



“Le possibilità non
hanno confini”



Validazione di sistemi di monitoraggio satellitari e terrestri per deformazioni del suolo

**Deliverable
D.3.01**

ELENCO DELLE CONOSCENZE PRELIMINARI SUL FENOMENO DI DISSESTO

Data: 09/2012

Il progetto SloMove é cofinanziato dall' Interreg IV Italia-Svizzera, Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale per l' Unione Europea.

www.SloMove.eu

Ringraziamenti

Lo studio necessario a questa pubblicazione è stato reso possibile attraverso:

- Cofinanziamento del Programma Interreg IV Obiettivo Cooperazione Territoriale Europea Italia-Svizzera 2007-2013, Convenzione ID n. 27384220
- Cofinanziamento della Provincia Autonoma di Bolzano
- Cofinanziamento dell'Accademia Europea di Bolzano - EURAC
- Cofinanziamento del WSL -Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Contatti:

Partner Principale (Amministrazione)

Ufficio Geologia e Prove Materiali, Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige

Via Val d'Ega 48

I-39053 Cardano (BZ)

Responsabile

Claudia Strada

Tel +39 0471 361564

Fax +39 0471 361512

E-Mail: claudia.strada@provinz.bz.it

Coordinatore Scientifico

Istituto per il Telerilevamento Applicato, Accademia Europea di Bolzano EURAC

Viale Druso, 1

I-39100 Bolzano (BZ)

Responsabile

Christian Iasio

Tel +39 0471 055387

Fax +39 0471 055389

E-Mail: christian.iasio@eurac.edu

I dati e le informazioni in questo documento del progetto SloMove riflettono solo opinioni e idee dei soli autori. L'Autorità di Gestione e le Istituzioni partner del progetto non sono responsabili per alcun tipo di utilizzo che può essere fatto delle informazioni qui contenute.

Il progetto SloMove

SloMove nasce dall'esigenza di raccordare il potenziale tecnologico oggi disponibile per il monitoraggio ordinario delle situazioni di instabilità dei versanti con le procedure alla base della regolamentazione e la pianificazione territoriale. Questa esigenza è particolarmente sensibile in aree di montagna transfrontaliere, che condividono la salvaguardia di importanti corridoi infrastrutturali, strategici per un ambito di popolazione più vasto di quella direttamente interessata dai fenomeni di pericolo.

Obiettivi Generali

- Valutare i benefici e i limiti delle tecniche di interferometria radar su base satellitare per il monitoraggio delle deformazioni del suolo in alta montagna.
- Ottimizzare le procedure di monitoraggio usando i dati rilevati a terra per validare ed integrare i risultati delle applicazioni interferometriche.
- Consolidare il know-how dei tecnici sulle applicazioni ordinarie di elaborazione dei dati SAR e di rilievo a terra a supporto del monitoraggio di fenomeni di instabilità geomorfologica.

Obiettivi Specifici

- Creare un percorso di formazione sulle particolari tecniche di elaborazione dei dati radar telerilevati e sull'implementazione di sistemi di monitoraggio che integrino tecnologie satellitari e terrestri.
- Testare su aree note l'integrazione del quadro conoscitivo disponibile con i dati derivati dal monitoraggio integrato.
- Condividere un protocollo sui metodi di monitoraggio ordinario (ai fini della pianificazione e della prevenzione), tenendo conto dei fattori limitanti e delle necessità che si possono presentare nei diversi contesti territoriali delle aree esaminate e più in generale nella regione alpina.
- Divulgare le metodologie per il monitoraggio e la conseguente gestione precoce del rischio,, realizzando linee guida e documenti utili sia ai tecnici delle pubbliche amministrazioni sia agli uffici di consulenza privati, al fine di garantire un efficace flusso di informazioni fra la fase del monitoraggio e quella della pianificazione.

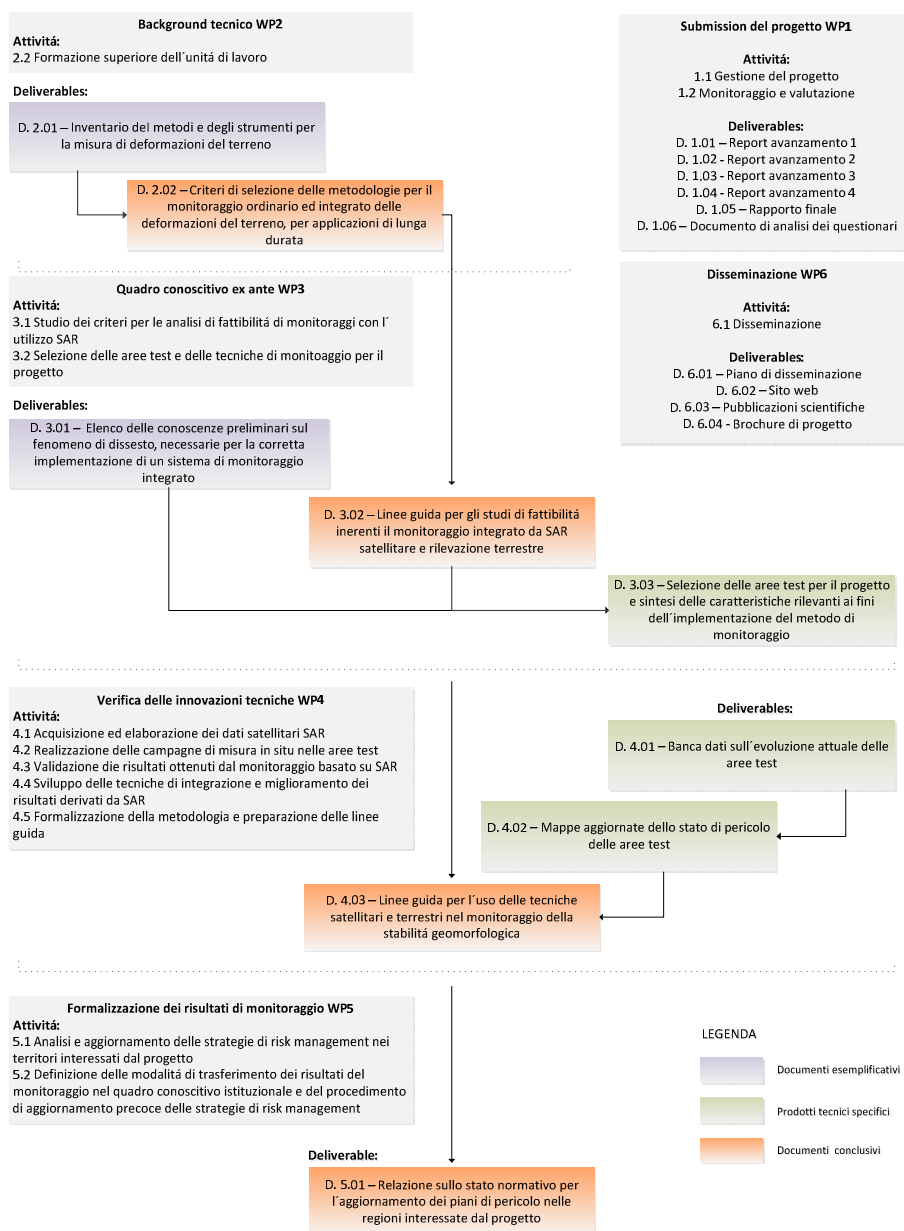
Metodologie

- Multi-interferometria SAR satellitare
- Tele-laser scanner terrestre
- GPS differenziale
- Analisi partecipata dei risultati fra tecnici e amministratori

Documentazione

Il progetto è costituito da 4 pacchetti di lavoro tecnici-operativi, più l'attività di gestione e di disseminazione.

I risultati di tali attività sono documentati in 4 rapporti di avanzamento intermedio e da un rapporto finale. I prodotti principali della ricerca, delle sperimentazioni e delle innovazioni metodologiche sono raccolti in 4 documenti o linee di guida di valenza generale, 2 documenti esemplificativi oltre che una banca dati e mappe aggiornate, specifici per le aree di test. La relazione tra i diversi documenti è rappresentata nel diagramma di flusso sottostante.



Partners e Autori

Italia

Lead Partner

Ufficio Geologia e Prove Materiali

Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige

- Volkmar Mair
- Claudia Strada
- David Mosna

Partner 1

Istituto per il Telerilevamento Applicato

Accademia Europea di Bolzano EURAC

- Christian Iasio
- Giulia Chinellato

Svizzera

Partner 3

WSL -Institut für Schnee- und Lawinenforschung

SLF

- Marcia Phillips
- Robert Kenner

Partner 4

Abenis A.G. Ingenieure und Planer

- Andreas Zischg

Indice

1. Premessa	8
2. Caratteristiche delle aree oggetto della selezione	8
3. Area test italiana: Punta delle Frane	13
3.1. Inquadramento geografico	13
3.2. Accessibilità	13
3.3. Inquadramento geologico	14
3.4. Struttura geomorfologica	16
3.4.1. Rock glacier	19
3.4.2. Frana di scivolamento	20
3.5. Aspetti meteorologici	22
3.6. Dettagli specifici per l'indagine con tecnologia SAR	22
4. Area test 2: Rock glacier „Faura da l' amd Ursina“	23
4.1. Inquadramento geografico	23
4.2. Accessibilità	23
4.3. Inquadramento geologico	24
4.4. Struttura geomorfologica	24
4.5. Aspetti meteorologici	26
4.6. Dettagli specifici indagine SAR	26
4.7. Indagini nell'area test	26
Bibliografia	29

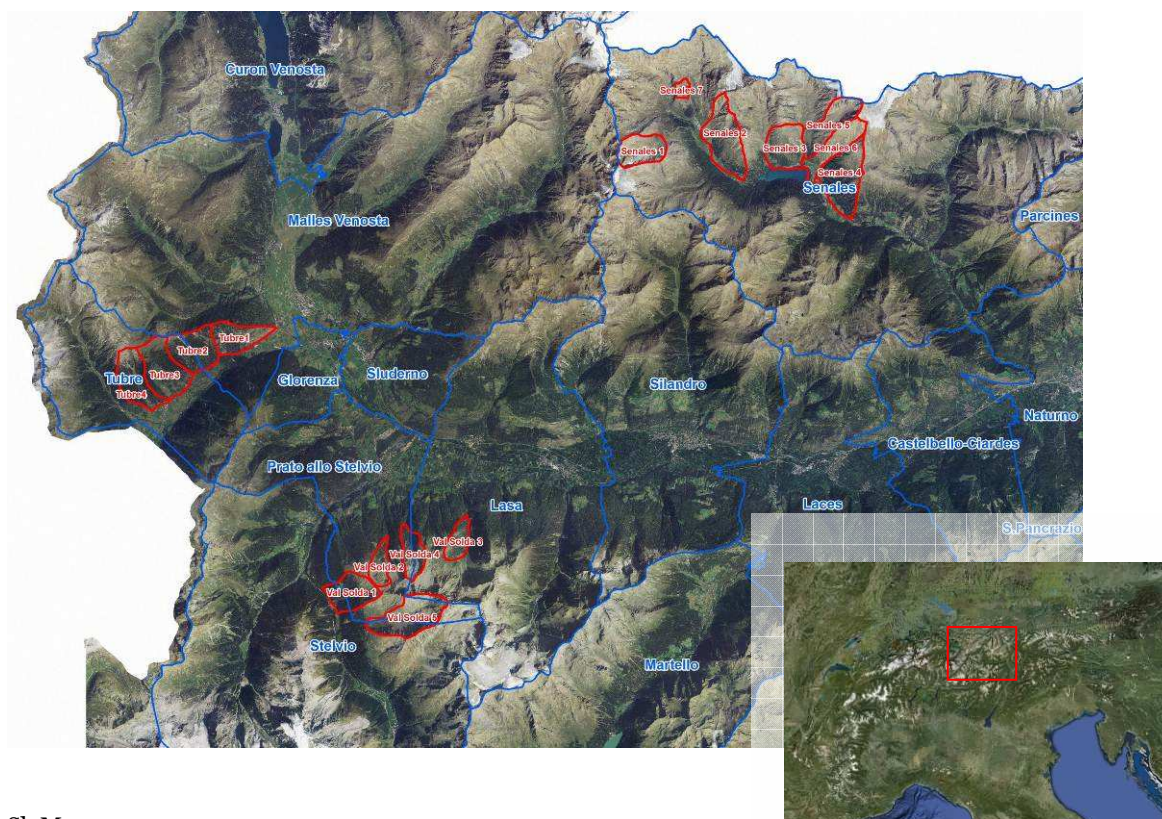
1. Premessa

L'utilizzo integrato di diverse tecnologie di rilevamento è vincolato da numerosi fattori cinematici, ambientali e morfologici del processo oggetto del monitoraggio; per questo motivo risulta utile disporre di informazioni pregresse riguardanti il fenomeno provenienti dalla cartografia di base e tematica esistente, indagini, database e studi pregressi. Sulla base delle informazioni raccolte riguardanti il gruppo di aree oggetto della selezione per identificare il *test site* italiano del Progetto SloMove, sono stati identificati tutti i fattori che possono influenzare la configurazione del sistema di monitoraggio o l'applicabilità dei metodi selezionati (D.2.02).

L'obiettivo del presente documento è quello di presentare le informazioni più rilevanti, provenienti da conoscenze esistenti sul fenomeno, per applicare le valutazioni descritte nel D. 2.02 e per procedere ad una corretta pianificazione del sistema di monitoraggio.

Nella prima parte si riportano le informazioni esistenti sulle aree test oggetto della selezione, riassunte in Tabella 3.01.1. Successivamente saranno descritte brevemente le aree test italiana, selezionata secondo il procedimento descritto nel Deliverable 3.03, e quella svizzera.

2. Caratteristiche delle aree oggetto della selezione



Le aree oggetto della selezione descritta nei capitoli successivi sono state scelte inizialmente sulla base dell'interesse dei siti dal punto di vista dei processi in atto e della loro rilevanza ai fini della pianificazione territoriale in Alto Adige. Tutte le aree sono affette da deformazioni del terreno estese, per la maggior parte dei casi, a scala di versante. I fenomeni predominanti sono le deformazioni gravitative di versante (DGPV) e fenomeni di permafrost, rock glacier in particolare. In entrambi i casi si tratta di processi caratterizzati da tassi di deformazioni annuali bassi ma ai quali sono associati fenomeni di maggiore intensità come crolli e debris flow caratterizzati da intensità maggiori e che possono determinare, in presenza di elementi urbanistici rilevanti, condizioni di rischio elevate.

Le aree proposte erano in precedenza note in quanto oggetto di rilevazioni e indagini pregresse, effettuate ad opera dell'Ufficio Geologia della Provincia Autonoma di Bolzano: l'obiettivo principale era dunque selezionare un'area test rilevante ai fini della risoluzione di problematiche esistenti e già precedentemente riscontrate. Contemporaneamente le aree da selezionare dovevano presentare caratteristiche tali da poter essere oggetto di un progetto di ricerca nell'ambito di un monitoraggio integrato con metodologie già precedentemente selezionate.

Le 16 aree oggetto della selezione si raggruppano in 3 zone geografiche ben definite: Val di Tambre, Val Senales e Val di Solda.

Val di Tambre

Il versante posto in sinistra orografica della Val di Tambre, estesa tra il Comune di Tambre e di Malles Venosta, è caratterizzata da una deformazione gravitativa di versante attiva soprattutto sulla parte terminale orientale della valle stessa. Alla deformazione di versante sono associati crolli e debris flow che impattano soprattutto sulla SS41, SP104 e sull'abitato di Laudes. I frequenti sopralluoghi dell'Ufficio Geologia a causa di crolli definisce una condizione di forte instabilità del versante. Interventi di protezione contro la caduta massi sono stati progettati e successivamente realizzati.

Il versante presenta una fitta copertura boschiva, che si dirada nella porzione più orientale dove l'acclività è maggiore e sono più intensi i crolli e le frane superficiali. La quota massima dell'area si aggira intorno ai 2500; è presente una ben articolata rete di strade forestali che consente una facile accessibilità al sito, mentre la persistenza al suolo della neve, grazie anche all'esposizione Sud-Est del versante, è di pochi mesi all'anno.

L'intero fenomeno è stato suddiviso in 4 porzioni separate, delimitate sulla base dell'omogeneità delle caratteristiche evolutive e fisico-morfologiche: è stato necessario limitare l'estensione dell'area di studio in considerazione delle tecnologie di monitoraggio da impiegare.

Val di Solda

Le 5 aree di studio ubicate in prossimità della Val di Solda, sono caratterizzate quasi prettamente da fenomeni di rock glacier attivi, se si esclude la deformazione gravitativa di versante a monte dell'abitato di Ponte allo Stelvio.

Dal punto di vista della fenomenologia i rock glacier, dato anche l'assetto del territorio sudtirolese, stanno assumendo un ruolo sempre più rilevante: la loro diffusione e le nuove esigenze pianificatorie, hanno cominciato a suscitare sempre maggiore interesse nei confronti di questi pericoli naturali. Ai rock glacier sono associati spesso fenomeni di alta intensità distruttiva come i debris flow: lo studio dell'evoluzione dei primi consentirebbe una buona modellizzazione dei secondi, migliorando le attività di previsione e prevenzione.

La quota media della zona si aggira intorno ai 2800 m; l'esposizione dei versanti è variabile in funzione delle diverse aree di studio e la copertura boschiva varia da area a area. L'accessibilità ai siti risulta difficile a causa della mancanza di vie di accesso percorribili con automezzi.

Val Senales

La Val Senales, a causa delle particolari condizioni geologiche e strutturali, presenta diffusi fenomeni di instabilità a scala di versante con associati fenomeni secondari come crolli e debris flow. Data la quota media dei rilievi, nell'area sono presenti fenomeni di permafrost attivi anch'essi associati a processi più distruttivi come crolli e colate detritiche rapide. Le sei zone selezionate sono dunque affette da fenomeni differenti, talvolta entrambi, che negli anni hanno evidenziato un elevato stato di attività. Tra gli elementi urbanistici più sensibili si individuano le due località turistiche di Vernago e Maso Corto, l'unica via di accesso alla valle, la SP 3, ed il bacino artificiale di Vernago.

Nella zona sono frequenti cadute massi, soprattutto per l'impatto sull'unica direttrice stradale, ed interventi a seguito di debris flow. L'area è dunque nota da tempo per le problematiche connesse alla forte instabilità dei versanti. Alcuni progetti in ambito europeo hanno avuto come oggetto alcuni rock glacier e fenomeni di permafrost presenti nell'area. Nell'individuazione di possibili aree di studio sono state delimitate porzioni di territorio (di bacino o di versante) interessate da ben visibili processi naturali.

Nella **Tabella 3.01.1** è riportato un sunto delle caratteristiche ritenute rilevanti ai fini della descrizione del sito di ogni area potenzialmente selezionabile. Questo elenco è influenzato dalla disponibilità di dati e informazioni pre-esistenti.

La Tabella riporta parametri geomorfici che sono stati ricavati dall’analisi del modello digitale del terreno disponibile per tutta la Provincia e altre informazioni ancillari, reperite negli archivi dell’Ufficio Geologia della Provincia Autonoma di Bolzano. L’insieme di queste informazioni è suddiviso in:

- Caratteristiche generali:** informazioni relative alla pendenza e l’esposizione del versante, la quota, la copertura boscosa e parametri fisici e climatici come la temperatura, i giorni di persistenza della neve al suolo e i giorni con precipitazioni piovose;
- Dati pre-esistenti:** la cartografia di base e di dettaglio esistente, dati di misure pregresse o informazioni provenienti da catasti (frane e opere di protezione) utilizzate dalla Provincia di Bolzano con indicazione sulla tipologia di fenomeno/i sotteso/i all’area.

	General feature												Pre-existing data						
Site/Features	Aspect range	Aspect mode	Average aspect mode	Slope range	Slope mode	Altitude	Average altitude	Average temperature (a)*	Rain (days/y) (a)*	Snow covered (days/y)(a)*	Area m ²	Wood cover (%)	Base data	Geological-geomorphological base map (100.000-50.000)	Geological-geomorphological detailed map	Type of phenomenon	other informations (thesis, publications, documents)	other surface measurements available/ velocities	
Senales 1	300-140	40-60	50	10-60	30-40	2400-3400	2900,00	5,3	92,5	210	2.565.835	6,2	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	-	Permanet / Permaqua project; SAR data from Safer Project	Borholes/GPS measurement / ice sample;	30-40 cm/year
Senales 2	160-300	240-260	250	10-60	30-40	1800-3200	2500,00	5,3	92,5	210	4.471.901	34,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	piiff 10600000 - Rockfall 2000. Geology: Gneiss-Schist. Triggering cause: intensive rainfall.	-	-	SAR data from Safer Project
Senales 3	80-260	160-180 (100-120)	170	10-60	30-40	1600-2800	2200,00	5,3	92,5	150	3.133.044	25,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	piiff 17580000 - Rockfall 2004. Geology: Micascist. Triggering cause: fast and intensive precipitation.	-	-	SAR data from Safer Project
Senales 4	160-320	220-240	230	10-60	30-40	1500-3000	3000,00	5,3	92,5	210	4.563.296	50,1	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	piiff 101501 - Complex phenomenon. Geology: detritus. Triggering cause: short and intensive precipitation. Rockfall in 2001 (20 m³); in 2004 protection systems installation; in 2008 fall of 200 m³ of rock. piiff 6710300 - Debris flow	Area subject to snow avalanche	-	SAR data from Safer Project
Senales 5	140-320	240-260	250	10-60	30-40	2000-3500	2900,00	5,3	92,5	210	3.140.823	6,1	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	-	-	-	SAR data from Safer Project
Senales 6	120-280	200-220	210	10-60	30-40	1600-3300	2450,00	5,3	92,5	180	2.856.496	6,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	piiff 10580100 / 10580200- Rockfall 2000 e 2003. Geology: Gneiss-Schist. Triggering cause: intensive and extended rainfall.	-	-	SAR data from Safer Project
Senales 7	40-180	90-180	135	10-70	20-40	2300-2800	2550,00	5,3	92,6	180	433.033	0,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	-	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 1	180-340	240-260	250	10-50	30-40	1500-2800	2150,00	2,97	87	150	2.933.559	62,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	piiff 6180000 - Debris flow. Triggering cause: intensive and extended rainfall. Piiff 6170000 - Area subject to rockfall.	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 2	20-100	40-60	50	10-50	30-40	1700-2600	2150,00	2,97	87	150	1.409.445	20,9	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	-	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 3	20-140	60-80	70	20-60	40-50	1400-2300	1850,00	2,97	87	150	1.446.550	61,9	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	piiff 6070100 - Debris flow. Triggering cause: intensive and extended. Geology: detritus, glacial deposit, metamorphic rocks.	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 4	260-80	300-320 (40-60)	310	0-50	30-40	1400-2400	1900,00	2,97	87	150	1.894.019	35,9	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	-	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 5	0-360	300-340	320	0-80	40-50	2200-3200	2700,00	2,97	87	210	4.366.720	0,8	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	piiff 6160000 - Rock glacier.	-	-	SAR data from Safer Project
Tubre 1	20-200	160-180	170	0-60	30-40	900-2000	2900,00	4,1	87	210	2.749.129	67,2	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Resia, Cevedale, Bormio 100.000	Future map: Dr. Corrado Morelli (end 2012)	piiff 63801-63802-63803 Rockfall.	-	-	SAR data from Safer Project
Tubre 2	60-220	140-160	150	10-60	30-40	1100-2400	1750,00	4,1	87	150	3.517.642	87,6	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Resia, Cevedale, Bormio 100.000	Future map: Dr. Corrado Morelli (end 2012)	piiff 4250000 - Rotational and translational landslide.	-	-	SAR data from Safer Project
Tubre 3	60-220	160-180	170	0-50	30-40	1200-2500	1850,00	4,1	87	150	4.038.725	60,2	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Resia, Cevedale, Bormio 100.000	Future map: Dr. Corrado Morelli (end 2012)	piiff 13030000 - Rotational and traslational landslide. piiff 11300000 - Area subject to superficial landslides. Piiff 13060000 - Rotational and translational landslide.	-	-	SAR data from Safer Project
Tubre 4	40-240	140-160	150	0-50	30-40	1200-2500	1850,00	4,1	87	150	3.322.113	70,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Resia, Cevedale, Bormio 100.000	Future map: Dr. Corrado Morelli (end 2012)	piiff 8780000 - Complex phenomenon	-	-	SAR data from Safer Project

Tabella 3.01.01

Come indicato in premessa, sulla base del procedimento riportato nel Deliverable 3.03, è stata selezionata l’area test italiana identificata con il codice Senales 7, denominata Punta delle Frane.

La porzione settentrionale dell'area test é facilmente raggiungibile tramite una accessibile, ma ripida, strada forestale percorribile solo con un fuoristrada. La strada é di proprietà dei gestori degli impianti a fune, la ditta Gletscherbahnen AG, che ha concesso l'utilizzo della strada per l'intera durata del progetto. L'area test deve comunque essere percorsa a piedi data la tipologia di materiale che ne caratterizza la superficie (blocchi di grandi dimensioni e detrito) che non pongono alternativa ad altre vie di comunicazione. Ulteriori dettagli sull'assetto morfologico dell'area sono descritti nel capitolo successivo.

3.3. Inquadramento geologico

Il Complesso Ötztal-Stubai, che caratterizza l'area test, costituisce l'unità cristallina più grande delle Alpi Orientali. Litologicamente il Complesso Ö-S è costituito prevalentemente da sedimenti da sabbiosi a argillosi metamorfosati, con la formazione di paragneiss, micascisti o quarziti. Localmente sono presenti ortogneiss con termini da acidi fino a intermedi, così come anfiboliti, eclogiti e differenti livelli di marmi. Tettonicamente l'area settentrionale è delimitata dall'area occidentale da un lineamento strutturale. La porzione settentrionale presenta prevalentemente faglie trascorrenti orientate E-W, mentre a sud prevalgono faglie sub-verticali con estensioni chilometriche. Il Complesso Ö-S è il risultato di due fasi orogeniche distinte (ancora oggi oggetto di controversie): la Metamorfosi varisica (ca. 360 Mio. di anni) e la Metamorfosi alpina (ca. 100 Mio. di anni) (MAIR & STINGL, 2005).

In dettaglio l'area test può essere inquadrata in due unità litologiche: paragneiss e micascisti. Il paragneiss presenta prevalentemente la seguente composizione minerologica: feldspato, biotite, staurolite, e cianite; raramente nel Paragneiss si riscontra bande di Perligneiss (paragneiss occhiadini, con piccoli "occhi" di feldspato, struttura tipica della zona). La Serie di Mazzia, nella quale prevalgono micascisti e minerali come granato e staurolite, può anche essere costituita da paragneiss ricchi di biotite, gneiss con feldspato, biotite e quarzite.

Il substrato roccioso è ricoperto da sedimenti quaternari del Sub-sistema Weissbrunnalm (Sistema del Garda), al quale appartengono tutti i depositi di origine glaciale come anche quelli che costituiscono il rock glacier. Questi sedimenti sono da ricondurre all'ultima fase glaciale. I restanti depositi, come ad esempio depositi di frana, detrito di versante e depositi di colata, sono da ricondurre al Sistema Postglaciale Alpino, che comprende depositi che risalgono alla principale era glaciale (LGM) fino alle più recenti fasi di ritiro relative alla fine del Pleistocene superiore (AA. VV. 2007, PICCIN G., CARG Foglio 012 Silandro, dati non pubblicati).

Il materiale che costituisce il rock glacier e la frana a Sud del sito, è formato da materiale di crollo proveniente da Punta delle Frane, dove gli episodi di caduta massi si verificano con frequenza.

Qui di seguito è riportato un estratto della Carta Geologica d'Italia con indicata la zona di studio e due profili geologici:

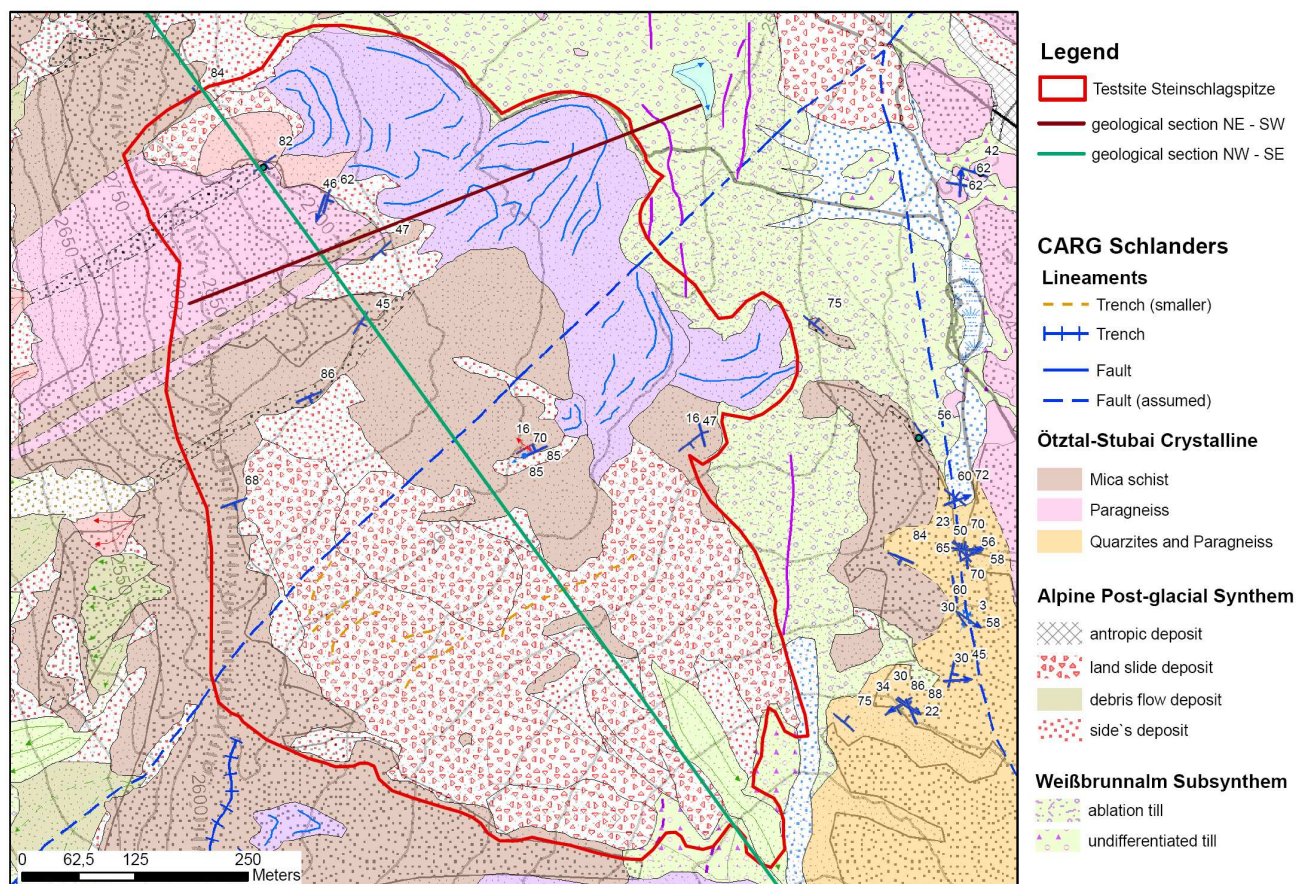
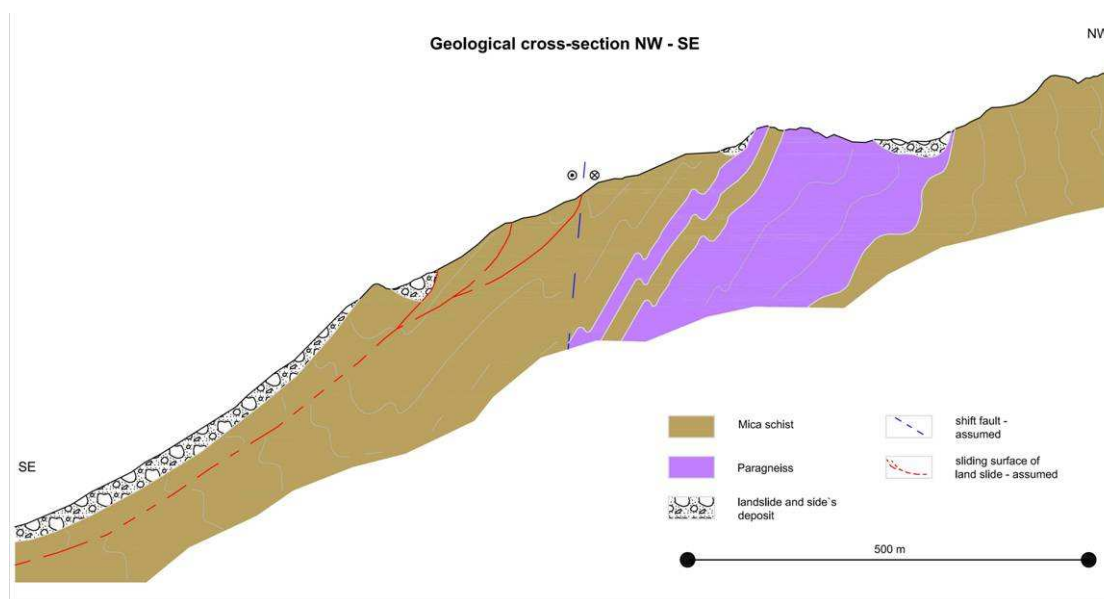


Figura 2: Estratto della Carta Geologica D'Italia (Progetto CARG, Foglio 012 Silandro, Dati non pubblicati, elaborati dal dott. Gianluca Piccin)



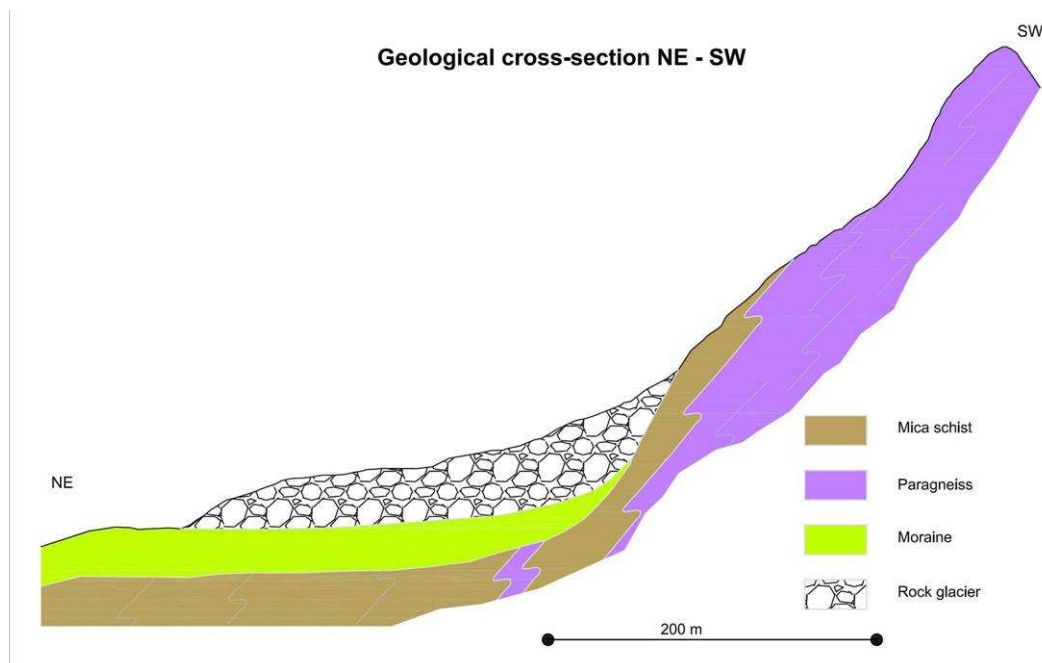


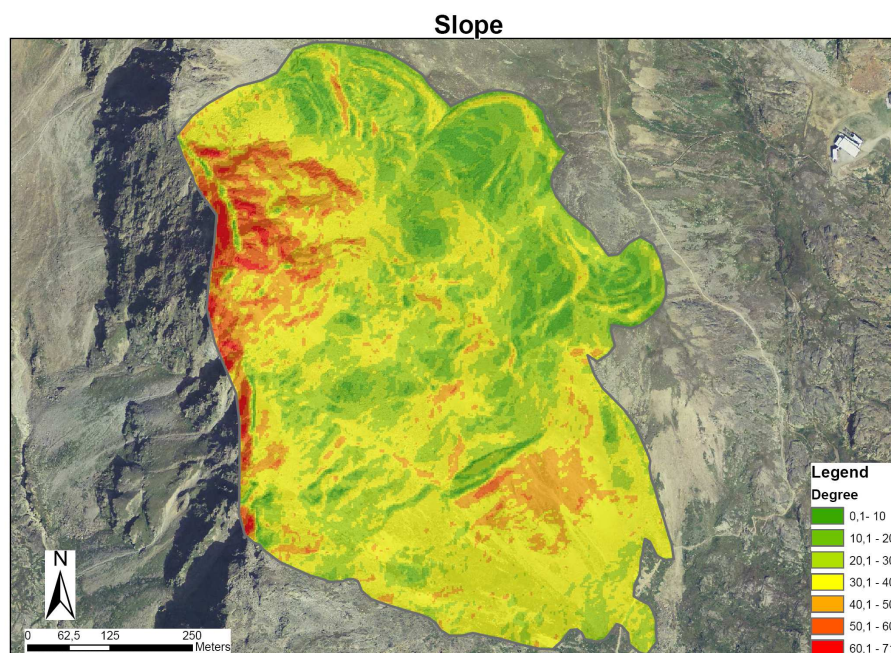
Figura 3 e 4: Sezioni geologiche longitudinali nell'area test di Senales

3.4. Struttura geomorfologica

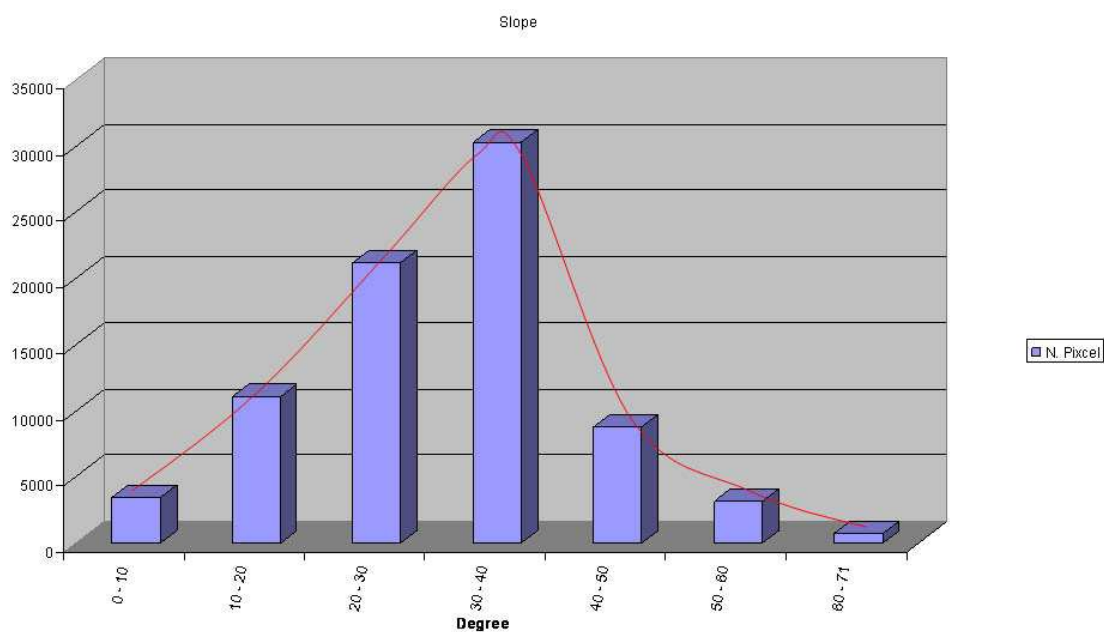
L'area in esame, si trova al interno di un paesaggio di alta montagna (2300 – 2800 m NN), é stata modellata sulla base di processi tettonici, fasi di scioglimento glaciale e altri processi erosivi naturali. Nell'area possono essere individuati tre differenti zone: il rock glacier a Nord, il crinale roccioso della Punta delle Frane a Ovest, la frana di scivolamento in roccia presente a Sud.

Il rock glacier é prettamente costituito da blocchi di dimensioni da decimetriche e metriche di paragneiss e micascisti. I blocchi raggiungono volumi anche di 10 m³, e provengono dal complesso roccioso fortemente fratturato di Punta delle Frane. Il rock glacier attivo mostra un'inclinazione media della superficie di 10 – 20°; il fronte si presenta ripido, superando spesso i 45° di inclinazione (tratto distintivo di rock glacier attivi).

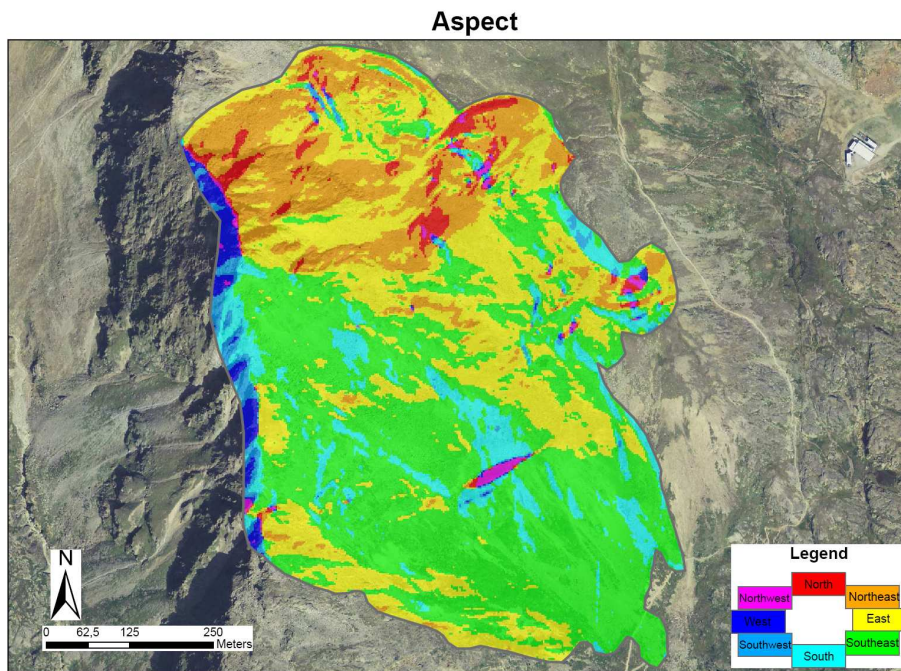
Immediatamente a monte le pareti di roccia risultano acclivi, raggiungendo anche i 40° – 70° di inclinazione. Osservando la zona a Sud-Est, caratterizzata dallo scivolamento in roccia, si posso chiaramente distinguere le variazioni di pendenza rispetto al rock glacier. In questa porzione di territorio l'inclinazione media varia tra 30 – 50° e anche il materiale di copertura della frana differisce da quello del rock glacier per un aumento della componente detritica grossolana e fine.



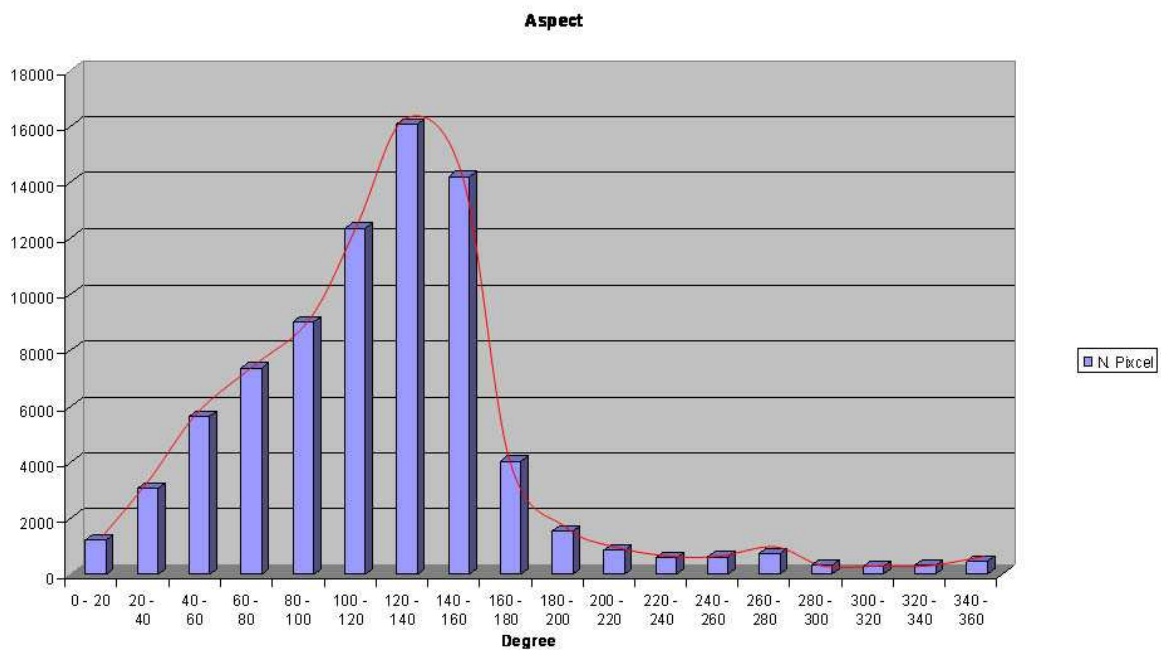
*Figura 3 e 4:
Ricostruzione della carta
delle pendenze con DTM
(2,5 x 2,5 m) e la sua
distribuzione statistica
nell'area test "Punta
delle Frane"*



L'orientamento del versante, in termini di esposizione dell'area, é prevalentemente Est: a scala del processo la frana segue un andamento NO-SE mentre il rock glacier prevalentemente WSW-ESE.



*Figura 7 & 8:
Ricostruzione della
carta del Aspect con
DTM (2,5 x 2,5m) e la
sua distribuzione
statistica nell'area test
"Punta delle Frane"*



Il sito non mostra alcuna copertura vegetale, se non consideriamo la porzione più meridionale della valle.

Sui blocchi e sulla copertura detritica sono sporadicamente presenti coperture a licheni, completamente assenti o radi nelle zone di massima attività dei fenomeni.

Qui di seguito sono descritti in generale le caratteristiche dei fenomeni oggetto del monitoraggio n quanto presenti nell'area test italiana .

3.4.1. Rock glacier

I rock glacier sono forme morfologiche tipiche di ambienti di alta montagna, che si riscontrano con frequenza sulle Alpi a partire da quote superiori i 2200-2500 m. I rock glacier, secondo KRAINER & MOSTLER (2000), sono corpi costituiti da una o più lingue e forme lobate, caratterizzati da materiale detritico (materiale di alterazione e depositi misti e di colata) e lenti di ghiaccio più o meno spesse; essi sono affetti da un movimento lento sotto l'azione della forza di gravità. Il movimento, così come per un ghiacciaio, avviene per un processo di creep a seguito della deformazione del ghiaccio, presumibilmente dovuto anche a uno scivolamento alla base. Il tasso di deformazione è basso, variando da qualche cm/anno a qualche dm/anno; alcuni rock glacier possono raggiungere anche velocità maggiori (Schöneich et al. 2011). Si possono distinguere due tipologie di genesi di un rock glacier: un „ice-cored rock glacier“ (glacier-derived), che si origina dal ritiro di un ghiacciaio di circo; il secondo è un „ice-cemented rock glacier“ (talus-derived) che rappresenta una tipica evoluzione del Permafrost (POTTER, 1972).

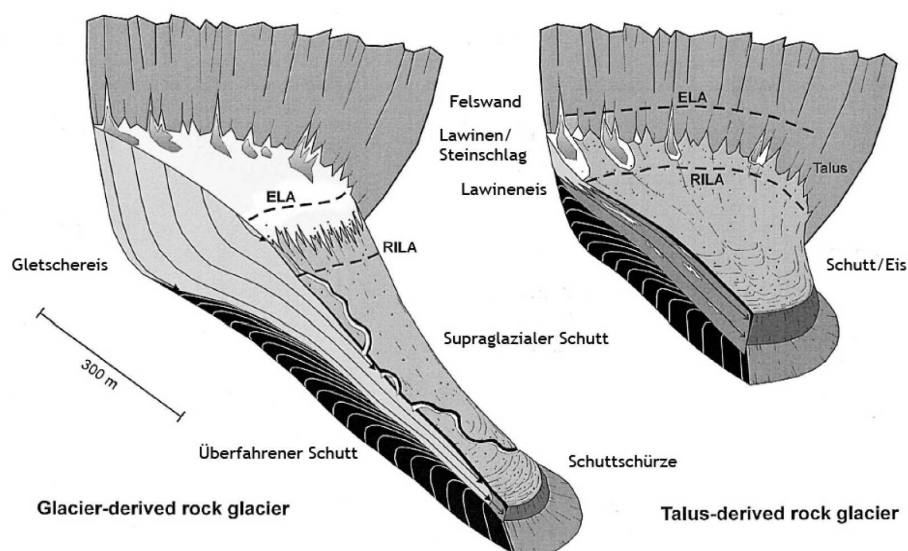


Fig. 9: Confronto dei due tipi di evoluzione di rock glacier tratto da HUMLUM (2000)

Le più comuni caratteristiche morfologiche di un rock glacier sono (LANG, 2006): un fronte ripido (30° - $>40^\circ$) e fianchi ben definiti, con blocchi in superficie e forme accentuate come lobi, spalle e depressioni. Sulla superficie i depositi di detrito durante i mesi estivi perdono la matrice di ghiaccio che si scioglie ricostituendosi durante l'inverno (*active layer*). Il nucleo del rock glacier è perennemente ghiacciato e consiste prettamente in ghiaccio a grana grossa, puro e stratificato. Nelle fratture del ghiaccio si accumula materiale fine proveniente dalla superficie (materiale di abrasione ed eluviale).

La porzione di ghiaccio, sia verticalmente e che orizzontalmente, può variare in maniera considerevole; sotto il così detto “*layer attivo*” può essere presente ghiaccio nei pori, ghiaccio massivo, lingue di ghiaccio e/o di materiale sabbioso-argilloso (KRAINER et al. 2012).

Punta delle Frane

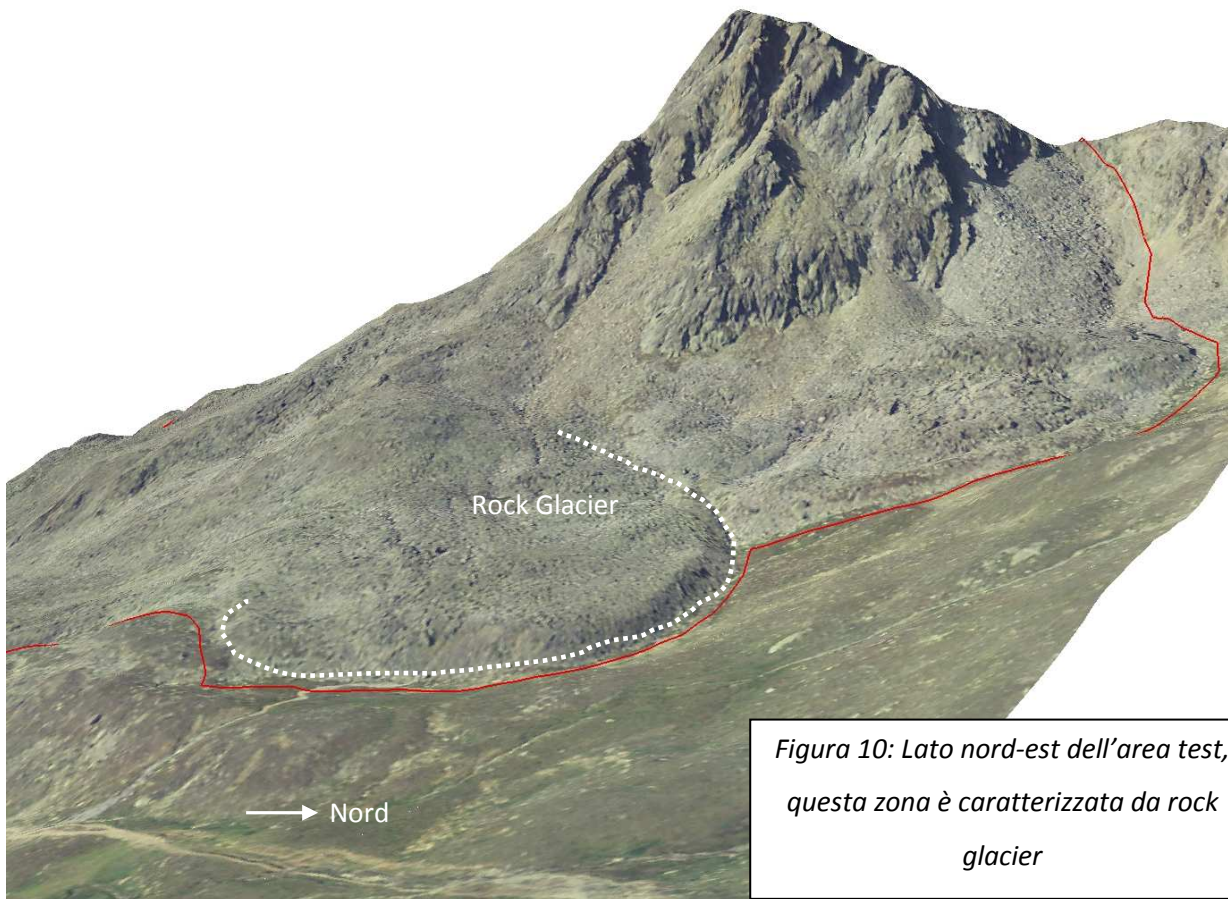


Figura 10: Lato nord-est dell'area test, questa zona è caratterizzata da rock glacier

3.4.2. Frana di scivolamento

Gli scivolamenti sono fenomeni gravitativi nei quali il materiale, rappresentato da roccia o depositi sciolti, si mobilita lungo una superficie di discontinuità. Il materiale interessato dal fenomeno di scivolamento su una superficie la cui forma definisce la distinzione tra frana traslazionale (netta superficie planare) o rotazionale (superficie semicircolare più o meno definita), e una terza rototraslativa, come combinazione dei primi due processi. L'intervallo di deformazione delle frane di scivolamento è compreso tra qualche mm/anno fino a qualche m/minuto.

La profondità della superficie di scivolamento varia ampiamente da qualche decimetro fino a qualche centinaio di metri, se si considerano anche le grandi deformazioni di versante. In generale le frane di scivolamento si verificano in presenza di superfici di debolezza lungo le quali vengono superate le

resistente interne del materiale stesso. Nel caso di frane in roccia esse dipendono dal grado di fatturazione dell'ammasso roccioso e dalle caratteristiche delle discontinuità presenti (LFU, 2010).

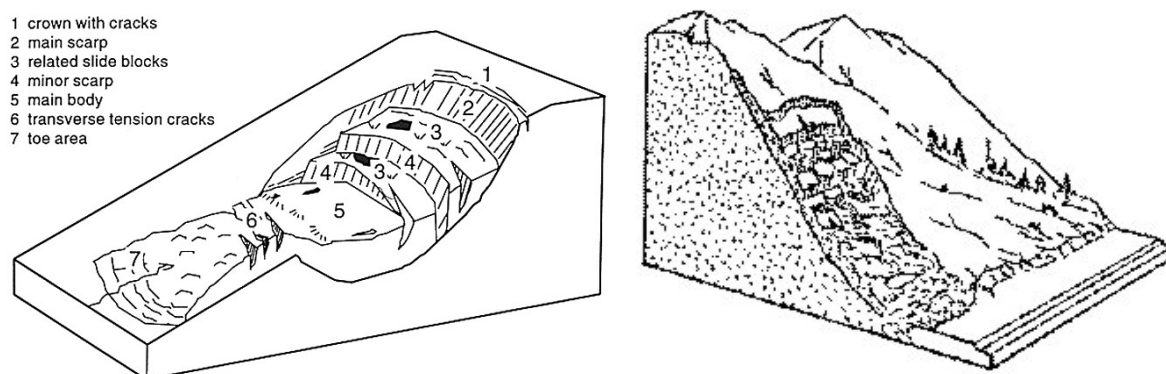


Fig.10 & 11: sinistra Frana rotazionale (BUNZA, 1976); destra frana traslazionale

La frana impostata sul versante orientale di Punta delle Frane non è ancora stata oggetto di studio ma si suppone che alla base del dissesto ci sia l'estesa fratturazione dei litotipi esistenti e l'orientazione delle discontinuità stesse, entrambi legati all'assetto strutturale a grande scala dell'area; a questi fattori si somma l'elevata pendenza del versante e le ripetute cadute massi che hanno generato accumuli in grado di agire come sovraccarichi ulteriormente destabilizzanti.

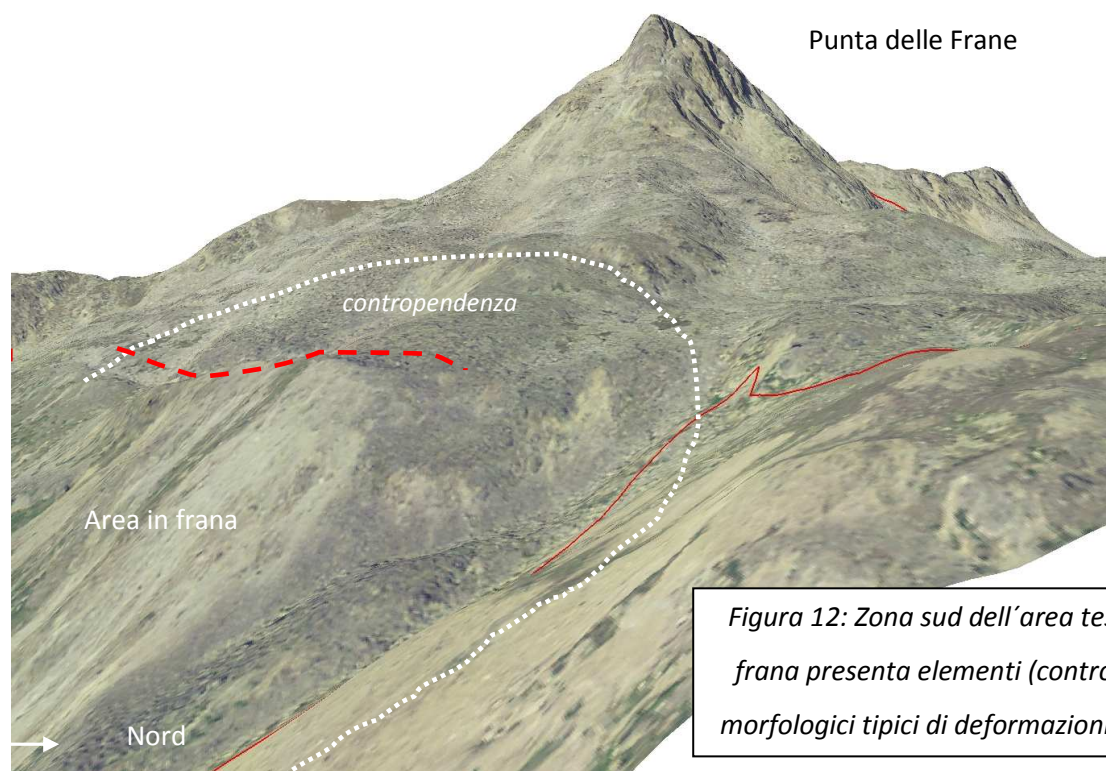


Figura 12: Zona sud dell'area test: l'area di frana presenta elementi (controtendenze) morfologici tipici di deformazioni gravitative

3.5. Aspetti meteorologici

Dato che l'area selezionata é ubicata in un ambiente di alta montagna (2300 – 2800 m NN), le condizioni meteorologiche svolgono un ruolo determinante soprattutto nel caso di indagini di campagna. La copertura nevosa influenza fortemente il lavoro di campagna e le misurazioni con tecnologie satellitari e terrestri, soprattutto nel periodo compreso tra l'Autunno e la Primavera. L'area in esame presenta una media di ca. 180 giorni di copertura nevosa all'anno, una temperatura media di 5,3°C per 92,6 giorni di pioggia annuali.

3.6. Dettagli specifici per l'indagine con tecnologia SAR

L'applicabilità della tecnologia interferometrica multi-temporale è strettamente correlata a parametri come l'esposizione e la pendenza del versante, la presenza di riflettori naturali al suolo e dall'entità delle deformazioni osservabili. L'idoneità dei primi due parametri dipende dalla geometria dei satelliti impiegati, geometria rappresentata dall'orbita, dall'angolo di vista LOS e dall'angolo di incidenza al suolo del segnale radar. In base a queste informazioni e alle condizioni morfologiche dell'area scelta è stato possibile stabilire l'idoneità del sito all'applicabilità di questa tecnica di monitoraggio tramite la creazione di una maschera di visibilità dell'area da parte del satellite. Un'altro parametro importante è la presenza di riflettori naturali al suolo e la presenza di ostacoli naturali (come alberi o neve) in grado di limitare la loro visibilità. Anche in questo caso, grazie alla presenza di dati pregressi relativi a satelliti come ERS, Radarsat e Envisat, si sono ottenute informazioni riguardo alla buona densità di riflettori naturali nel sito. L'ultimo parametro è rappresentato dal *tasso* di deformazione osservabile da questa metodologia tra due successive misurazioni. I fenomeni presenti nell'area rientrano ampiamente nel range di velocità contemplate dalle tecniche impiegate, trattandosi di fenomeni non troppo veloci, caratterizzati da un movimento di creep dell'ordine di qualche cm/anno.

Per questi parametri, ma anche per altri, non solo strettamente correlati all'applicabilità della tecnologia, l'area selezionata è risultata la più idonea (vedi D.3.03).

Nel contesto di un monitoraggio integrato con l'impiego di altre tecnologie come il laser scanner da terra e il rilievo GPS in modalità rapida-statica l'area ha mostrato di prestarsi, considerando anche in questo caso le limitazioni tecniche-operative esistenti, ad un'ottima applicabilità di queste tecniche.

4. Area test 2: Rock glacier „Foura da l' amd Ursina“

4.1. Inquadramento geografico

Il rock glacier Foura da l' amd Ursina é un complesso di tre indipendenti rock glacier ubicati in un circo glaciale sopra l'abitato di Pontresina, nella Valle Engadina superiore (49.49802°/9.93004° WGS84) (Fig.13). Il sito é circondato dal picco Las Sours a Nord, da Piz Muragl a Est e dalla dorsale rocciosa Muot da Barba Peider verso Sud (Fig. 13). L'area di indagine é compresa tra quota 2700 m a 3150 m s.l.m.m.

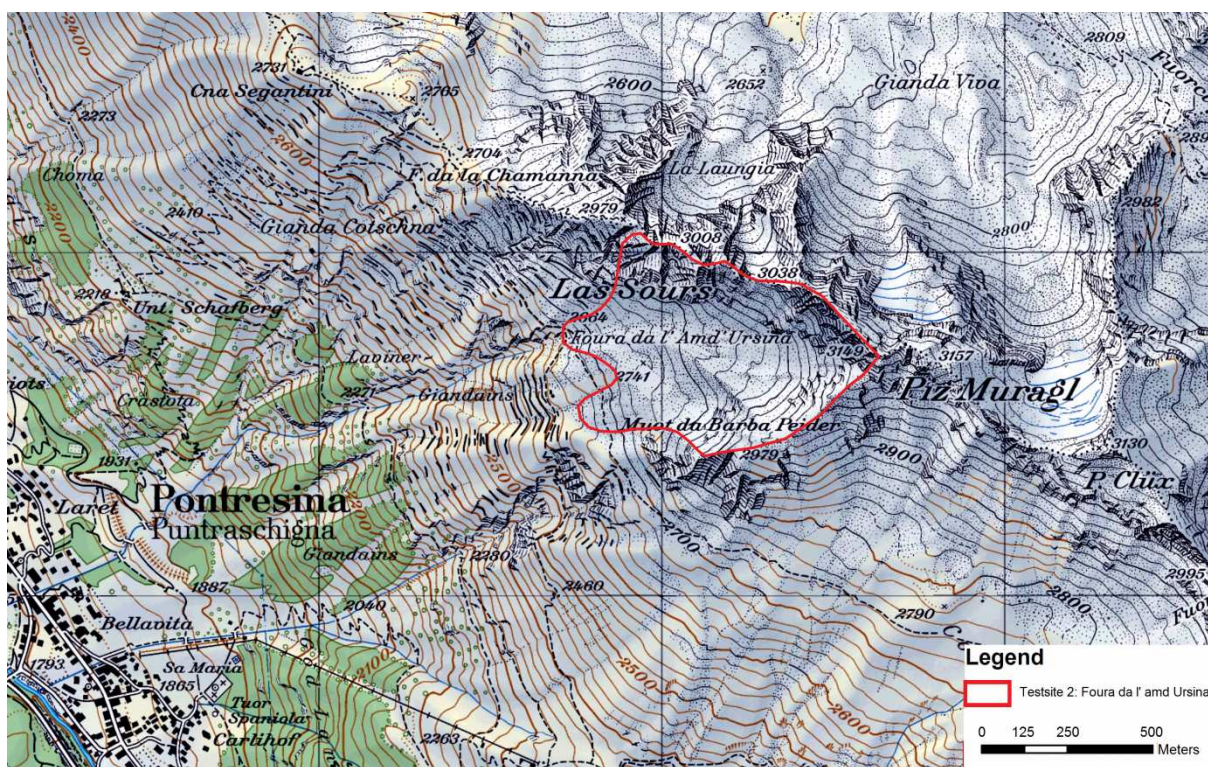


Fig. 13: Localizzazione di Foura da l' amd Ursina (map © swisstopo (DV03349.2))

4.2. Accessibilità

Il sito é accessibile in 40 min a piedi dalla stazione di risalita Alp Languard. Durante l'Inverno l'accesso é consentito solo tramite l'impiego dell'elicottero. Le condizioni di alta quota e l'assetto morfologico del sito risultano predisponenti al pericolo di valanga.

4.3. Inquadramento geologico

L'area test Svizzera è collocata al confine nord-orinetale della falda Languard-Campo attribuibile al OBEROSTALPIN (SCHMID et al. 2004) e composta principalmente da rocce di origine continentale. La deformazione metamorfica pre-Alpina (temperature alte, pressioni basse) è dominante, e in alcune zone si riscontrano corpi intrusivi del periodo Permiano che presentano una struttura eterogenea (ZUCALI et al. 2006).

Geologicamente il monte Schafberg (Munt da la Bêsch), ubicato a ridosso del comune di Pontresina, è formato da gneis biotitici a bande fortemente fratturati, che costituiscono le ripide pareti rocciose delimitanti la conca nella quale si è formato rock glacier "Foura da l' amd Ursina".

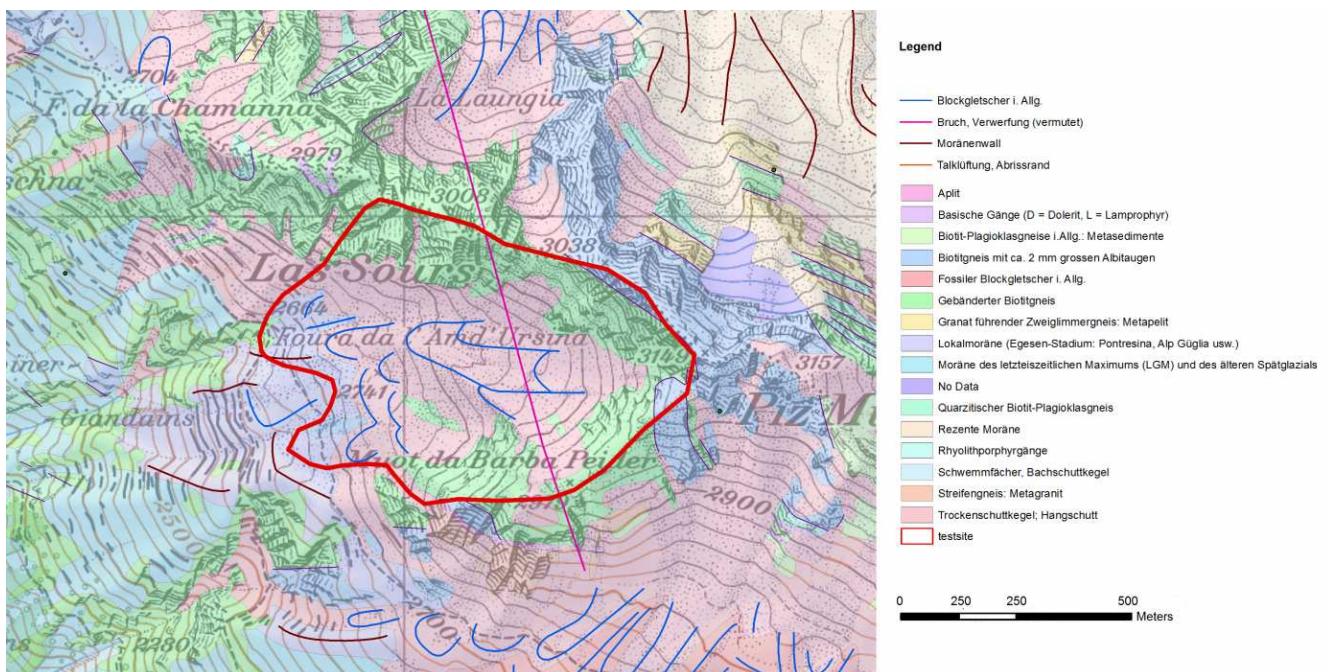


Fig. 14: Estratto dalla Carta Geologica della Svizzera (map © swisstopo (DV03349.2))

4.4. Struttura geomorfologica

L'area test comprende tre rock glacier indipendenti (i loro limiti spaziali sono mostrati in figura 15). La struttura più grande e dinamica delle tre (verde in fig. 15) è alimentata dalla parete Piz Murgal esposta verso ovest. Il rock glacier giace su strutture moreniche appartenenti ad età differenti. Durante la "Piccola era glaciale" nella porzione più retrocessa della conca esisteva un piccolo ghiacciaio (carta Siegfried – primo rilevamento topografico della Svizzera) che con probabilità ha investito la parte posteriore del rock glacier. La presenza di solchi di deflusso sulla superficie del rock glacier sono una testimonianza di questo breve periodo glaciale. Il rock glacier indicato di colore blu in figura 15, si

origina sotto le pareti del monte “Muot da Barba Peider”. Durante il suo percorso verso valle esso si suddivide in due lingue: la lingua posta in sinistra orografica mostra velocità maggiori rispetto quella settentrionale. Il terzo rock glacier (evidenziato in rosso, fig. 15), che si origina dalle pareti orientate verso Sud del monte “La Sours”, mostra un fronte ripido che si staglia sopra la vallata Giandains Tobels.

Da sottolineare l'esistenza di movimenti di creep del Permafrost in tutte le esposizioni al interno del circo. Conformemente all'assetto dell'Hochkar (aperto verso occidente) il movimento di creep di ogni rock glacier verge principalmente verso Ovest.

In questa zona hanno origine intensi fenomeni franosi che creano condizioni di pericolo per due sentieri turistici che attraversano la vallata “Val Giandains”. Il sottostante paese di Pontresina é protetto da opere di mitigazione contro fenomeni di valanga e di debris flow.

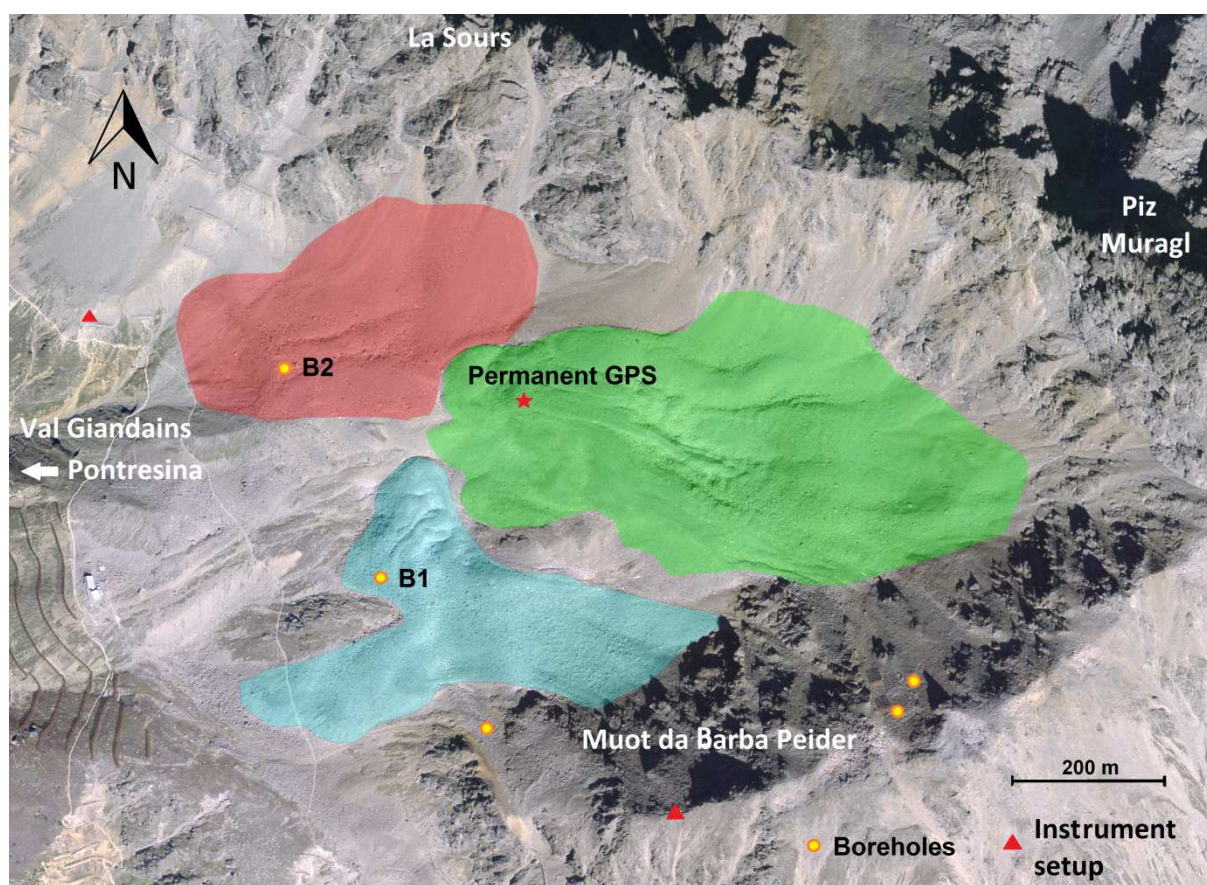


Figura 15: Ortofoto del rock glacier “Foura da l'amd Ursina” (ortofoto © swisstopo (DV03349.2)). I diversi sistemi del rock glacier sono ombreggiati in azzurro, in verde e rosso. La posizione degli strumenti (triangoli rossi) e l'ubicazione dei fori di monitoraggio del permafrost sono indicati con cerchi arancioni/gialli.

4.5. Aspetti meteorologici

La zona in esame appartiene alla catena principale (centrale) delle Alpi Svizzere con un clima inter-Alpino. La regione Oberengadin è influenzata da eventi meteorologici provenienti da Sud. Le caratteristiche climatiche di un ambiente alpino di alta quota giocano un ruolo rilevante nella pianificazione della attività di campagna. I rilievi e le misure possono infatti essere effettuate solo in condizioni di tempo stabile. La copertura nevosa non persiste durante il periodo compreso da circa metà luglio fino a metà/inizi di ottobre, periodo che può variare ampiamente da anno a anno. Infatti anche durante i mesi estivi non si possono escludere nevicate fuori stagione.

4.6. Dettagli specifici indagine SAR

L'area in esame è stata selezionata in quanto già oggetto da tempo di studi atti alla mitigazione dei pericoli associati al fenomeno in esame, il rock glacier di "Foura da l'amd Ursina". L'elevata vulnerabilità dell'abitato di Pontresina in relazione al processo naturale costituito dal rock glacier, crea una condizione di alto rischio per persone, strutture e attività economiche. Come anche per l'area test italiana si è proceduto ad ogni modo verificando la conformità del sito all'applicabilità delle tecniche di monitoraggio selezionate: sono stati dunque considerati tutti i parametri indicati nel cap. 2.6 che fortunatamente sono risultati adeguati per il buon esito del monitoraggio stesso.

Da anni il sito è monitorato con inclinometri e con un rilievo laser scanner da terra, che ha dato buoni risultati nello studio delle dinamiche del processo e della sua evoluzione nel tempo. Il monitoraggio del fenomeno utilizzando anche le altre due metodologie sarà determinante nella validazione dei dati esistenti e per la comprensione a più ampia scala del fenomeno stesso.

4.7. Indagini nell'area test

Nei due sondaggi realizzati sul rockglacier sono state condotte delle misurazioni che hanno riguardato, a partire dal 1996, la temperatura del sottosuolo, e dal 1991, i rate di deformazione. La Figura 16 mostra l'andamento delle deformazioni e della temperature del sottosuolo nei fori B1 e B2 ubicati in Figura 15. Entrambe le misurazioni indicano che il creep nell'intorno dei fori è basso, con una superficie di scivolamento posta a quota – 15 m dal p.c. rispetto ai 25 m totali del foro. Il corpo costituito da permafrost risulta "caldo", in quanto prossimo allo zero della scala Celsius.

B1

B2

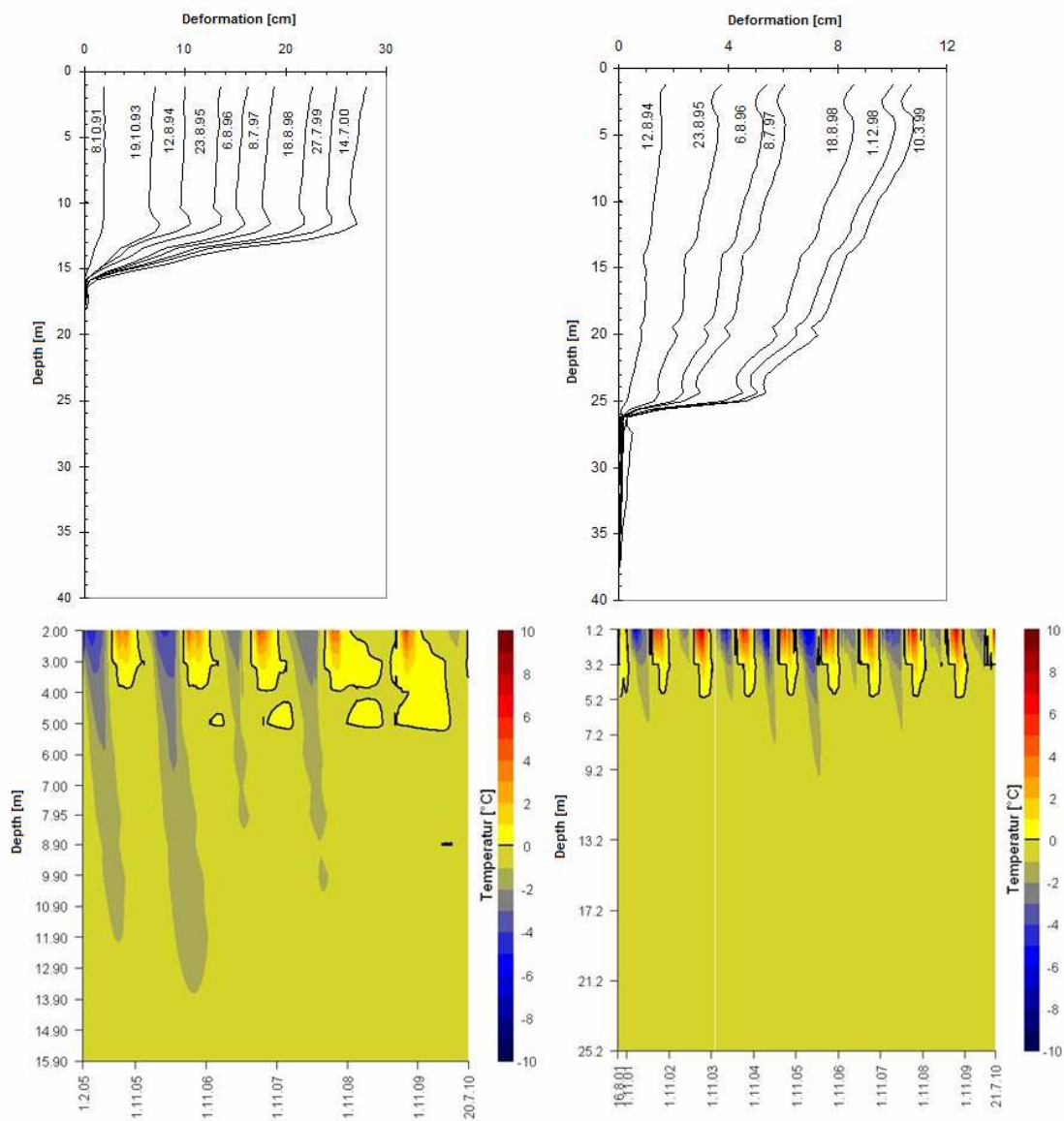


Fig. 16: Inclinatorio (sopra) e sondaggio con sensore per la temperatura (sotto) dei punti B1 e B2 indicati in Figura 11

Ulteriori misure con laser scanner da terra sono state condotte sulla parte superiore e sul fronte del rock glacier a partire dal 2009. Il tasso di deformazione globale del rock glacier non supera i 20 cm l'anno (Fig. 17). Questa informazione è stata integrata con una analisi fotogrammetriche dei rate di velocità nel periodo compreso tra il 1970 al 1990. Nella porzione più attiva e ubicata sul fronte del rock glacier, indicata in verde ombreggiato in Figura 2 (stella rossa in Fig. 15), nel 2012 è stata installata una stazione GPS permanente.

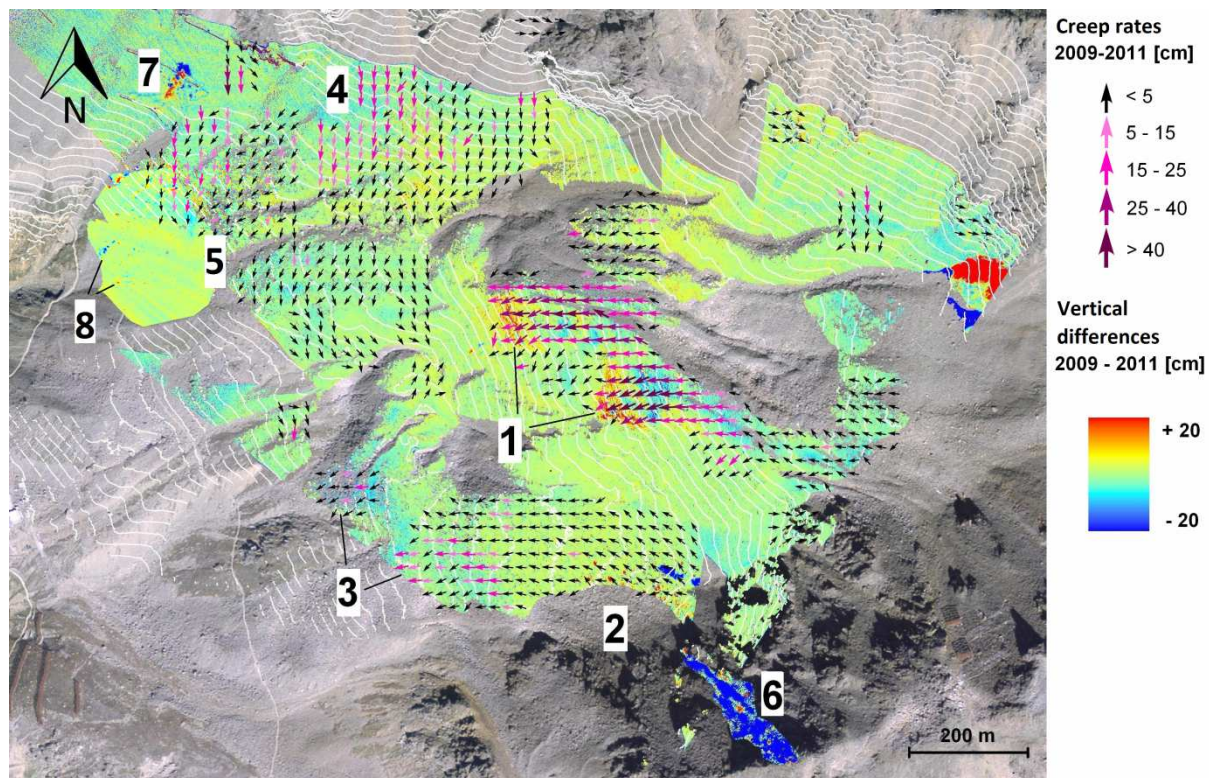


Figura 17: Risultato del rilievo con laser scanner da terra effettuato tra il 2009 al 2011. Il creep ha una magnitudo prevalentemente di 10 cm/anno (Settori 2,3,4,5), ad eccezione di due settori più veloci con entità di creep di 20 cm/anno. Coerentemente, la più grande deformazione verticale è stata osservata nel Settore 1. Sono stati osservati fenomeni di caduta massi (Settore 6) e fenomeni di scivolamento indipendenti dal rock glacier (Settore 7 e 8).

Bibliografia

- AA.VV. (2010) – Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Blatt 013 "Meran". Servizio Geologico d'Italia – APAT
- Bayrisches Landesamt für Umwelt (2010) – „Rutschung“, <http://www.lfu.bayern.de>
- BUNZA, G., KARL, L., MANGELSDORF, J. & SIMMERSBACH, P. (1976) – Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde. Schriftenreihe der Bayer. Landstelle für Gewässerkunde München, H. 11, Teil I
- Humlum, O. (2000) - The geomorphic significance of rock glaciers: estimates of rock glacier debris volumes and headwall recession rates in West Greenland. *Geomorphology* 35(1-2): 41-67
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2000) – Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubaier Alpen, *Geoforum Umhausen*, Band 1, 28 – 43 S.
- KRAINER, K., KELLERER-PIRKLBAUER, A., KAUFMANN, V., LIEB, G. K., SCHROTT, L. & HAUSMANN, H. (2012): Permafrost Research in Austria: History and recent advances, *Austrian Journal of Earth Science - Wien*, Volume 105/2, 2-11 S.
- LANG, K. (2006) – Geologie des Hohe Gaisl Massives unter besonderer Berücksichtigung der aktiven Blockgletscher, unveröff. Diplomarbeit Universität Innsbruck
- MAIR, V. & STINGL, V. (2005) – Einführung in die Geologie Südtirols (Bozen), Autonome Provinz Bozen, 80 S.
- SCHMID, S.M., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E. & SCHUSTER, R. (2004) - Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen, *Eclogae geol. Helv.* 97 (2004) 93–117
- SCHOENEICH P., DALL'AMICO M., DELINE P., ZISCHG A., eds (2011): Hazards related to permafrost and to permafrost degradation. PermaNET project, state-of-the-art report 6.2. On-line publication ISBN 978-2-903095-59-8
- ZUCALI, M. & CHATEIGNER D. (2006): Analisi quantitativa delle tessiture di metadioriti, deformate durante la subduzione alpina: Falda Languard-Campo - Austroalpino, Alpi Centrali, *Rend. Soc. Geol. It.*, 2 (2006), Nuova Serie, 00-00, 3 ff.