

- ❑ I processi di modellamento di un versante avviene con un trasferimento di materiale dalle parti più alte e dalla cresta verso i tratti intermedi ed il piede
- ❑ Questi fenomeni conducono generalmente ad una graduale diminuzione dell'inclinazione del versante ed ad una graduale demolizione ed abbassamento del rilievo terrestre
- ❑ I processi sono detti di **degradazione** dei versanti: iniziano con la degradazione, l'alterazione e la frantumazione della roccia (*source area*), proseguono con lo spostamento, la caduta e il trasporto (*transit area*), ad opera della forza di gravità talora in combinazione con l'acqua, di detriti e/o rocce, sia come elementi isolati (crolli per esempio) che come materiale di massa
- ❑ Alcuni autori parlano anche di **denudazione**

□ Introduzione

- Come tutti i processi, i processi di degradazione dei versanti dipendono da tre fattori
 - Fattori strutturali
 - Condizioni climatiche
 - Agenti che operano il modellamento
- Per quanto riguarda gli agenti, ci possono essere più processi che operano in combinazione con la gravità (per esempio mare e gravità)
- Pertanto nello studio dei versanti vanno specificate le caratteristiche connesse alla litologia, alla tettonica e alle condizioni climatiche

<i>Processi e forme</i>	<i>Agente predominante</i>
falde detritiche	forza di gravità
soliflusso	acqua
reptazione	vari
fenomeni franosi	forza di gravità
dilavamento	acqua
fluviali	acqua
marini	acqua
lacustri	acqua
antropici	uomo

Tavola 11. Elenco dei principali processi e forme azonali e plurizonali, con l'indicazione dei rispettivi agenti predominanti del modellamento.

Source: Panizza (1992)

- ❑ Gli effetti diretti ed indiretti di frane ed alluvioni sono particolarmente gravosi
- ❑ Ogni anno si registrano in media 735 vittime nei paesi Andini, 150 in Cina, 130 in Giappone, 59 in Italia e 50 negli USA
- ❑ Negli ultimi dieci secoli sono state registrate circa 90.000 vittime per fenomeni alluvionali delle quali circa 12.000 per frane ([Guzzetti, 2000](#))
- ❑ Tale valore tuttavia è sottostimato per l'insufficienza di fonti storiche attendibili
- ❑ Da un punto di vista storico ricordiamo:
 - Vajont
 - Sarno
- ❑ Da questi pochi dati emerge la dimensione economica del dissesto idrogeologico ai fini pianificatori e l'importanza di una corretta gestione del territorio

Località	Anno
Vajont	1963
Valtellina	1966
Piemonte	1994
Sarno	1998

Table 3. Total number of fatal events and fatalities caused by landslides and floods in the 20 Italian regions in the 50-year period 1964–2013. Average landslide and flood mortality rates in the period are also given.

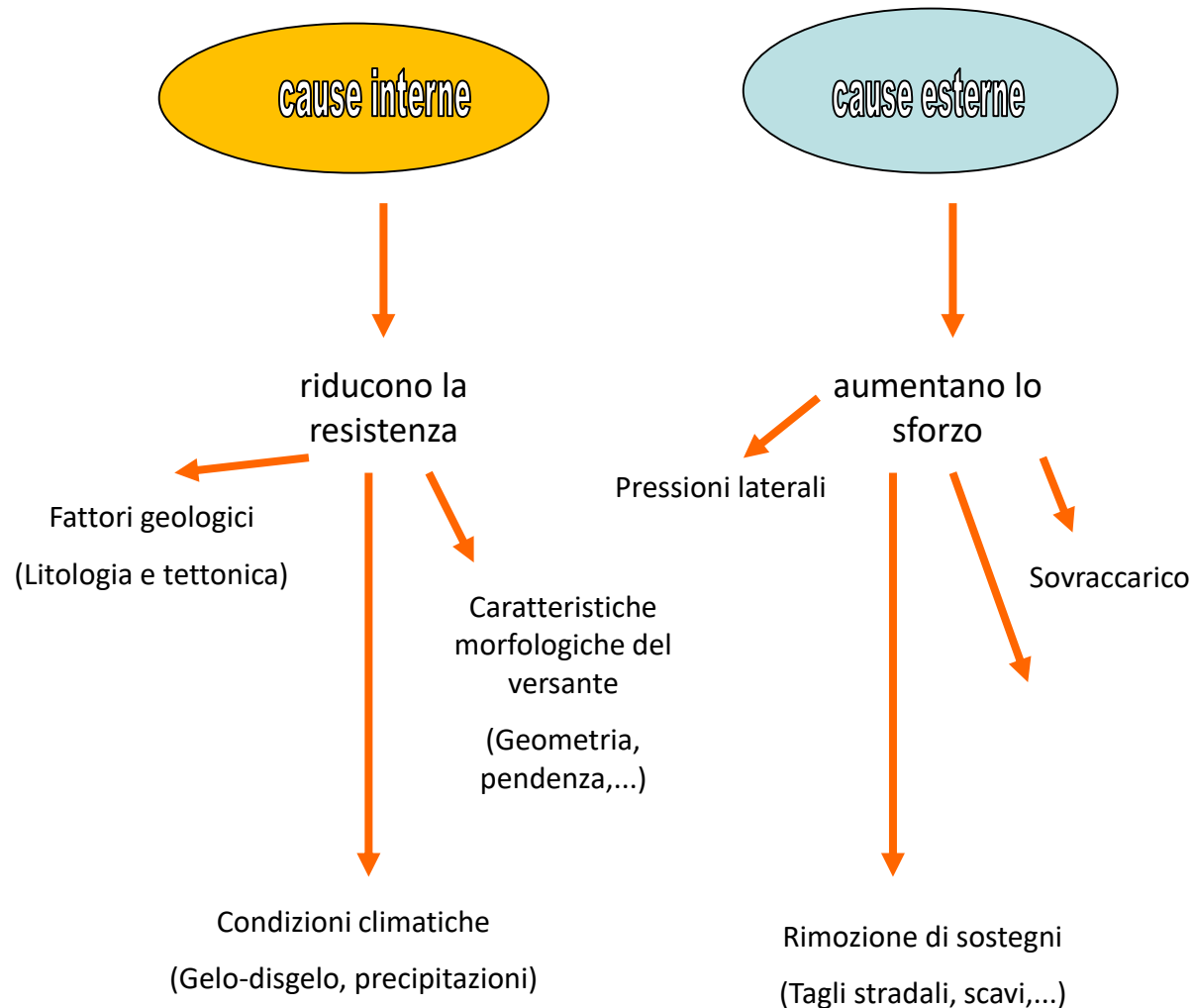
Region		Landslides			Floods		
		Events	Fatalities	Mortality	Events	Fatalities	Mortality
Piemonte	PIE	50	134	0.062	64	130	0.060
Valle d'Aosta	VDA	12	25	0.423	4	5	0.085
Lombardia	LOM	39	118	0.027	26	35	0.008
Trentino–Alto Adige	TAA	50	351	0.800	26	32	0.077
Veneto	VEN	24	71	0.034	21	25	0.012
Friuli–Venezia Giulia	FVG	8	11	0.018	16	31	0.051
Liguria	LIG	16	37	0.043	34	88	0.101
Emilia–Romagna	EMR	2	49	0.025	11	15	0.008
Toscana	TOS	28	64	0.039	49	88	0.051
Umbria	UMB	8	15	0.038	9	14	0.035
Marche	MAR	8	9	0.013	8	10	0.014
Lazio	LAZ	15	24	0.010	14	27	0.011
Abruzzo	ABR	6	8	0.013	3	5	0.008
Molise	MOL	0	0	0.000	1	1	0.006
Campania	CAM	87	293	0.106	22	29	0.011
Puglia	PUG	6	12	0.006	15	30	0.016
Basilicata	BAS	5	15	0.049	7	13	0.043
Calabria	CAL	18	37	0.037	10	28	0.028
Sicilia	SIC	20	67	0.027	66	130	0.054
Sardegna	SAR	10	14	0.021	31	45	0.061
Italy		412	1354	0.089	437	781	0.037

- In Italia, per il periodo 1964–2013, ci sono stati 412 eventi franosi con circa 1354 morti (Salvati et al., 2014)

- ❑ In tale contesto quindi qualsiasi approccio metodologico per lo studio di fenomeni franosi deve poter considerare :
 - Le possibili cause innescanti
 - Le tipologie dei fenomeni
 - La loro distribuzione spaziale e temporale
 - Gli effetti su persone e opere antropiche
 - L'efficacia delle opere di protezione attiva e passiva

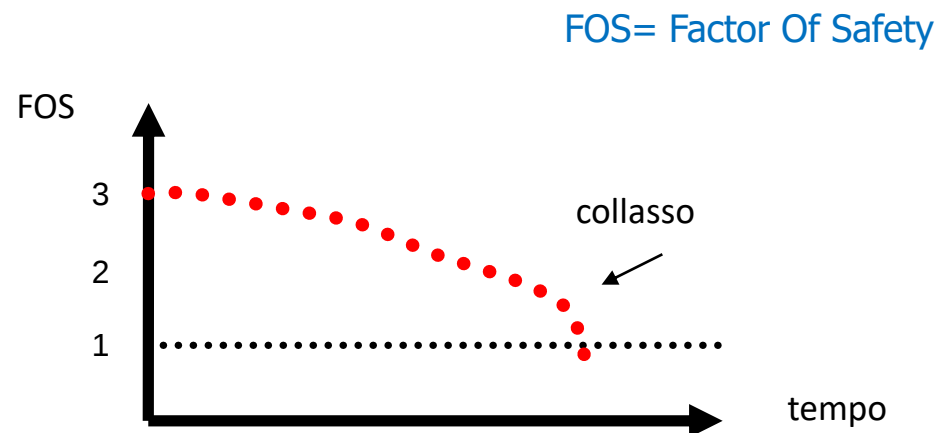
- ❑ Per quanto riguarda le cause innescanti esse possono essere divise o raggruppate in due categorie principali ([Terzaghi, 1950](#)) come riportato nella prossima *slide*

❑ Introduzione ai fenomeni franosi



❑ Cause interne ed esterne che intervengono sui fenomeni franosi

- ❑ CAUSE INTERNE: riducono la resistenza interna del materiale determinando un progressivo deterioramento delle caratteristiche meccaniche
- ❑ In questo ambito, secondo [Terzaghi](#), possono essere incluse le caratteristiche intrinseche del versante quali
 - Natura litologica
 - Assetto tettonico e geomeccanico
 - Condizioni morfologiche
 - Condizioni idrauliche



- ❑ Progressiva diminuzione del FOS nel tempo secondo [Terzaghi \(1950\)](#)

❑ Introduzione ai fenomeni franosi

- ❑ CAUSE ESTERNE: determinano un aumento degli sforzi di taglio a causa di modificazioni della geometria del versante, sia per cause naturali che per cause antropiche
- ❑ Le cause possono essere naturali
 - Azione erosiva del mare
 - Sismi
 - Tensioni residue in ammassi rocciosi dovuti agli effetti della pressione esercitata dai ghiacciai che riempivano le vallate alpine durante l'ultima glaciazione
- ❑ Possono essere artificiali
 - Tagli stradali
 - Sovraccarichi



Foto: Devoto

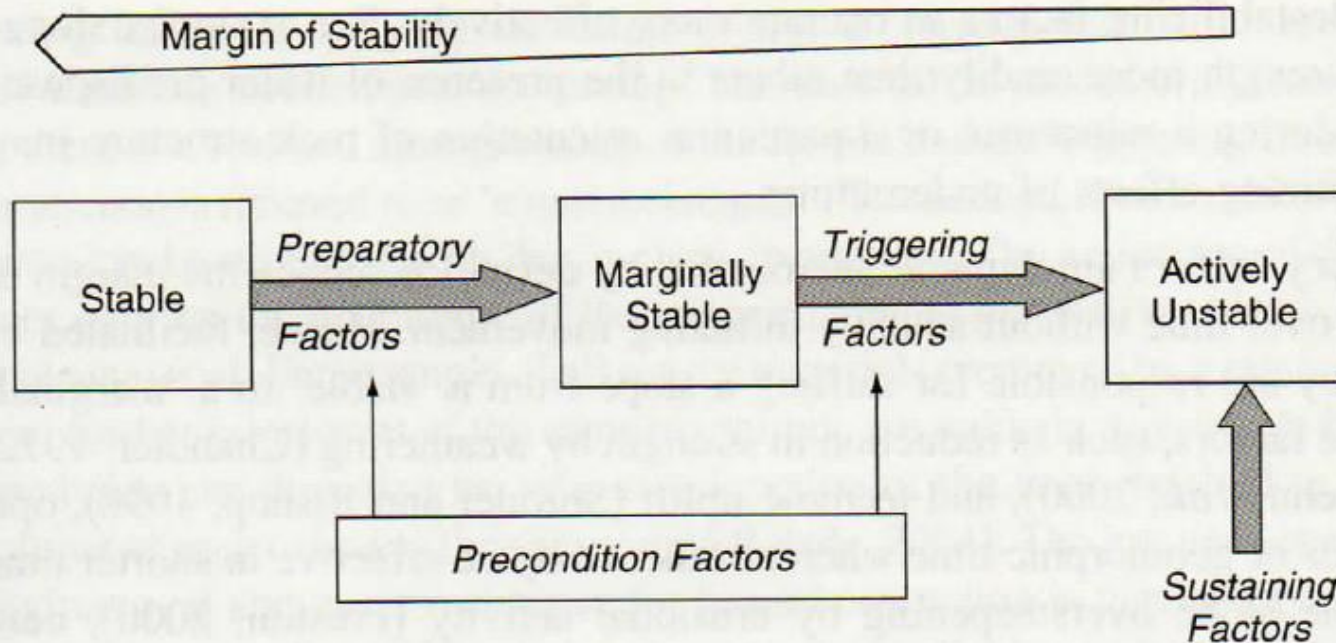


Figure 2.1 *Stability states and destabilizing factors* Source: Crozier, 1989

- ❑ I fattori che causano i processi d'instabilità sono importanti da considerare
- ❑ Capirli permette di comprendere le cause e lo sviluppo dell'instabilità

Predisposing factor

- ❑ Ci sono i *precondition factor* o *predisposing factor*. Non c'entrano con la stabilità ma la loro tipologia può essere più o meno efficace per altri fattori. Due esempi sono una particolare orientazione della *rock structure* oppure gli *slope material*

Preparatory factor

- ❑ I *preparatory factor* che agiscono sul lungo periodo secondo [Glade et al. \(2012\)](#) sono:
 - Alterazione
 - *Climate change*
 - *Tectonic uplift*
- ❑ I *preparatory factor* che agiscono sul corto periodo secondo Crozier sono:
 - Deforestazione
 - *Erosional activity*
 - *Slope disturbance by human activity*

Triggering factor

□ I *triggering factor* sono

- Pioggia
- Scioglimento della neve
- Accelerazioni sismiche
- Tagli stradali

Triggering factors are those factors that initiate movement, that is, shift the slope from a 'marginally stable' to an 'actively unstable' state. The most common triggering factors are intense rainstorms, prolonged periods of wet weather or rapid snowmelt, seismic shaking and slope undercutting. Thus, if a slope is in a state of marginal stability it is possible to recognize a threshold value for the triggering factor that is responsible for initiating movement. The common triggering factors are usually external forces imposed on the slope and the initiating thresholds are thus referred to as extrinsic thresholds (Schumm, 1979). In certain instances, however, movement may be initiated in the absence of an identifiable external triggering force, and therefore it is assumed that some intrinsic threshold has been surpassed within the slope. For example, the Mount Cook rock avalanche from New Zealand's highest mountain in 1991 appears to have been triggered in this way (McSaveney, 2002). For this event it is suggested that gradual weakening of the rock mass, perhaps by mechanical weathering or dilation from unloading by continual erosion, lowered the rock mass strength below the prevailing gravitationally induced stress, allowing failure to occur.

Triggering factor

- ❑ La quantificazione e l'analisi della distribuzione spaziale di un *triggering factor* può permettere una misura relativa della suscettibilità di un versante al *landsliding*

In most cases, however, an extrinsic triggering threshold for landslide occurrence is identifiable and presents two useful opportunities for hazard estimation. The first opportunity recognizes that the triggering threshold varies with the inherent stability of the terrain. Thus spatial differences in the value of triggering thresholds can provide a relative measure of the geographical distribution of terrain susceptibility to landslide occurrence (Crozier, 1989; Glade, 1998). The second opportunity is that, having identified the triggering threshold for a given terrain, the triggering value may be used to determine the frequency of occurrence of landslide-generating conditions by reference, for example, to the seismic or climatic record for the region (Glade *et al.*, 2000; Brooks *et al.*, 2004). The advantage of this approach over determination of frequency from the historical inventory of landsliding is that climate records are usually much longer and more reliable than historical landslide records (Barnikel *et al.*, 2003). In addition, these thresholds can be used for warning systems and forecasting of landslide activity (Crozier, 1999b).

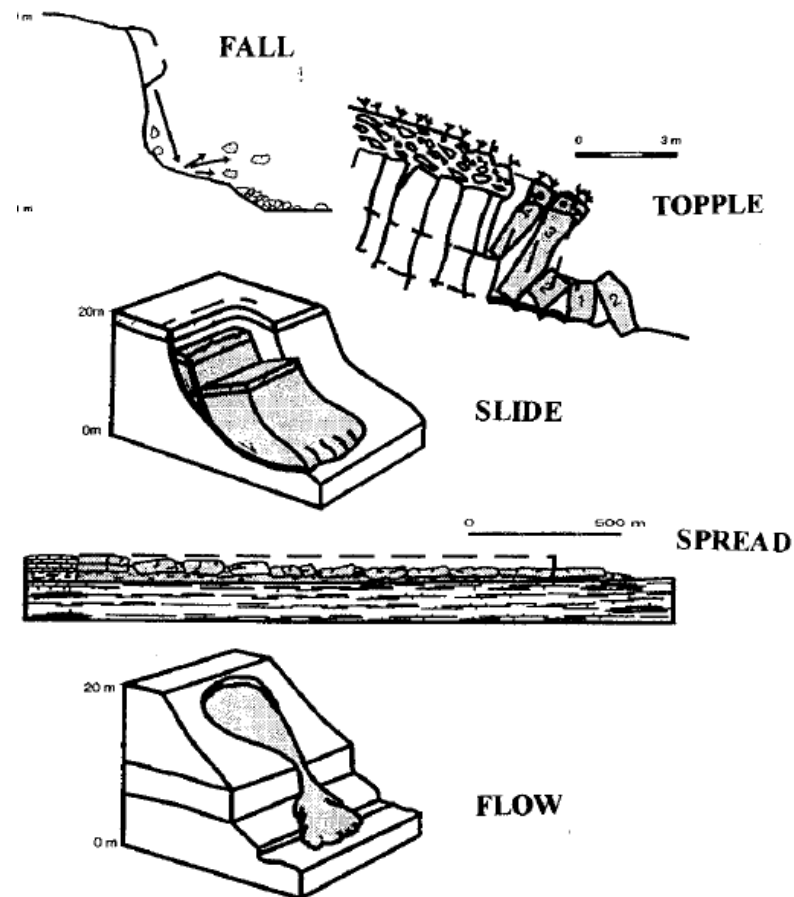
- La diffusa domanda di sicurezza e la urgente necessità da parte delle pubbliche amministrazioni di affrontare in maniera rigorosa ed efficace i problemi derivanti dalla dissestabilità del territorio, ha reso evidente l'importanza di uniformare, per quanto possibile, la terminologia impiegata per la classificazione tipologica dei fenomeni al fine di una univoca interpretazione delle evidenze geomorfologiche e dei processi di instabilità
- Questo anche alla luce della abbondante letteratura scientifica e non, prodotta in questi ultimi decenni su queste tematiche. Basti considerare, ad esempio, il termine **frana** che nella letteratura anglosassone può essere tradotto con i seguenti termini
 - Slope movement
 - Mass movement
 - Gravitational movement
 - Mass wasting
 - Slope-failure process
 - **Landslide**

□ Classificazioni

- E' auspicabile quindi un corretto utilizzo della terminologia (italiana ed inglese) sia per quanto riguarda il tipo di frane che per le parti che la costituiscono

- Le classificazioni delle frane sono numerose e tentano di descrivere di volta in volta i processi evolutivi, i materiali coinvolti, i meccanismi innescanti, ecc.

- Noi in particolare concentreremo la nostra attenzione su quelle più usate e accettate cioè la classificazione di [Varnes \(1978\)](#) ed [EPOCH \(1993\)](#)



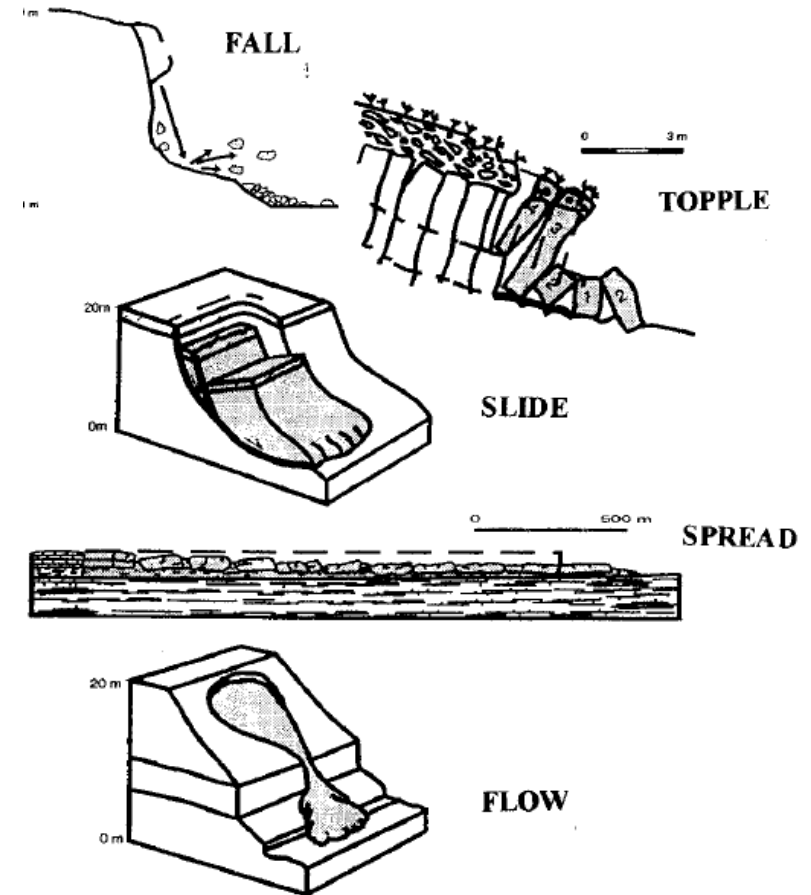
□ Classificazioni

□ La classificazione individua cinque tipologie principali di movimento:

- Crollo
- Ribaltamento
- Scivolamento
- Espansione laterale
- Colamento

□ La metodologia individua tre materiali

- Roccia
- Detrito
- Terra



Varnes Classification

Source: Varnes (1978)

Landslide classification (Varnes, 1978)

Code: **RAPID**, SLOW (IN MOST CASES)

	BEDROCK	DEBRIS (<80% sand and finer)	EARTH (>80% sand and finer)
FALLS	ROCK FALL	DEBRIS FALL	EARTH FALL
TOPPLES	BLOCK TOPPLE FLEXURAL TOPPLE	-	BLOCK TOPPLE
SLIDES	ROCK SLUMP ROCK SLIDE	DEBRIS SLIDE	EARTH SLUMP EARTH SLIDE
SPREADS	ROCK SPREAD	-	EARTH SPREAD
FLOWS	ROCK CREEP SLOPE SAGGING	DEBRIS FLOW DEBRIS AVALANCHE SOIL CREEP SOLIFLUCTION	WET SAND AND SILT FLOW RAPID EARTH FLOW LOESS FLOW DRY SAND FLOW EARTH FLOW
COMPLEX	ROCK AVALANCHE EARTH SLUMP-EARTHFLOW		

Ref.: Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. *In* Landslides, Analysis and Control. Special Report 176, Transportation Research Board, Washington, pp. 11-33.

TABLE 1.1 Classification of mass movements used in this volume (EPOCH, 1993)

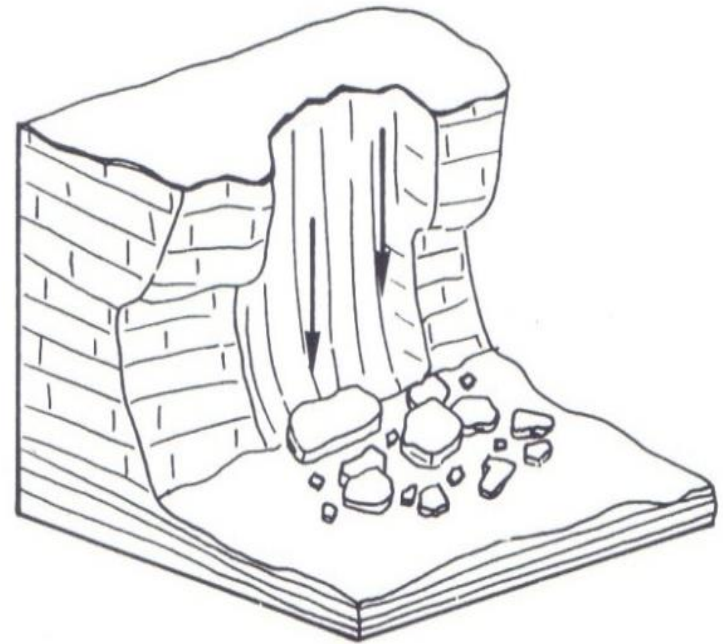
Type	Rock	Debris	Soil
Fall	rockfall	debris fall	soil fall
Topple	rock topple	debris topple	soil topple
Slide (rotational)	single (slump) multiple successive	single multiple successive	single multiple successive
Slide (translational) Non-rotational	block slide	block slide	slab slide
Planar	rockslide	debris slide	mudslide
Lateral spreading	rock spreading	debris spread	soil (debris) spreading
Flow	rock flow (Sackung)	debris flow	soil flow
Complex (with run-out or change of behaviour downslope, note that nearly all forms develop complex behaviour)	e.g. rock avalanche	e.g. flow slide	e.g. slump- earthflow

Note: A *compound* landslide is one that consists of more than one type, e.g. a rotational–translational slide. This should be distinguished from a complex slide where one form of failure develops into a second form of movement, i.e. a change of behaviour downslope by the same material.

□ Classificazione usata da [EPOCH \(1993\)](#)

□ Rispetto la precedente utilizza il termine «soil»

- ❑ I crolli sono la tipologia di frana spesso più diffusa in ambito montano. Ad esempio in Trentino Alto Adige rappresentano il 40% delle frane
- ❑ La caduta massi (crolli) è una problematica particolare che viene studiata quando il singolo masso percorre distanze notevoli lungo un pendio e comporta un fattore di rischio sia all'uomo che alle sue opere
- ❑ Il rilevamento geo-meccanico viene applicato nelle zone di distacco ma indubbiamente la parte più importante è la determinazione dei percorsi di caduta, le energie rilasciate e le altezze



- ❑ Esempio schematico da [Panizza \(1992\)](#)

□ I crolli sono influenzati da

- Topografia: la caduta massi può avvenire quando i versanti presentano inclinazioni superiori ai 37 gradi. Superfici irregolari e balze aumentano l'imprevedibilità delle traiettorie
 - Condizioni dell'ammasso roccioso: spaziatura e quindi forma e dimensioni dei blocchi determinano i volumi di distacco
 - Spesso sono frane secondarie favorite dalla presenza di altre frane quali per esempio le espansioni laterali
 - Clima: piogge e crio-clastismo creano pressioni nelle *tension crack* sufficienti al distacco di materiale
 - Sismicità: accelerazioni orizzontali causano il distacco di volumi rocciosi, come per esempio accaduto in Friuli nel 1976
- Dal punto di vista geomorfologico, si parla di area sorgente (*Source area*) e area di transito (*Transit area*)

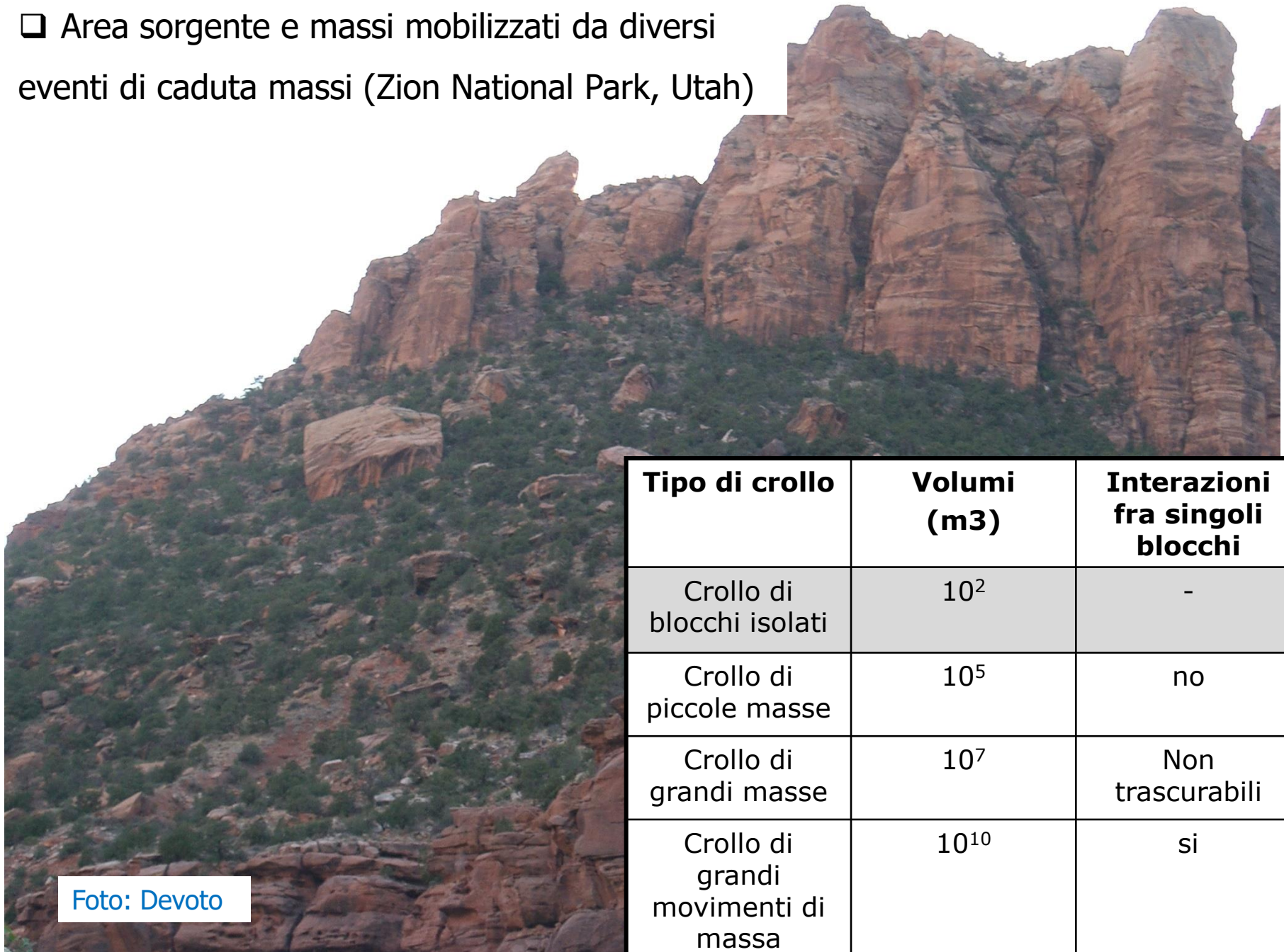
❑ I crolli hanno la peculiarità di:

- Essere ampiamente diffuse
- Distacco di una massa variabile da una parete
- Velocità elevate
- Altezza, forma, materiali e acclività del versante influenzano molto la propagazione

❑ I crolli si possono classificare

Tipo di crollo	Volumi (m3)	Interazioni fra singoli blocchi
Crollo di blocchi isolati	10^2	-
Crollo di piccole masse	10^5	no
Crollo di grandi masse	10^7	Non trascurabili
Crollo di grandi movimenti di massa	10^{10}	si

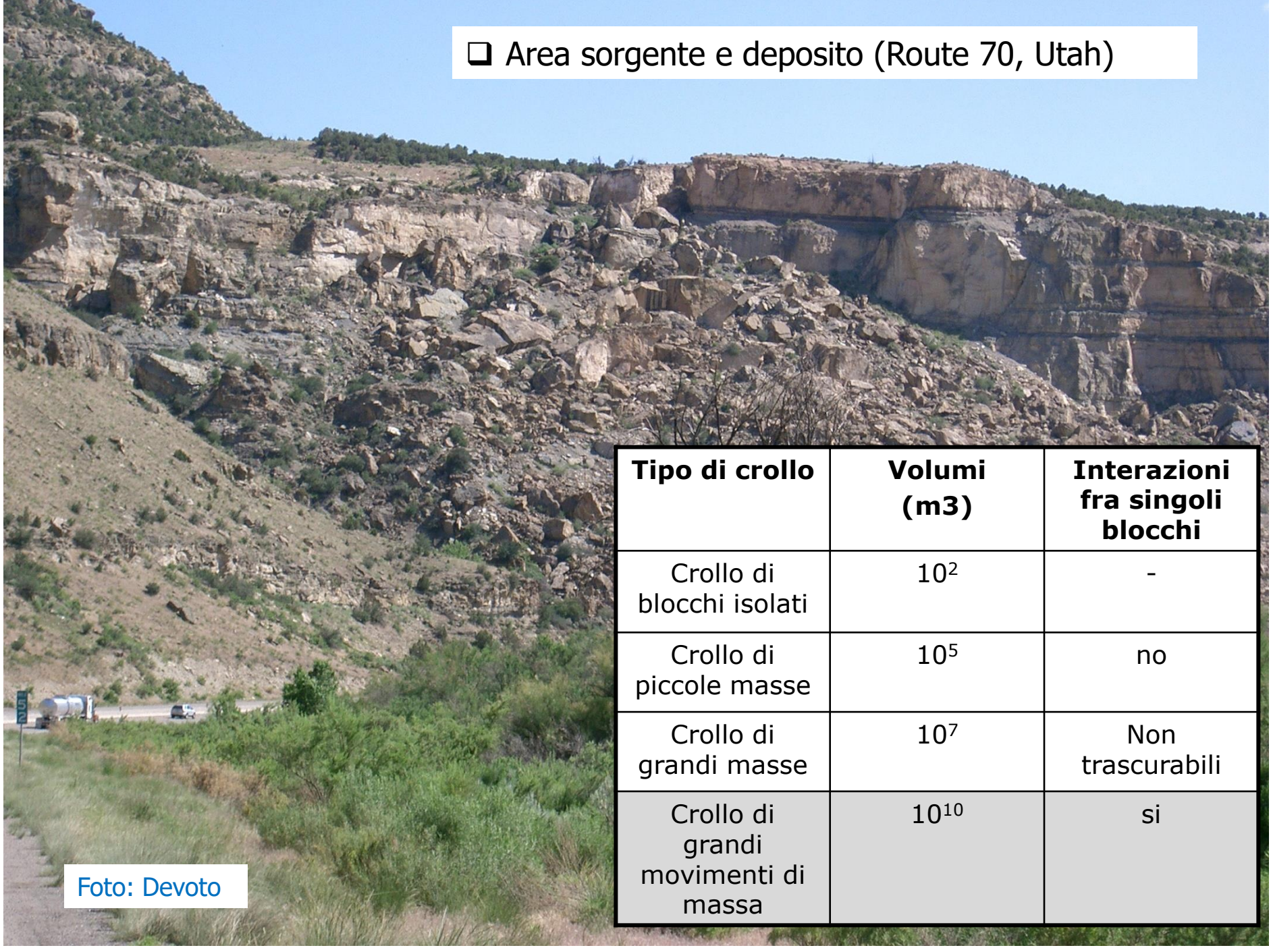
- Area sorgente e massi mobilizzati da diversi eventi di caduta massi (Zion National Park, Utah)



Tipo di crollo	Volumi (m3)	Interazioni fra singoli blocchi
Crollo di blocchi isolati	10^2	-
Crollo di piccole masse	10^5	no
Crollo di grandi masse	10^7	Non trascurabili
Crollo di grandi movimenti di massa	10^{10}	si

Foto: Devoto

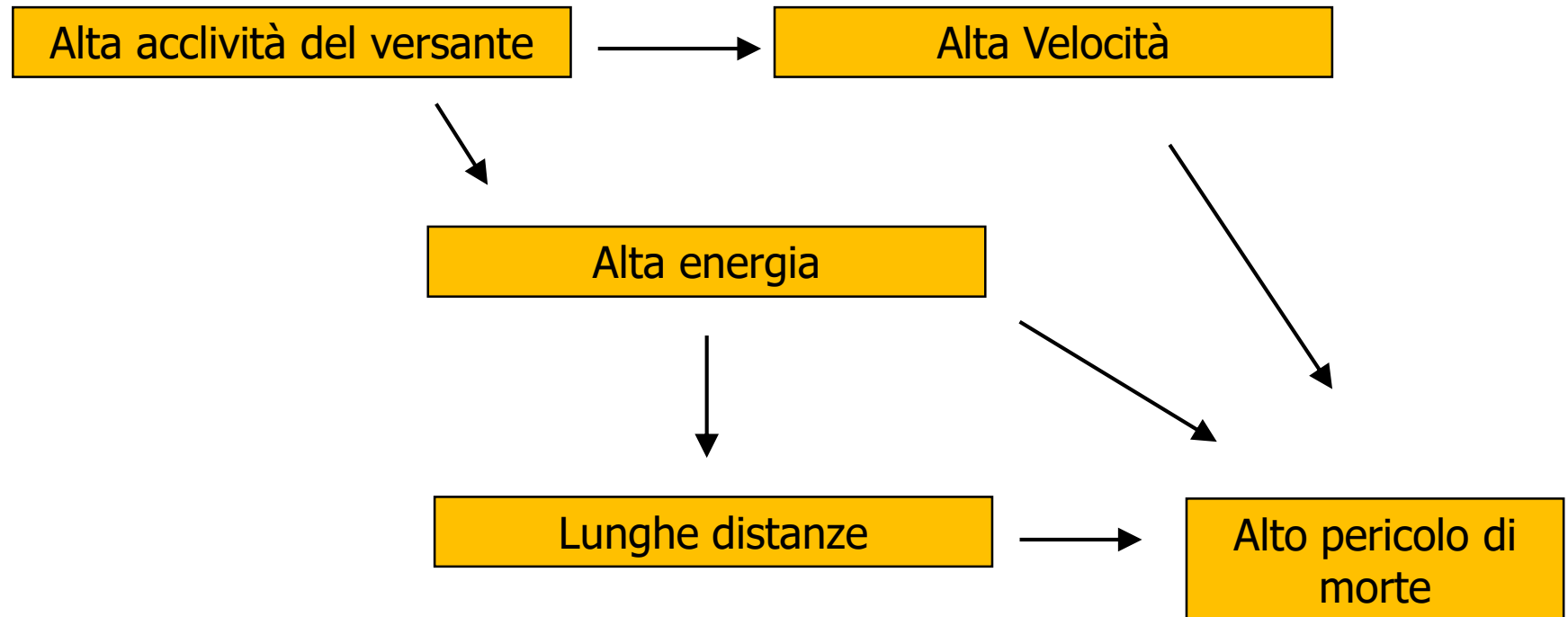
❑ Area sorgente e deposito (Route 70, Utah)



Tipo di crollo	Volumi (m3)	Interazioni fra singoli blocchi
Crollo di blocchi isolati	10^2	-
Crollo di piccole masse	10^5	no
Crollo di grandi masse	10^7	Non trascurabili
Crollo di grandi movimenti di massa	10^{10}	si

Foto: Devoto

PECULIARITA'



❑ Si va ad intervenire sulla previsione dei percorsi e sul run-out

4 stati del moto

CADUTA

Fall

RIMBALZO

Bounce

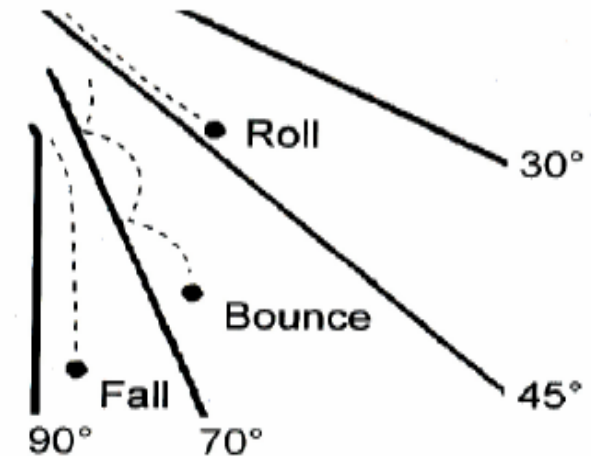
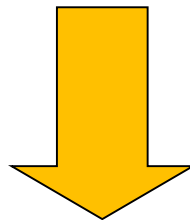
ROTOLOAMENTO

Roll

SCIVOLAMENTO

Slide

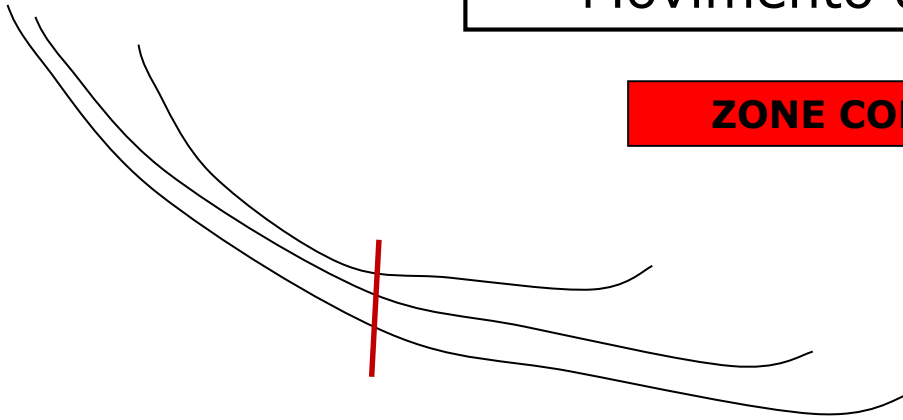
□ Tipo di movimento dipende dall'inclinazione media



□ Si deve produrre una carta dell'acclività che includa l'area sorgente, la zona di transito e la zona d'accumulo

Movimento del masso

ZONE CON PENDENZA 70° - 90°

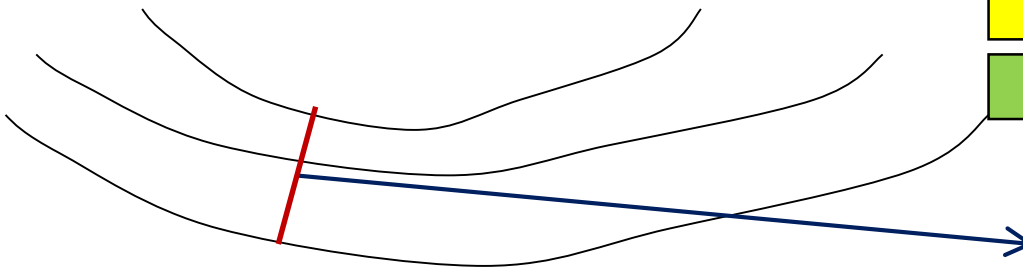


- La traiettoria di caduta non è funzione della morfologia del versante ma segue la legge di gravità

ZONE CON PENDENZA 45° - 70°

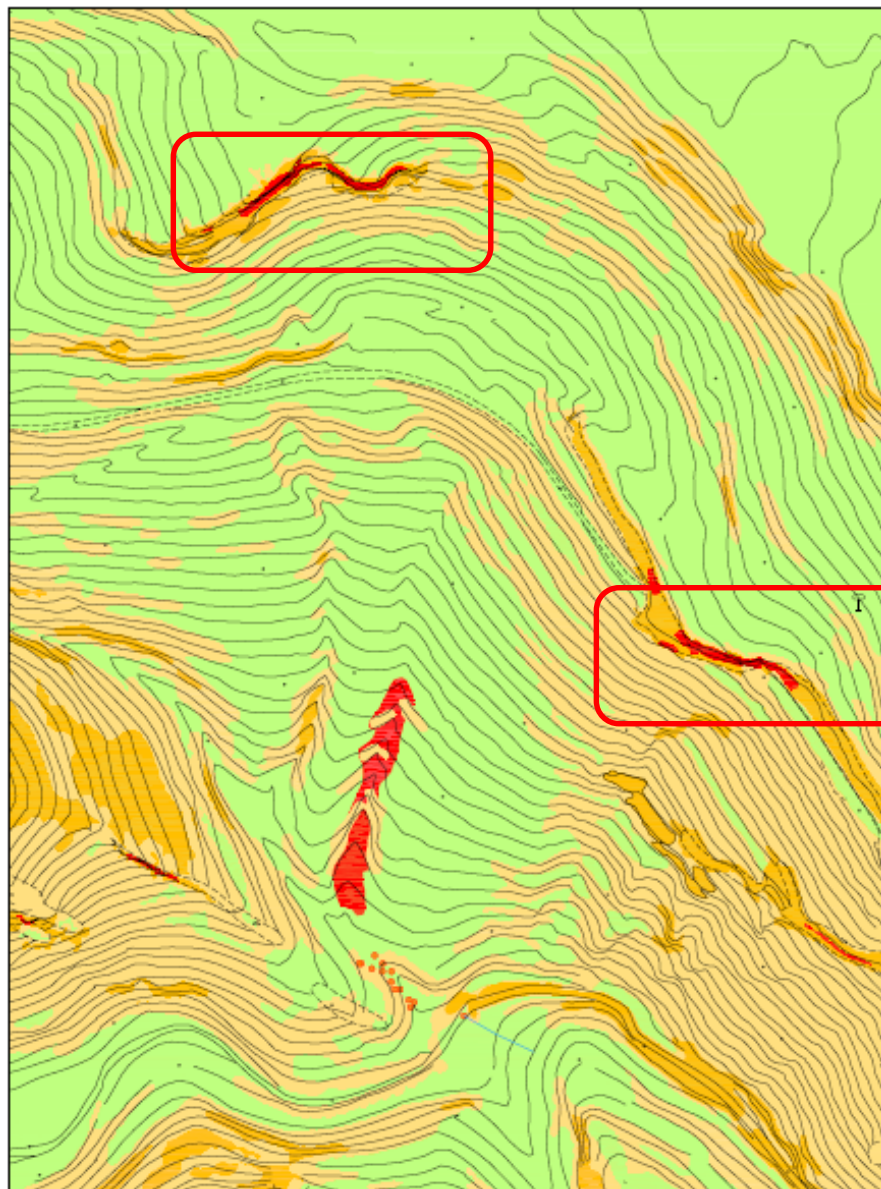
ZONE CON PENDENZA 30° - 45°

ZONE CON PENDENZA 0° - 30°

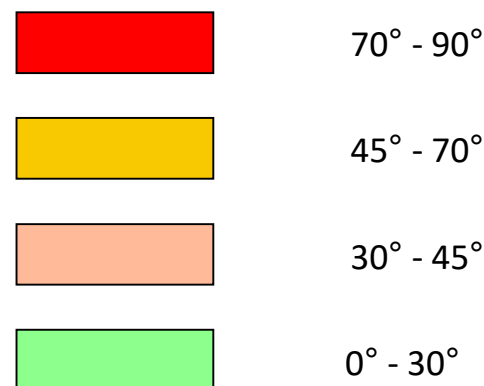


DURANTE IL MOVIMENTO IL MASSO **INTERAGISCE** CON IL VERSANTE SEGUENDO LA LEGGE DELLA MASSIMA PENDENZA

- Durante il movimento il masso interagisce con il versante seguendo la legge della massima pendenza



□ Carta dell'acclività prodotta per lo studio di una parete calcarea posta a nord della ferrovia



□ Aree sorgenti

Source: Tesi di laurea di Cassone (Val Rosandra)

- ❑ I crolli di solito si studiano per area geomorfologica
 - Area sorgente
 - Area di transito
 - Area di accumulo

- ❑ L'area sorgente è la zona dove si staccano i blocchi e dove si eseguono i rilievi geo-meccanici e geomorfologici per la caratterizzazione delle possibili aree di distacco

- ❑ L'area di transito è una zona di solito a minore inclinazione rispetto all'area sorgente e si caratterizza per il passaggio dei blocchi più che per l'arresto. Qui si concentra buona parte dell'attenzione del geomorfologo nei sopralluoghi

- ❑ L'area di arresto è la zona dove si fermano la maggior parte dei blocchi e corrisponde al massimo avanzamento dei blocchi



- ❑ Caratterizzazione dell'**area sorgente** tramite l'analisi dei possibili blocchi instabili presenti nell'area di Crep Savath. La caratterizzazione geomorfologica produce di solito un inventario dei blocchi e una prima definizione dei volumi instabili

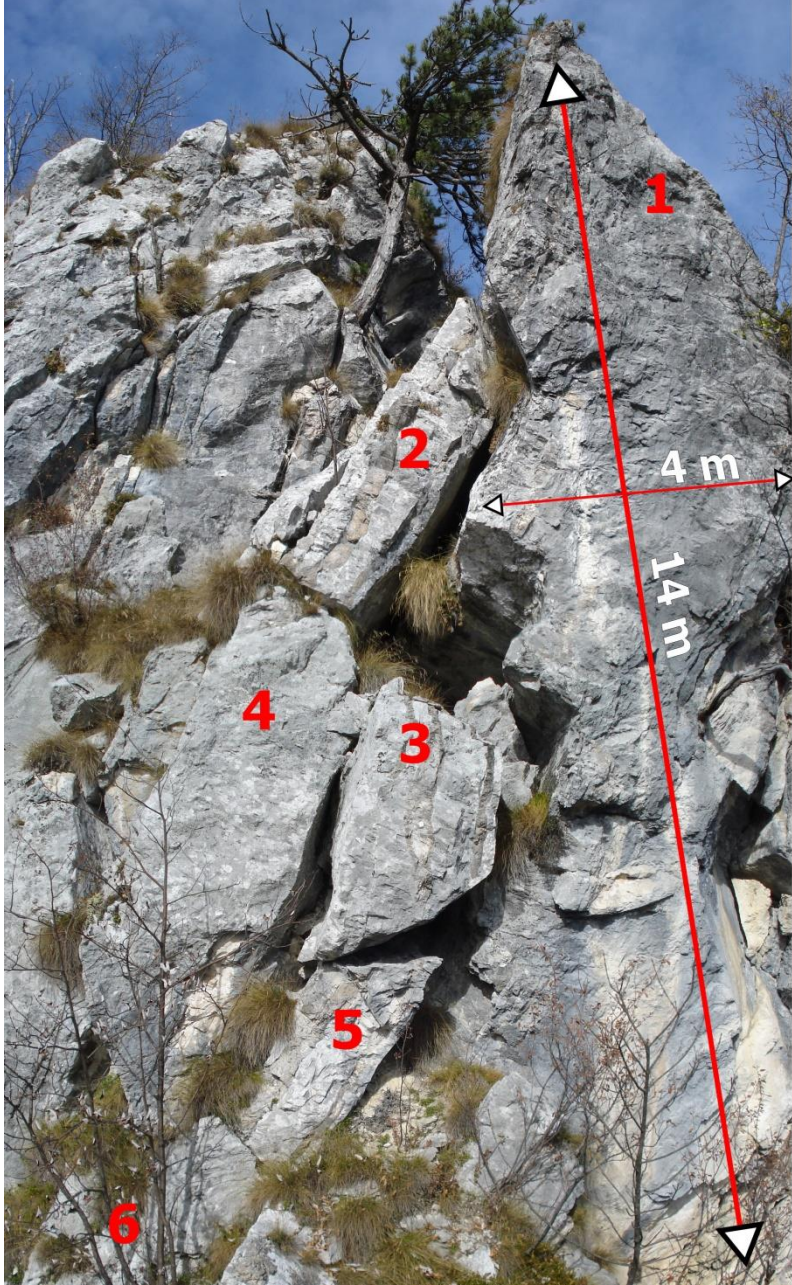
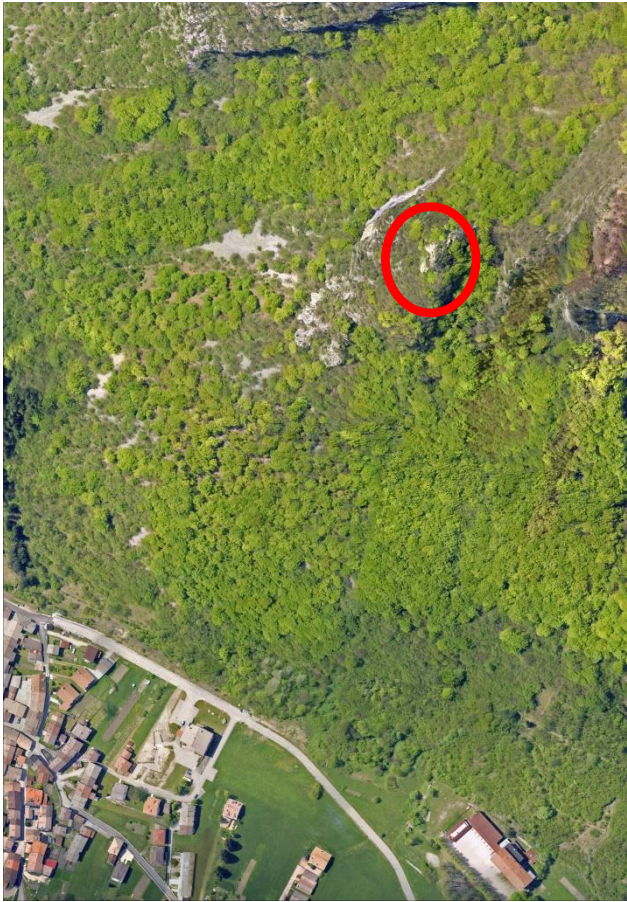


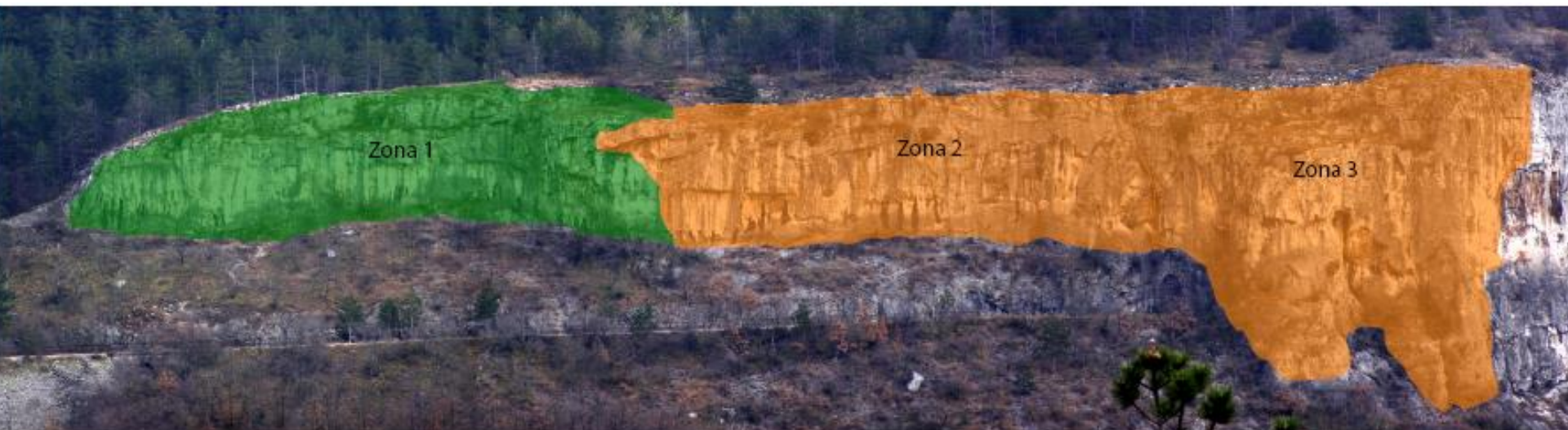
Foto: Devoto S



Quota Masso 1 (m.s.l.)	996
Volume Masso 1 (m3)	336
Quota prime case	651
Dislivello (m.)	345
Pendenza media (%)	76

❑ Caratterizzazione dell'area sorgente

- Caratterizzazione dell'**area sorgente** tramite l'analisi geo-meccanica. Harp e Jipson nel 2002 hanno correlato suscettibilità al distacco e punteggio Q, come mostrato nella figura relativa ad una parete calcarea ubicata nel settore settentrionale della Val Rosandra, in provincia di Trieste



ZONA 2 e 3
ZONA 1

Q
0,001 ÷ 0,1
0,1 ÷ 1,0
1,0 ÷ 10,0
10,0 ÷ 100,0

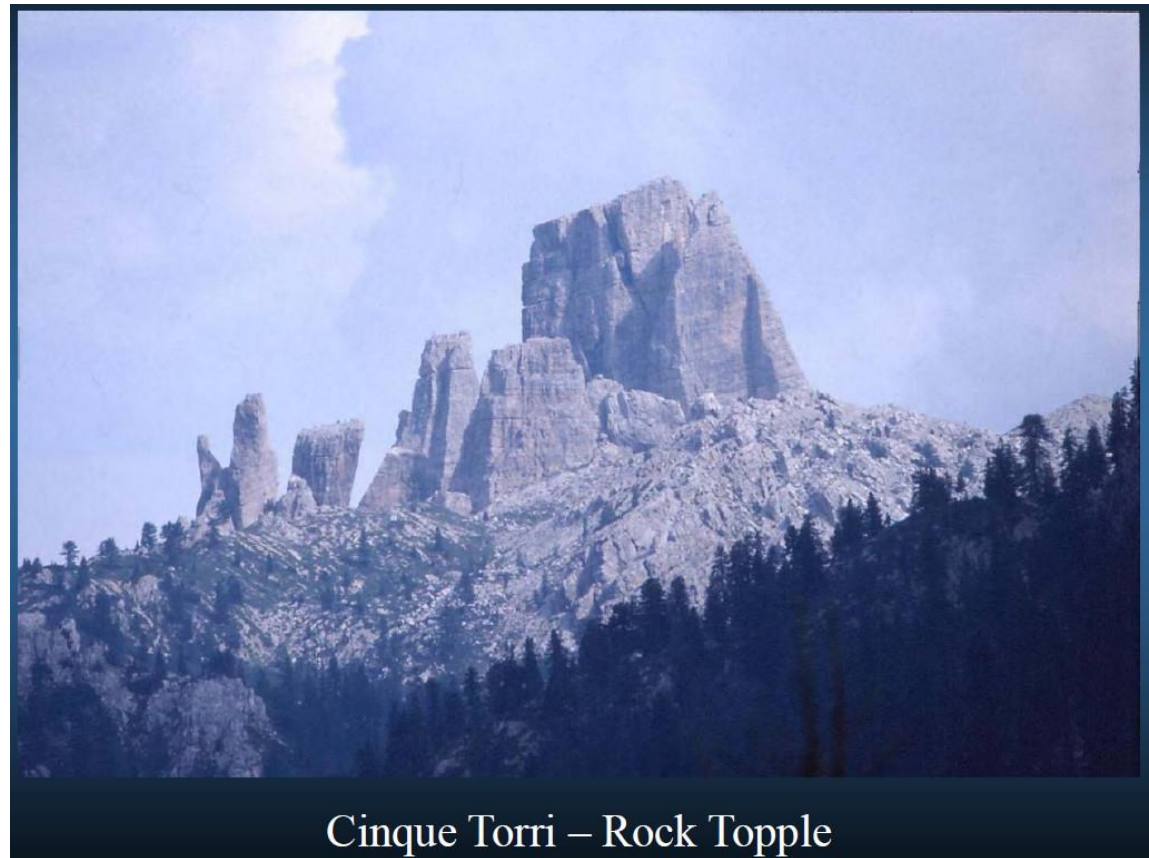
DESCRIPTIVE RANKING (Harp e Jipson, 2002)
Very high rock fall susceptibility
High rock fall susceptibility
Moderate rock fall susceptibility
Low rock fall susceptibility

Elaborazione:
Devoto S

❑ Ribaltamenti

- ❑ I ribaltamenti ed i scivolamenti traslazionali avvengono per *weathering*, *squeezing-out* o deformazione plastica del materiale sottostante
- ❑ Dipende dal rapporto spessore-altezza del blocco
- ❑ Non ci sono in pratica serie lunghe di monitoraggio
- ❑ *Slope height è key factor*

Foto: Panizza



- ❑ Monti della Meta (Parco Nazionale dell'Abruzzo); in attesa del ribaltamento



Foto: Lanziello

❑ Diagnostica di un ribaltamento

TABLE 3.1 Diagnostic features of topples

Potential	Relict
1. A free face, steep slope or cliff. 2. A sufficient unloading potential. 3. Sufficient height (weight) relative to the width of base to provide disturbing force. 4. Sufficient rock strength to allow a column to stand. Usually hard or coherent rock layer overlying a weaker stratum but may be a uniform material, e.g. loess. 5. Strong vertical joint development which divides face into columnar units. 6. Strong jointing or unloading tension cracks parallel to face. 7. Critical dip in basal materials.	1. Cliff top may be marked by residual, unemployed tension cracks, partially detached columns, and other decompression features. The depth of affected ground can be measured by seismic velocities. 2. Rock face will show open vertical cracks. Cracks may have chaotic infill from overlying material. 3. Base of cliff shows disturbed strata or bulging material. 4. Where a column has fallen the weathering detail on the face may be less well developed. Very fresh scars will be smooth. 5. Debris will be very chaotic. Huge boulders or partially broken columns will be scattered across the lower slopes. 6. The texture will be coarse with open work and extensive voids.

LANDSLIDE RECOGNITION
Identification, Movement and Causes

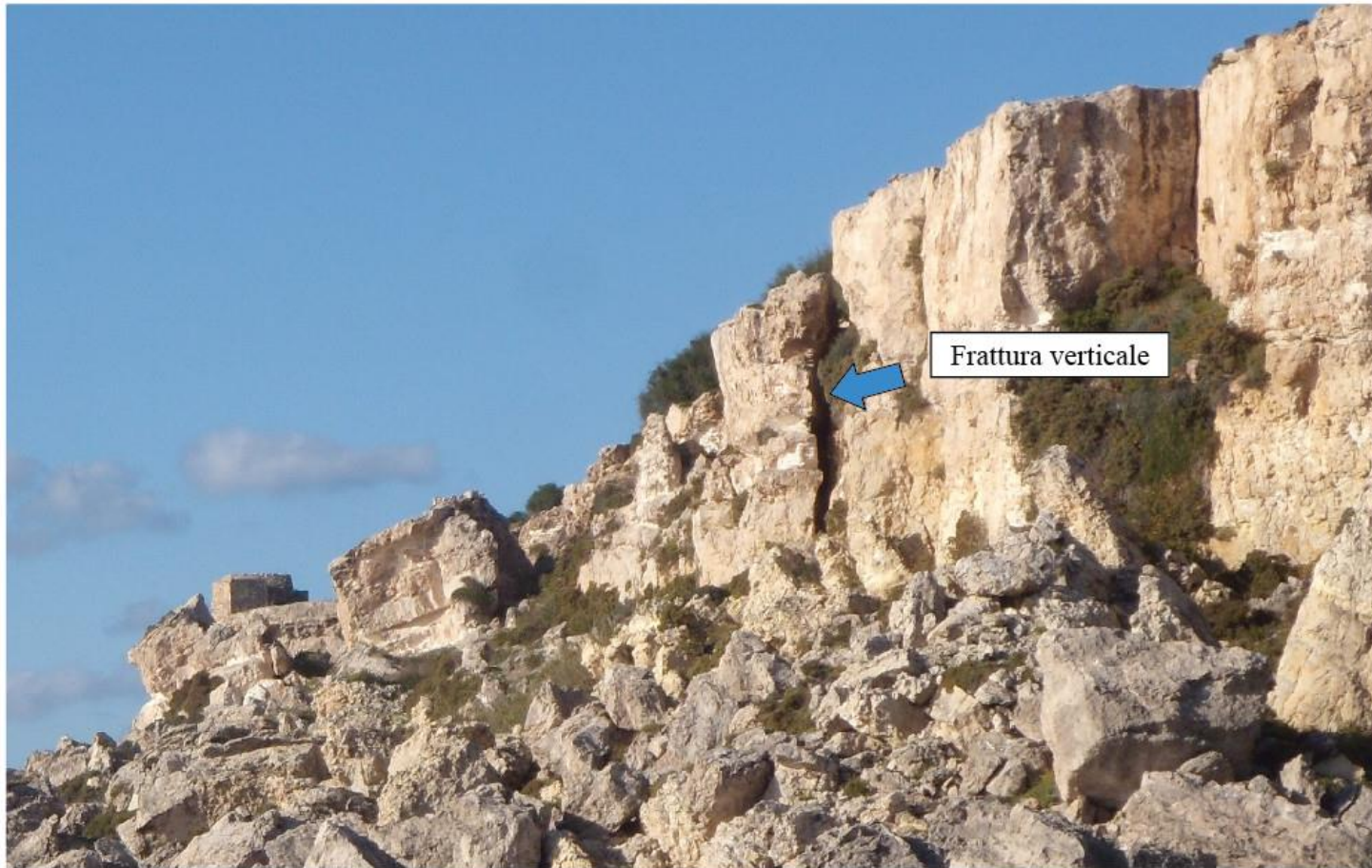


Edited by
Richard Dikau, Denys Brunsden,
Lothar Schrott and Maia-Laura Ibsen

WILEY

❑ Ribaltamento

Foto: Devoto S



divides face into columnar units.
6. Strong jointing or unloading tension

4. Sufficient rock strength to allow a column to stand. Usually hard or coherent rock layer overlying a weaker stratum but may be a uniform material, e.g. loess.

4

Slide (rotational)

J. BUMA AND T. VAN ASCH

Department of Physical Geography, Universiteit Utrecht

4.1 INTRODUCTION

The term 'slide' is used for a movement of material along a recognisable shear surface. The shear surface type and the number of shear surfaces are used to divide the slide group. This chapter describes those slides that occur as a rotational movement on a circular or spoon-shaped shear surface. A subdivision between single, multiple and successive rotational slides is commonly made. These three types have many similar features, therefore, in the descriptions of multiple and successive modes of failure only the features differing from those of single slides will be mentioned. Rotational slides may also be separated into rock, debris and soil. These types differ in the degree of disintegration in the slide masses and the depositional features in the foot and toe areas. Where appropriate, these differences will be mentioned throughout the chapter. The reference list for each subchapter has been consolidated at the end of the chapter.

4.2 SINGLE SLIDE

4.2.1 Alternative terms and translations

- slump (popular), rotational slip, rotational slide (*English*)
- chute (de bloc, glissement simple (rotationnel) (*French*)
- scivolamento (scorrimento) rotazionale (*Italian*)
- deslizamiento rotacional simple (*Spanish*)
- deslizamento simple (rotacional) (*Portuguese*)
- enkelvoudige afglijding (roterend) (*Dutch*)
- einfache Rotationsrutschung (*German*)

LANDSLIDE RECOGNITION

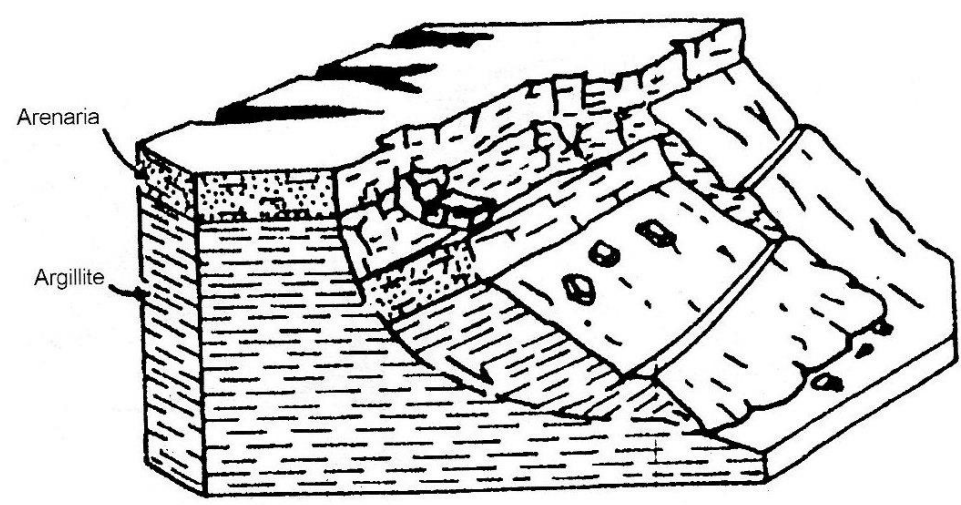
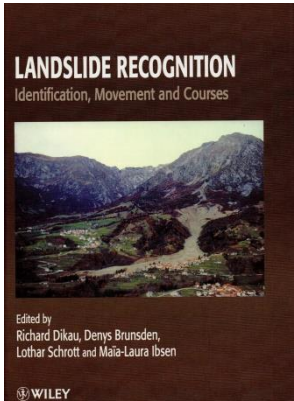
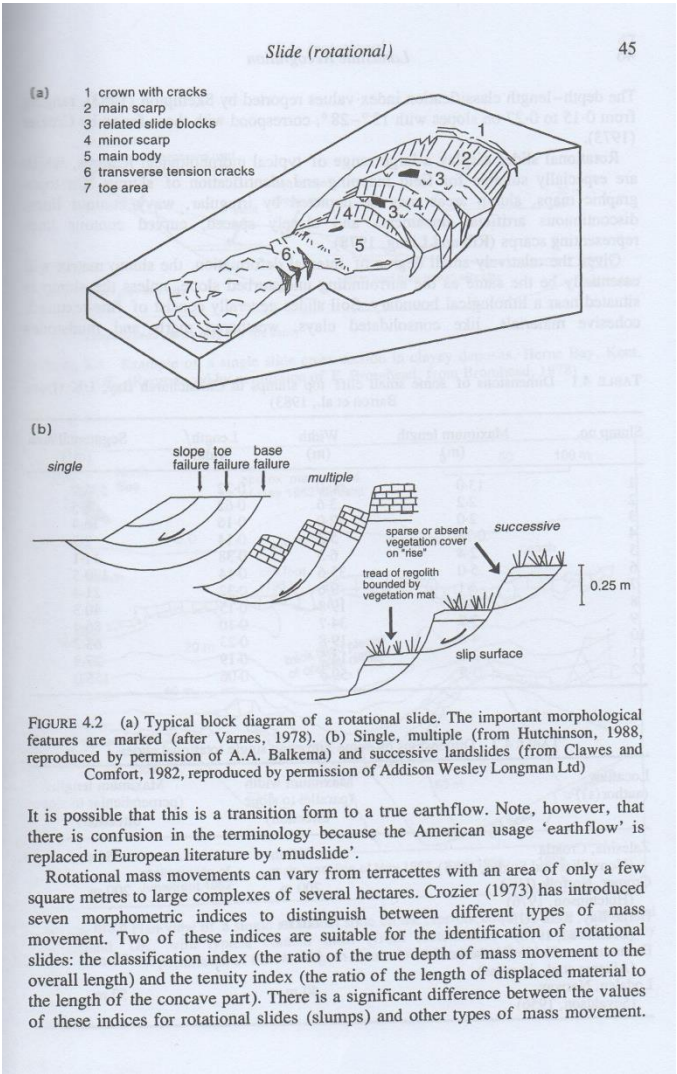
Identification, Movement and Courses



Edited by
Richard Dikau, Denys Brunsden,
Lothar Schrott and Maia-Laura Ibsen

WILEY

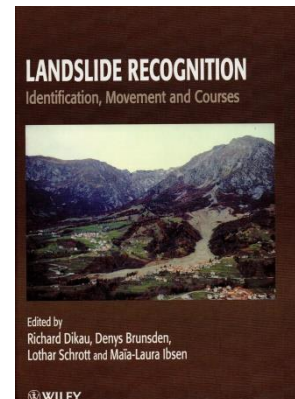
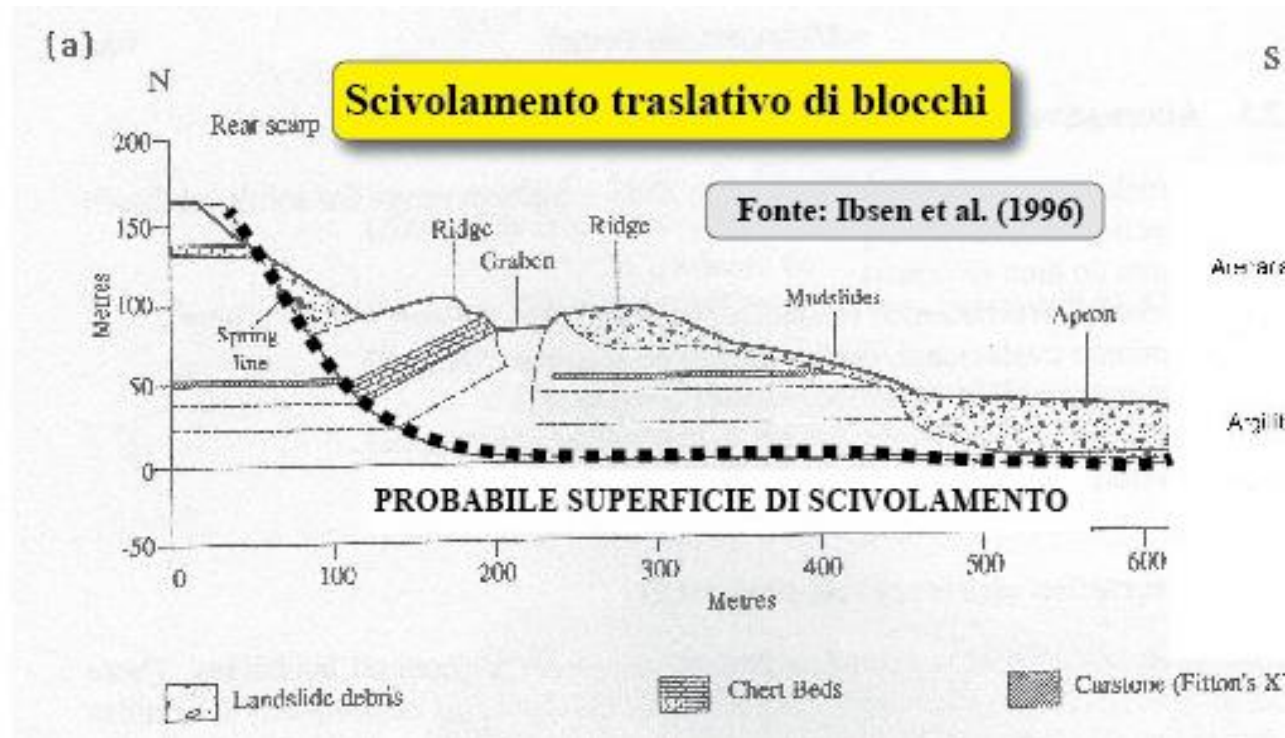
- Il termine scivolamento indica un movimento di materiale lungo una superficie di taglio
- Si parla di superfici rotazionali con concavità verso l'alto



Possibile presenza di *multiple slip surface*



❑ Probabile scivolamento rotazionale



- ❑ Scivolamenti traslativi si verificano in prevalenza lungo superfici piane o leggermente ondulate. I più famosi sono i *block slide*

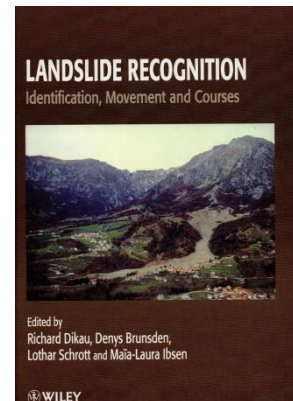
5.2.1 Alternative terms and translations

- planar rock slide (rock block slide), slab slide (common usage for soil/earth block slide (section 5.3) (*English*)
- glissement de bloc (*French*)
- scivolamento (scorrimento) in blocco (*Italian*)
- deslizamiento traslacional, deslizamiento de bloques (*Spanish*)
- deslizamento en bloco (translacional) (*Portuguese*)
- blokafglijding (*Dutch*)
- Blockgleitung (translationsförmig) (*German*)

5.2.2 Description and morphological detail

Large block slide failures are often part of extensive compound landslides. These also involve rotational slides either at the toe or the head and occasionally mudslides at the edges of the landslide. Compound block slides 'are characterised by markedly non-circular slip surfaces forming a combination of a steep, curved or planar rearward part and a flatter sole' (Hutchinson, 1988). The location of the sole is often controlled by bedding. Due to the geometry of this slip surface the mass may only move through the development of internal shears and displacements.

Compound slides are repeatedly found in stiff, fissured or overconsolidated clays with varying material properties. For example, the Miramar landslide, near Herne Bay in Kent, occurs in the London Clay with an average shear stress of 60 kN/m^2 (Hutchinson, 1973, Bromhead, 1978). Other block slides may involve stronger rock formations in conjunction with clay. On the Bulgarian coast 30–40 m of Miocene limestone overlies 100 m of Oligocene clays, resulting in subsidence and fracturing



- ❑ I *block slide* sono caratterizzati da *non-circular slip surface*
- ❑ La superficie di scivolamento è verticale vicino alla corona per poi essere molto piana nella parte a valle

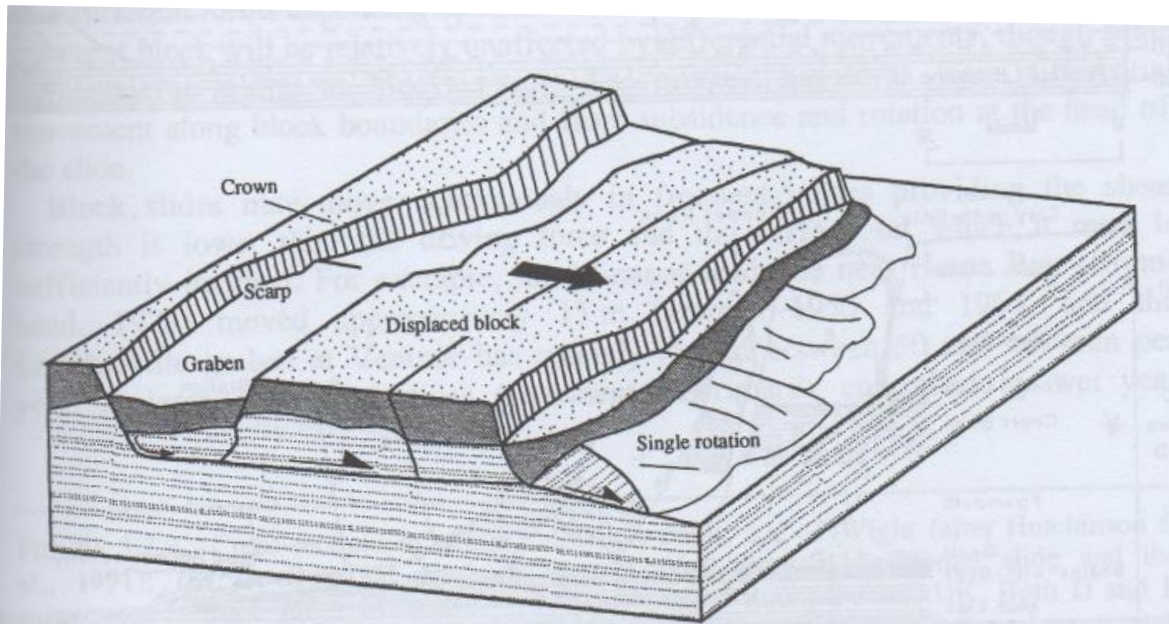
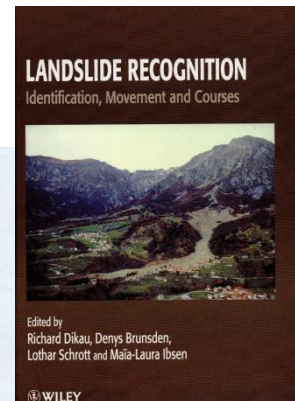


FIGURE 5.2.1 Schematic block diagram of a typical block slide, a failure on a near planar surface with little rotational movement (after GSL, 1987)



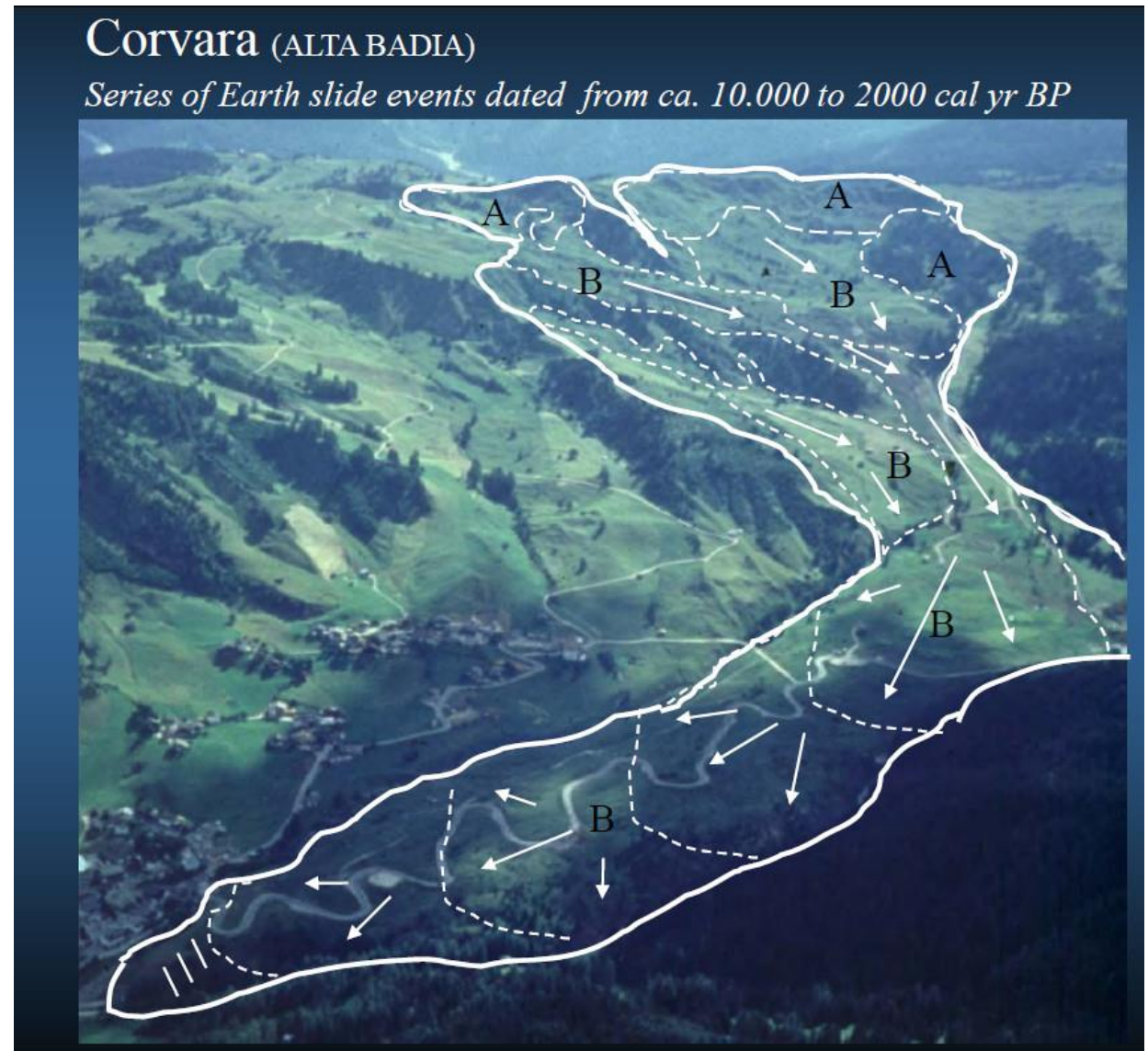
□ Dal punto di vista geomorfologico, i graben sono peculiari dei *block slide*

❑ Scivolamenti

❑ Earth Slide secondo [Varnes \(1978\)](#), Mud slide secondo [Epoch \(1993\)](#)

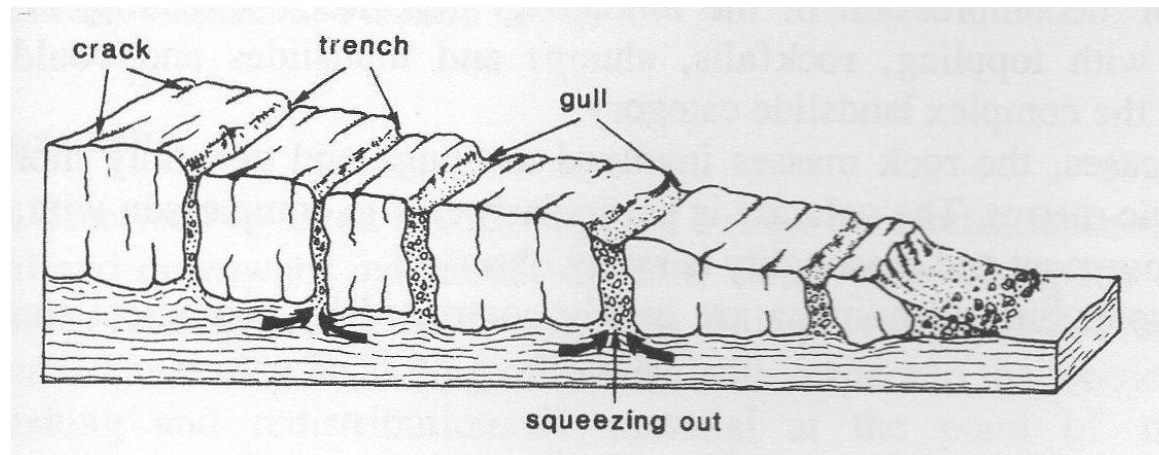
❑ Per la frana di
Corvara

[Corsini et al. \(2005\)](#)



□ Espansioni laterali

- Si formano per la presenza di due materiali rocciosi a comportamento meccanico opposto
- Il materiale fragile (calcare) sovrasta il materiale plastico
- Eventi collaterali quali crolli, *earth slide*, ribaltamenti
- Vedremo ampiamente i fenomeni franosi che affliggono le coste di Maiorca e Malta



□ Modello

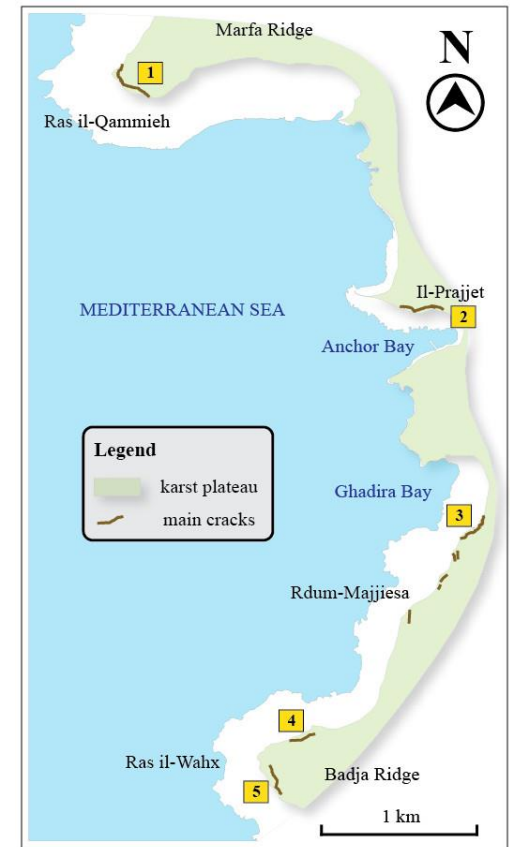


□ Espansione laterale a Cortina D'Ampezzo

Foto: Devoto S



- Le espansioni laterali hanno come caratteristica peculiare: la formazione e l'allargamento laterale di fratture persistenti ed aperte
- La lunghezza di tali fratture può raggiungere il centinaio di metri



- Per la descrizione geomorfologica

Devoto et al. (2012, 2013)

❑ Devoto et al. (2020) hanno individuato e categorizzato decine di fratture grazie all'utilizzo di un piccolo drone (small UAV) nel settore NW di Malta

Table 1. Main characteristics of the DJI Mavic™.

Weight [kg]	Size [mm]	Max Speed [km/h]	Flight Time [min]	Ground Resolution (100 m–48 mm)	Max Mapped Surface (1.9 m/pix–80% Overlap)
0.905	322 × 242 × 84	72	~30	0.019 m/pix	0.1 km ²

UAVs are components of an uncrewed aircraft system (UAS), which also includes a remote controller, a tablet for uploading flight plans, and a cable to connect them. This drone is categorized as a very light multicopter (VL/MC) or a micro drone, according to the weight classification proposed by Brooke-Holland [68]. Table 2 lists the drone types of the abovementioned classification.

Table 2. Classification of UAVs following the weight methodology of Brooke-Holland [68].

Type	Weight Range [kg]
Nano drones	0–0.2
Micro drones	0.2–2
Mini drones	2–20
Small drones	20–150
Tactical drones	150–1500
MALE, HALE, strike drones	>1500

The DJI Mavic™ is a vertical takeoff and landing (VTOL) quadricopter [69] and can fly for up to 30 min in idyllic weather conditions. This drone can fly in every direction—vertically or horizontally—and can maintain a fixed position. Furthermore, it supports flight plans computed by

- ❑ Il drone permette la mappatura e la caratterizzazione di alcune proprietà delle fratture in maniera sicura per l'operatore
- ❑ Accelerazione dei rilievi sul campo tramite la tecnica della fotogrammetria digitale



Figure 4. Views of the study sites: (A) Marfa Ridge; (B) Anchor Bay; (C) Ras Il-Wahx headland; and (D) Il-Qarraba peninsula.

- Nella figura in alto i quattro siti di studio per le ricerche delle gravity-induced discontinuity ([Devoto et al, 2020](#))

□ I risultati della tecnica UAV-DP permettono la creazione di «Joint Map»

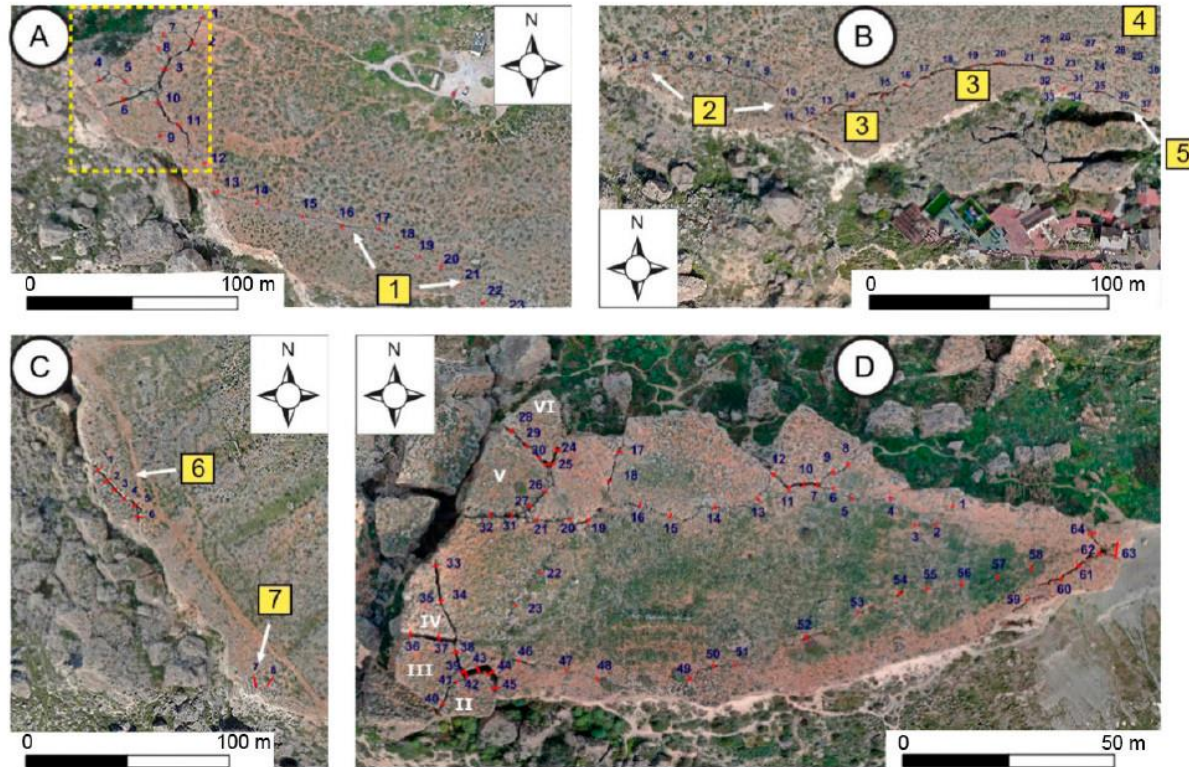


Figure 9. Joint maps obtained by 3D-model analyses of: (A) Marfa Ridge; (B) Anchor Bay; (C) Ras Il-Wahx; and (D) Il-Qarraba. Numbers inside yellow squares indicate single points. The purple numbers located along the joints approximately indicate the locations where aperture observations were performed using 3D models.

Source: Devoto et al. (2020)

- I risultati della tecnica UAV-DP hanno permesso di classificare le fratture di tensione dal punto di vista geomorfologico come:
 - «Single Joint»
 - «Complex network of discontinuity»

We identified seven main single persistent discontinuities. Except for Joint #7, they are all characterized by 'very high persistence' (>20 m). Table 7 lists their persistence values and maximum apertures.

Table 7. Main joints recognized by 3D models analysis.

Joint [#]	Location	Orientation	Persistence [m]	Max Aperture [m]
1	Marfa Ridge	NW-SE	158	0.75
2	Anchor Bay	NW-SE	86	1.14
3	Anchor Bay	W-E	109	3.25
4	Anchor Bay	W-E	53	0.49
5	Anchor Bay	W-E	34	0.98
6	Ras Il-Wahx	NW-SE	57	2.03
7	Ras Il-Wahx	NW-SE	16	0.64

The inner sector of Anchor Bay is the area most populated by single discontinuities (Figure 9B). Their occurrence proves an intermediate stage of lateral spreading confirmed by active deformations recorded by GNSS monitoring [59,60]. We used 3D models to determine variations in aperture along the length of joints every 5–10 m. Figure 10 lists the aperture values of seven joints associated with the purple points listed in Figure 9.

Source: Devoto et al. (2020)

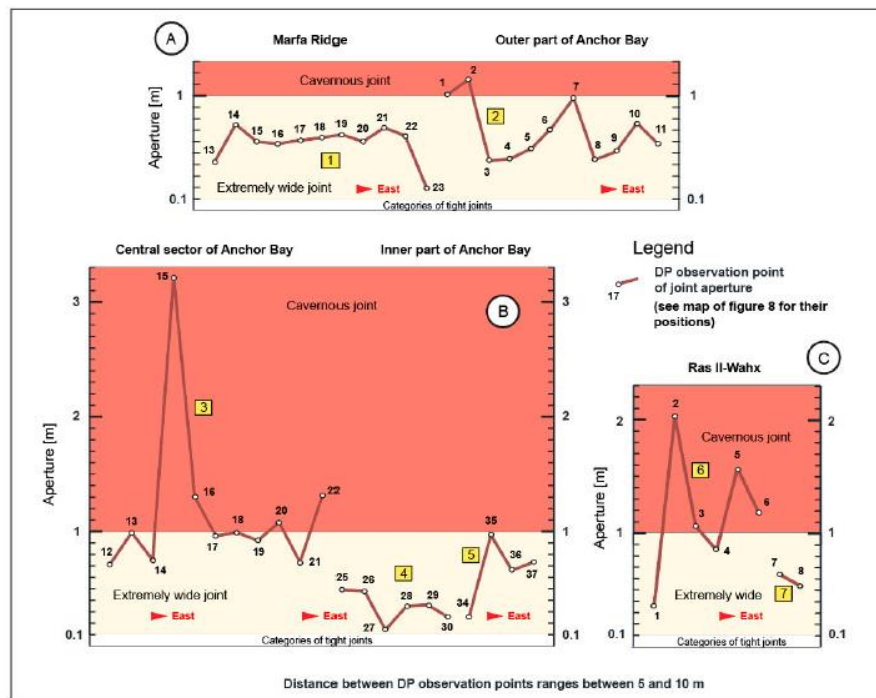


Figure 10. DP analysis of aperture variations of: (A) Joint#1 and Joint#2; (B) Joints located in the central and inner part of Anchor Bay; and (C) Joints located along the edge of Ras Il-Wahx plateau.

□ I risultati della tecnica UAV-DP hanno inoltre permesso di definire, secondo le classi ISRM, due proprietà delle fratture quali:

- La persistenza
- L'apertura

□ Tali informazioni sono particolarmente importanti per definire un rischio di possibili «*Catastrophic failure*» delle masse rocciose verso il basso

□ A sinistra le variazioni di apertura lungo l'estensione delle sette fratture

- Il movimento si può sviluppare, secondo [Panizza](#)
 - IN AMMASSI ROCCIOSI: Il fenomeno comprende deformazioni spazialmente continue, sia superficiali che profonde. Esso comprende movimenti differenziali, che sono estremamente lenti e generalmente non accelerati, fra unità che rimangono relativamente intatte
 - IN TERRENI INCOERENTI: Molto comuni nelle Dolomiti, il fenomeno si esplica con movimenti entro la massa spostata, tale per cui la forma assunta dal materiale in movimento o la distribuzione apparente della velocità e degli spostamenti sono simili a quelli dei fluidi viscosi

Archivio CNR Irpi
Padova



- Deposito di debris flow a Cancia (BL)

ROCK FLOW

- ❑ Le colate quando coinvolgono gli ammassi rocciosi prendono il nome *di rock flow*
- ❑ Prendono anche il nome di *deep seated gravitational creep* o *sagging*
- ❑ [Dramis e Sorriso-Valvo \(1994\)](#) affermano che i *rock flow* sono caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:
 - Il volume coinvolto è di migliaia di metri cubi
 - Spessori di molte decine di metri
 - Spostamenti minimi
 - Non hanno superfici di scivolamento ben definite o assenti ([Panizza, 1992](#))
- ❑ Gli elementi strutturali e le forme associate con i *rock flow* sono piani estensionali di taglio ad alto angolo nella parte superiore, che creano *graben*
- ❑ Al contrario la parte basale ha *feature* compressive come *bulge*, o piani di taglio orizzontali

CAUSE

- ❑ I rock flow sono presenti dove i versanti sono molto elevati da indurre forti stress nel bedrock, ma il bedrock è molto resistente da non essere compromessa la stabilità generale

IL TERMINE DGPV

- In italiano i rock flow ricadono nelle DGPV
- Le DGPV sono quindi grandi frane in roccia, caratterizzate da deformazione lenta e a lungo termine del versante che causa un notevole peggioramento delle proprietà geomeccaniche dell'ammasso roccioso
- Un aspetto fondamentale che determina la pericolosità delle DGPV è che sotto determinate condizioni, i lenti movimenti tipici di questi movimenti possono dare luogo a collassi catastrofici
- I DGPV sono una via di mezzo tra i comuni fenomeni franoso e i fenomeni di tettonica gravitativa profonda
- Dei DGPV, ricapitolando:
 - I *rock flow* sono tipici di micasciti e filladi, non hanno una slip surface
 - I *block slide* hanno superfici di scivolamento ben definite ([Cruden e Varnes, 1996](#))
 - Lateral spread si verificano quando blocchi rigidi ricoprono sequenze plastiche

DEBRIS FLOW

- ❑ Nell'ambiente montano il reticolo idrografico secondario è costituito in gran parte da incisioni torrentizie ed elevata pendenza nelle quali, per effetto delle piogge intense (*triggering factor*), si possono generare improvvise pulsazioni di piena che generano i *debris flow*
- ❑ Talora si manifestano con estrema violenza, provocando radicali modificazioni degli alvei ed effetti gravissimi sui conoidi e allo sbocco delle vallate principali
- ❑ La pericolosità di questi movimenti di versante deriva alle ingenti quantità di materiale solido traslate in un brevissimo tempo (dai 10 minuti a poche ore)
- ❑ Dal punto di vista geomorfologico l'azione pulsatoria di rimozione, trascinamento e deposito dei materiali è riconoscibile dalla presenza di
 - Conoidi alluvionali cioè delle forme di accumulo alla base di piccoli bacini secondari
 - Presenza di canali di trasporto caratterizzati da profonde incisioni
 - Aree sorgente presenti in piccoli *catchment*

CANCIA: 1997



Archivio CNR Irpi
Padova

☐ Facilmente riconoscibili dalle foto aeree



Archivio CNR Irpi
Padova

□ Zona di transito di debris flow a Cancia (BL)



Archivio CNR Irpi
Padova

□ Zona di deposito di debris flow a Cancia (BL)

DESCRIZIONE DEL PROCESSO GEOMORFOLOGICO

- ❑ Quando la portata di un torrente, solitamente modesta, talora insignificante, subisce un incremento, nell'alveo si creano turbolenze che innescano i primi fenomeni di erosione alle sponde e di trasporto solido sul fondo
- ❑ I deflussi liquidi, resi molto torbidi per l'alto contenuto di materie in sospensione, coinvolgono progressivamente nel processo di trascinamento sempre maggiori quantità di depositi alluvionali e detritici
- ❑ In brevissimo tempo si genera una miscela solido-liquida di elevata densità e grande mobilità nella quale sono immersi, a varia altezza, ghiaia, massi di ogni dimensione a cui si associano sempre numerosi tronchi d'albero
- ❑ Nei punti dove particolari condizioni morfologiche e topografiche lo consentono (strette naturali) i materiali più grossolani vengono spesso abbandonati selettivamente ai lati, formando le caratteristiche cordonature
- ❑ Il processo di trasporto di massa si esaurisce sul settore di conoide dove la miscela solido-liquida, che può raggiungere decine di migliaia di m^3 si espande suddividendosi talora in più lobi



Archivio CNR Irpi
Padova

□ Zona di transito di debris flow

DEBRIS FLOW – MUDFLOW

- ❑ A seconda del materiale prevalente dei materiali trasportati, i fenomeni di trasporto in massa torrentizio vengono distinti in
 - COLATE DI DETRITO (*DEBRIS FLOW*) quando la massa risulta composta da più del 50% da materiale grossolano, cioè da ghiaie e blocchi che possono superare e raggiungere volumi di 40-50 metri cubi
 - COLATE DI FANGO (Mud flow) quando la massa risulta composta per più del 50% da sabbie, limi o argille, all'interno dei quali spesso sono inglobati blocchi trascinati di varia dimensione

Archivio CNR Irpi
Padova

- ❑ Deposito di *debris flow*



OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE DOPO L'EVENTO

- ❑ Le osservazioni da fare ad evento concluso sono finalizzate a raccogliere elementi di conoscenza circa le modalità con cui i fenomeni di trasporto in massa torrentizia sono avvenuti
- ❑ I sopralluoghi da farsi tempestivamente, quando le tracce lasciate dalla massa defluita sono ancora ben evidenti, saranno rivolti ad ottenere i seguenti dati:
 - Massima altezza raggiunta dalla massa fluida di detriti: le osservazioni saranno effettuate in prefissate sezioni d'alveo e, in corrispondenza delle tracce più alte lasciate dal fenomeno, saranno collocati segni stabili (targhette, picchetti o tacche di vernice indelebile) con indicazione della data

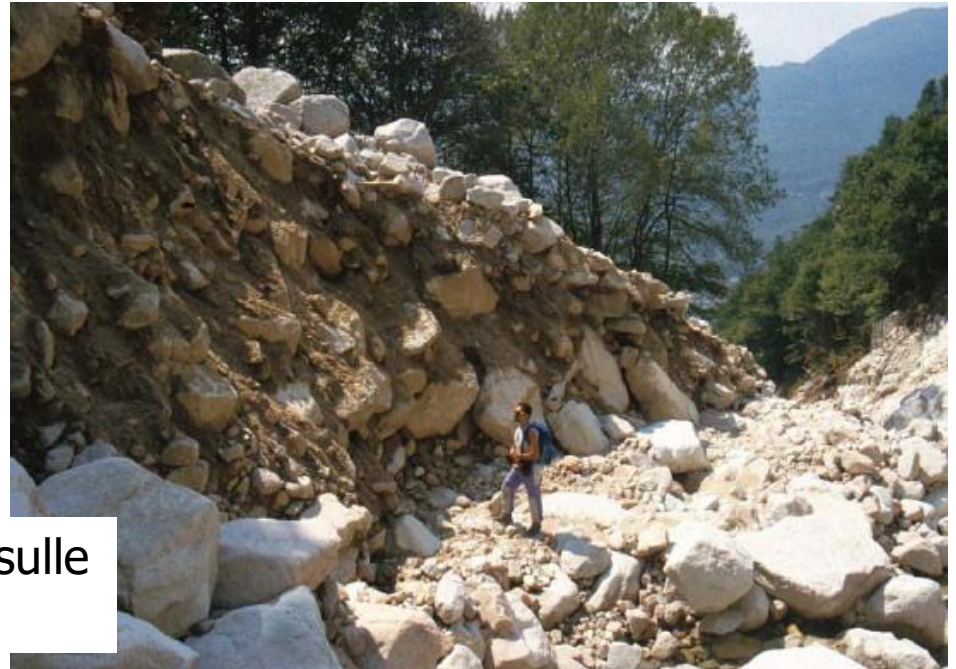


Archivio CNR Irpi
Padova

OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE DOPO L'EVENTO

- Tipologia dei materiali trasportati in massa e depositati interamente ed esternamente all'alveo: sarà utile anche solo una valutazione qualitativa sulle dimensioni prevalenti e sulla quantità delle fini
- Massima distanza percorsa da singoli massi di maggiori dimensioni dei quali era nota la posizione in alveo precedentemente all'evento (metodo della pittura)

Archivio CNR Irpi
Padova



- Osservazioni geomorfologiche sulle dimensioni dei blocchi

OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE DOPO L'EVENTO



Archivio CNR Irpi
Padova

□ Dimensioni del
canale di trasporto
influenzano il moto
di turbolenza

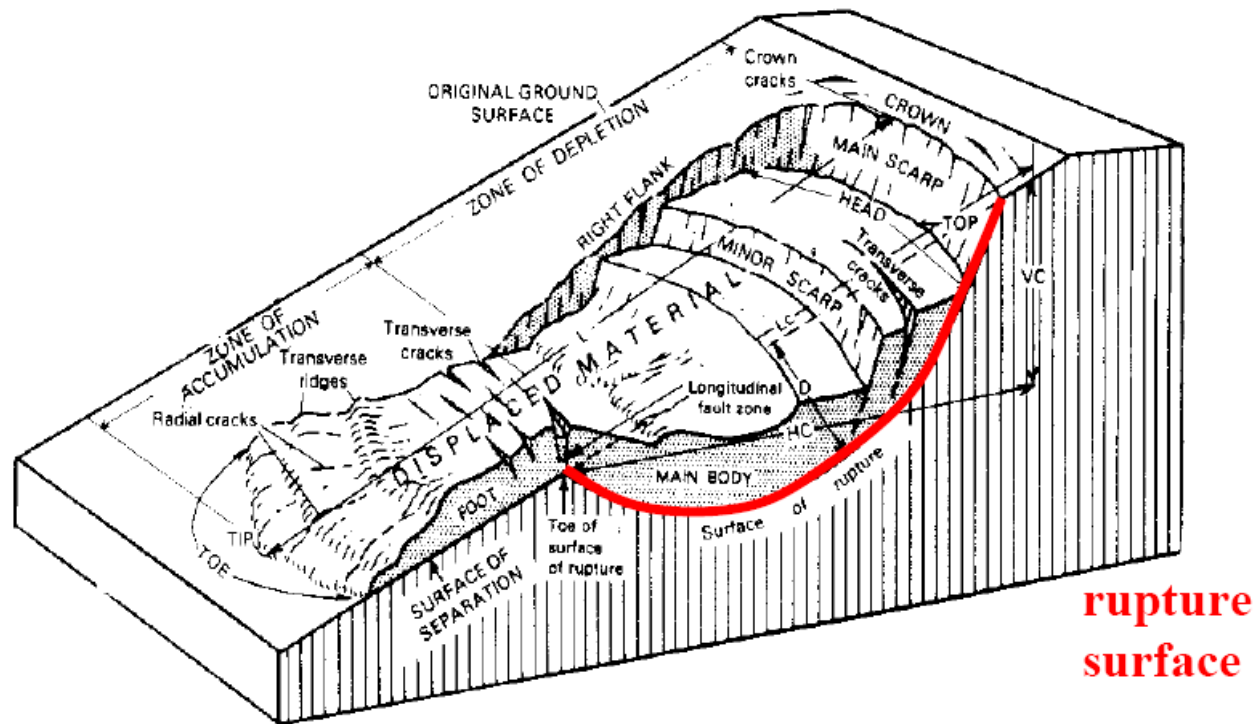
- Entità delle modificazioni prodotte nella geometria dell'alveo, con particolare riferimento alle variazioni di profondità e larghezza
- Indicazioni sul più probabile luogo di innesco del fenomeno di trasporto in massa e sulle cause concomitanti che lo hanno generato (cedimento di una o più briglie nel tratto montano, sbarramenti per frana, valanga o ponti distrutti, discariche in alveo)

❑ Landslide features

❑ La figura di sotto, tratta da [Varnes \(1992\)](#) illustra schematicamente

Landslide terminology

“Landslide” = any mass of earth material (soil or rock) displaced by gravity



- Per descrivere una frana e' necessario utilizzare termini precisi riferiti alle principali caratteristiche morfologiche
 - Scarpata principale (*Main Scarp*): superficie ripida che delimita la parte sommitale della frana. Da essa si e' staccato il materiale di frana.
 - Scarpata secondaria (*Minor Scarp*): ripida superficie che si forma all'interno del materiale mobilizzato per movimenti differenziali
 - Testata (*Head*): le parti piu' elevate del corpo di frana, lungo il limite fra il corpo di frana e la scarpata principale
 - Corona (*Crown*): il materiale rimasto in posto e quasi indisturbato
 - Unghia di frana: il margine del materiale spostato, situato alla maggior distanza dalla scarpata principale.

□ Stato d'attività

TABLE 1.4 Some features used for the recognition of landslides (after Crozier 1986; Brunsden, 1984)

DEPOSITS

1. Transverse ridges at the head. Longitudinal ridges in track. Concentric ridges at toe running transverse to morphology
2. Transverse and radial fractures at toe. Reidel shears at margins. Crevasse-style cracking over breaks of slope
3. Spreading at toe. Valleys partially or wholly blocked. Rivers diverted
4. Materials locally derived but displaced below outcrop. May include blocks of intact stratigraphy; stratigraphy repeated downslope

ACTIVE MOVEMENT

1. Scarps and fractures possess sharp edges and open mode. No secondary filling
2. Main units show secondary fracture and pressure ridges
3. Surfaces show polishing and striations, fresh appearance
4. Drainage deranged, ponds
5. No soil development and only fast-growing vegetation
6. Considerable distinction between form, roughness, texture, vegetation, between slide and non-slide areas
7. Tilted vegetation

INACTIVE MOVEMENT

1. Scarps and fractures weathered and indistinct, cracks infilled
2. No secondary failures of pressure ridges (often subdued)
3. Surfaces weathered, vegetated
4. Integrated drainage but may have irregular pattern and sudden infilled depressions
5. Soil cover and well vegetated or cultivated
6. Difficult to distinguish margins and textures exception on air photographs
7. New growth on trees and vertical growth of post-slide trees

LANDSLIDE RECOGNITION

Identification, Movement and Courses



Edited by
Richard Dikau, Denys Brunsden,
Lothar Schrott and Maia-Laura Ibsen

WILEY

- Un obiettivo primario dei geomorfologi, è determinare lo stato d'attività delle frane
- Lo stato d'attività delle frane può essere qualitativo o deterministico
- Qualitativo: attivo/inattivo
- Da determinare già nei primi sopralluoghi

❑ Stato d'attività

- **Attivo**
- Sospeso: attualmente non attivo
- Riattivato
- **Inattivo**: se si e' mosso l' ultima volta durante l' ultimo ciclo stagionale
- **Quiescente**: se puo' essere riattivato dalle sue cause originali
- Relitto: si era sviluppato in condizioni climatiche o geomorfologiche completamente diverse
- Nei LIM viene indicato con un colore, in genere rosso ed arancione

□ Il primo obiettivo del geomorfologo è la realizzazione di una *Landslide Inventory Map* (LIM), cioè un prodotto che contenga la distribuzione areale delle diverse tipologie di frane che affliggono una determinata area

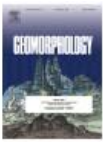
□ Secondo [Galli et al. \(2008\)](#) come potete leggere a destra, le LIM devono di facile lettura e non solo per i geomorfologi

LANDSLIDE INVENTORY MAP



Geomorphology

Volume 94, Issues 3–4, 15 February 2008, Pages 268–289



Research paper

Comparing landslide inventory maps

Mirco Galli , [Francesca Ardizzone](#), Mauro Cardinali, Fausto Guzzetti , Paola Reichenbach

 Show more

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.023>

[Get rights and content](#)

Abstract

Landslide inventory maps are effective and easily understandable products for both experts, such as geomorphologists, and for non experts, including decision-makers, planners, and civil defense managers. Landslide inventories are essential to understand the evolution of landscapes, and to ascertain landslide susceptibility and hazard. Despite landslide maps being compiled every year in the world at different scales, limited efforts are made to critically compare landslide maps prepared using different techniques or by different investigators. Based on the experience gained in 20 years of landslide mapping in Italy, and on the limited literature on landslide inventory assessment, we propose a general framework for the quantitative comparison of landslide inventory maps. To test the proposed

SCIENCE

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

Stefano Devoto^{a*}, Sara Biolchi^{a,b}, Viola M. Bruschi^c, Stefano Furlani^{b,d}, Matteo Mantovani^e,
Daniela Piacentini^a, Alessandro Pasuto^e and Mauro Soldati^a

❑ Esempio di articolo
accompagnato da carta
geomorfologica di [Devoto
et al. \(2012\)](#)

❑ *Coastal landslides*
dominano ma sono
presenti 6 tipologie di
landform

❑ Per tale motivo, si è
redatto la LIM ma
l'abbiamo chiamata carta
geomorfologica

2. Study area

The study area is located in the north-western sector of the Island of Malta, which lies in the central Mediterranean sea, 100 km south from Italy and 290 km east from Tunisia. It covers about 13 km², from Marfa Ridge, to the north, to the promontory of Ras ir-Raheb, to the south (Figure 1).

From a geodynamical viewpoint, the Maltese Islands lie in the Sicily Channel, which has been affected, during the Neogene-Quaternary age (Dart et al., 1993; Finetti, 1984), by continental rifting. It produced extensive

*Corresponding author. Email: stefano.devoto@unimore.it

ISSN 1744-5647 online
© 2012 Stefano Devoto, Sara Biolchi, Viola M. Bruschi, Stefano Furlani, Matteo Mantovani, Daniela Piacentini, Alessandro Pasuto and Mauro Soldati
<http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2012.668425>
<http://www.tandfonline.com>



34 S. Devoto et al.



- Attività di campagna su «base map» stampate a 1:5000
- Analisi delle foto aeree inglesi e di Google
- Prodotto al 7500
- Carta geomorfologica che contiene un LIM

3. Material and methods

A field campaign at a scale 1:5000, accompanied with aerial-photo interpretation, has been carried out along the north-western coast of the Island of Malta, while the final mapping has been performed at 1:7500 scale. Aerial photos from 1957 and 2004 have been analysed, in order to reconstruct the recent geomorphological evolution. The lithological and structural features have been derived from the most recent geological map (Oil Exploration Directorate, 1993), validated and implemented by means of field observations. In order to obtain a high resolution DTM, contours and height points, derived from 1:2500 MEPA topographic maps, have been interpolated in ESRI ArcGIS.

Geomorphological mapping has been performed following the guidelines proposed by the Italian Geological Survey (Gruppo di Lavoro per la Cartografia Geomorfologica, 1994) and with reference to recent Italian geomorphological maps (e.g., Panizza et al., 2011). The guidelines foresee the representation of the genesis of landforms and the type of processes through different colours and the outline of their state of activity by means of colour intensity (more intense for active processes).

Six main sets of landforms and deposits have been identified and mapped: (i) structural landforms, (ii) gravity induced slope landforms, (iii) fluvial and slope landforms due to running water, (iv) coastal landforms, (v) karst landforms, (vi) man-made landforms.

Topographic elements have been drawn in grey and have been represented as point elements (spot heights) and line elements (isohypses and roads). Conversely, we decided to exclude from the 1:7500 map buildings and human-made terraces, in order to avoid intense overlapping between geomorphological and topographic elements.

4. The geomorphological map

4.1 Structural landforms

The landscape is primarily dominated by the aforementioned series of ENE–WSW horst and graben systems, which displace the coastline with raised and lowered blocks. Horsts form a series of ridges which correspond to promontories capped by limestone plateaus, whereas graben constitute parallel valleys, which end up as bays and coves, where sometimes small sandy beaches occur, such as Anchor Bay, Golden Bay, Ghajn Tuffieha Bay and Gnejna Bay (Said & Schembri, 2010).

A system of parallel normal faults, clearly visible along the coast because of the sub-horizontal bedding and the scarce vegetation, displace the whole stratigraphic sequence, with different throws. The major faults occur at the northern and southern borders of the study area, at Marfa Ridge and at Ras Il-Pelegrin, where the Lower Coralline Limestone Formation outcrops at sea level. The northernmost fault brings it into contact with the Upper Coralline Limestone, with a throw of more than 100 m. The southernmost one, the Victoria Line, shows a spectacular tectonic contact between Lower Coralline Limestone and Blue Clay, with a throw of about 100 m. The remaining coastal sector is characterised by uplifted and downlifted blocks, where the Globigerina Limestone, the Blue Clay and the Upper Coralline Limestone outcrop.

4.2 Gravity-induced slope landforms

The north-western coast of Malta is largely affected by different types of landslides, such as rock spreads, block slides, rock falls and earth flows (Devoto et al., Forthcoming; Magri, 2009). The presence of limestone cliffs overlying clayey terrains favours the occurrence of impressive lateral spreading phenomena (cf. Pasuto & Soldati, 1996) (Figure 5), due to the diverse geomechanical and hydrogeological properties of two rock materials (Magri et al., 2008; Mangion, 1991). Monitoring activities have shown that these rock-spreading phenomena are active, though characterised by very slow deformation rates (Devoto et al., Forthcoming; Magri et al., 2007, 2008).

The clayey slopes are covered by large blocks detached from the edges of the limestone plateaus. The block accumulations, named Rdum by locals, dominate large sectors of the coastal areas and locally reach the sea.

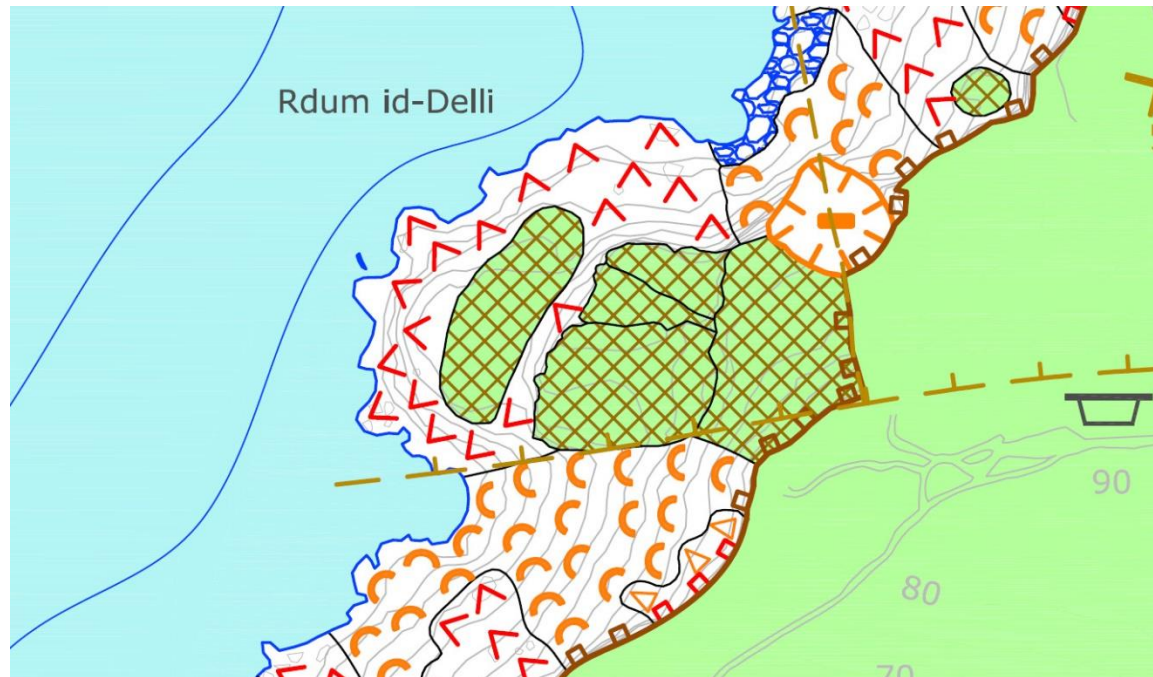
❑ C'è la sezione che descrive le
«gravity-induced slope landform»



SCIENCE

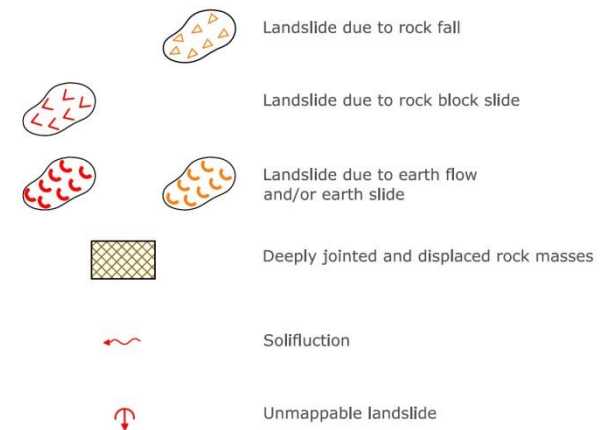
Geomorphological map of the NW Coast of the Island of Malta (Mediterranean Sea)

Stefano Devoto^{a*}, Sara Biolchi^{a,b}, Viola M. Bruschi^c, Stefano Furlani^{b,d}, Matteo Mantovani^e, Daniela Piacentini^a, Alessandro Pasuto^e and Mauro Soldati^a



- Sopra focus della carta geomorfologica di Devoto et al (2012), a dx particolare della legenda relativo alle frane

- Le diverse tipologie di frana sono disegnate con diversi simboli
- Arancione inattivo, rosso attive
- Forme in carta carsiche



SCIENCE

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

Stefano Devoto^{a*}, Sara Biolchi^{a,b}, Viola M. Bruschi^c, Stefano Furlani^{b,d}, Matteo Mantovani^e, Daniela Piacentini^a, Alessandro Pasuto^e and Mauro Soldati^a

Active

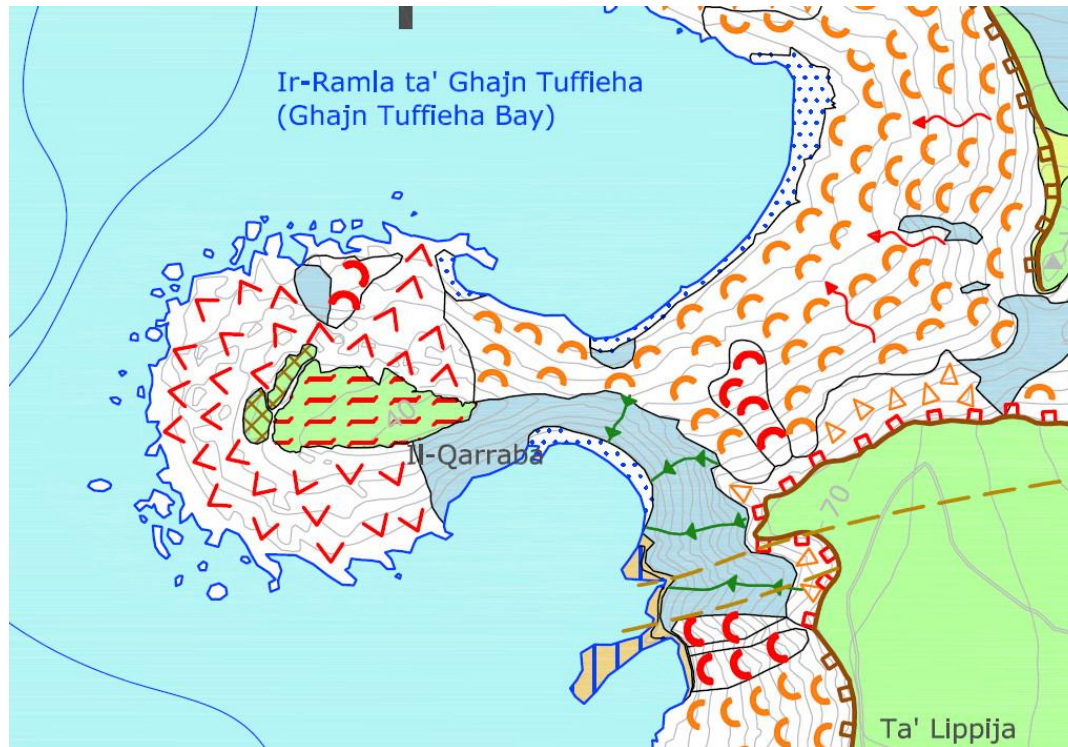
Inactive



Edge of landslide scarp



Area affected by rock spreading



- Sopra focus della carta geomorfologica di Devoto et al (2012), a dx particolare della legenda relativo alle frane

□ Velocità

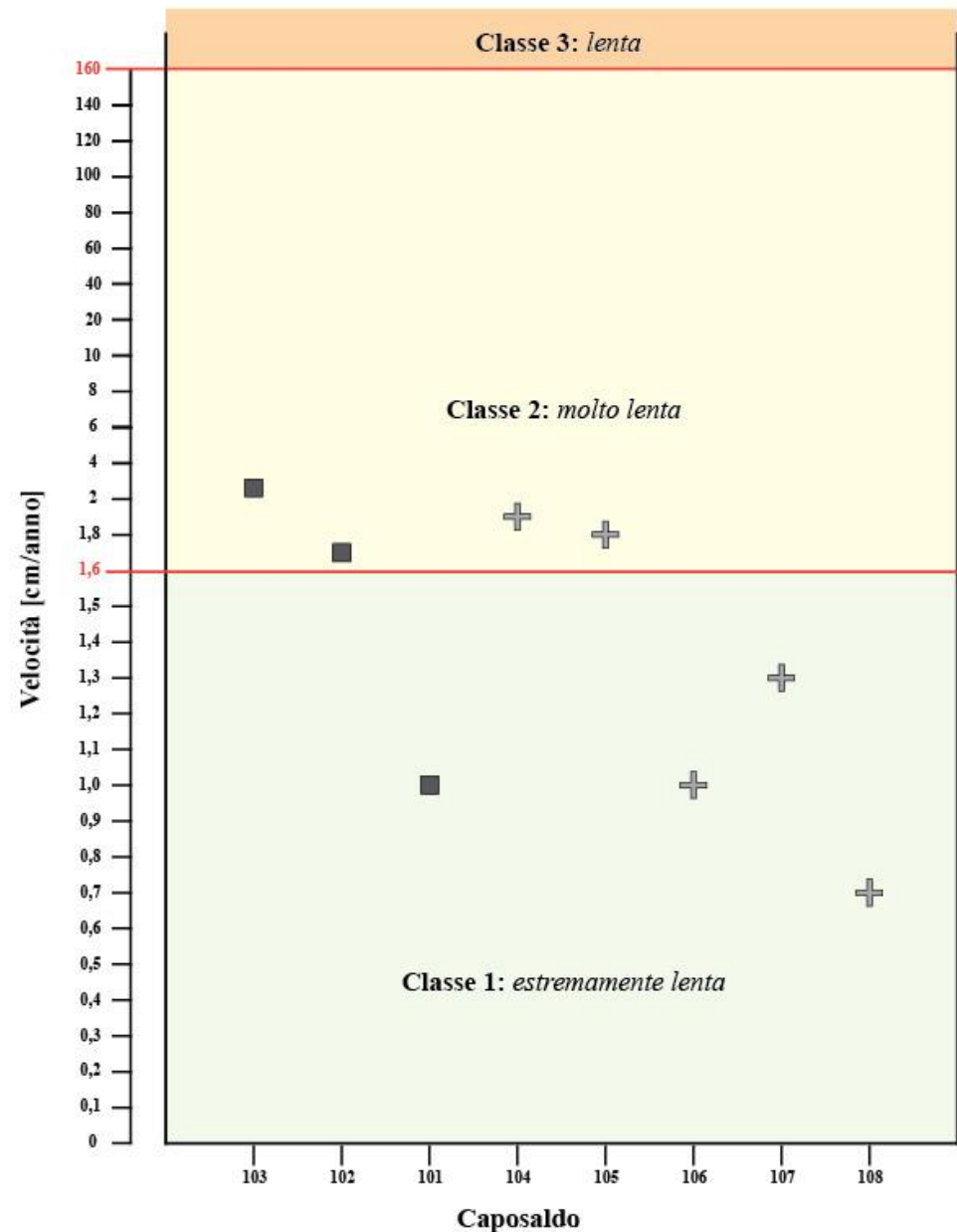
- Il secondo obiettivo dei geomorfologi deve essere identificare la velocità delle frane
- La velocità delle frane viene classificata da [Cruden e Varnes \(1996\)](#) individuano sette classi

Classe	Descrizione	Velocità	Velocità [m/s]
7	ESTREMAMENTE RAPIDO	5 m/s	5
6	MOLTO RAPIDO	3 m/min	$5 \cdot 10^{-2}$
5	RAPIDO	1,8 m/h	$5 \cdot 10^{-4}$
4	MODERATO	13 m/mese	$5 \cdot 10^{-6}$
3	LENTO	1,6 m/anno	$5 \cdot 10^{-8}$
2	MOLTO LENTO	16 mm/anno	$5 \cdot 10^{-10}$
1	ESTREMAMENTE LENTO	< 16 mm/anno	< $5 \cdot 10^{-10}$

□ Velocità

- *Il-Prajjet landslide* è un'espansione laterale che evolve in un *block slide*
- Velocità dei caposaldi (*surface speed*) di *Il-Prajjet landslide*
- Il movimento franoso avanza molto lentamente nella parte occidentale mentre la sua parte orientale avanza in modo estremamente lento

Source: Devoto (2013)



PRINCIPI GPS

- ❑ Il **NA**avigation **S**ystem with **T**ime **A**nd **R**anging **G**lobal **P**ositioning **S**ystem è un sistema di navigazione satellitare sviluppato agli inizi degli anni '70 dal DoD USA per soddisfare le richieste dei militari che avevano necessità di determinare in modo accurato la posizione e la velocità delle loro truppe in un comune sistema di riferimento, 24 ore su 24 ed in qualsiasi condizione atmosferica
- ❑ Il principio fondamentale di funzionamento del sistema di posizionamento e navigazione GPS si basa sulla ricezione di segnali radio emessi da una costellazione di satelliti artificiali



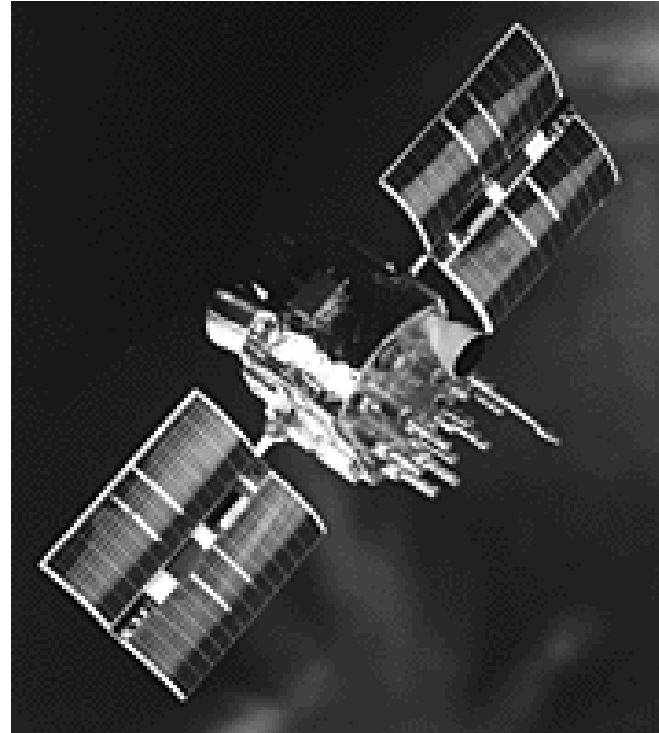
❑ Source: Mantovani (2010)

PRINCIPI GPS

- ❑ Ci sono 3 segmenti
 - Segmento spaziale
 - Segmento di controllo
 - Segmento di utilizzo

SEGMENTO SPAZIALE

- 31 satelliti operativi
- 20200 Km di altezza
- 6 piani orbitali (A,B,C,D,E,F)
- Ciascun piano orbitale almeno 4 satelliti
- 5 ore al di sopra dell'orizzonte
- Ciascun satellite ha orologio atomico



PRINCIPI GPS

❑ SEGMENTO SPAZIALE: I satelliti trasmettono costantemente 2 onde portanti nelle frequenze radio (banda L) che viaggiano verso la terra a velocità prossime a quelle della luce. Tali onde vengono generate dalla frequenza fondamentale ($f_0=10.23$ MHz) alle quale operano gli orologi di bordo:

- L1 è trasmessa a 1575.42 MHz ($f_0 \times 154$)
- L2 è trasmessa a 1227.60 MHz ($f_0 \times 120$)

Sulla portante L1 sono modulati 2 codici:

- C/A (Coarse/Acquisition) modulata a 1.023 Mhz ($f_0 / 10$)
- P (Precision) modulata alla frequenza fondamentale 10.23 MHz

Sulla portante L2 è modulato il solo codice P

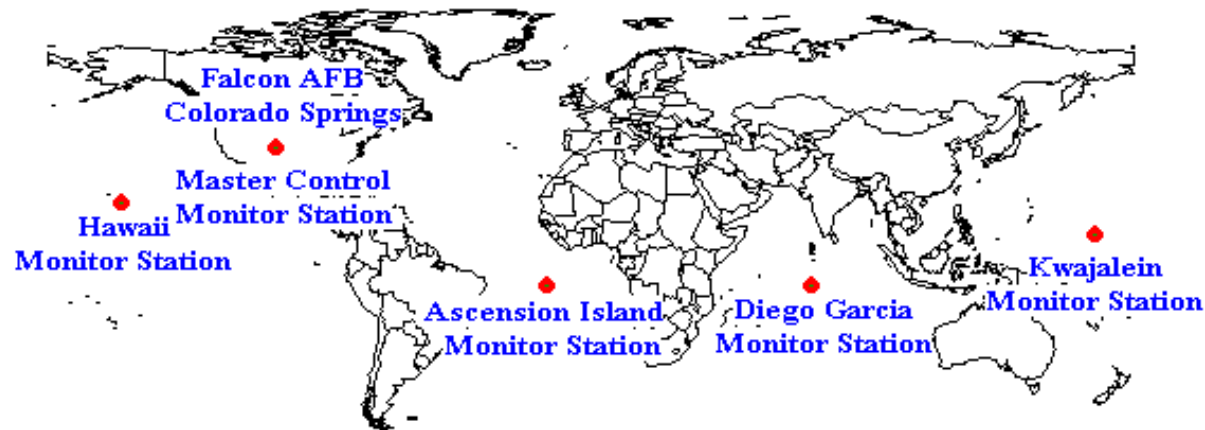
PRINCIPI GPS

- ❑ Il segmento di controllo è formato da cinque stazioni

- Colorado Springs (USA)
- Ascension
- Diego Garcia
- Kwajalein
- Hawaii

- ❑ Tracciano le orbite dei satelliti
- ❑ Elaborano i dati ricevuti dai satelliti per il calcolo delle effemeridi e delle correzioni degli orologi
- ❑ Caricamento di nuovi dati su satelliti

Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

❑ Sistemi di monitoraggio delle frane

❑ SEGMENTO DI UTILIZZO

- Antenna (molto delicata)
- Ricevitore GPS (madre)
- Batteria esterna

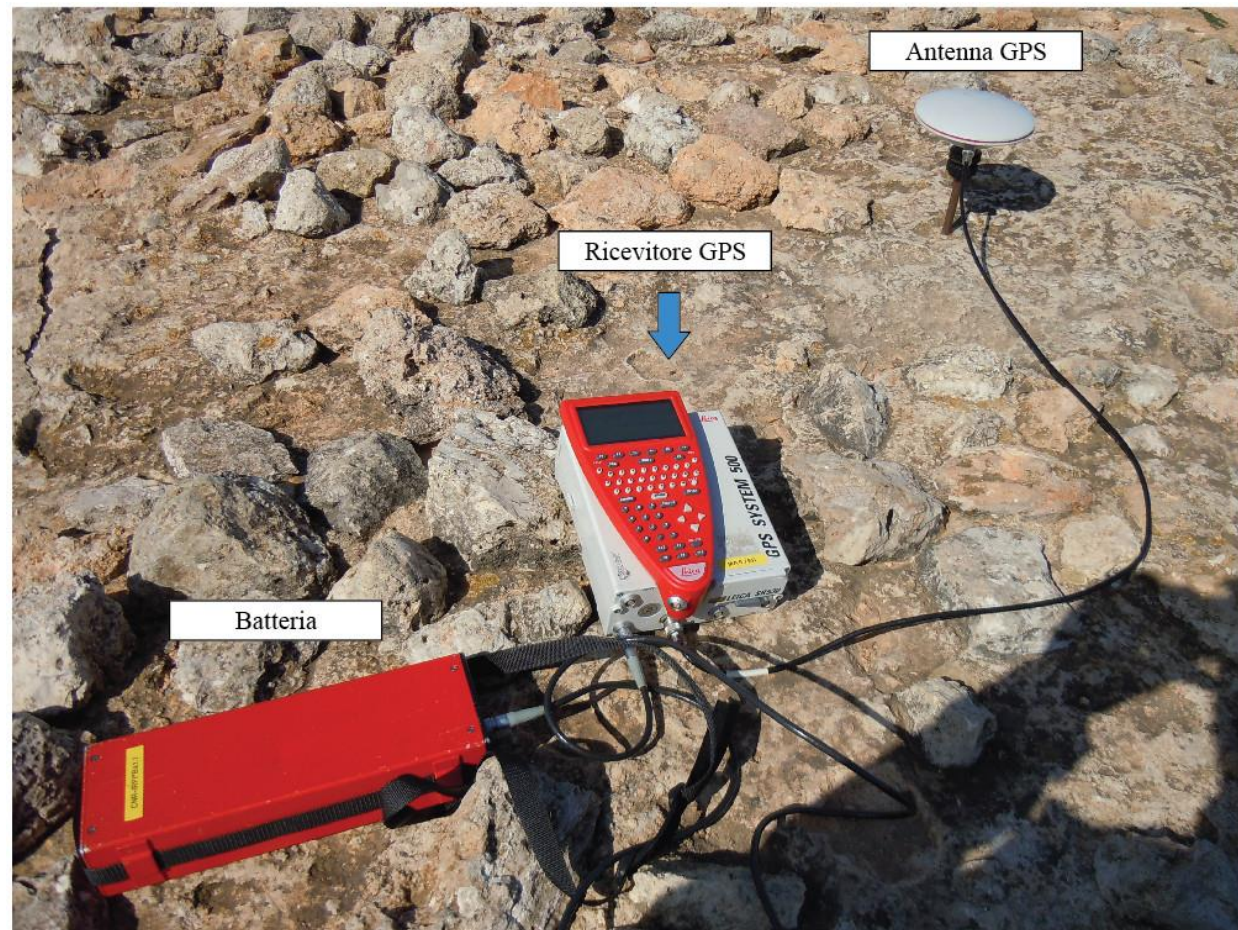


Foto: Devoto S

POSIZIONAMENTO GPS

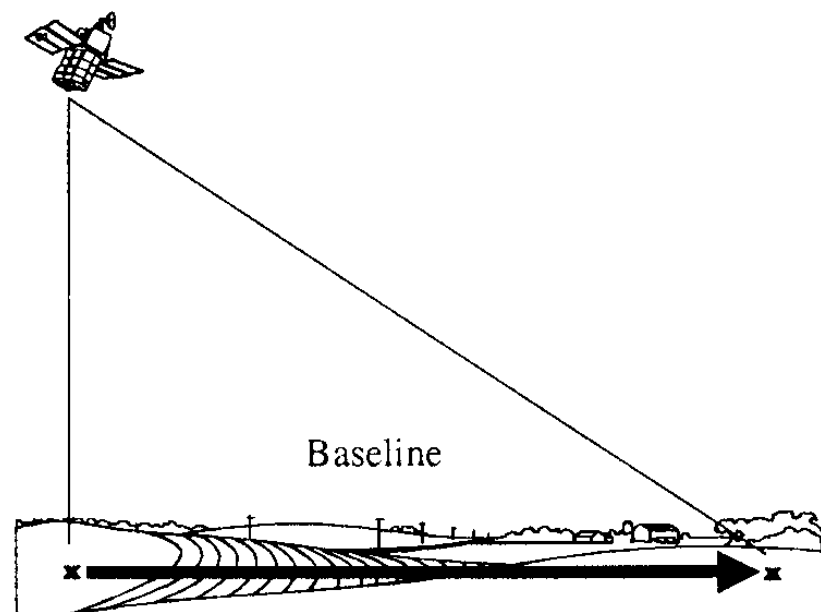
- ❑ Il posizionamento attraverso l'uso del sistema GPS si basa sulla misura della distanza tra i satelliti e l'antenna ricevente sulla Terra
- ❑ Per individuare la posizione di un punto nello spazio infatti è sufficiente conoscere la sua distanza da 3 punti di coordinate note. Date le effemeridi di 3 satelliti e misurate le loro distanze dal punto di stazione per mezzo del ricevitore, sarebbe teoricamente possibile determinare la posizione incognita
- ❑ Tuttavia dal momento che la distanza è derivata da misure di intervallo di tempo e la non perfetta sincronizzazione tra orologi dei satelliti e orologio del ricevitore genera un *offset* tra le scale dei tempi, il numero delle incognite aumenta
- ❑ È necessario dunque tracciare un **quarto** satellite per poter risolvere il sistema nelle 4 incognite ($X, Y, Z, \Delta t$). Quindi per determinare in tempo reale la posizione dell'antenna ricevente occorrerà acquisire simultaneamente i segnali da almeno 4 satelliti
- ❑ Il ricevitore ricostruisce le componenti del segnale trasmesso:
 - Onda portante
 - Estrazione dei codici per la lettura degli orologi satellitari
 - Messaggio navigazionale

❑ Sistemi di monitoraggio delle frane

- ❑ Si misura la distanza (*baseline vector*) tra 2 punti A e B. Normalmente A, definito *reference* o *master*, è fisso ed ha coordinate note nel sistema WGS-84 che possono essere ottenute con misura di codice
- ❑ Il posizionamento relativo richiede osservazioni simultanee alla stazione *reference A* e al punto incognito B e può essere ottenuto mediante misure di codice o di fase (Principio del *Fast Static*, che vediamo in seguito)
- ❑ Gli strumenti moderni danno un indice sullo schermo chiamato GDOP: è un indice di qualità (più è basso, meglio è)
- ❑ GDOP intorno ai 2, bene
- ❑ GDOP intorno ai 4 o sopra NO

POSIZIONAMENTO RELATIVO

Source: Hofmann-Wellenhof et al. (1992)



FONTI D'ERRORE

❑ Satelliti	Errori tra orologi atomici
❑ Segnale	Rifrazione dell'atmosfera
❑ Ricevitore	Offset orologio Variazione del centro di fase dell'antenna Multipath

Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring

Josep A. Gili ^{a,b,*}, Jordi Corominas ^a, Joan Rius ^a

- ❑ L'articolo di [Gili et al. \(2000\)](#) può essere considerato un testo di riferimento per il monitoraggio di frane con la tecnica GPS
- ❑ La tecnica GPS è diventata pienamente operativa negli anni 2000, quando l'equipaggiamento è diventato più economico e semplice da usare.
- ❑ Non da ultimo almeno quattro satelliti hanno iniziato ad essere sempre visibili dall'operatore
- ❑ La tecnica GPS quindi viene utilizzata per
 - *Ground Control Point (GCP)* per fotogrammetria e *remote sensing image*
 - *Environmental studies and natural resources management*
 - *Off-shore survey*

- ❑ L'articolo di [Gili et al. \(2000\)](#) fornisce nella sua tabella 1 un interessante *overview* della *accuracy* del metodo

Table 1

Overview of methods used in measuring surface displacements and their precision^a

Method	Results	Typical range	Typical precision
Precision tape	Δ distance	< 30 m	0.5 mm/30 m
Fixed wire extensometer	Δ distance	< 10–80 m	0.3 mm/30 m
Rod for crack opening	Δ distance	< 5 m	0.5 mm
Offsets from baseline	$\Delta H, \Delta V$	< 100 m	0.5–3 mm
Surveying triangulation	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	< 300–1000 m	5–10 mm
Surveying traverses	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Variable	5–10 mm
Geometrical levelling	ΔZ	Variable	2–5 mm/km
Precise geometrical levelling	ΔZ	Variable	0.2–1 mm/km
Electronic distance measurement (EDM)	Δ distance	Variable (usual 1–14 km)	1–5 mm + 1–5 ppm
Terrestrial photogrammetry	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Ideally < 100 m	20 mm from 100 m
Aerial photogrammetry	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	$H_{\text{flight}} < 500$ m	10 cm
Clinometer	$\Delta \alpha$	$\pm 10^\circ$	0.01–0.1°
GPS	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Variable (usual < 20 km)	5–10 mm + 1–2 ppm

^a Note: 1 ppm means one part per million, or one additional millimetre per kilometre of measured line.

3.3. *Field methods to use in landslide monitoring*

As will be presented later, a combination of classical methods and GPS may be envisaged for each practical case. This scheme will increase the precision, reliability and productivity requirements. For instance, several stations may be positioned with GPS, fairly distributed in large areas of a landslide. In a second stage, many details can be calculated through polar radiation of coordinates with a total station around these known points. In this sense, GPS measurements may be used to check the stability of theoretically fixed control monuments used in classical surveying. For example, master fixed stations in the Panama Canal were periodically checked using GPS (Reyes and Fernández, 1996).

Measurement of landslide displacements can be undertaken by means of either static or kinematic methods. The choice depends on the same practical considerations quoted before, namely, the accessibility, number of points, precision, obstacles and distance from point to point. The most productive methods available for determining single points with precision of millimetres or centimetres are FS and RTK, see Fig. 4. These methods were developed in the late 1980s and early 1990s, but have been fully available since 1992 and 1994, respectively.

- ❑ Le misure dei spostamenti di una frana possono essere fatte in modo classico statico, Fast Static (FS) o in Real Time Kinematic (RTK)
- ❑ Tale scelta dipende dalle dimensioni della frana e dalla tipologia
- ❑ Frane lente o molto lente devono essere monitorate in modo FS
- ❑ I metodi FS e RTK sono stati sviluppati negli anni 80-90 ma sono diventati popolari a partire dal 1992-1994

The FS method is a development of the classical static method, with improved algorithms that speed the procedure (Blewitt et al., 1989; Frei and Beutler, 1990). For instance, measurement of one baseline with six or more satellites available requires 8 min of logging. This time increases to 15 and 20 min with five and four satellites, respectively. No positioning is possible with less than four satellites. In this method a post-processing must be carried out. The data files from different receivers are merged in order to obtain the solution, that is, the baselines between station points.

In the RTK method, the information of code and carrier phase observables received at both extremes of the baseline (*base* station and *rover* station) is merged to compute the precise position

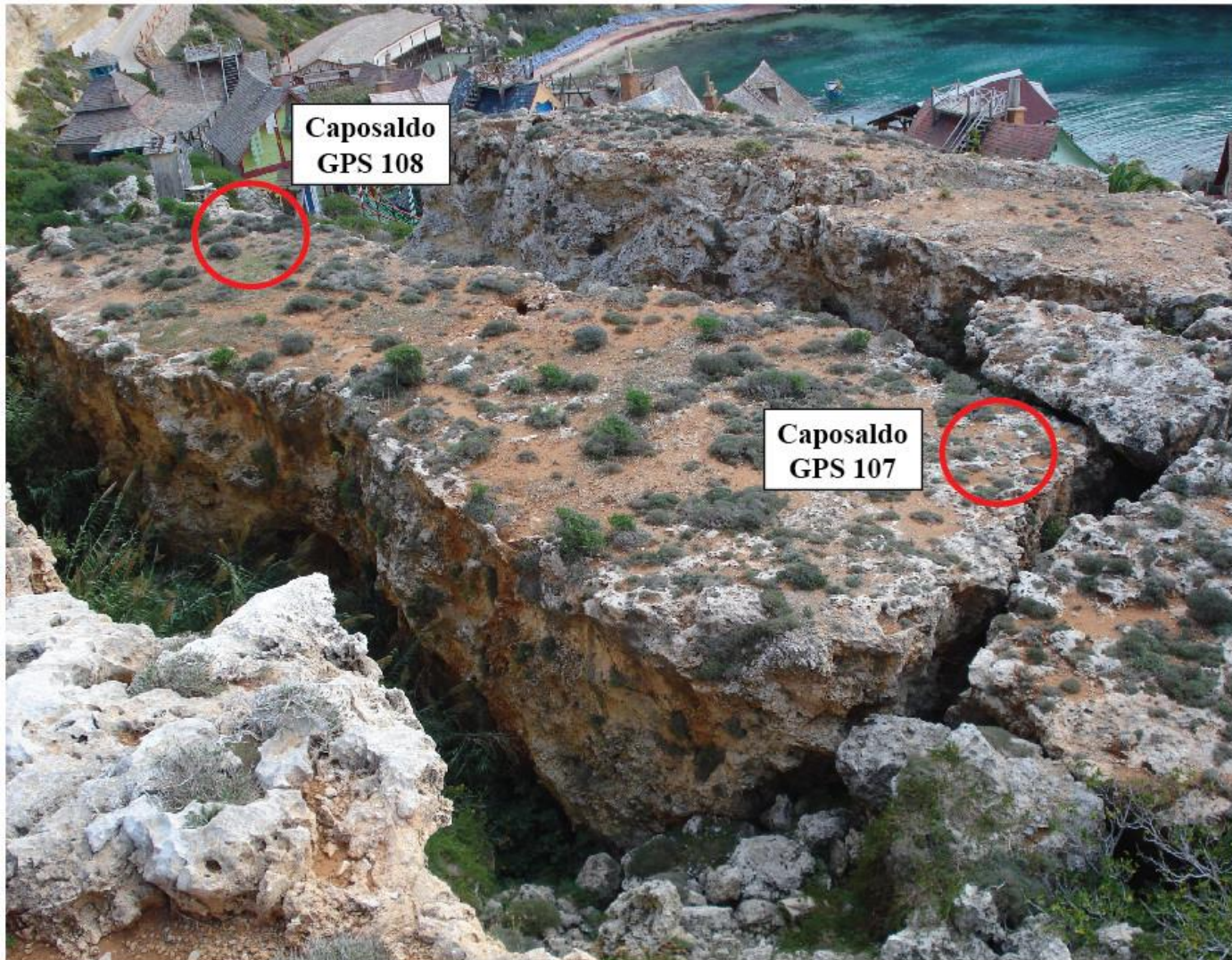
- ❑ La metodologia statica richiede 8 minuti per benchmark per 6-8 satelliti
- ❑ Al contrario con 4 satelliti visibili servono dai 15 ai 20 minuti
- ❑ Con quattro satelliti non è possibile applicare la metodologia statica
- ❑ Serve un post-processing



Foto: Devoto S



- ❑ Il *benchmark* del *master* nei rilievi differenziali statici ha le seguenti caratteristiche:
 - Deve essere ubicato in area stabile
 - Deve acquisire per tutto il tempo dei rilievi con il *rover*
 - Deve essere poco visibile o protetto contro vandalismi
 - Deve essere ubicato non nei pressi di sorgenti di onde elettromagnetiche
 - Deve vedere il cielo (strumento romantico)



- ❑ Il *rover* acquisisce su dei benchmark fissi, ubicati nell'area di frana
- ❑ Qui siamo su un blocco calcareo, interessato da un *block slide*



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

REFERENCE
STATION

Ghajn Tuffieha Bay

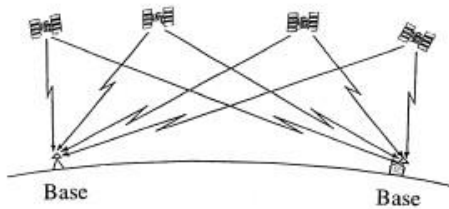
Source: Devoto S

100 m

Gnejna Bay

- ❑ La *baseline* è la distanza tra la *reference station* e il *rover*
- ❑ Minore è la *baseline*, maggiore è la qualità del rilievo

F.S.



R.T.K.

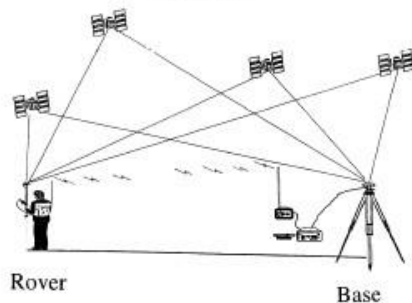
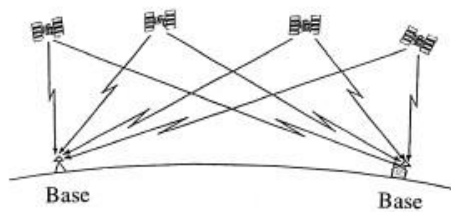


Fig. 4. FS and RTK GPS methods. The station over a known fixed point is referred to as 'base', and the receiver that moves from point to point as 'rover'.

on the spot (Quirion, 1993). The base receiver transmits to the rover a message containing its position, the pseudo-ranges measured through code correlation, and phase measurements of the carrier received from the available satellites. The information recorded directly by the rover is added to calculate its position. Prior to obtaining the first results, it is necessary to spend a few minutes in initialising the system (the so-called *ambiguity resolution*). The RTK calculates new positions from the old ones, through continuous tracking of the satellites in real time. In this procedure, therefore, the post-processing of the field data is not required. Any problem with the equipment can be localised and solved immediately. It works quickly and gives results with precision of one centimetre every second, even in movement.

In RTK, corrections are transmitted to the rover via a local UHF data link; this transmission is quite directional. Therefore, unless repeaters are used, the RTK method needs an almost direct line

- ☐ Nel sistema RTK, l'antenna Rover viene attaccata all'operatore (nella figura in basso), che gira per la frana
- ☐ Il sistema RTK non necessita post-processing ma gli errori di posizionamento sono più elevati
- ☐ Precisione di un centimetro
- ☐ Le correzioni sono mandate via UHF data link



Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring

Josep A. Gili ^{a,b,*}, Jordi Corominas ^a, Joan Rius ^a

R.T.K.

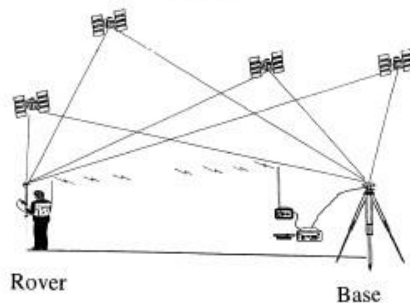


Fig. 4. FS and RTK GPS methods. The station over a known fixed point is referred to as 'base', and the receiver that moves from point to point as 'rover'.

FS vs RTK

Table 3

Main characteristics of RTK and FS GPS methods compared with static method

Method	Observed time, per point, after initialisation	Post-process	Strength against loss of signal	Typical max. baselines (km)	Typical baseline planimetric error
General static	One to several hours	Yes	Robust	50–100*	5–1 mm + 1–0.1 ppm
FS	8–20 min	Yes	Robust	15–20	5 mm + 1 ppm
RTK	1–10 s	No	Sensitive	10	10 mm + 2 ppm

* Baselines can easily reach about 50 km. Depending on the observation time, type of post-processing and required precision, it may be extended up to thousands of kilometres.

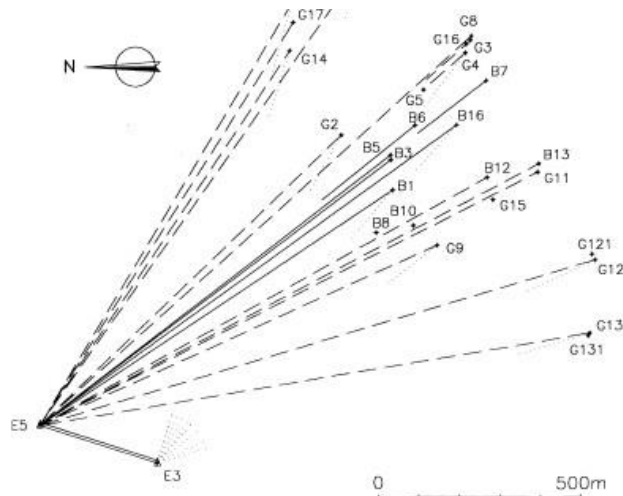


Fig. 7. Vallcebre landslide monitoring network: solid and dashed lines are, respectively, FS and RTK baselines. The dotted lines correspond to an optional double radiation that should be done once a year. For clarity, not all the lines are shown.

each pair of station points in the area of interest, a logging session has been done. In the figure, as an example, the polygon linking base points B2 and B4 with C11 and C17 is highlighted. Up to six baselines are observed simultaneously each logging session. To achieve better results and redundancy, reoccupation of points (in different order and on another day) has been used. All the baselines have been observed with the FS method: 1 h for the external ring, 15 to 30 min for the logging sessions (dashed line). Due to the distances and difficult access to geodetic points, between 1 and 2 days are necessary to connect all the geodetic vertexes (A and B points). Around 1.5 days are necessary to observe (twice) all quadrilaterals such as the dashed one. In this example, the amount of work, productivity, precision and cost of the GPS approach are clearly better in relation to classical surveying techniques.

4. Monitoring of the Vallcebre landslide using GPS

The performance of the GPS in measuring ground displacements has been tested in the active

old landslide of Vallcebre. This landslide is located in the Eastern Pyrenees, 140 km north of Barcelona, Spain. The landslide extends on the eastern slope of the torrents of Vallcebre and Llarg (Fig. 9). The mobilised material consists of a set of shale, gypsum and claystone layers gliding over a thick limestone bed. The average slope of the whole landslide is about 10° . The landslide affects an area of 0.8 km^2 , which shows superficial cracking and distinct ground displacements.

The landslide of Vallcebre is a translational slide with a stair-shape profile. It is composed of four main morphological units of decreasing thickness towards the landslide toe. Secondary scarps of a few tens of metres high bound the units. At the toe of each scarp, there exists an extension area that originates a graben. Fig. 10 is a geomorphologic sketch of the landslide with the location of the monitored points and boreholes.

Vallcebre landslide has been monitored since 1987 using conventional surveying and photogrammetry (Gili and Corominas, 1992). In 1996, this site was included in the frame of the NEWTECH Project funded by the European Commission. The



Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring

Josep A. Gili ^{a,b,*}, Jordi Corominas ^a, Joan Rius ^a

I Vallcebre landslide è ubicata nei Pirenei orientali e il materiale mobilizzato sono materiali come gessi, argilliti, ecc

I Gili et al la classificano come una *translational slide*

I Dal punto di vista geomorfologico, sono presenti 4 unità geomorfologiche di spessore decrescente

I *Secondary scarp*

Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring

Josep A. Gili ^{a,b,*}, Jordi Corominas ^a, Joan Rius ^a

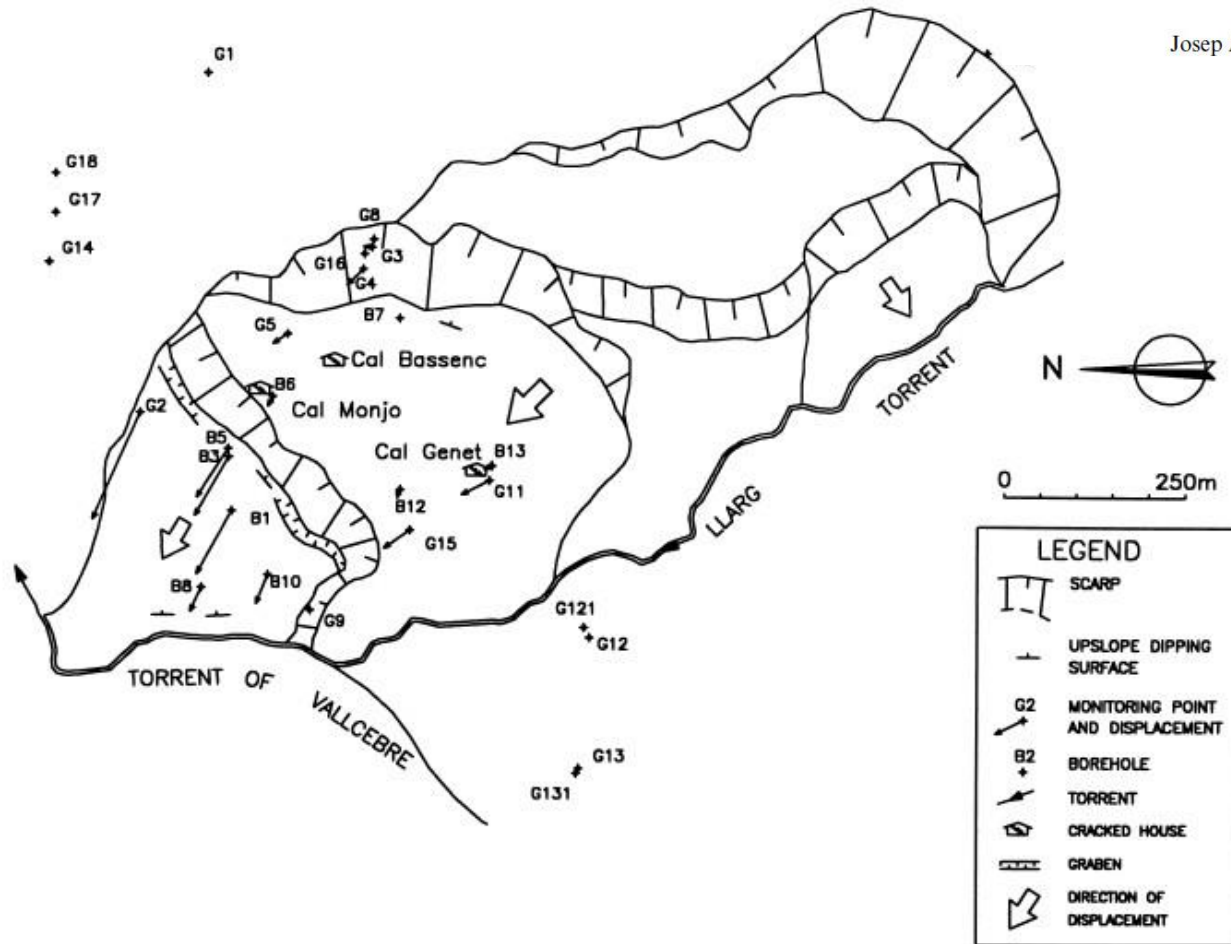


Fig. 10. Geomorphological scheme of Vallcebre landslide. The thickness of the landslide units decreases from the upper scarp to the Torrent of Vallcebre. Base points E3, E4 and E5 are outside this map, about 1 km NW from B1. Displacement vectors between December 1995 and February 1998 are enlarged by a factor of 100.

J.A. Gili et al. / Engineering Geology 55 (2000) 167–192

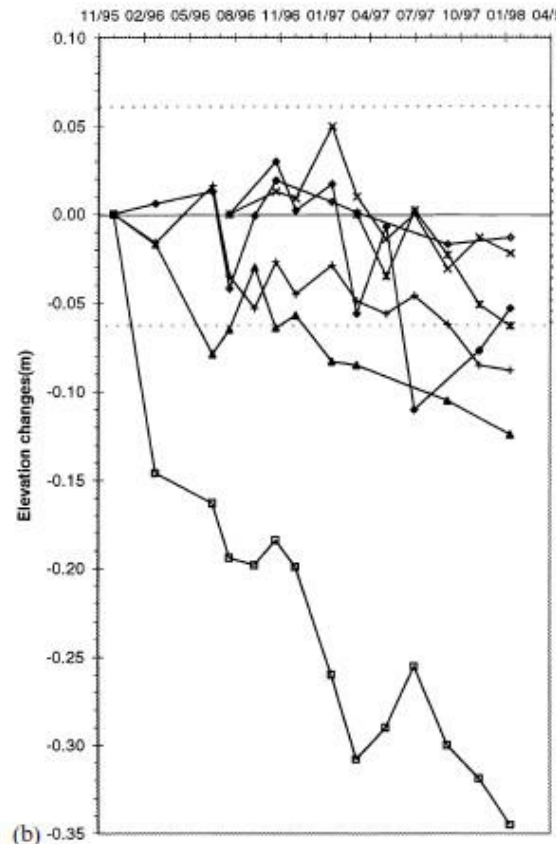
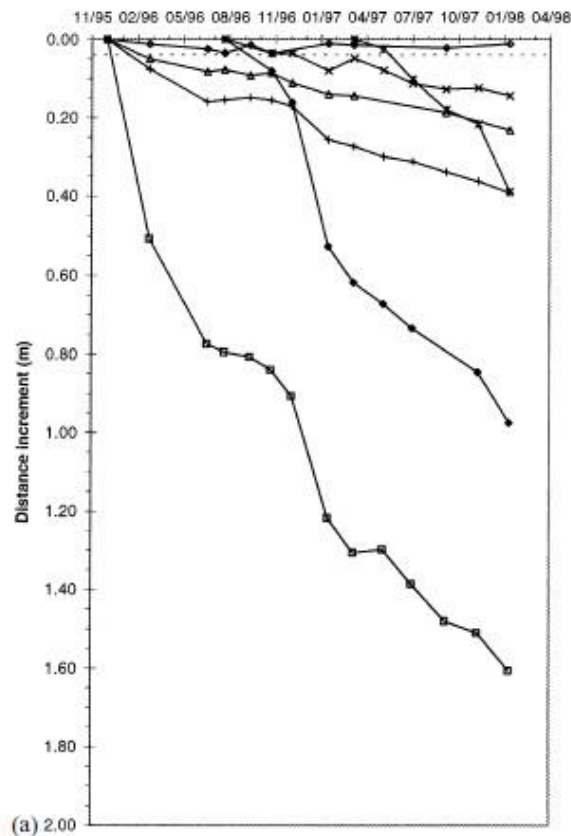


Fig. 15. Vallcebre landslide. (a) Changes in distance from initial position of seven representative points along 14 campaigns between December 1995 and February 1998. (b) Changes in elevation for the same points and period. A maximum error fringe has been added to both plots to highlight the tolerance threshold.

- 300 punti GPS
- Sia in FS che RTK
- 14 campagne in 26 mesi
- Periodo novembre 1995 – aprile 1998

and tripod setting up in the rover.

Rates of displacement of the Vallcebre landslide were up to 130 mm/month at the lower unit during rainy periods, with an average of 30 mm/month. During the 26 months GPS monitoring period, average velocities for the whole landslide ranged from 100 to 800 mm/year. Under such circumstances, the GPS has been revealed as a very useful tool for monitoring.

The 14 field campaigns carried out at the Vallcebre landslide have involved about 300 GPS positionings. Among them, only one supposed GPS error persists without explanation. Much care has to be taken to avoid human errors during setting up and antenna height measurement and input. At a few times and places it has been impossible to position with GPS in a reasonable amount of time.



Using Global Positioning System techniques
in landslide monitoring

Josep A. Gili ^{a,b,*}, Jordi Corominas ^a, Joan Rius ^a

Table 6
Tolerance (maximum error) established for Vallcebre GPS
single positioning^a

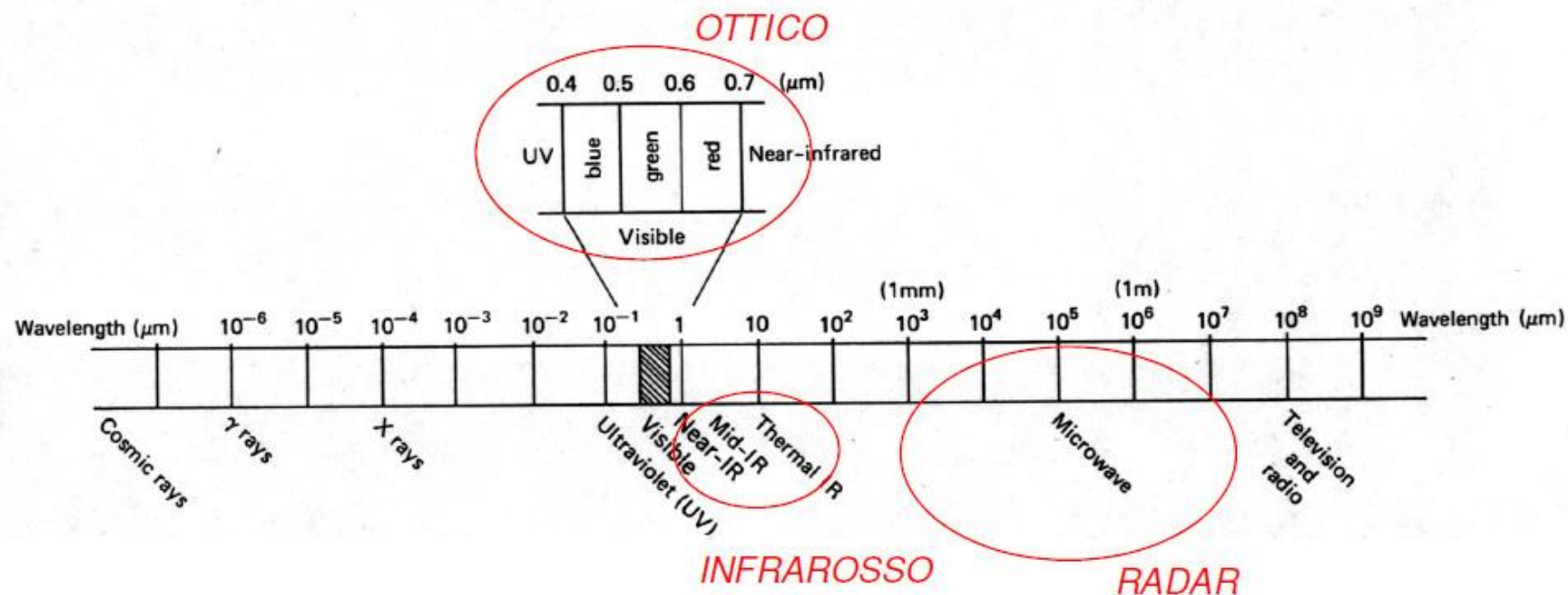
Method	Planimetric error (mm)	Elevation error (mm)
FS	30	46
RTK	40	62

^a Errors are in terms of 99% confidence interval. Values adjusted for baselines in the range 1–1.5 km.

- ❑ 30mm al mese
- ❑ Velocità della frana da 0,1 m a 0,8 m per anno

INTERFEROMETRIA SATELLITARE

- ❑ Il telerilevamento è una scienza che permette di ottenere informazioni della superficie terrestre da sensori montati su satelliti
- ❑ La superficie terrestre emana e riflette energia elettromagnetica fornendo informazioni fisiche, geografiche e biologiche
- ❑ Innumerevoli sono i vantaggi del telerilevamento
 - Visione generale del territorio dall'alto
 - Osservazioni ripetute delle aree di studio
 - Osservazioni storiche
 - Grande quantità di dati
 - Numerosi campi d'applicazione
- ❑ Svantaggi sono i costi, talora elevati sia delle immagini che dei *software* e l'*expertise*, difficile per i geomorfologi e più facile per ingegneri



- ❑ Lo spettro elettromagnetico: a seconda della lunghezza d'onda siamo nel campo dell'ottico, dei raggi X o del radar
- ❑ I satelliti hanno diversi sensori
- ❑ I sensori radar acquisiscono a diverse lunghezze d'onda a seconda del tipo di radar montato

- ❑ Quando si parla di risoluzione, per i sensori radar e ottici si considera

Analisi a diverse scale di interesse: Regionale, Provinciale, di Bacino

	SATELLITE	Risoluzione spettrale	Risoluzione Temporale	Risoluzione spaziale
OTTICO	GEOEYE-1	Visibile e NIR	<3 giorni	0.41x0.41 m
	IKONOS	Visibile e NIR	3 giorni	0.82 x 3.2 m
	AVHRR (NOAA)	Visibile e NIR e Termico	6 ore	1.1 x 1.1 km
RADAR	COSMO-SKYMED	Microonde (banda X)	16 gg	1x1 m
	ENVISAT	Microonde (banda C)	35 gg	5x20m
	ALOS	Microonde (banda L)	46 gg	7m

- ❑ Analisi a diverse scale: regionale, provinciale e di bacino

❑ Caratteristiche dei sistemi ottici

- Non vedi attraverso le nuvole
- Hanno bisogno di una sorgente come il Sole
- DEM di scarsa qualità

❑ Sensori Radar

- Opera nel campo del microne e penetra nelle nuvole e nella pioggia
- È un sistema attivo
- Misura piccole deformazioni

SAR vs OTTICO



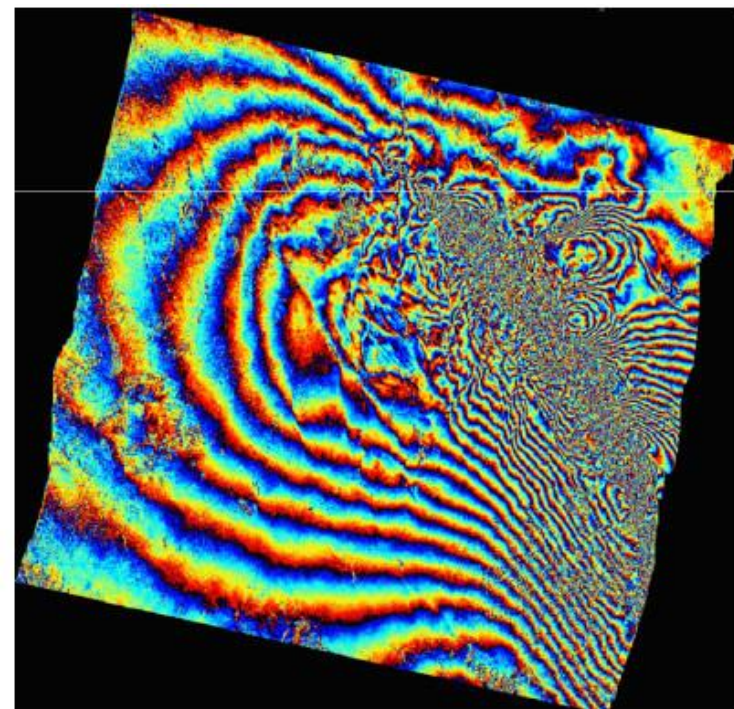
SAR multi-immagine

La riflettività SAR (ampiezza del ritorno radar) non è influenzata dall'illuminazione solare e/o dalle condizioni meteo.

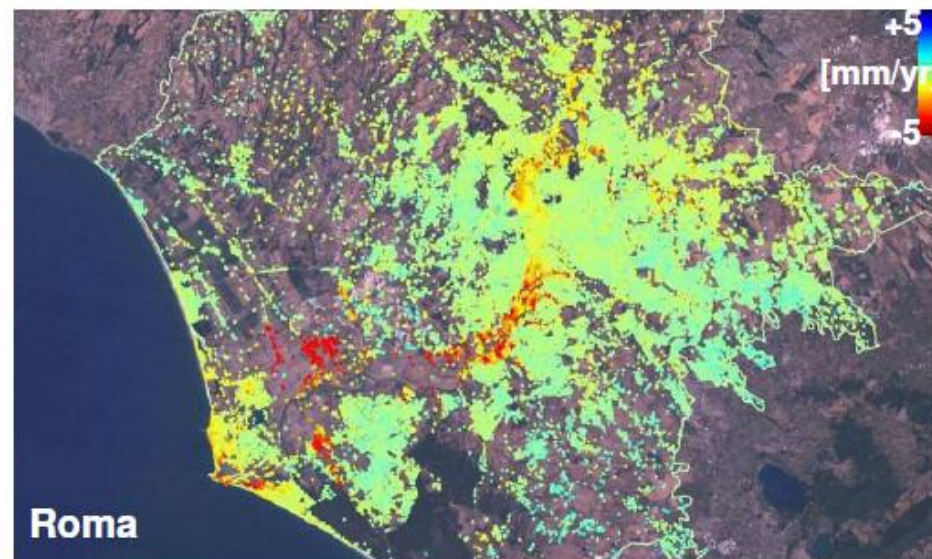
I sensori SAR satellitari attualmente disponibili possono rilevare una sola frequenza. Per questo motivo l'immagine è visualizzata mediante una scala di grigi.



OTTICO



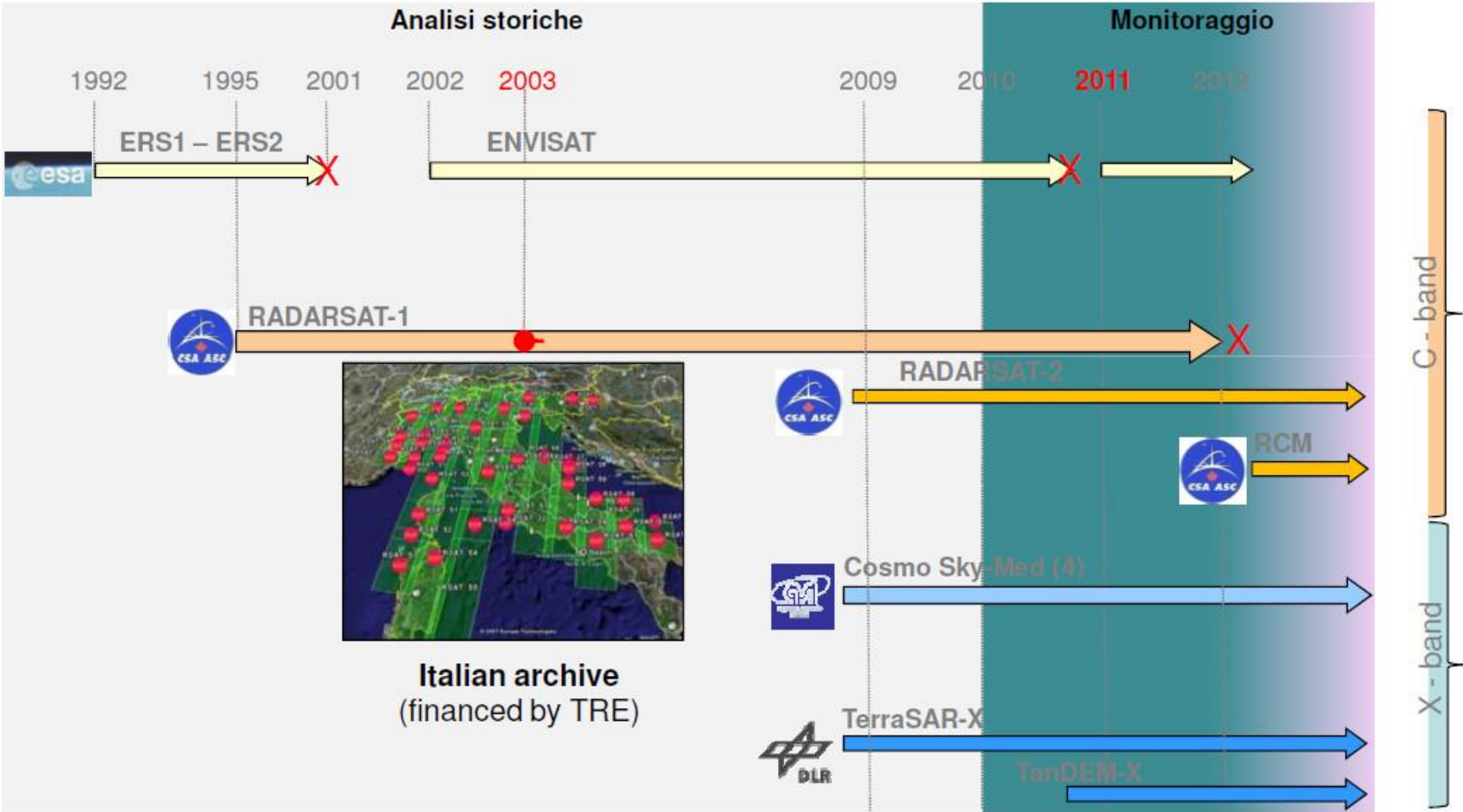
Interferogramma del terremoto di Landers
(a N-E di Los Angeles) del 1992



Analisi PSInSAR™ – Roma 1992-2000

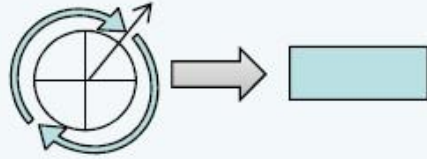
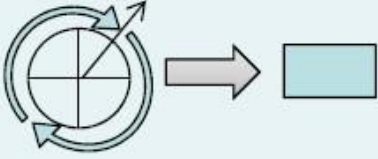
- ❑ Obiettivo delle tecniche interferometriche è quello di misurare da remoto gli spostamenti del terreno utilizzando il segnale di fase delle immagini SAR

❑ Sistemi di monitoraggio delle frane



❑ Principali satelliti

Banda

Banda	Frequenza	Lunghezza d'onda	Caratteristiche
L	1 – 2 GHz	15 – 30 cm 	<i>Bigger swaths, Lower resolution</i>
C	4 – 8 GHz	3,75 – 7,5 cm 	<i>100x100 swaths, ~10m resolution</i>
X	8 – 12 GHz	2,4 – 3,75 cm 	<i>10x10 swaths, Metric resolution</i>

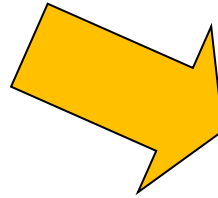
❑ Più è alta la frequenza, più è alta la risoluzione ma minore è l'area indagata

□ Sistemi di monitoraggio delle frane

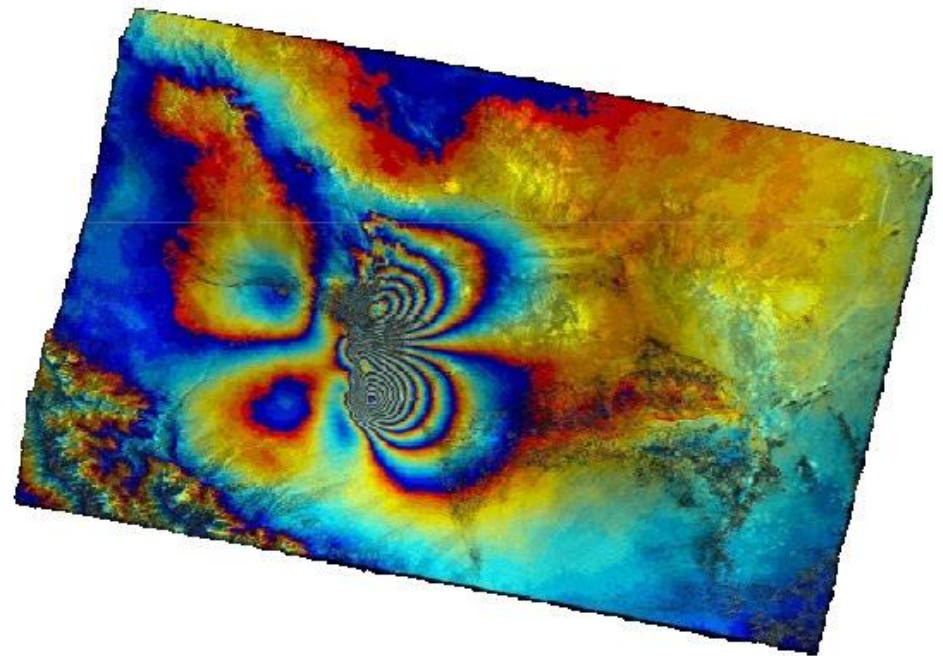
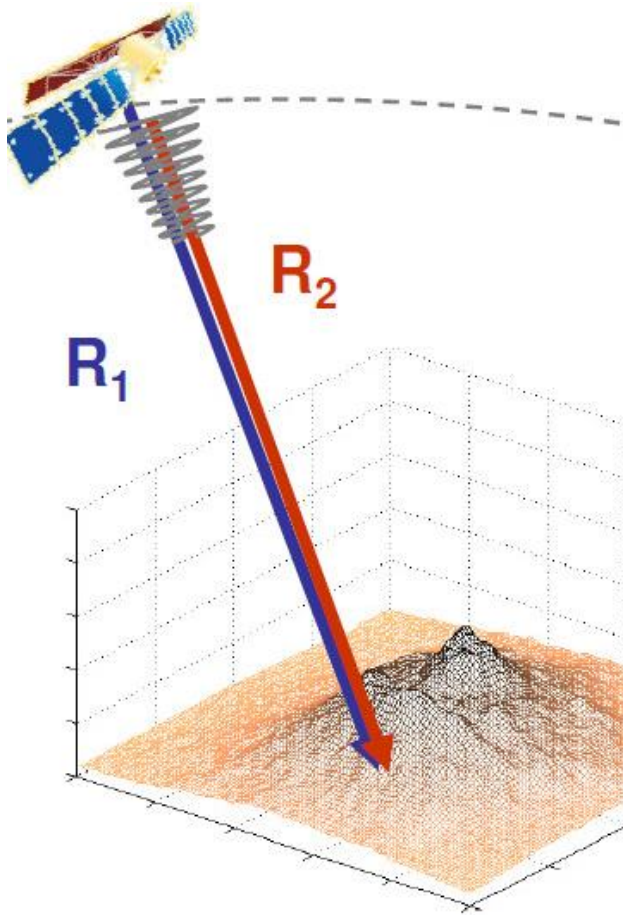
Satellite	Banda	Modalità di acquisizione	Dimensione nominale del pixel range x azimuth (m)	Frequenza di ripetizione dell'orbita (giorni)
ERS-1 & ERS-2	C	<i>Standard Beam</i>	20x4	35
Envisat	C	<i>Standard Beam</i>	20x4	35
Radarsat-1	C	<i>Standard Beam</i>	20x5	24
Radarsat-1	C	<i>Fine Beam</i>	10x5	24
Radarsat-2	C	<i>Standard Beam</i>	20x5	24
Radarsat-2	C	<i>Fine Beam</i>	10x5	24
Radarsat-2	C	<i>Ultra Fine Beam</i>	3x3	24
TerraSAR-X	X	<i>Standard</i>	3x3	11
TerraSAR-X	X	<i>Spotlight</i>	1.5x1.5	11
Cosmo SkyMed	X	<i>Standard</i>	3x3	16 (8)
Cosmo SkyMed	X	<i>Spotlight</i>	1.5x1.5	16 (8)
ALOS PALSAR	L	<i>Fine Beam</i>	10x5	46

❑ Sistemi di monitoraggio delle frane

- ❑ Si paragonano due acquisizioni, sulla stessa area, non nello stesso, acquisite circa dalla stessa posizione



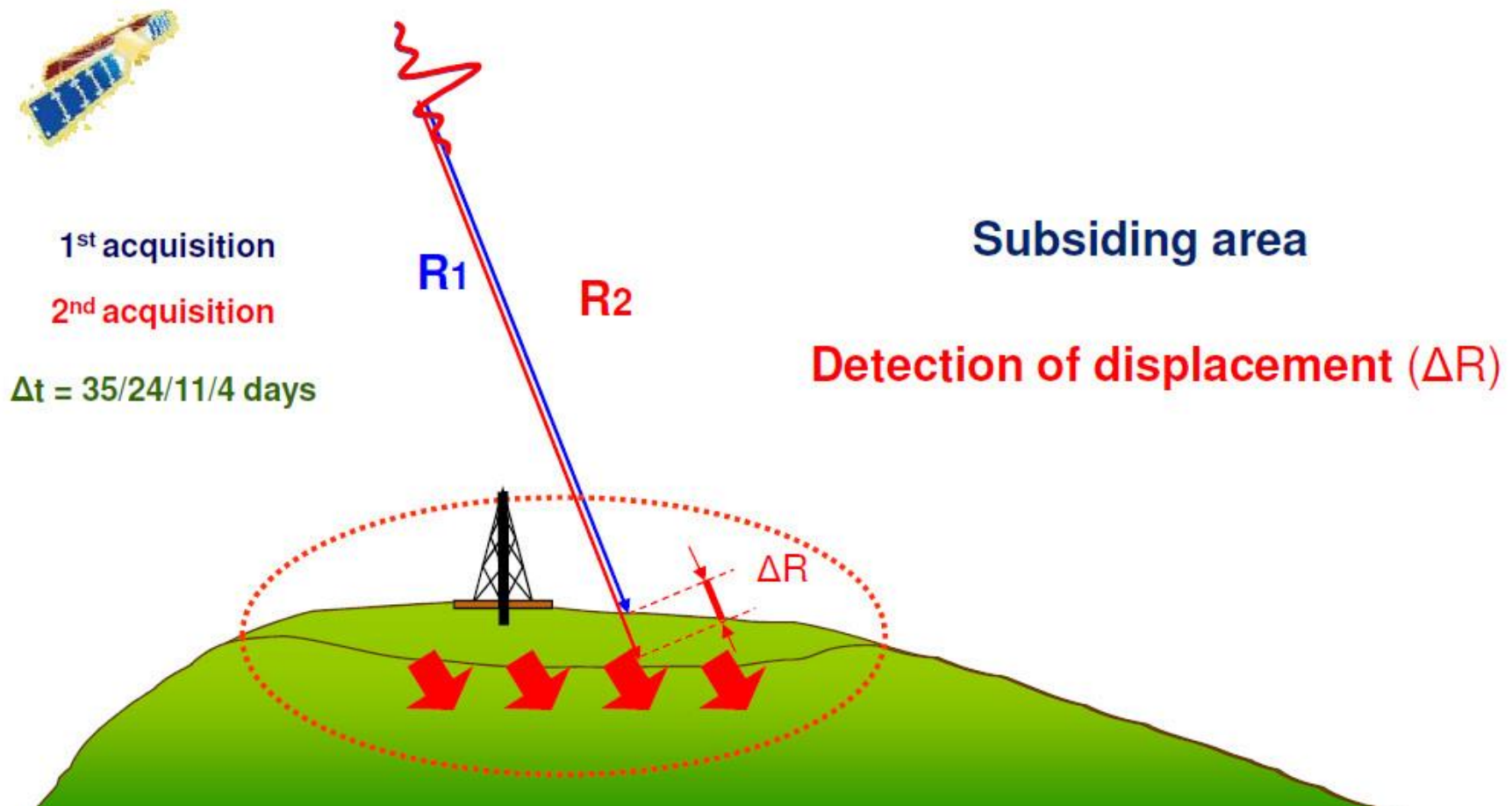
Motion



Map of relative displacement, measured through differences in “phase shift”

❑ Sistemi di monitoraggio delle frane

- ❑ Si misura essenzialmente una finta componente verticale, lungo il punto di vista
- ❑ Questo punto di vista si chiama Line Of Sight (LOS)



❑ Sistemi di monitoraggio delle frane

Typical PS targets:

Rocky Outcrops



Buildings



Linear Structures



Terrain Features



Man-Made Structures

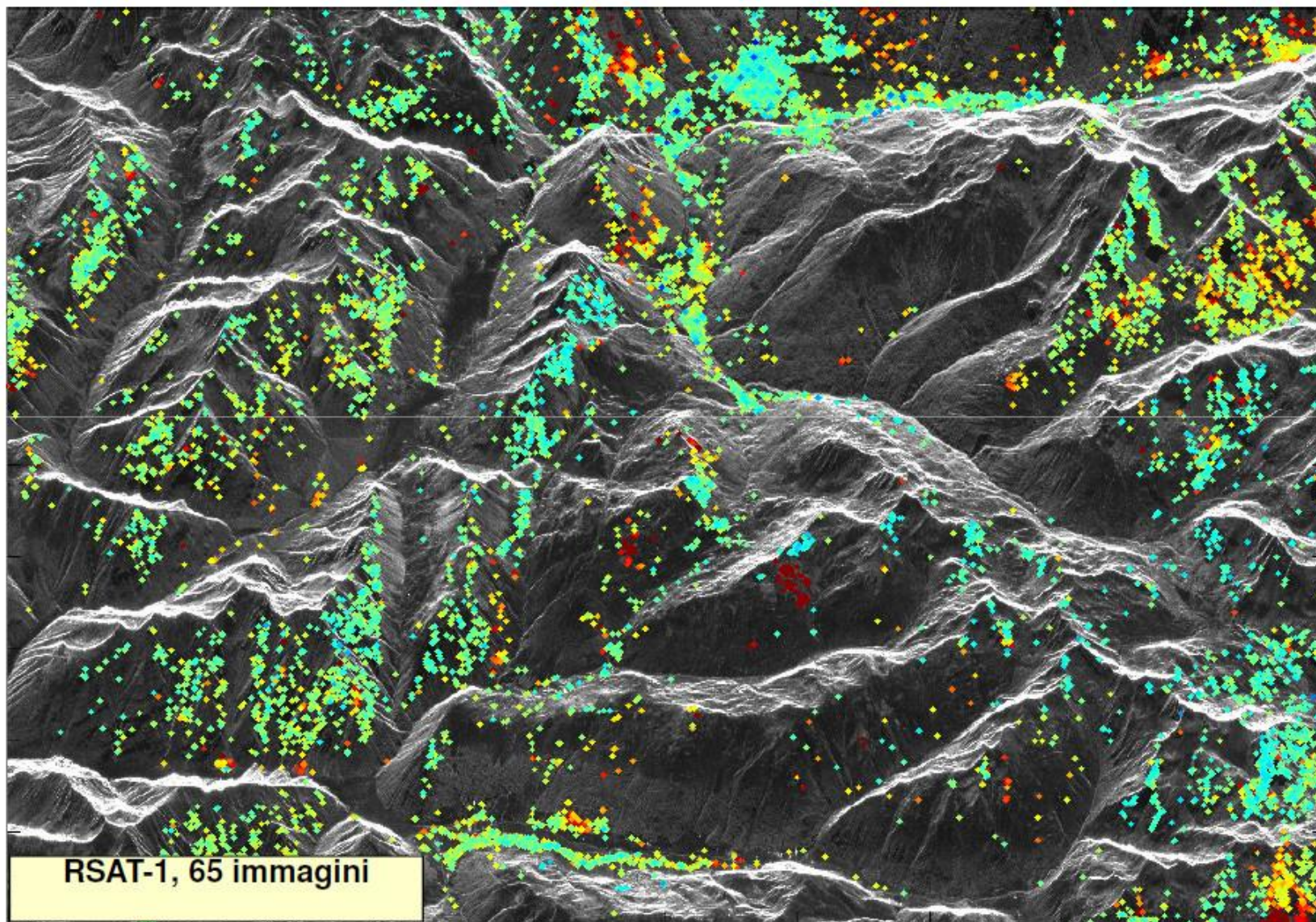


Pipelines

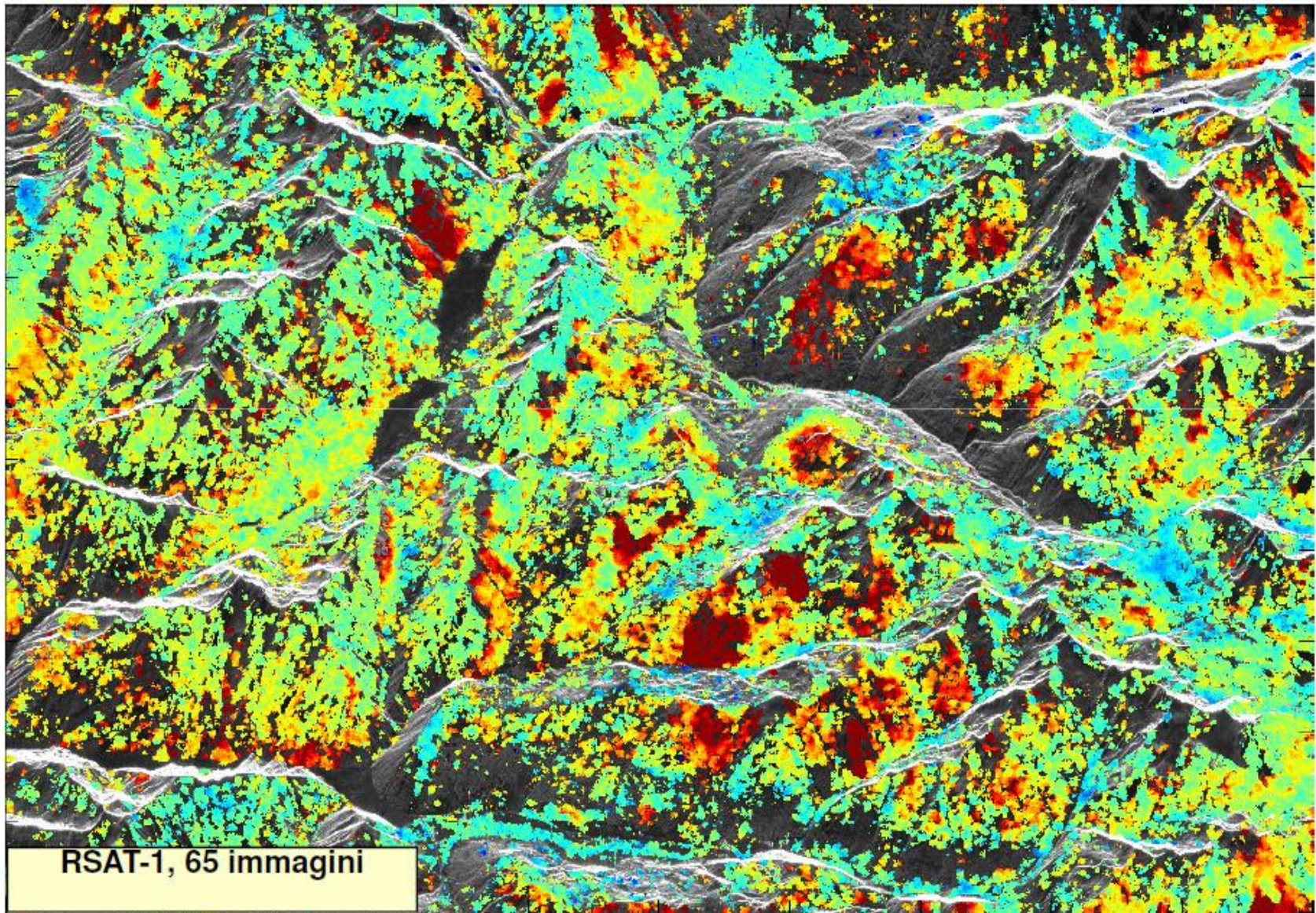


❑ Strutture metalliche riflettono molto bene

❑ Sistemi di monitoraggio delle frane

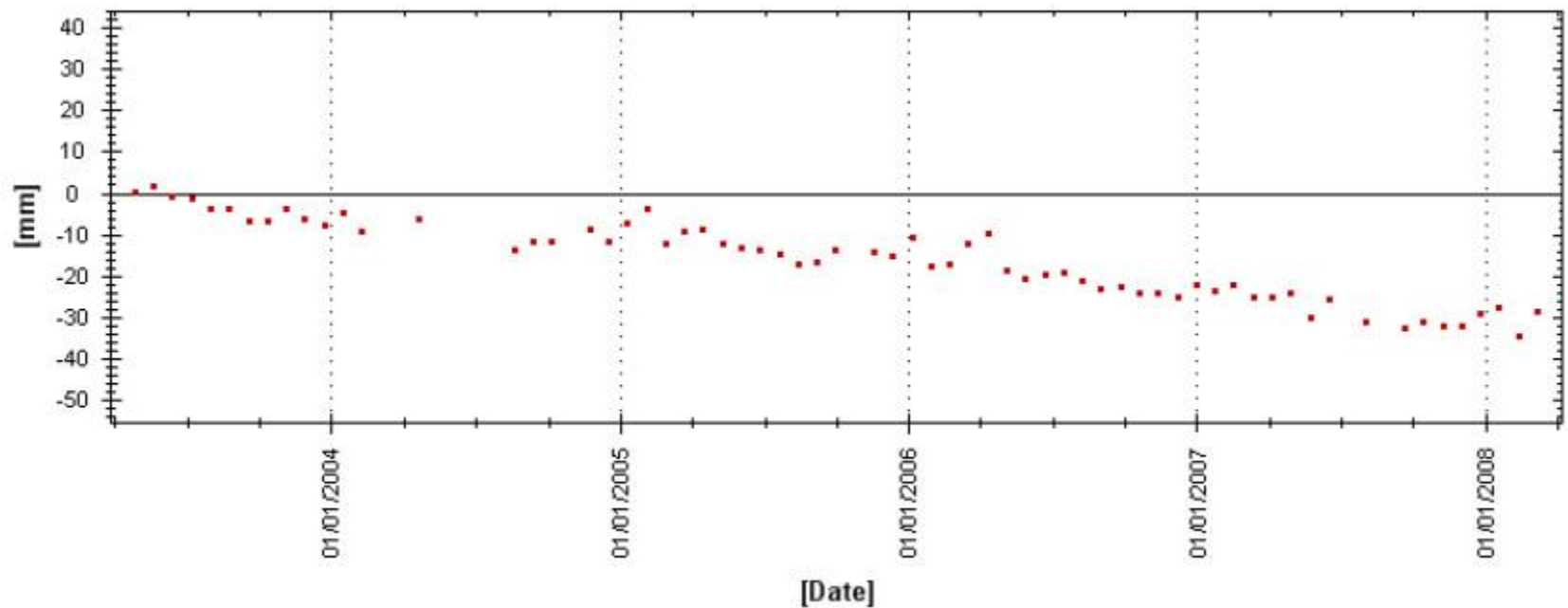


❑ PS con tecnica no TRE



❑ Strutture metalliche riflettono molto bene

❑ Sistemi di monitoraggio delle frane

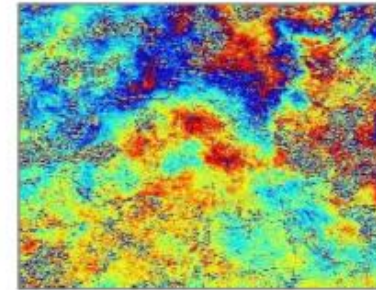


❑ Un punto di monitoraggio ottenuto da un immagine ENVISAT si presenta così

stefano.devoto2015@gmail.com

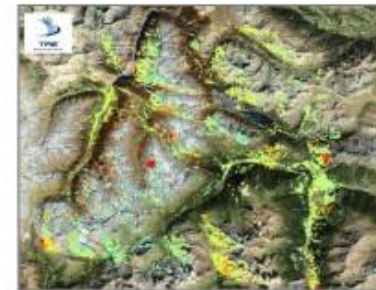
DInSAR

- ✓ Interferometry with digital elevation model (DEM) removed
- ✓ Qualitative, distributed information on ground deformation
- ~~x Severely affected by atmospheric effects and noise~~
- ~~x No historical time series provided~~



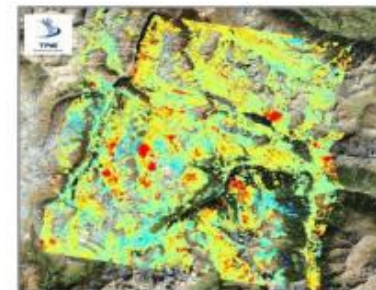
PSInSAR™

- ✓ Exploit stable ground targets – Permanent Scatterers (PS)
- ✓ Atmospheric effects estimated and removed
- ✓ Time series of deformation provided
- ~~x Does not exploit homogeneous Distributed Scatterers (DS)~~



SqueeSAR™

- ✓ Exploit stable ground targets – Permanent Scatterers (PS)
- ✓ Exploit homogeneous Distributed Scatterers (DS)
- ✓ Atmospheric effects estimated and removed
- ✓ Time series of deformation provided



Landslides

DOI 10.1007/s10346-018-0949-5

Received: 1 December 2017

Accepted: 12 January 2018

© Springer-Verlag GmbH Germany,
part of Springer Nature 2018

Rosa María Mateos · Pablo Ezquerro · Jose Miguel Azañón · Bernadí Gelabert · Gerardo Herrera · Jose Antonio Fernández-Merodo · Daniele Spizzichino · Roberto Sarro · Inmaculada García-Moreno · Marta Béjar-Pizarro

Coastal lateral spreading in the world heritage site of the Tramuntana Range (Majorca, Spain). The use of PSInSAR monitoring to identify vulnerability

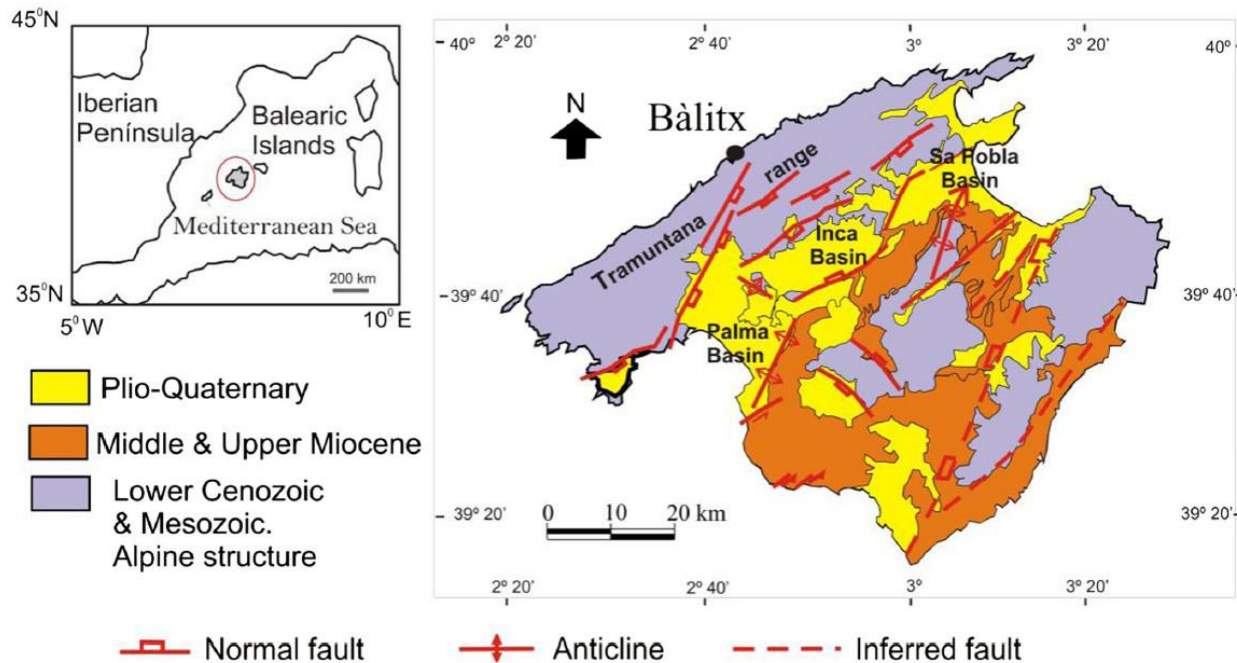


Fig. 2 Location of the island of Majorca in the western Mediterranean and the Tramuntana Range in the northwestern part of the island where the Bàltix site is located. The geological map of Mallorca (based on Sàbat et al. 2011) shows the main geomorphological domains. The Tramuntana range is a Neogene Alpine structure and consists of a series of NW directed thrust sheets. The post-orogenic basins (Palma, Inca and Sa Pobla) are semi-grabens developed along normal faults at the foot of the mountains. The coastal fringe of the Tramuntana Range has a NE-SW trend, parallel to the main tectonic structures

- ❑ Espansioni laterali costiere nel NW di Maiorca
- ❑ Questo articolo ci farà vedere come indagare storicamente le frane

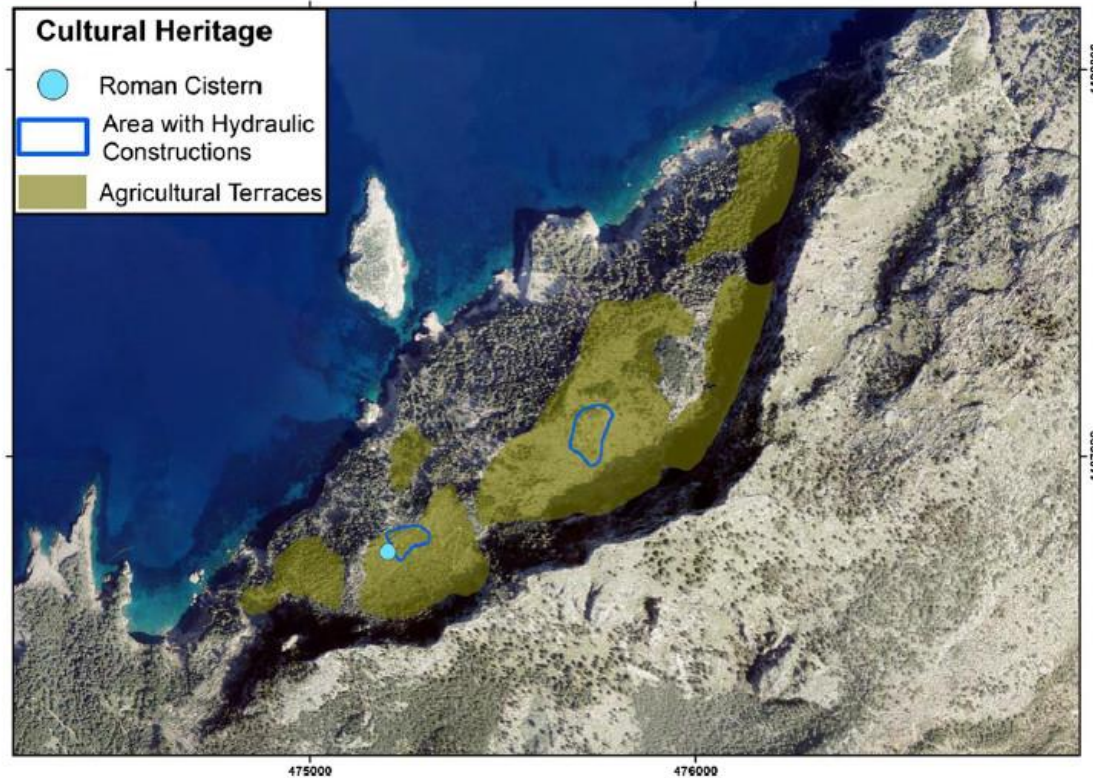


Fig. 6 Map of Bàltx with the cultural heritage elements identified: dry stone walls for agricultural terraces, the Roman cistern and small hydraulic constructions

- ❑ Dal punto di vista geomorfologico, abbiamo una vasta area calcarea limitata da una scarpata
- ❑ Alla base vaste aree terrazzate con elementi d'interesse culturale (cisterna d'età romana)



Fig. 7 Block spreading in Bàltx. Large blocks of limestone are separated and displaced from the main escarpment. This process is more evident in the SW extreme (yellow circle), where the thickness of the limestone layer is not as great and the Triassic soft sediments widely outcrop at the base

- ❑ Vista panoramica del *block spreading*
- ❑ *Soft rock* a livello marino sormontati da calcari



Fig. 8 Large cracks in the hanging block, with decametric lengths and openings of several metres. The cracks have been identified, not only in the cemented breccias (a, d), but also in the soil and in the traditional terrace walls (b, c) showing that it is an active, current process

❑ Mappatura delle discontinuità, con definizione delle loro proprietà

Geomorphological investigation of lateral spreading and dating

Along the fault escarpment

The geological setting of Bàlitz favours the existence of lateral spreading. The thick layer of the limestone formation, which constitutes the scarp, overlies soft and plastic materials (clays and marls with gypsum from the Keuper), and both are laterally unconfined on the coastal face. The distension determines the strong upper layer fracture and their separation into strips moving along the slope. Additional factors favour lateral spreading:

- Dramis and Sorriso-Valvo (1994) consider that folding, even with a slight curvature, can break rocks, favouring the formation and opening of joints. In Bàlitz, the upper limestone massif is folded in a NE-SW open anticline and the strata are highly tilted (Fig. 4).
- Chemical weathering, especially solution processes, has produced a Karst terrain which aids in further widening the joints and allows deeper infiltration of rainwater.

Congruently, a set of vertical fractures parallel to the limestone escarpment has been identified and which results in large blocks of rock moving very slowly over the Keuper sediments. Nevertheless, lateral spreading is much more evident in the SW part of the escarpment (Fig. 7), as the thickness of the limestone layer is not as great and the soft Triassic sediments widely outcrop. In this

- ❑ La presenza di espansioni laterali è legata alla presenza di argille e marne gessi
- ❑ La distensione determina l'apertura di fratture e la loro separazione in *strip* lungo il versante
- ❑ Additional factor sono
 - *Folding*
 - *Chemical weathering*

sector, blocks with a volume over 60,000 m³, heights of 95 m, and lateral displacements up to 70 m are identified (Figs. 5a and 7). The movement ends with the collapse of the block, which is fragmented and accumulated at the foot of the scarp giving rise to a chaotic deposit constituted by karstified breccias cemented by calcite, with a thickness up to 65 m (Fig. 4). Along the escarpment, different stages of block spreading can be observed: initial detachment, displacement phase, block collapse and deposit. A detailed analysis of the breccia deposit reveals large inserted dolostone blocks, some of them with flowstones in different positions, proving that the blocks have moved. Additionally, many blocks are also the result of a significant rockfall activity along the escarpment.

Dating

To be able to date the beginning of lateral spreading at the escarpment, a thorough survey of the resulting deposits was carried out. An outcropping located at the base of the deposit was selected (sample S in Fig. 3) as it was considered to be the oldest outcrop. It is a breccia deposit with large blocks inserted (some of them > 3000 m³ in volume) and with flowstones. The calcite cement in the breccia deposit has been dated with Th/U (Noller et al. 2000), and a date of 82.5 ± 5.6 kyr was obtained. This dating reveals that lateral spreading has been active since (at least) the Late Pleistocene.

also the soil and the traditional stone walls in the area (Fig. 8b, c). They are decametric cracks with openings up to 50 m in width and depths over 30 m, and they constitute a high risk in the area, which is very popular with hikers. Chemical weathering, especially solution processes, has produced a karst terrain which contributes to a further widening and deepening of the cracks, allowing a deeper infiltration of rainwater. A rose diagram of the orientations of the cracks is represented in Fig. 9. The preferential orientation is N45° E, parallel to the coastline. Field observations determine that cracks located in the northeastern sector show signs of major activity as they continuously distort the traditional terraced walls (Fig. 8c) which regularly have to be rebuilt.

Additionally, numerous recent and shallow landslides have been mapped as well as rockfall deposits. A geomorphological map has been drawn up (Fig. 9) representing all those features related to current slope activity. Large collapsed blocks at the base of the escarpment, which correspond to the lateral spreading process, have also been represented.

PSInSAR analysis exploiting ALOS PALSAR radar images

The methodology presented by Bianchini et al. (2013) to create landslide activity maps by means of Persistent Scatterer Interferometry (PSI) was of use in evaluating the state of activity of the existing landslides throughout the Tramuntana Range. The exploitation of ALOS PALSAR

- ❑ 4 differenti stage sono stati individuati
- ❑ Sono state mappate numerose e *shallow landslides*

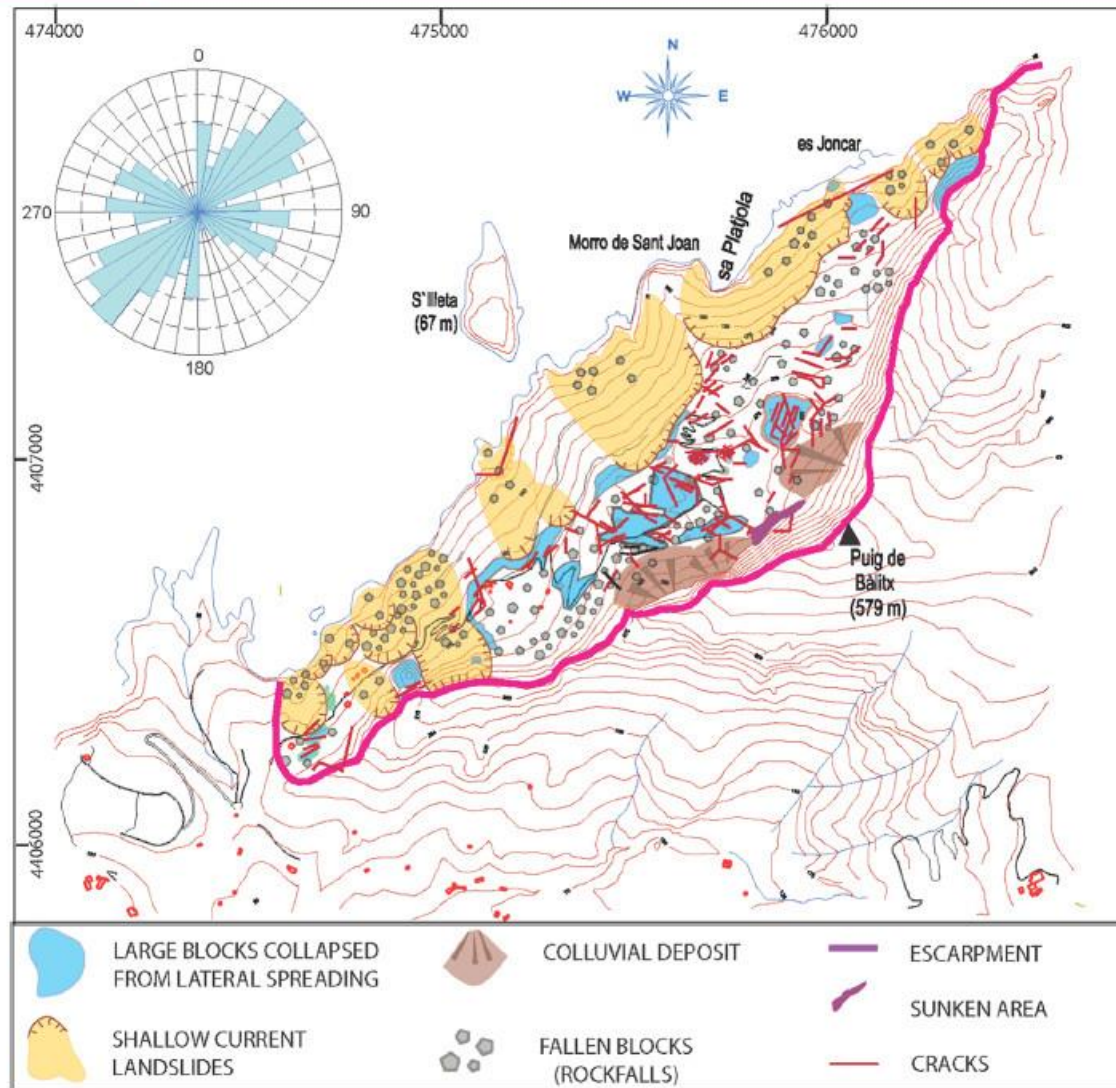


Fig. 9 Geomorphological map. All features relating to present-day active processes are represented: cracks, shallow slides, lateral spreading collapsed blocks, rockfall blocks, etc. A rose diagram of the orientations of the cracks is represented, showing preferential N45°E, parallel to the coastline

❑ Mappa geomorfologica

Landslides
DOI 10.1007/s10346-018-0949-5
Received: 1 December 2017
Accepted: 12 January 2018
© Springer-Verlag GmbH Germany,
part of Springer Nature 2018

Rosa María Mateos · Pablo Ezquerro · Jose Miguel Azañón · Bernadí Gelabert · Gerardo Herrera · Jose Antonio Fernández-Merodo · Daniele Spizzichino · Roberto Sarro · Inmaculada García-Moreno · Marta Béjar-Pizarro

Coastal lateral spreading in the world heritage site of the Tramuntana Range (Majorca, Spain). The use of PSInSAR monitoring to identify vulnerability

PSInSAR analysis exploiting ALOS PALSAR radar images

The methodology presented by Bianchini et al. (2013) to create landslide activity maps by means of Persistent Scatterer Interferometry (PSI) was of use in evaluating the state of activity of the existing landslides throughout the Tramuntana Range. The exploitation of ALOS PALSAR satellite images acquired during the period 2007–2010 allowed the detection of over 300,000 measurement points (PS) of ground surface displacement and the identification of 42 active landslides with an average velocity greater than 5 mm/year. The main criterion in selecting the ALOS PALSAR imagery was the temporal spanning, as it covered a very rainy period on the island. During the period 2008 and 2010, the island of Mallorca experienced the coldest and wettest winters of the last 48 years with accumulated rainfall twice the average and values of daily rainfall up to 300 mm (Mateos et al. 2012). Additionally, high rainfall values coincided with low temperatures and freezing processes in the highest zones of the Tramuntana Range. The coast of the range was also struck by numerous marine storms with waves over 8 m. The severe

- ❑ PSIinSAR analisi è stata applicata per vedere lo stato d'attività delle frane
- ❑ Immagini dei satelliti ALOS PALSAR
- ❑ 300.000 PS
- ❑ 42 frane
- ❑ Velocità media di 5mm/anno
- ❑ Periodo investigato 2007-2010

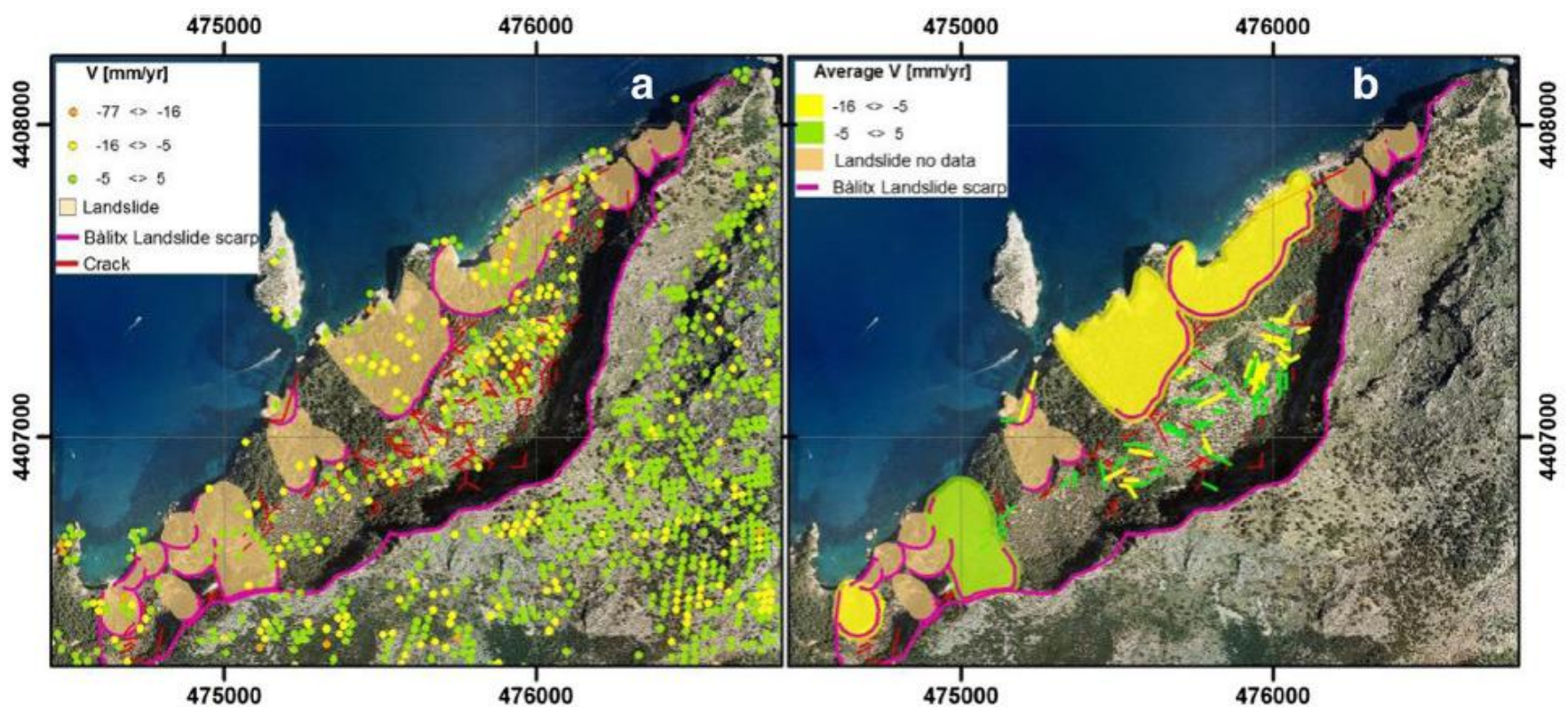


Fig. 10 ALOS PALSAR PSI results. a VSLOPE velocity map (mm/year) superimposed onto the geomorphological map. b Average velocity value for each geomorphological feature (landslides and cracks). The northeastern part of the Bàltx landslide is currently the most active area

- ☐ VSLOPE velocity map sovrapposta alla geomorfologia
- ☐ Nella carta di destra, 11 frane sono classificate come No active, mentre altre 4 hanno un numero sufficiente di PS per essere classificate in funzione della velocità
- ☐ Le 4 frane sono state classificate con limite 5mm/anno

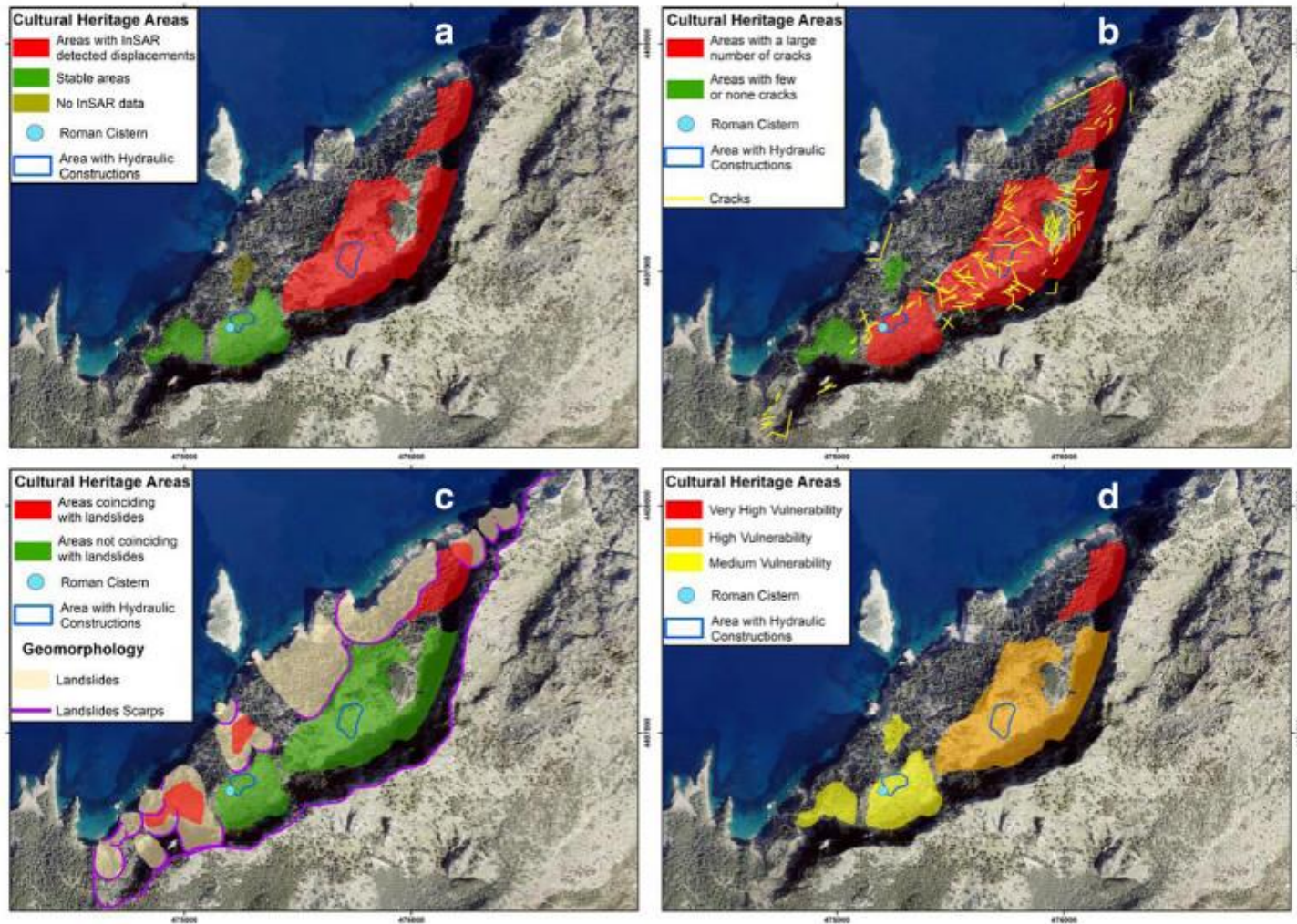


Fig. 12 Vulnerability approach for the cultural heritage elements. **a** PSI results: cultural heritage polygons located in areas with VSLOPE > -5 mm/year (red) and VSLOPE < -5 mm/year (green); **b** crack location: polygons with N. cracks < 6 (in green) and those with N. cracks > 6 (in red); **c** landslides: polygons which coincide (partially or totally) with landslide bodies (in red), and those which do not (in green); **d** vulnerability classification of the cultural heritage areas

□ Analisi della vulnerabilità dei poligoni del cultural heritage (immagine d)

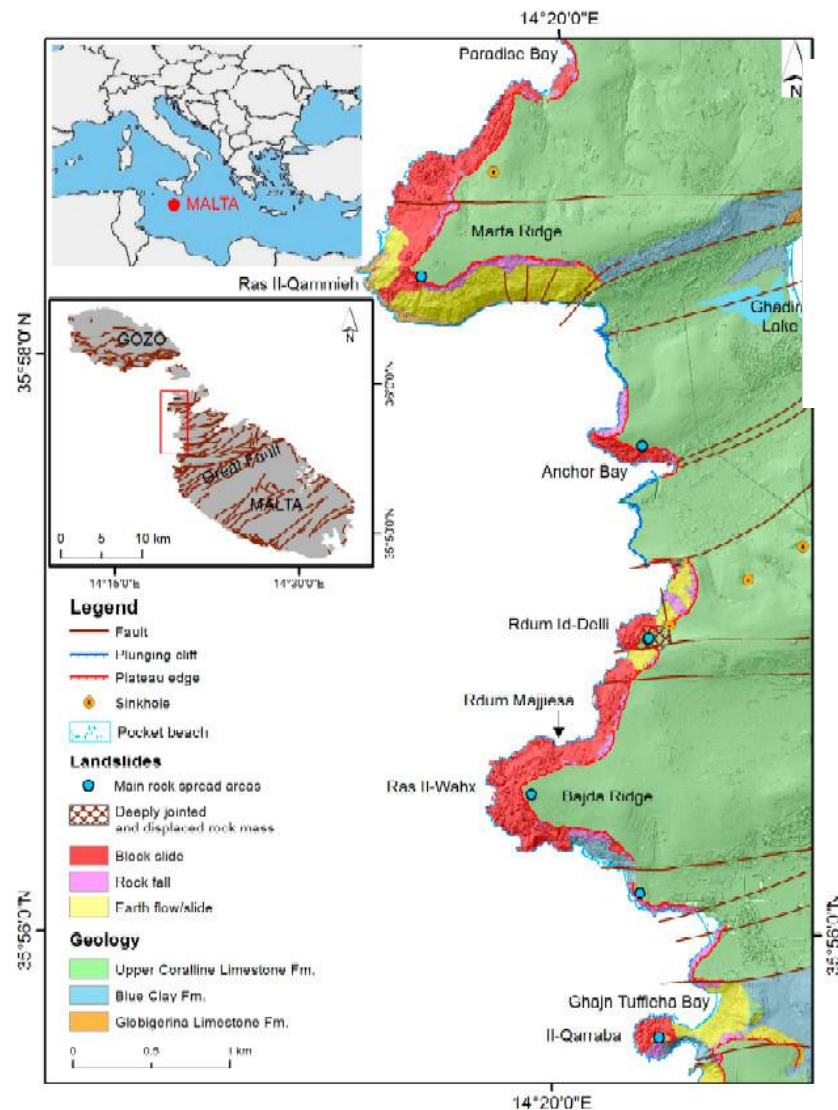


Figure 1. Geological and geomorphological setting of the study area.



Article

Advanced SAR Interferometric Analysis to Support Geomorphological Interpretation of Slow-Moving Coastal Landslides (Malta, Mediterranean Sea)

Matteo Mantovani ¹, Stefano Devoto ², Daniela Piacentini ³, Mariacristina Prampolini ^{4,*}, Mauro Soldati ⁴ and Alessandro Pasuto ¹

- Espansioni laterali costiere nel NW di Malta
- Questo articolo ci farà vedere come tramite la tecnica interferometrica si può indagare l'evoluzione geomorfologica di un vasto tratto di costa, non monitorato da sistemi tradizionali quali il GPS



- ❑ Espansioni laterali che evolvono in *block slide*
- ❑ Mancanza di vegetazione favorisce la presenza di *target* interferometrici

❑ Satelliti pre-2000

No.	Sensor	Date of Acquisition (yyyy-mm-dd)	Orbit Number	Julian Day	Temporal Baseline (days)	Perpen—Dicular Baseline (m)	Notes
1	ERS-1	1992-08-14	5649	2,448,849	-1809	-777	
2	ERS-1	1992-09-18	6150	2,448,884	-1774	436	
3	ERS-1	1992-10-23	6651	2,448,919	-1739	-355	
4	ERS-1	1993-03-12	8655	2,449,059	-1599	-126	
5	ERS-1	1993-05-21	9657	2,449,129	-1529	-121	
6	ERS-1	1993-06-25	10,158	2,449,164	-1494	-86	
7	ERS-1	1993-07-30	10,659	2,449,199	-1459	261	
8	ERS-1	1993-08-10	11,661	2,449,269	-1389	-193	
9	ERS-1	1993-12-17	12,663	2,449,339	-1319	787	
10	ERS-2	1995-11-06	2835	2,450,028	-630	355	
11	ERS-2	1996-04-29	3558	2,450,202	-456	802	
12	ERS-2	1996-08-12	6861	2,450,308	-350	-178	
13	ERS-2	1996-09-16	7362	2,450,343	-315	-98	
14	ERS-2	1996-10-21	7863	2,450,378	-280	626	
15	ERS-2	1996-11-25	8364	2,450,413	-245	971	
16	ERS-2	1996-12-30	8865	2,450,448	-210	-30	
17	ERS-2	1997-03-10	9867	2,450,518	-140	28	
18	ERS-2	1997-04-14	10,368	2,450,553	-105	600	
19	ERS-2	1997-07-28	11,871	2,450,658	0	0	
20	ERS-2	1997-10-06	12,837	2,450,728	70	386	
21	ERS-2	1997-11-10	13,374	2,450,763	105	-382	
22	ERS-2	1997-12-15	13,875	2,450,798	140	-382	
23	ERS-2	1998-01-19	14,376	2,450,833	175	-447	
24	ERS-2	1998-02-23	14,877	2,450,868	210	-612	
25	ERS-2	1998-06-08	16,380	2,450,973	315	679	
26	ERS-2	1998-07-13	16,881	2,451,008	350	-574	
27	ERS-2	1998-08-17	17,382	2,451,043	385	-281	
28	ERS-1	1998-09-20	37,556	2,451,077	419	75	
29	ERS-2	1998-09-21	17,883	2,451,078	420	-240	
30	ERS-2	1998-10-26	18,384	2,451,113	455	251	
31	ERS-2	1998-11-30	18,885	2,451,148	490	-127	
32	ERS-2	1999-01-04	19,386	2,451,183	525	-1427	
33	ERS-2	1999-03-15	20,388	2,451,252	594	130	
34	ERS-2	1999-04-19	20,889	2,451,288	630	513	
35	ERS-2	1999-05-24	21,390	2,451,323	665	121	
36	ERS-2	1999-08-02	22,392	2,451,393	735	2	
37	ERS-2	1999-09-06	22,893	2,451,428	770	-475	
38	ERS-2	1999-10-11	23,394	2,451,463	805	-623	
39	ERS-2	1999-11-15	23,895	2,451,498	840	147	
40	ERS-2	1999-12-20	24,396	2,451,532	874	-178	
41	ERS-2	2000-01-24	24,897	2,451,568	910	33	
42	ERS-2	2000-02-28	25,398	2,451,603	945	-476	
43	ERS-2	2000-04-03	25,899	2,451,638	980	149	
44	ERS-2	2000-05-08	26,400	2,451,673	1015	663	
45	ERS-2	2000-06-12	26,901	2,451,708	1050	-270	
46	ERS-2	2000-07-17	27,402	2,451,743	1085	-478	
47	ERS-2	2000-08-21	27,903	2,451,778	1120	278	
48	ERS-2	2000-09-25	28,404	2,451,813	1155	500	
49	ERS-2	2000-10-30	28,905	2,451,848	1190	73	
50	ERS-2	2000-12-04	29,406	2,451,883	1225	160	

Remote Sens. 2016, 8, 443

6 of 18

Table 2. ENVISAT dataset. Track 494, frame 2889 descending, swath I2. Images denoted in the NOTES column as noisy are those which have been removed from the final iteration due to the strong presence of atmospheric disturbances. Image denoted with MASTER is the reference images from which all the interferograms have been generated.

No.	Sensor	Date of Acquisition (yyyy-mm-dd)	Orbit Number	Julian Day	Temporal Baseline (days)	Perpen—DICULAR Baseline (m)	Notes
1	ASAR	2003-04-28	6059	2,452,758	-1400	1339	Noisy
2	ASAR	2003-08-11	7562	2,452,863	-1295	-860	Noisy
3	ASAR	2004-02-02	10,067	2,453,038	-1120	665	
4	ASAR	2004-03-08	10,568	2,453,073	-1085	139	
5	ASAR	2004-04-12	11,069	2,453,108	-1050	766	
6	ASAR	2004-05-17	11,570	2,453,143	-1015	-227	
7	ASAR	2004-07-26	12,572	2,453,213	-945	191	
8	ASAR	2004-08-30	13,073	2,453,248	-910	97	Noisy
9	ASAR	2004-10-04	13,574	2,453,283	-875	-103	
10	ASAR	2004-11-08	14,075	2,453,318	-840	-401	
11	ASAR	2004-12-13	14,576	2,453,353	-805	-259	
12	ASAR	2005-01-17	15,077	2,453,388	-770	-349	
13	ASAR	2005-02-21	15,578	2,453,423	-735	-655	
14	ASAR	2005-03-28	16,079	2,453,458	-700	-864	
15	ASAR	2005-08-15	18,083	2,453,598	-560	-198	
16	ASAR	2005-10-24	19,085	2,453,668	-490	349	
17	ASAR	2005-11-28	19,586	2,453,703	-455	-288	
18	ASAR	2006-02-06	20,588	2,453,773	-385	-750	
19	ASAR	2006-03-13	21,089	2,453,808	-350	-66	
20	ASAR	2006-04-17	21,590	2,453,843	-315	-170	
21	ASAR	2006-06-26	22,592	2,453,913	-245	418	
22	ASAR	2006-09-04	23,594	2,453,983	-175	336	Noisy
23	ASAR	2007-01-22	25,598	2,454,123	-35	556	
24	ASAR	2007-02-26	26,099	2,454,158	0	0	Master
25	ASAR	2007-04-02	26,600	2,454,193	35	375	
26	ASAR	2007-06-11	27,602	2,454,263	105	-207	
27	ASAR	2007-08-20	28,604	2,454,333	175	-63	Noisy
28	ASAR	2008-01-07	30,608	2,454,473	315	-474	
29	ASAR	2008-03-17	31,610	2,454,543	385	-205	
30	ASAR	2009-03-02	36,620	2,454,893	735	174	
31	ASAR	2009-04-06	37,121	2,454,928	770	453	
32	ASAR	2009-05-11	37,622	2,454,963	805	-113	
33	ASAR	2009-07-20	38,624	2,455,033	875	33	

❑ Satelliti usati post-2000

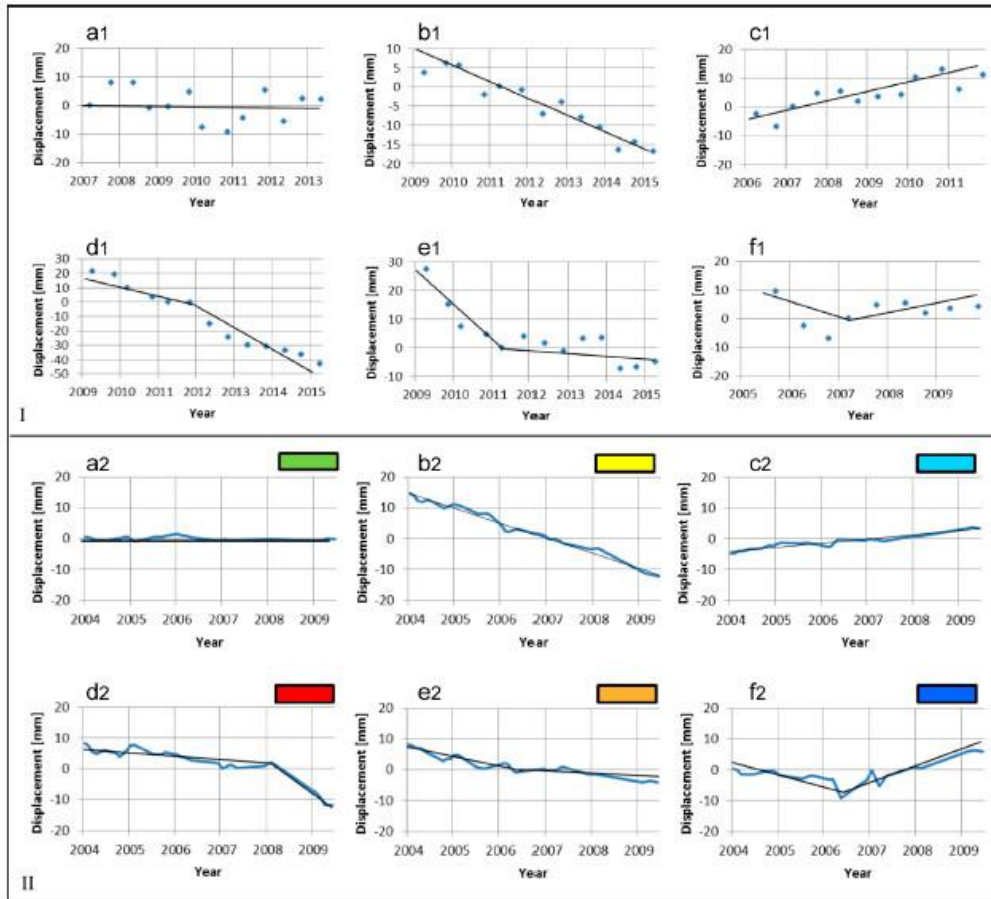


Figure 4. Graphs showing the patterns used to identify the six deformation trend classes used in our model: (a1,a2) stable; (b1,b2) deforming linearly downhill; (c1,c2) deforming linearly uphill; (d1,d2) accelerating downhill; (e1,e2) decelerating downhill; (f1,f2) with discontinuous rate and trend. Sub-figures (a1–f1) represent the patterns of deformation recorded by GNSS benchmarks and projected along the LOS; sub-figures (a2–f2) show the time series measured with the interferometric analysis at ENVISAT PS locations.

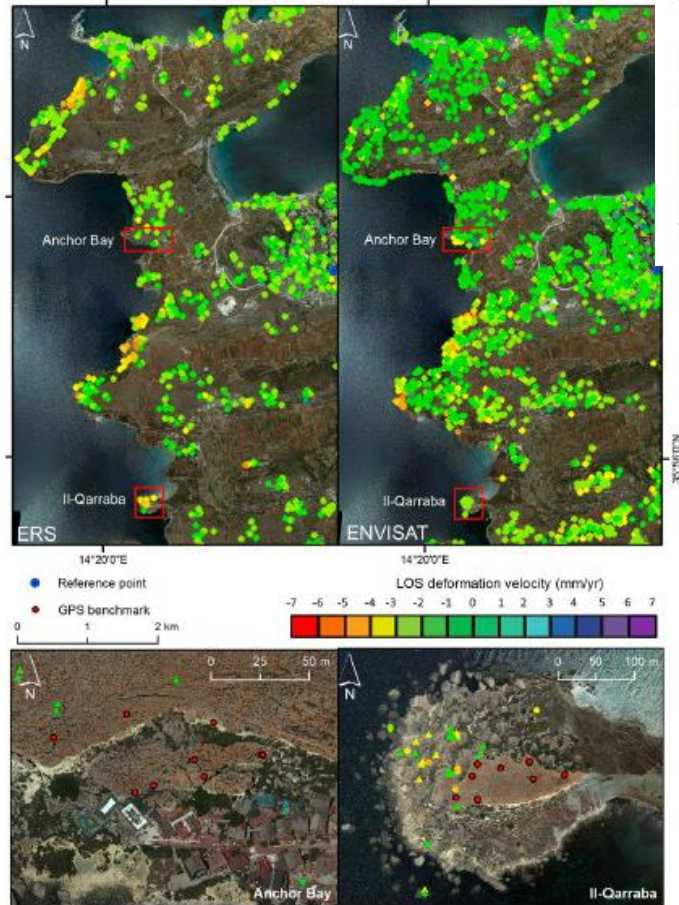
□ Il grafico di destra individua 6 *deformation trend* identificati da 6 diversi colori:

- Stabile
- *Deforming linearly downhill*
- *Deforming linearly uphill*
- *Accelerating downhill*
- *Decelerating downhill*
- *Trend di tipo discontinuo*

4. Data Analysis and Results Interpretation

Over the northern part of Malta, 2763 ERS and 6386 ENVISAT persistent scatterers (Figure 5) were identified.

Datasets were processed using the same reference point in order to avoid biased results. Most of the point targets are stable, while deformations are recorded along several sectors of the coast, where slope-failure processes are widespread. PSI processing allowed recognizing active landslides and measure their movement rates, which resulted to be extremely slow, ranging from 1 to 7 mm/year. Furthermore, it is observable that the rate of activity has changed through years. Some sectors show higher rate of deformations in the ERS (1992–2001) acquisitions than in the ENVISAT (2004–2009) and vice-versa. ENVISAT dataset (Figure 5) appears more noisy than ERS because of the lower number

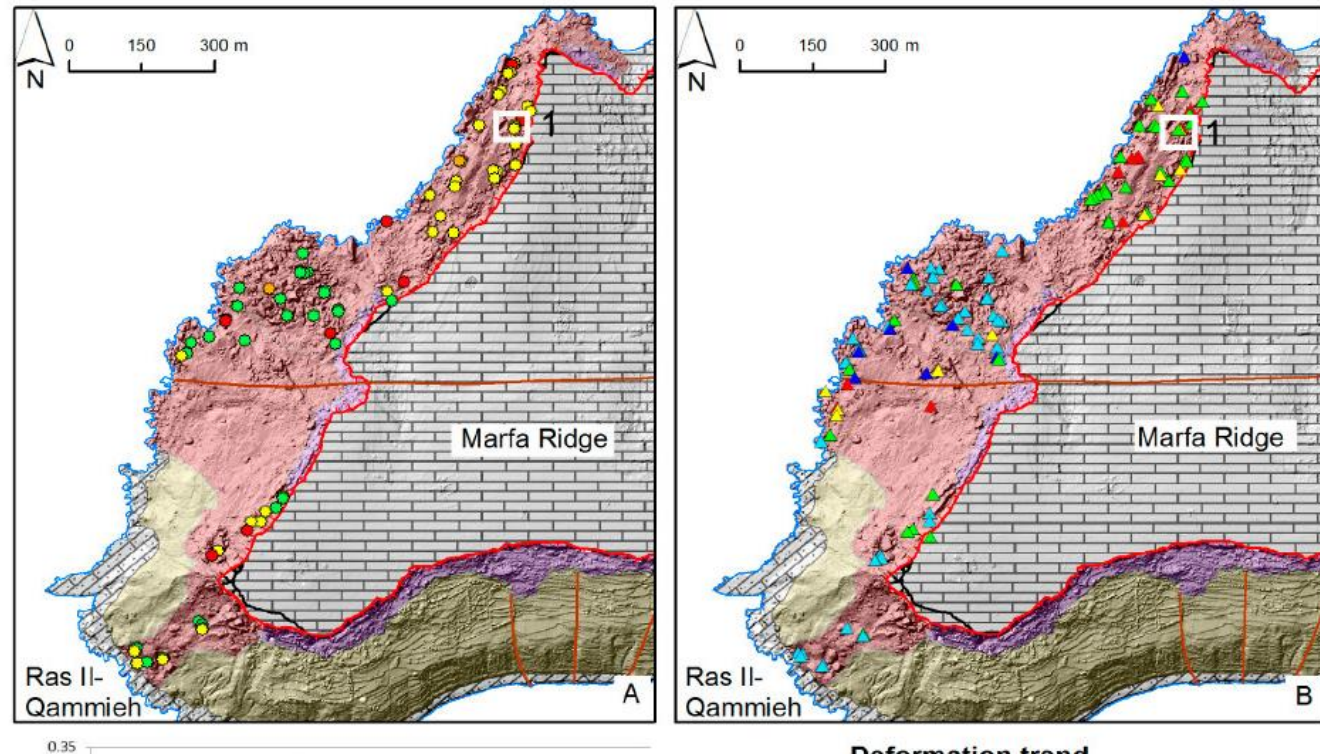


- ❑ 2763 ERS PS
- ❑ 6386 ENVISAT PS
- ❑ PSI processing ha permesso di riconoscere le frane attive e determinare il loro stato d'attività, non costante negli anni
- ❑ Velocità bassissime, da 1 a 7 mm/anno

Figure 5. Results of the IPTA analysis performed on the ERS dataset (1999–2000) and ENVISAT dataset (2004–2009). Below the GNSS benchmark location at the site of Anchor Bay and Il-Qarraba.

Table 3. Statistical parameters of the interferometric analysis.

Dataset	Standard Deviation Residual Phase (rad)	Estimated Height Uncertainty (m)	Estimated Deformation Rate Uncertainty (mm/yr)	Stable PS (%)	Deforming PS (%)
ERS	0.616	0.300	0.159	84.80	15.20
ENVISAT	0.627	0.405	0.319	69.95	30.05



Rock falls and rock topples occur at the edges of the plateau and are favored by rock spreading *cf.* [22]. The histogram in Figure 8 highlights that the majority of ERS PS shows a downhill deformation, while several ENVISAT PS are affected by uplift. Moreover, it can be noticed that the site shows different deformation trends. Thereby, areas characterized by linear subsidence in ERS images and appearing stable in ENVISAT ones are alternated with areas that, in contrast, seem to be stable in ERS dataset and show uplift in ENVISAT acquisitions. A difference in the rate of deformation, can also be noticed from Figure 8, between the northern and the southern sectors, being the former slightly faster. In summary the two dataset allowed us to frame two different stages of an extremely slow deformation process.



Deformation trend

ERS	ENVISAT	
●	▲	Stable
●	▲	Downhill (linear)
●	▲	Downhill (accelerating)
●	▲	Downhill (decelerating)
●	▲	Uplift
●	▲	Discontinuous

Legend	Landslides	Geology
— Fault	 Earth flow/slide	 Upper Coralline Limestone Fm.
— Main crack	 Block slide	 Blue Clay Fm.
— Plateau edge	 Rock fall	 Globigerina Limestone Fm.

□ Marfa Ridge landslide

1. *Stable area.* No significant deformation trend can be detected by the interferometric analysis. The majority of stable PS can be found in correspondence of wide block slide deposits or over the less jointed portions of plateaus. It is likely that the stability of the latter can be related to the limited thickness of the limestone slabs or to the presence of extensive network of joints that do not favor the presence of a karst aquifer. These types of settings occur at Il-Qarraba for which the interferometric results confirm the above mentioned hypothesis.
2. *Downhill-moving area.* A significant increment in LOS distance between the target and the sensor can be detected. The associated deformation trend can be interpolated linearly and can be constant through time or discontinuous (*i.e.*, accelerating or decelerating). The PS showing this behavior were interpreted as blocks detached from the plateau that began to move downward towards the sea. The deformation process may be ascribable to the presence of a slip surface. This kind of movement is more common in the upper part of steep slopes as in the area of Rdum id-Delli and Rdum Majjiesa. Again the interferometric results appear consistent with this geomorphological interpretation.
3. *Discontinuous-moving area.* The seaward translation of the blocks on the surface is irregular. When the steepness of the slope decreases or the slip surface progressively becomes sub-horizontal, the blocks might come to a temporary rest. The consequent uplift measured in terms of reduction of the LOS is likely to be associated to a backward tilting of the blocks towards the plateau favored by the bulging and expansion of the underlying clay. This style of deformation is evident at Marfa Ridge where blocks that slide towards the sea, according to the ERS dataset, subsequently showed a back-tilting in the interferometric analysis performed using ENVISAT images. On the other hand, according to PS measurements on ERS dataset, at Ras Il-Whax blocks first show a discontinuous deformation trend and then appear to be stable or to re-start their descent along the slope.

I risultati dell'analisi interferometrica ha permesso di evidenziare 4 aree a diverso comportamento geomorfologico

Stable area

Downhill-moving area

Discontinuous-moving trend

Uplift-moving area

-
4. *Uplift-moving area.* It is the natural evolution of the discontinuous trend, as a matter of fact it is frequently observed around cluster of blocks characterized by this type of deformation as can be clearly noted in Figures 7 and 11. This behavior is also favored by the bulging and the expansion of the underlying clay.



Perception of flood and landslide risk in Italy: a preliminary analysis

P. Salvati, C. Bianchi, F. Fiorucci, P. Giostrella, I. Marchesini, and F. Guzzetti

- ❑ Per valutare la percezione del rischio, [Salvati et al. \(2014\)](#) hanno commissionato alla Doxa un sondaggio telefonico nel 2013
- ❑ Il questionario consiste in 5 domande
 - Percezione dei rischi naturali
 - Diretta esperienza o conoscenza generale degli intervistati sull'*occurrence* da frana
 - Percezione del rischio da frana
 - Generale conoscenza sul numero delle vittime causate da frana
 - Conoscenza sui fattori che causano le frane

Table 1. Questions listed in the questionnaires used to determine the perception of flood and landslide risk in Italy, in 2012 and 2013. The original questions in Italian are in italics.

2012	2013	Question
*	*	Q1 How much do you feel exposed to each of these risks: (a) landslide, (b) flood, (c) earthquake, (d) volcanic eruption, (e) road accident, (f) environmental pollution? Possible answers: (1) considerably exposed, (2) somewhat exposed, (3) little exposed, (4) not exposed. <i>Quanto pensa di essere esposto a ciascuno di questi rischi: (a) frana, (b) inondazione, (c) terremoto, (d) eruzione vulcanica, (e) incidente stradale, (f) inquinamento ambientale? Possibili risposte: (1) molto, (2) abbastanza, (3) poco, (4) per niente.</i>
*	*	Q2 Among these natural events, (a) landslide, (b) flood, (c) earthquake, and (d) volcanic eruption, which you believe to be most frequent or most likely to occur in the municipality where you live, or nearby? Possible answers: (1) landslide, (2) flood, (3) earthquake, (4) volcanic eruption, (5) none of these, (6) I don't know. <i>Tra questi eventi naturali (a) frana, (b) inondazione, (c) terremoto, (d) eruzione vulcanica, quale crede essere il più frequente o il più probabile che avvenga nel comune dove lei vive, o nelle vicinanze? Possibili risposte: (1) frana, (2) inondazione, (3) terremoto, (4) eruzione vulcanica, (5) nessuno di questi, (6) non so.</i>
*	*	Q3 Do you have direct knowledge, because involved, or indirect information of a landslide or a flood that occurred in the municipality where you live, or nearby? Possible answers: (1) yes, a landslide, (2) yes, a flood, (3) yes, both, (4) no. <i>Lei è venuto a conoscenza diretta, perché coinvolto, o indiretta, perché ne ha avuto notizia, di in una frana o di un'alluvione avvenuta nel territorio comunale dove lei risiede, o nelle vicinanze? Possibili risposte: (1) sì, frana, (2) sì, alluvione, (3) sì, entrambe, (4) no, nessuna notizia.</i>

□ Le prime 3 domande del sondaggio Doxa

□ Percezione del geohazard

*	*	Q4	Do you think that geo-hydrological events such as landslides and floods can be a real threat to your personal safety? Possible answers: (1) yes, (2) no. If yes, (1a) yes, a landslide, (1b) yes, a flood (one option does not exclude the other).
			<i>Lei ritiene che eventi idrogeologici quali le frane e le alluvioni possano essere una minaccia reale alla sua incolumità personale? Possibili risposte: (1) sì, (2) no. Se sì, (1a) sì, una frana, (1b) sì, una alluvione (sono possibili entrambe le opzioni).</i>
*		Q5 ₂₀₁₂	Do you think that in the last five years in Italy, the number of victims of geo-hydrological events, including landslides and floods, have been (1) between 10 and 100, (2) between 100 and 200, (3) between 200 and 400, (4) more than 400, or (5) I don't know.
			<i>Lei ritiene che negli ultimi cinque anni in Italia le vittime causate da eventi idrogeologici quali le frane e le alluvioni siano state: (1) tra 10 e 100, (2) tra 100 e 200, (3) tra 200 e 400, (4) oltre 400, (5) non so.</i>
	*	Q5 ₂₀₁₃	In your opinion, which of the following factors have the most influence in the occurrence of landslides and floods: (a) inappropriate land management, (b) landscape characteristics, (c) abandoning the territory, (d) illegal construction ("abusiveness"), (e) climate change, (f) I don't know.
			<i>Secondo lei, quale tra i seguenti fattori influisce maggiormente nel verificarsi di frane ed alluvioni: (a) errata gestione del territorio, (b) caratteristiche del territorio, (c) abbandono del territorio, (d) abusivismo edilizio, (e) cambiamenti climatici, (f) non so.</i>

The * symbol indicates the questions posed in 2012 and 2013.

□ Le domande 4 e 5

Table 2. Total number and percentage of telephone interviews performed in each region, for the 2012 and 2013 surveys. The right two columns give the total population (millions) and the percentage of the population in each region (source: Istituto Italiano di Statistica, ISTAT, <http://www.istat.it>).

Region		Interviewees				Population	
		2012		2013		2012	
		#	%	#	%	# millions	%
Piemonte	PIE	230	7.4	200	6.4	4.358	7.3
Valle d'Aosta ¹	VDA	93	3.0	87	2.8	0.127	0.2
Lombardia	LOM	496	15.9	514	16.4	9.701	16.3
Trentino–Alto Adige ¹	TAA	85	2.7	73	2.3	1.030	1.7
Veneto	VEN	249	8.0	255	8.2	4.854	8.2
Friuli–Venezia Giulia	FVG	63	2.0	77	2.5	1.218	2.1
Liguria	LIG	77	2.5	86	2.8	1.567	2.6
Emilia–Romagna	EMR	223	7.1	229	7.3	4.341	7.3
Toscana	TOS	220	7.0	202	6.5	3.668	6.2
Umbria ²	UMB	49	1.6	49	1.6	0.883	1.5
Marche	MAR	90	2.9	82	2.6	1.541	2.6
Lazio	LAZ	226	7.2	275	8.8	5.500	9.3
Abruzzo	ABR	60	1.9	68	2.2	1.306	2.2
Molise ²	MOL	25	0.8	21	0.7	0.313	0.5
Campania	CAM	242	7.8	279	8.8	5.764	9.7
Puglia	PUG	212	6.8	161	5.2	4.050	6.8
Basilicata ²	BAS	39	1.2	45	1.4	0.578	1.0
Calabria	CAL	113	3.6	115	3.7	1.958	3.3
Sicilia	SIC	259	8.3	236	7.5	5.000	8.4
Sardegna	SAR	71	2.3	72	2.3	1.638	2.8
Italy		3122	100	3126	100	59.394	100

¹ marks regions where oversampling was performed to obtain statistically significant results. ² marks regions for which the number of interviews was insufficient to obtain statistically significant results.

□ Numero d'intervistati per regione e popolazione italiana nel 2012

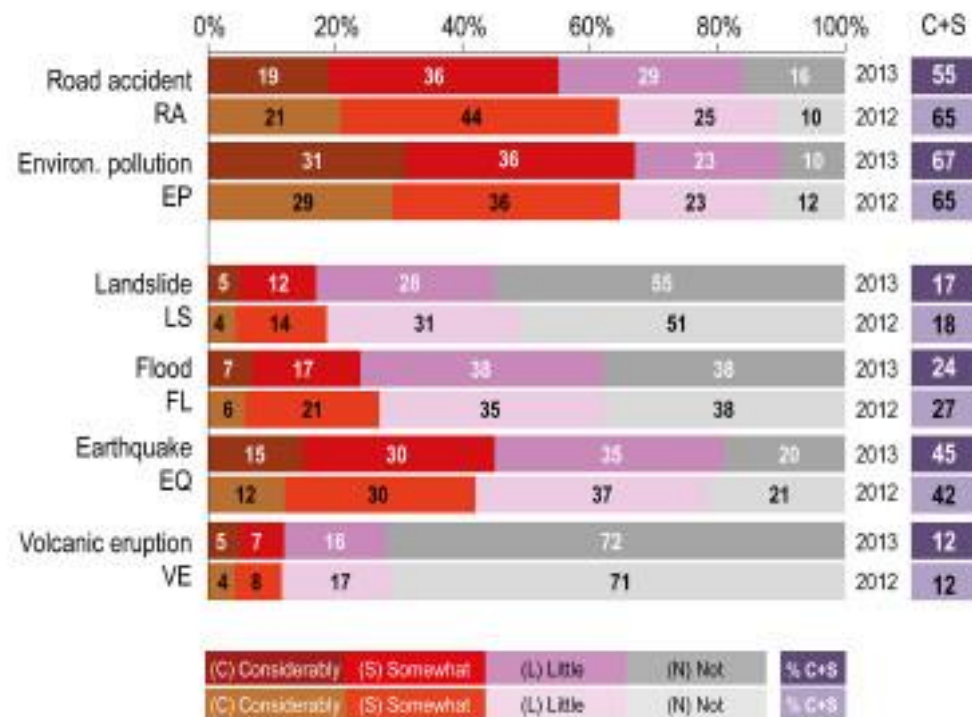


Figure 1. Answers to question 1 (Q1: How much you feel exposed to each of these risks: (a) landslide, (b) flood, (c) earthquake, (d) volcanic eruption, (e) road accident, (f) environmental pollution?), on the national scale, and for the 2012 and 2013 surveys. Horizontal bars show the percentage of interviewees that responded as being (C) “considerably”, (S) “somewhat”, (L) “little”, or (N) “not” exposed to natural hazards, including landslides (LS), floods (FL), earthquakes (EQ), and volcanic eruptions (VE), to road accidents (RA), and to environmental pollution (EP). Black (red) arrows show a reduction (increase) in the percentages in 2013, compared to 2012. See Table 1 for the questions and the list of possible answers.

- ☐ Dai risultati della domanda 1, si vede che i rischi tecnologici vincono sui rischi naturali
- ☐ I rischi naturali sono poco percepiti
- ☐ I terremoti vincono con circa 1 italiano su 2, mentre le frane sono considerate un geohazard da meno di 2 italiani su 10

		LANDSLIDE					FLOOD				
		C	S	L	N	C+S	C	S	L	N	C+S
Piedmont [PIE]	2013	8	13	30	49	21	7	22	42	29	29
	2012	3	14	30	53	17	9	26	27	38	25
Aosta Valley [VAO] (†)	2013	39	17	17	27	56	12	32	39	17	44
	2012	6	37	30	27	43	3	31	46	20	34
Lombardy [LOM]	2013	2	8	21	69	10	2	12	37	49	14
	2012	2	13	26	59	15	2	18	36	44	20
Trentino-Alto Adige [TAA] (†)	2013	0	18	44	38	18	0	13	43	44	13
	2012	8	15	44	33	23	3	15	36	46	18
Veneto [VEN]	2013	3	9	21	67	12	10	25	37	28	35
	2012	2	9	24	65	11	10	23	34	33	33
Friuli-Venezia Giulia [FVG]	2013	3	12	30	55	15	3	22	31	44	25
	2012	1	3	21	75	4	2	25	26	47	27
Liguria [LIG]	2013	6	18	38	38	24	21	28	32	19	49
	2012	8	25	25	42	33	20	37	27	16	57
Emilia-Romagna [EMR]	2013	3	12	26	59	15	5	14	32	49	19
	2012	6	8	32	54	14	6	18	37	39	24
Tuscany [TOS]	2013	5	18	18	59	23	8	21	34	37	29
	2012	3	17	31	49	20	10	24	34	32	34
Umbria [UMB] (*)	2013	3	10	42	45	13	7	10	41	42	17
	2012	0	25	39	36	25	4	10	35	51	14
Marche [MAR]	2013	11	12	31	46	23	5	17	37	41	22
	2012	3	19	48	30	22	8	27	36	29	35
Lazio [LAZ]	2013	4	7	29	60	11	4	12	40	44	16
	2012	3	10	31	56	13	1	18	42	39	19
Abruzzo [ABR]	2013	3	15	33	49	18	7	10	31	52	17
	2012	4	16	27	53	20	0	16	39	45	16
Molise [MOL] (*)	2013	3	3	56	38	6	4	4	28	64	8
	2012	7	26	45	22	33	2	5	48	45	7
Campania [CAM]	2013	7	20	36	37	27	7	20	33	40	27
	2012	9	17	35	39	26	5	21	34	40	26
Apulia [PUG]	2013	2	3	29	66	5	10	8	47	35	18
	2012	1	9	30	60	10	3	20	38	39	23
Basilicata [BAS] (*)	2013	18	27	39	16	45	3	20	50	27	23
	2012	13	33	25	29	46	3	29	40	28	32
Calabria [CAL]	2013	16	26	31	27	42	18	28	28	26	46
	2012	14	21	36	29	35	11	29	35	25	40
Sicily [SIC]	2013	9	14	33	44	23	7	17	45	31	24
	2012	7	17	36	40	24	8	22	39	31	30
Sardinia [SAR]	2013	10	6	21	63	16	14	17	37	32	31
	2012	4	12	28	56	16	7	17	31	45	24
Italy	2013	5	12	28	55	17	7	17	38	38	24
	2012	4	14	31	51	18	6	21	35	38	27

- ❑ Risposte alla domanda 1, divise per regione
- ❑ Le frane sono considerate un rischio per la popolazione della Val d'Aosta, della Calabria e della Basilicata, dove effettivamente i territori montani sono dominanti
- ❑ In Friuli Venezia Giulia C+S raggiunge appena il 15%

Figure 2. Answers to question 1 (Q1: How much you feel exposed to each of these risks: (a) landslide; (b) flood?), by region and for Italy, and for the 2012 and 2013 surveys. Colours show the percentage of interviewees that responded as being (C) “considerably”, (S) “somewhat”, (L) “little” or (N) “not” exposed to landslides or floods. The cumulated percentage of interviewees that responded as being “considerably” or “somewhat” exposed (C + S) is also given. Black (red) arrows show a reduction (increase) in the percentages in 2013, compared to 2012. A cross (†) marks regions where oversampling was performed to obtain statistically significant results. An asterisk (*) marks regions for which the number of interviews was insufficient to obtain statistically significant results. See Table 1 for the questions and the list of possible answers.

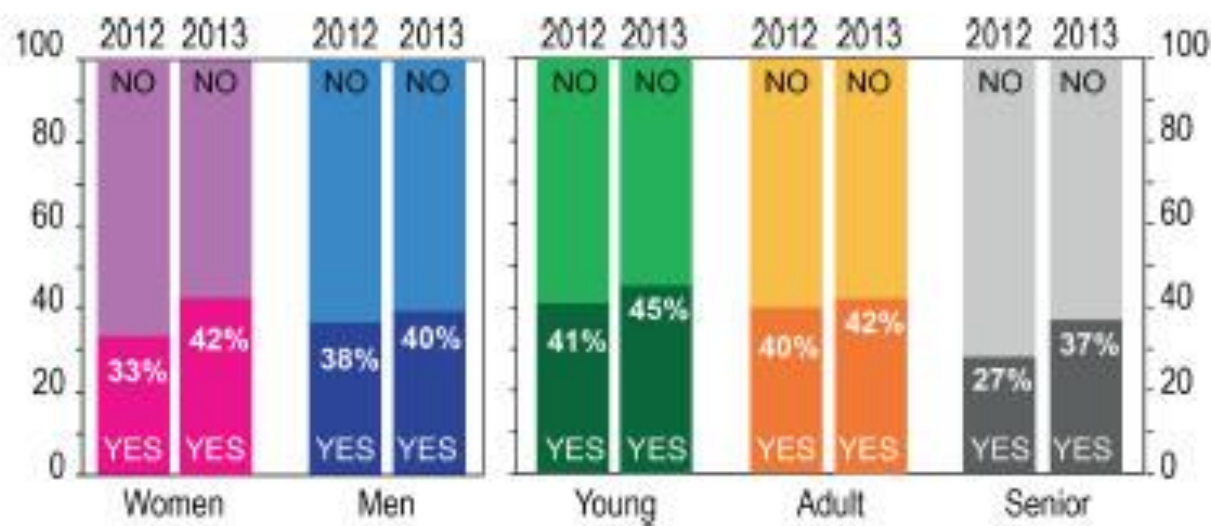


Figure 4. Bar charts show the percentage of “yes” and “no” answers to question 4 (Q4: Do you think that geo-hydrological events such as landslides and floods can be a real threat to your personal safety?), by sex and age, for the 2012 and 2013 surveys. Young (15 to 34 years old). Adult (35 to 54 years old). Senior (55 years old or older). See Table 1 for the question and the list of possible answers.

❑ Si evince che dalla domanda 4, l’età non conta sulla percezione del rischio