

SedInOut

***Sviluppo di una metodologia di gestione del rischio
tramite la valutazione della disponibilità di
sedimento al trasporto in massa in ambiente
montano***

Telerilevamento (WP 3)

Gerald Valentin¹, Ludwig Fegerl¹, Markus Keuschnig², Markus Dörfler²

¹Land Salzburg

²Georesearch mbH

Contenuti

Telerilevamento.....	3
Riassunto	3
Focus	4
Risultati specifici di progetto dell'analisi InSAR.....	5
Indagini geologiche e rilievi di terreno	9
Introduzione	9
Geodati.....	9
Metodologia	10
Interpretazione e conclusione	11
Aree di indagine per la verifica sul campo.....	12
Parte specifica - aree di indagine.....	16
Ringraziamenti.....	16
Bibliografia	17

Telerilevamento

Riassunto

Il telerilevamento è uno strumento efficace per quantificare i movimenti di massa nelle regioni alpine. Nell'ambito del progetto Interreg SedInOut, un approccio di “best practices” è stato sviluppato per questa tecnologia. Questo capitolo offre una panoramica e una descrizione dei diversi metodi e prodotti utilizzati nell'ambito del telerilevamento. L'attenzione si concentra principalmente sull'analisi InSAR, che determina il dataset di base di questo progetto. Questo manuale riassume le esperienze recenti derivate dalle analisi eseguite con il metodo InSAR. Questi dataset sono presentati e applicati in un esempio pratico. Una lista di controllo associata a tabelle dettagliate aiuta a definire un processo decisionale nell'applicazione dei metodi InSAR. I risultati dell'analisi InSAR sono disponibili online sul sito seguente:

<https://www.salzburg.gv.at/sagismobile/sagisonline/map/Bauen%20und%20Wohnen/InSAR>

Focus

Questo capitolo contiene una sintesi dei concetti essenziali dei metodi di telerilevamento. Nell'ambito del progetto SedInOut, la metodologia del telerilevamento è incentrata sui movimenti di massa che interessano materiale sciolto in ambiente alpino. L'attenzione si concentra sui pendii sottoposti a fenomeni di scivolamento e creep. Secondo la definizione di Krauter (1990), la gamma di velocità si estende tra millimetri all'anno a metri all'anno (**Tabella 1**).

<i>Tipo di processo</i>	<i>Gamma di velocità in base a Krauter (1990) & Häfeli (1967)</i>	<i>Denominazioni (esempi)</i>
<i>Creep</i>	mm per anno fino a mm per giorno	Soil creep, debris creep, block creep, debris flow creep
<i>Scivolamento/flusso</i>	mm per anno bis m per ora	Frana, debris flow
<i>Scivolamento</i>	m/s	Colata di fango, colata di terra, colata detritica
<i>Caduta/Crollo</i>	superiore a 20 m al secondo	Frana, crollo, caduta di massi
<i>Complesso</i>	Complesso e variabile	DGPV, Sackung
<i>- Creep/scivolamento/ flusso</i>	mm per anno fino a mm per giorno	
<i>- Creep/scivolamento/ flusso</i>	mm per anno	

Tabella 1. Definizione dei processi gravitazionali basati sui parametri di velocità (modificato da GBA 2002; Krauter, 1990).

Diversi metodi di telerilevamento sono adatti al riconoscimento dei movimenti di versante. L'analisi InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) da satellite rappresenta il metodo principale del progetto. I dati disponibili comprendono principalmente i dati satellitari spettrali e multispettrali, i dati satellitari radar in banda X, C e L insieme ai dati ALS (Airborne Laser Scanning). Inoltre, è possibile integrare questi dati con rilievi effettuati da elicottero o da drone, i quali costituiscono una serie di dati ad alta risoluzione che non sono disponibili in maniera permanente.

Risultati specifici di progetto dell'analisi InSAR

Nell'ambito del progetto SedInOut, sono stati utilizzati i dati satellitari della missione Sentinel-1 per determinare gli hotspot dei movimenti lenti di massa nell'area di studio. Sono state analizzate 230 immagini satellitari della modalità ascendente e 264 immagini della modalità discendente per il periodo 2015-2020. L'algoritmo di elaborazione utilizzato per l'unwrapping degli interferogrammi è stato l'algoritmo SqueeSAR® (Ferretti 2011) di TRE ALTAMIRA. Il risultato ottenuto consiste in un dataset di circa 2,8 milioni di pixel di misura. Questi pixel includono una serie temporale di almeno 230 intervalli. **Figura 1** fornisce una panoramica dell'enorme numero di dati di misura. Alcuni movimenti di massa sono già visibili a questa scala. Tra questi citiamo la grande deformazione di versante vicino a Krimml (a.), il movimento di massa presso l'area di studio Wasserradkopf (b.) e le frane nei circhi sopra la valle Muhrtal (c.). Il metodo InSAR ha dunque il potenziale per fornire una panoramica rapida degli hotspot di movimento in una zona arealmente molto estesa.

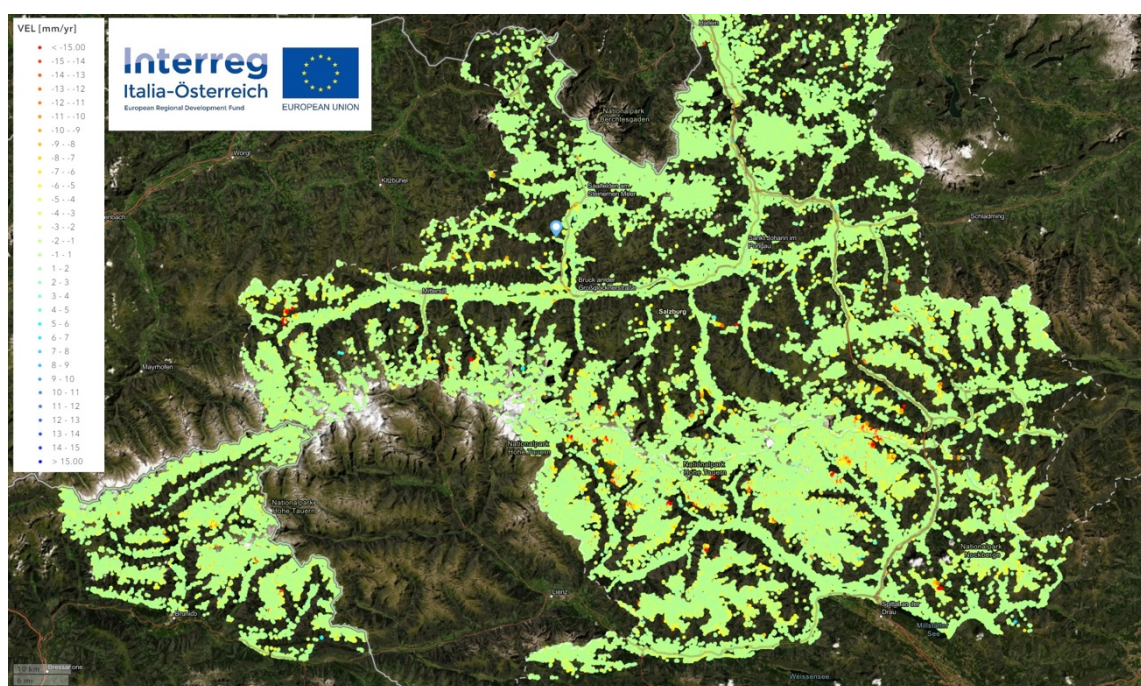


Figura 1. Risultati dell'analisi InSAR basata su Sentinel-1 all'interno dell'area di studio specifica del progetto.

La **Figura 2** mostra una visione dettagliata dei risultati nell'area di studio Wasserradkopf. Questo esempio riporta il confronto di due algoritmi diversi (SqueeSAR® e FASTVEL). Sebbene SqueeSAR® abbia la capacità di rilevare i movimenti con precisione millimetrica, i limiti dell'algoritmo possono essere raggiunti per movimenti molto veloci, come quelli del Wasserradkopf. È possibile utilizzare un algoritmo di nome FASTVEL per completare i risultati (FASTVEL 2022). Questo algoritmo non è in grado di raggiungere valori di misura precisi, però riesce a riconoscere i movimenti rapidi con grande accuratezza.

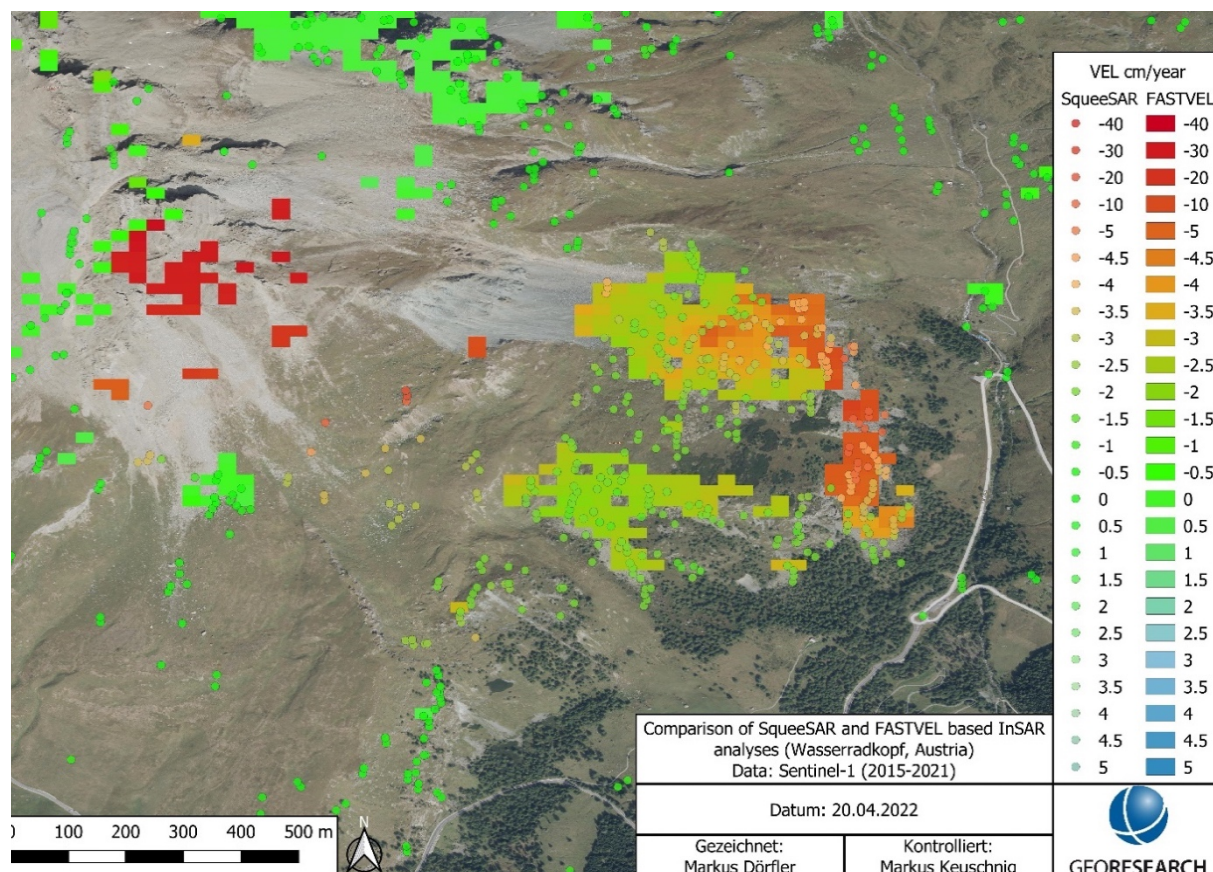


Figura 2. Confronto dei risultati degli algoritmi di unwrapping SqueeSAR e FASTVEL.

Le analisi InSAR condotte nell'ambito del progetto SedInOut dimostrano il loro potenziale applicativo. Questo manuale presenta una sezione della valle Muhrtal (Lungau, Salisburgo), in cui è possibile distinguere tre aree in termini di disponibilità e qualità dei dati InSAR come tipicamente avviene in ambito alpino: (i) lungo il fondovalle (zona popolata caratterizzata dalla presenza di infrastrutture come strade, linee elettriche, ecc.), la densità di dati è elevata, il che è dovuto principalmente all'eccellente riflettività radar delle strutture antropiche (**Figura 3a: zona blu**); (ii) sui fianchi boscosi della valle la disponibilità di dati è, invece, estremamente bassa, i riflettori InSAR appaiono solo in maniera sporadica (**Figura 3a: zona verde**); (iii) nelle regioni al di sopra del limite delle foreste, la densità di punti è nuovamente elevata, il che può essere attribuito alla riflettività favorevole delle formazioni rocciose in maniera spaziale e temporale (**Figura 3a: zona rossa**).

Le analisi InSAR sono particolarmente utili per l'individuazione di movimenti lenti di scorrimento, flusso, subsidenza e sollevamento. Nel caso-studio di Muhrtal, si identificano movimenti superficiali a nord-est della Harrerspitze (vedi I in **Figura 3b**), a nord dell'Oblitzen (vedi II in **Figura 3b**) e a nord dell'Ochsenkopf (vedi III in **Figura 3b**). A titolo di esempio, la **Figura 3c** mostra un'analisi dettagliata del movimento di massa sotto la Harrerspitze, caratterizzato da un movimento lineare e uno spostamento totale di circa 100 mm per il periodo 2016-2020. La curva di spostamento (**Figura 3c**) illustra la cinematica dei movimenti di massa in maniera eccellente. Queste caratteristiche dimostrano come il metodo InSAR possa facilitare il processo di rilevazione di accelerazioni potenzialmente pericolose dei movimenti di versante o l'imminente trasporto di sedimento nella rete idrografica (identificazione automatica di spostamenti non lineari).

Assieme ai movimenti di massa lenti le opere di mitigazione sono potenzialmente adatte al monitoraggio basato su InSAR. Supponendo l'assenza di vegetazione densa (chiusura delle chiome), le strutture protettive più grandi sono riflettori radar adeguati grazie alla loro geometria persistente e il periodo di monitoraggio continuo. A titolo di esempio, le **Figura 3b** e **3d** mostrano il caso di una diga sul torrente nelle immediate vicinanze del villaggio di Vordermuhr. Nel corso del periodo di osservazione quadriennale (2016-2020), non sono stati registrati movimenti significativi ma si sono verificate solo deviazioni sporadiche nei mesi invernali a causa della copertura nevosa.

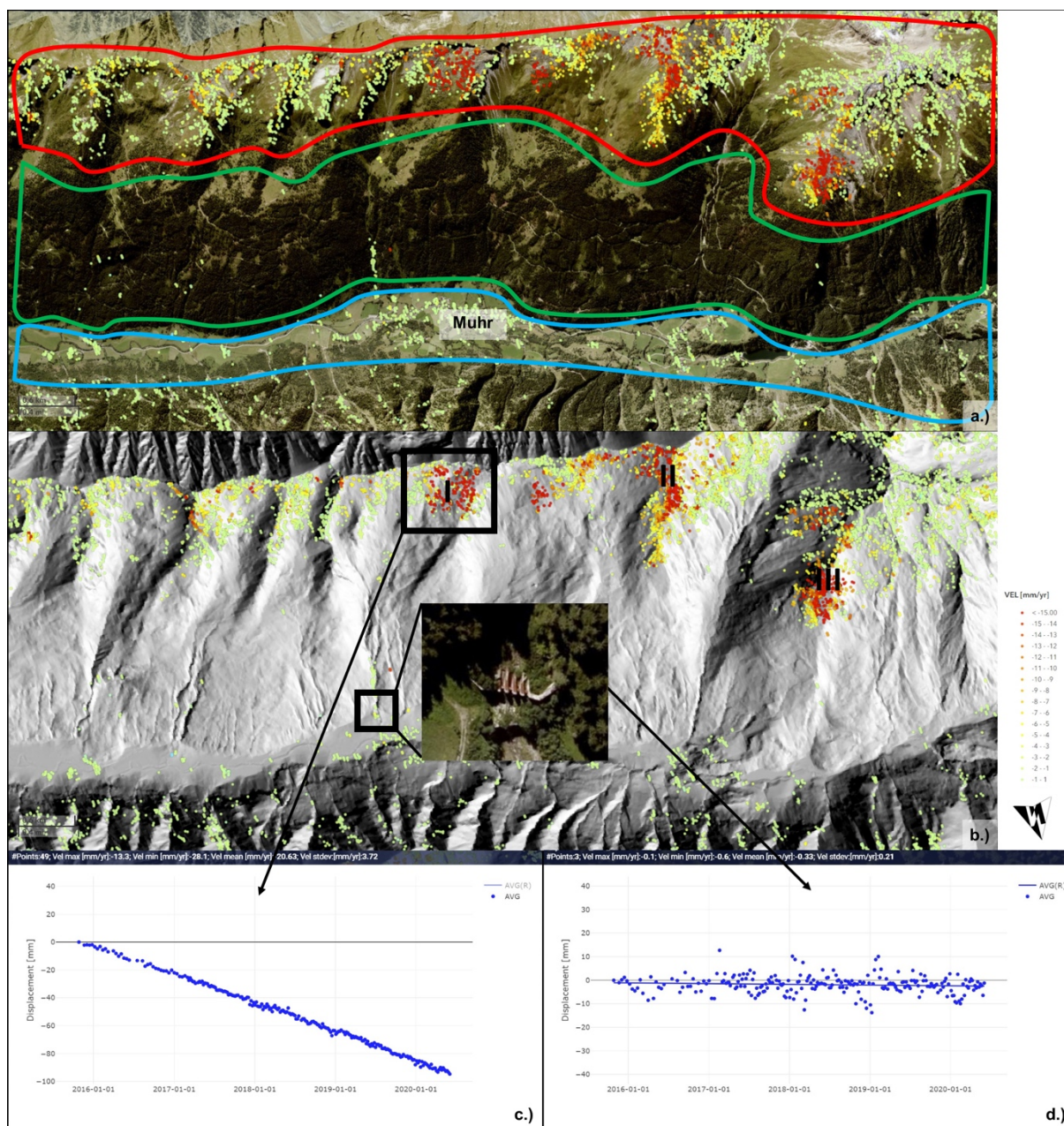


Figura 3. Caso di studio Muhrtal (Lungau, Salisburgo). L'area presenta un'elevata densità di punti InSAR lungo il fondovalle (edifici e infrastrutture) e al di sopra della linea degli alberi (rocce e detrito).

Indagini geologiche e rilievi di terreno

Introduzione

Nell'ambito del progetto Interreg "SedInOut", il rilevamento dei movimenti di superficie tramite dati InSAR è stato implementato nelle aree di studio in Austria, Baviera e Alto Adige. Il progetto si concentra sulla disponibilità di sedimento e sull'apporto per erosione dall'alveo. Emerge che i risultati delle analisi InSAR devono essere valutati direttamente sul campo per poter precisare le possibilità e i limiti della metodologia. È stata condotta un'indagine dettagliata dei movimenti di massa nella Regione di Salisburgo, consistente nel reperimento di dati tramite indagini di terreno.

I lavori di telerilevamento sono assegnati al WP4. La relazione offre una panoramica del lavoro, raccogliendo i risultati e le esperienze pratiche, per successivamente affrontare le singole aree di indagine.

Geodati

Grazie alla disponibilità di banche dati contenenti informazioni (i) geologiche (Geologische Bundesanstalt), (ii) morfologiche, (iii) sul tipo di vegetazione, (iv) sullo sviluppo del paesaggio (SAGIS) e (v) sugli eventi naturali pericolosi, un'ampia gamma di dati è disponibile per l'integrazione con i dati InSAR sviluppati nel corso del progetto SedInOut. Queste banche dati sono liberamente disponibili attraverso i portali web e le applicazioni web del governo austriaco.

Metodologia

L'elaborazione grafica significativa dei dati disponibili online consente una rapida valutazione dei processi in natura. Tuttavia, ciò può essere fuorviante in quanto i dati talvolta contengono notevoli incertezze o imprecisioni. Pertanto, le carte geologiche della GBA (Geologische Bundesanstalt) sono adatte soltanto come punto di riferimento grezzo. Queste incertezze valgono sia per le litologie che per i limiti delle unità geologiche. Tutto ciò deriva dalla scala in atto e dal miglioramento costante delle basi GIS disponibili per la morfologia (dati ALS). I dati ALS (Airborne Laserscan) con ombreggiatura, pendenza, esposizione e sezioni di profilo sono uno strumento efficace per dedurre le forme della superficie dalla loro origine. Tuttavia, la pratica dimostra che l'interpretazione più profonda e specifica del processo richiede un'esperienza notevole ed è comunque soggetta ad incertezze che non devono essere sottovalutate. Tuttavia, queste possono essere ridotte grazie alla conoscenza del terreno e alle conoscenze storiche e geologiche locali. I dati InSAR forniscono informazioni estremamente precise. In precedenza, era possibile effettuare stime dei movimenti del terreno a prescindere dalle informazioni di rilevamento provenienti da dati ALS, studi DKM (Modello Cartografico Digitale) e analisi aeree e ortofoto, ma la suscettibilità all'errore e all'imprecisione dovuta a fattori esterni (distorsioni dovute alla georeferenziazione, alla posizione della fotocamera, ecc.) non poteva essere limitata. I dati InSAR offrono grande affidabilità e precisione grazie all'elevata densità temporale delle misure. Tuttavia, la metodologia è anche soggetta a circostanze che richiedono l'interpretazione e l'esperienza di esperti. Ad esempio, i movimenti N-S sono fondamentalmente sottorappresentati per motivi legati al sistema di acquisizione. Le valli ripide e le aree boschive possono essere registrate solo in maniera limitata. Nella procedura di elaborazione, i dati sono filtrati mediante algoritmi, la cui portata e rilevanza interdisciplinare, soprattutto per i processi geologici, dovrà ancora essere oggetto di ottimizzazione e di ricerche approfondite. Per le indagini presenti, i dati InSAR sono un'ottima indicazione dell'attività. Tuttavia, anche la sovrapposizione di processi, soprattutto in relazione a informazioni morfologiche preliminari (ombreggiatura ALS), porta a conclusioni errate. In diversi casi, i movimenti rapidi del terreno sono stati dimostrati essere riassetamenti e consolidamenti poco profondi all'interno di una zona di accumulo di caduta massi. Pertanto, l'esperienza di queste indagini mostra che le aree di accumulo grossolane e attive provenienti dalle aree di distacco di grandi movimenti di massa sono ben riconosciute dalla metodologia (riflettori), ma un'estrapolazione dei tassi di attività del movimento del pendio nello strato di copertura non è ammissibile. Il caso di Lahngries nella valle

Weißpriach, mostra indicazioni chiari di un cosiddetto "Talzus Schub" (= DGPV) sulla base dell'analisi remota ("Bergzerreißung"). Tuttavia, i risultati del terreno hanno rivelato che l'attività InSAR è attribuibile alla ridistribuzione della discarica autunnale a causa della attività di "Bergzerreißung" molto attiva nella zona della cresta. Si tratta di una zona tettonicamente attiva, caratterizzata dalla presenza di faglie. I rockglacier, le pareti moreniche terminali e anche i depositi di valanga sono in genere buoni riflettori a causa delle dimensioni dei clasti e della mancanza di vegetazione. La loro assenza documenta l'attività delle aree deposizionali, le cui caratteristiche sedimentologiche rivelano processi deposizionali turbolenti. Questo permette anche di trarre conclusioni sul contenuto di ghiaccio residuo quando la zona frontale si è già fermata.

In certi casi, l'assenza di riflettori può essere significativa; in altri è trascurabile. Essa è attribuibile alla presenza di vegetazione, al movimento turbolento e/o rapido delle acque, all'ombreggiamento, all'alterazione della superficie, e, più in generale, a una serie di situazioni interpretabili in modo differente. La valutazione da parte di esperti del terreno è fondamentale per poter giungere a interpretazioni precise. La combinazione di concetti base, conoscenze ed esperienze apre la strada all'uso ottimale dei dati. Infine, il parere dell'esperto non è sempre chiaro e obiettivo: è indispensabile mettere in discussione le proprie conclusioni e confrontarsi professionalmente con quelle degli altri.

Interpretazione e conclusione

Un obiettivo principale delle indagini era quello di ottenere informazioni sull'apporto per erosione dall'alveo utilizzando i dati InSAR. L'approccio è mirato alla definizione delle aree di indagine sulla base dei fattori di ricezione dell'acqua, del movimento attivo e della roccia sciolta e successivamente di indagarle in dettaglio. La definizione delle aree di indagine 1. - 9. è avvenuta nel corso di una riunione di coordinamento con il Servizio Geologico di Stato e GEORESEARCH.

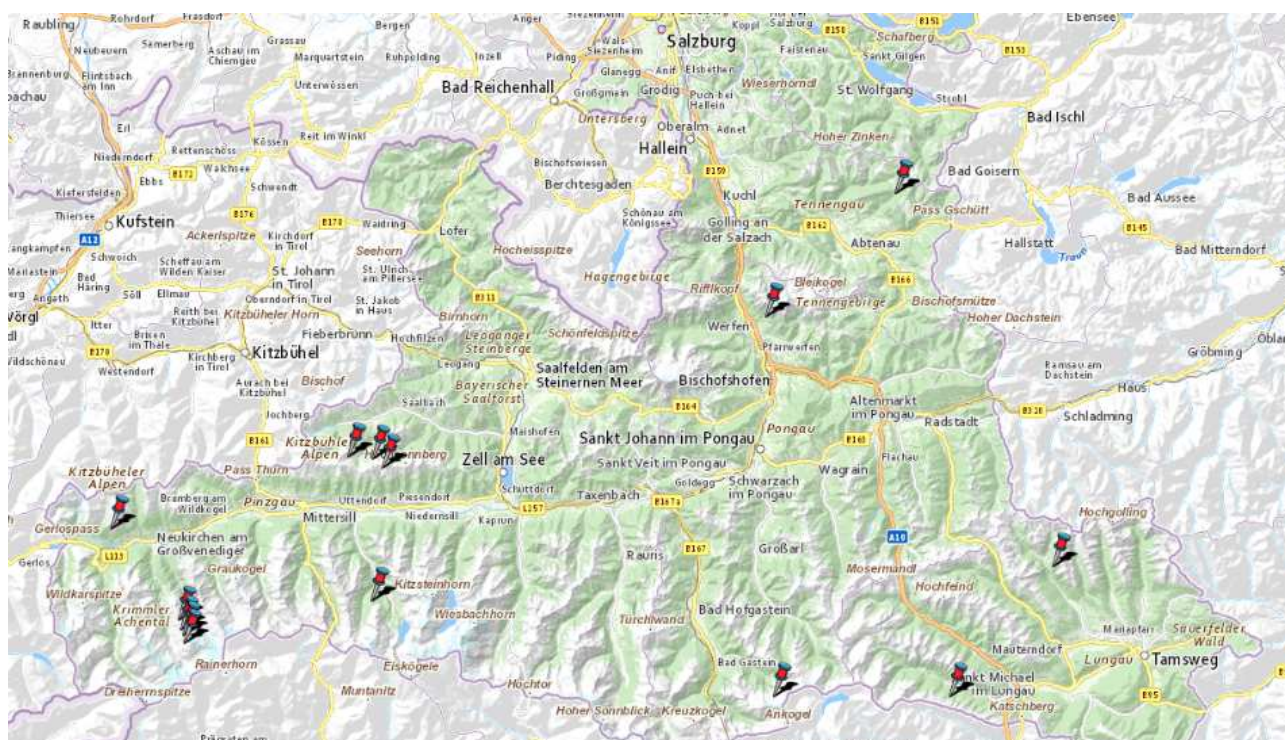


Figura 4. Panoramica della Regione di Salisburgo, contenente la posizione delle aree di studio (Fonte: SAGIS).

Aree di indagine per la verifica sul campo

1. Abtenau – Postalmstraße
2. Pfarrwerfen – Fallsteingraben
3. Uttendorf – Steinkarlhöhe;
4. Weißpriach – Lahngries
5. a) Saalbach – Stoffen Hochalm
- b) Saalbach – Berger Grundalm-Vogelhof Grundalm
- c) Uttendorf Hochsaalbachkogel
6. Bad Gastein – Tischlerkar
7. Muhr – Watschergraben
8. Neukirchen am Großvenediger – Sattelkar; Ofenkar; Mitterkar; Steinkar
9. Wald im Pinzgau – Gernkogel/Hinterwaldberg

Le aree di studio

1. presso la Postalmstraße di Abtenau,
2. presso il fosso Fallsteing di Pfarrwerfen,
- 5a. Stoffen Hochalm,
- 5b. Berger/Voglhof Grundalm a Saalbach,
- 5c. L'Hochsaalbachkogel a Uttendorf,
- 6 il Tischlerkar a Bad Gastein e
- 9 il Gernkogel/Hinterwaldberg a Wald im Pinzgau

mostrano interazioni dirette con le acque riceventi. Ciò significa che è possibile comprendere l'effetto dell'acqua ricevente sul processo o su parti di esso attraverso l'erosione.

Le influenze indirette sulle acque riceventi (processi a valle) sono identificate nelle seguenti aree di studio:

3. il grande movimento di massa Steinkarlhöhe a Uttendorf,
4. Lahngries a Weißpriachtal,
7. l'area circo di Dorfer- e Watschergraben a Muhrthal,
8. Il Sattelkar a Neukirchen am Großvenediger,

In questo caso, le frane si verificano a seguito di movimenti. L'attività di alimentazione del letto è variabile. Mentre le aree di Postalmstraße, Fallsteinggraben, Lahngries, Tischlerkar, Sattelkar e Gernkogel/Hinterwaldberg forniscono notevoli quantità di sedimento di fondo, aree come le frane di Dorfergraben, Steinkarlhöhe, Hochsaalbachkogel e i pascoli alpini di Saalbach non forniscono sedimenti da decenni. Di conseguenza, queste ultime sono state riconosciute solo grazie ai dati InSAR, mentre le prime erano già note grazie agli eventi precedenti. Il potenziale di trasporto di fondo si comporta allo stesso modo. Il potenziale dei depositi abbondanti o quasi continui nelle aree di Postalm, Fallsteing Ditch, Lahngries, Tischlerkar, Sattelkar e Gernkogel/Hinterwaldberg può essere valutato in maniera accurata.

- La strada *Postalm* è interessata da frane poco profonde e massi di grandi dimensioni, oltre che dall'erosione degli argini.

- Il fosso di *Fallstein* reagisce nella stessa maniera: l'erosione delle sponde è secondaria a causa del processo di retrogressione del fosso longitudinale che si origina al centro della frana.

- Il ripido fosso di Lahngries ha modellato la valle con frequenti colate detritiche laterali nelle acque riceventi e un grande potenziale continuo di post-fallimento nel bacino idrografico. La costrizione e le ampie aree di sovrasedimentazione nella valle di Weißpriach, caratterizzata da un basso gradiente longitudinale, rendono valutabile il trasporto di materiale. L'erosione retrograda attraverso il restringimento lungo la valle principale è impedita da una soglia di roccia.

- Nel *Tischlerkar* l'attivazione di sedimenti glaciali recentemente esposti (morene terminali, ghiacciai a blocchi) è decisiva a seguito di precipitazioni intensi. A causa dell'innalzamento del limite delle nevicate, è documentato un deflusso concentrato e rapido con una mobilitazione rapida e di grande volume del carico di fondo. Il potenziale esiste ancora grazie all'abbondanza su piccola scala di depositi equivalenti e continua ad aumentare con la scomparsa delle carote di ghiaccio fino a quando non si creano percorsi di flusso libero attraverso le strutture trasversali.

- Nel *Sattelkar* si nota un'attività intensa di colate detritiche negli ultimi 20 anni. Il potenziale principale risiede in uno spostamento temporaneo dell'Obersulzbach con un evento di deflusso istantaneo simile ad un'alluvione. Si teme che i movimenti si estendano ai successivi circhi del sud.

Il Sattelkar e i circhi vicini, infine, non sono stati oggetto di ulteriori indagini nel corso di questo progetto, in accordo con il Servizio geologico regionale, a causa dell'intenso lavoro scientifico in corso.

- L'area del *Gernkogel/Hinterwaldberg* controlla il deflusso e il trasporto di fondo dell'Alto Salzach. Da un lato è delimitato dalla roccia sovrastante, mentre sul lato nord c'è una quantità quasi illimitata di trasporto di fondo per diversi chilometri a causa di frane attive che possono essere influenzate dall'erosione degli argini. Poiché i movimenti sono quasi uniformi fino alla regione sommitale, esiste un potenziale costante. È stato dimostrato che i processi possono essere ritardati da misure di protezione e consolidamento degli argini. Nel corso delle indagini sono state valutate le zone carsiche meno conosciute di Dorfergraben/Watschergraben, Steinkarlhöhe, Hochsaalbachkogel e i pascoli alpini di Saalbach.

- Sia il *Dorfer-* che il *Watschergraben* sono caratterizzati da movimenti di massa di grande volume di origine alpina nei loro circhi, che tuttavia non sono direttamente collegati ad un corso d'acqua

ricevente. La loro origine si trova nei corpi glaciali dei rockglacier. Il fondo del circo fungerebbe effettivamente da spazio di ritenzione anche in caso di attivazione rapida. La notevole attività dei canali detritici è tuttavia dovuta alla colata carsica e alle sue propaggini inferiori.

- Il sito *Steinkarlhöhe* è caratterizzato da blocchi di dimensioni grandi nell'area del piede, il cui potenziale erosivo è irrisorio. Il principale potenziale di pericolo per quest'area deriva da attivazioni parziali nella zona frontale, che potrebbero portare ad uno spostamento del flusso. Tuttavia, la valle è sufficientemente ampia e il carico di fondo è così povero di particelle fini che non sembra realistico che si sviluppi un arginamento significativo (collegato ad un potenziale di pericolo maggiore).

- Nell'*Hochsaalbachkogel*, il movimento principale si trova al di sopra dell'acqua di ricezione. Il canale è scavato nella roccia. Pertanto, gli impatti derivanti da frane meno profonde rappresentano lo scenario rilevante. Tuttavia, queste possono innescare colate di fango.

- Presso la *Malga Stoffen*, la pendenza del canale non si muove attivamente. La massa attiva si trova a quasi 200 m sopra la trincea, su un "Talzus Schub" inattivo. Esiste un potenziale di erosione e, a seguito di inondazioni, è prevedibile uno spostamento del canale in quest'area. Questo scenario è già stato realizzato sedimentologicamente nel terreno.

- Il grande movimento di massa presso la *Berger- e Voglhof Grundalm* è di grande volume. Questo movimento di massa non è geneticamente influenzato dall'acqua ricevente. I movimenti avvengono così lentamente che i canali si formano lateralmente, per cui non esiste un potenziale rilevante di colate di fango da quest'area. La pendenza ha comunque portato ad un restringimento della sezione trasversale della valle, dove il materiale può essere mobilitato dall'erosione delle sponde. Per la quantificazione supportata dall'InSAR dell'apporto dal fondo dell'alveo dei movimenti di massa nel contesto di ulteriori attività di ricerca, sulla base delle indagini si raccomanda di concentrarsi sui movimenti di massa della 1a Postalmstraße e del 9° Gernkogel/Hinterwaldberg, poiché in questo caso il movimento continuo dell'intero fianco deve essere scaricato dalle sue acque riceventi.

Parte specifica - aree di indagine

Il lavoro sul campo si svolge nelle seguenti fasi:

1. Raccolta dei dati digitali di base (GIS) e lavoro preliminare.
2. Mappatura sul campo
3. Elaborazione GIS e preparazione della mappatura sotto forma di relazione.

I dati OGD, come le carte geologiche e le carte GEOFAST a 1: 50.000, nonché le sezioni di profilo del Webservice del Servizio geologico austriaco (GBA) costituiscono la base principale delle indagini. Le basi digitali (GIS) sono fornite come OGD dalla Regione di Salisburgo (SAGIS). La mappatura si basa su osservazioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche con particolare attenzione ai processi gravitazionali in questione. Per motivi di migliore leggibilità, la rappresentazione grafica si basa preferibilmente sulle fotografie aeree fornite dal Servizio geologico di Salisburgo. Dove necessario, sono stati utilizzati anche geodati classici come scansioni laser (hillshade) e ortofoto. Sono state preparate descrizioni testuali e documentazioni fotografiche dei movimenti di massa, presentate in un rapporto separato per ogni area di studio.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare i geologi della provincia di Salisburgo, in particolare Gerald Valentin, senza il quale questo progetto non sarebbe stato possibile. Desideriamo inoltre ringraziare Ludwig Fegerl per la sua eccellente collaborazione. Ringraziamo il team di GEORESEARCH, in particolare Markus Dörfler, Markus Keuschnig e Ingo Hartmeyer, per l'eccellente gestione del progetto. Infine, vorremmo ringraziare il gruppo intero del progetto SedInOut. Lo scambio entusiasta di idee e informazioni è stato di grande importanza per il successo del progetto per tutta la sua durata.

