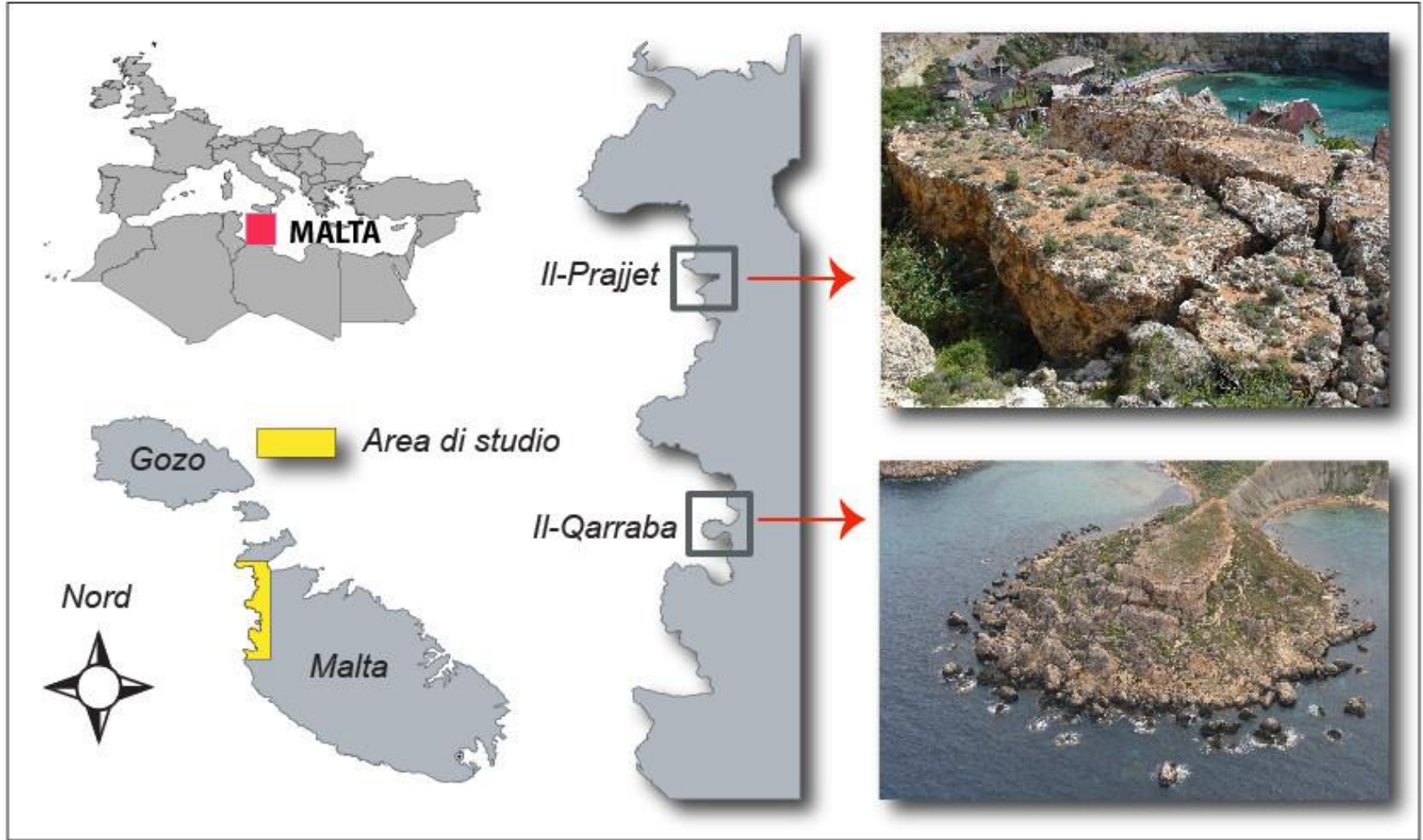




LE FRANE COSTIERE DI MALTA

Stefano Devoto



Fonte: <http://maltadailyphoto.blogspot.it/2007/07/landslide.html>

Landslide



This is the photo of the landslide that I was talking about in the previous post. You can see the different colour of the cliffs where the new cliff face is now revealed. Sorry for not posting

yesterday but I had some trouble with my computer and I couldn't use it. In the end it turned out I only had to turn it off and plug the mouse wire back in properly, silly me!

THE TIMES

Wednesday, April 8, 2009

Fonte: The Times of Malta, 8 Aprile 2009

Clear danger at Ta' Ġordan lighthouse

There was a landslide on the track going up to the Ta' Ġordan lighthouse in Għasri several weeks ago. This is a very popular hill to walk up, especially at this time of the year. In addition to locals, many tourists also take this route due to the spectacular view from the top.

The other day, a German friend of mine who is visiting the island took this route and was horrified to see that nothing had been done to clear the landslide, nor were there any warning signs visible. Luckily, I had warned him that there had been a landslide a few weeks ago and that he should be careful.

His description of the scene was quite scary and he said that there were huge boulders balanced on the edge of the cliffs above the track, seemingly just ready to roll down on some poor unsuspecting person.

What Gozo and Malta really need to improve the present economic situation are a few squashed tourists!

Perhaps the authorities would be so kind as to use a few thousand euros of the proposed millions being made available for marketing the islands and subsidising mismanaged hotels to repair this dangerous track. At the same time Fondoq Bay should also be repaired because it is another accident waiting to happen.

I trust that note will be taken of this dangerous situation and that it will be rectified as soon as possible, preferably before someone gets killed or injured!

Thursday, 16th April 2009 - 14:38CET

Witness to tragedy calls for action to avoid repeat



A woman who saw her cousin being killed by falling rocks in Gnejna Bay has issued a plea for the authorities to post warning signs at Delimara and nearby bays where, she said, a similar danger exists.

Carol Ellul said the rocks on the beach at Delimara is concave shaped by erosion. People often shelter below the cliffs and rocks as protection from the sun.

"Thirty-nine years ago I saw my cousin die at Gnejna Bay on his 12th birthday. We went for a day at the beach, a piece of hanging cliff (like the one in Delimara) fell on top of him and on my brother. My brother survived by a miracle. But Gino Portelli died on the way to hospital, I have never forgotten that day, it will stay with me for the rest of my life and I never go near the cliffs of Delimara or anywhere that can collapse. St Peter's Pool has the same structure."

Ms Ellul said the authorities should remove structures which appeared to be in imminent danger of collapse, and also put up warning signs before summer set in.

"It will happen again one day if we do nothing," she warned.

Cartografia geomorfologica - MAPPING

- Campagne di rilievo finalizzate alla redazione di una carta geomorfologica di dettaglio, con conseguente censimento dei dissesti

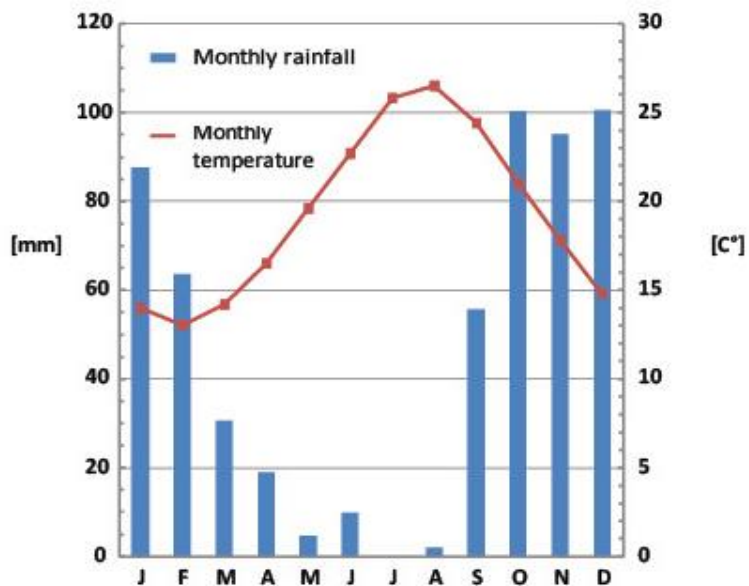
Monitoraggio - MONITORING

- Proseguimento della attività di monitoraggio GPS dei fenomeni franosi nei siti de Il-Prajjet e Il-Qarraba
- Installazione di nuove reti e strumenti di monitoraggio (estensimetri a nastro e fessurimetri)

Modellizzazione delle frane - MODELLING

- Definizione, anche con l'ausilio delle indagini geofisiche, delle geometrie dei corpi di frana; caratterizzazione dei parametri di resistenza dei materiali coinvolti, necessari nella fase di modellizzazione
- Modellizzazione degli scivolamenti tramite analisi all'equilibrio limite finalizzato alla realizzazione di diagrammi parametrici

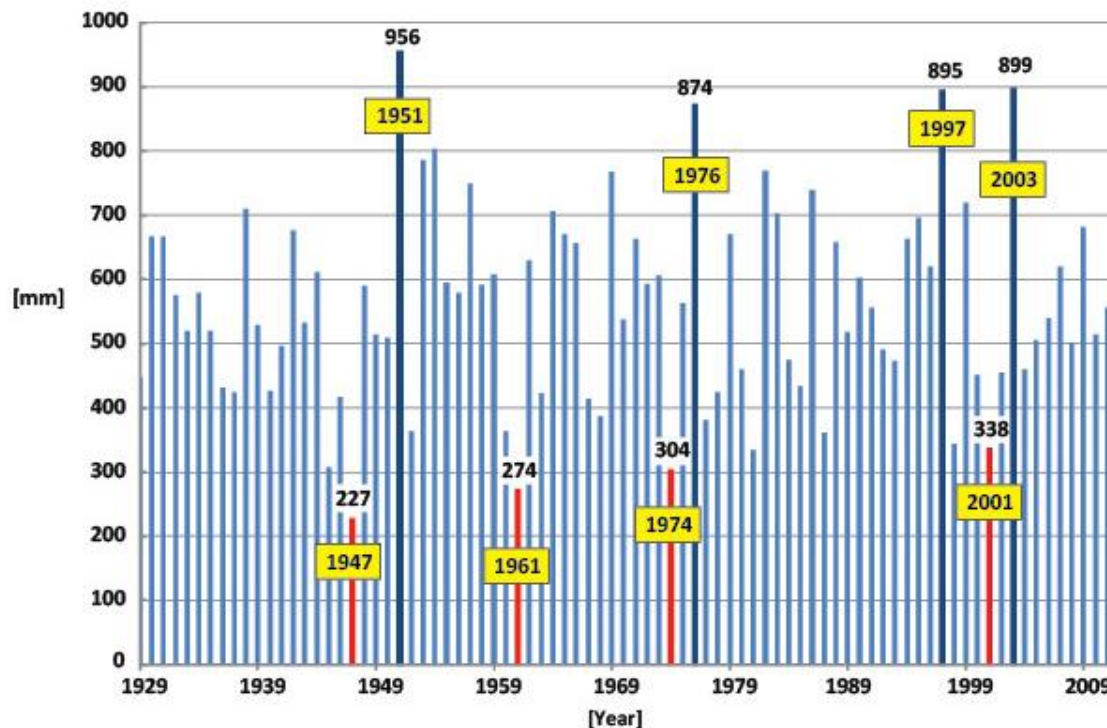
Dati meteoroclimatici



Sono stati acquisiti ed elaborati i dati meteoroclimatici di 34 stazioni, di cui **28** nell'isola di Malta. La rete gestita dalla ditta Maltawether, ha iniziato l'attività a fine 2002

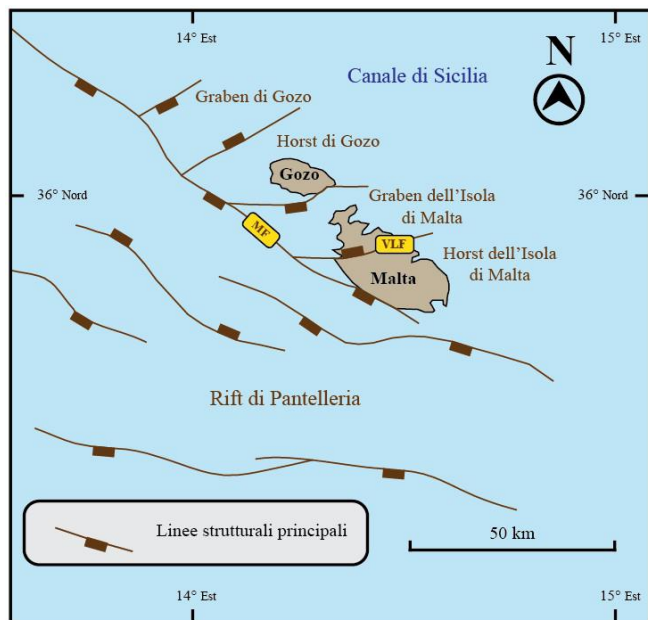
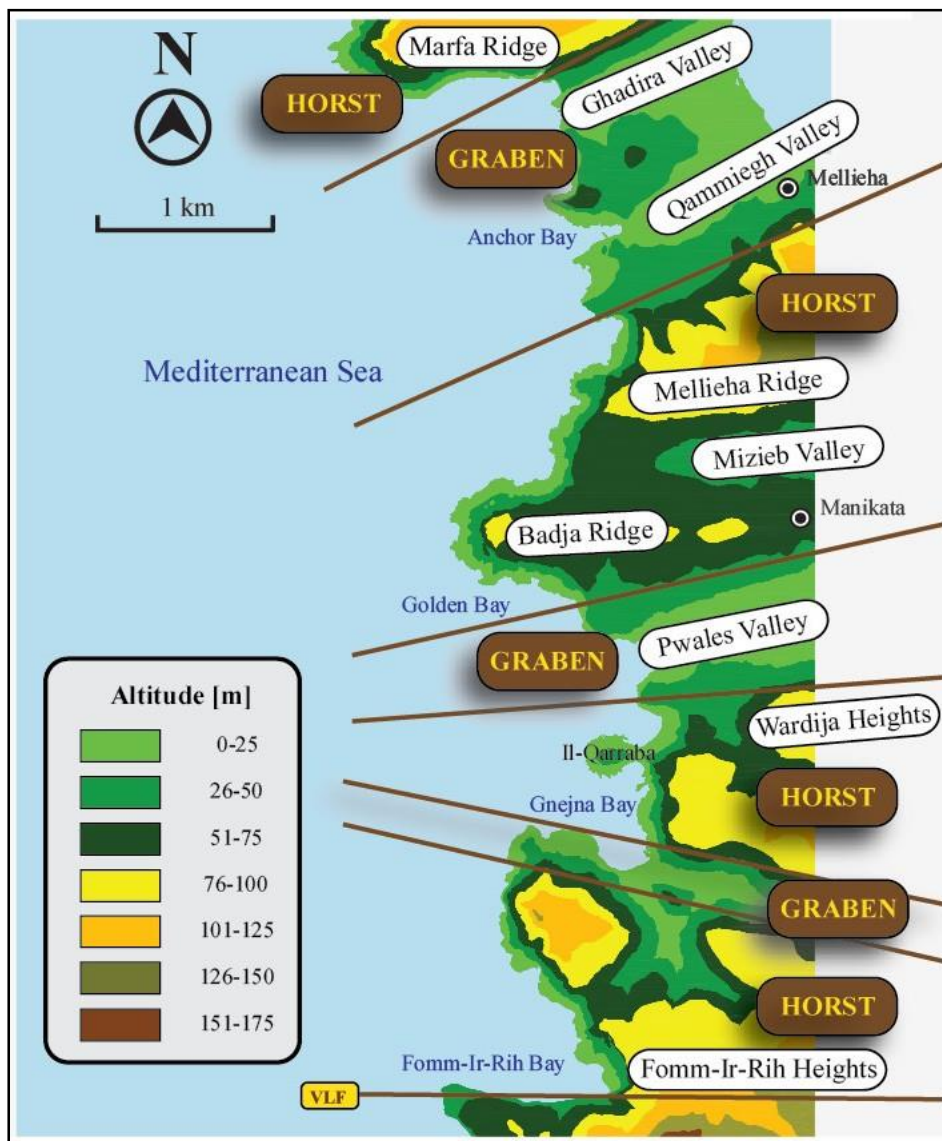


Dal **1929** è attiva la stazione meteo di **Luqa**, nei pressi dell'aeroporto, gestita da Malta Meterological Office



Inquadramento strutturale dell'area di studio

- ➔ Due sistemi di faglie aventi direzione NW-SE e WSW-ENE (Ilies, 1981, Pedley et al., 2002)
- ➔ **Horst** (rilievi di Marfa Ridge, Mellieha Ridge, Badja Ridge, Fomm-Ir-Rih) e **Graben** (Mellieha Valley, Pwales Valley e Bingemma Valley)
- ➔ La **Victoria Lines Fault** rappresenta la più importante faglia di Malta

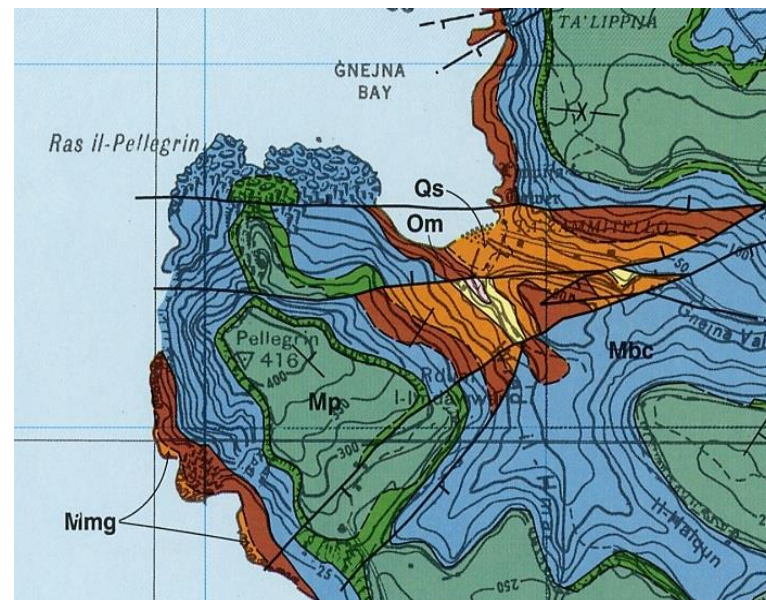


Geologia dell'arcipelago

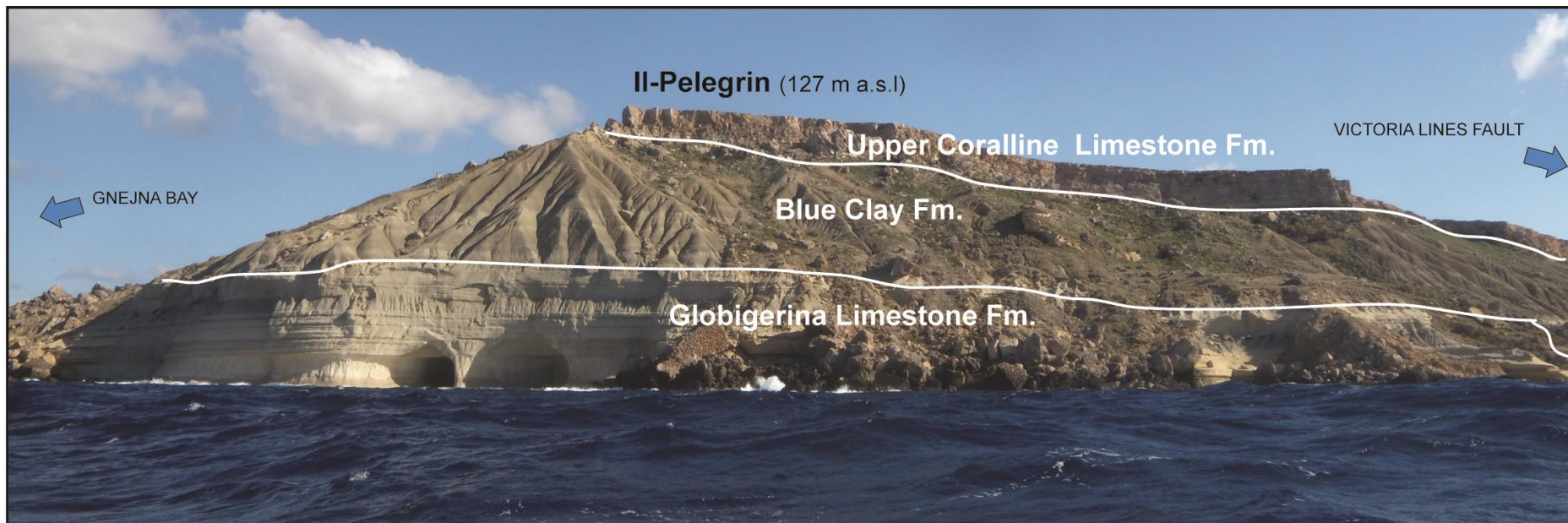
Formazioni

- ❑ Upper Coralline Limestone Formation (fino a 162 m)
- ❑ Blue Clay Formation (fino a 65 m)
- ❑ Globigerina Limestone Formation (fino 207 m)
- ❑ Lower Coralline Limestone Formation (140 m)

Spessori da **Said & Schembri, 2010**



Oil Directorate, 1993



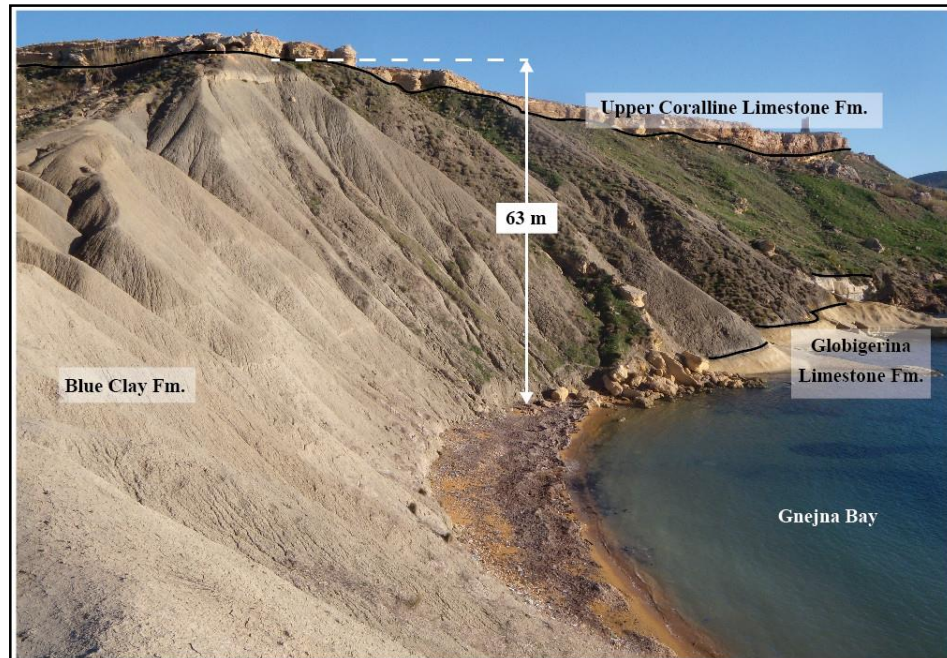
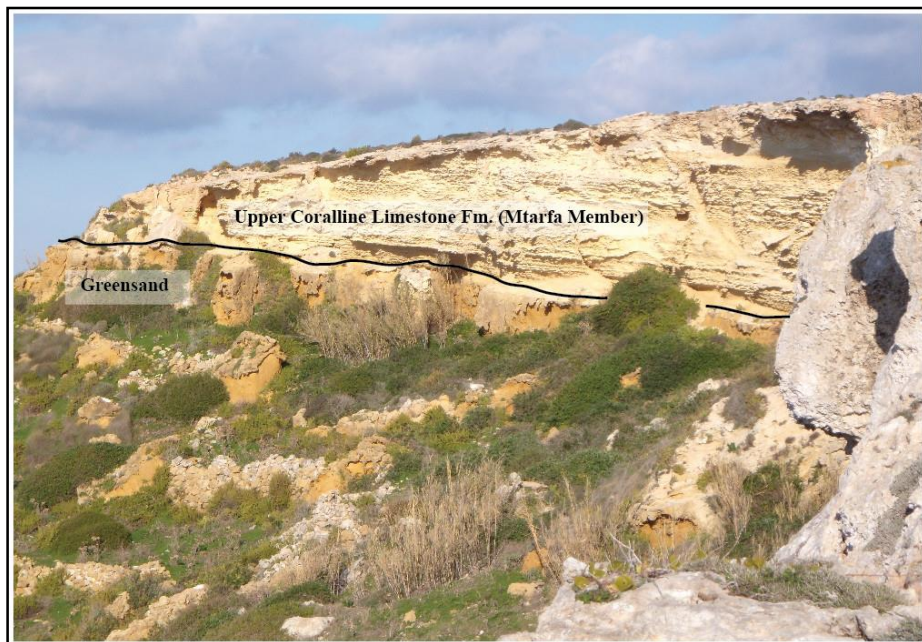
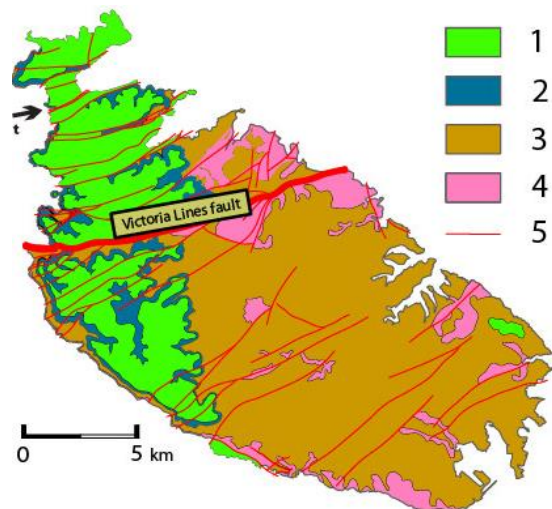


Foto: Upper Coralline Limestone Formation (Ghadira Bay)

Foto: Le Blue Clay di Gnejna Bay in primo piano



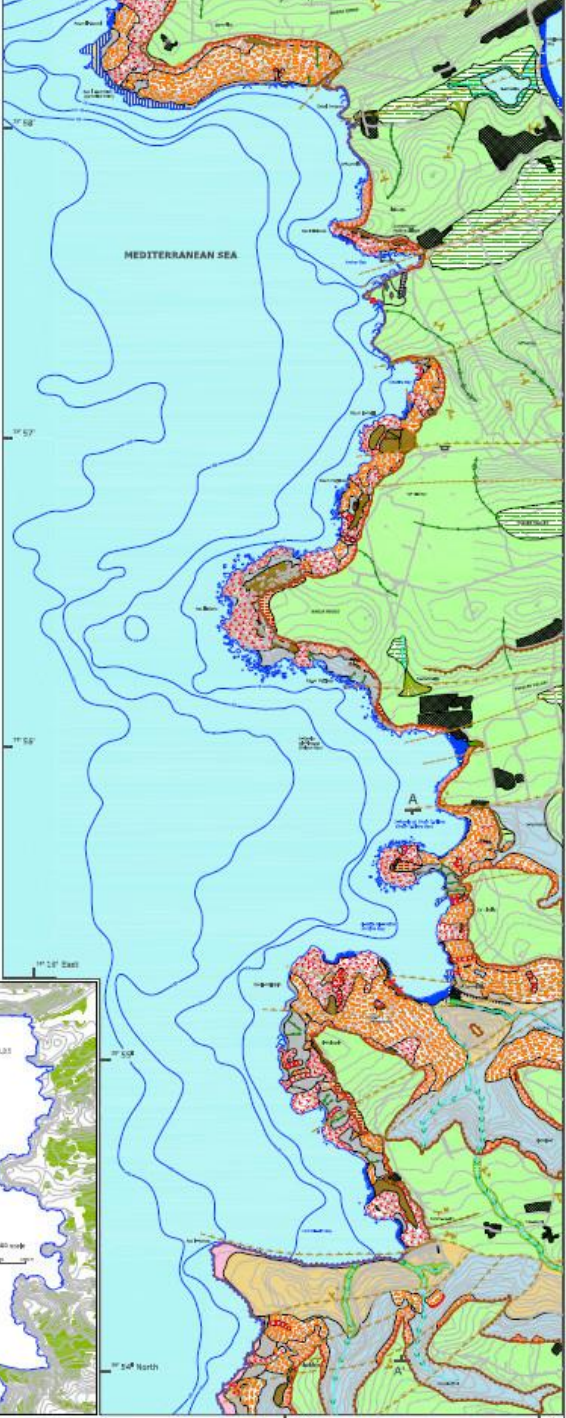
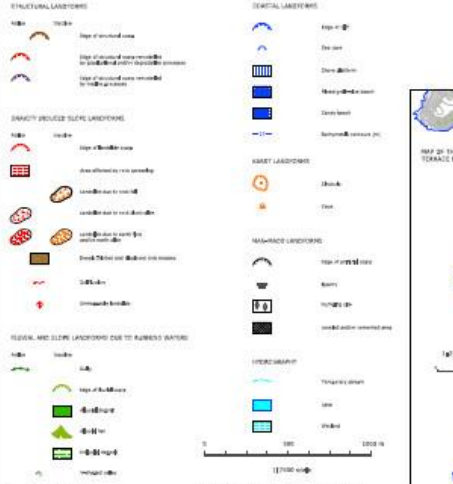
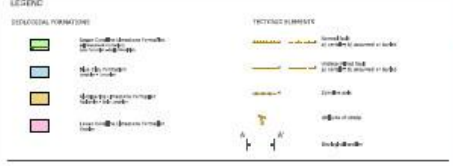
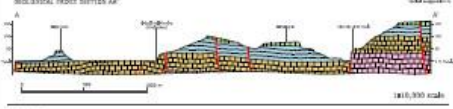
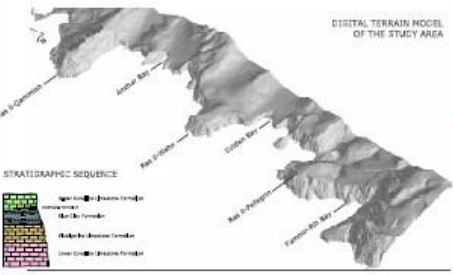
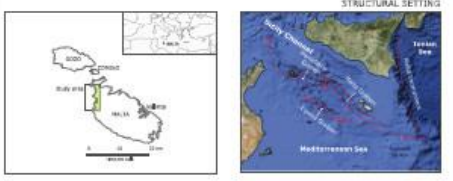
➡ Nell'area di studio affiorano principalmente le **due unità più recenti** (verde e blu scuro nella mappa geologica a sx), al contrario di quanto accade nel settore meridionale di Malta

➡ La Formazione a **Globigerina** affiora a Gnejna Bay, a Ghadira Bay e Marfa Ridge

➡ Quasi assente il **Lower Coralline Limestone** (viola in mappa)

Geomorphological map of the NW coast of the Island of Malta (Mediterranean Sea)

Stefano CIVIOLI¹, Sara BIGNARDI^{2,3}, Valeria MARA BRUCCHI⁴, Stefano FURLANI^{1,5}
 Matteo MANTOVANI⁶, Carlotta PIACENTINI⁷, Alessandro PASUTO⁸, Mauro SOLIATI⁹
¹ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Padua, Italy; ² Institute of Geology, University of Padova, Italy; ³ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Padua, Italy; ⁴ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Padua, Italy; ⁵ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Padua, Italy; ⁶ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Padua, Italy; ⁷ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Padua, Italy; ⁸ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Padua, Italy; ⁹ Department of Earth and Environmental Sciences, University of Padua, Italy



Cartografia geomorfologica - MAPPING

➔ Redazione di una carta geomorfologica

- ❑ **Area totale:** 15,0 km²
- ❑ **Limite Nord:** Marfa Ridge
- ❑ **Limite Sud:** Ras ir-Raheb
- ❑ **Formato di stampa:** A0
- ❑ **Scala:** 1:7500

- ➔ Sono state cartografate:
- ❖ Le formazioni geologiche
 - ❖ Gli elementi tettonici e strutturali
 - ❖ **Le forme, i processi e i depositi di versante dovuti alla gravità**
 - ❖ Forme e depositi marini
 - ❖ Morfologie carsiche
 - ❖ Forme e opere antropiche
 - ❖ Idrografia

➔ Facile esportabilità tra CAD e GIS

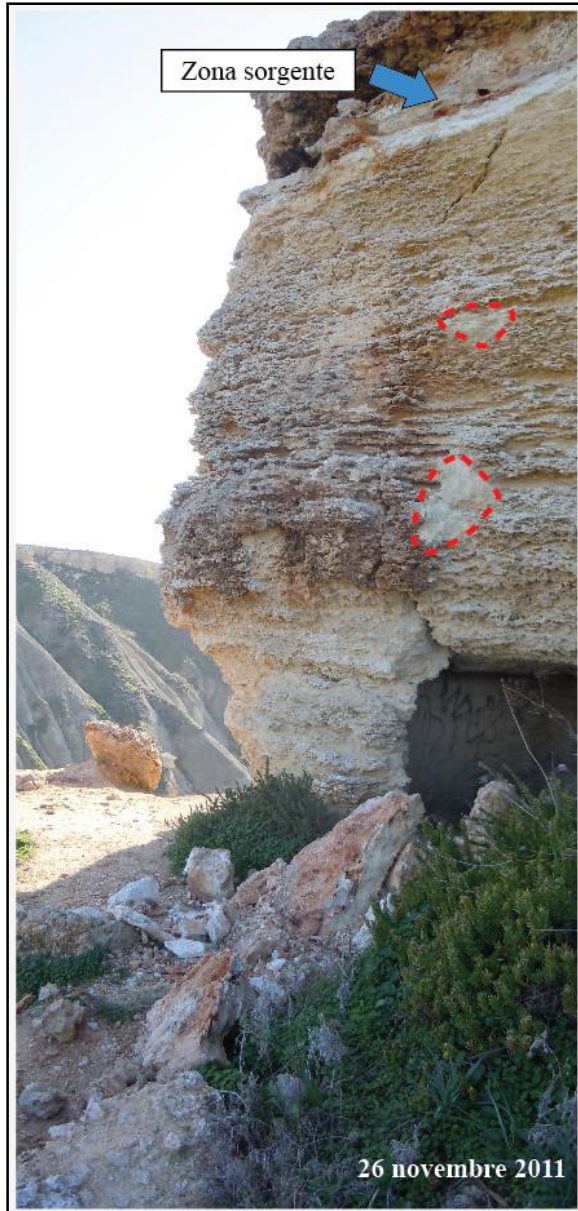
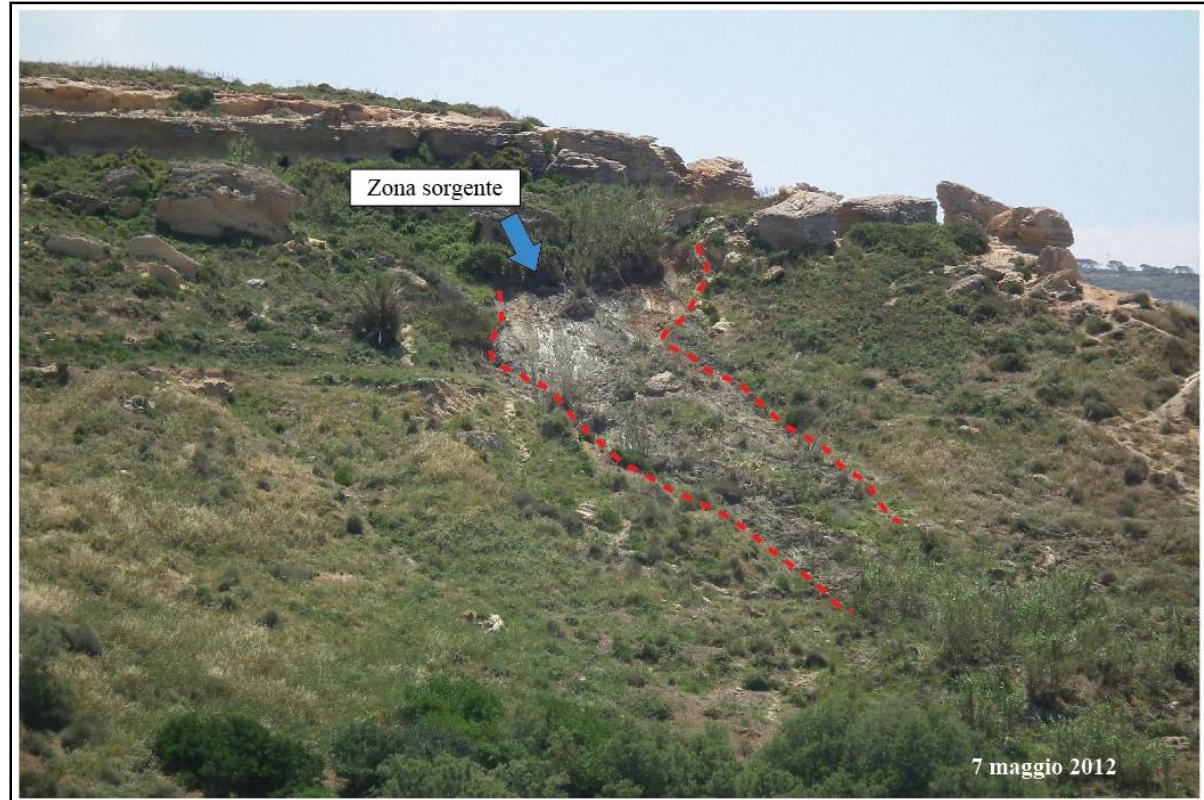


Foto: Crollo a Il-Qarraba

Foto: Colata nei pressi di Ghajn Tuffieha



Nel settore NO di Malta sono presenti diverse tipologie di frane quali:

- ❖ Crolli
- ❖ Scivolamenti e colate in terra
- ❖ Espansioni laterali in roccia
- ❖ Scivolamenti traslativi e rotazionali

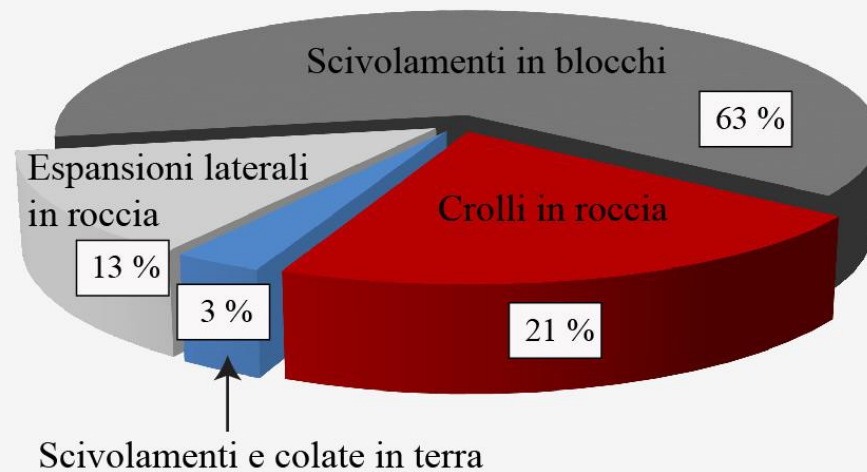


Foto: Le espansioni laterali e i block slide, che caratterizzano dal punto di vista geomorfologico la penisola de Il Qarraba



Foto: Block slide a Golden Bay

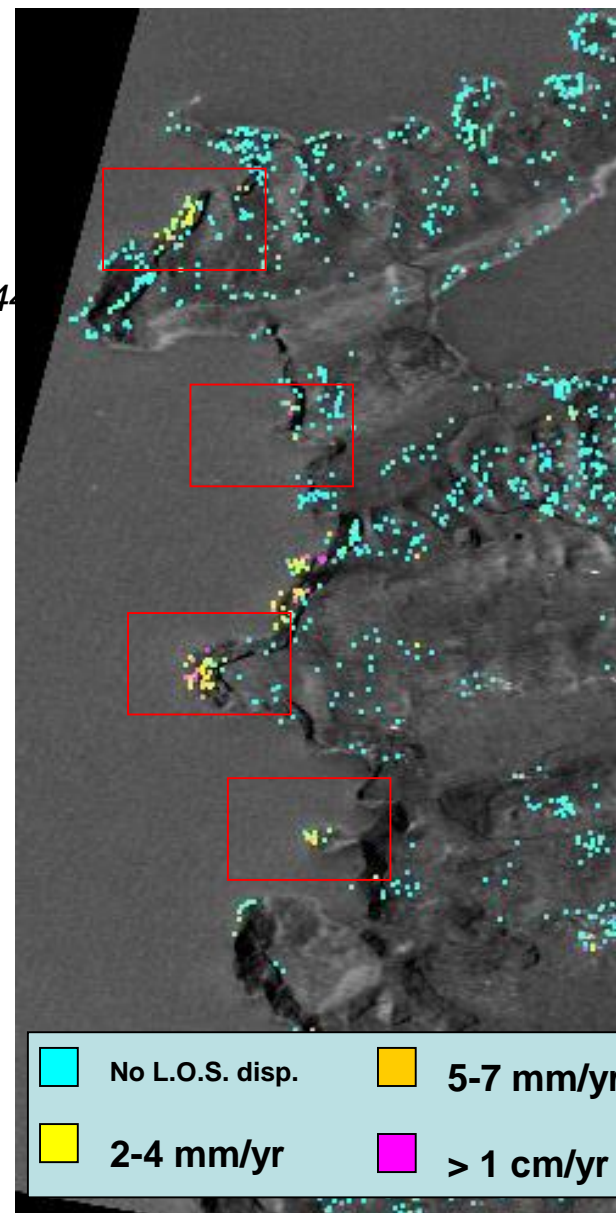
Suddivisione percentuale delle tipologie di movimenti franosi che interessano il settore Nord-Occidentale di Malta



Interferometria satellitare



category 1 proposal 7044



La tecnica DiNSAR è stata applicata usando le immagini **ERS 1** e **ERS 2** (1992-2000)

L'immagine a destra mostra il settore nord-occidentale di Malta, dove i quadrati diversamente colorati rappresentano le diverse velocità di deformazione superficiale annua dei persistent scatterer, individuati dalla tecnica

I risultati delle elaborazioni indicano **4 aree più attive**, Il-Qarraba, il tratto costiero tra Badja Ridge e Ghadira Bay, Anchor Bay e Marfa Ridge

Monitoraggio- MONITORING

Tecnica GPS differenziale statica

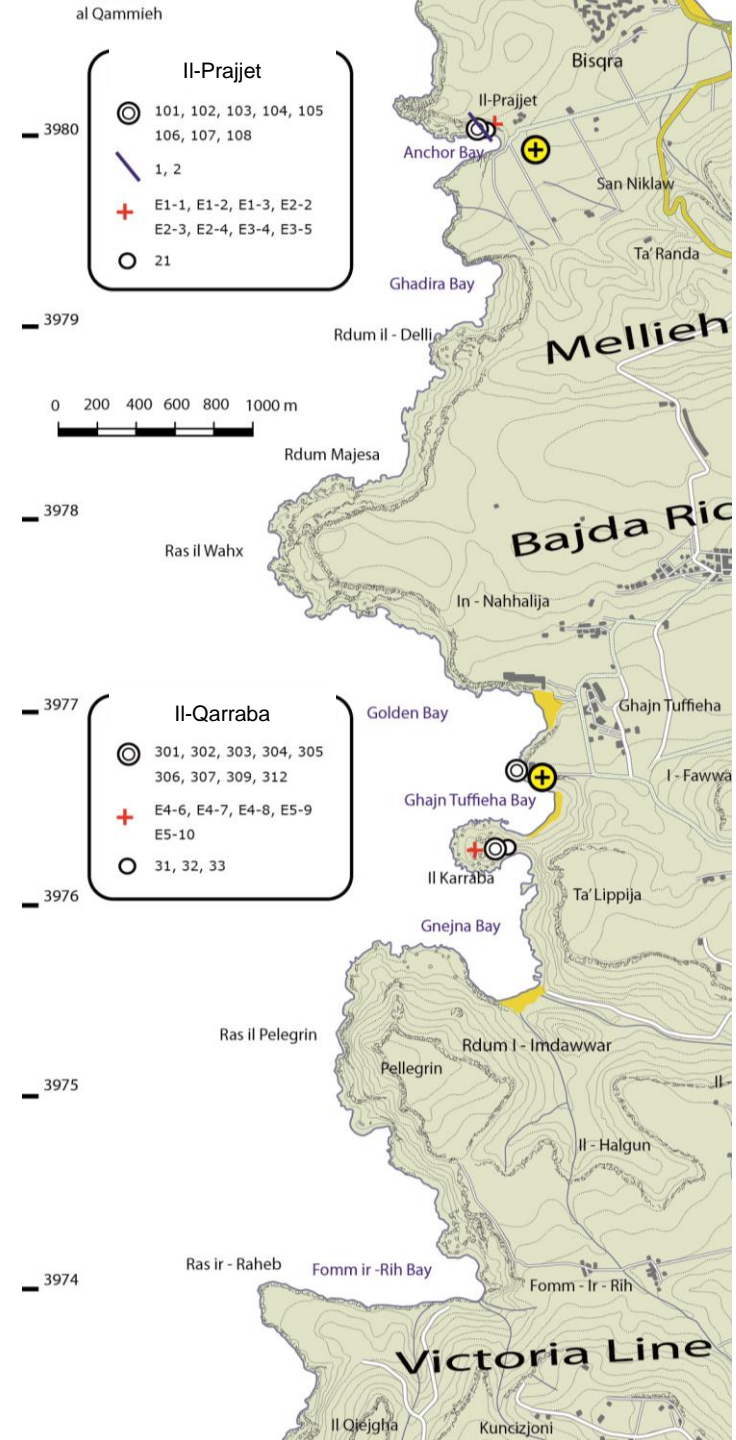
- ❖ 2 reti di monitoraggio, 2 master, 17 capisaldi
- ❖ Installate nel settembre 2005 e ottobre 2006
- ❖ 13 (Il-Qarraba) e 11 campagne, circa ogni 6 mesi circa

Estensimetri a nastro

- 2 siti, 5 anelli di reference, 10 anelli di misura
- La misura 0 a dicembre 2009
- 8 campagne di misura, esclusa la misura 0

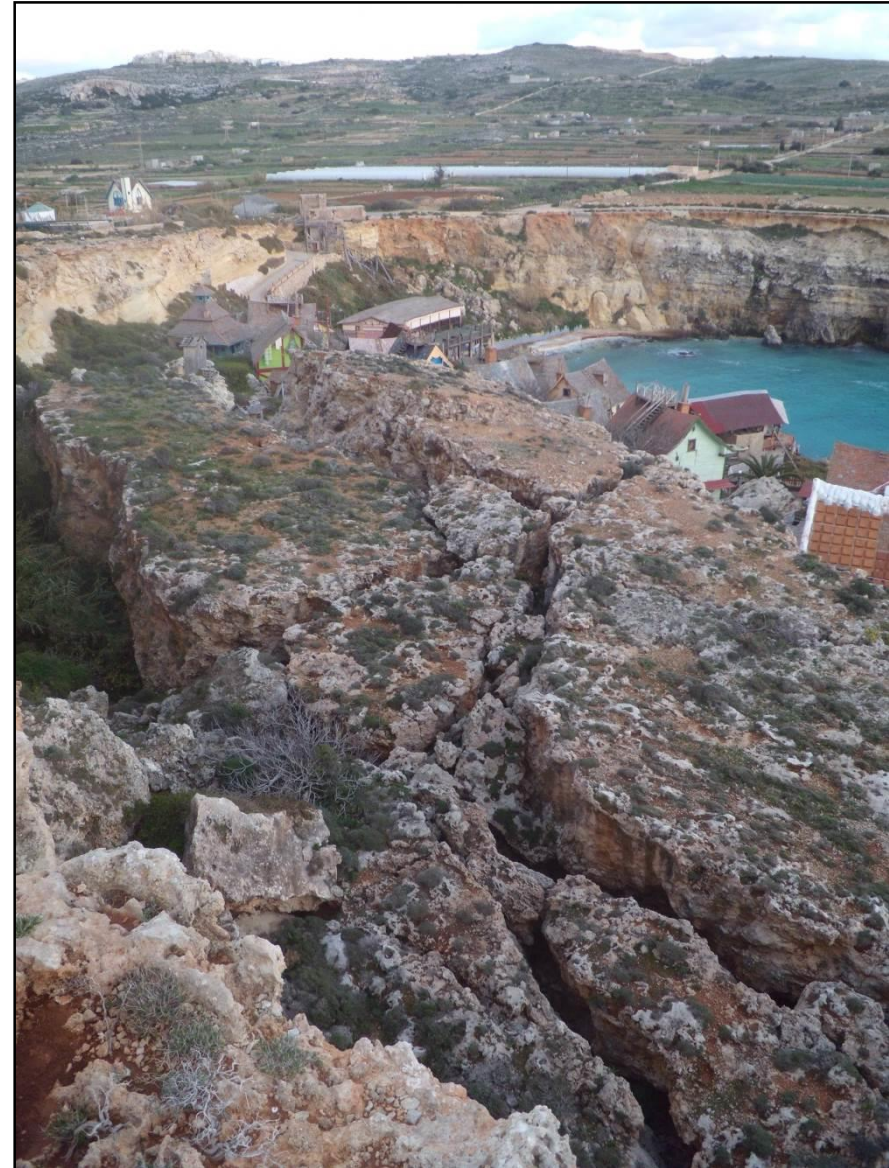
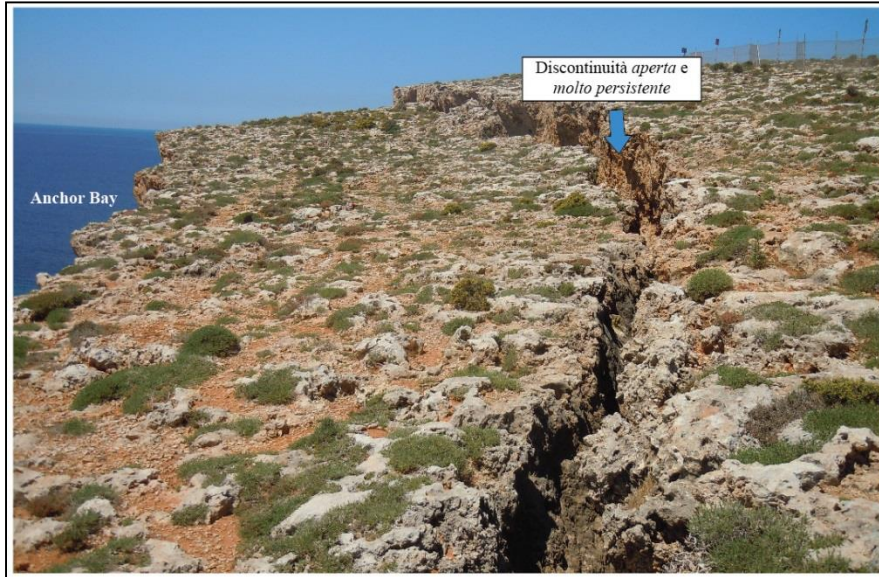
Fessurimetro a barra

- ❑ 1 sito
- ❑ Attivi da marzo 2010
- ❑ Ogni 6 ore



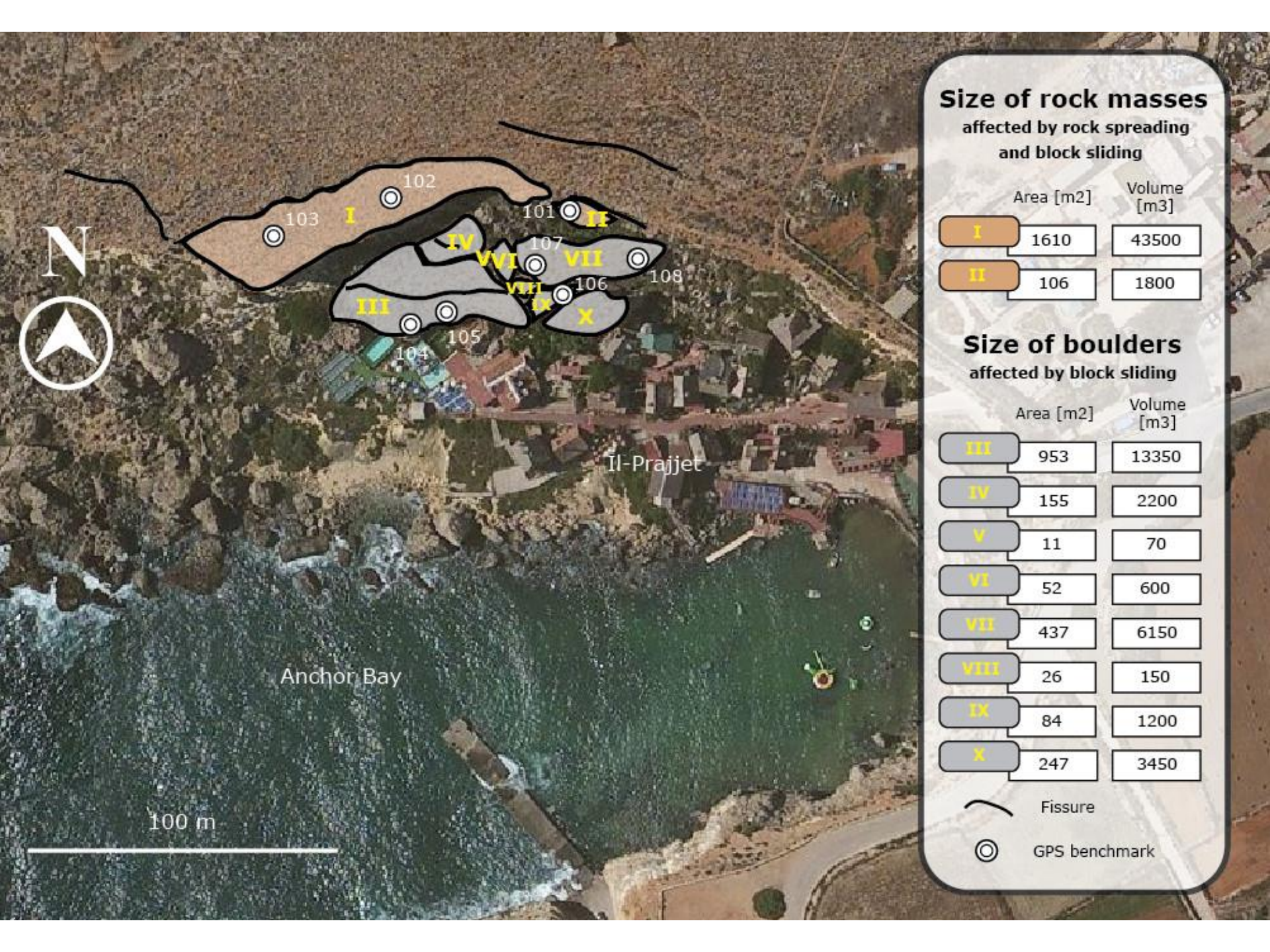
Sito di monitoraggio II-Prajjet





- ➡ Estesa placca calcarea, parzialmente separata da una frattura aperta e persistente
- ➡ Accumulo di frana, composto da otto blocchi principali, i cui volumi sono compresi tra 70 e 13.350 metri cubi







100 m

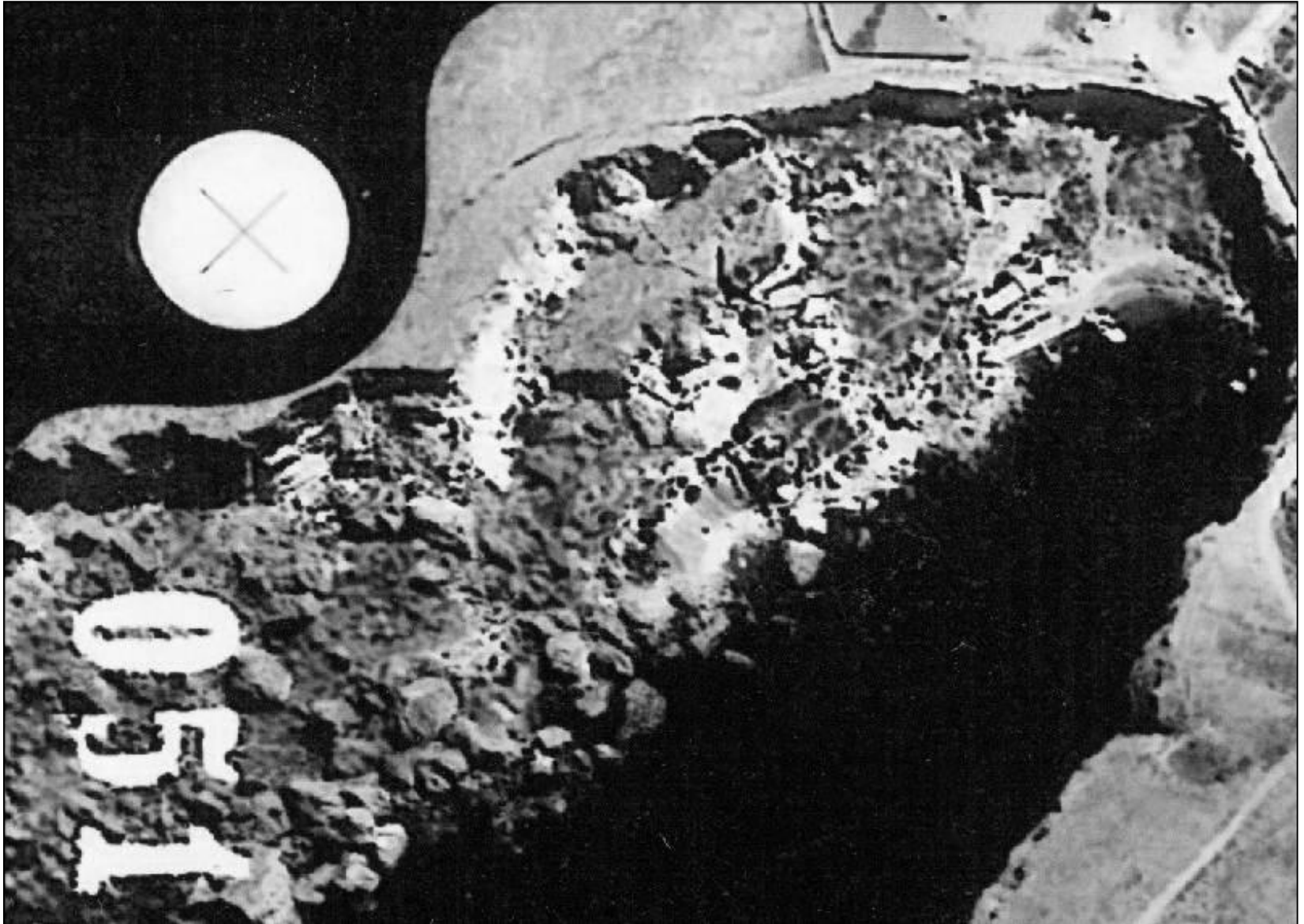
Size of rock masses affected by rock spreading and block sliding

| | Area [m ²] | Volume [m ³] |
|-----------|------------------------|--------------------------|
| I | 1610 | 43500 |
| II | 106 | 1800 |

Size of boulders affected by block sliding

| | Area [m ²] | Volume [m ³] |
|-------------|------------------------|--------------------------|
| III | 953 | 13350 |
| IV | 155 | 2200 |
| V | 11 | 70 |
| VI | 52 | 600 |
| VII | 437 | 6150 |
| VIII | 26 | 150 |
| IX | 84 | 1200 |
| X | 247 | 3450 |

-  Fissure
-  GPS benchmark





➔ è stato inserito un caposaldo al di fuori dell'area in frana, in una zona stabile



Anchor Bay

Il-Präjjet

REFERENCE STATION

Baseline length [m]

Benchmark 101: 281

Benchmark 102: 324

Benchmark 103: 357

Benchmark 104: 309

Benchmark 105: 298

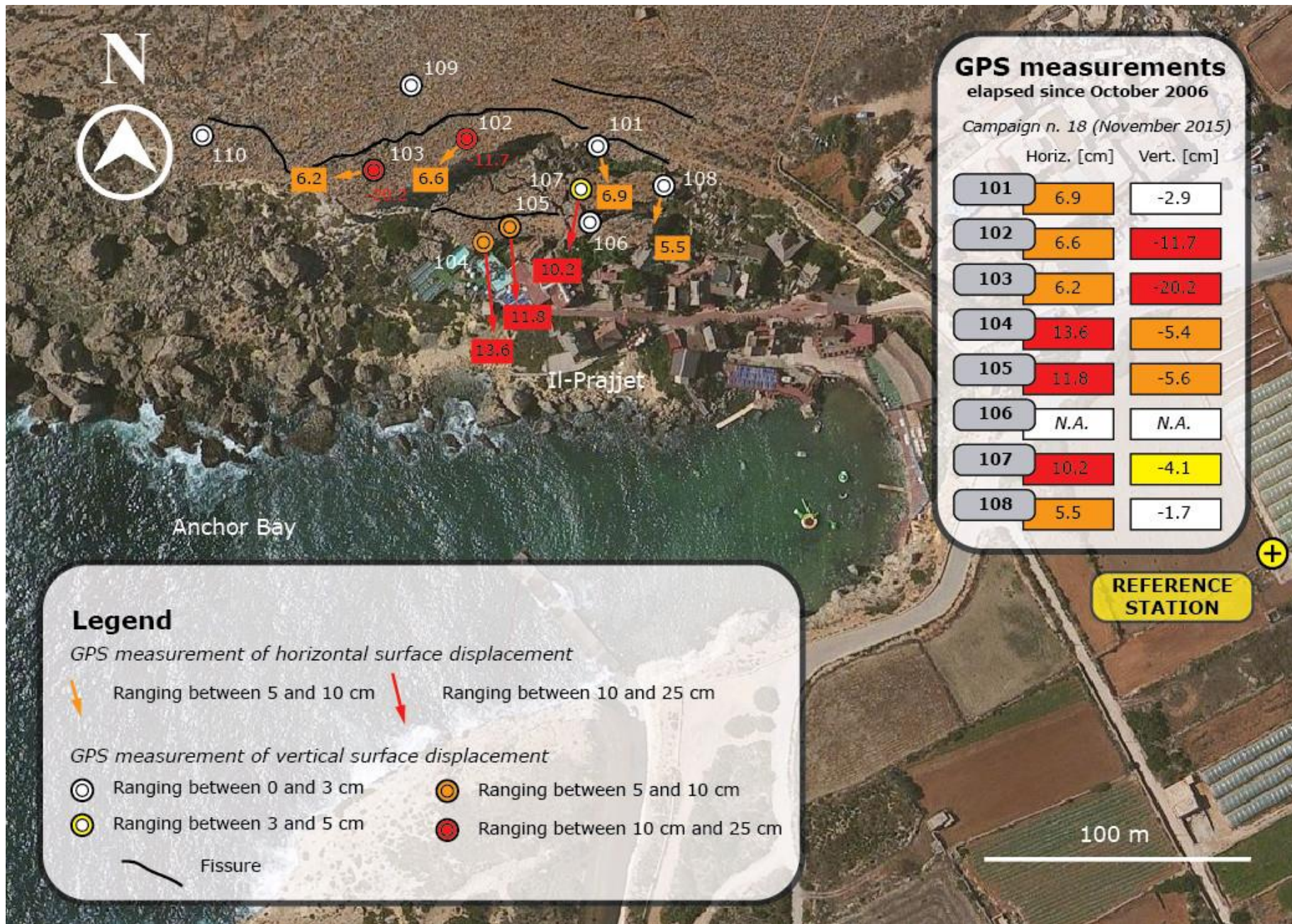
Benchmark 106: 277

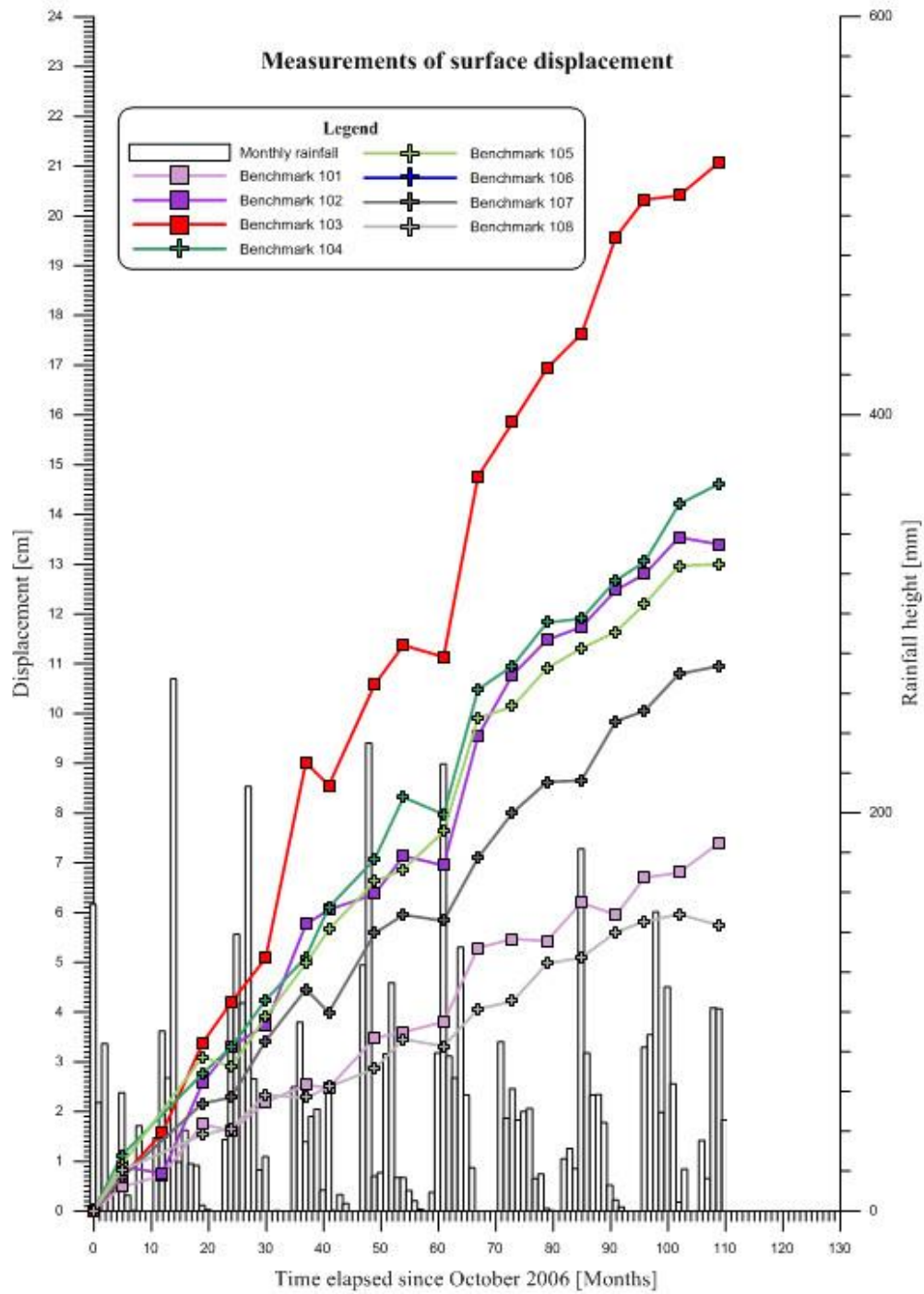
Benchmark 107: 287

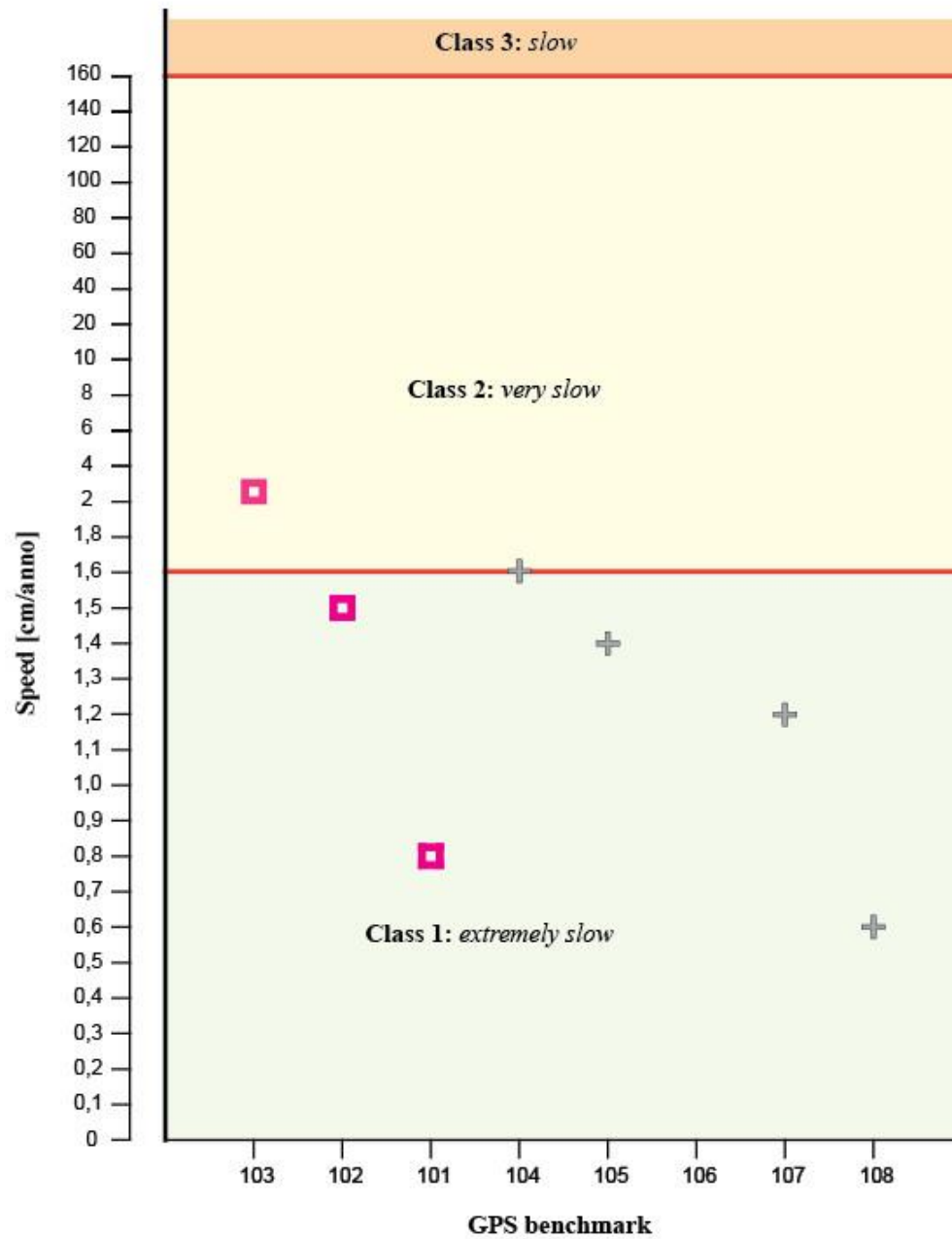
Benchmark 108: 263

100 m



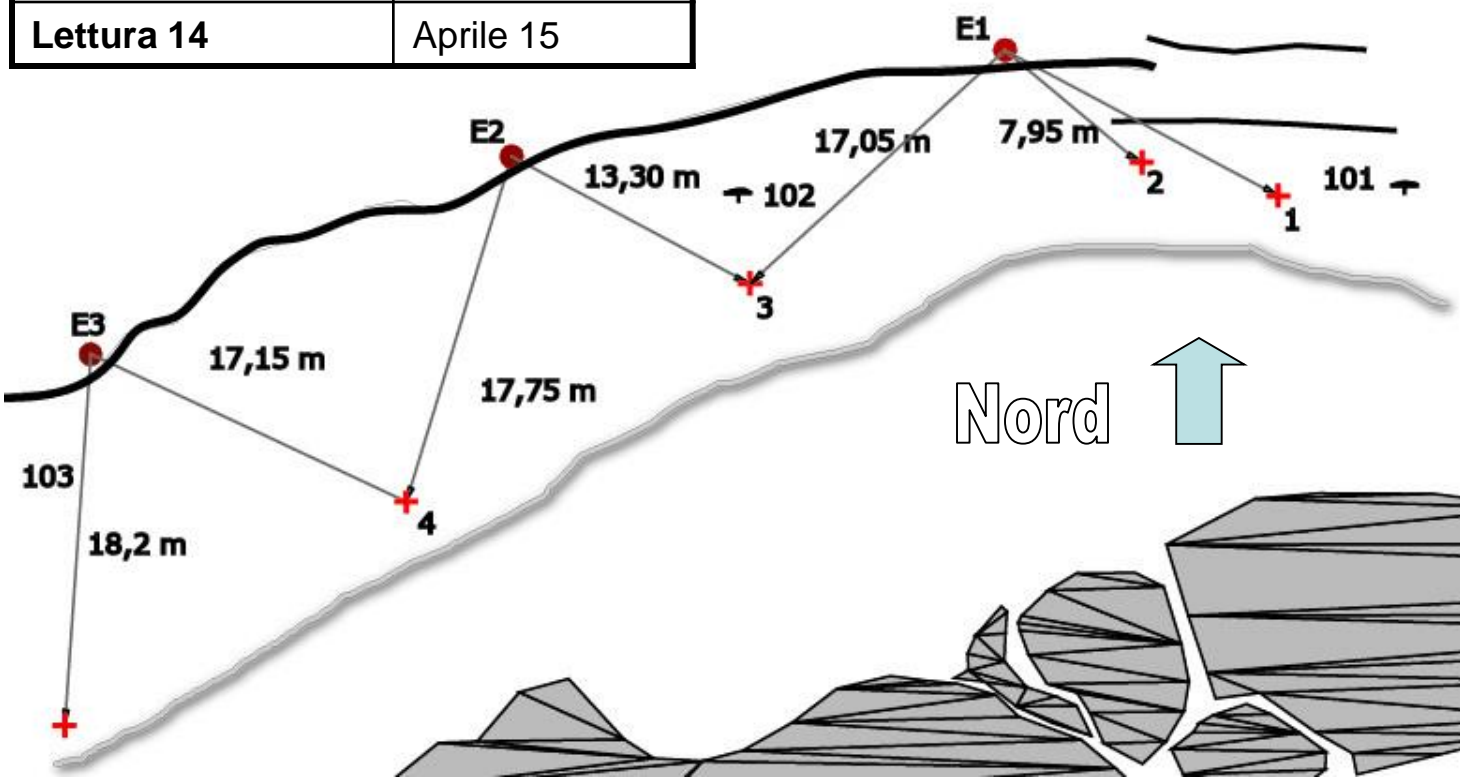








| | |
|-------------|---------------|
| Stendimenti | 14 |
| Letture 0 | Dicembre 2009 |
| Letture 14 | Aprile 15 |



Fessurimetri a barra

- ➔ Sono stati installati, con la collaborazione del CNR IRPI di Padova, due fessurimetri a barra e la centralina, dove sono contenuti il *datalogger*, munito di uscita USB, e la batteria
- ➔ I fessurimetri trasformano le deformazioni in impulsi elettrici, registrati dal *datalogger*
- ➔ I **due** fessurimetri acquisiscono ogni **6** ore

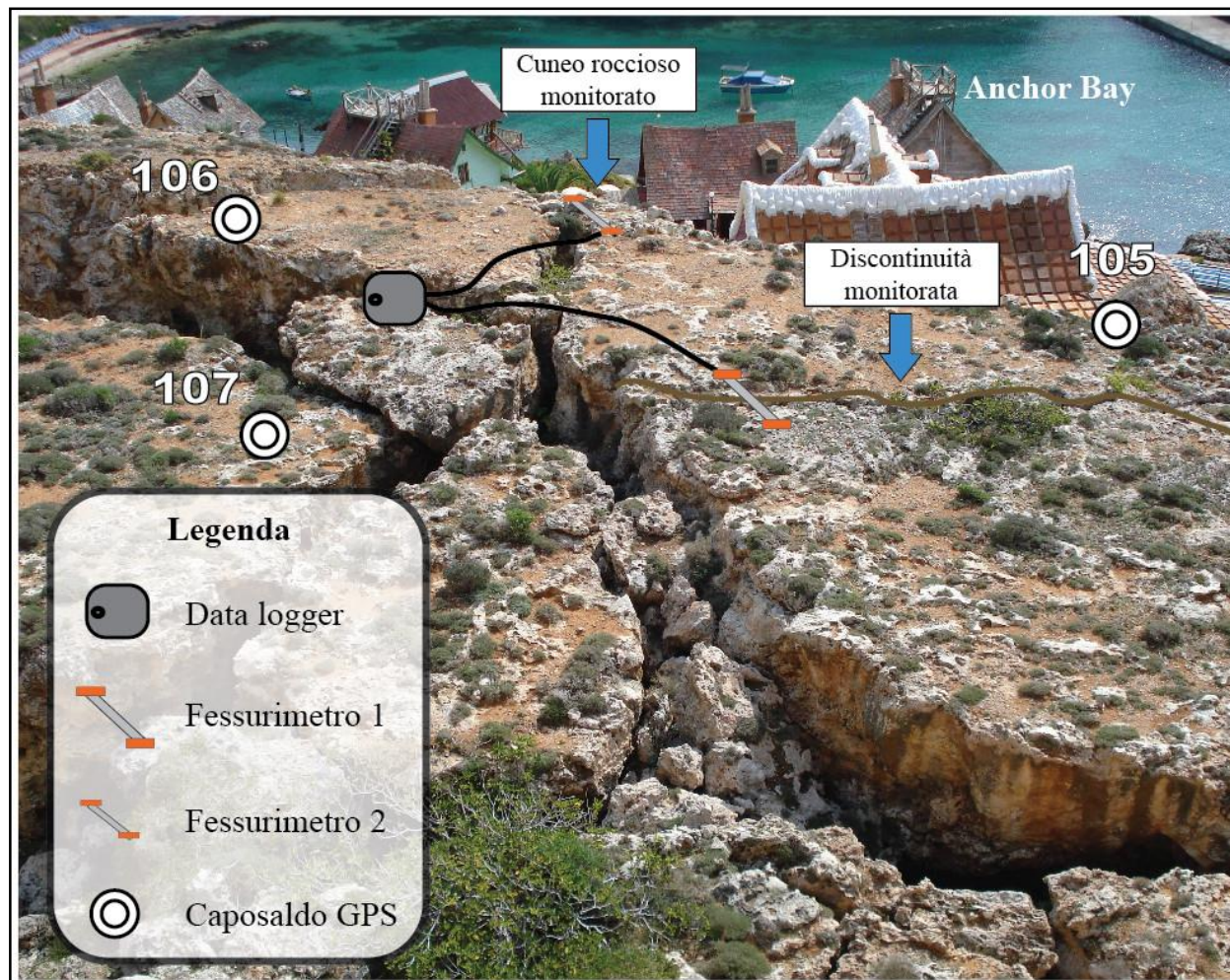


Foto: Vista panoramica dell'area de Il-Prajjet dove sono attivi i fessurimetri

Fessurimetri a





Foto: il cuneo roccioso adiacente monitorato dal fessurimetro 2

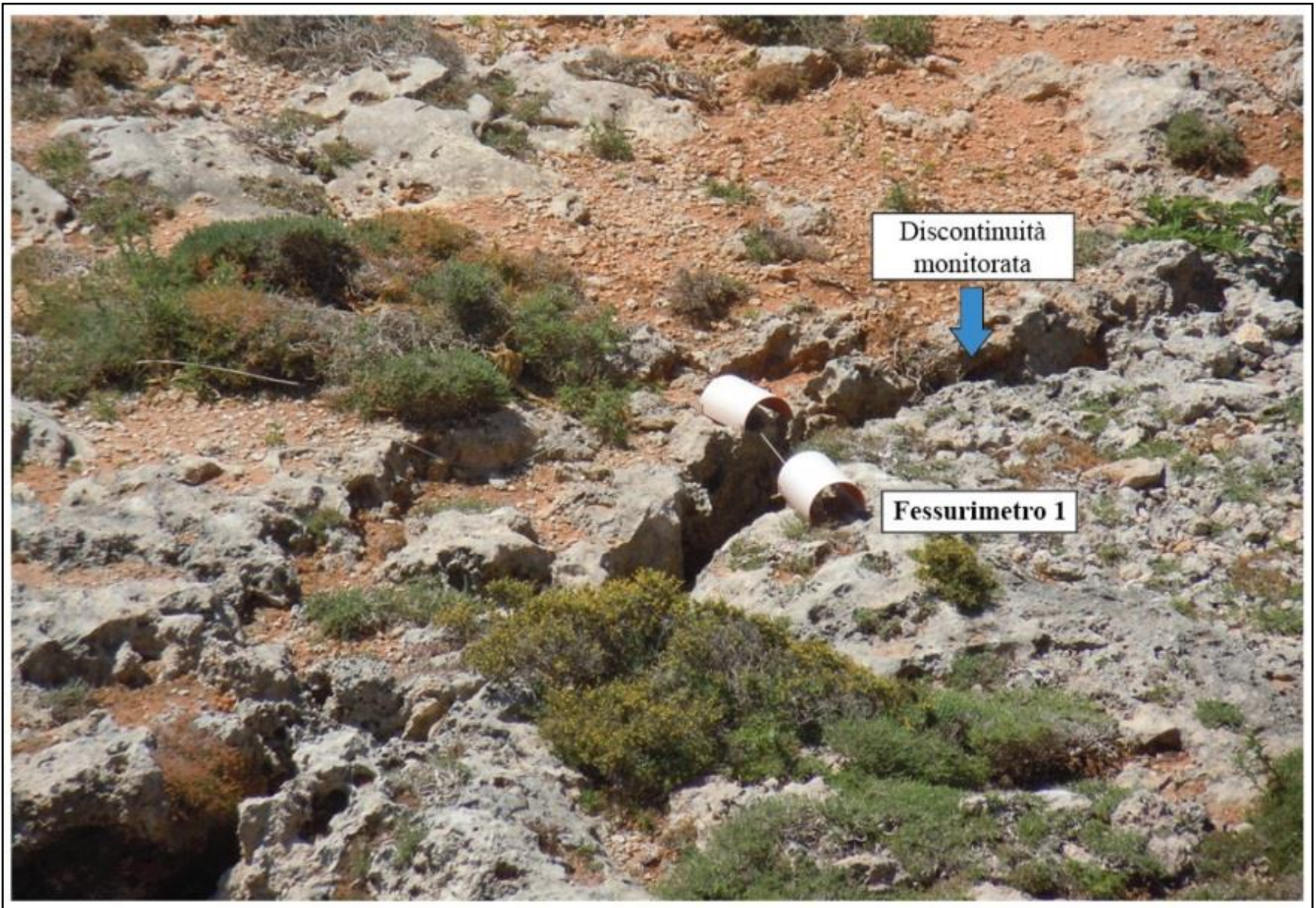
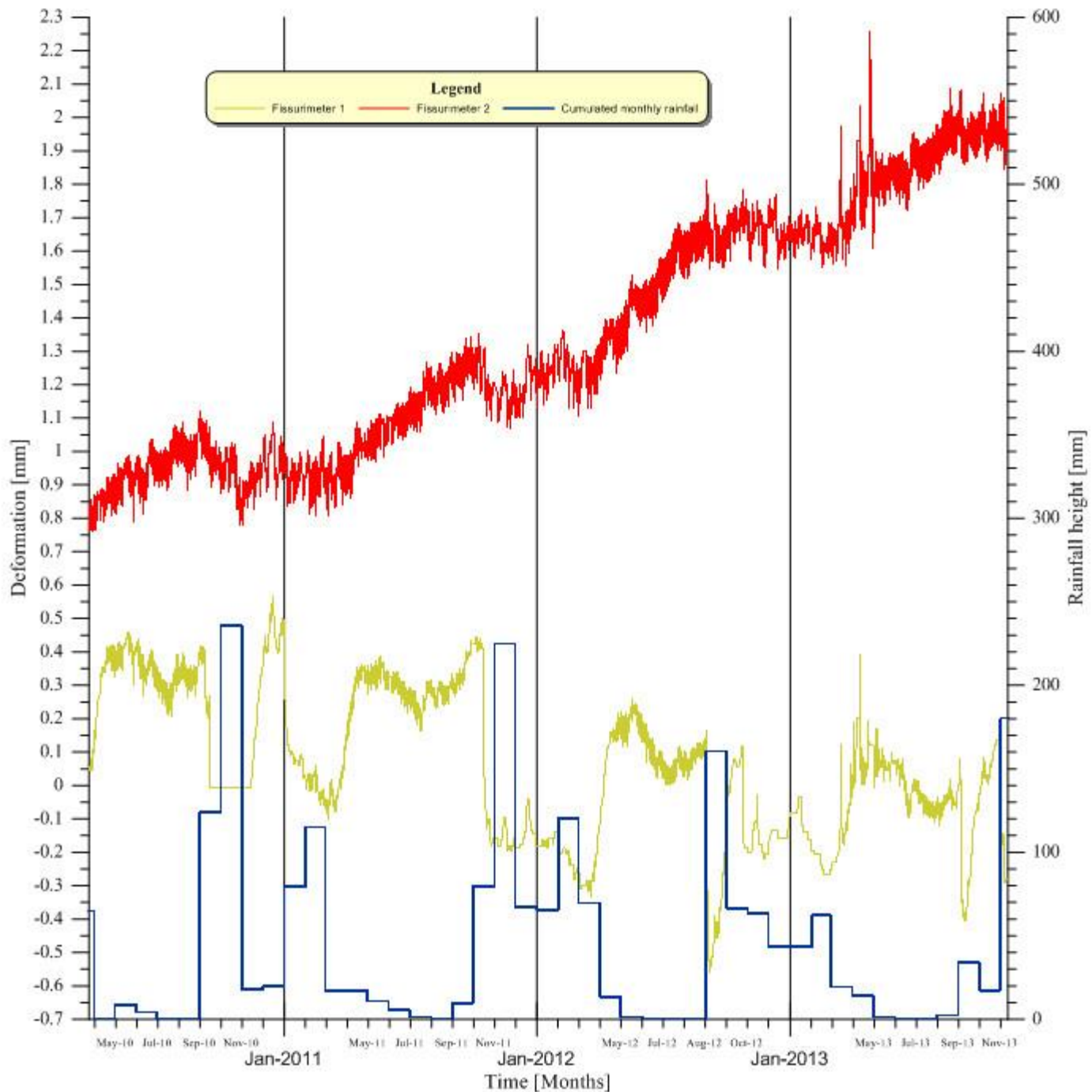
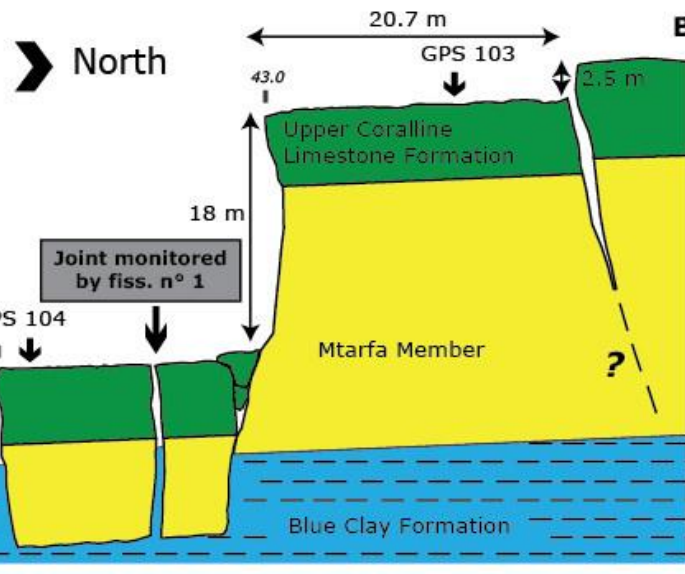
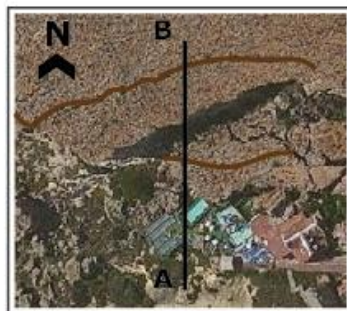
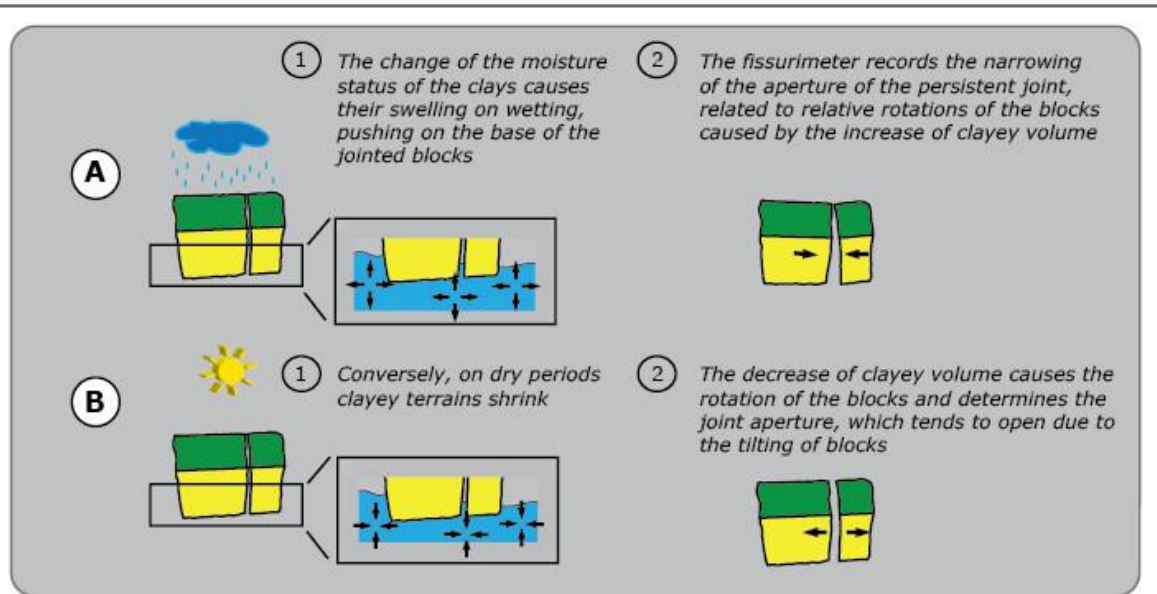


Foto: La frattura molto persistente e il fessurimetro che la monitora

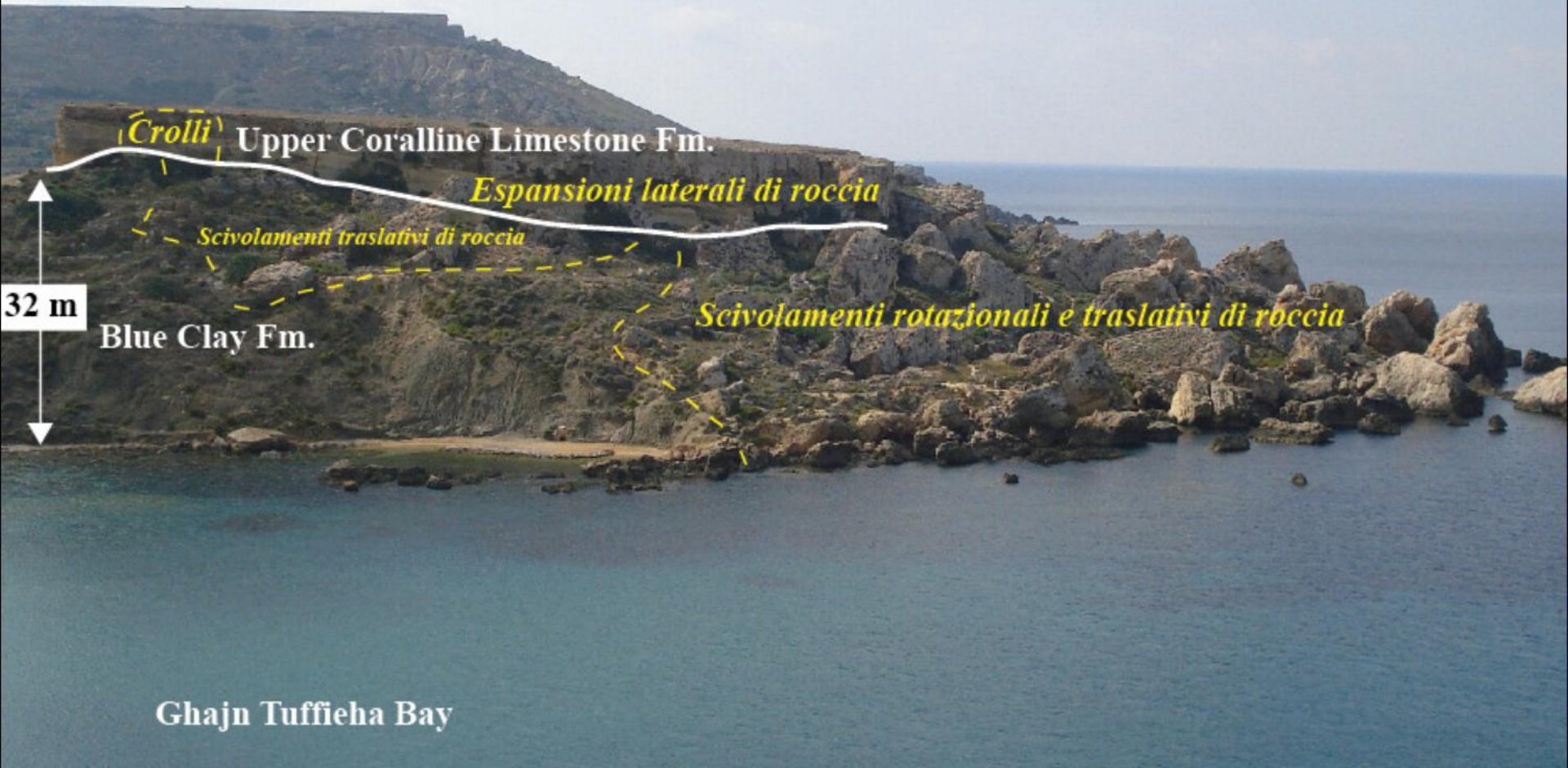




The apertures of the cracks are exaggerated

❖ GPS

❖ Estensimetri a nastro



Sito di monitoraggio *Il-Qarraba*



Baseline length [m]

- Benchmark 301: 504
- Benchmark 302: 487
- Benchmark 303: 468
- Benchmark 304: 451
- Benchmark 305: 436
- Benchmark 306: 409
- Benchmark 307: 425
- Benchmark 309: 401
- Benchmark 312: 37

312

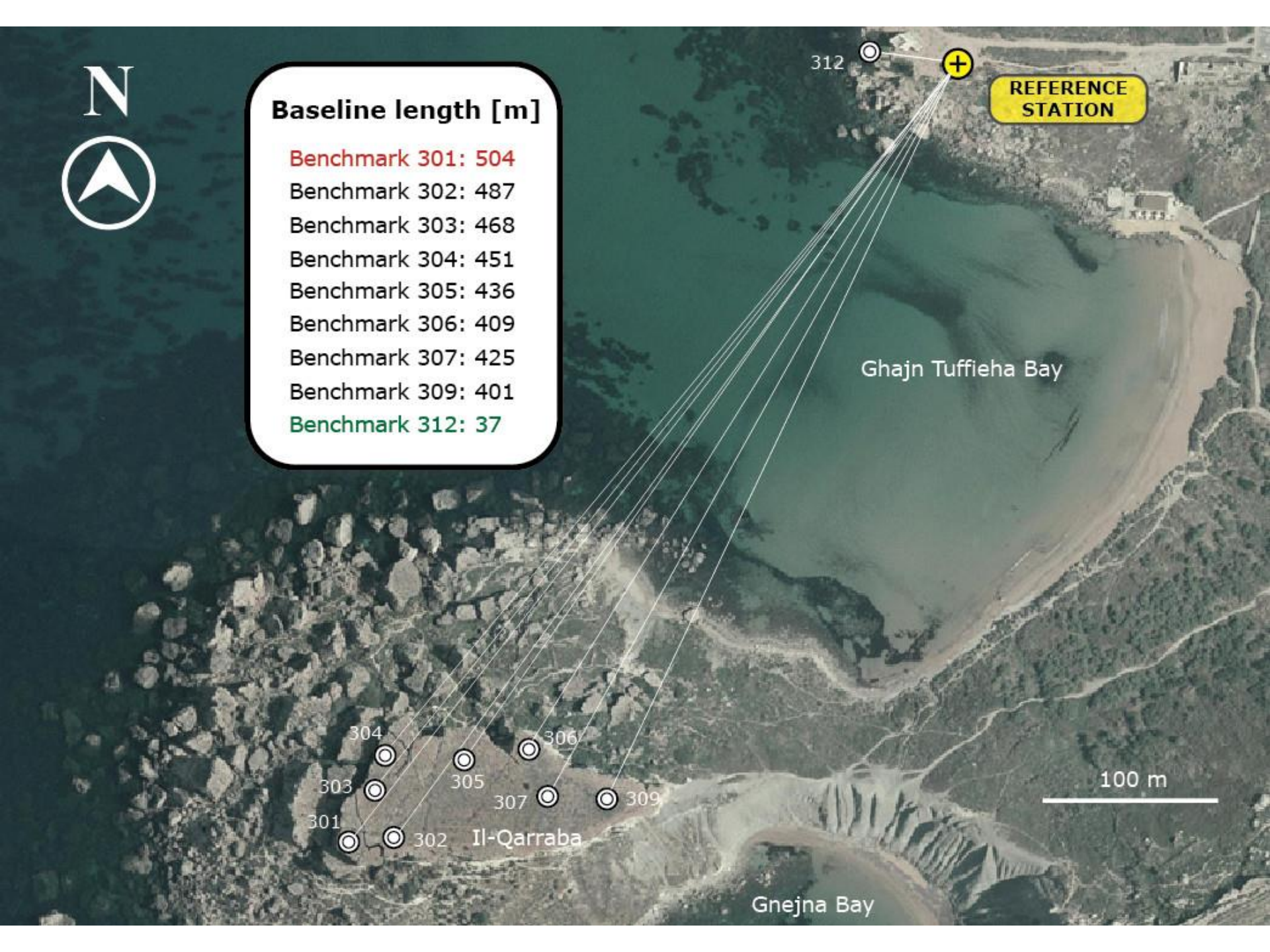
REFERENCE STATION

Ghajn Tuffieha Bay

304
303
301
302
305
307
306
309
Il-Qarraba

100 m

Gnejna Bay






Legend


GPS measurement of horizontal surface displacement

 Ranging between 1 and 5 cm

GPS measurement of vertical surface displacement

 Ranging between 0 and 1 cm

 Ranging between 1 and 5 cm

 Fissure

100 m



-1.0
312



REFERENCE
STATION

Ghajn Tuffieha Bay

GPS measurements elapsed since September 2005

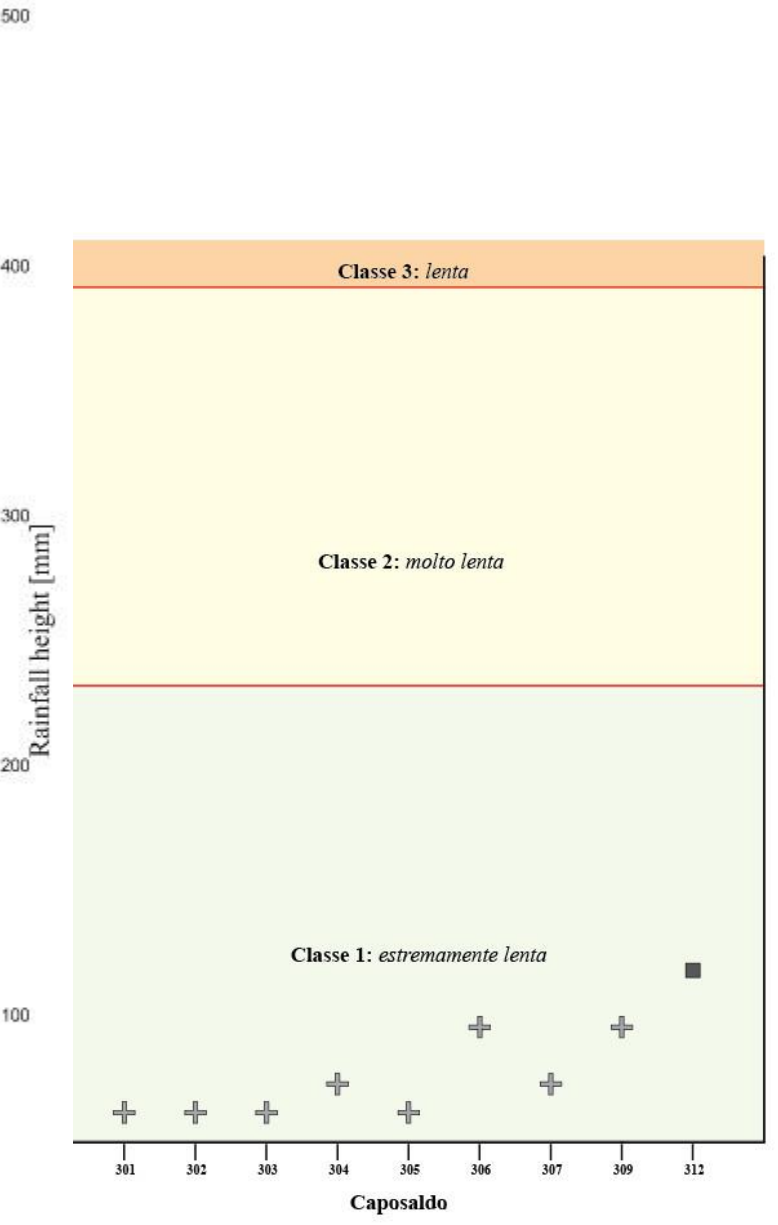
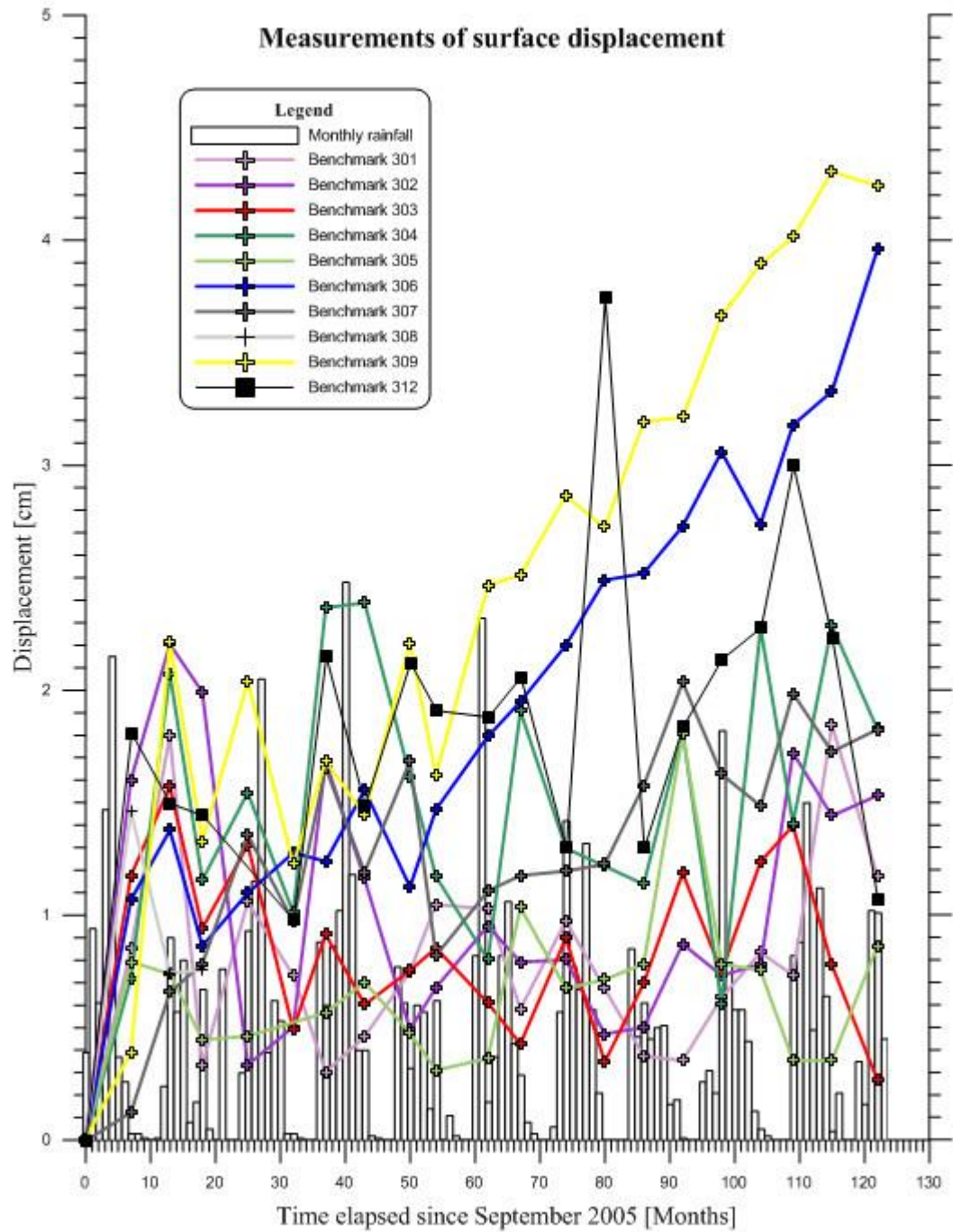
Campaign n. 20 (November 2015)

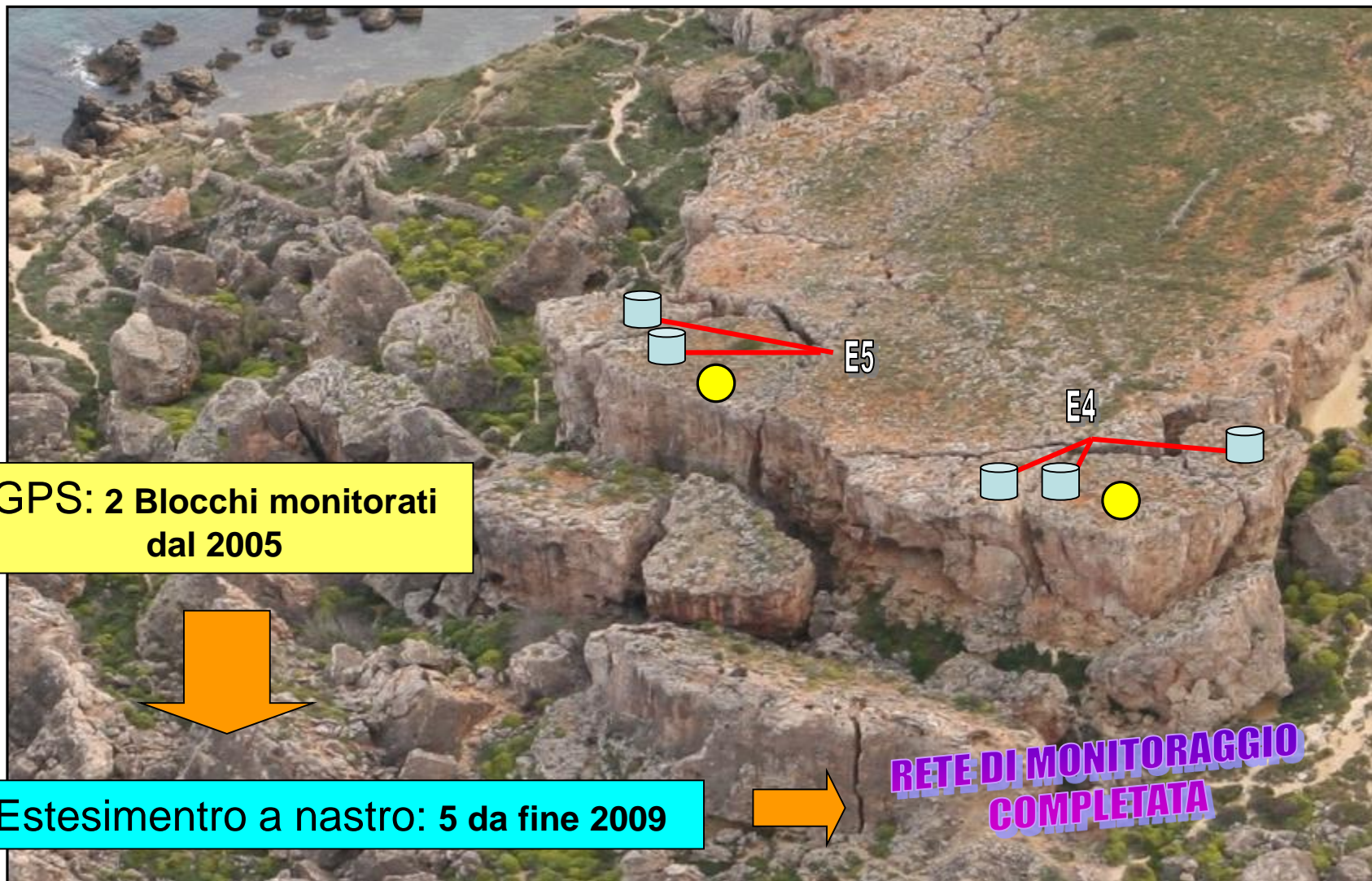
Horiz. [cm] Vert. [cm]

| | | |
|-----|-----|------|
| 301 | 1.1 | 0.3 |
| 302 | 0.9 | -1.2 |
| 303 | 0.3 | -0.1 |
| 304 | 0.4 | -1.8 |
| 305 | 0.6 | 0.6 |
| 306 | 4.0 | 0.0 |
| 307 | 1.0 | 1.5 |
| 309 | 4.2 | -0.2 |
| 312 | 0.0 | -1.0 |

Measurements of surface displacement

- Legend**
- Monthly rainfall
 - Benchmark 301
 - Benchmark 302
 - Benchmark 303
 - Benchmark 304
 - Benchmark 305
 - Benchmark 306
 - Benchmark 307
 - Benchmark 308
 - Benchmark 309
 - Benchmark 312

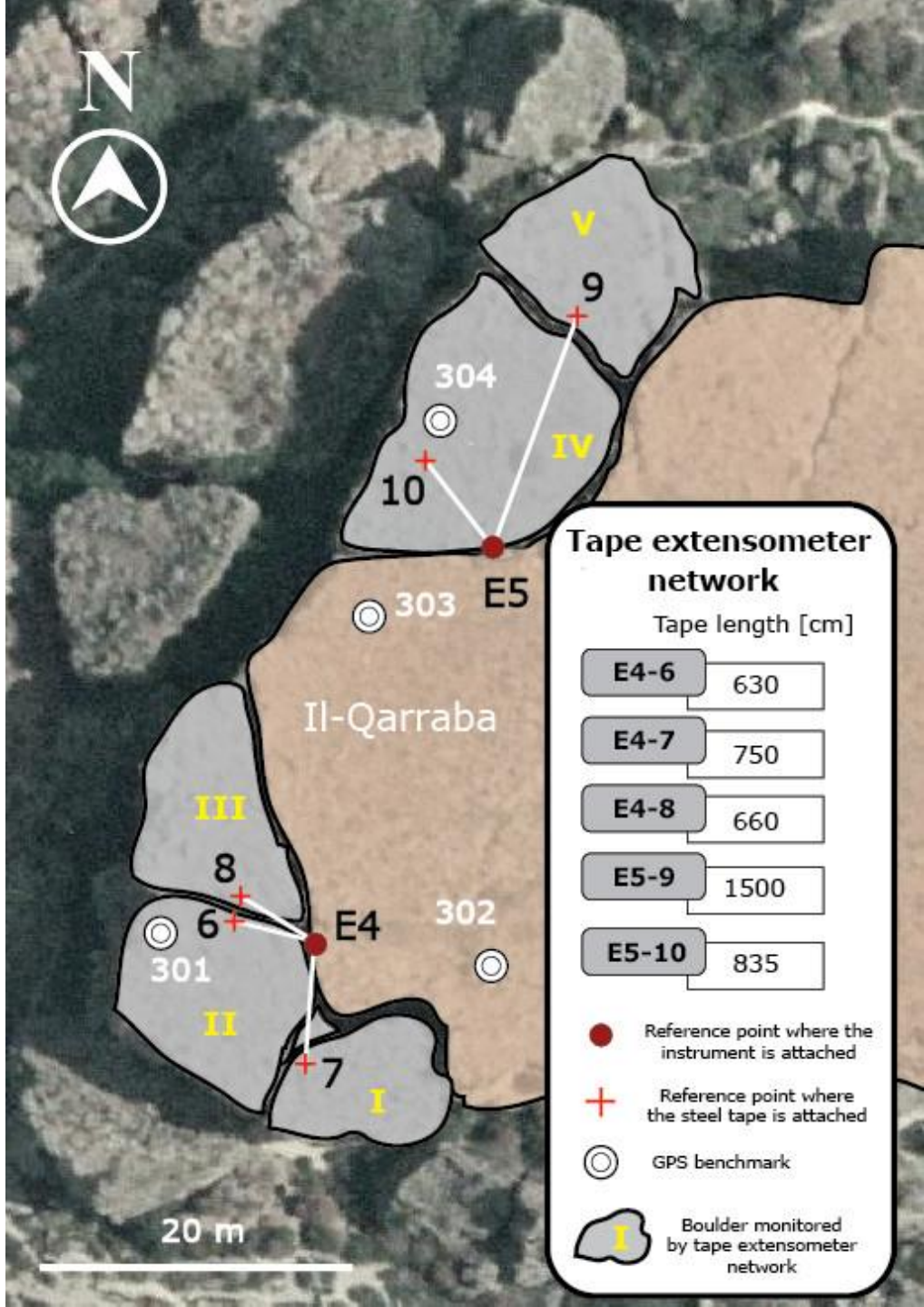




GPS: 2 Blocchi monitorati dal 2005

Estesimento a nastro: 5 da fine 2009

RETE DI MONITORAGGIO COMPLETATA



Tape extensometer network

Tape length [cm]

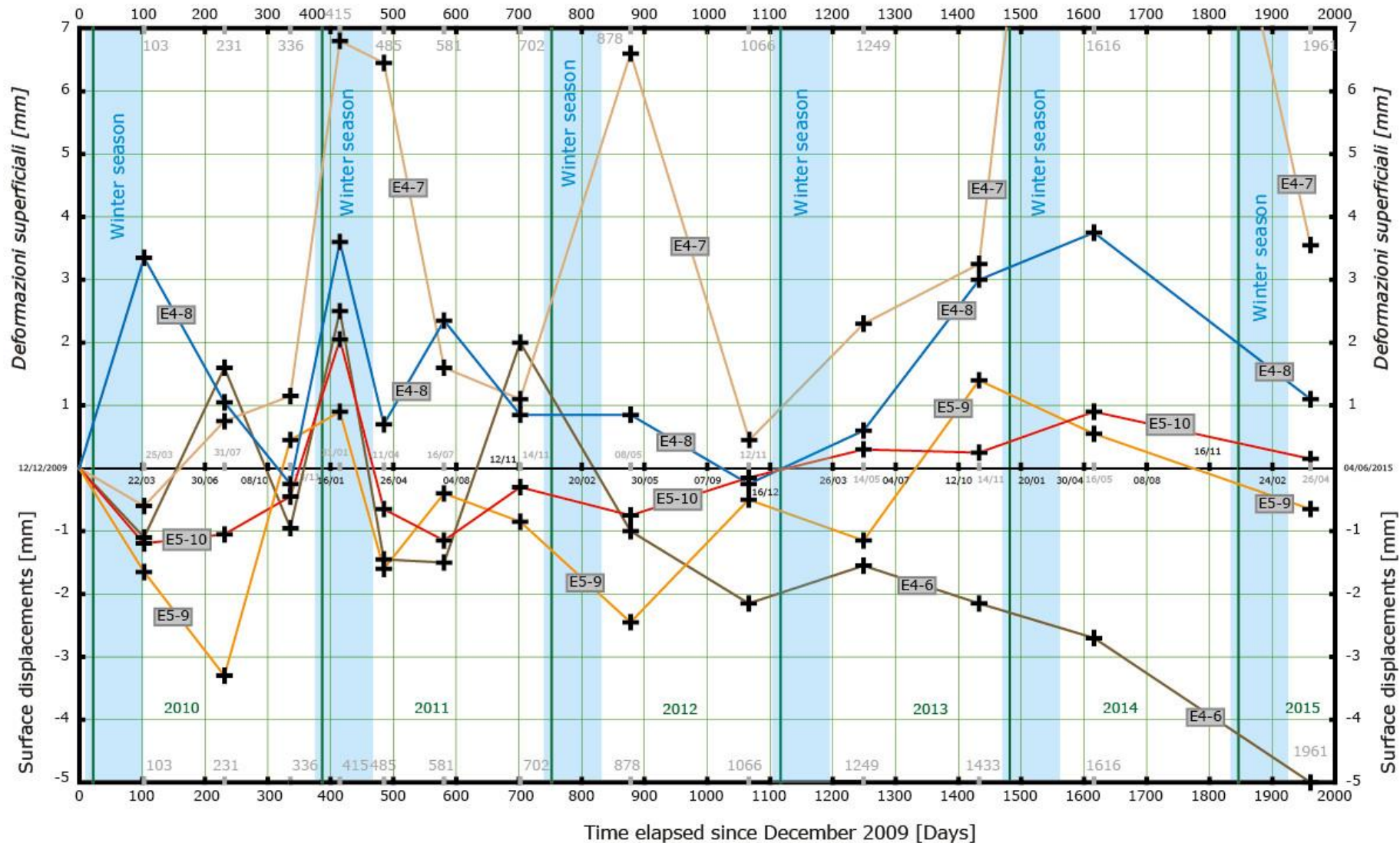
| | |
|-------|------|
| E4-6 | 630 |
| E4-7 | 750 |
| E4-8 | 660 |
| E5-9 | 1500 |
| E5-10 | 835 |

- Reference point where the instrument is attached
- Reference point where the steel tape is attached
- GPS benchmark
- Boulder monitored by tape extensometer network

20 m

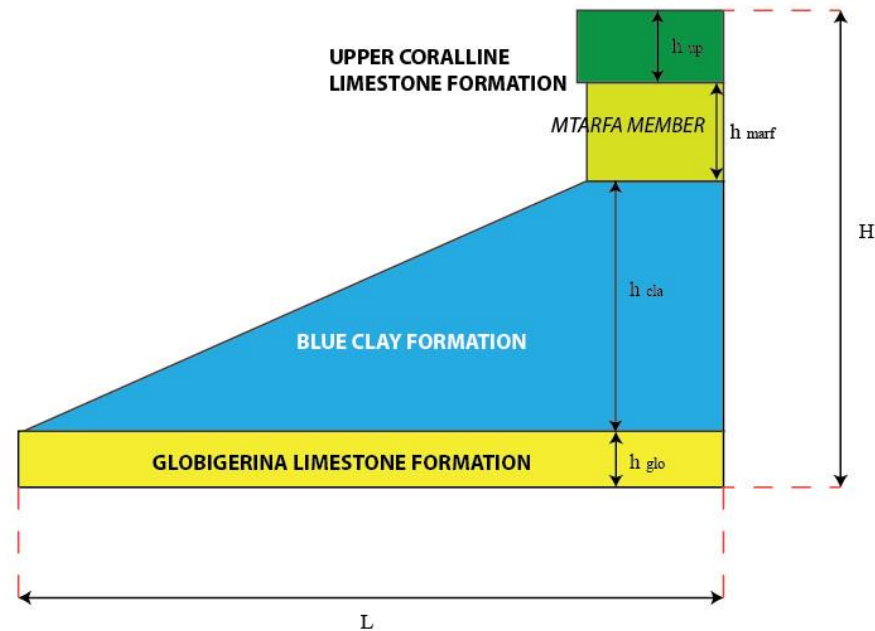
Il-Qarraba Tape Extensometer Network

Giorni intercorsi dalla data d'installazione (12 Dicembre 2009)



Modellizzazione - MODELLING

Al fine di definire il **peso** relativo, nelle analisi di stabilità, di ognuno dei **parametri di resistenza** delle **Blue Clay** e l'influenza dell'**acquifero carsico** presente nei calcari dell'Upper Coralline Limestone Formation sono state selezionate **5 sezioni**, distribuite nel tratto di costa compreso tra il promontorio occidentale di Marfa Ridge e la penisola de Il-Qarraba



| Caratteristiche geometriche delle sezioni e spessori delle unità litostratigrafiche presenti | | | | | | | | | |
|--|----------------|-----------|-------|-------|------|----------|----------|-----------|---------|
| Sezione | Località | Direzione | L [m] | H [m] | H/L | hglo [m] | hcla [m] | hmarf [m] | hup [m] |
| Marfa Ridge | Ras il Qamrieh | SW-NE | 368 | 129 | 0.35 | 23 | 74 | 15 | 17 |
| Il-Prajjet | Il Prajjet | S-N | 135 | 43 | 0.32 | 0 | 26 | 10 | 7 |
| Ghadira Bay | Ghadira Bay | E-W | 220 | 84 | 0.38 | 20 | 50 | 6 | 8 |
| Badja Ridge | Ras il-Walx | SES-NWN | 250 | 78 | 0.31 | 0 | 58 | 7 | 13 |
| Il-Qarraba | Il-Qarraba | W-E | 264 | 48 | 0.18 | 0 | 37 | 9 | 2 |

MARFA RIDGE
SEZIONE 1

IL-PRAJJET
SEZIONE 2

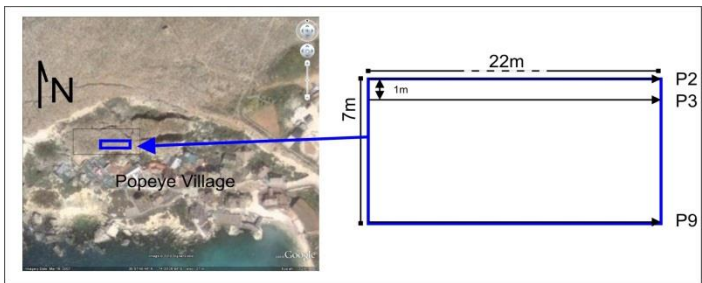
GHADIRA BAY
SEZIONE 3

BADJA RIDGE
SEZIONE 4

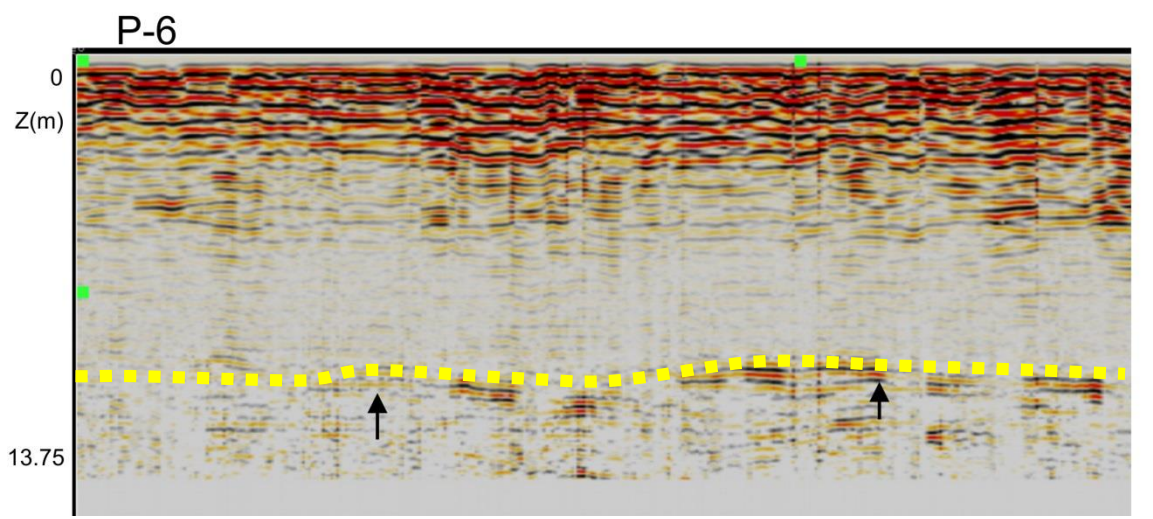
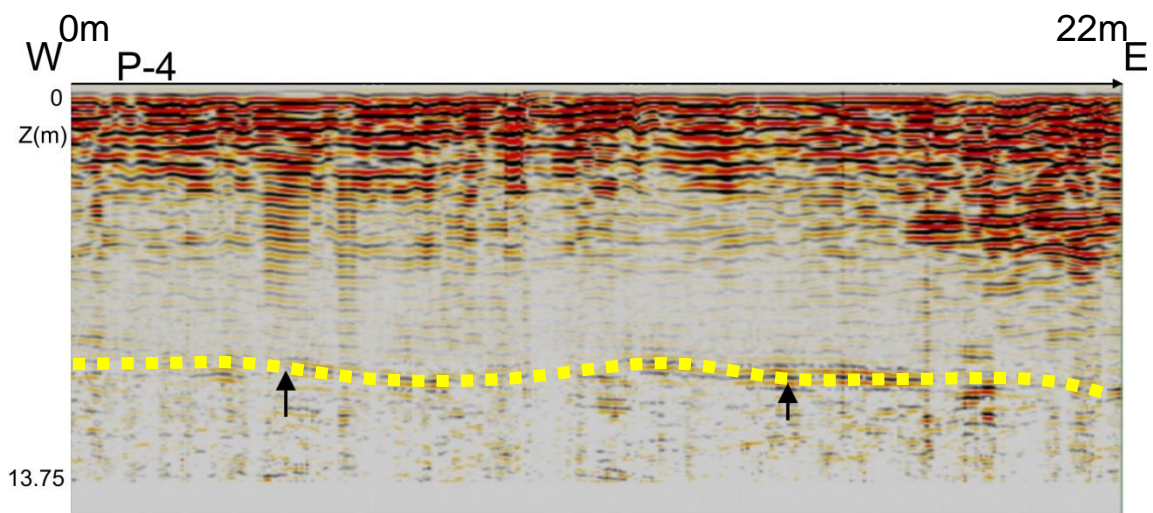
IL-QARRABA
SEZIONE 5



500 m

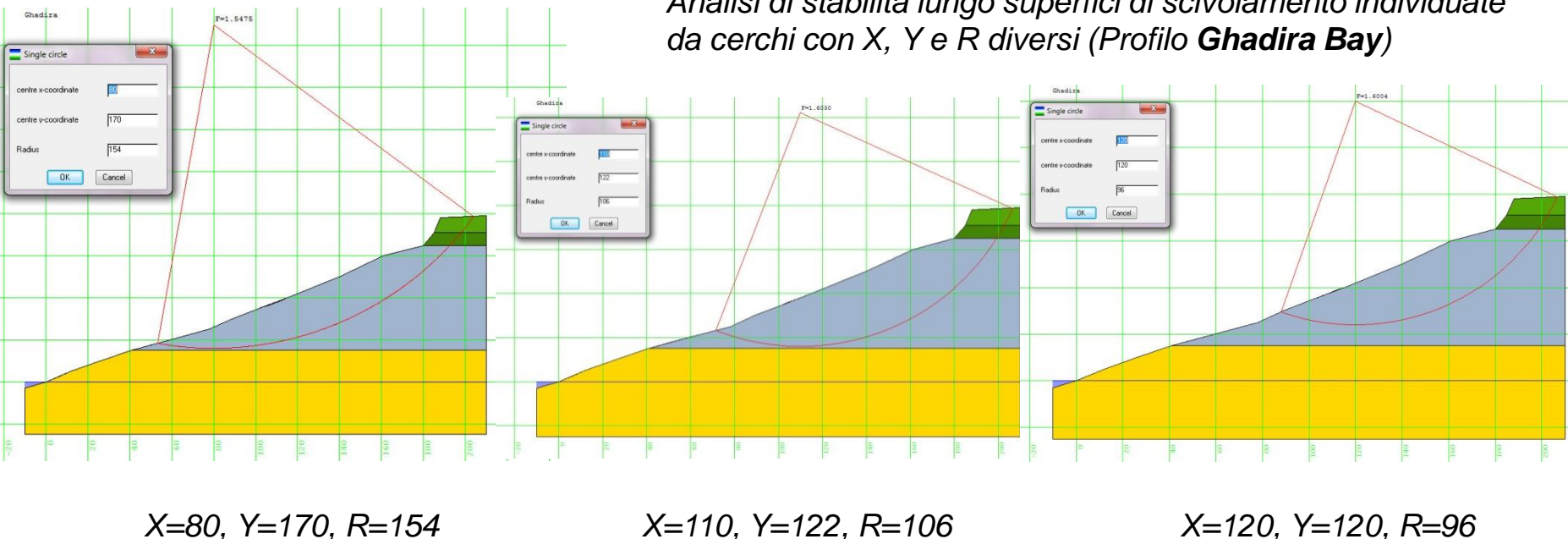


- STRUMENTO**
- ❖ **GPR ZOND**
 - ❖ **Antenne 300e 500MHz**
 - ❖ Intervallo tracce 5cm
 - ❖ Intervallo profili 1m



➔ I **parametri di resistenza**, quali **coesione**, **angolo d'attrito** e **peso di volume**, relativi all' **Upper Coralline Limestone Formation** e alla **Globigerina Limestone Formation** derivano dai risultati dei rilievi geomeccanici e sono stati mantenuti **costanti** durante le singole analisi di stabilità. Al contrario, i parametri di resistenza delle **Blue Clay** sono stati fatti variare dai valori di **picco (Dykes, 2002)** a delle percentuali relative inferiori (valori di **resistenza residua**)

*Analisi di stabilità lungo superfici di scivolamento individuate da cerchi con X, Y e R diversi (Profilo **Ghadira Bay**)*

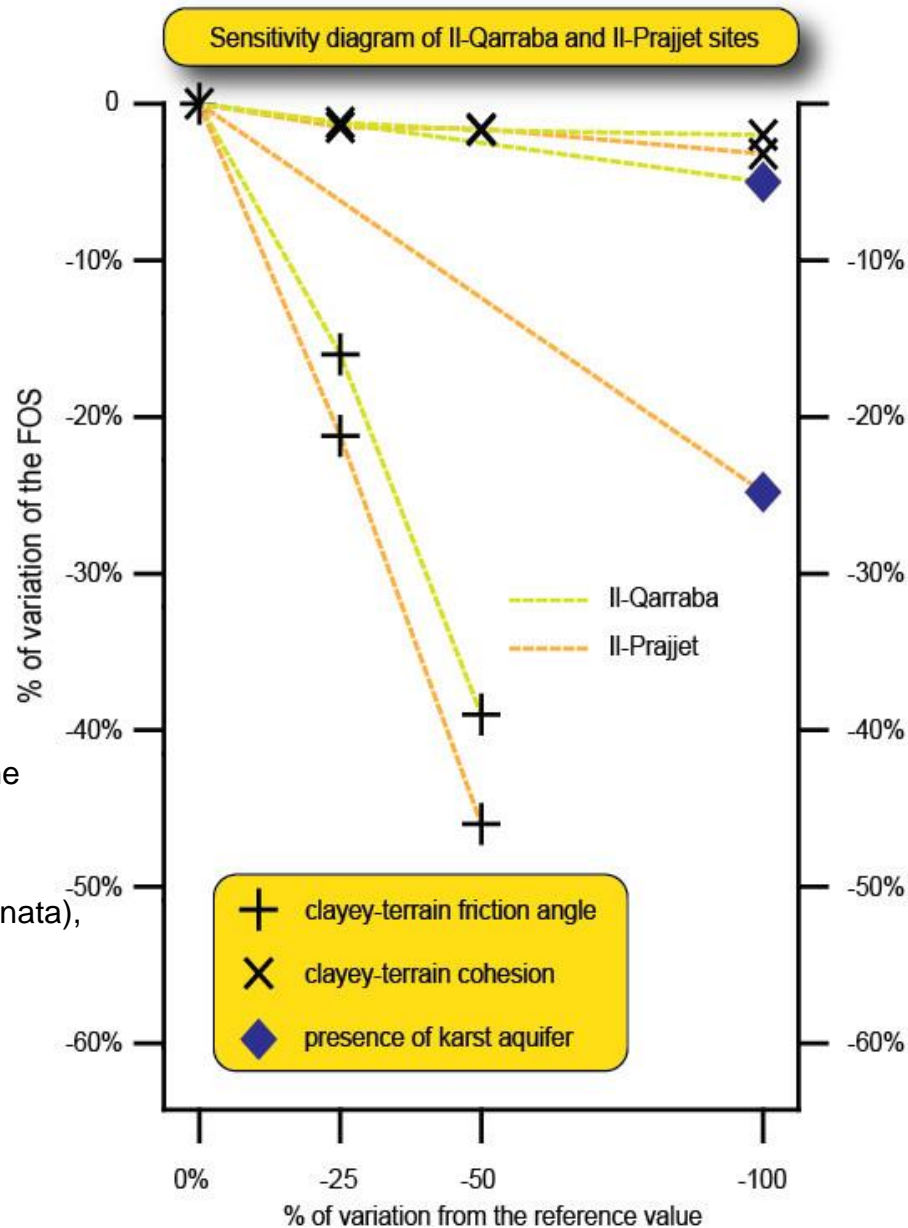


➔ Il **software** analizza la stabilità dei versanti secondo il metodo rigoroso **Morgensten & Price (1965)**. Per ogni sezione, la forma e la posizione della superficie di scivolamento è stata fatta variare cambiando sia la posizione del centro del cerchio che individua la superficie predetta, sia il raggio, in modo da considerare i fenomeni d'instabilità dei pendii in modo statistico



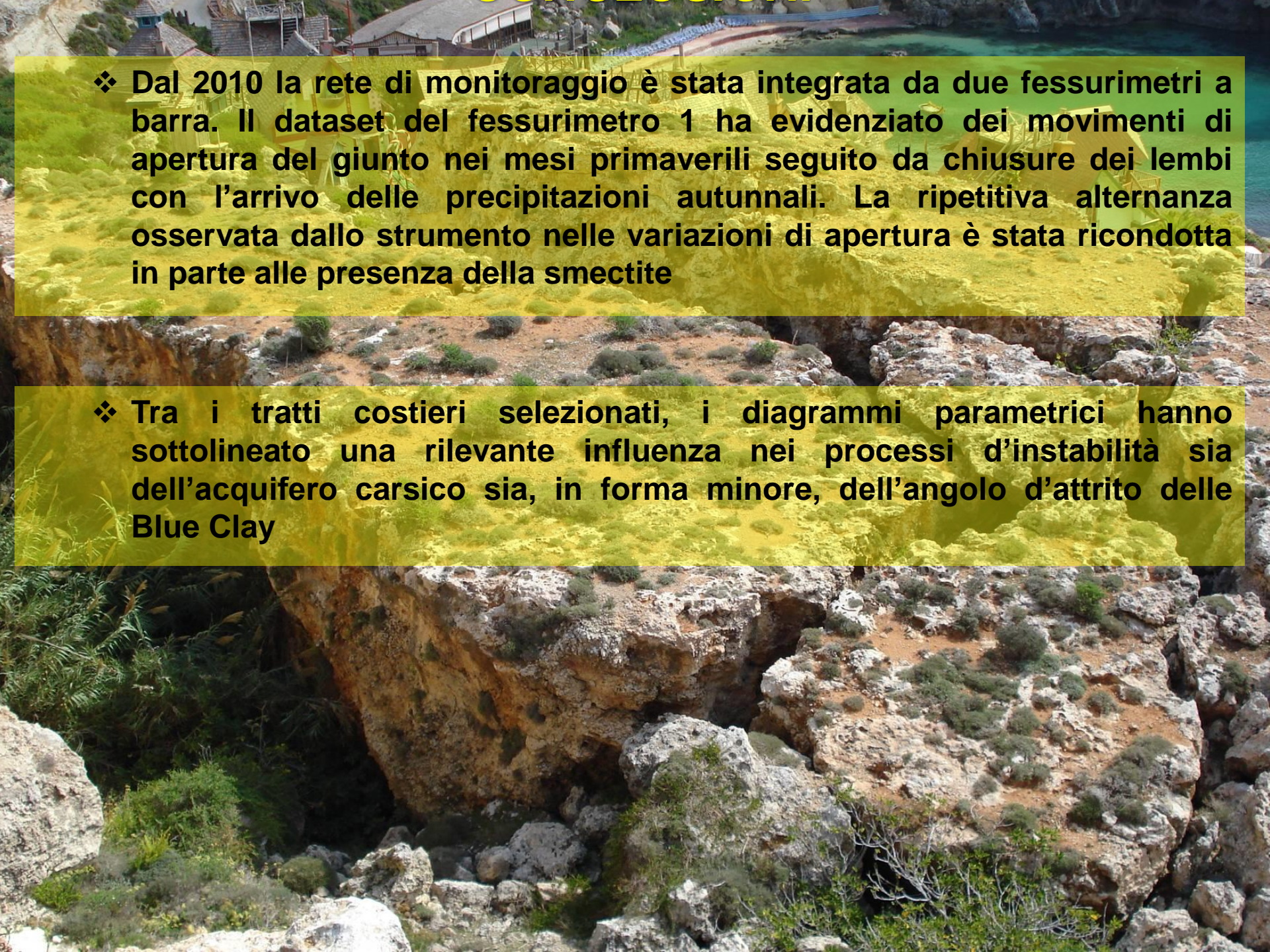
Dalle modellizzazioni si sono ottenuti i **diagrammi parametrici** relativi ai 5 versanti scelti. Diminuendo **singolarmente** la coesione e l'angolo d'attrito delle Blue Clay da valori di resistenza di picco a condizioni di tipo residuo (in ascissa), le condizioni di stabilità dei pendii di Il-Prajjet e Il-Qarraba, espresse in FOS (ordinata), peggiorano gradualmente.

Oltre alla caratteristiche geotecniche delle argille, si è tenuta in considerazione la presenza di acquiferi carsici (**Mangion, 1991**) L'acqua, al contatto tra i calcari, permeabili, e le argille, impermeabili, influenza maggiormente la stabilità dei pendii del sito di Il-Prajjet rispetto a Il-Qarraba

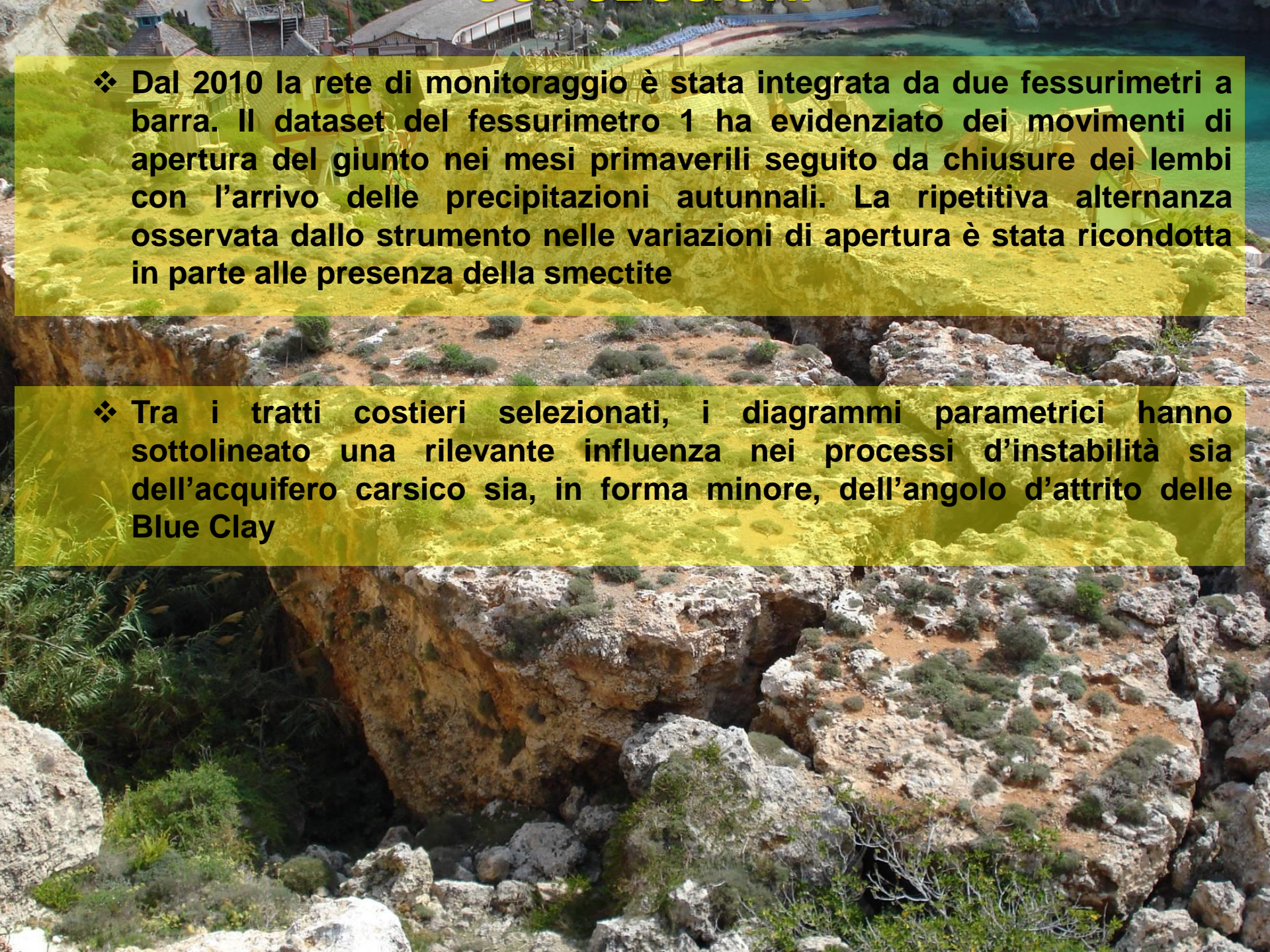


CONCLUSIONI

- ❖ La costa NO di Malta è caratterizzata dalla presenza di diverse tipologie di frane. L'integrazione tra rilievi geomorfologici, tecniche fotogrammetriche e interferometriche satellitari ha permesso di definire la loro distribuzione areale e il loro grado d'attività
- ❖ I dati di monitoraggio evidenziano la maggiore attività geomorfologica delle frane nell'area settentrionale di Anchor Bay (Il-Prajjet) rispetto alla penisola de Il-Qarraba
- ❖ A Il-Prajjet i *dataset* GPS evidenziano che la placca calcarea subisce sia dei movimenti d'estensione laterale che d'abbassamento, raggiungendo nei 67 mesi rispettivamente i 9,5 e i 14,2 cm. L'accumulo di frana, interposto tra Popeye Village e l'altopiano si muove in direzione del parco divertimenti
- ❖ A Il-Qarraba i risultati delle campagne GPS e delle misure estensimetriche hanno evidenziato ripetuti fenomeni di basculamento dei blocchi calcarei che formano il settore occidentale della placca calcarea



❖ Dal 2010 la rete di monitoraggio è stata integrata da due fessurimetri a barra. Il dataset del fessurimetro 1 ha evidenziato dei movimenti di apertura del giunto nei mesi primaverili seguito da chiusure dei lembi con l'arrivo delle precipitazioni autunnali. La ripetitiva alternanza osservata dallo strumento nelle variazioni di apertura è stata ricondotta in parte alla presenza della smectite



❖ Tra i tratti costieri selezionati, i diagrammi parametrici hanno sottolineato una rilevante influenza nei processi d'instabilità sia dell'acquifero carsico sia, in forma minore, dell'angolo d'attrito delle Blue Clay



Grazie per l'attenzione!