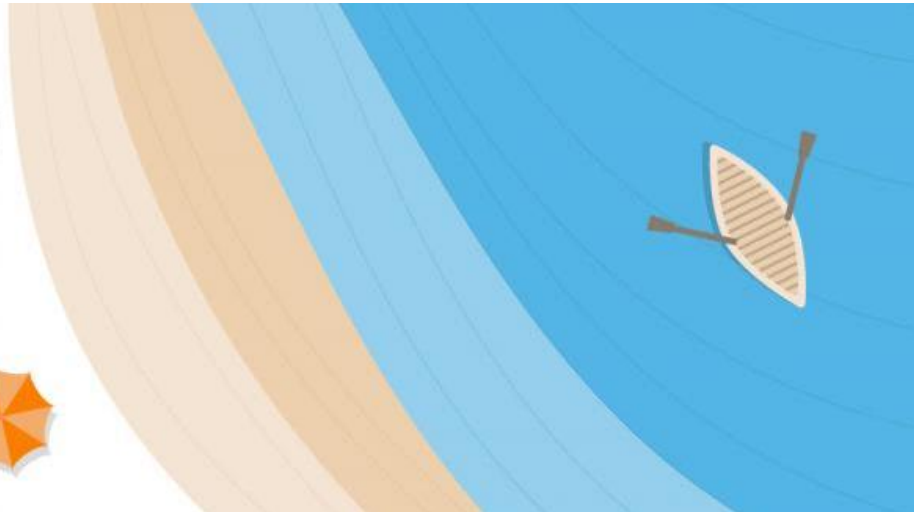


GESTIONE E PREVENZIONE  
DEL **RISCHIO COSTIERO**  
DI UN TERRITORIO  
IN EVOLUZIONE

**PISA 8 OTTOBRE 2019**

Scuola Normale Superiore  
Piazza dei Cavalieri  
9:00 - 17:30



## Metodologie di indagine per la valutazione delle dinamiche evolutive delle coste alte rocciose in ambito mediterraneo

Stefania Da Pelo, Giacomo Deiana, Francesco Dessì, *Antonio Funedda*,  
Maria Teresa Melis, Mattia Alessio Meloni, Luca Naitza, Paolo Orrù, Andrea Sulis



*Gruppo di ricerca del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche  
Università degli Studi di Cagliari*



Regione Toscana

La cooperazione al cuore del Mediterraneo



**Interreg**

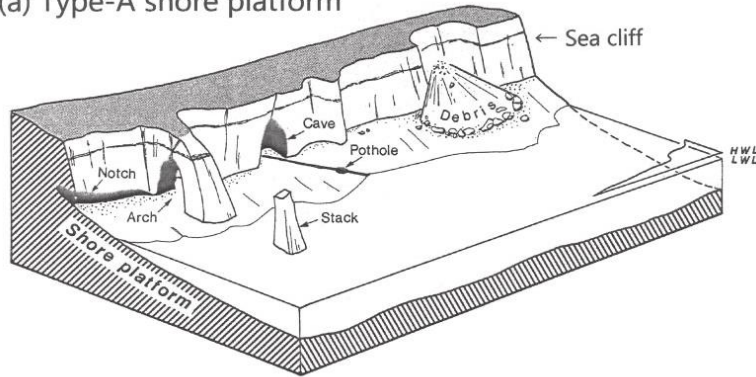


**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

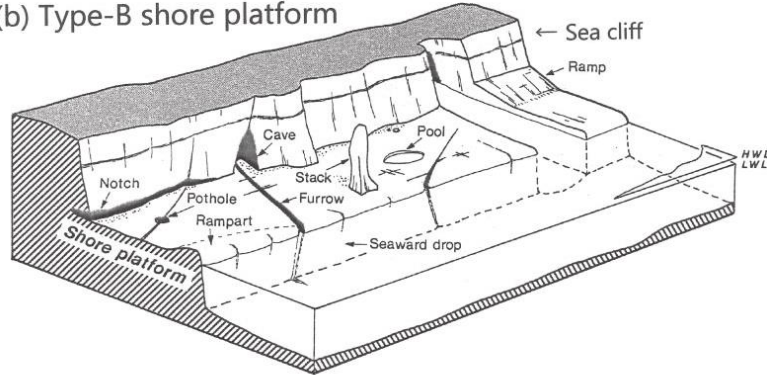
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

# Cos'è una costa alta rocciosa?

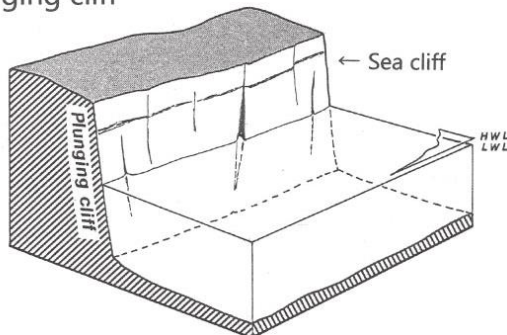
(a) Type-A shore platform



(b) Type-B shore platform



(c) Plunging cliff



**Caratteristica fondamentale:** è un tratto di costa dove i processi erosivi non sono reversibili.

Lo studio dei processi che modellano le coste alte, e l'acquisizione dei dati, è particolarmente complicato.

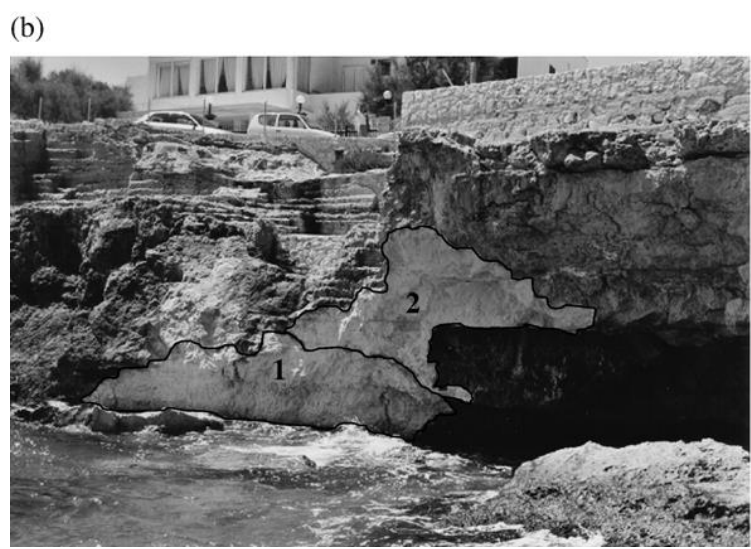
- (1) bassa velocità dei cambiamenti in ambito mediterraneo;
- (2) difficoltà nel misurare l'effetto del moto ondoso, l'energia trasmessa alla costa emersa e sommersa quando si innescano i fenomeni improvvisi di arretramento;
- (3) la difficoltà e spesso pericolosità nell'accesso alla zona da studiare per l'esplorazione;
- (4) investimenti nella ricerca insufficienti;
- (5) complessità geologica del sistema costiero dove si sovrappongono processi attuali che agiscono su strutture e forme acquisite in un passato non recente (da Griggs and Trenhaile, 1994, modificato).

*Sunamura, 2015*

# Obiettivi dello studio delle coste alte rocciose nell'ambito del progetto MAREGOT

## Perché studiarle

Rilevanza dei processi che agiscono sulle coste alte.



*Example of rock fall before (a) and after (b) the development of the failure plane in response to a large sea storm (January 1999). The rock mass movement involved two free falling blocks with two different detachment surfaces on the cliff (1 and 2). Andriani & Walsh, 2007*

# Obiettivi dello studio delle coste alte rocciose nell'ambito del progetto MAREGOT

## Perché studiarle

Rilevanza dei processi che agiscono sulle coste alte.



*Santa Catalina cliff (Puerto de Santa María-Portogallo)  
DelRio & Gracia, 2009.*



*Happisburg GB, British Geological Service*

## Come studiarle

Elaborazione di una metodologia per il rilevamento e la caratterizzazione delle coste alte rocciose soggette a erosione e instabilità per individuare le diverse suscettività al dissesto.

Integrazione tra diversi metodi di indagine: Rilevamento multidisciplinare e *multi-scaling* (geologico-strutturale, geomorfologico, idrogeologico, geomeccanico) e tecnologie avanzate.

Sviluppo di un database che consenta la confrontabilità dei dati.

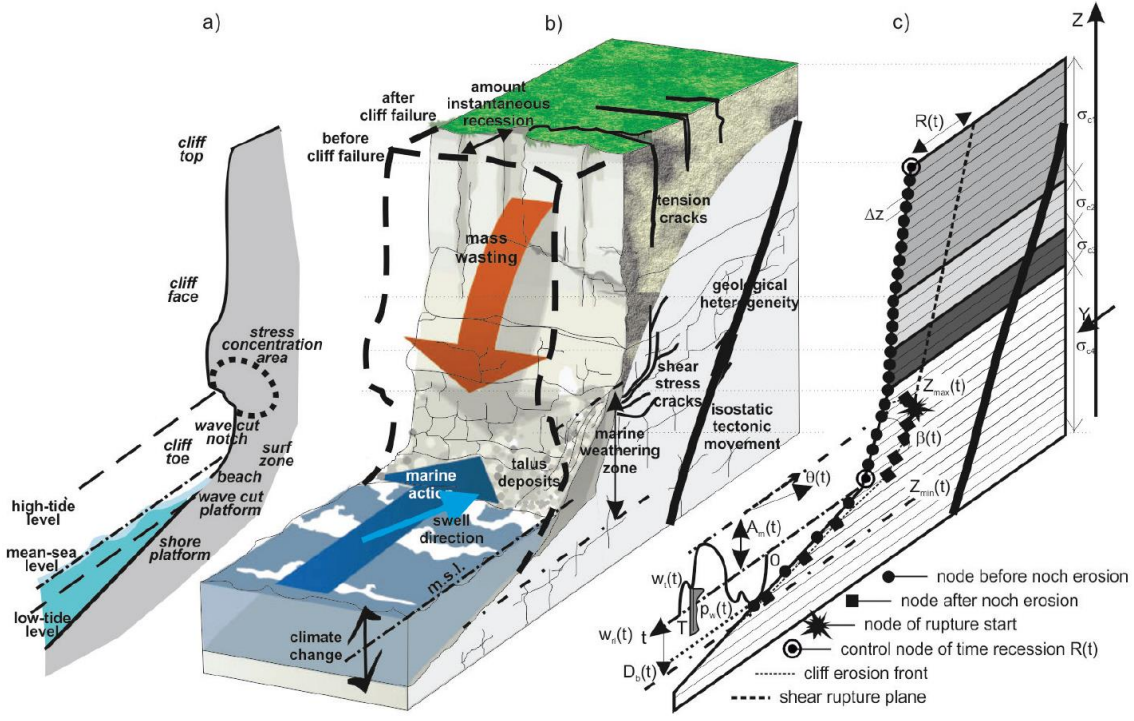
# Elementi che condizionano l'evoluzione delle coste

Evoluzione attuale:

## Interazione tra fenomeni "terrestri" e fenomeni "marini"

L'instabilità delle pareti rocciose costiere è legata ai seguenti fenomeni di modifica della struttura mineralogica, petrografica e strutturale delle rocce:

- processi di **alterazione** e **weathering** dovuti alla presenza dell'acqua anche ricca di componenti saline provenienti dall'aerosol marino;
- processi di **erosione**, ossia asportazione di materiale disgregato sia ad opera dell'acqua che del vento;
- processi **gravitativi**, in particolare frane;
- processi di **arretramento** delle falesie per modifica del solco di battente e della piattaforma di abrasione emersa e sommersa;
- effetto delle **acque sotterranee** sull'indebolimento della resistenza meccanica delle rocce.

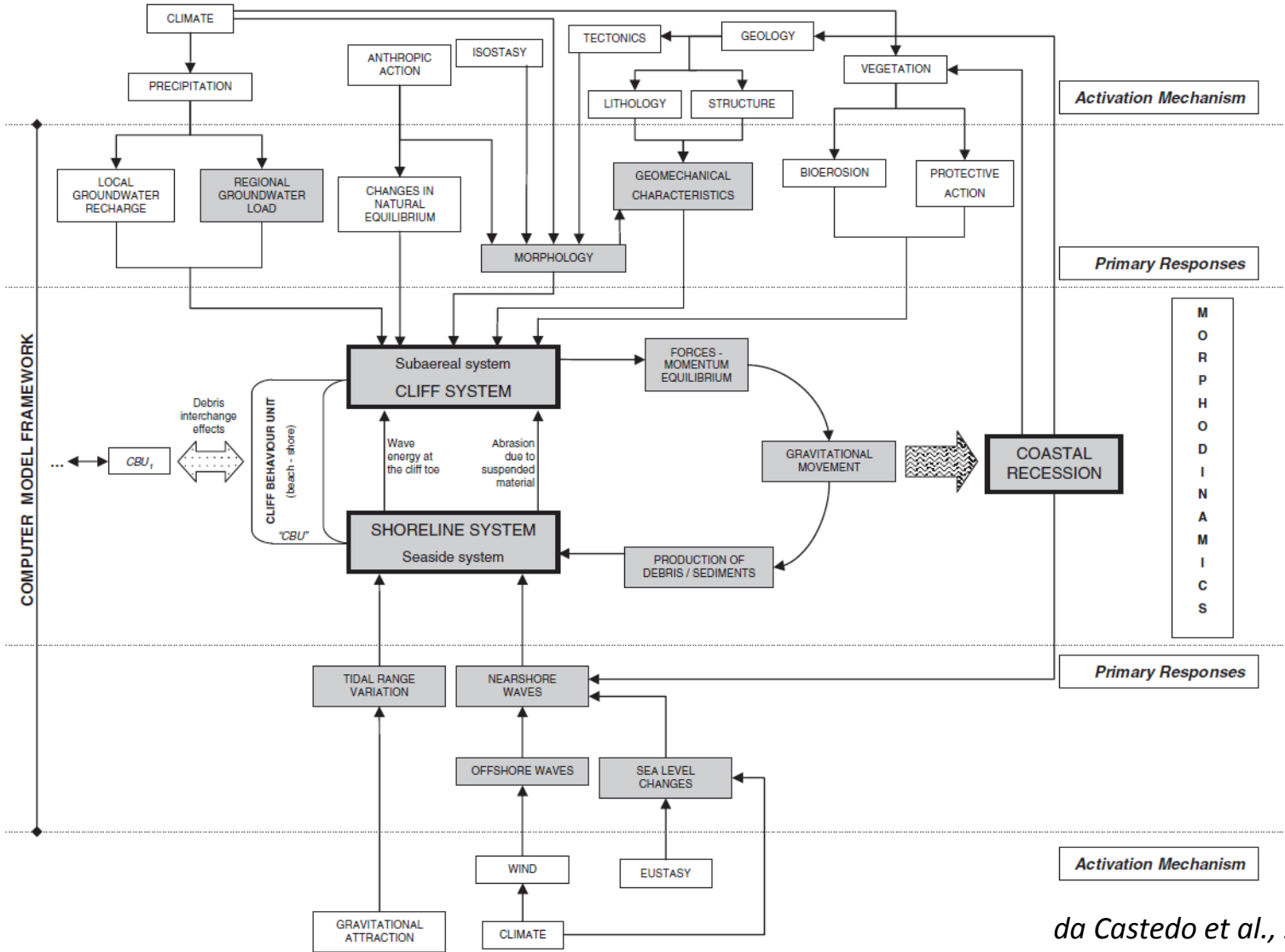


*Blocco diagramma di una falesia: (a) aspetti morfologici di una falesia; (b) unità costiera omogenea (CBU), che presenta condizioni geologiche ed oceanografiche omogenee; (c) discretizzazione di una sezione litorale su falesia con gli elementi principali coinvolti, da (Castedo et al., 2017).*

# Elementi che condizionano l'evoluzione delle coste

Evoluzione attuale:

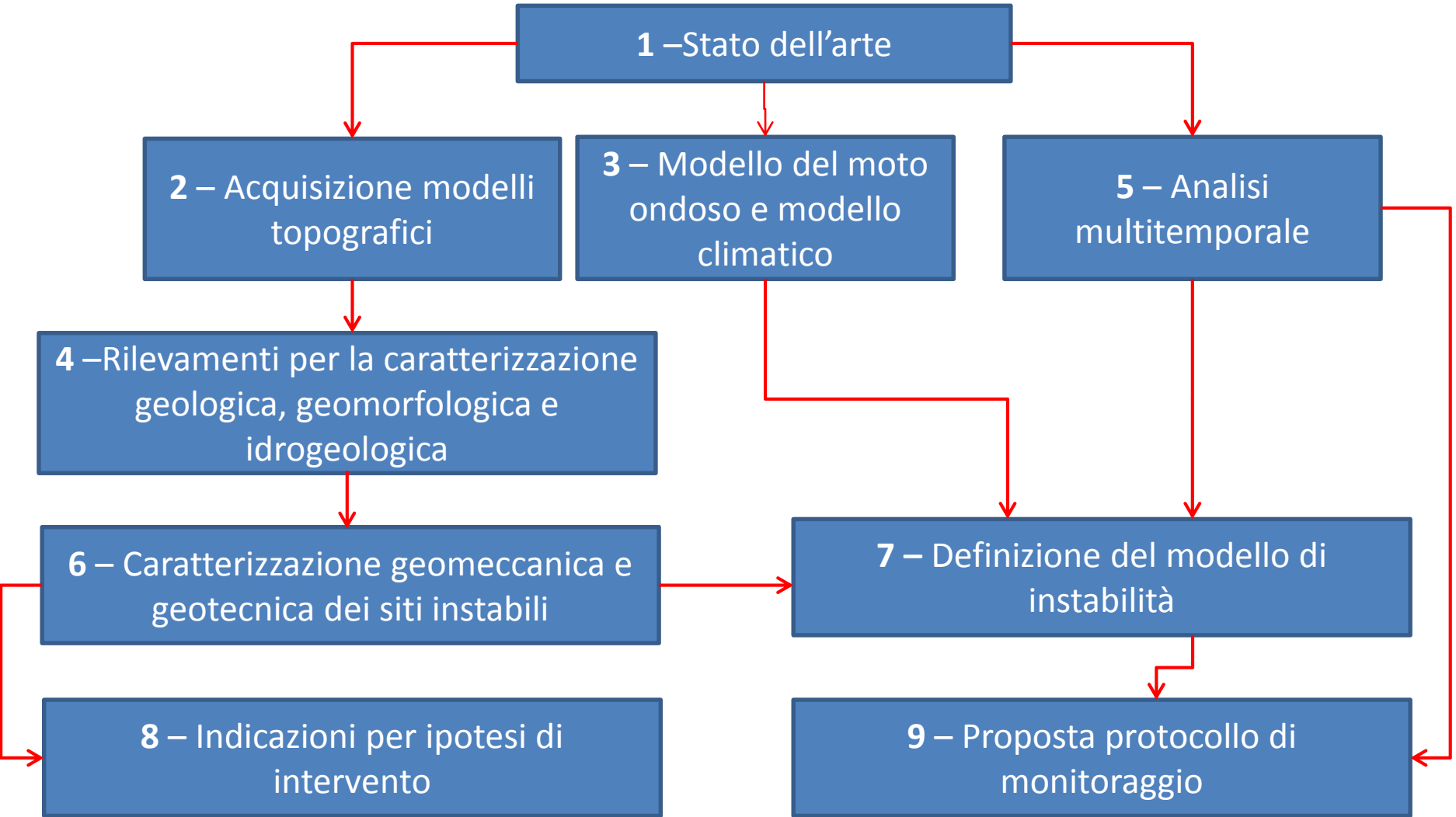
*Interazione tra fenomeni "terrestri" e fenomeni "marini"*



da Castedo et al., 2012

# PROTOCOLLO D'INDAGINE DELLE COSTE ROCCIOSE

## Progetto MAregot



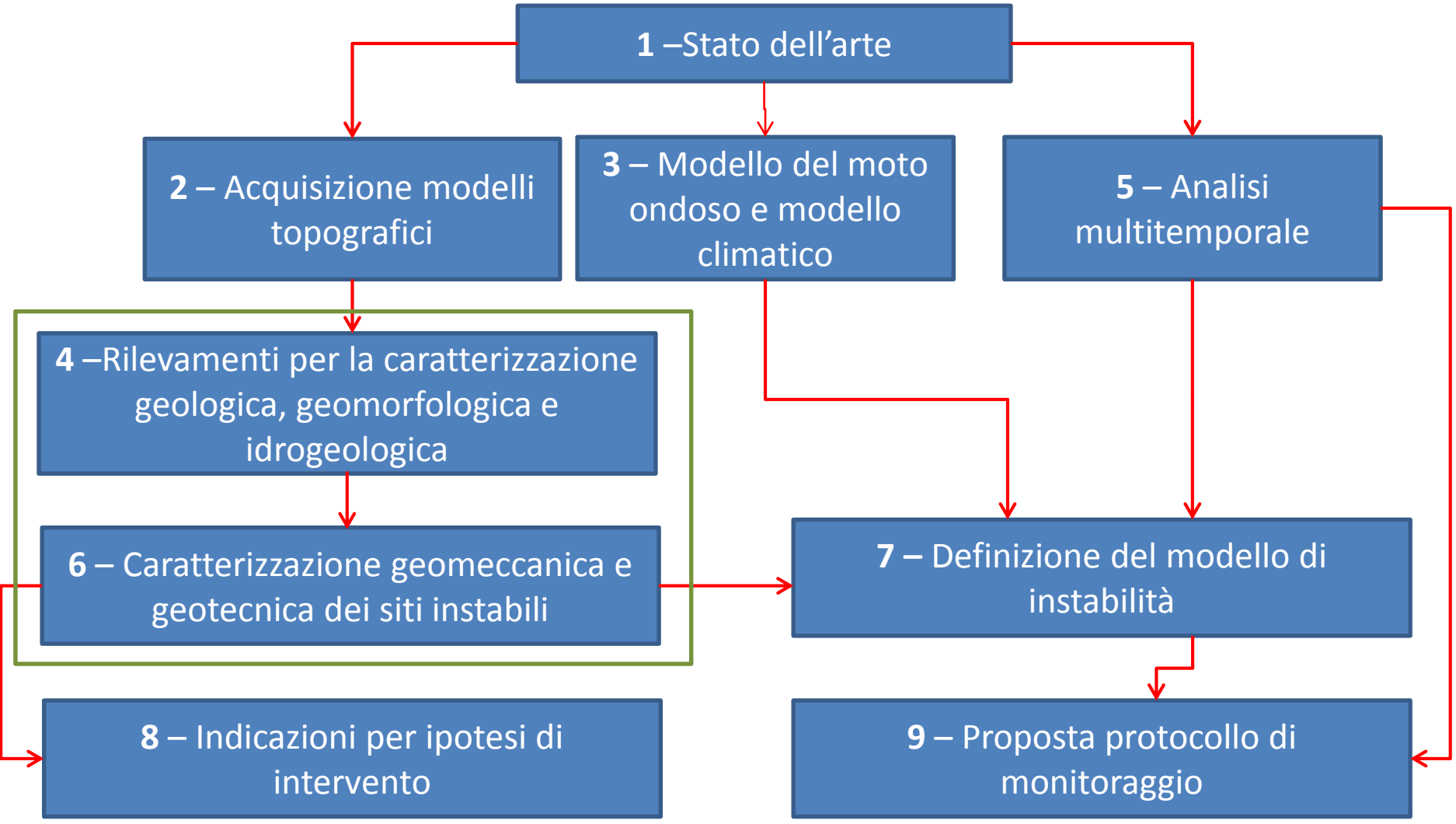
# PROTOCOLLO D'INDAGINE DELLE COSTE ROCCIOSE

## Progetto MAregot

Caratteristiche	Tipologia d'indagine	Prodotto atteso
Dati Esistenti	Analisi ed integrazione dei dati esistenti	Geodatabase e modelli cartografici
Morfologiche	Remote Sensing, Rilievi Batimetrici,	DTM parte emersa e morfologia parte sommersa.
Analisi mutitemporale	Analisi delle foto aeree	Modello della variazione storica della linea di costa
Geologico-Strutturali	Rilievi di campo, Remote Sensing, Fotoanalisi	Modello Geologico Strutturale
Geomorfologiche	Rilievi di campo, Remote Sensing, Fotoanalisi, Rilievi in immersione	Modello Geomorfologico Inventario locale dei fenomeni franosi
Geomeccaniche	Rilievi sul campo, Remote Sensing, Fotoanalisi, Analisi in situ e di laboratorio	Caratterizzazione Geomeccanica, Ricostruzione 3D dell'ammasso roccioso (Modello Geomeccanico)
Geotecniche	Analisi in situ e di laboratorio,	Modello Geotecnico
Idrogeologiche	Rilievi di campo, Remote Sensing,	Modello Idrogeologico
Climatiche	Analisi pluviometriche delle serie storiche	Soglie Pluviometriche
Moto Ondoso	Misure dirette e indirette	Caratterizzazione energetica del moto ondoso

*Sintesi delle indagini e dei prodotti tecnici da realizzare per l'indagine alla scala locale dei tratti di costa che presentano una **propensione allo sviluppo di fenomeni franosi***

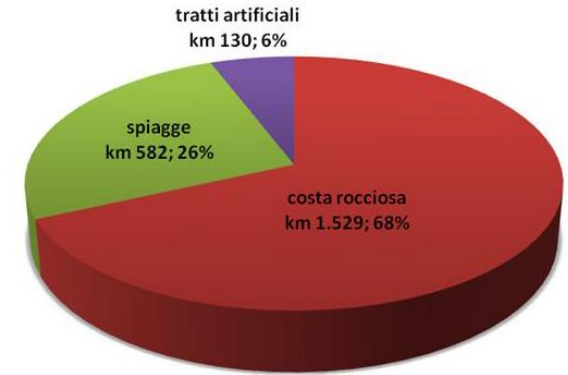




# Obbiettivi dello studio delle coste alte rocciose nell'ambito del progetto MAREGOT



Mappa regionale dei tratti in costa rocciosa ad alta criticità



Costa della Sardegna **2.241 km**:  
 - **costa rocciosa 1.529 km** (68%)  
 di cui **127 km** in falesia,  
 - **costa sabbiosa 582 km** (26%)  
 - **costa artificiale 130 km** (6%),  
 con 33 km di opere portuali e 99 km di opere di difesa.  
**(Dati P.A.C., Regione Sardegna)**

## Storia geologica recente:

Gran delle coste sono l'effetto dell'ulpartetimo periodo glaciale

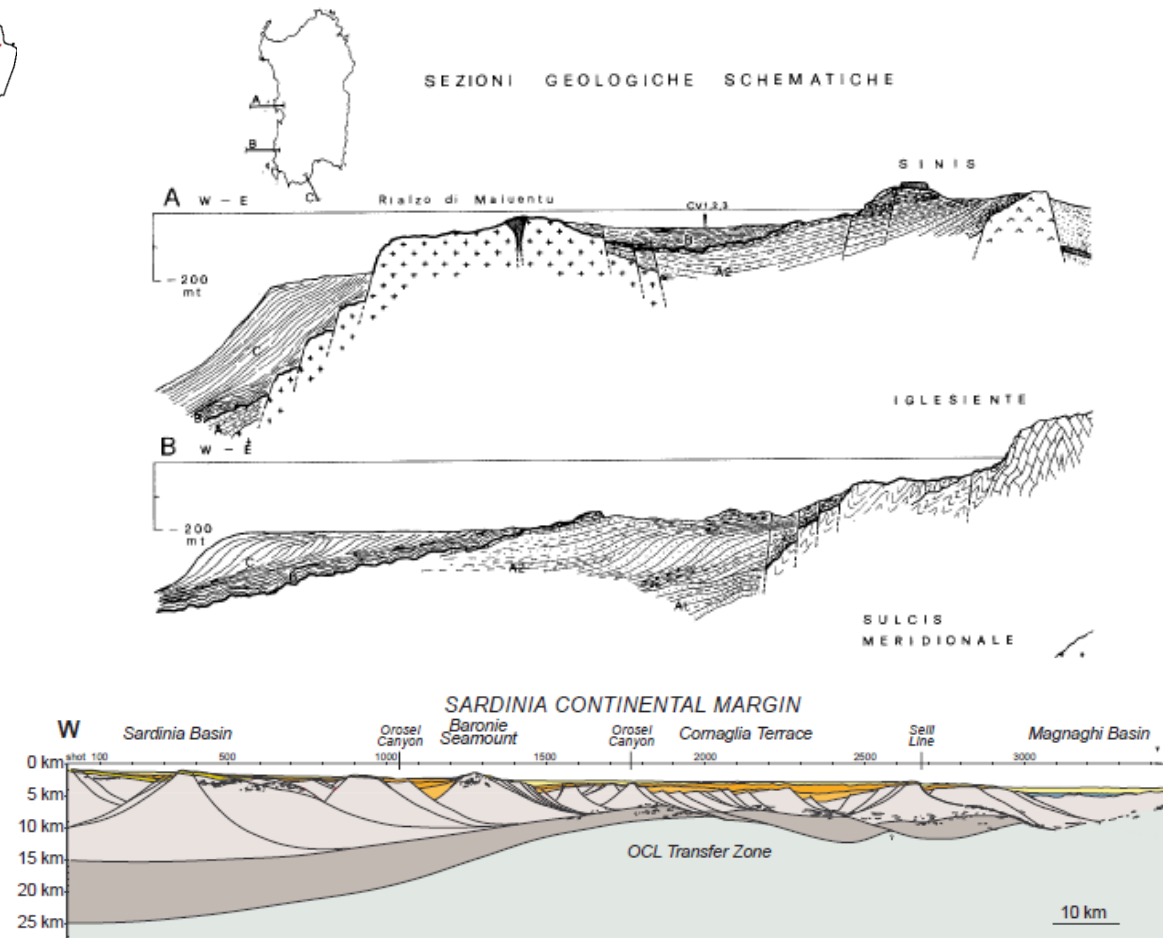
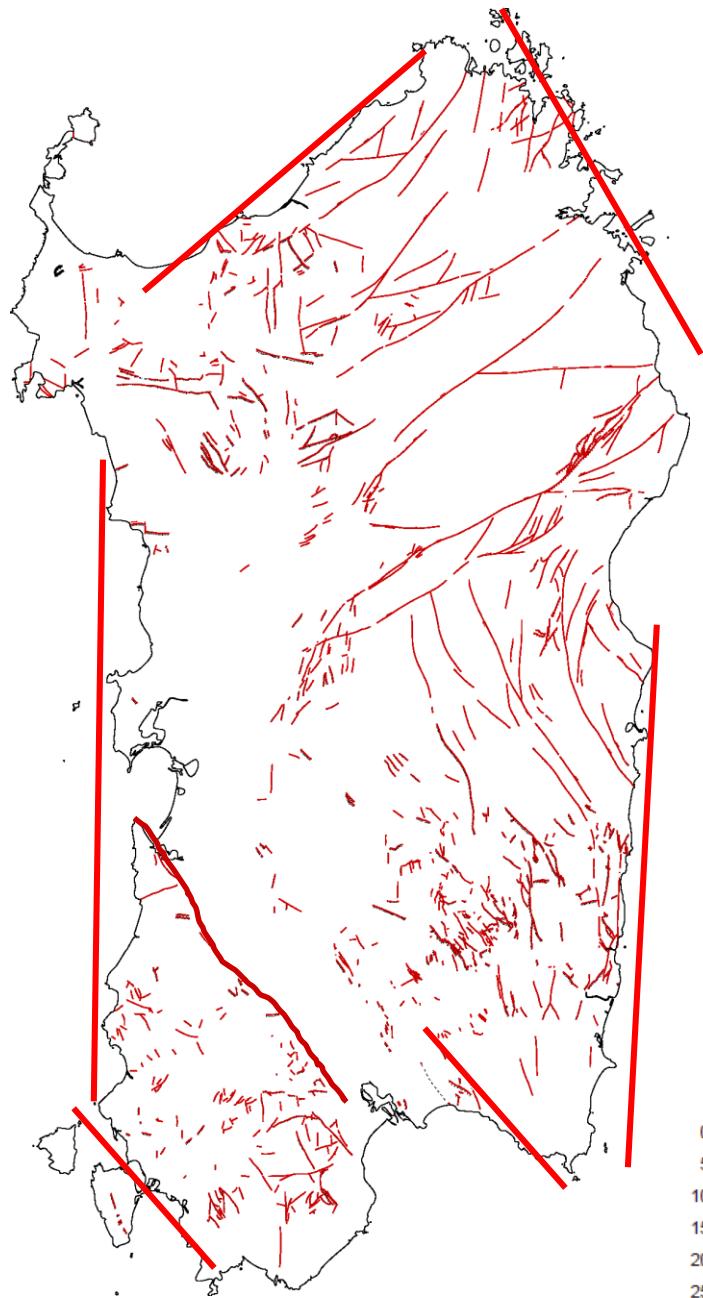
**Controllo tettonico** (attuale e passato)

**Controllo litologico**



## Storia geologica recente:

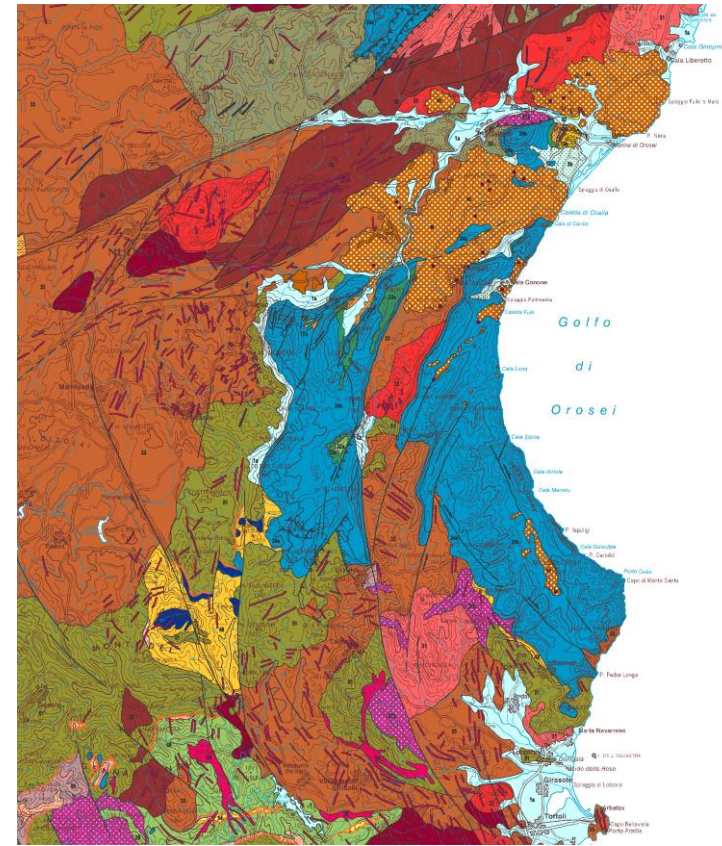
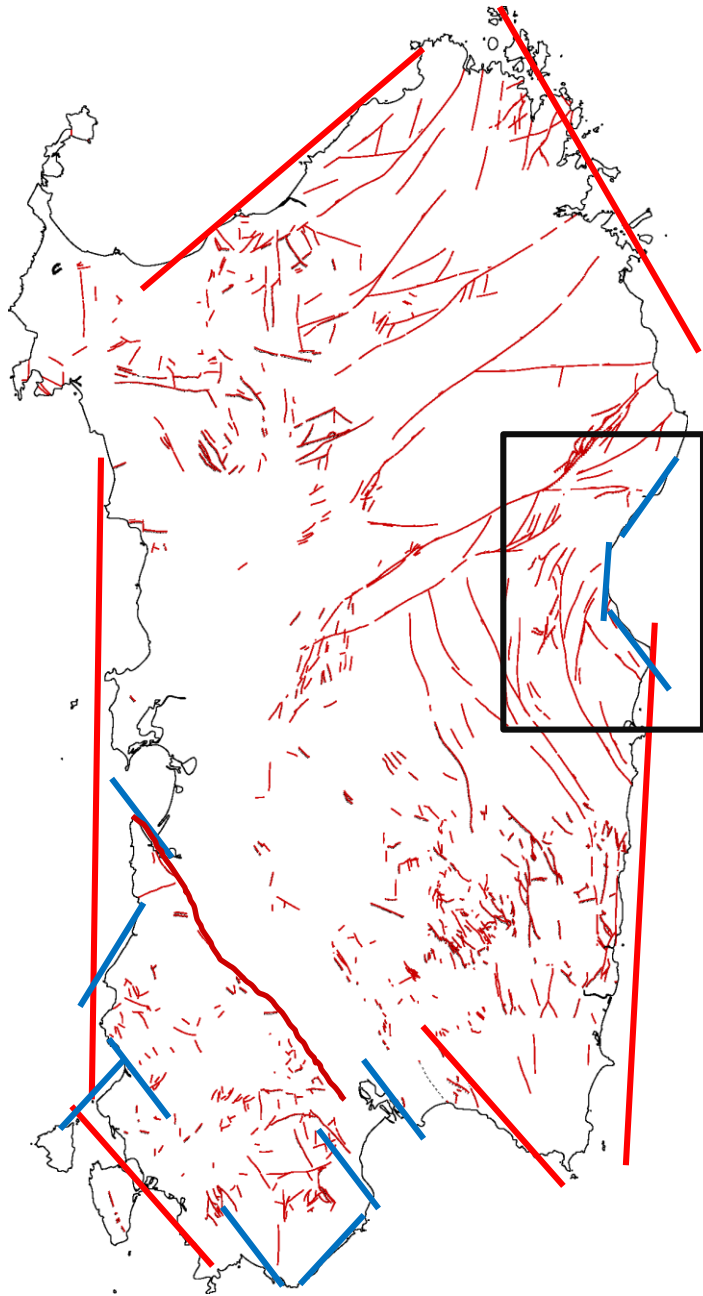
*Controllo tettonico a piccola scala*



Line ST-08 E Geologic Cross-Section

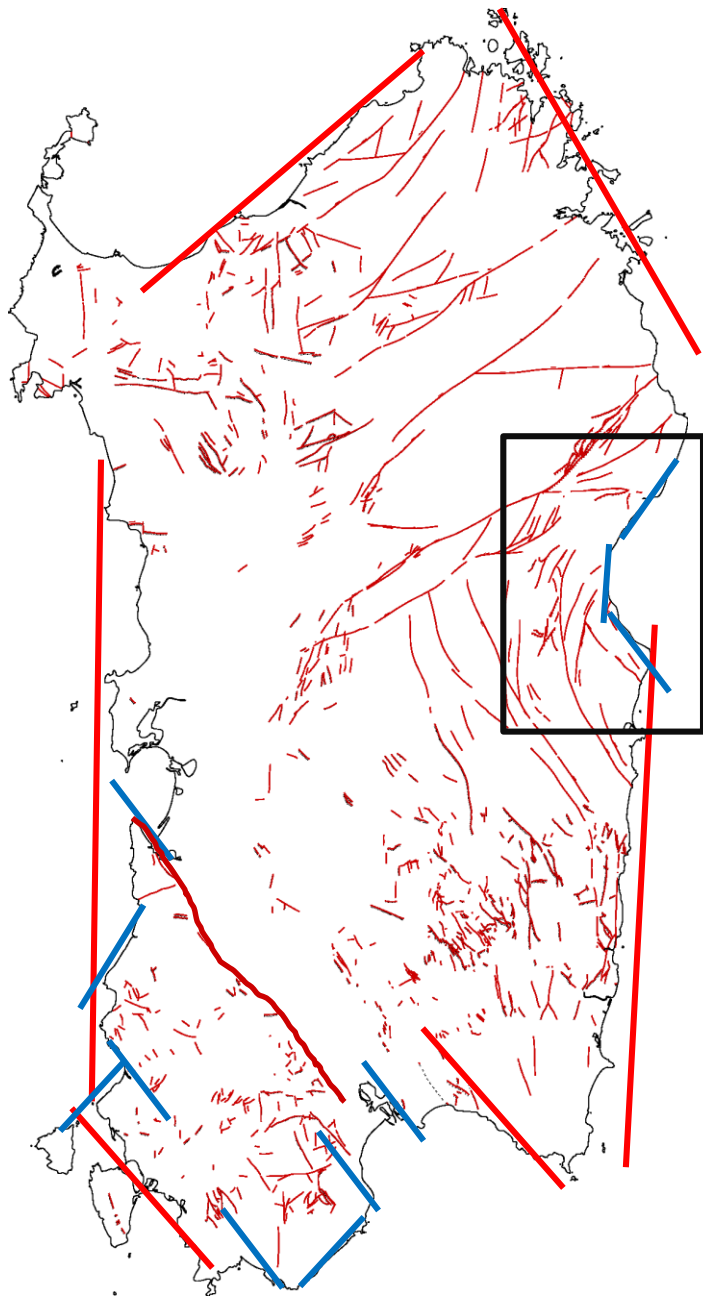
## Storia geologica recente:

*Controllo tettonico a scala maggiore*

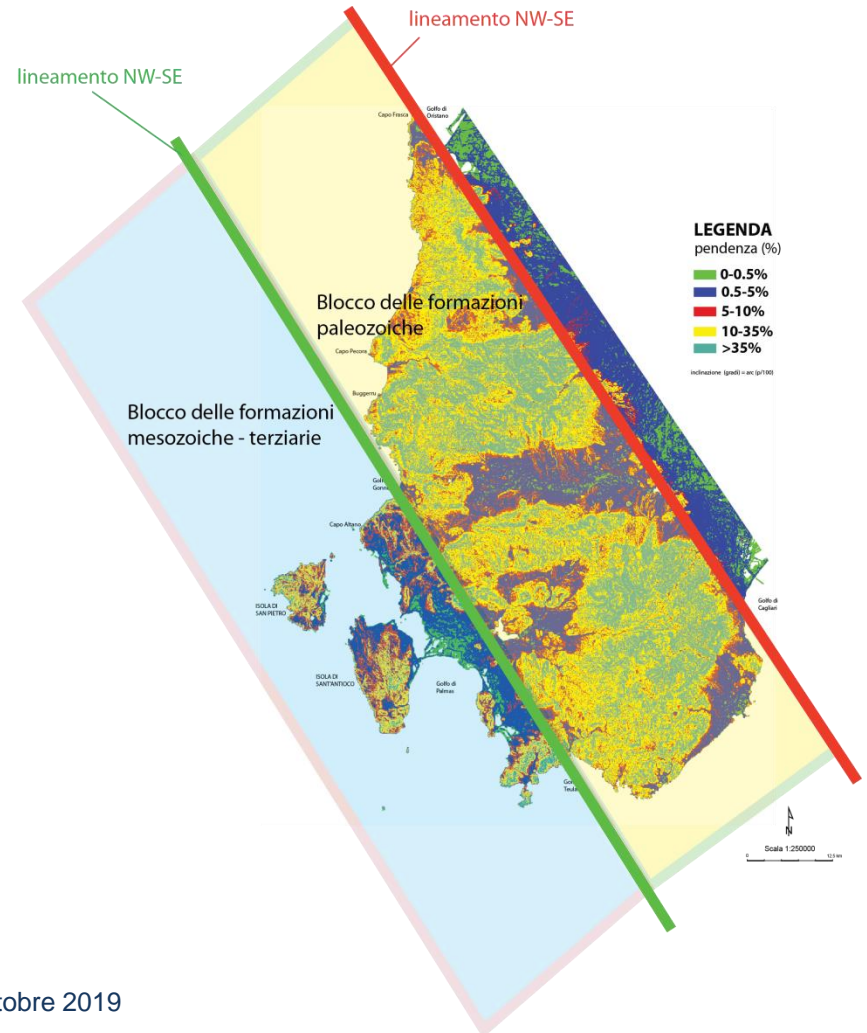
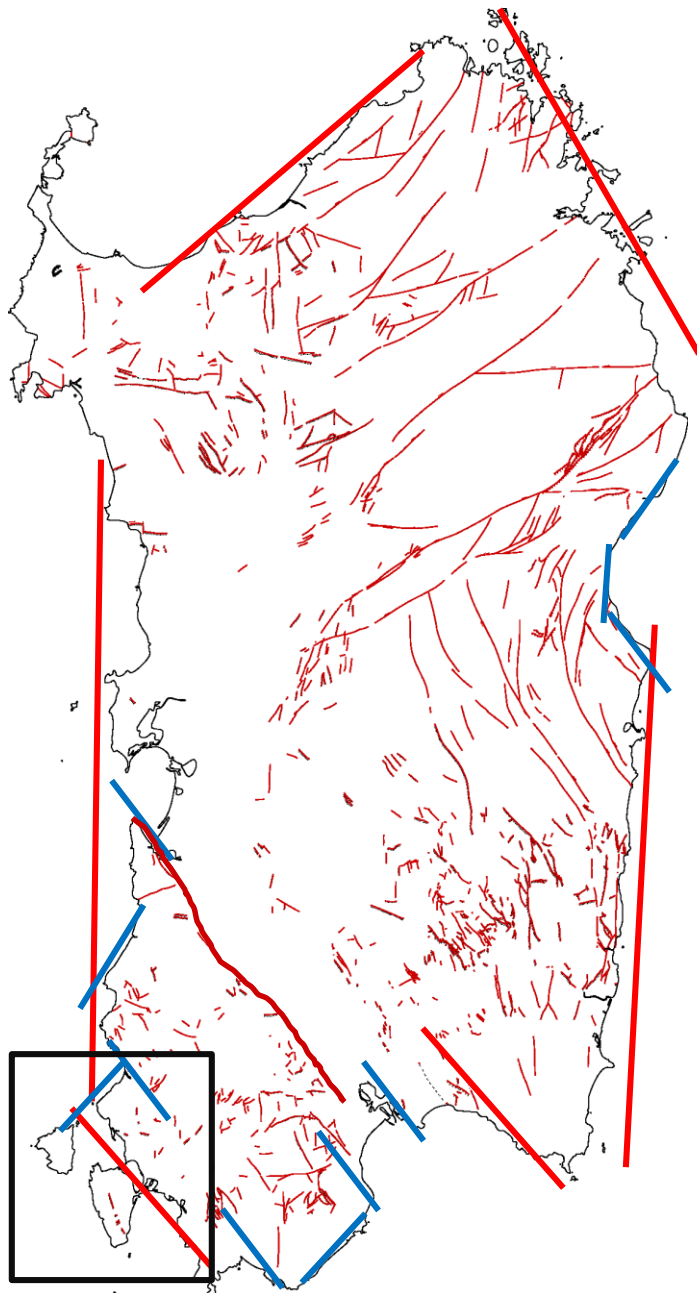


## Storia geologica recente:

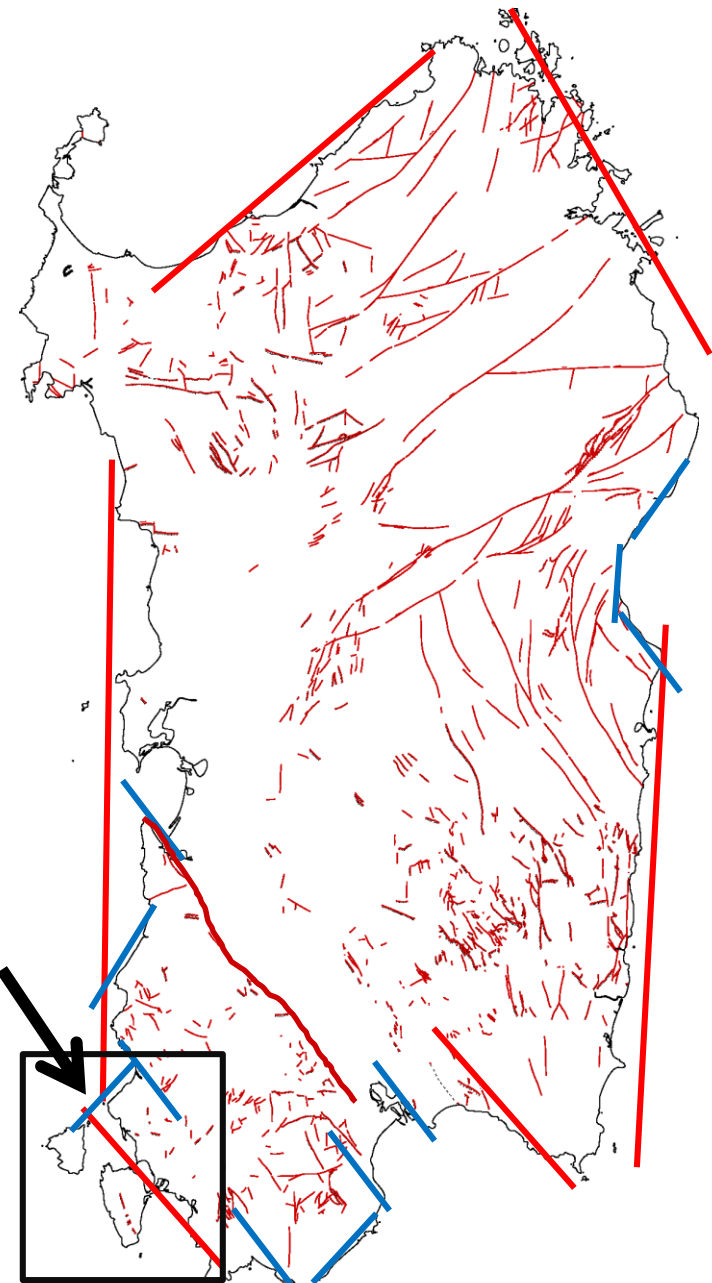
*Controllo tettonico a scala maggiore*



**Storia geologica recente:**  
*Controllo tettonico a scala maggiore*  
*Controllo litologico*

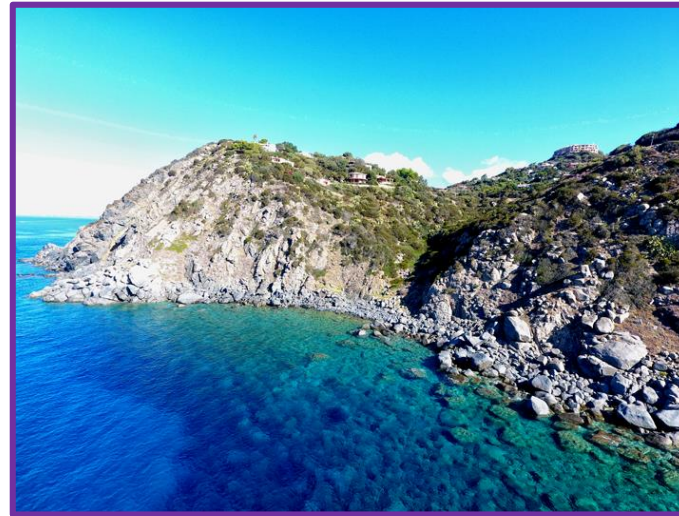
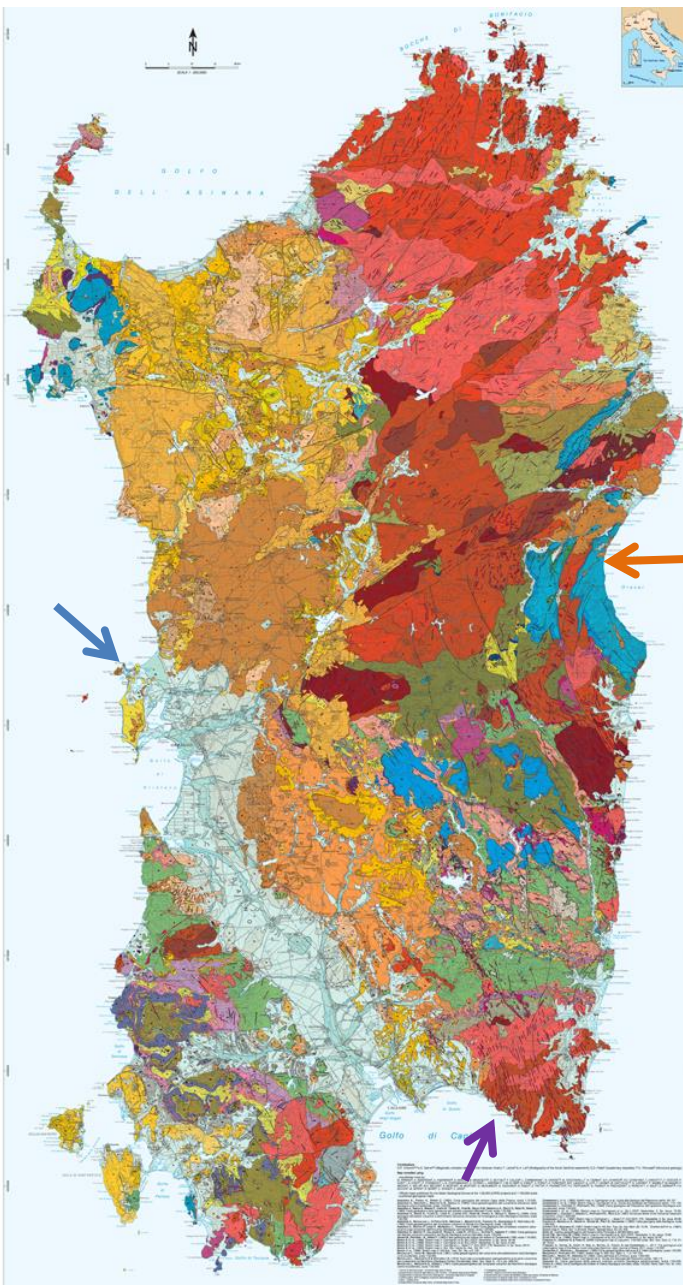


**Storia geologica recente:**  
*Controllo tettonico a scala del  
singolo versante*

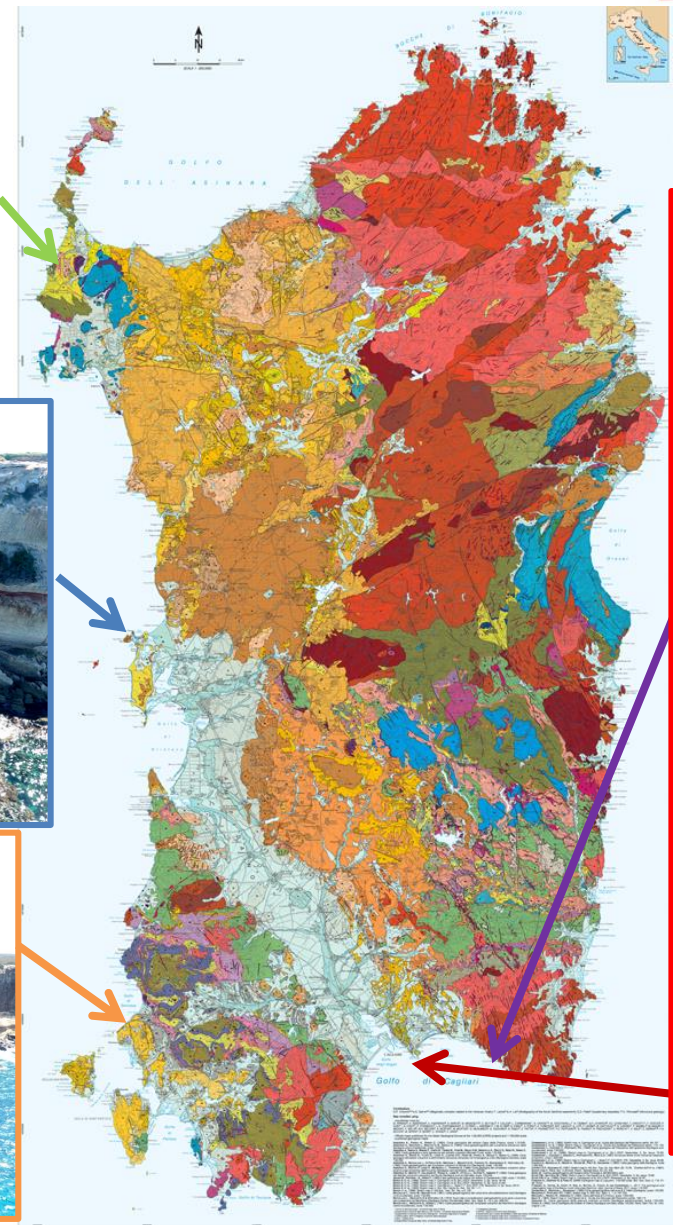




# Storia geologica recente: *Controllo litologico*



# INDAGINE DELLE COSTE ROCCIOSE



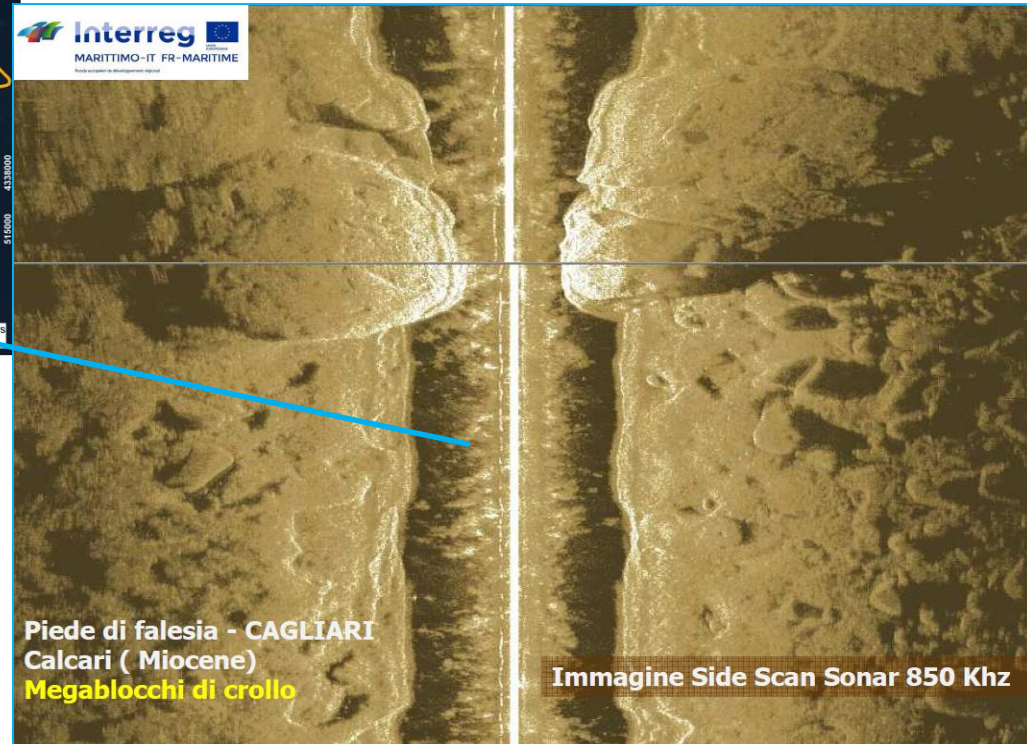
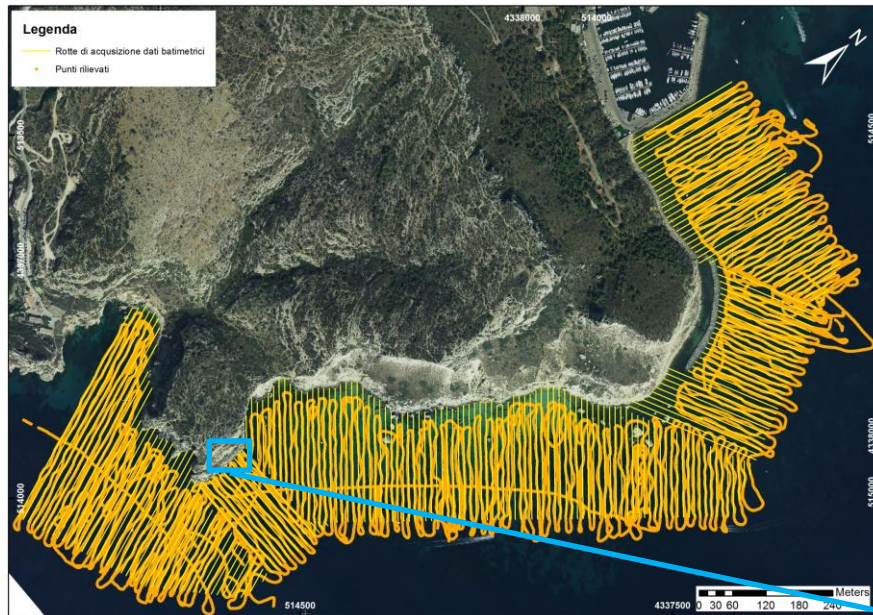
## Aree complesse -> Analisi multitemporale

La caratterizzazione accurata dell'assetto geologico permette di verificare la tendenza evolutiva e quindi meglio definire le aree potenzialmente maggiormente instabili.

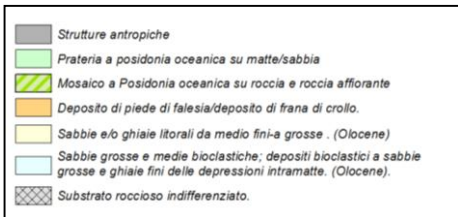
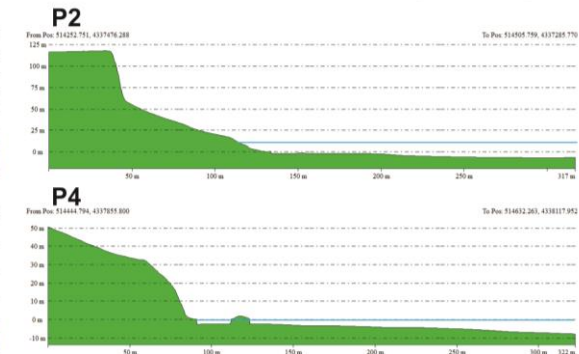
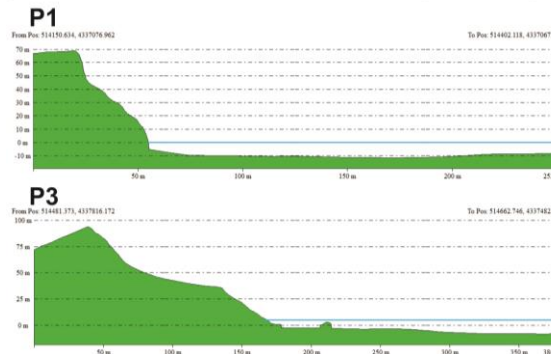
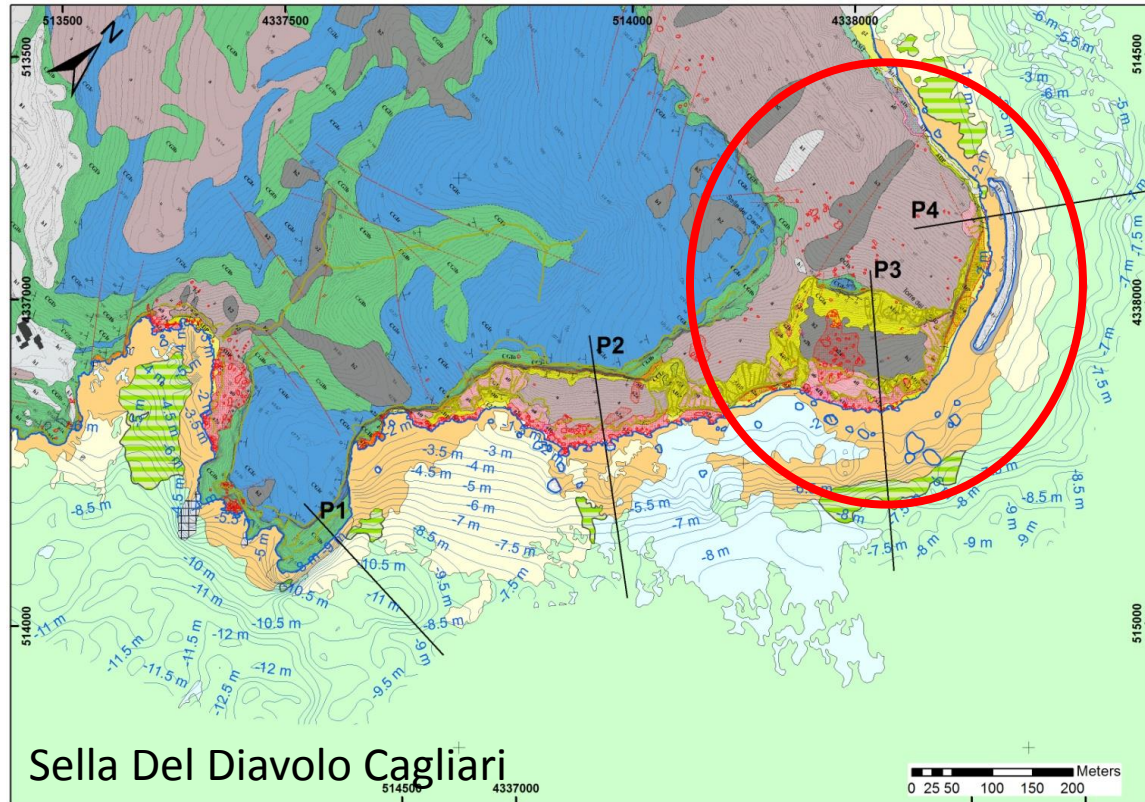


# Sella Del Diavolo Cagliari

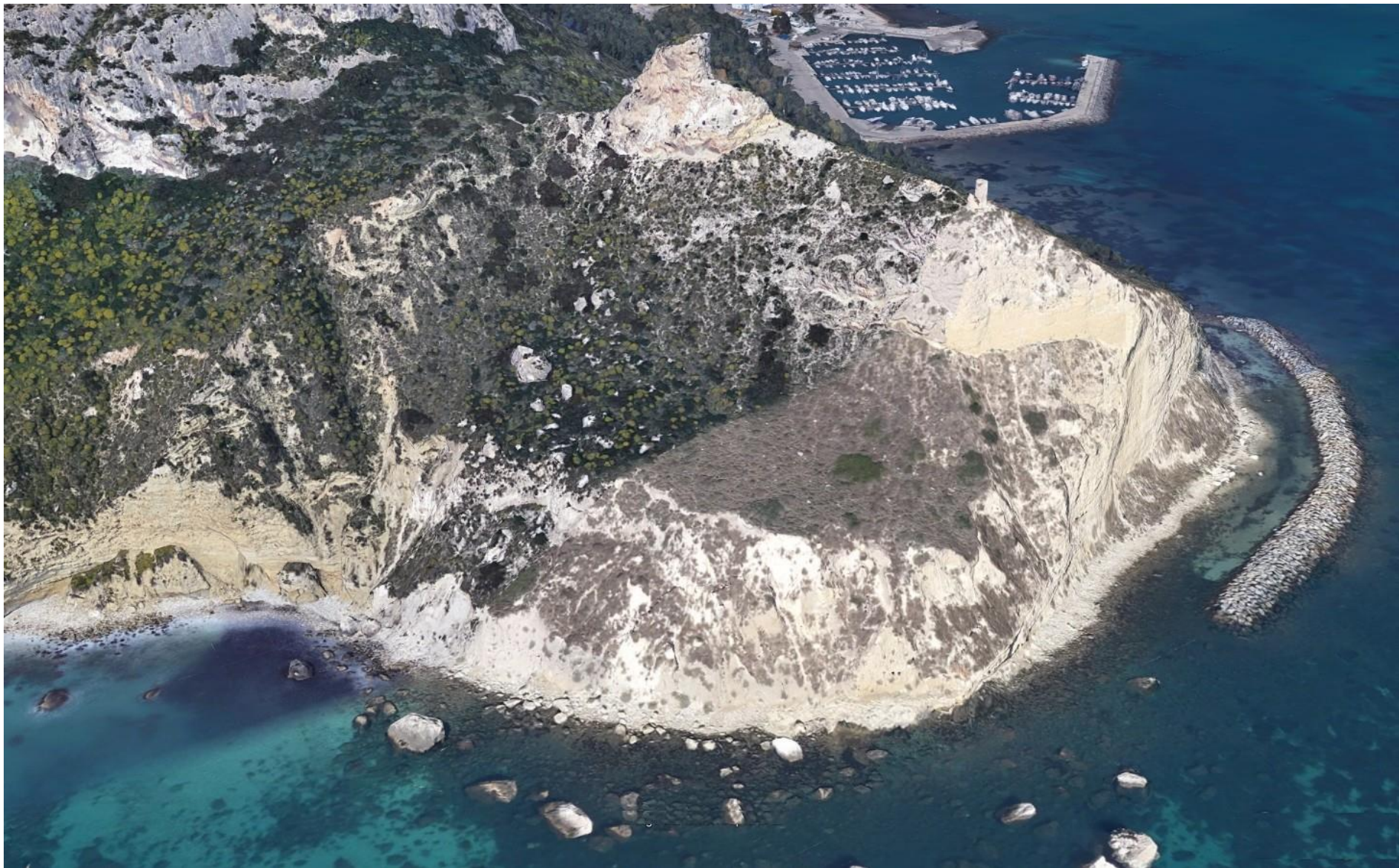
## 4 –Rilevamenti per la caratterizzazione geologica dei settori **emersi e sommersi**



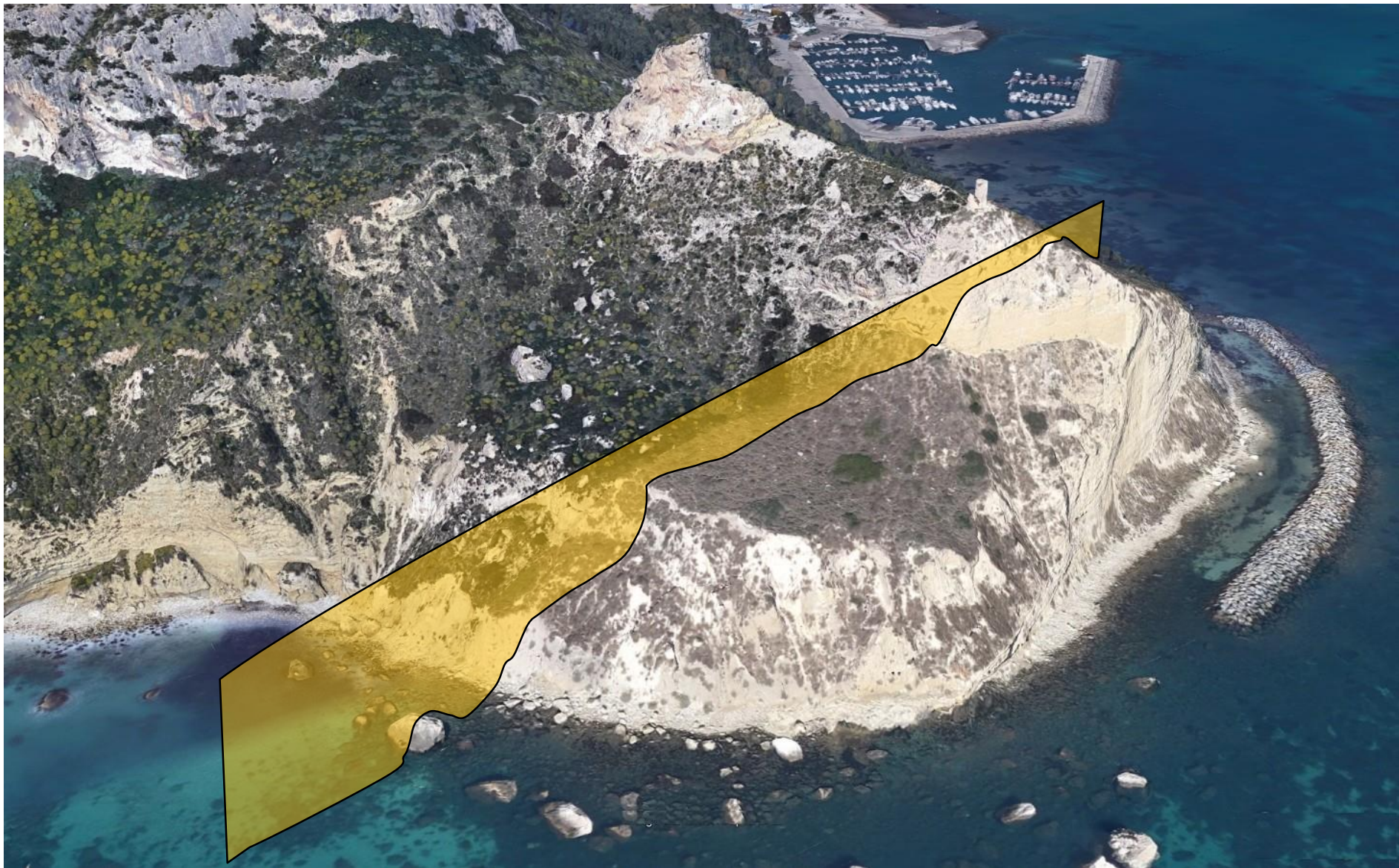
Rotte ortogonali alla costa, equidistanti 20 metri e fino a 250 metri a largo



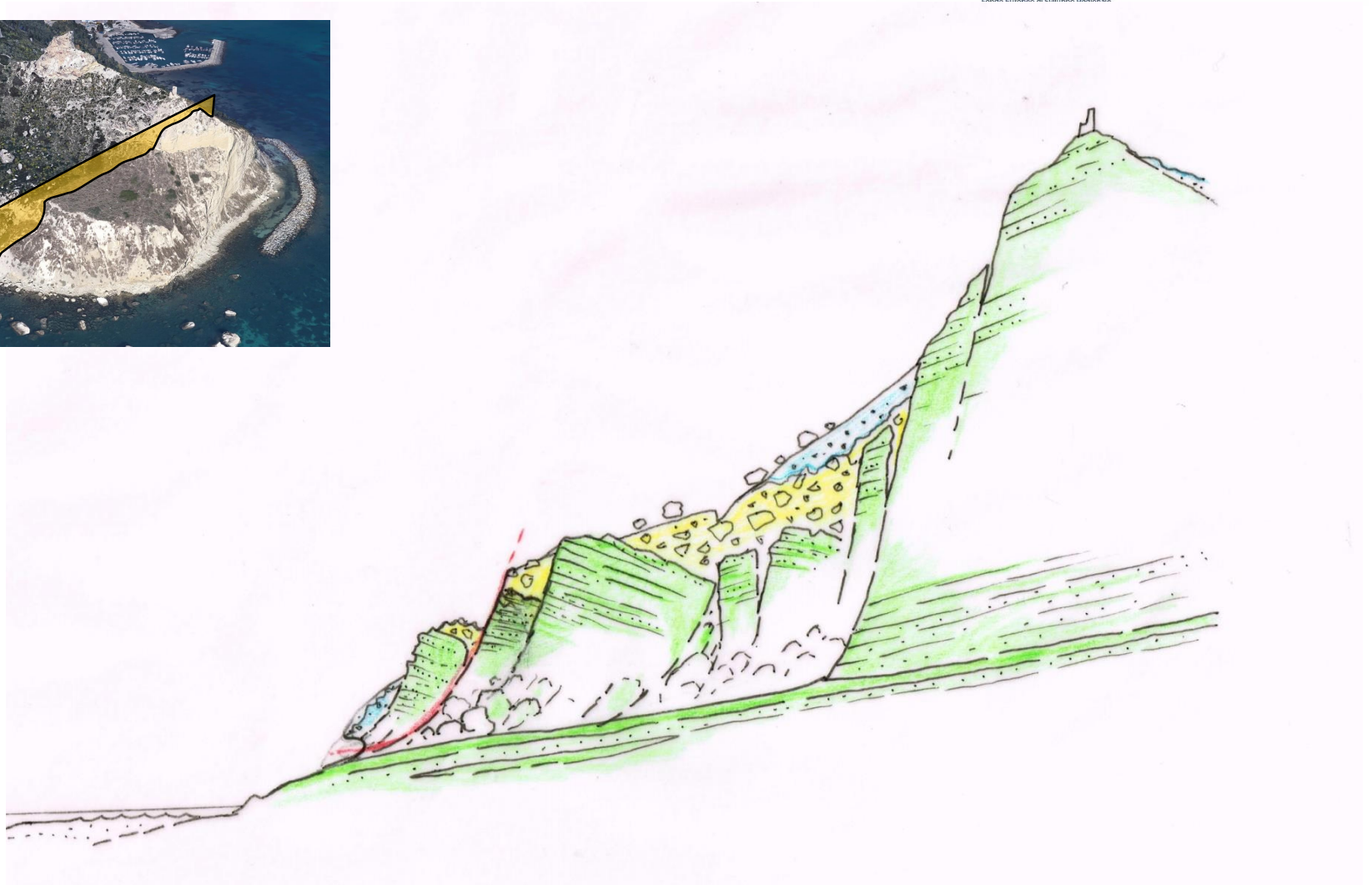
# Sella Del Diavolo Cagliari



# Sella Del Diavolo Cagliari



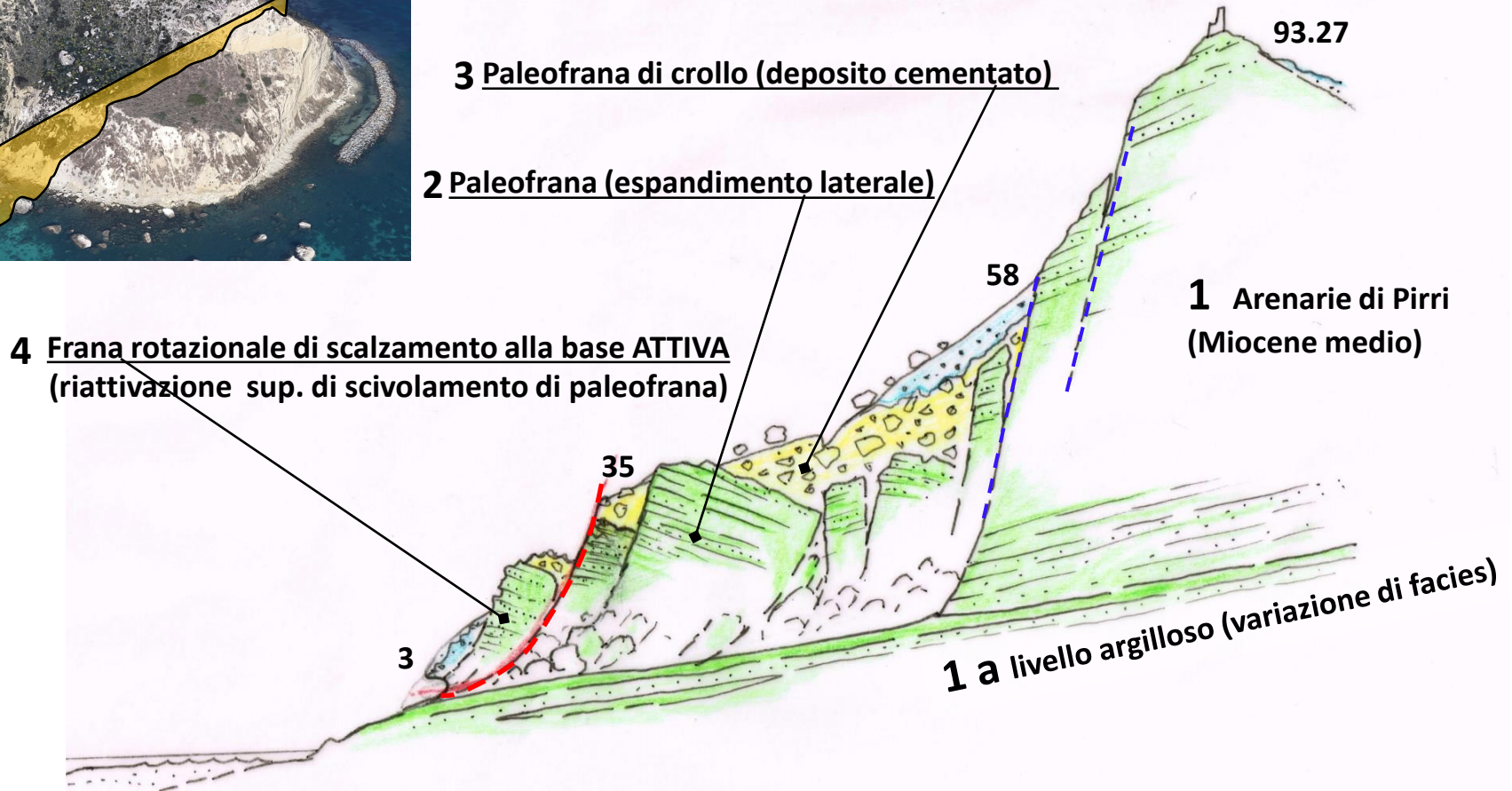
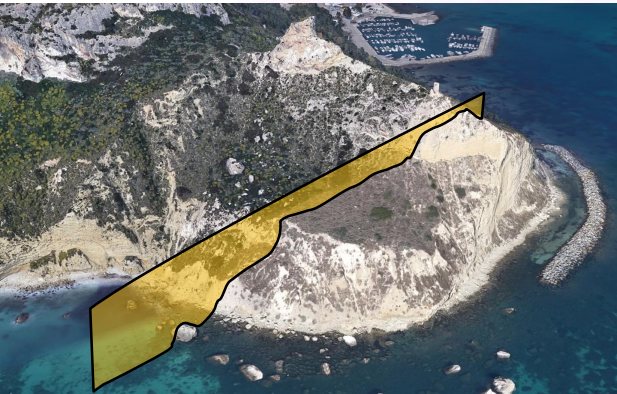
# Sella Del Diavolo Cagliari



La caratterizzazione accurata dell'assetto geologico permette di verificare la tendenza evolutiva e quindi meglio definire le aree potenzialmente maggiormente instabili.

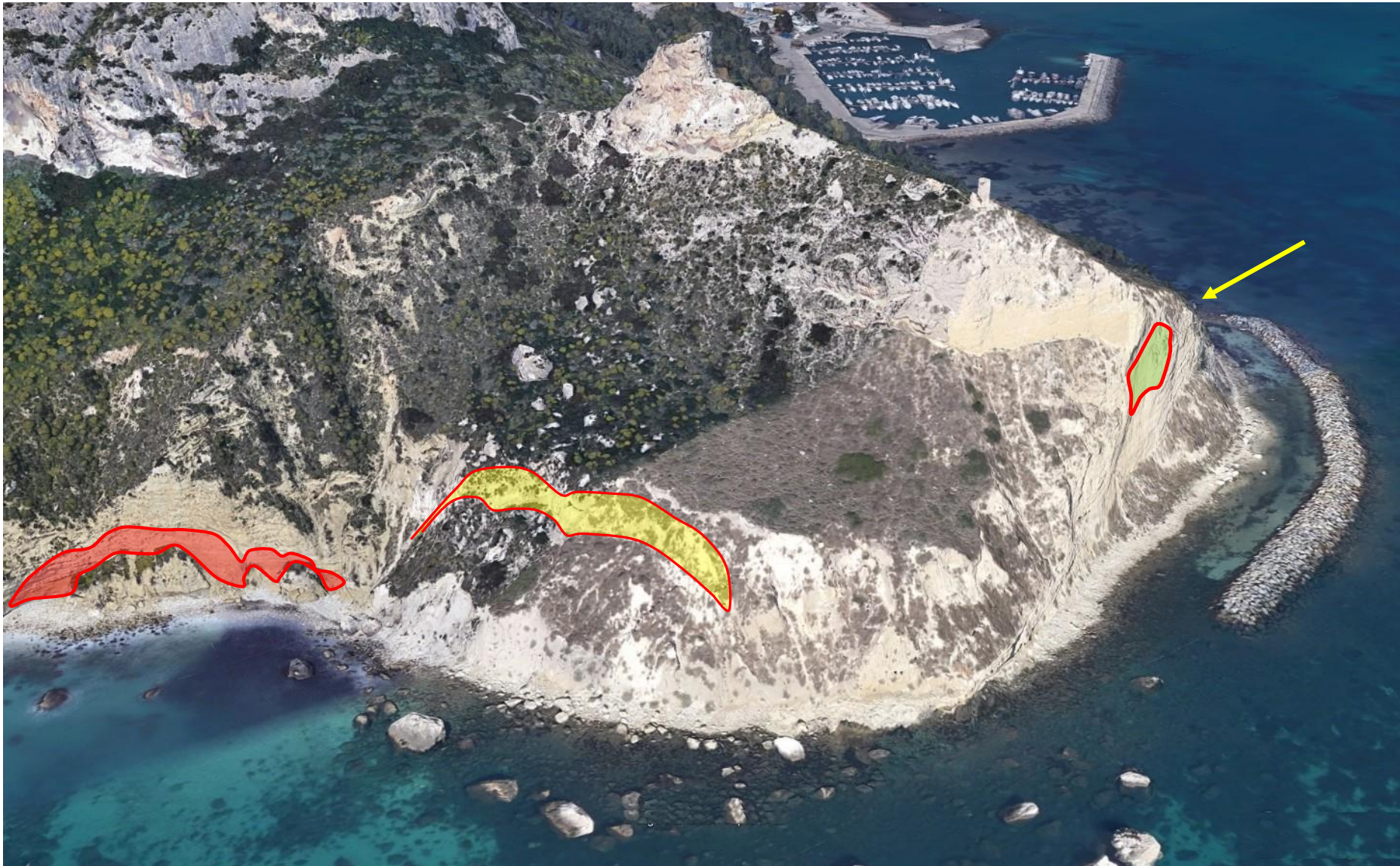


# Sella Del Diavolo Cagliari



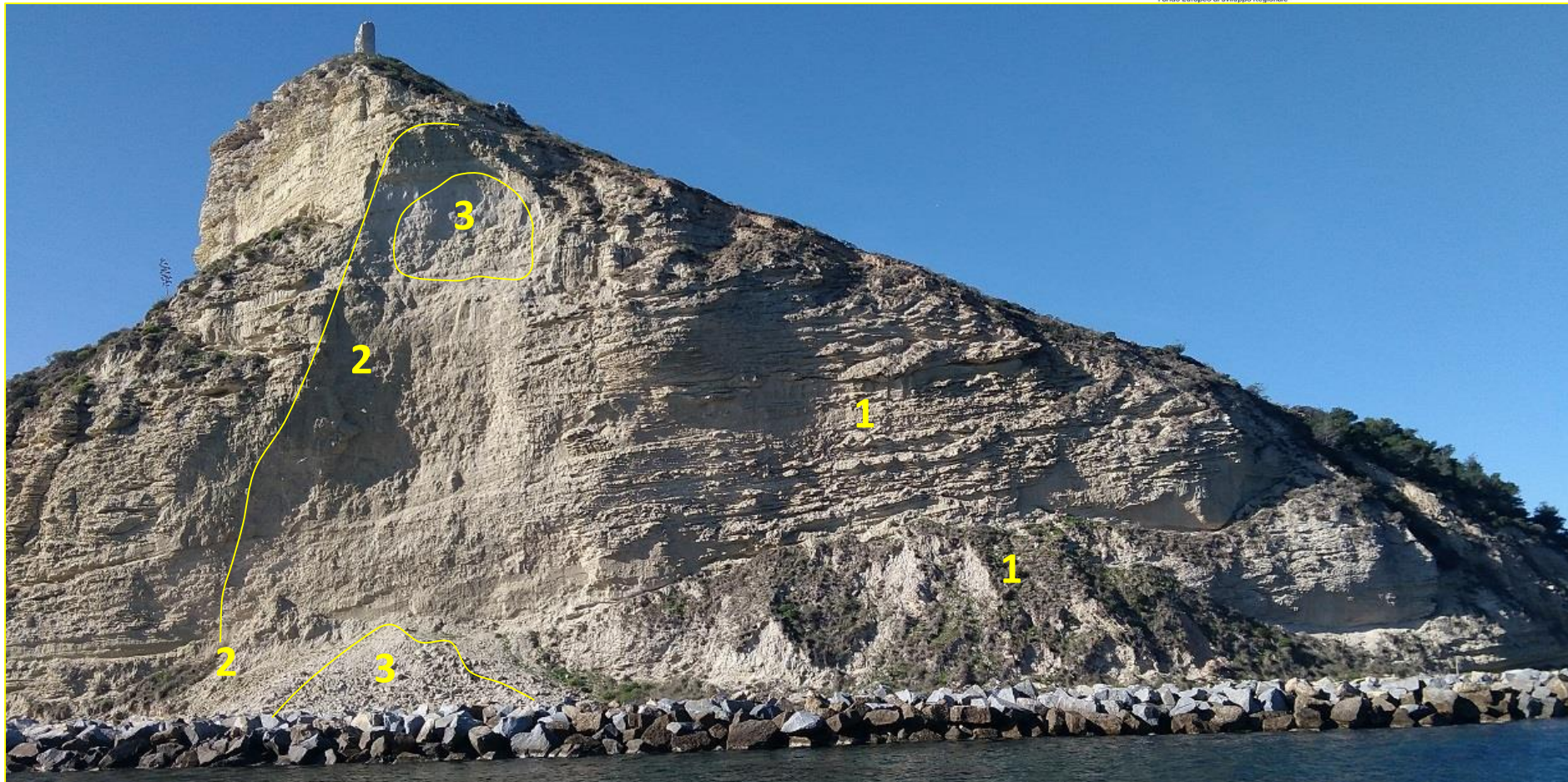
La caratterizzazione accurata dell'assetto geologico permette di verificare la tendenza evolutiva e quindi meglio definire le aree potenzialmente maggiormente instabili.

# Sella Del Diavolo Cagliari



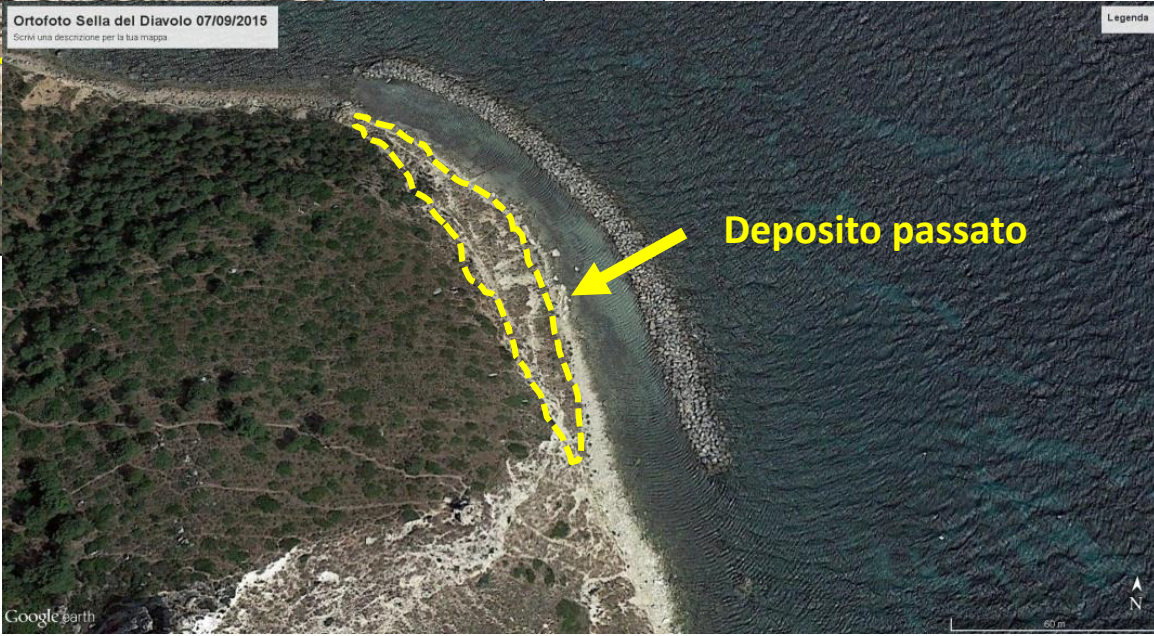
# Sella Del Diavolo Cagliari

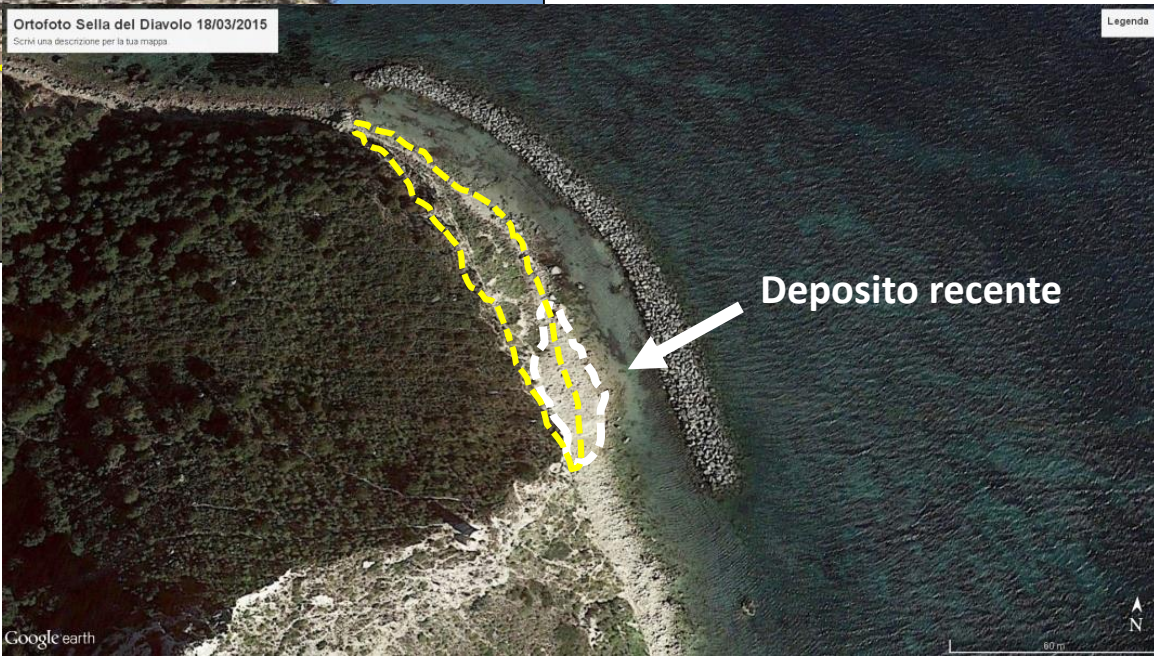
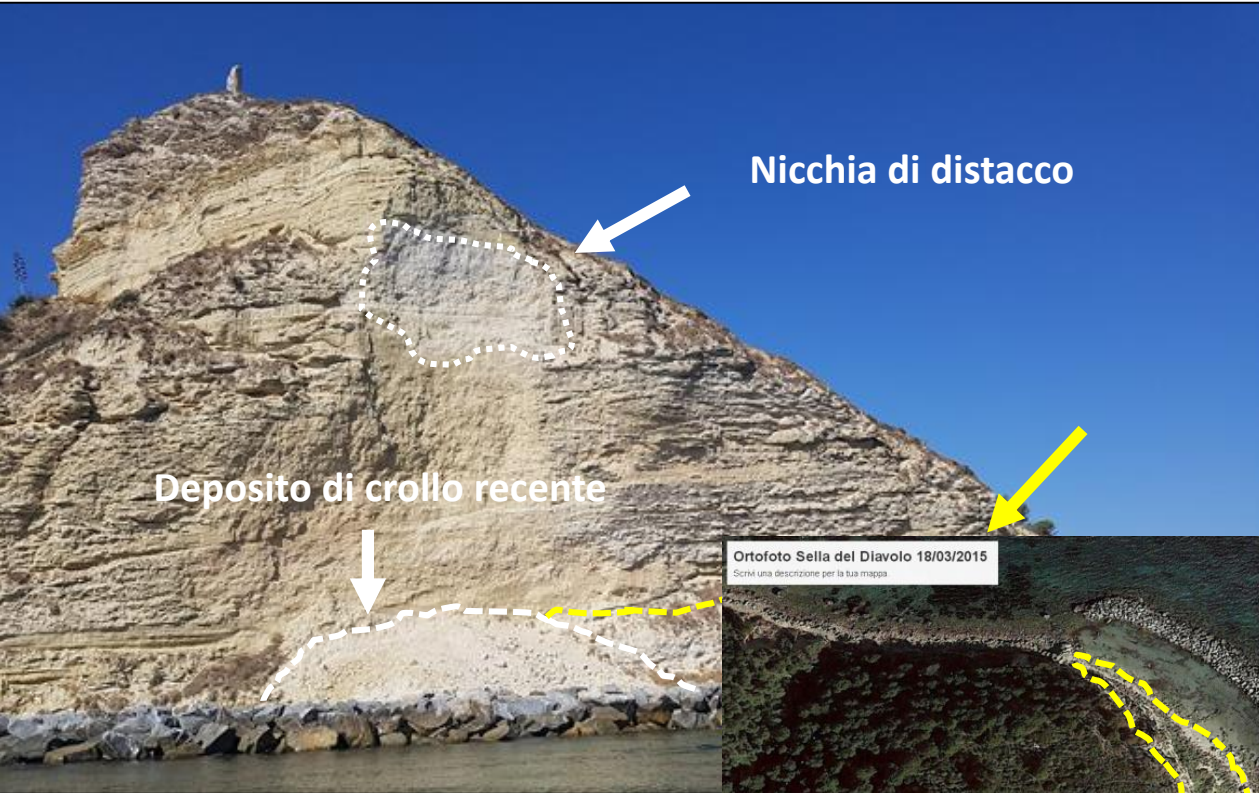
## 5 – Analisi multitemporale

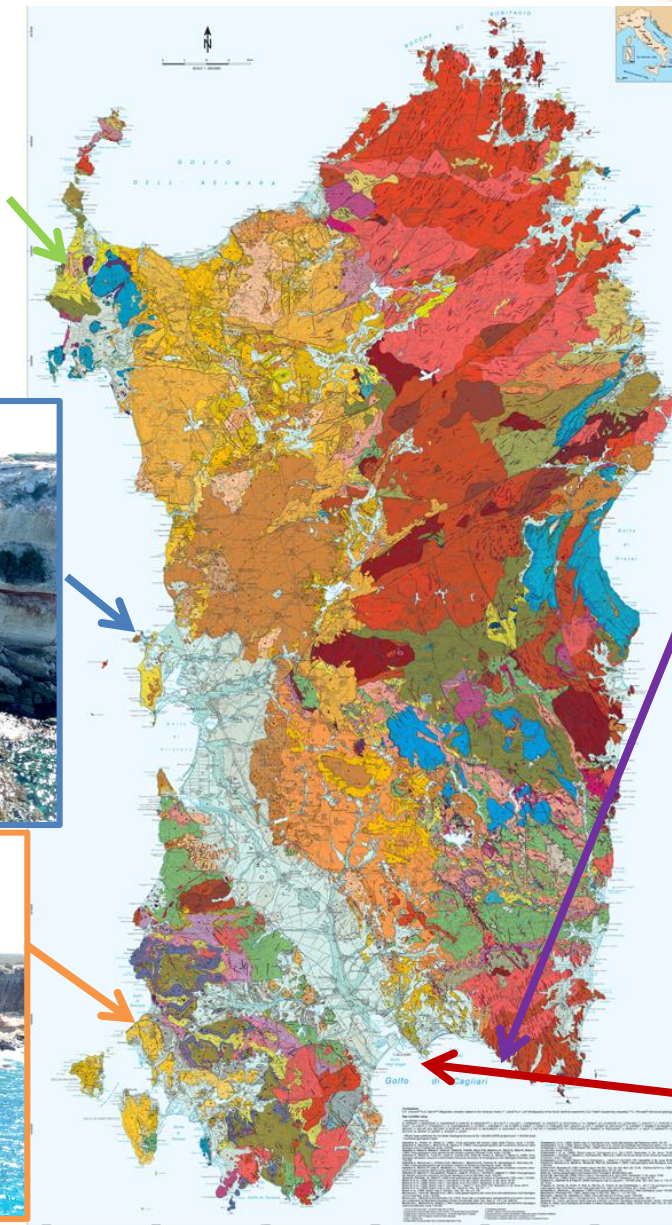


*Depositi di frana di crollo località Marina Piccola: 1) nicchie di distacco alterate e deposito colonizzato dalla vegetazione evultesi tra 1940 e 1950; 2) nicchia di distacco e deposito al piede della frana del 2/07/1987; 3) nicchia di distacco e deposito del 21/02/2017. In primo piano la barriera di massi protettiva messa in opera successivamente all'evento del 1987.*









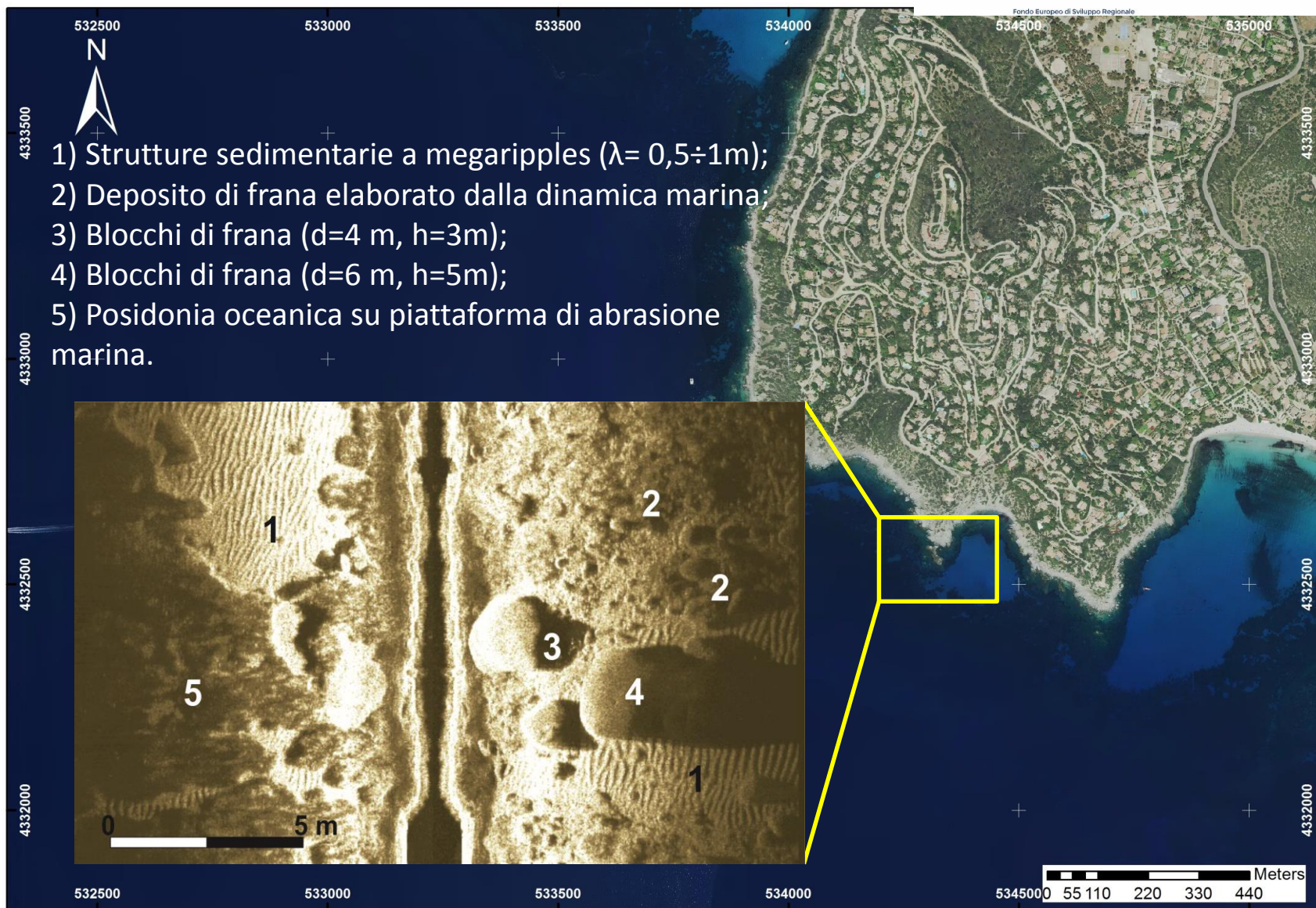
## 4 – Rilevamenti per la caratterizzazione geologica dei settori emersi e sommersi



Torre delle Stelle

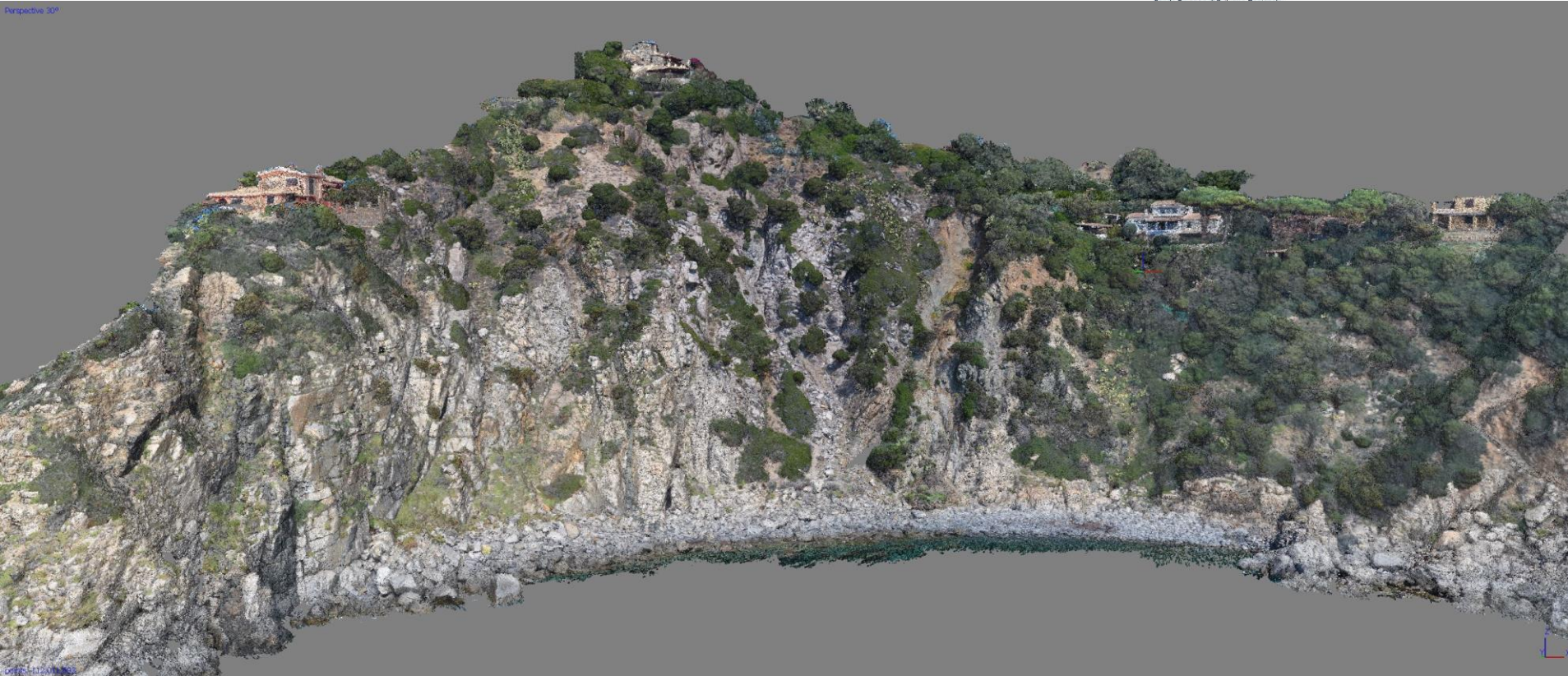


## 4 –Rilevamenti per la caratterizzazione geologica dei settori **emersi e sommersi**



Torre delle Stelle

Perspective 30°



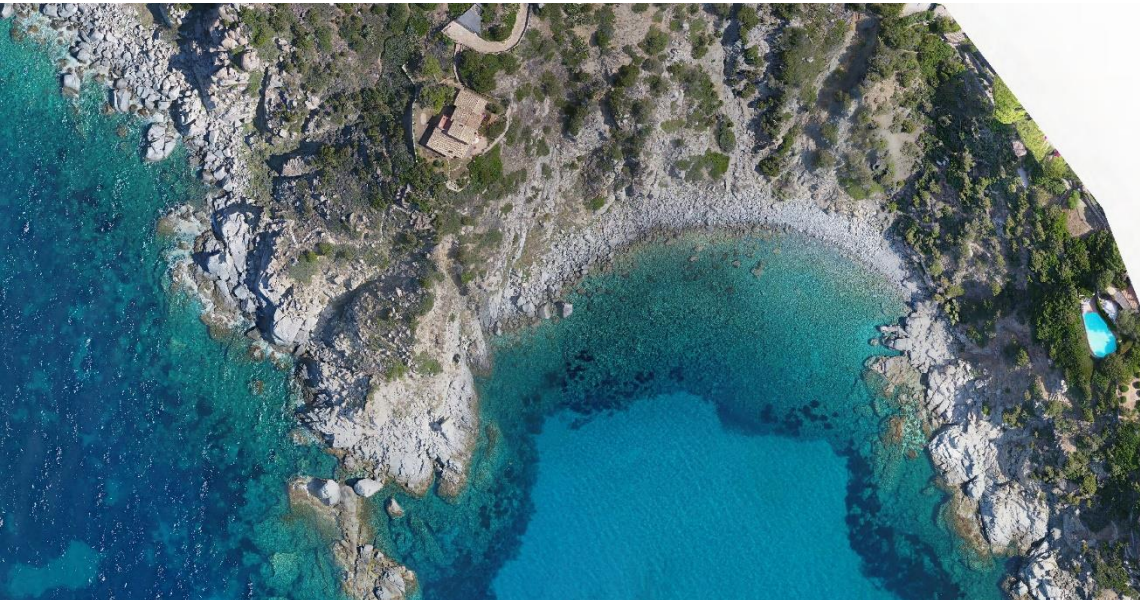
00001120000000



Rilevamento laser scanner

Torre delle Stelle

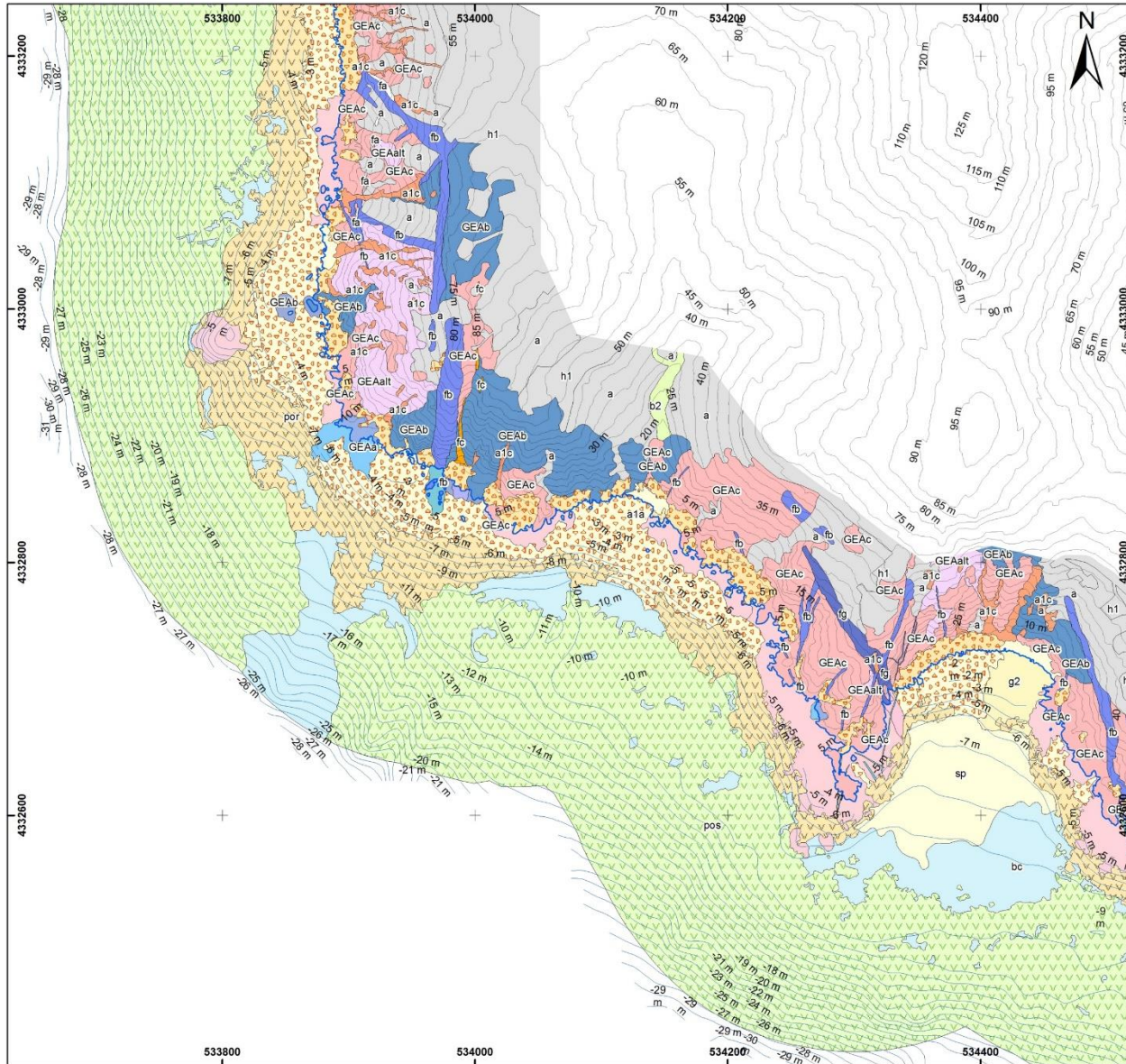
**DJI Matrice 200**



Rilevamento  
fotogrammetrico di dettaglio



Torre delle Stelle



## Legend

### Legend

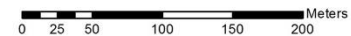
Coastal line

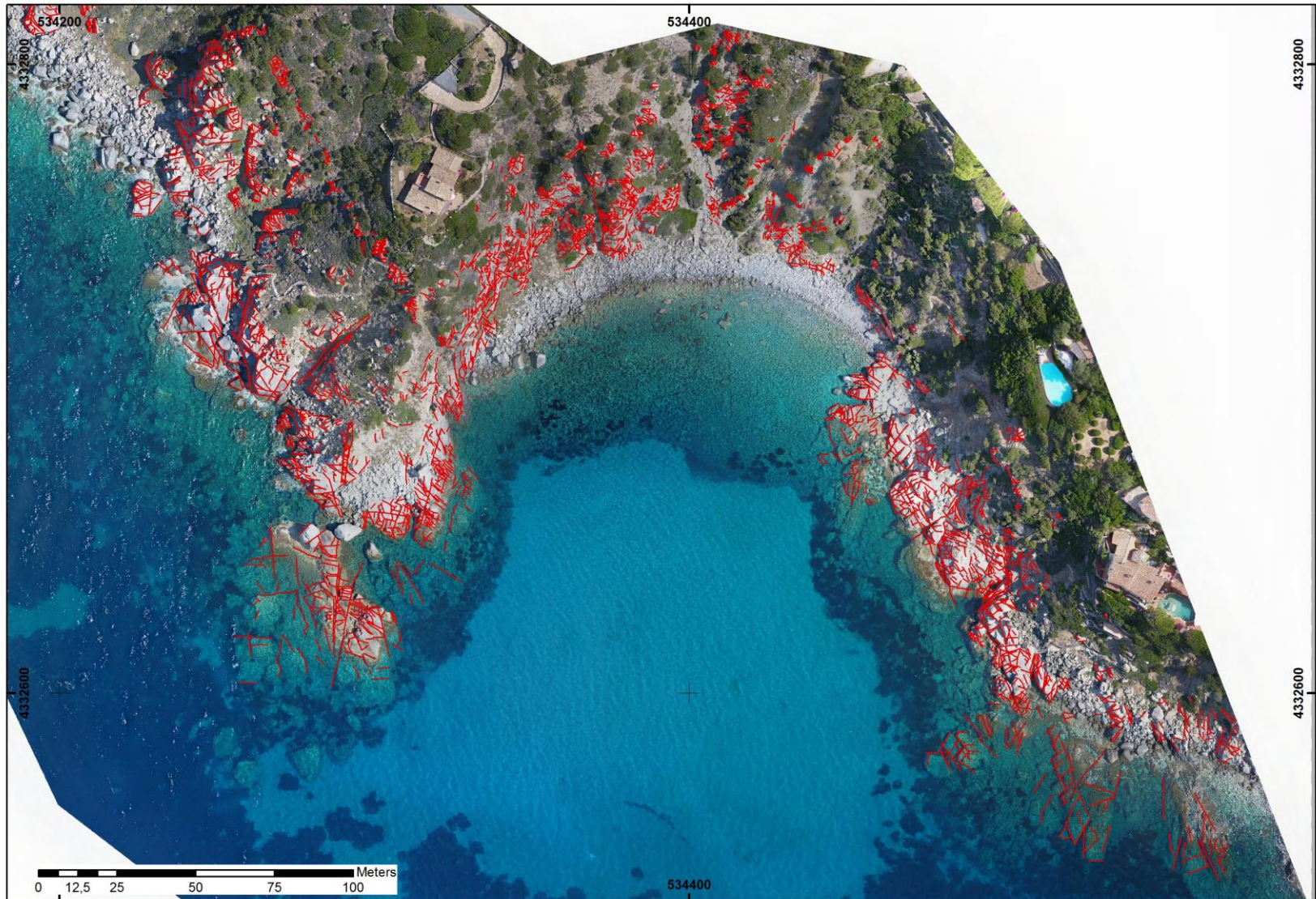
### EMERGED ENVIRONMENT

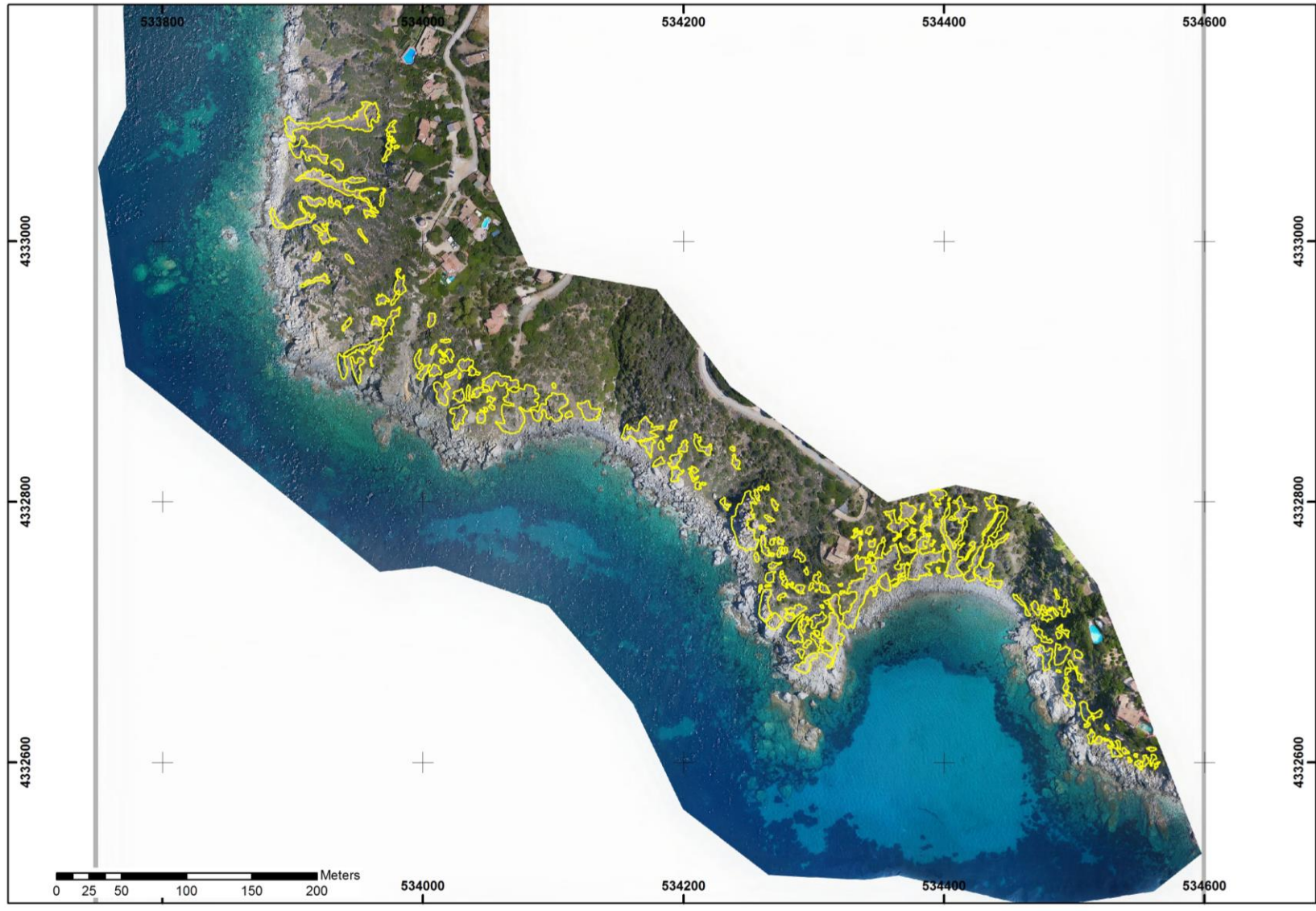
- h1 Antropic deposits (Holocene)
- g2 Beach deposits (Holocene)
- a1a Rockfall deposits (Holocene)
- a1c Scree slope (Holocene)
- b2 Eluvial and colluvial deposits (Holocene)
- a Debris slope deposits (Holocene)
- fa Hydrothermal dikes (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- fb Basic dikes (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- fc Acid dikes (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- fg Gabbroes dikes (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- GEAlt Altered granodiorites and tonalites (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- GEAc Granodiorites (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- GEAb Gabbroes-Tonalitic complex (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- GEaA Quarzo-gabbroes (Carbonifero Sup.-Permiano?)

### SUBMERGED ENVIRONMENT

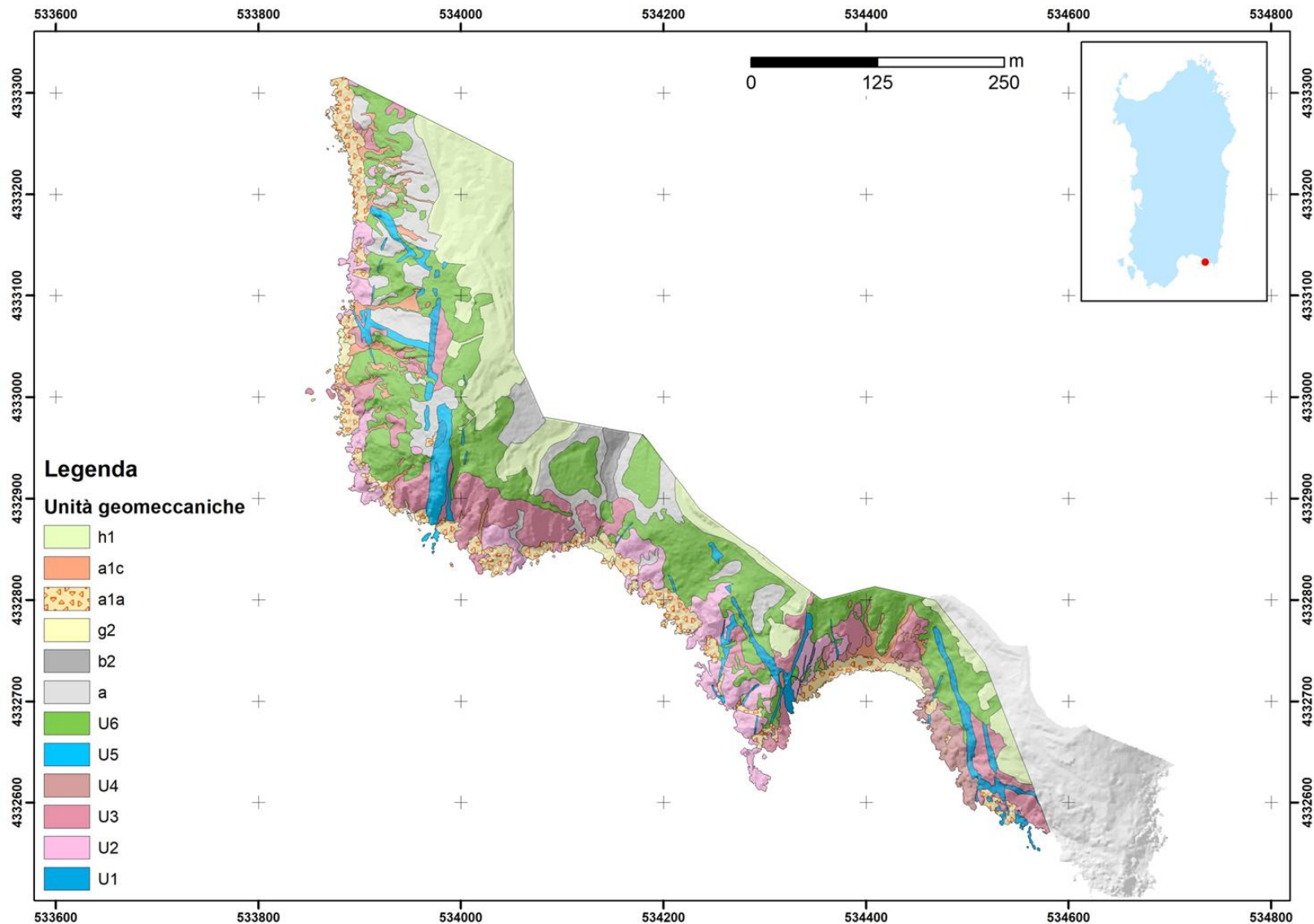
- pos Posidonia oceanica prairie on matte/sand
- por Mosaic at Posidonia oceanica on rock and rock outcropping
- g2 Sands and/or littoral gravels grading from medium-fine grained to coarse grained and local accumulation of Posidonia oceanica. (Holocene)
- sp Bioclastic deposit to medium and coarse sands; coarse sands and gravels of intramatte depressions. (Upper Holocene -present)
- bc Bioclastic deposit to medium and coarse sands; coarse sands and gravels of intramatte depressions. (Upper Holocene -present)
- a1a Rock fall deposit (Holocene)
- fc Acid dikes (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- fg Gabbroes dikes (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- fb Basi dikes (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- GEAc Granodiorites (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- GEAb Gabbroes-Tonalitic complex (Carbonifero Sup.-Permiano?)
- GEaA Quarzo-gabbroes (Carbonifero Sup.-Permiano?)





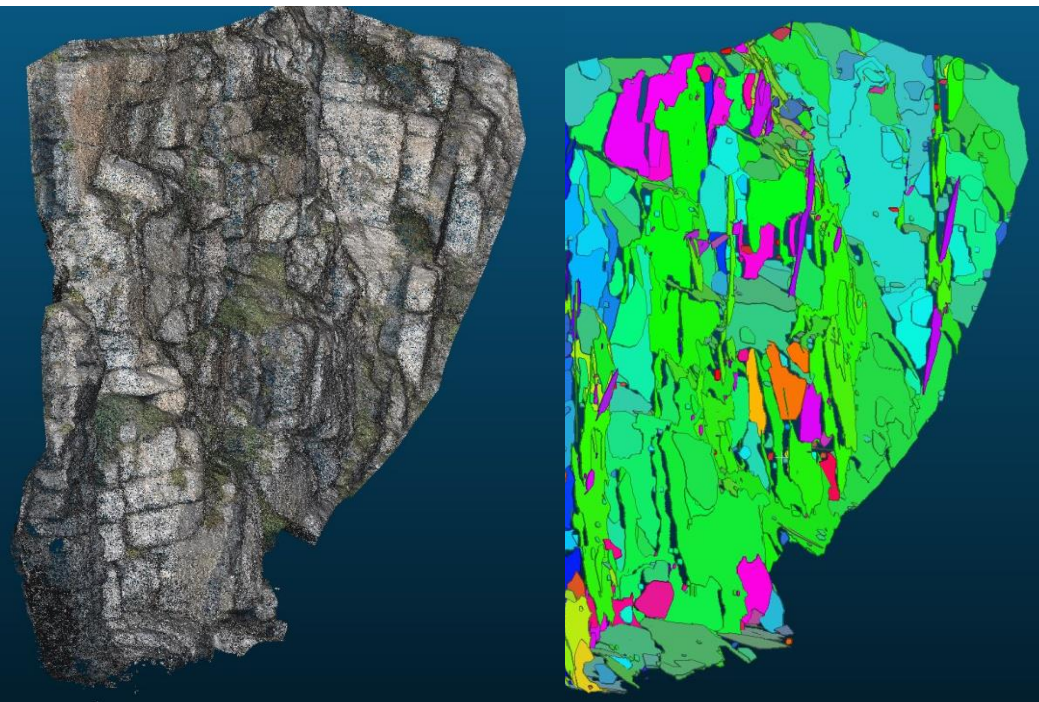


# Carta delle Unità Geomeccaniche

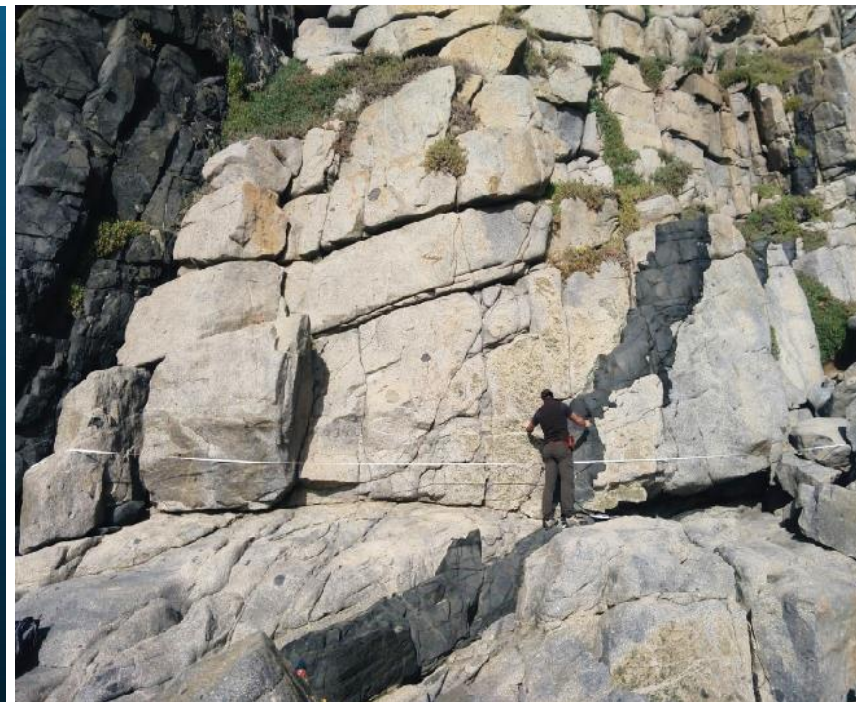


# Caratterizzazione Geomeccanica

STAZIONE: U2 Torre delle Stelle			Data: 19/12/2018		Località: Cala Delfino				LITOLOGIA: Granodioriti-Tonaliti				Dir + Dip Scanline: N40/0		Dir Dip + Dip		
Spaziatura		Tipo	Dip Dir	Dip	Semitraccia		Terminazione		JRC	Curvatura	Apertura	Riempim.	C. Idrauliche	Alterazione	Indice di Rimbalzo	Foto	IR MEDIO
N°	m		°	°	Super./m	Infer./m	Fratt.IAO	Finest.TIC	0-20	mm	mm				IR		
1	1.00	J	72	88	2.00	6.00	A	T	12	10	10	Assente	W1	I			
2	2.05	J	235	80	0.85	0.20	A	C	4	4	3	Assente	W1	I			
3	3.00	J	238	85	1.50	☐	A	I	6	15	10	Assente	W1	I			
4	4.10	J	205	88	0.55	1.90	A	C	6	60	4	Assente	W1	I	32,38,30,46,40,36,44,42,38,38,40,60,42,42,54,40,	←	42
5	4.50	J	220	60	0.05	☐	A	I	8	40	10	Assente	W1	I			
6	5.65	J	215	85	0.60	2.10	A	I	4	40	5	Assente	W1	I			
7	6.30	J	230	60	0.80	0.60	A	C	20	10	30	Q	W1	I			
8	6.95	J	210	88	0.66	2.50	A	C	4	20	30	Assente	W1	I			
9	7.20	J	130	88	0.67	☐	O	I	2	5	3	Assente	W1	I	62,50,48,50,50,50,48,48,56,62,68,52,54,54,48,52,54	←	52.5
10	7.90	J	30	86	0.80	2.00	O	C	8	20	2	Assente	W1	I			
11	8.10	J	238	85	☐	☐	O	I	4	15	5	Assente	W1	I	30,48,38,38,38,38,40,40,34,38,38,40,40,34,40,40,	←	38.8
12	8.70	J	40	88	0.80	☐	A	I	8	20	4	Assente	W1	I			
13	10.40	J	40	82	1.80	☐	A	T	8	20	3	Assente	W1	I			



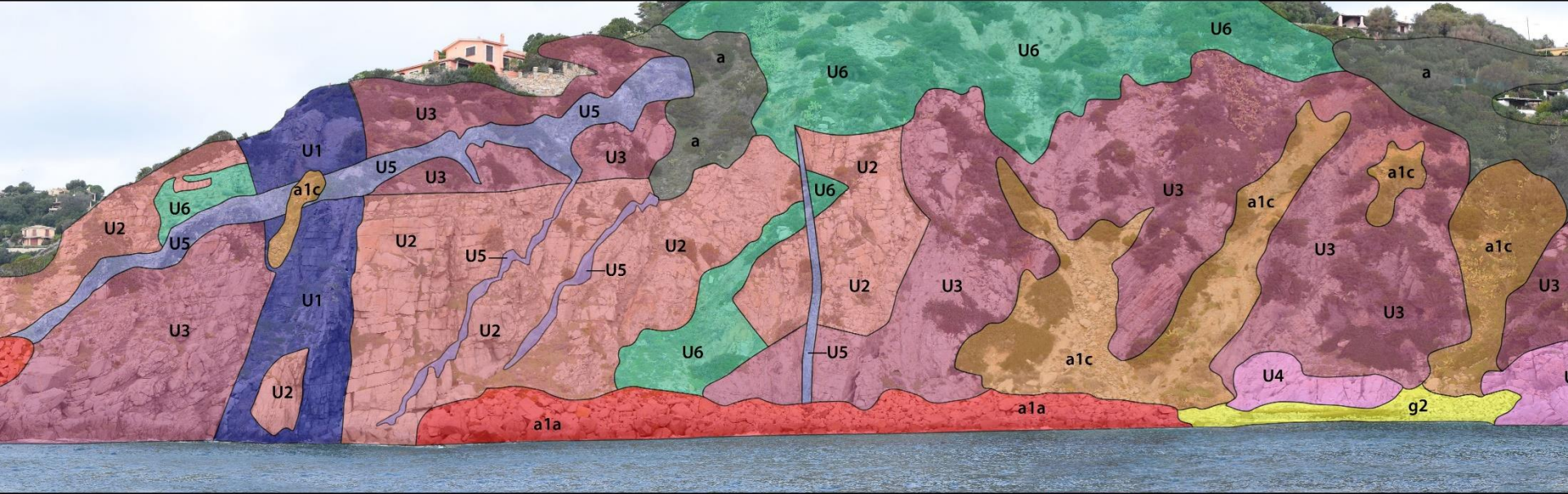
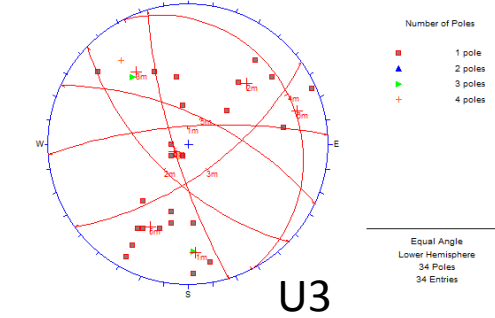
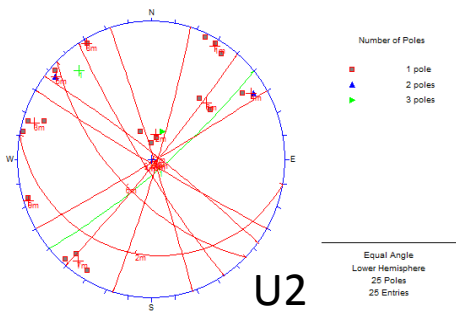
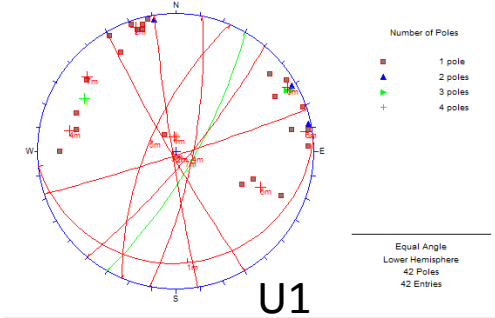
- Misure indirette



- Misure dirette



# Modello geomeccanico



	c (KPa)	$\phi$ (°)	RMR	SMR
U6	300.72	35.07	45.14	32.64
U5	286.26	33.63	42.25	30.57
U4	360.99	41.10	57.20	52.20

	c (KPa)	$\phi$ (°)	RMR	SMR
U3	351.20	40.12	55.24	50.24
U2	386.92	43.69	62.38	57.38
U1	331.53	38.15	51.31	46.31

a1c	Scree Slope Deposits
a1a	Rockfall Deposits
g2	Beach Deposits
a	Debris Slope Deposits



Il metodo scelto è un metodo diretto, statistico di tipo probabilistico che per la valutazione del contributo dei diversi parametri correlati all'instabilità, utilizza l'approccio del *Certainty Factor* (CF) ovvero “Fattore di Certezza”.

- Limita alcuni eccessi dell'approccio euristico tipici della geologia, ma conservandone la filosofia;
- Quantifica il peso dei diversi fattori geologici.

REALIZZAZIONE DI UNA CARTA INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI

PREPARAZIONE DI CARTE TEMATICHE PER I PARAMETRI RITENUTI DIRETTAMENTE O INDIRETTAMENTE CORRELATI CON L'INSTABILITÀ DEI VERSANTI

VALUTAZIONE DEL CONTRIBUTO DI OGNI PARAMETRO

CLASSIFICAZIONE IN CLASSI A DIVERSA SUSCETTIVITÀ

L'assunto di partenza è che la combinazione dei diversi fattori responsabili del franamento nel passato, possa essere estesa a zone non interessate da frane ma aventi condizioni simili per individuare e localizzare le aree dove si possono verificare nel futuro nuovi movimenti di versante.

## Metodo del Certainty Factor (CF)- Fattore di Certezza:

Il valore di CF esprime la variazione in termini di probabilità al verificarsi di una certa ipotesi (area suscettibile al franamento) relativamente alla presenza o assenza di evidenze note in un intervallo di variazione che varia tra -1 e +1. Valori positivi del CF indicano una maggiore certezza dell'ipotesi fatta, mentre valori negativi determinano una diminuzione delle certezze di eventualità di attivazione di una frana. Un valore del CF prossimo allo zero indica invece che non è possibile fornire un'indicazione circa la probabilità che si verifichi l'ipotesi fatta.

$$CF = \begin{cases} \frac{pp_a - pp_s}{pp_a (1 - pp_s)} & \text{se } pp_a \geq pp_s \\ \frac{pp_a - pp_s}{pp_s (1 - pp_a)} & \text{se } pp_a < pp_s \end{cases}$$

I valori di  $pp_a$  e  $pp_s$  sono i valori di probabilità che vengono utilizzati per il calcolo del CF. Il valore  $pp_a$  viene calcolato come il rapporto tra l'area in frana appartenente ad una determinata classe e l'area totale di quella classe (es.: frane di basalto/area basalto). Il valore  $pp_s$  è il rapporto tra la superficie delle aree in frana e la superficie dell'intera area di studio.

Pertanto i valori di probabilità vengono calcolati utilizzando i parametri:

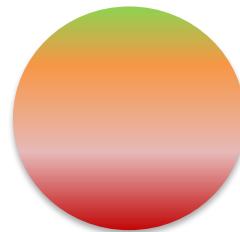
1. Area in studio
2. Area totale in frana nell'area in studio (deriva dai poligoni delle frane censite)
3. Area totale di ogni determinata classe per ogni tematismo (es.: classe basalti nel tema litologia)
4. Area interessata da frana di ogni classe per singolo tematismo (es.: frana composta di basalto)

I valori numerici utilizzati sono misurati come numero di *pixel*.

# Valutazione della suscettività al dissesto franoso









## Suscettività

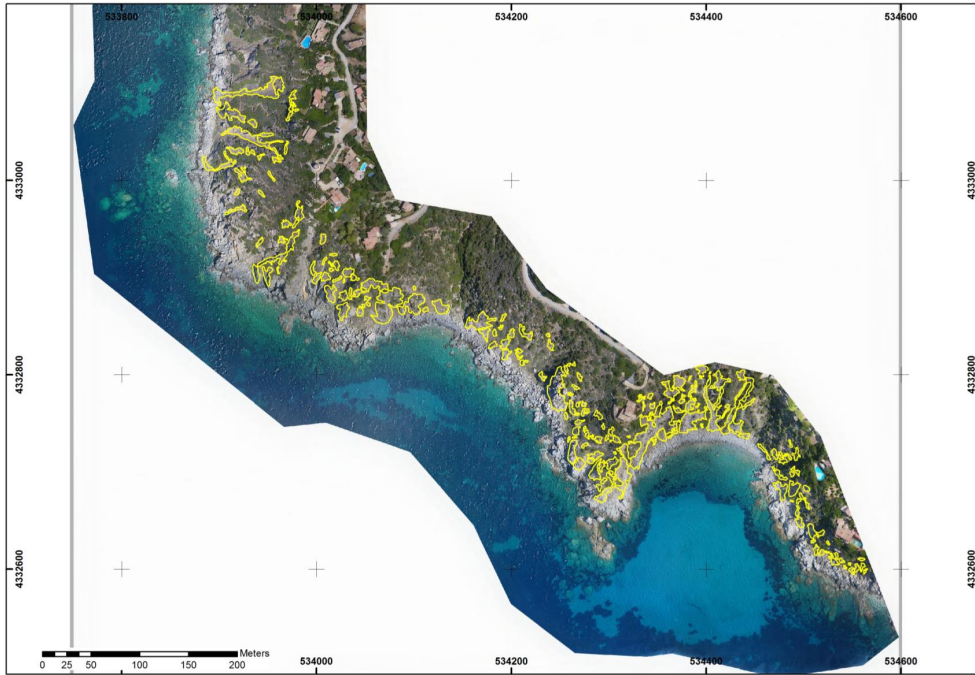


## Legenda

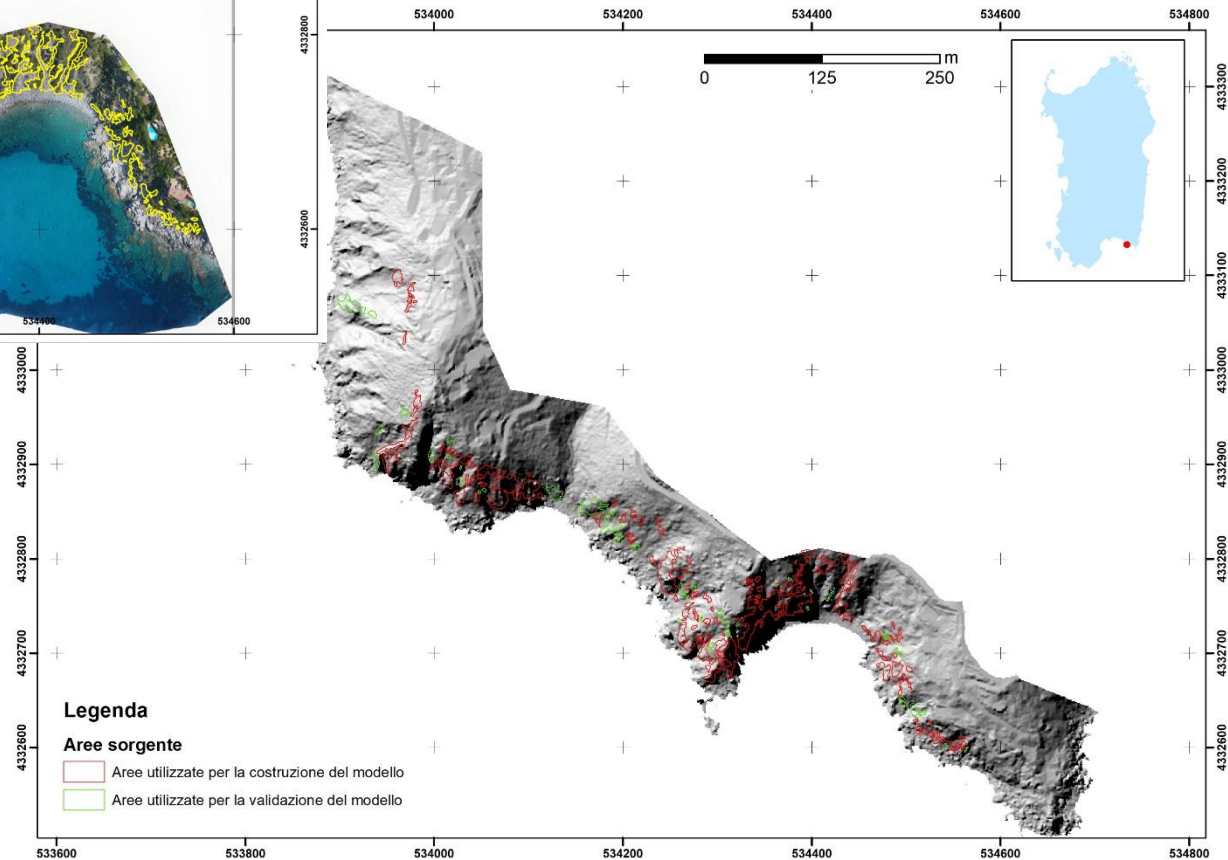
### Value

-  1 - Alta stabilità
-  2 - Media stabilità
-  3 - Stabilità incerta
-  4 - Bassa instabilità
-  5 - Media instabilità
-  6 - Alta instabilità

# Valutazione della suscettività al dissesto franoso

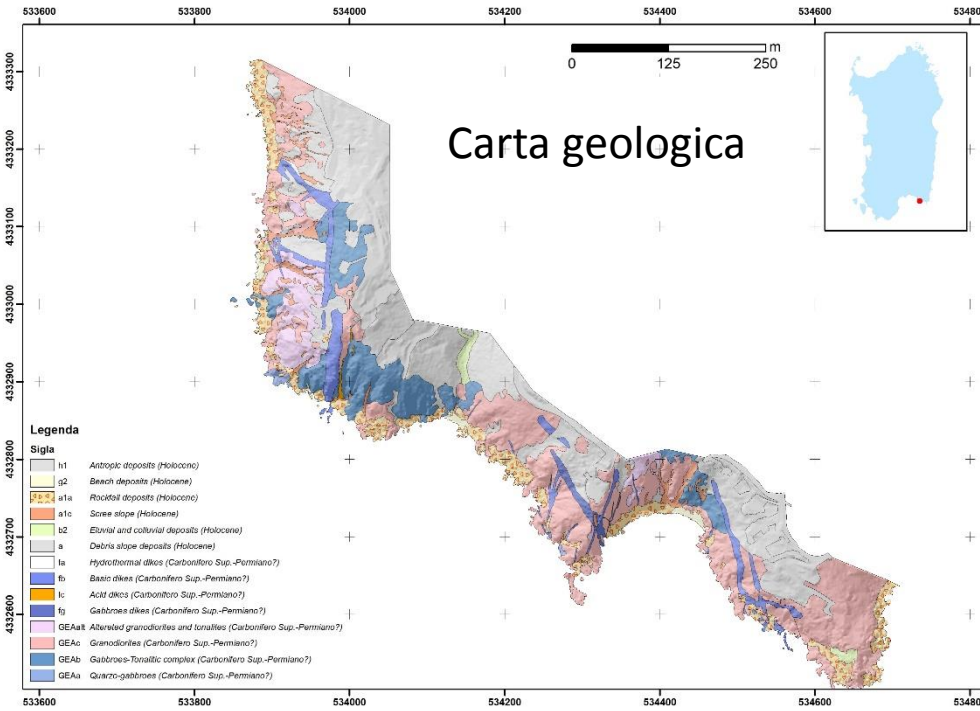


Le aree sorgente:  
dati di training e dati di test



Torre delle Stelle

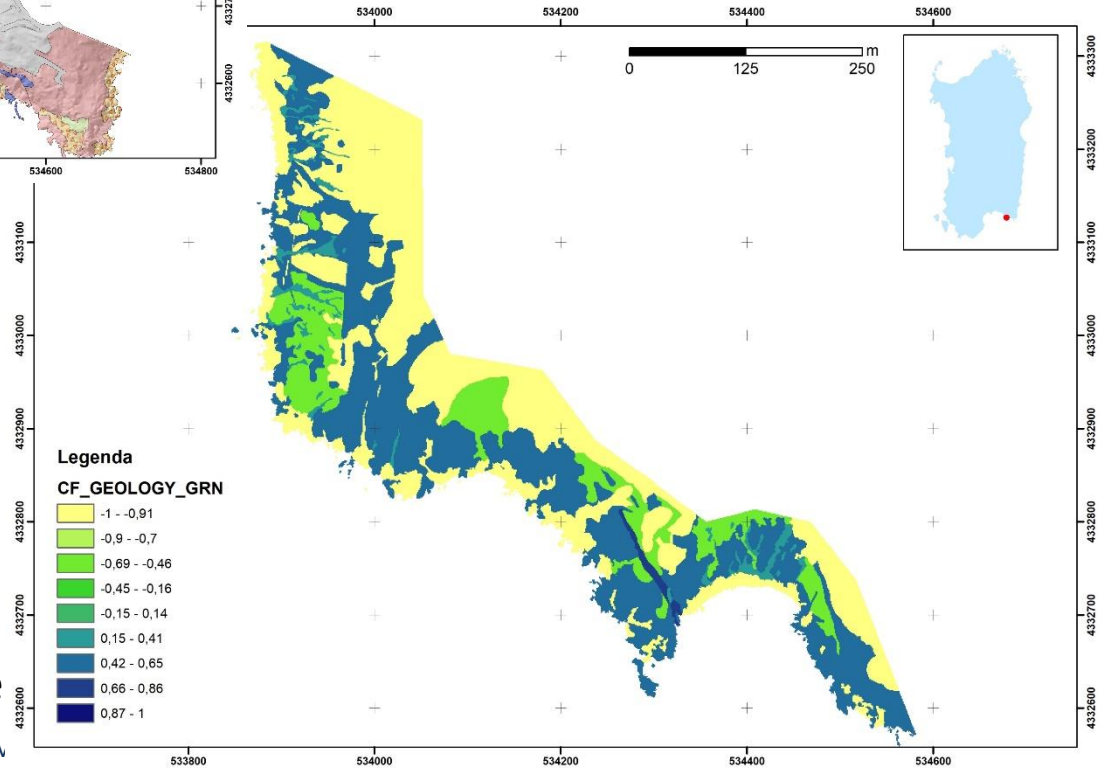
# Valutazione della suscettività al dissesto franoso



2	GEAc	0,55
3	fb	0,43
4	h1	-1,00
5	GEAb	0,63
6	GEAa	-1,00
7	a1c	0,17
8	g2	-1,00
9	a	-0,96
10	fc	-1,00
11	GEAalt	-0,47
12	fa	-1,00
13	fg	0,69
14	b2	-1,00

Torre delle Stelle

## Aree sorgente /geologia

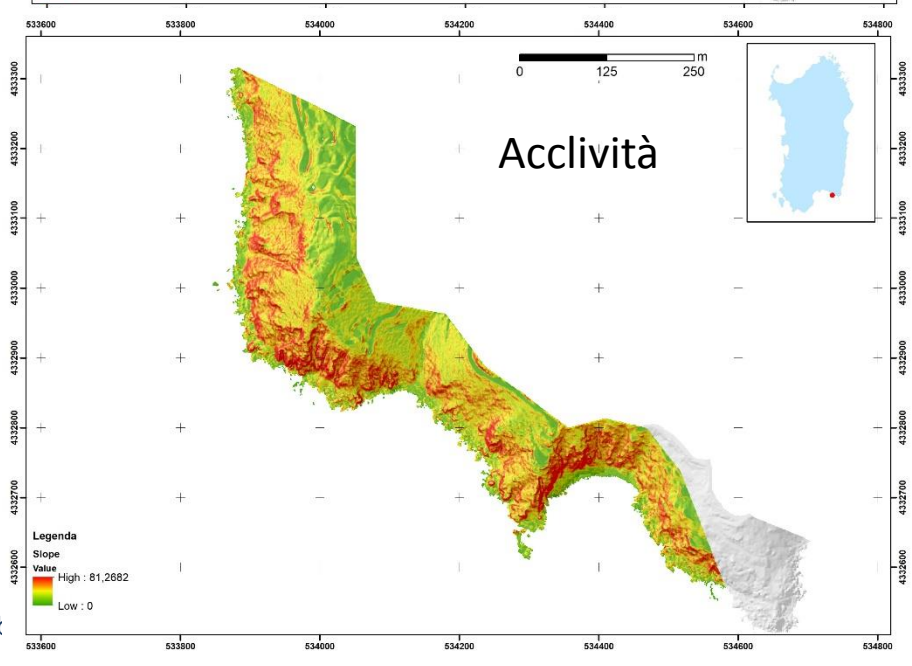
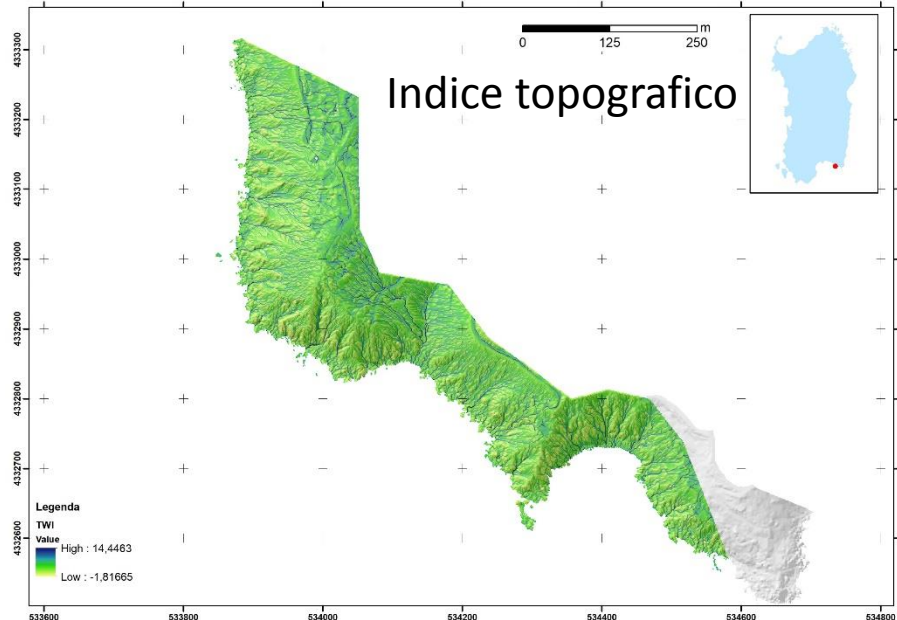
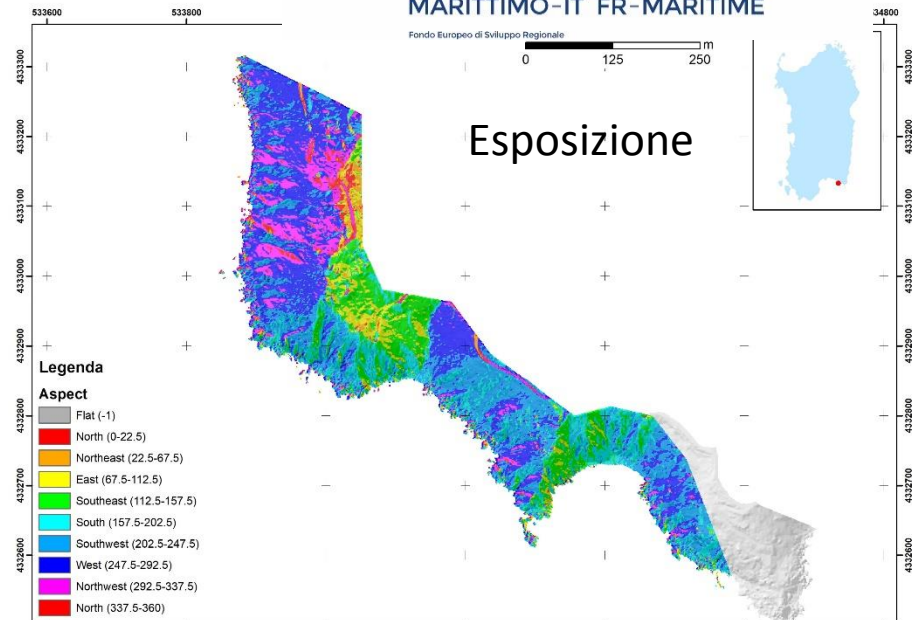
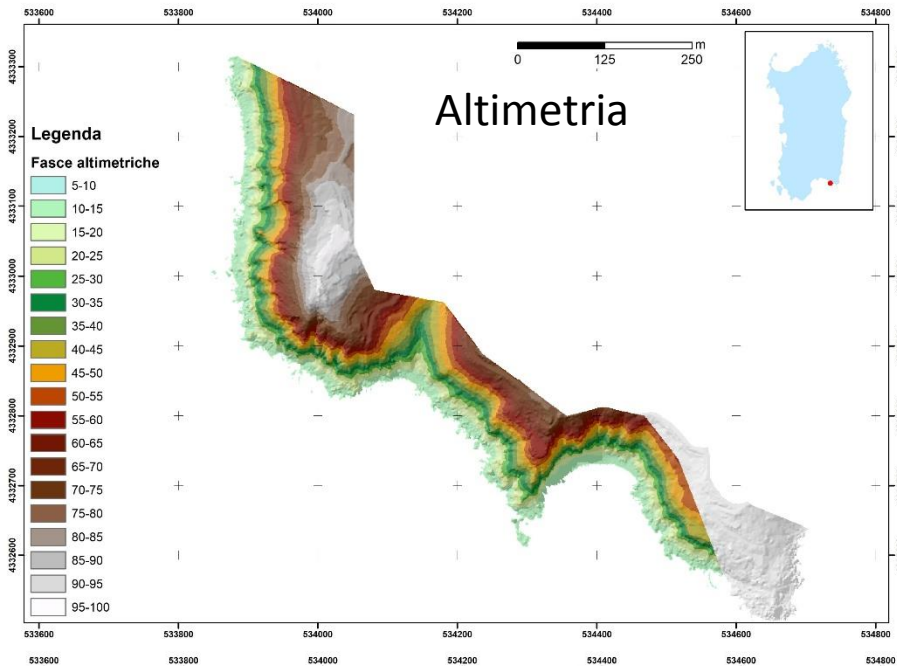


# Valutazione della suscettività al dissesto franoso

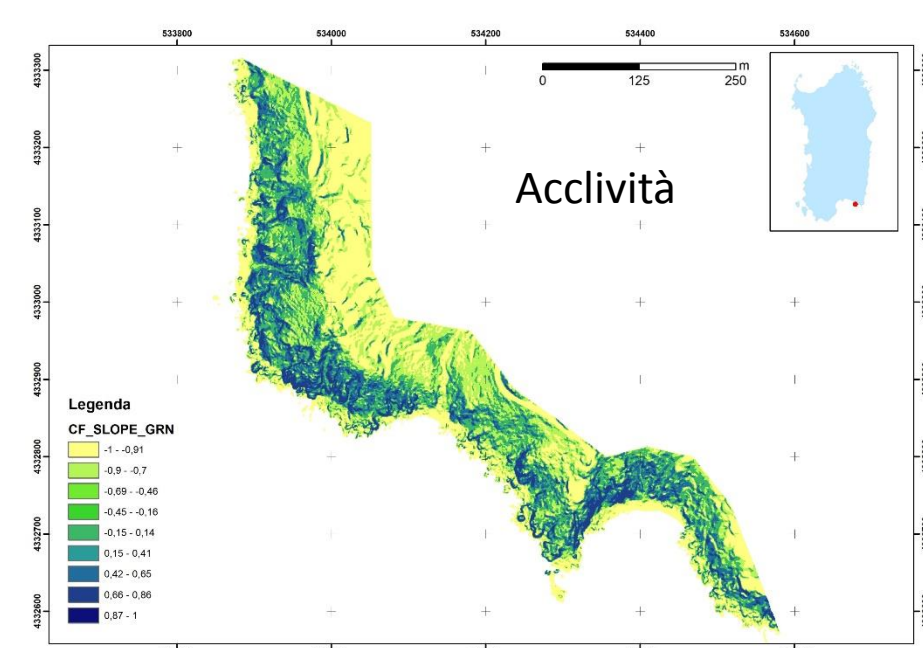
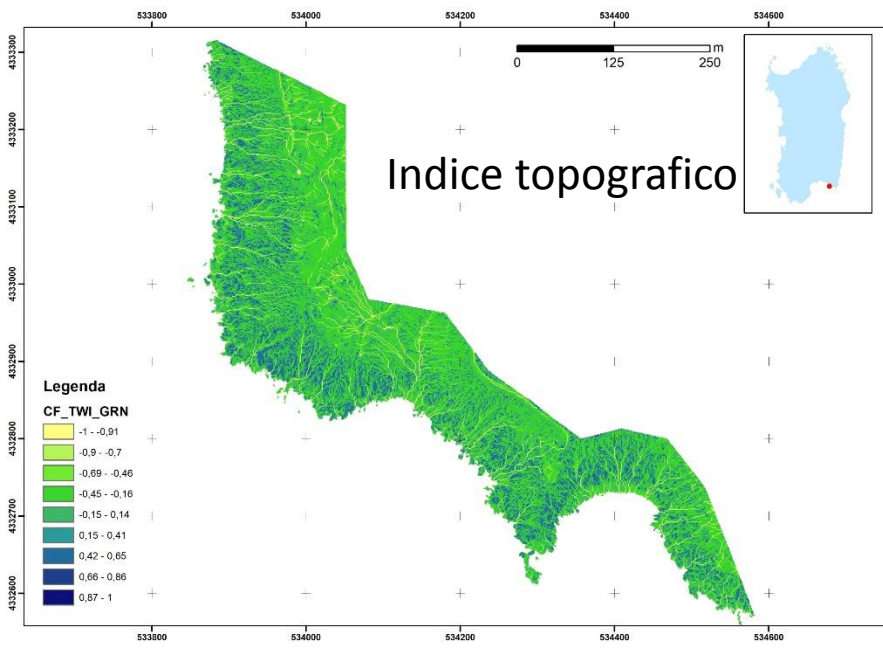
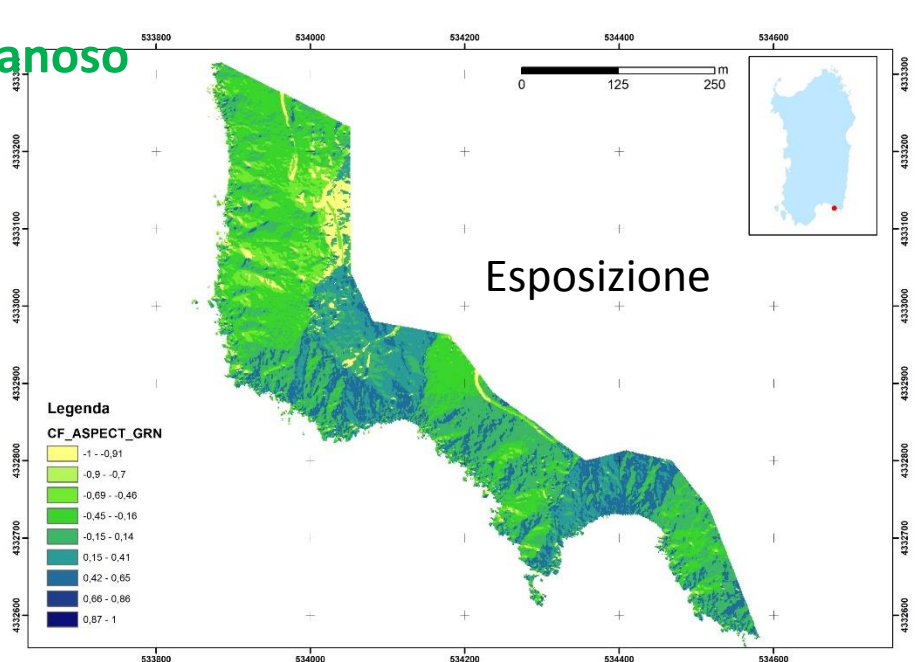
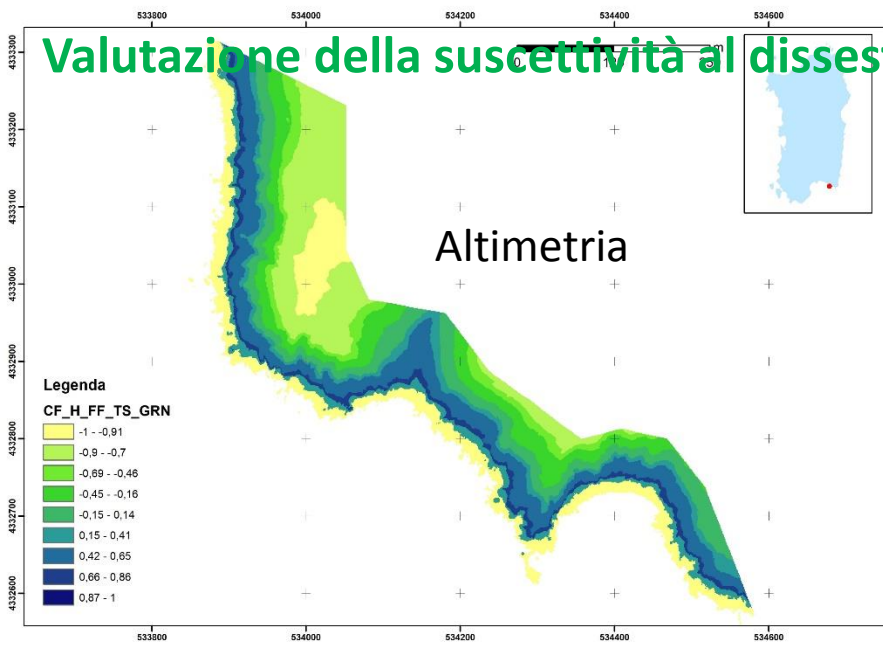
## Morfometria

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



# Valutazione della suscettività al dissesto franoso





# Valutazione della suscettività al dissesto franoso



**Interreg**

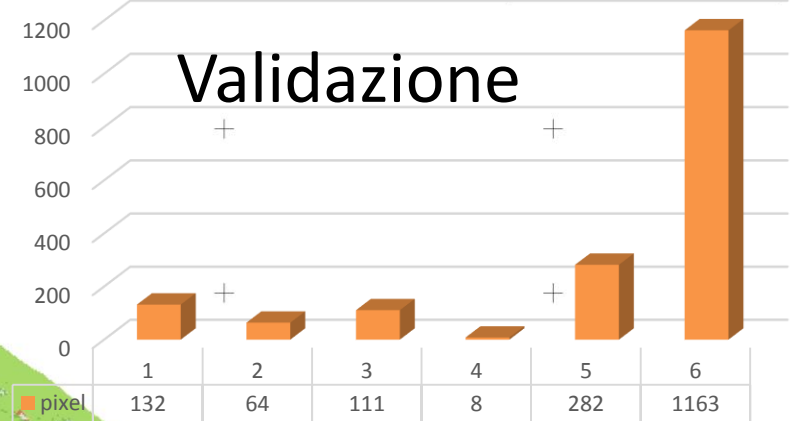
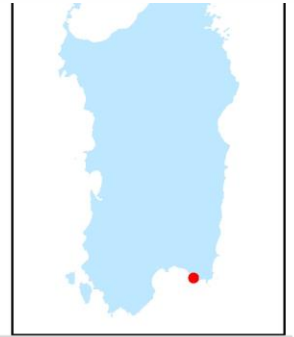


MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Carta della Suscettività  
5 parametri



## Legenda

### Value

- 1 - Alta stabilità
- 2 - Media stabilità
- 3 - Stabilità incerta
- 4 - Bassa instabilità
- 5 - Media instabilità
- 6 - Alta instabilità

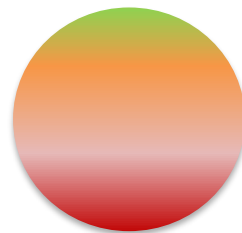
**82,56 %**

Torre delle Stelle

# Valutazione della suscettività al dissesto franoso









Suscettività

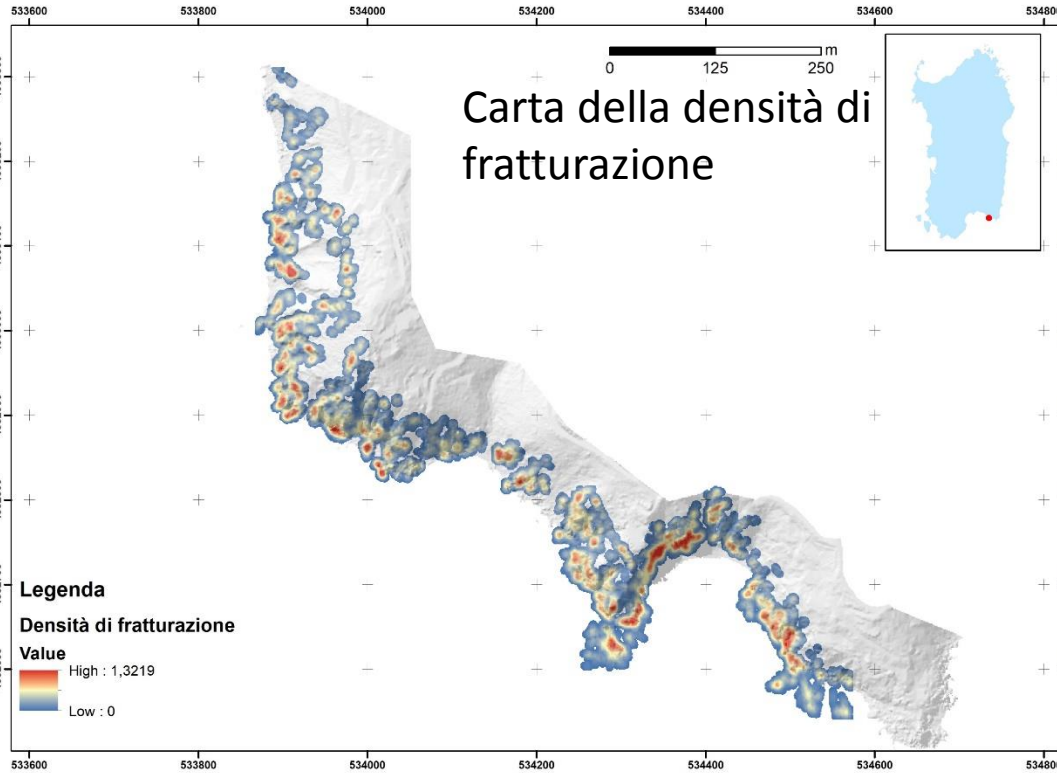


## Legenda

### Value

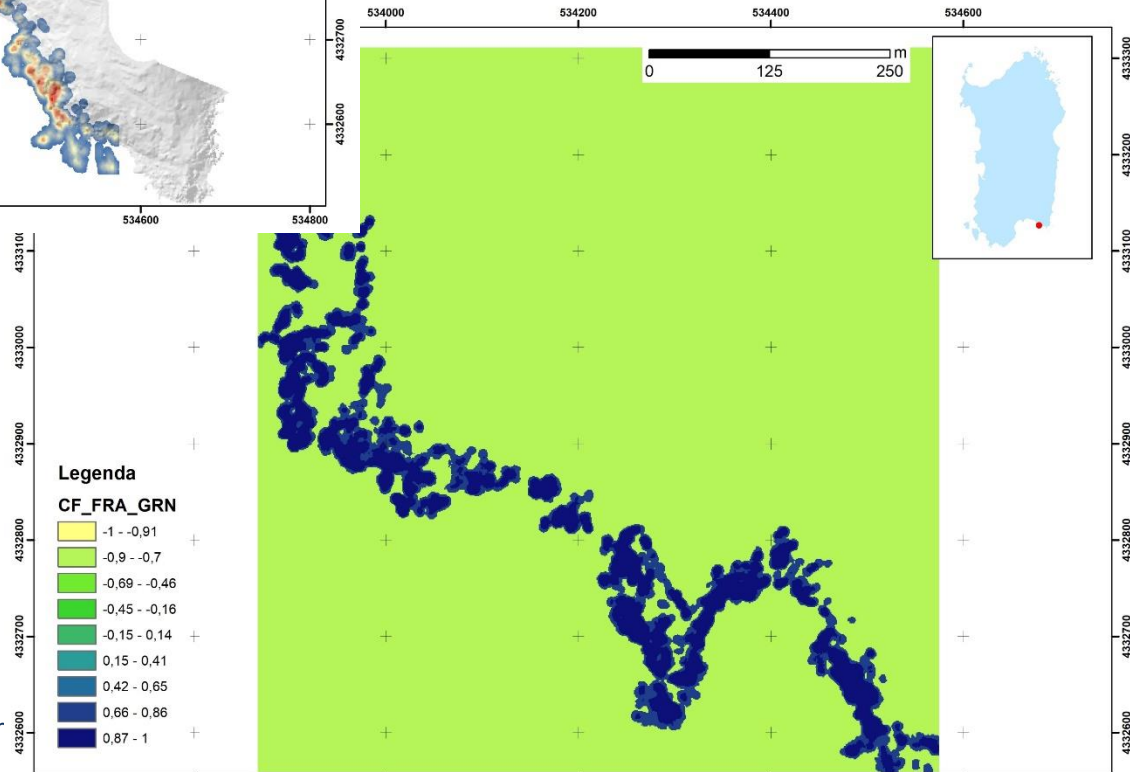
- |   |                       |
|---|-----------------------|
|   | 1 - Alta stabilità    |
|  | 2 - Media stabilità   |
|  | 3 - Stabilità incerta |
|  | 4 - Bassa instabilità |
|  | 5 - Media instabilità |
|  | 6 - Alta instabilità  |

# Valutazione della suscettività al dissesto franoso



Aree sorgente /carta della densità di fratturazione

Classe	CF
1	-0,79
2	0,82
3	0,89
4	0,93
5	0,94



Torre delle Stelle

Gestione e prevenzione del rischio costiero di un territorio ir

# Valutazione della suscettività al dissesto franoso

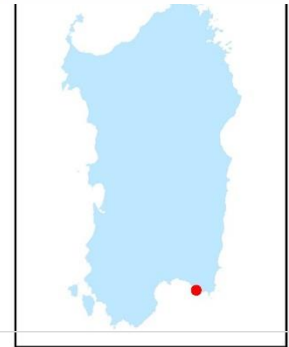


Interreg

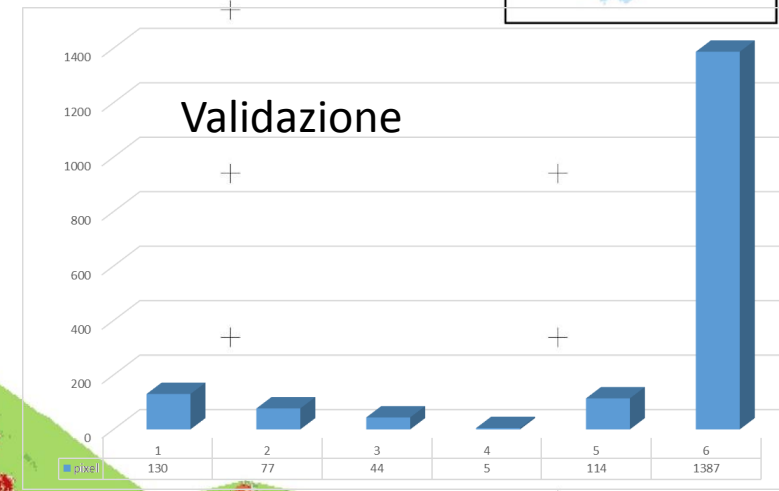


MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Carta della Suscettività 6 parametri



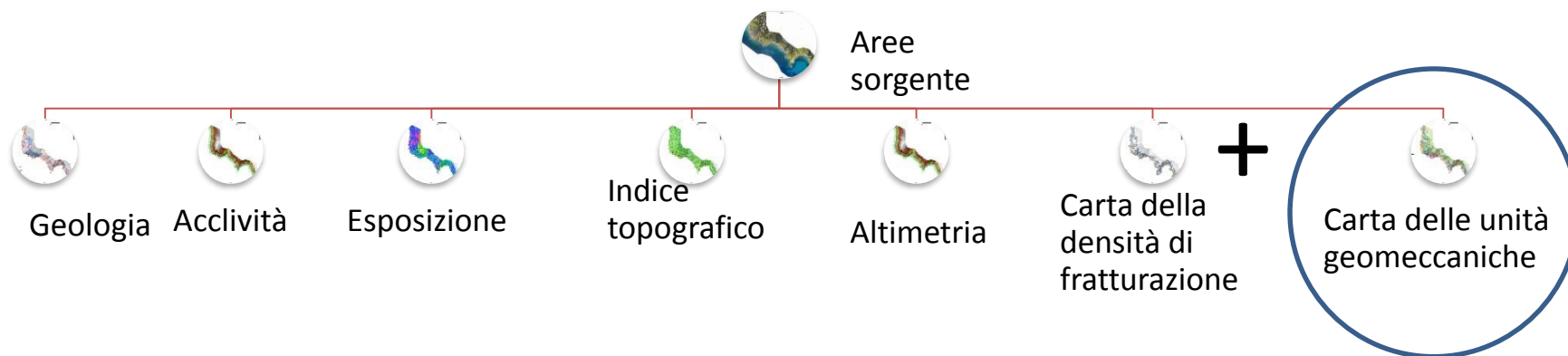
### Legenda

- Value**
- 1 - Alta stabilità
  - 2 - Media stabilità
  - 3 - Stabilità incerta
  - 4 - Bassa instabilità
  - 5 - Media instabilità
  - 6 - Alta instabilità

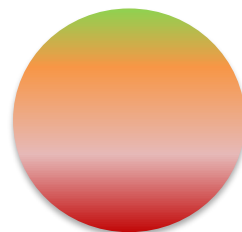
**85,71 %**

Torre delle Stelle

# Valutazione della suscettività al dissesto franoso









## Suscettività

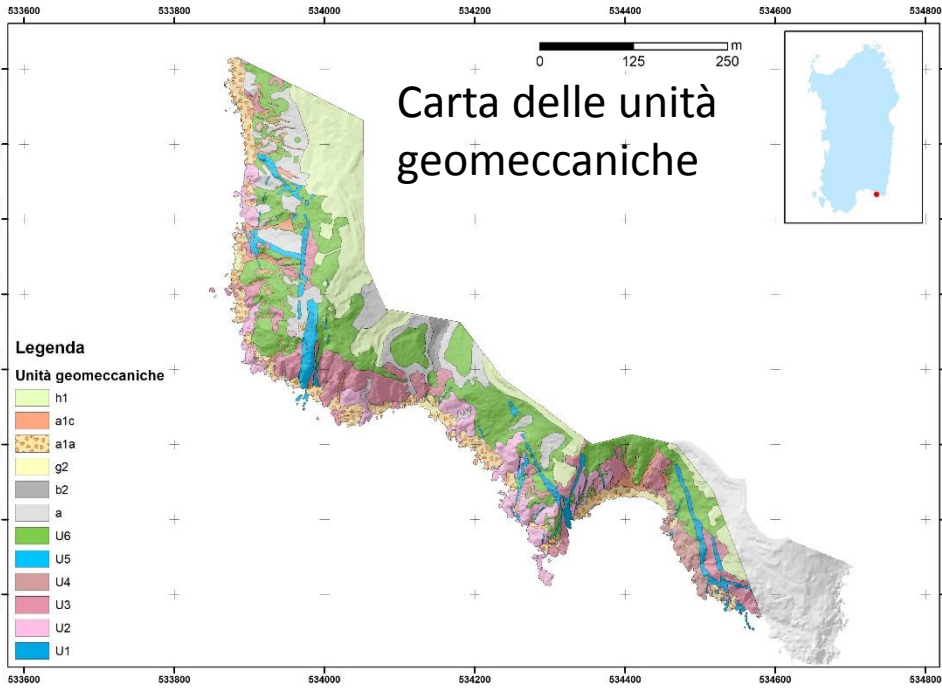


## Legenda

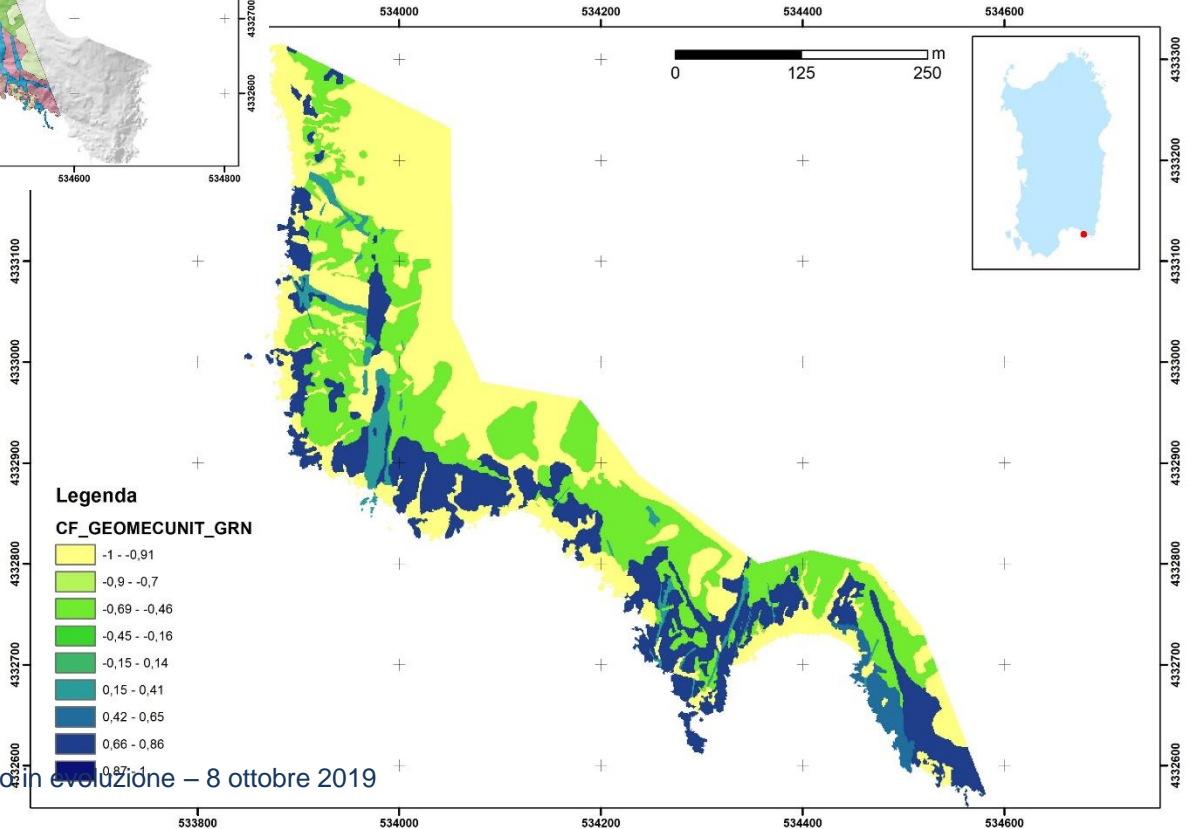
### Value

-  1 - Alta stabilità
-  2 - Media stabilità
-  3 - Stabilità incerta
-  4 - Bassa instabilità
-  5 - Media instabilità
-  6 - Alta instabilità

# Valutazione della propensione al dissesto franoso



Aree sorgente/  
 Carta delle unità geomeccaniche



Valore SMR	Classe	CF
57.38	1	0,78
50.24	2	0,72
na	3	-0,95
52.20	4	0,51
30.57	5	0,22
46.31	6	0,69
32.64	7	-0,55

**Torre delle Stelle**

Gestione e prevenzione del rischio costiero di un territorio in evoluzione – 8 ottobre 2019

# Valutazione della propensione al dissesto franoso



Interreg

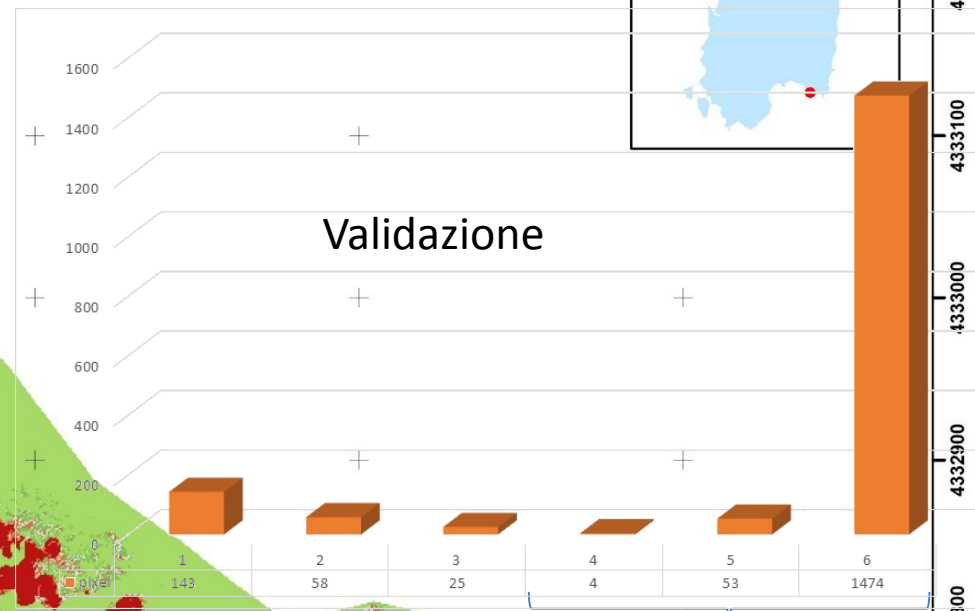


MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Carta della Suscettività 7 parametri



### Legenda

#### Value

- 1 - Alta stabilità
- 2 - Media stabilità
- 3 - Stabilità incerta
- 4 - Bassa instabilità
- 5 - Media instabilità
- 6 - Alta instabilità

**87,14 %**

Torre delle Stelle

## Alcune considerazioni finali

- L'implementazione tecnologica permette di ovviare alle difficoltà di studio delle coste alte rocciose.
- E' in fase di studio la relazione diretta tra moto ondoso e instabilità dei versanti costieri in roccia.
- La verifica delle relazioni tra i diversi parametri, opportunamente spazializzati, permette di verificare la diversa propensione al dissesto dei vari tratti di costa.
- L'approccio geologico accompagnato da un'analisi statistica può essere il sistema di valutazione della propensione a scala regionale.
- La caratterizzazione geologica dettagliata fornisce un'importante chiave d'interpretazione della tendenza evolutiva di un tratto di costa, nel senso della pericolosità.
- La pianificazione degli interventi non può però prescindere dallo studio dettagliato a scala del singolo versante da parte del geologo.





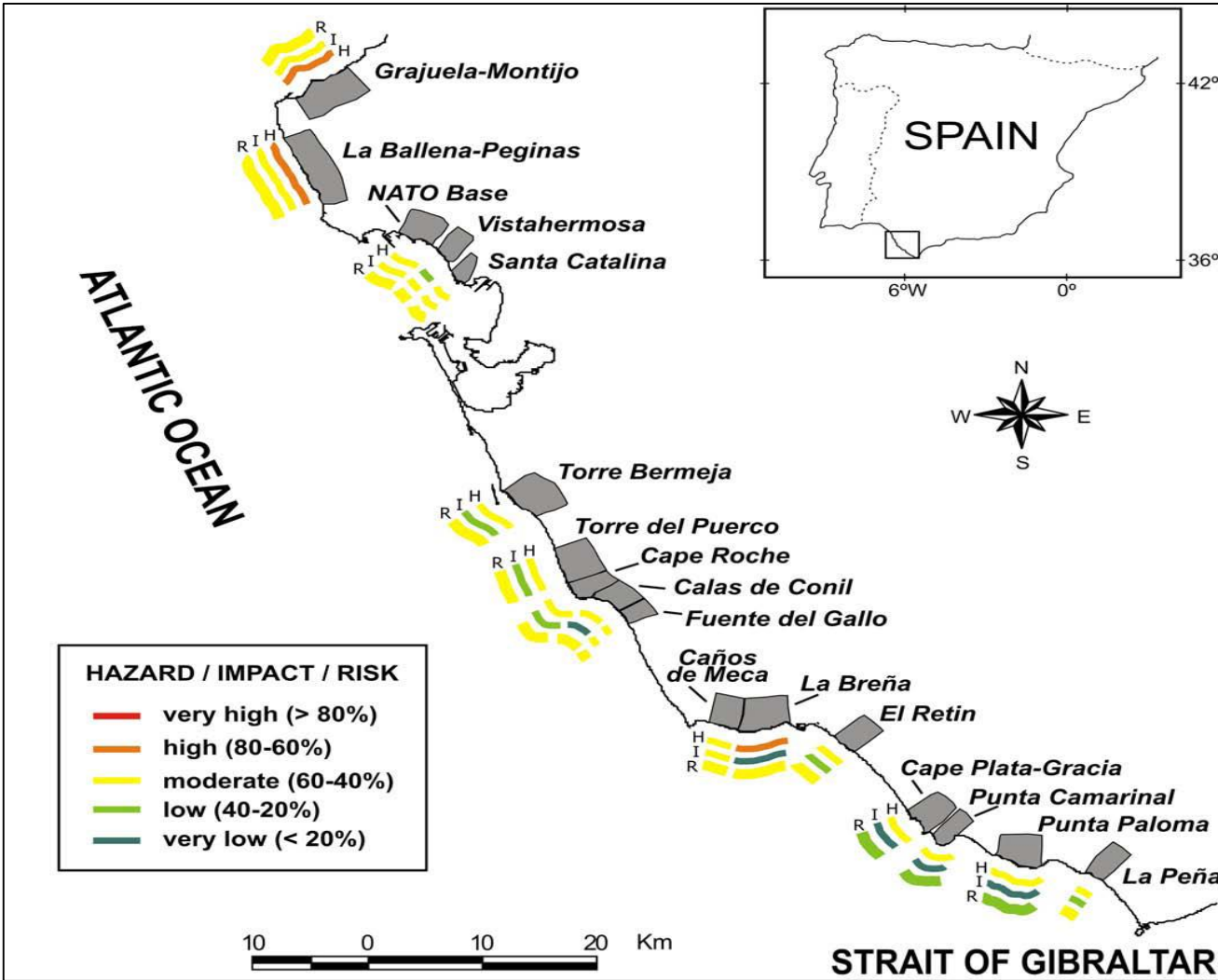
- La complessità di una costa rocciosa è fundamentalmente una complessità geologica..... se non la si comprende appieno non è possibile pianificare, gestire e monitorare adeguatamente.
- E' necessario un approccio multidisciplinare, ora facilitato dalle nuove tecnologie,
- Sono necessari di modelli meno semplicistici per arrivare a carte della suscettività, della pericolosità e infine del rischio.





Applicazione di un metodo semi-quantitativo per definire suscettività, pericolosità, impatto e rischio di un tratto di costa nella Spagna meridionale. Da Del Rio & Gracia, 2009.

Fattori naturali considerati: litologia, struttura, pendenza, presenza e caratteristiche di spiagge a protezione della falesia o di piattaforme rocciose, variazione della marea, esposizione alle onde, variazione del moto ondoso in caso di tempesta, variazione del livello del mare, precipitazioni



*Semi quantitativo* in quanto, sebbene presupponga una misurazione di alcuni parametri fisici a cui attribuire un diverso peso, nel lavoro presentato questo viene fatto in maniera arbitraria, con considerazioni derivate dall'esperienza degli autori, come tipico dei metodi euristici e qualitativi.

### 3 – Modello del moto ondoso e modello climatico

Un modello semplificato di valutazione dell'effetto delle onde sulla instabilità delle coste alte è quello proposto da Sunamura (1992) e Budetta et al. (2000).

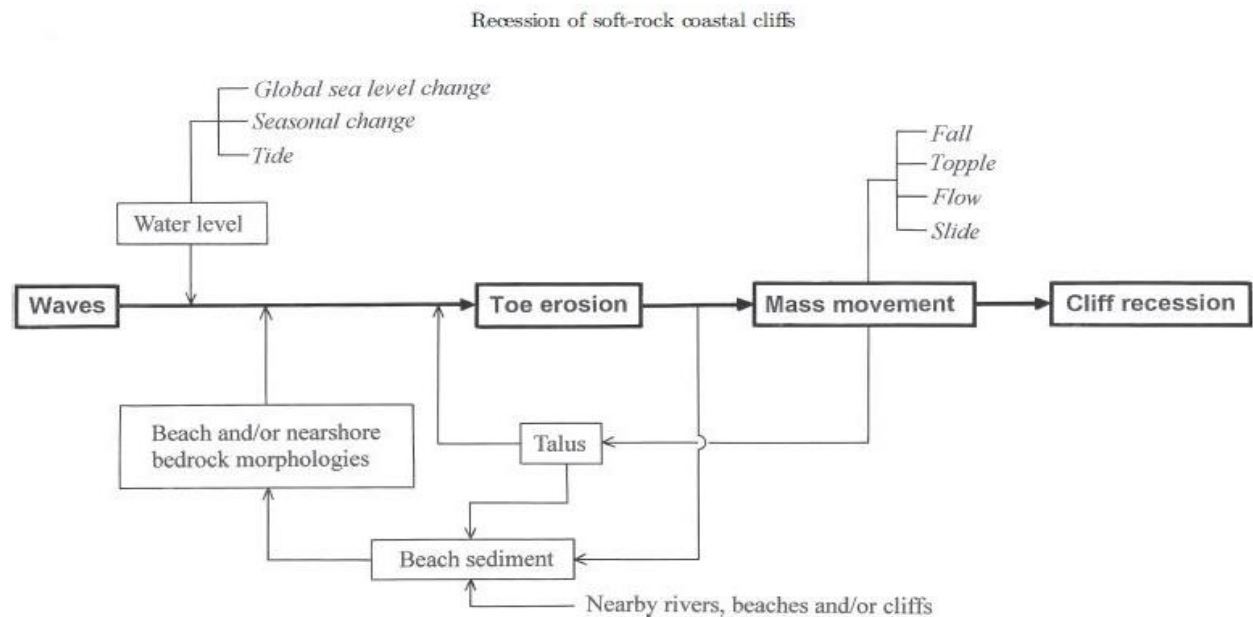
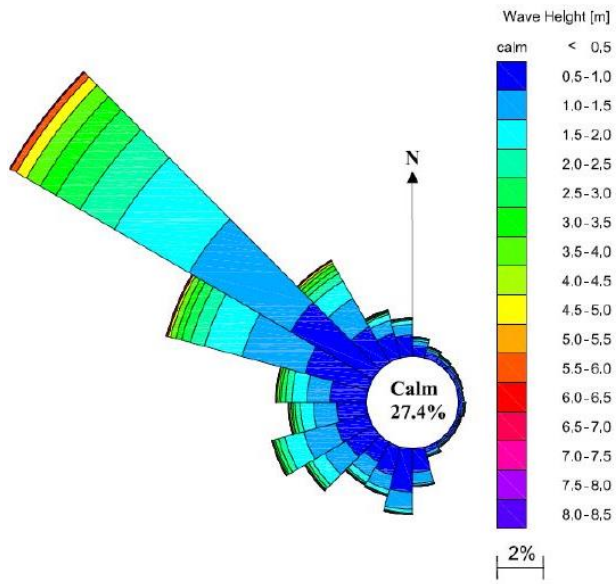


Fig. 2. The interaction of controlling factors for the toe erosion of sea cliffs. Modified from Sunamura.<sup>1)</sup>

Diagramma a rosa del clima ondometrico RON a largo di Alghero (Sulis & Annis, 2014)

Vulnerability Index (VI) as a function of offshore (real) waves

$$VI = \frac{F_W}{F_R} = \frac{A}{B} \frac{\rho g H_{bs}}{\sigma_c}$$

### 3 – Modello del moto ondoso e modello climatico

**Obiettivo:**  
 verificare le relazioni tra versanti costieri in frana ed esposizione al moto ondoso / quantificazione dell'energia trasmessa

