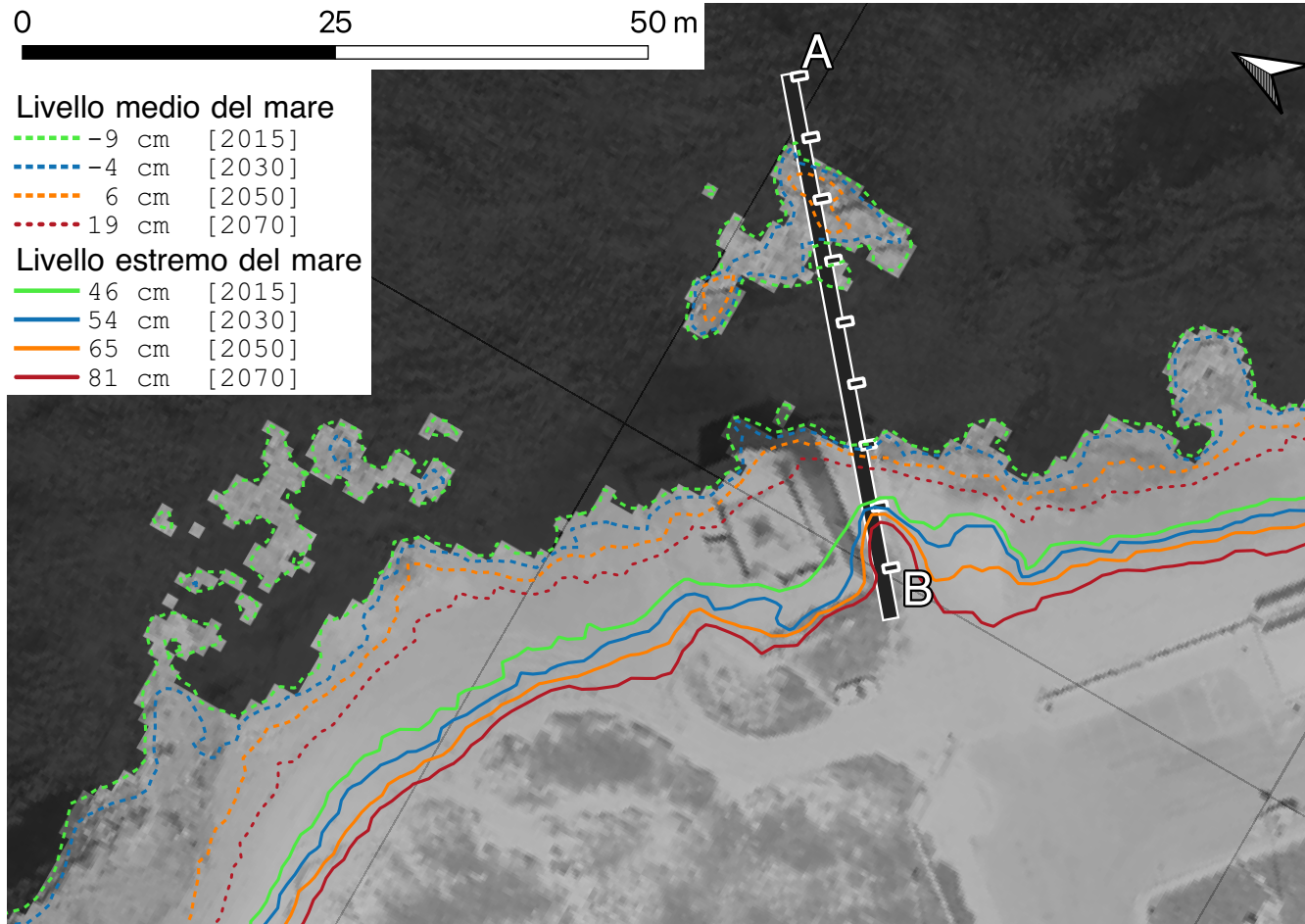
POI1: Torre costiera - Torre Rinalda [40.482001, 18.158928]



(scenario RCP4.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

POI1: Torre costiera - Torre Rinalda [40.482001, 18.158928]

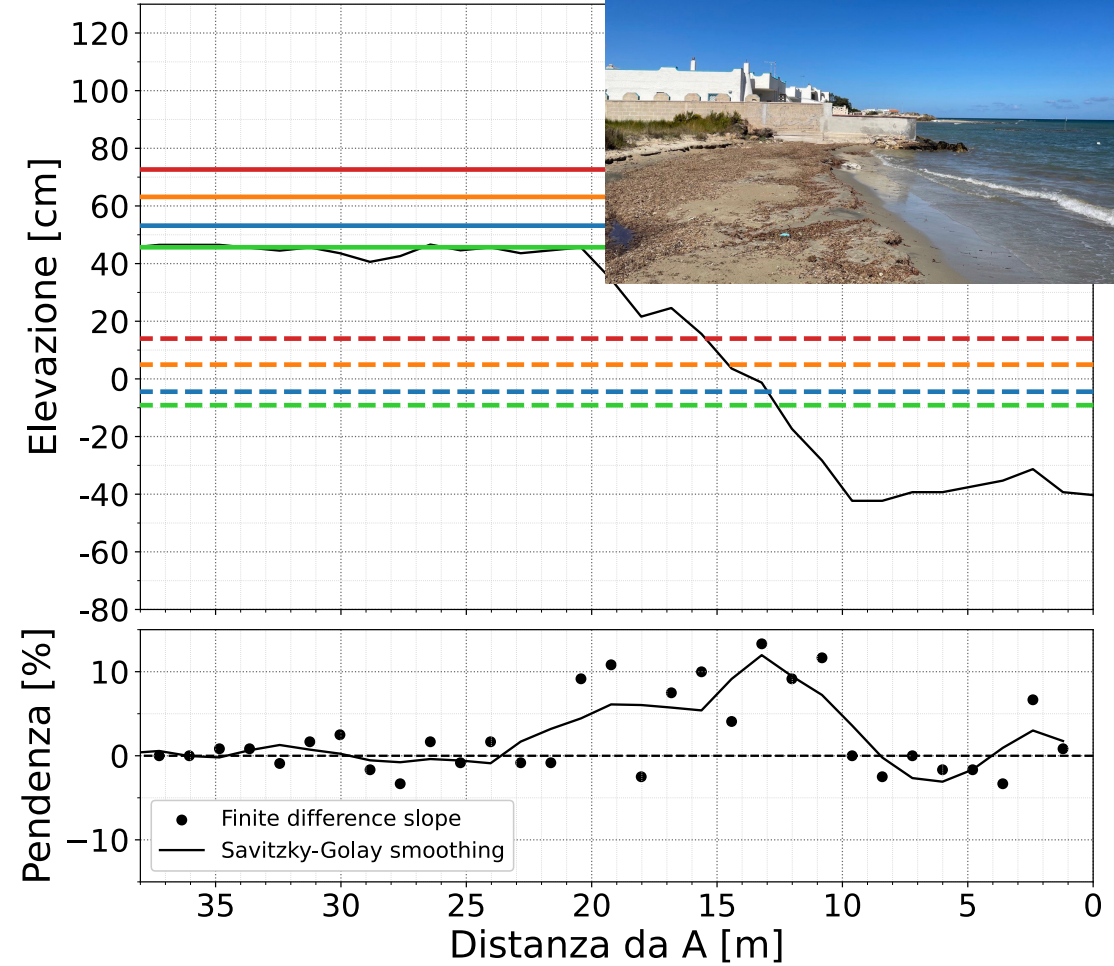
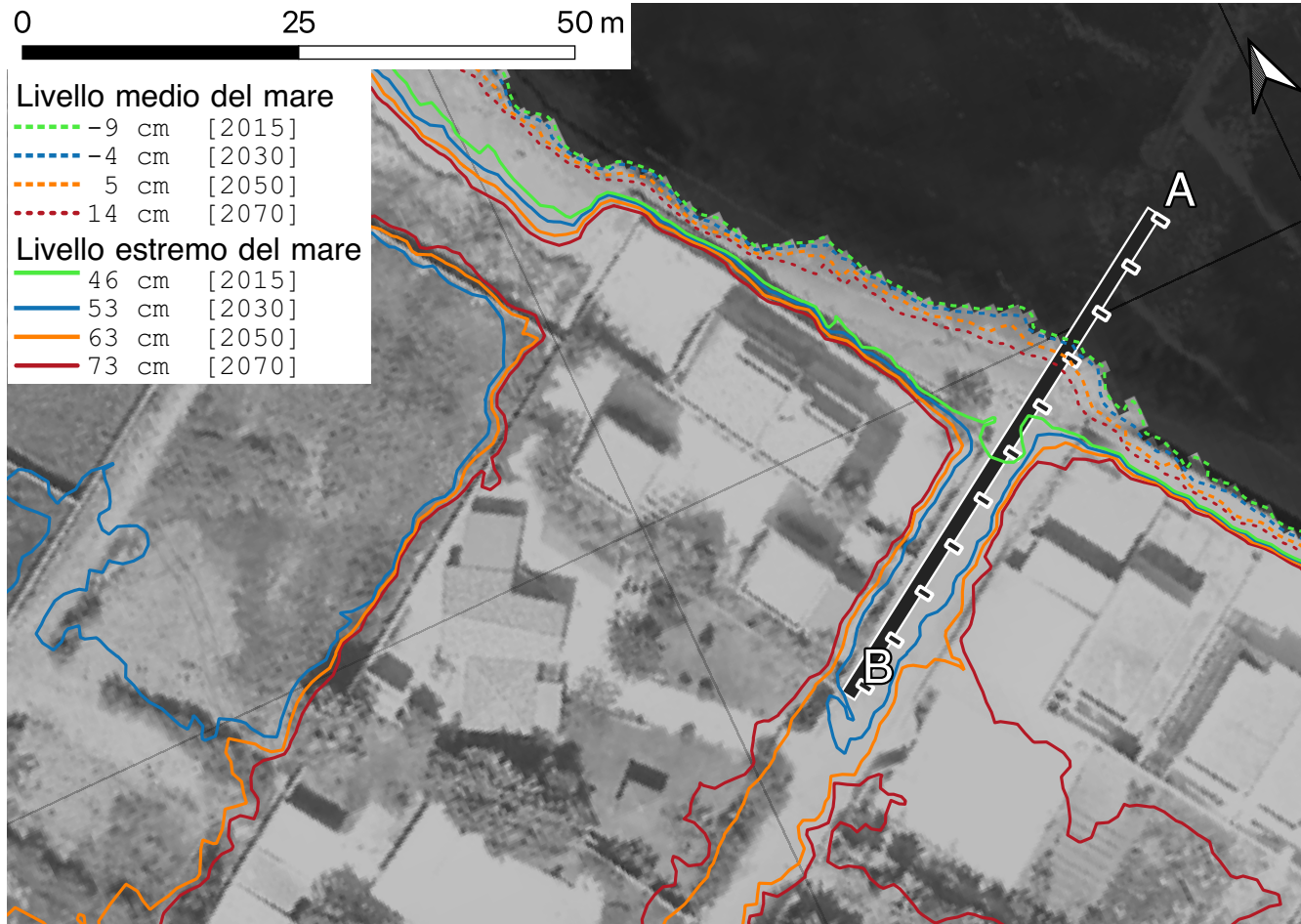


(scenario RCP8.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

POI2: via Rapallo – Spiaggiabella [40.474069, 18.175939]

a Nord di v. Lido Smeraldo →

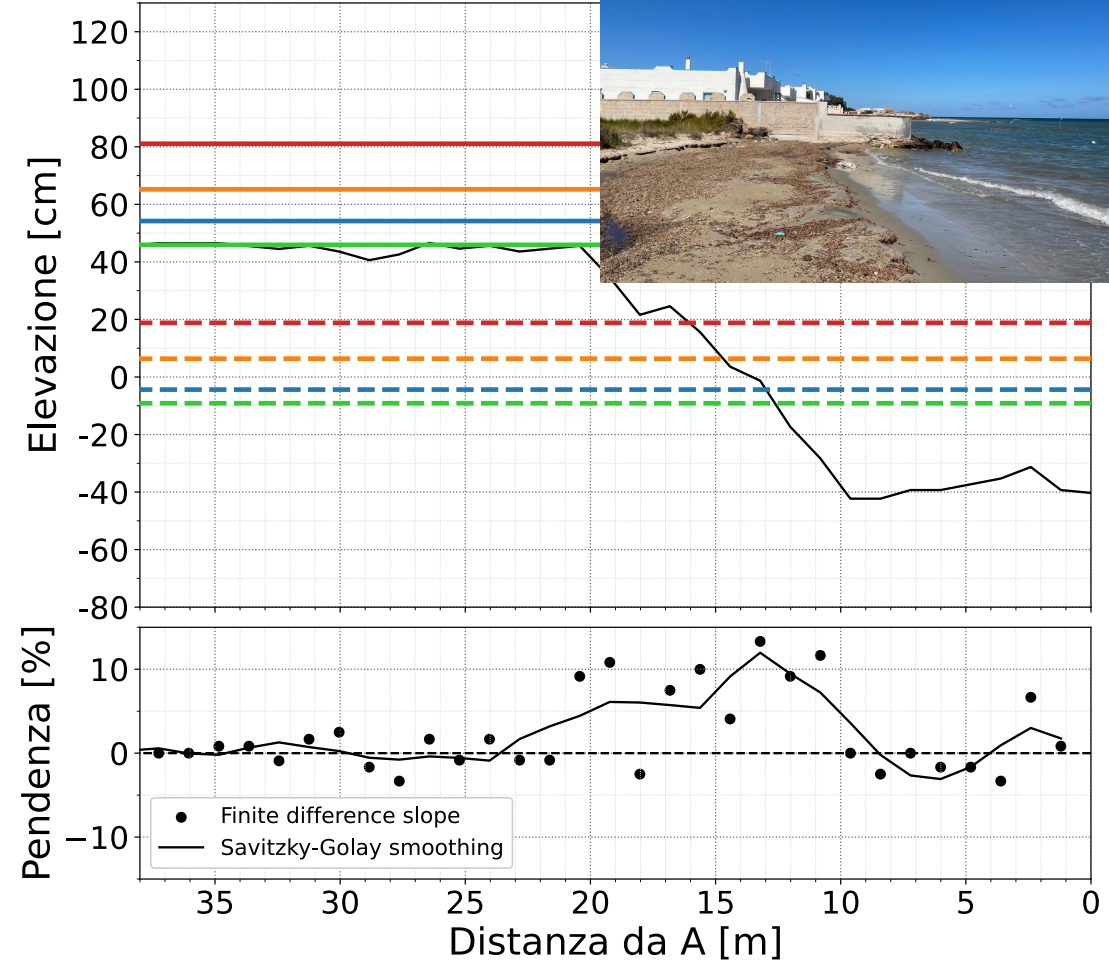
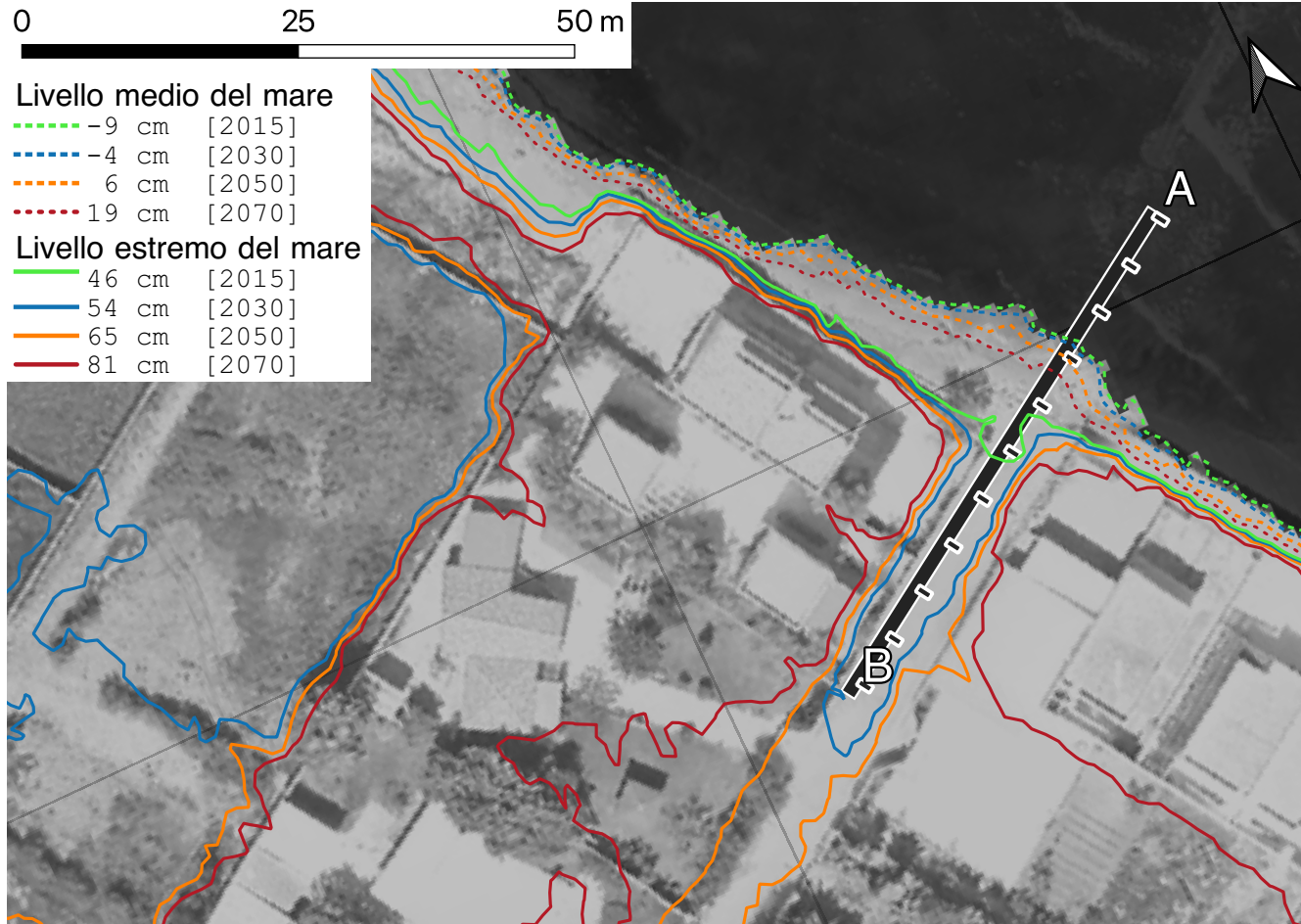


(scenario RCP4.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

POI2: via Rapallo – Spiaggiabella [40.474069, 18.175939]

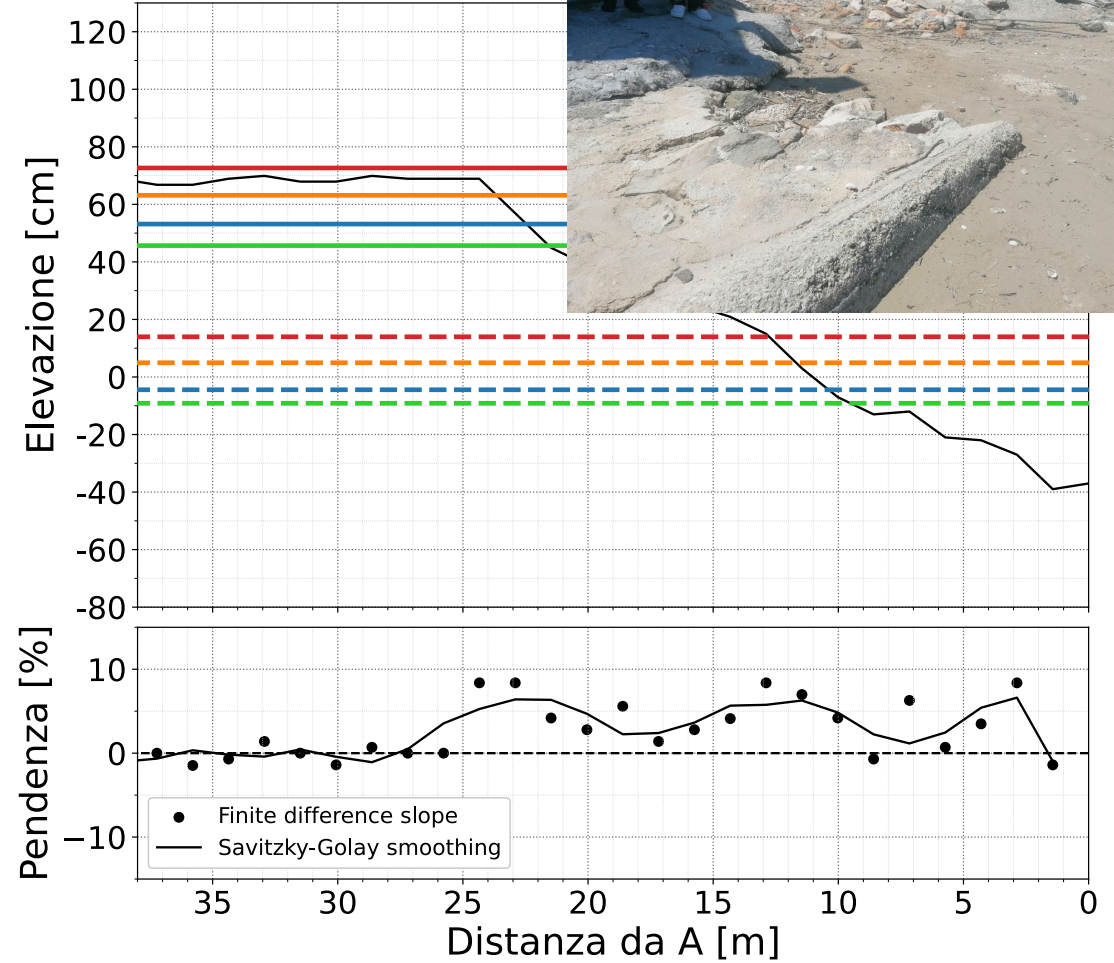
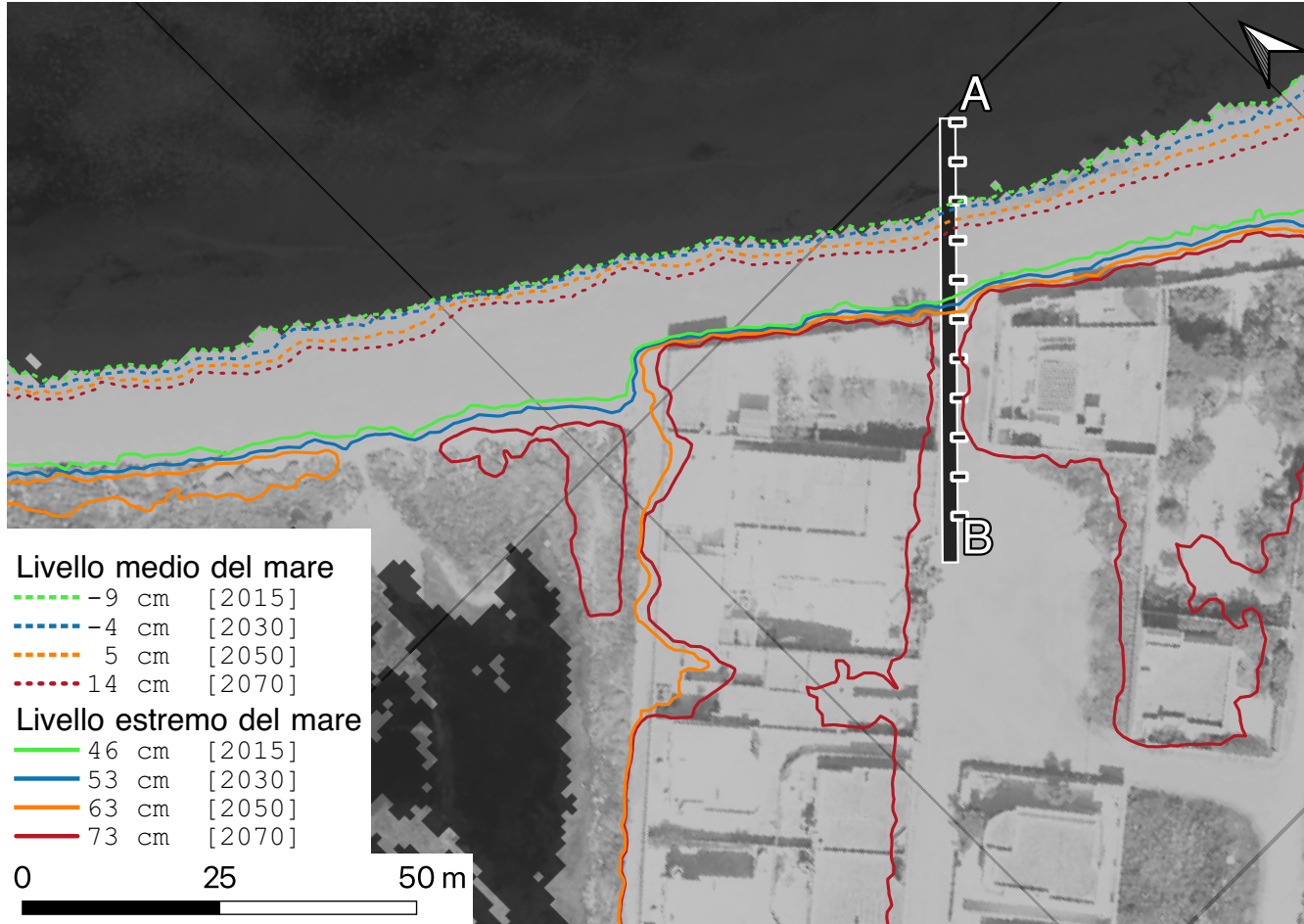
a Nord di v. Lido Smeraldo →



(scenario RCP8.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

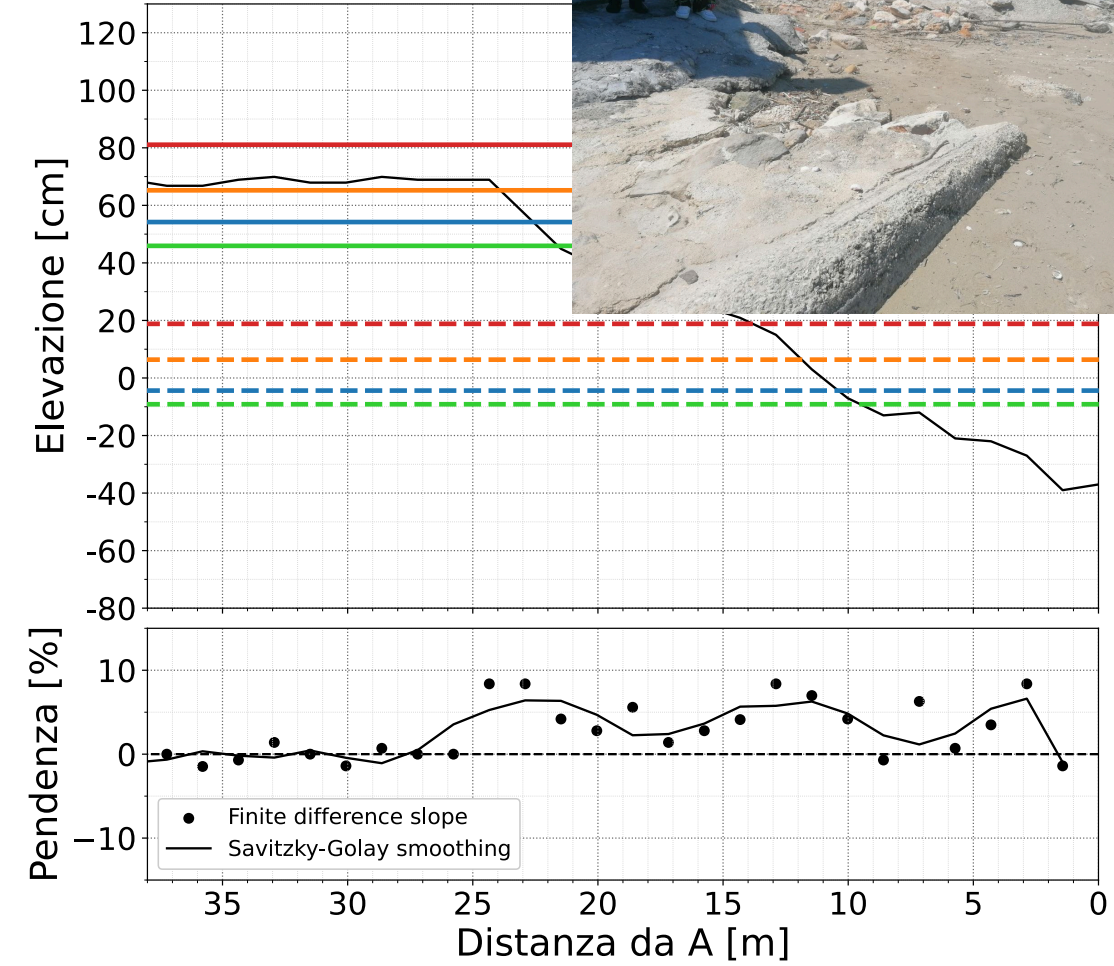
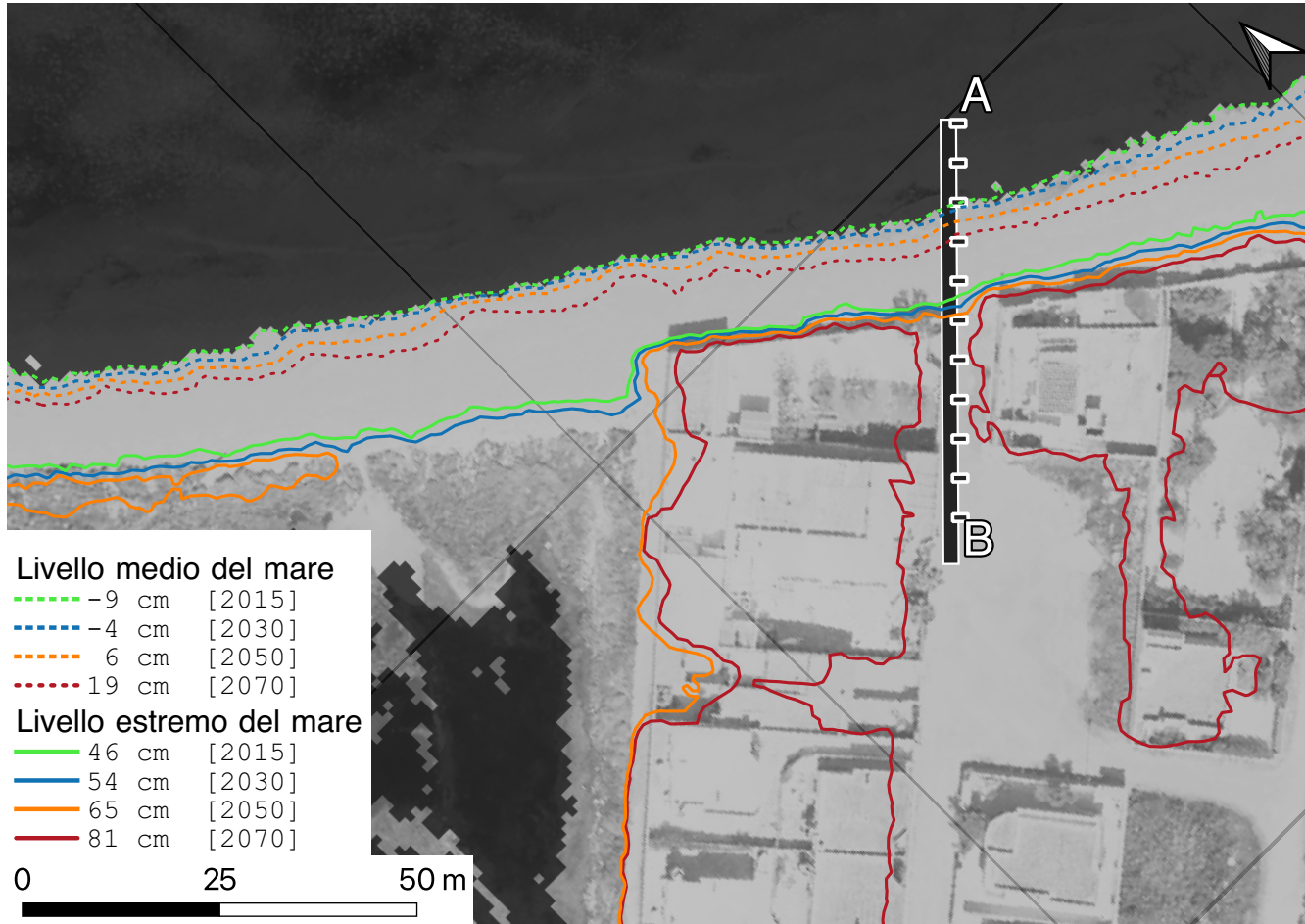
POI3: via Portofino – Spiaggiabella [40.472543, 18.177979]



(scenario RCP4.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

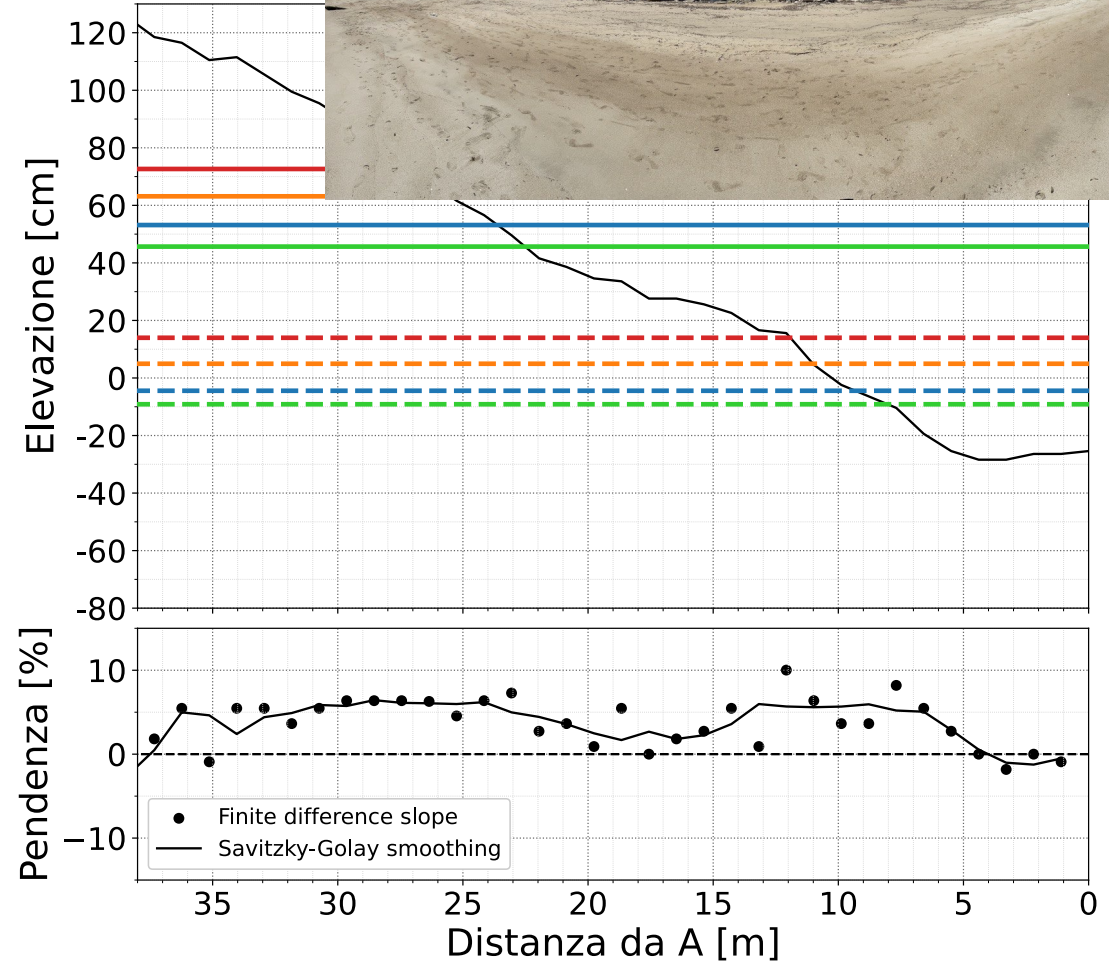
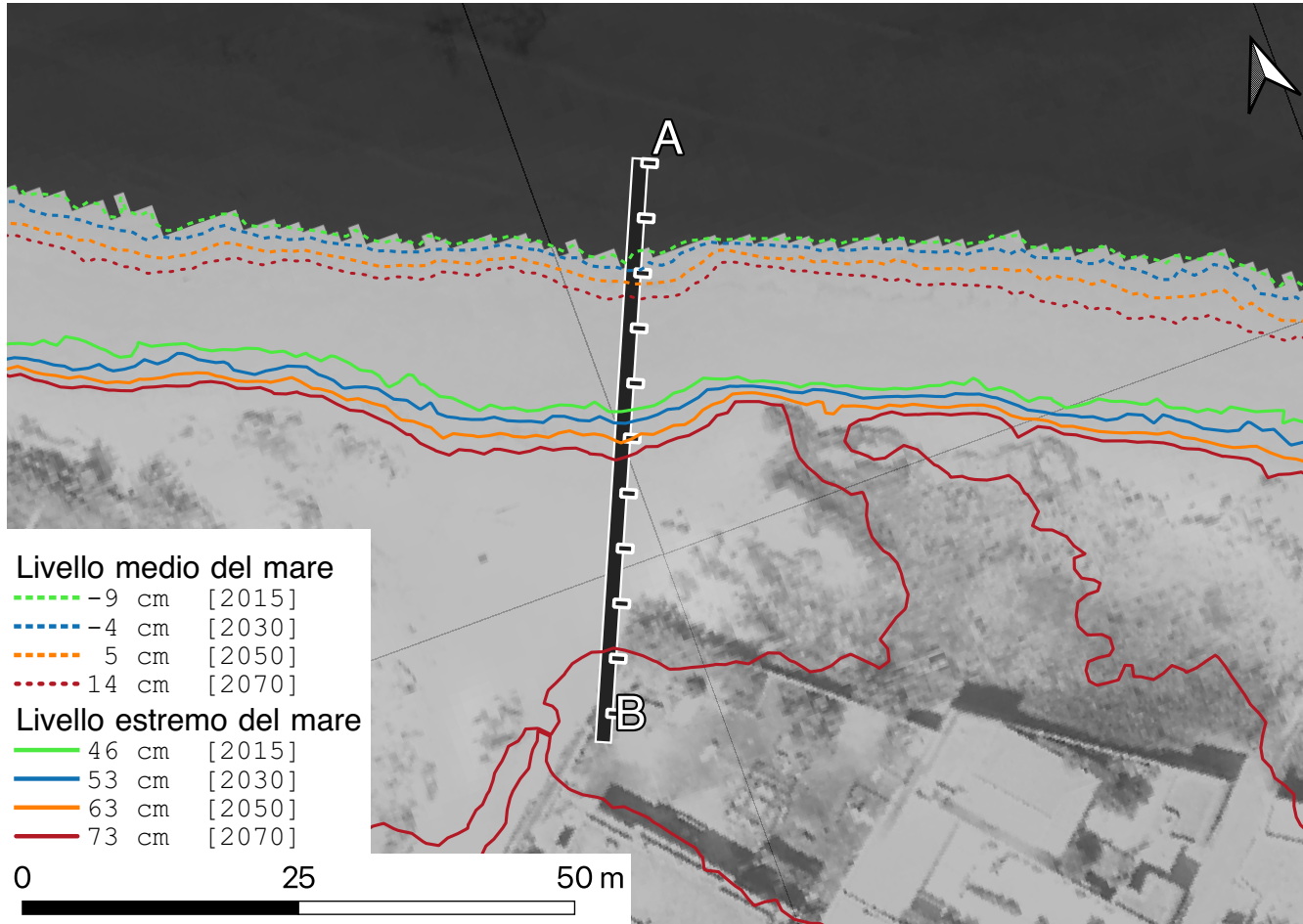
POI3: via Portofino – Spiaggiabella [40.472543, 18.177979]



(scenario RCP8.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

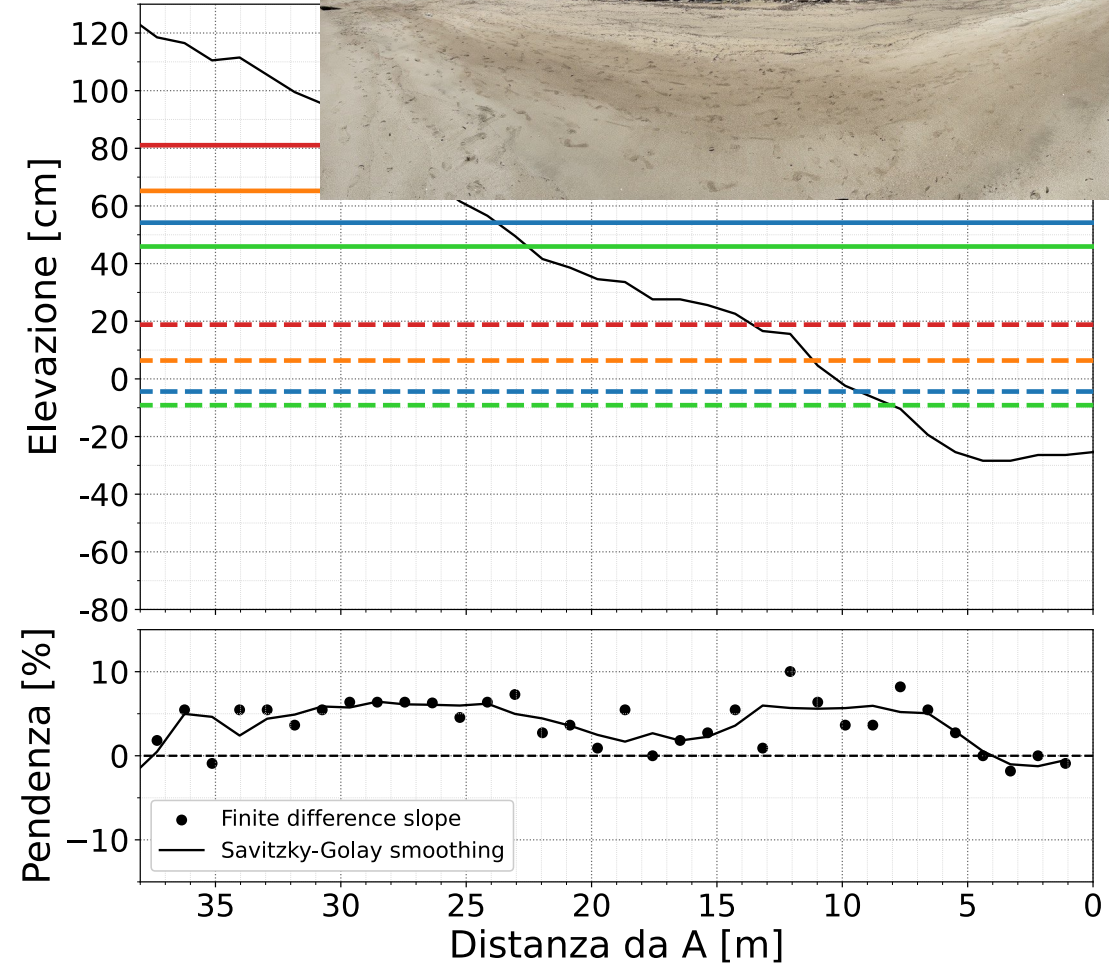
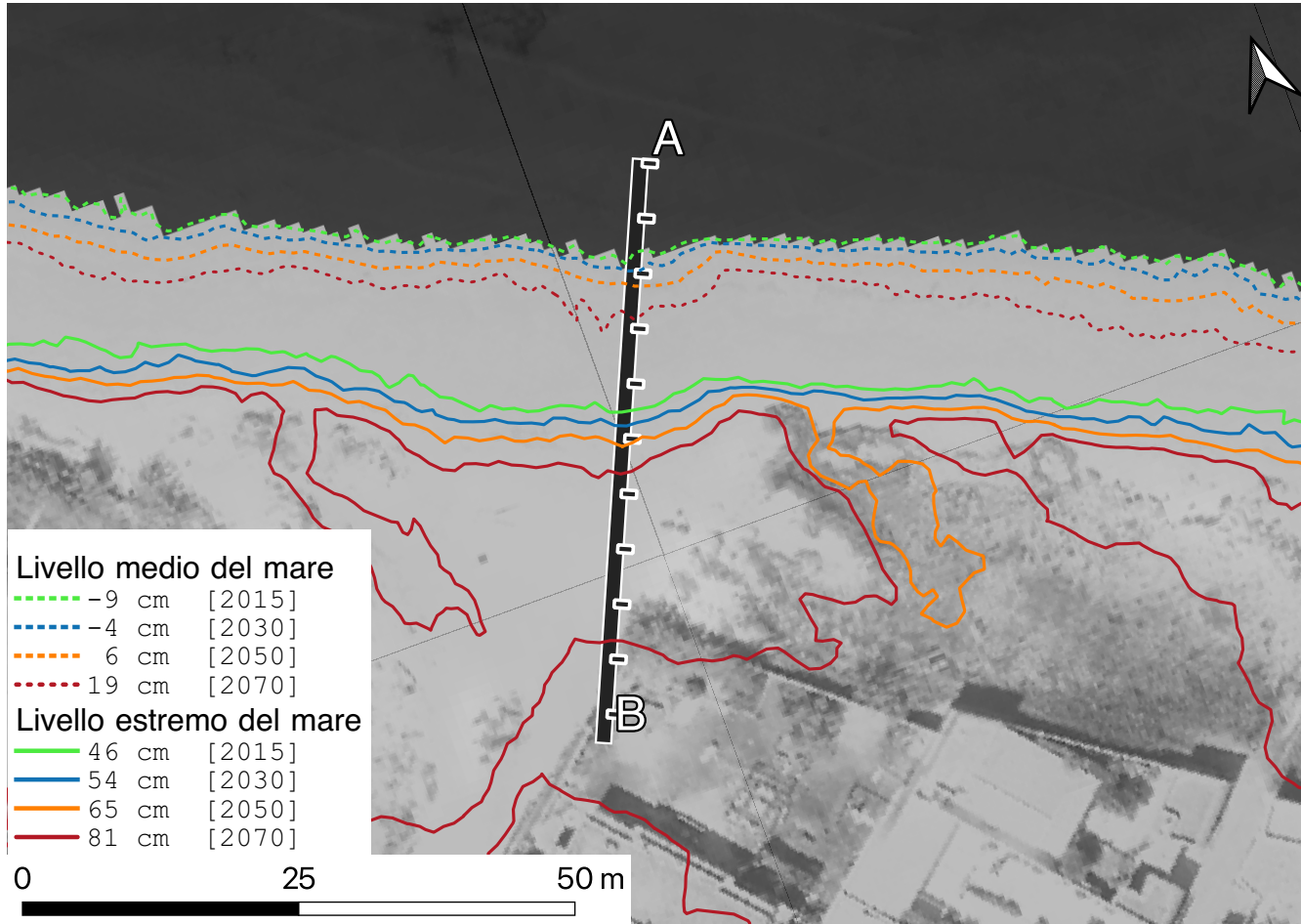
POI4: via Taormina – Spiaggiabella [40.471784, 18.179462]



(scenario RCP4.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

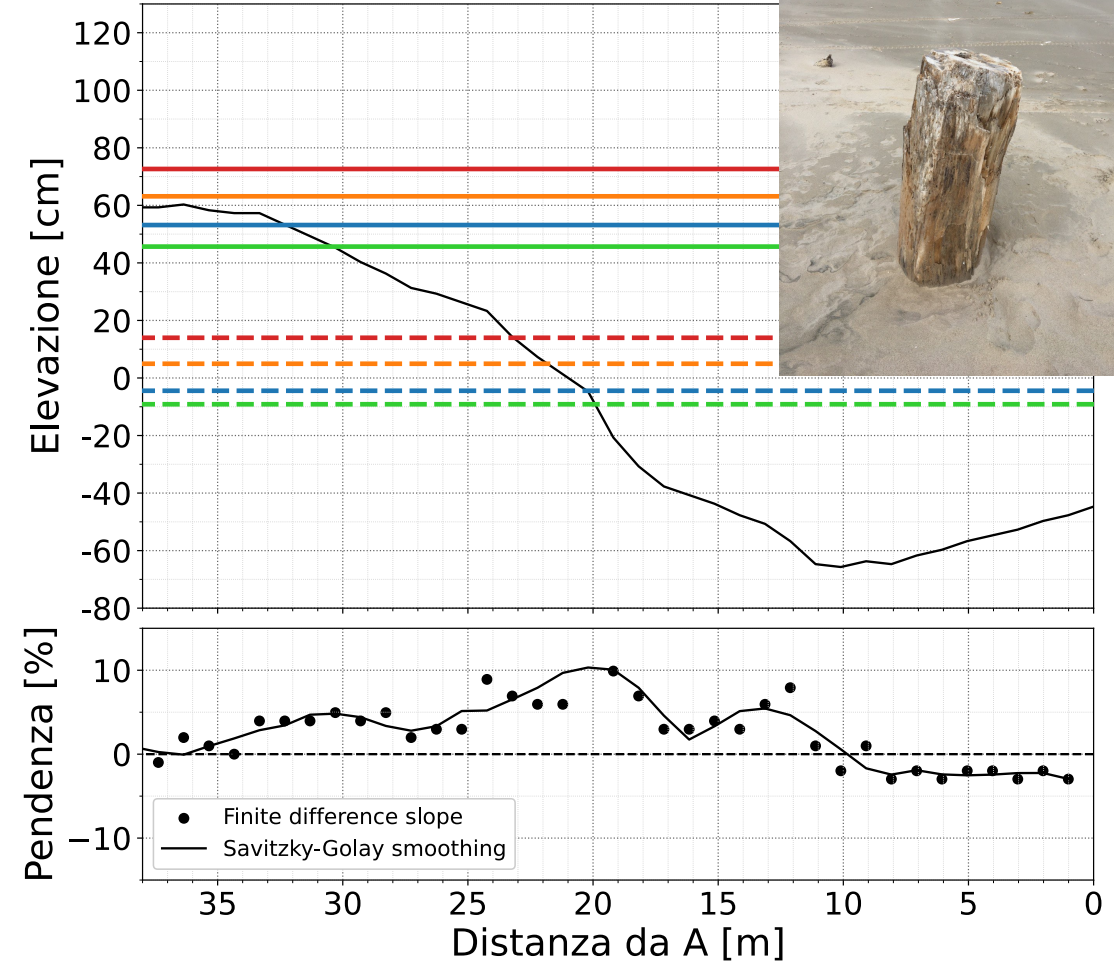
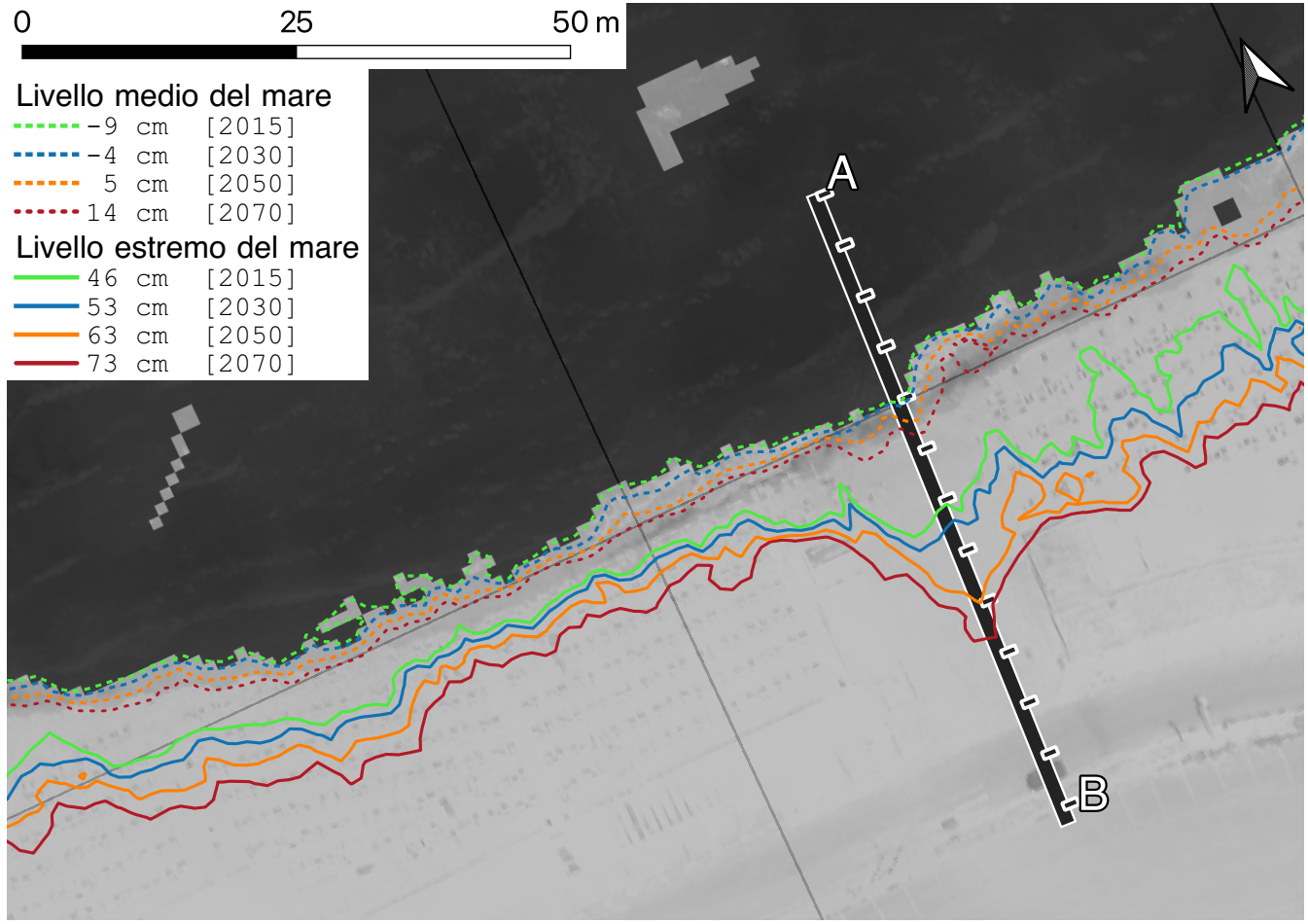
POI4: via Taormina – Spiaggiabella [40.471784, 18.179462]



(scenario RCP8.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

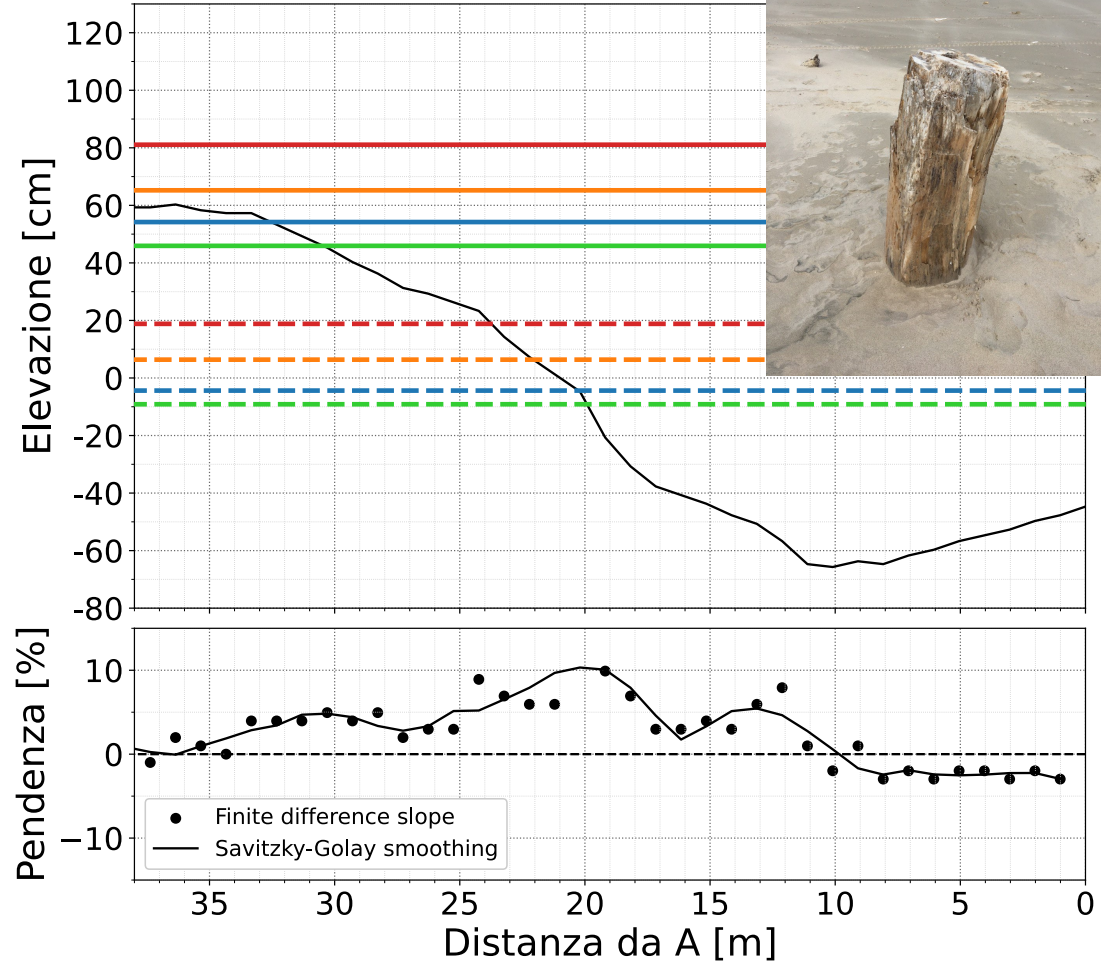
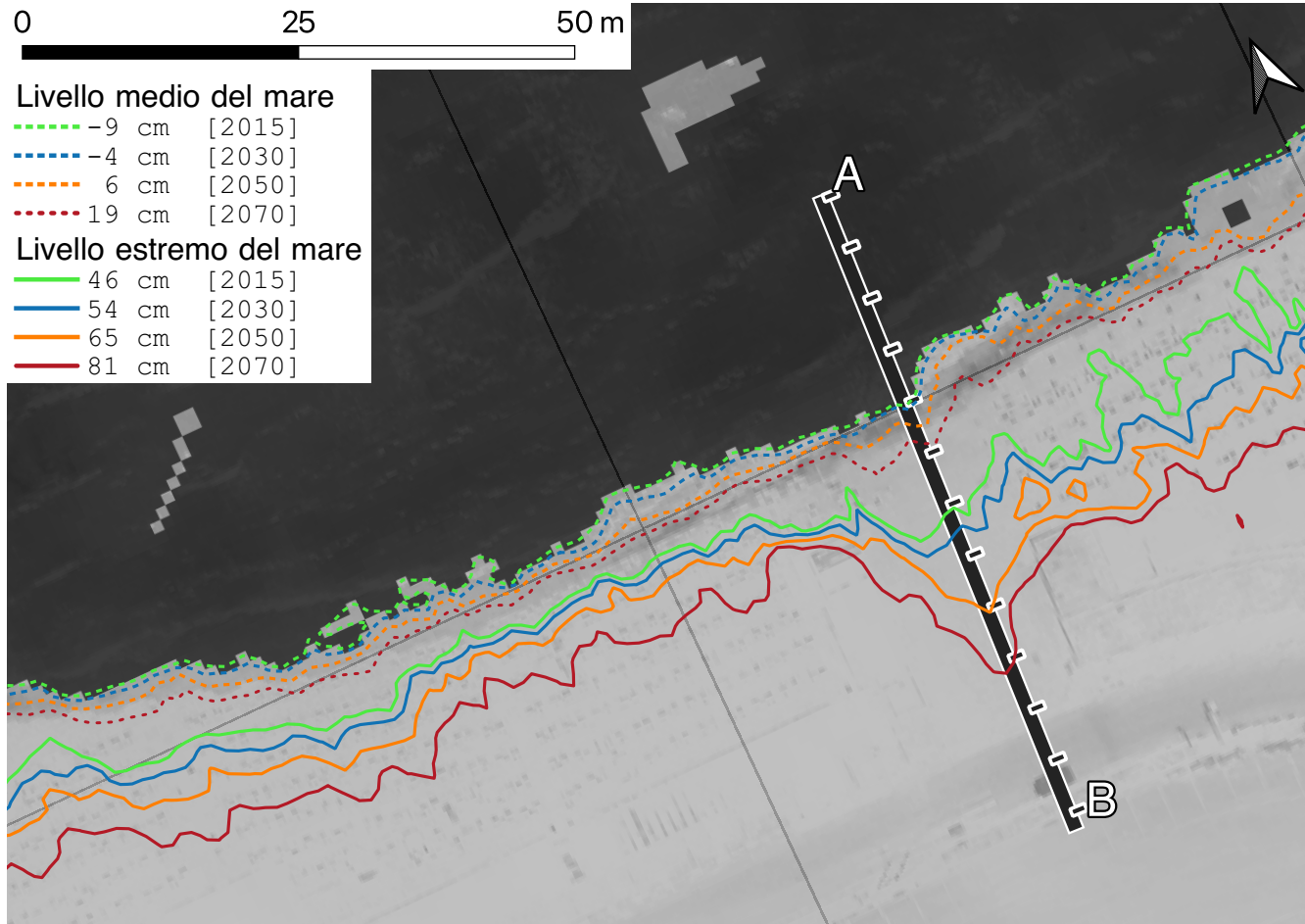
POI5: Lido Approdo – Torre Chianca [40.468147, 18.192856]



(scenario RCP4.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

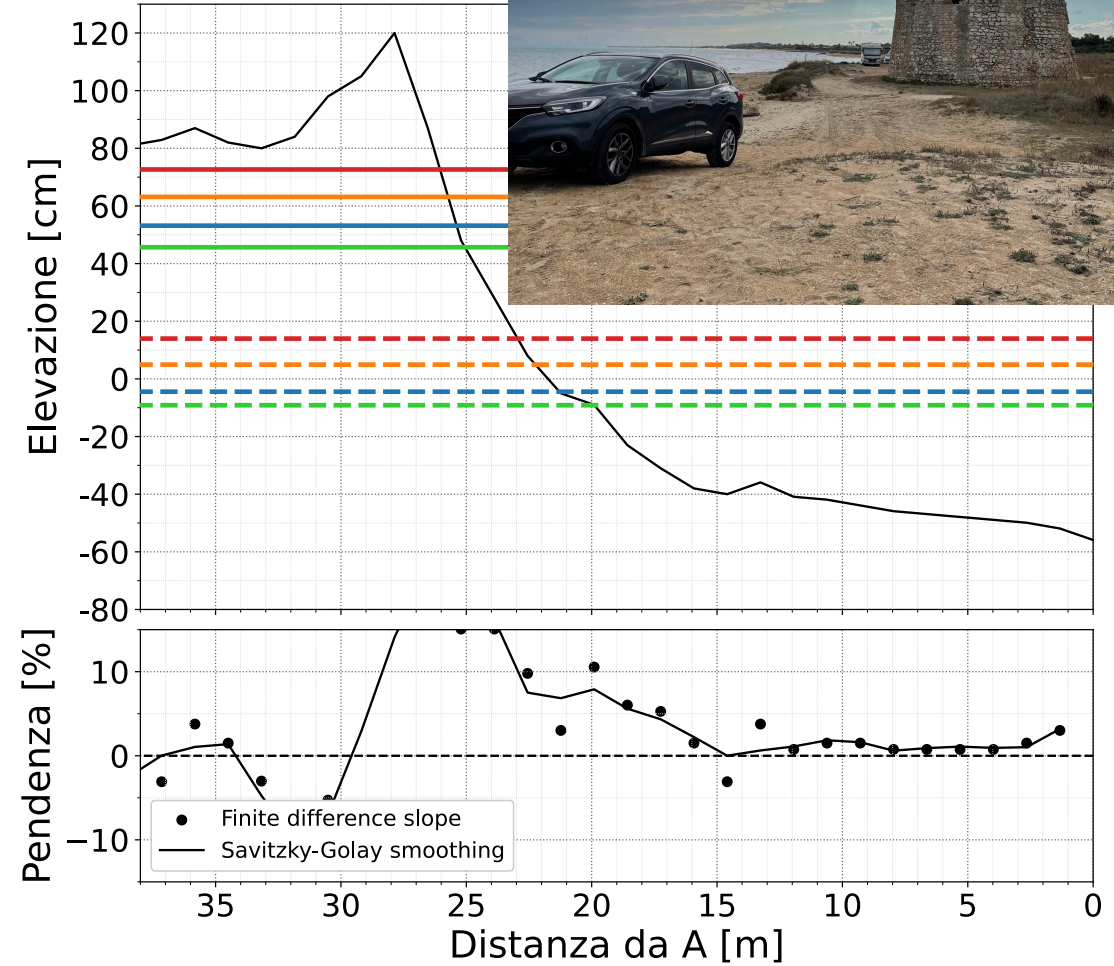
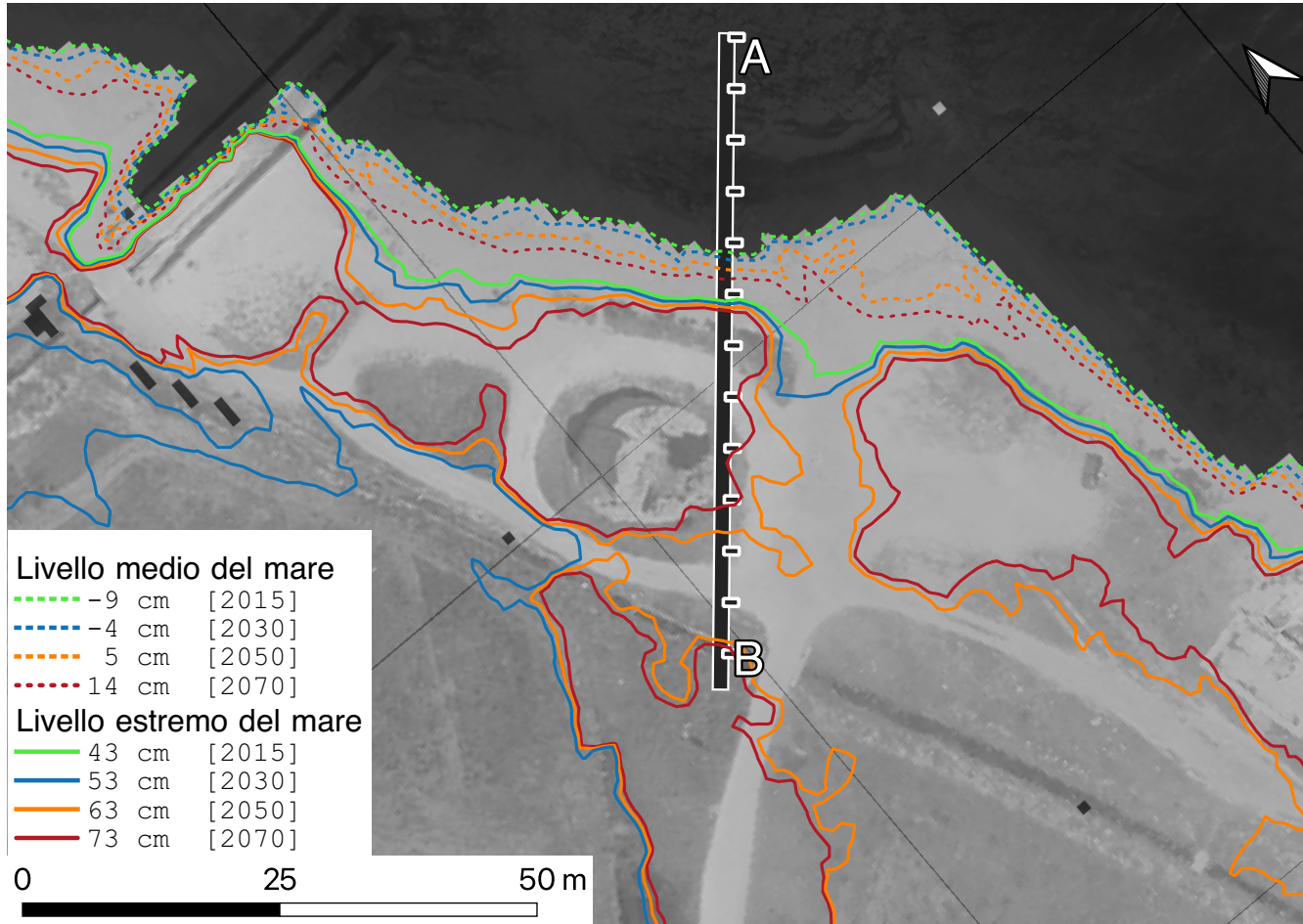
POI5: Lido Approdo – Torre Chianca [40.468147, 18.192856]



(scenario RCP8.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

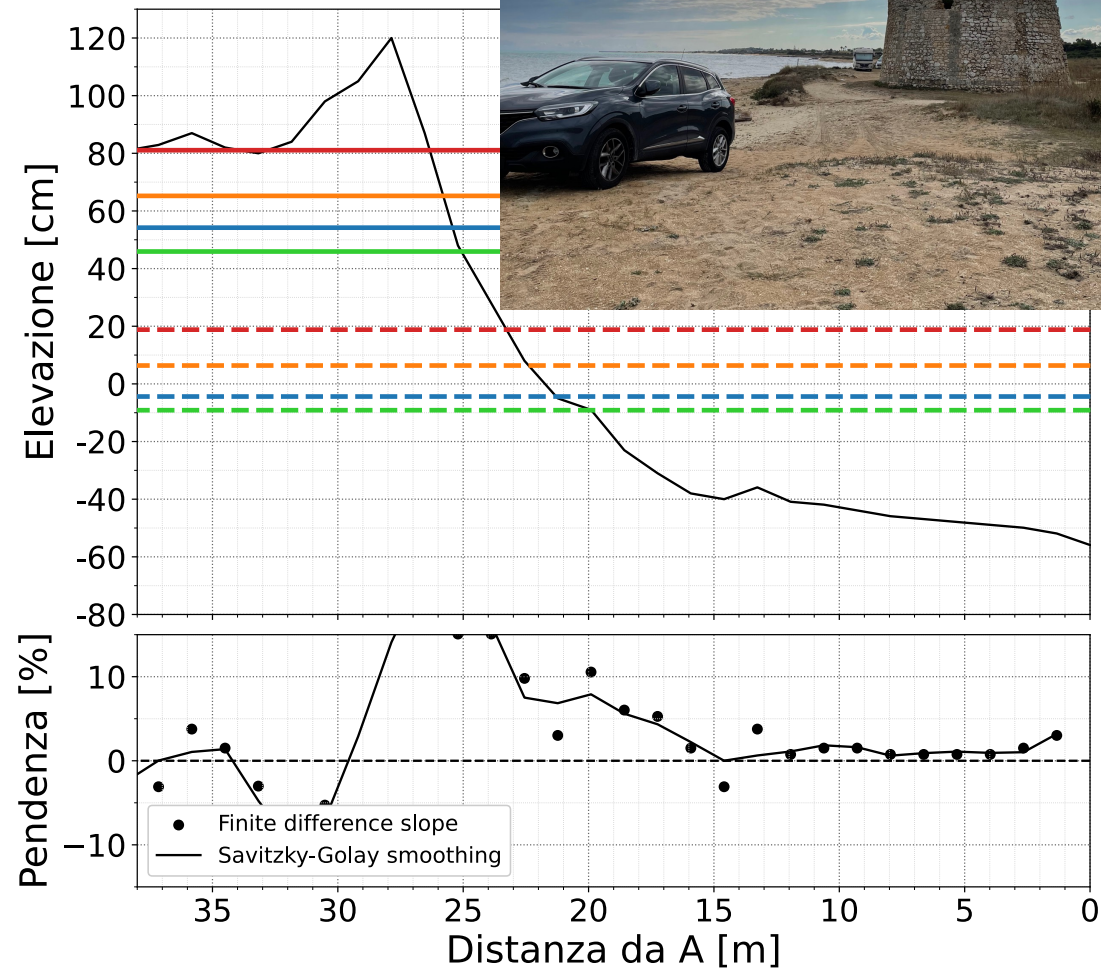
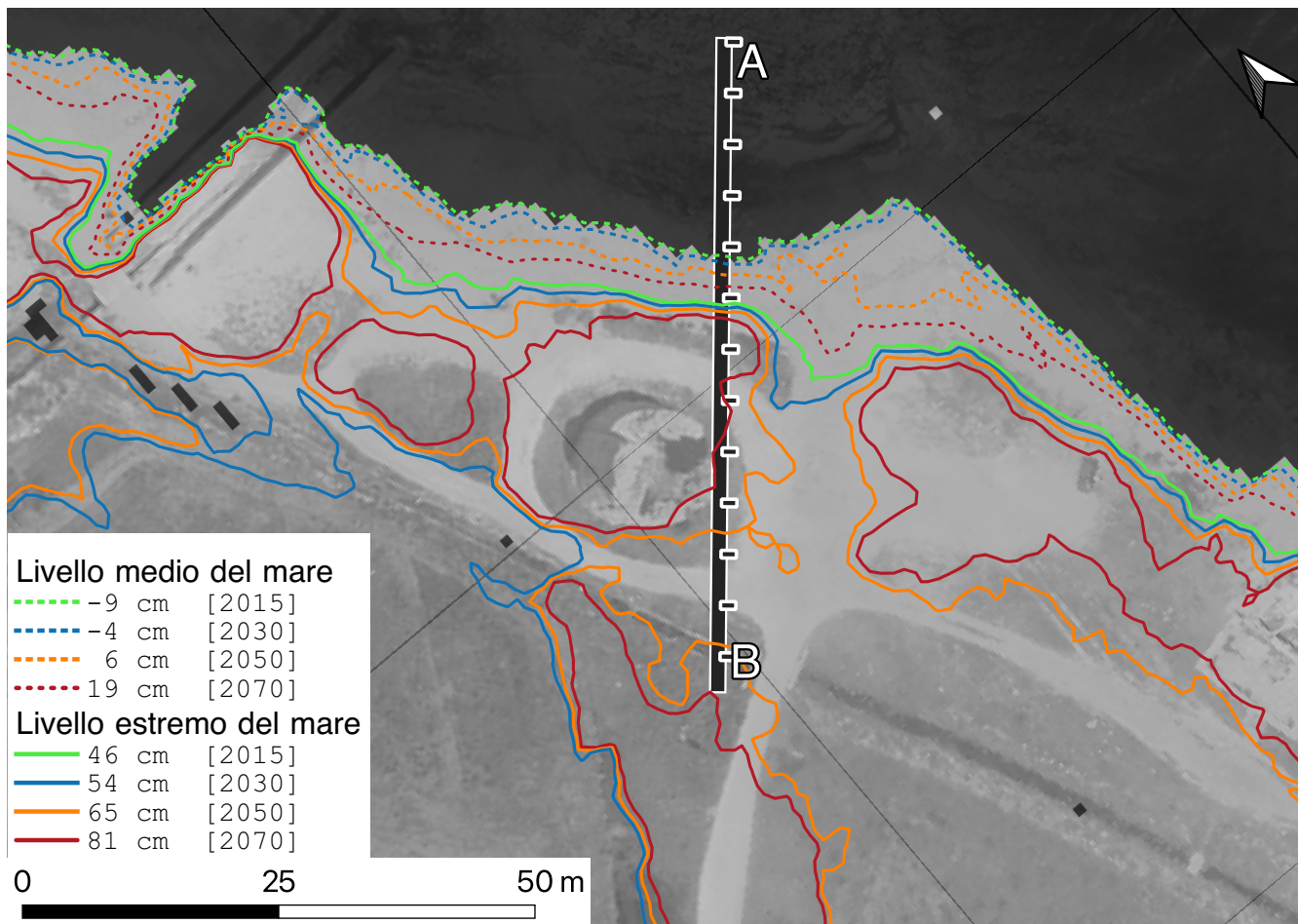
POI6: Torre costiera – Torre Chianca [40.459758, 18.214486]



(scenario RCP4.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

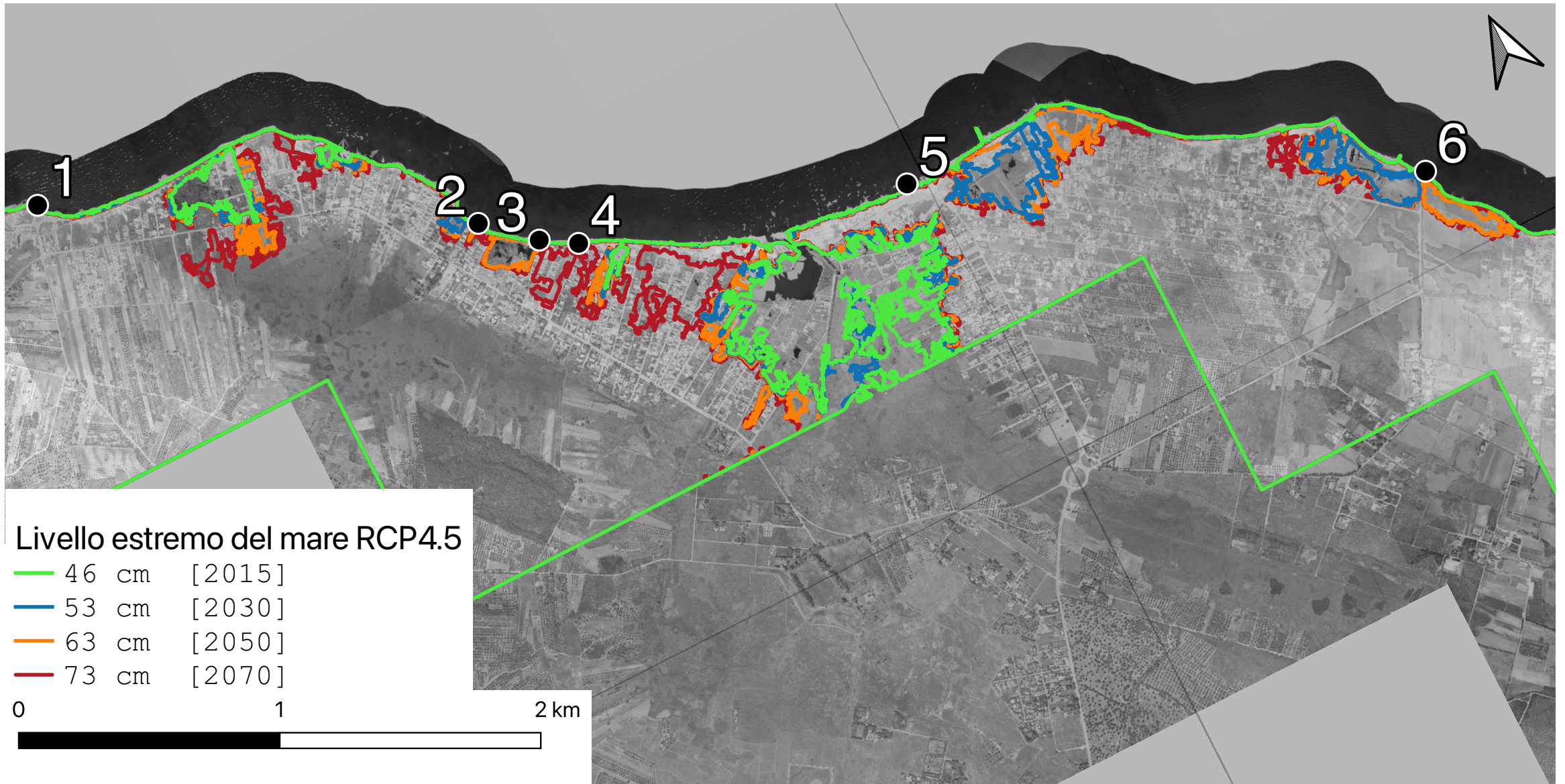
POI6: Torre costiera – Torre Chianca [40.459758, 18.214486]



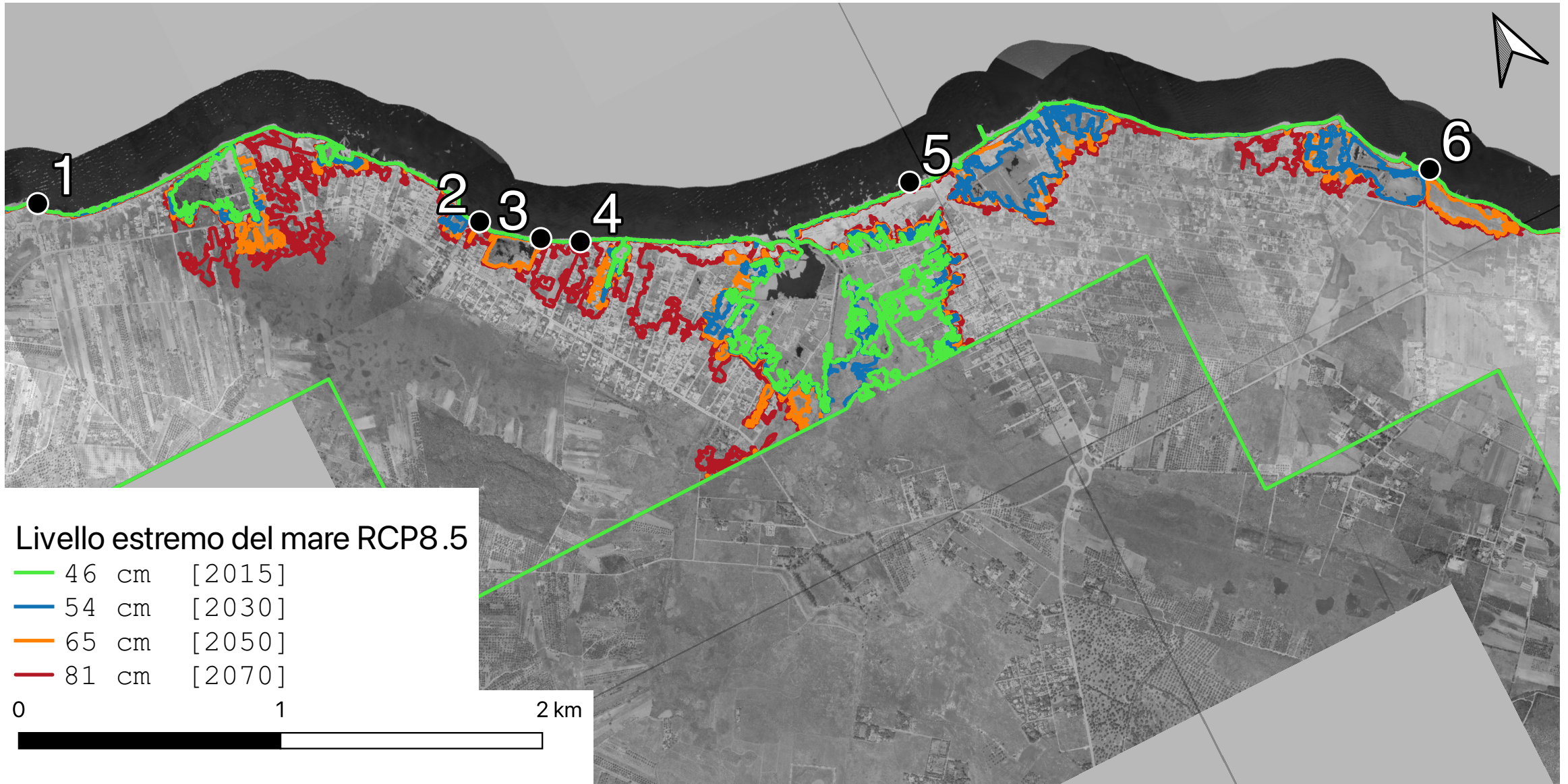
(scenario RCP8.5)

[tacche sul transetto ogni 5 metri]

Inondazione estrema (RCP4.5, RP=1 anno)



Inondazione estrema (RCP8.5, RP=1 anno)

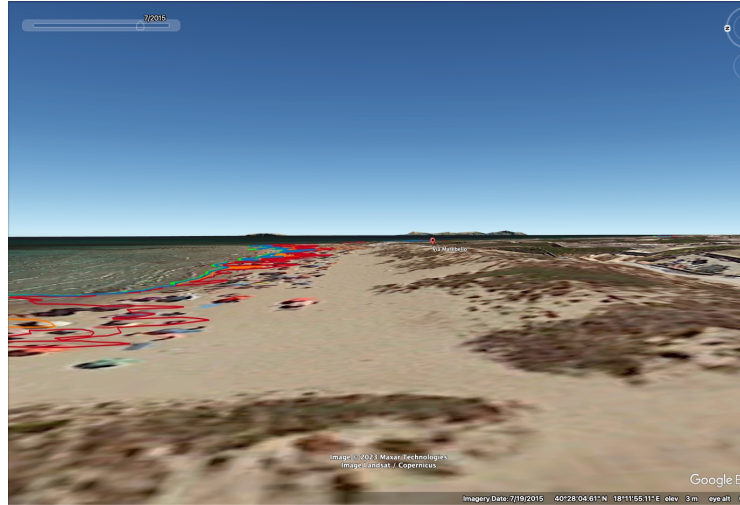


MSL

(scenario RCP4.5)

Livello medio del mare

- 9 cm [2015]
- 4 cm [2030]
- 5 cm [2050]
- 14 cm [2070]



avanduna di via Marebello



via Portofino



torre costiera di Torre Chianca



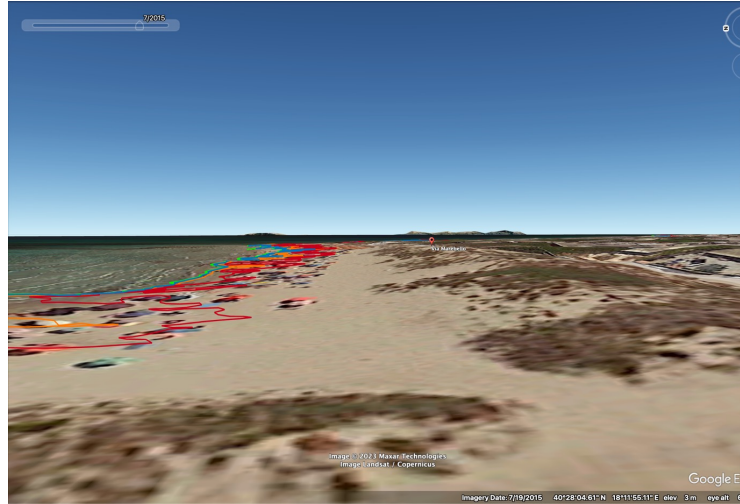
lido Approdo – San Basilide

MSL

(scenario RCP8.5)

Livello medio del mare

- -9 cm [2015]
- -4 cm [2030]
- 6 cm [2050]
- 19 cm [2070]



avanduna di via Marebello



via Portofino



torre costiera di Torre Chianca



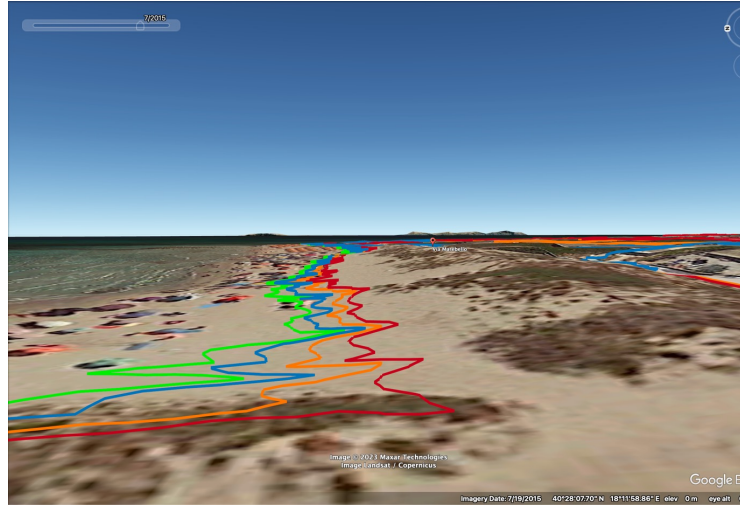
lido Approdo – San Basilide

ESL

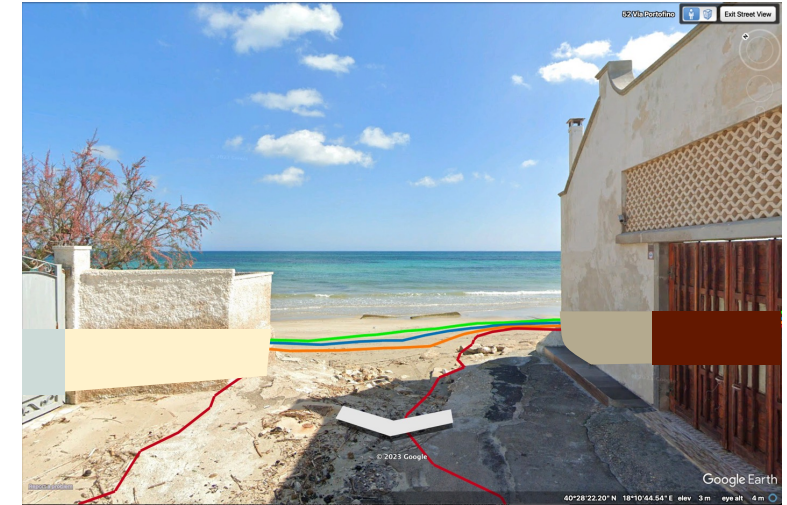
(scenario RCP4.5
RP=1 anno, *)

Livello estremo del mare

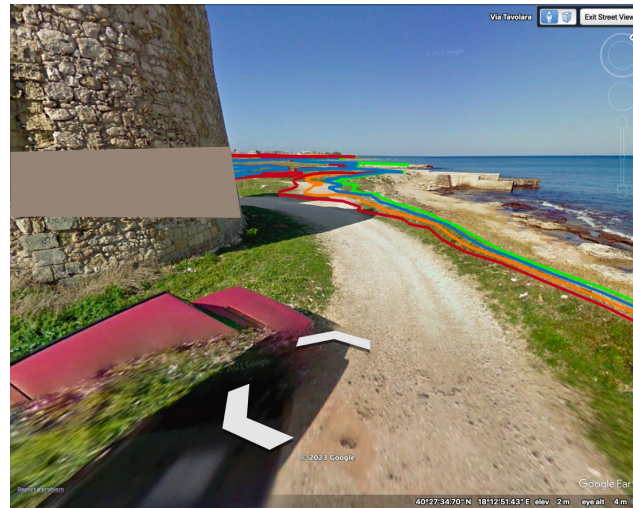
— 43 cm	[2015]
— 53 cm	[2030]
— 63 cm	[2050]
— 73 cm	[2070]



avanduna di via Marebello



via Portofino



torre costiera di Torre Chianca



lido Approdo – San Basilide

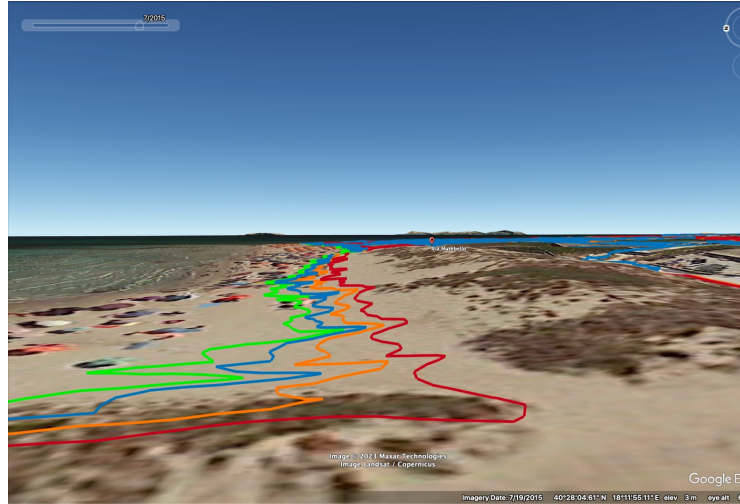
*) Nota: l'inondazione potrebbe essere sottostimata per via del tempo di ritorno (RP) annuale considerato, cf. slide 10

ESL

(scenario RCP8.5
RP=1 anno, *)

Livello estremo del mare

— 46 cm	[2015]
— 54 cm	[2030]
— 65 cm	[2050]
— 81 cm	[2070]



avanduna di via Marebello



via Portofino



torre costiera di Torre Chianca



lido Approdo – San Basilide

*) Nota: l'inondazione potrebbe essere sottostimata per via del tempo di ritorno (RP) annuale considerato, cf. slide 10

Contenuti

Introduzione

Metodo

Risultati

Conclusioni

Risultati

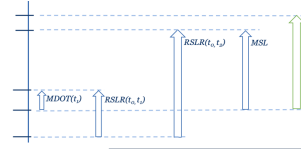
- *Usa di un bathub model (connessione alla costa considerata) in combinazione con proiezioni del livello marino (medio ed estremo)*



- *scenari RCP4.5 e RCP 8.5 di modello globale controllati con modello subregionale (Adriacim)*



- *Valutazione dei diversi riferimenti verticali*



- *Vulnerabilità costiera risulta fortemenete disomogenea, ed in relazione con pendenza media del litorale (5-10%)*



- *Paraggi piu vulnerabili:*

- *MSL*

N della torre costiera di Torre Rinalda, v. Rapallo-v. Lido Smeraldo, v. Gatteo a Mare – v. Jesolo, lido San Basilide (N), lido Approdo (S), lido Circeo (N), spiaggia libera, lido Maluha Bay, area dunale e canale di scolo a N della torre costiera di Torre Chianca

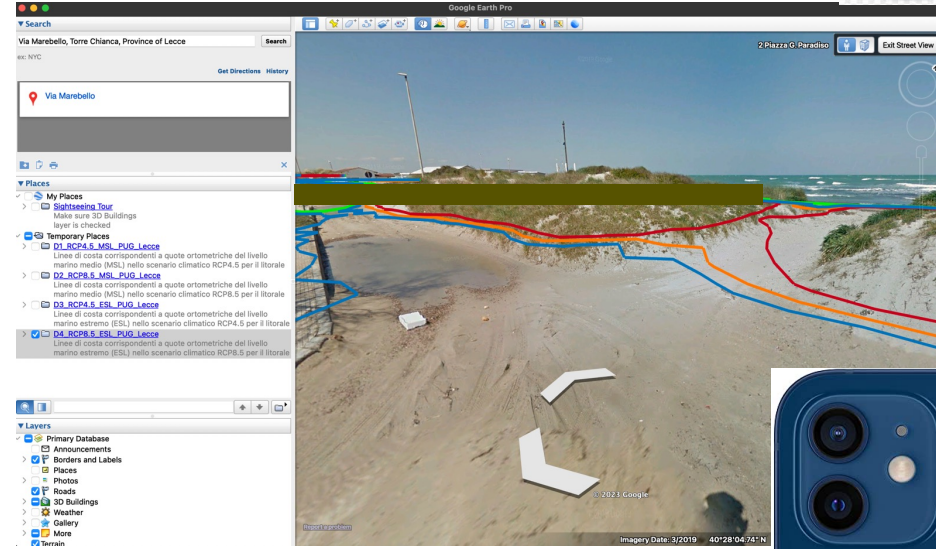
- *ESL*

torre costiera di Torre Rinalda, v. della Gioventu (campetto), v. Rapallo-v. Lido Smeraldo, maggior parte di Spiaggiabella, v. Marebella fino a v. Favignana, da v. Pianosa a v. Tavolara



→ Pubblicati files kmz con le linee di costa future, disponibili all'indirizzo: doi.org/10.5281/zenodo.8009645

Filename	RCP	tipo di livello marino considerato
D1_RCP4.5_MSL_PUG_Lecce.kmz	4.5	medio
D2_RCP8.5_MSL_PUG_Lecce.kmz	8.5	medio
D3_RCP4.5_ESL_PUG_Lecce.kmz	4.5	estremo
D4_RCP8.5_ESL_PUG_Lecce.kmz	8.5	estremo

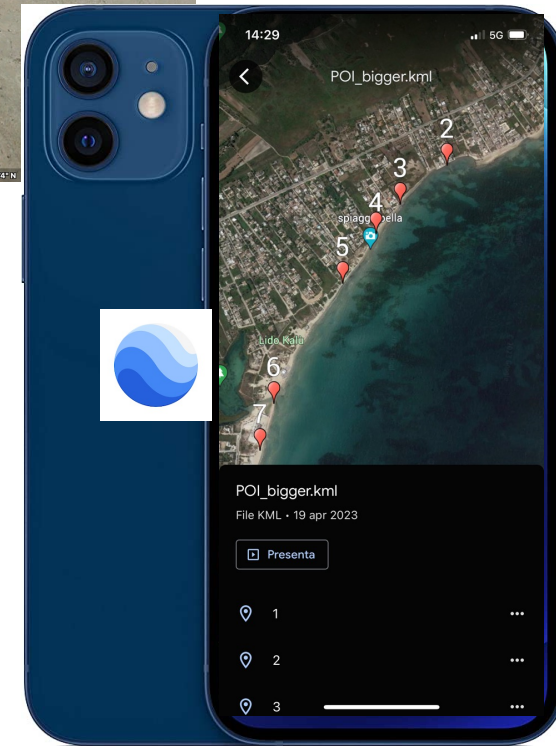


Istruzioni per mobile (iOS):

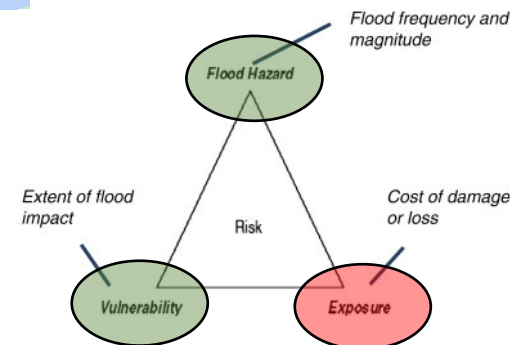
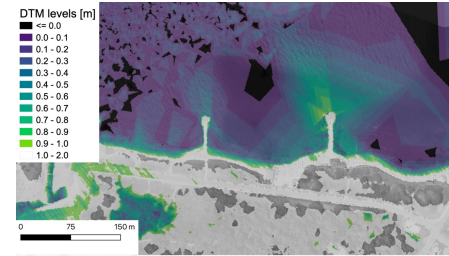
- importare i kmz in Google Drive
- Apri in ..
- Salva su file
- Invia a.. Google Earth



(NB: si consiglia piuttosto visualizzazione da computer via GoogleEarthPro, anche con opzioni Street View o Ground View)



Possibili sviluppi futuri



- *Stimare le principali fonti di incertezza:*
 - *DTM (artefatti e risoluzione)*
 - *MDOT (topografia mare)*
 - *tilting delle ondulazioni dei geoidi*
 - *clima ondosso futuro*
- *Validare in loco (anche con ortofoto durante le mareggiate)*
- *Sviluppare modelli regionali/locali sia per il livello medio del mare che per quelli estremi*
- *Completare la valutazione del rischio costiero con stima dell'esposizione (persone e beni esposti)*



www.cmcc.it

