



“Die Möglichkeiten
haben keine Grenzen”



**Validierung von satellitengestützten und terrestrischen
Monitoringsystemen für die Messung von Bodenverformungen**

**Deliverable
D.3.03**

**Auswahl der Testgebiete und
der anzuwendenden
Monitoring-Technologien für
das Projekt**

Datum: 09.2012

Das Projekt SloMove wird vom Programm Interreg IV (FESR) kofinanziert
Europäische territoriale Kooperation Italien-Schweiz 2007-2013

www.SloMove.eu

Danksagung

Dank der Unterstützung von folgenden Körperschaften wurde die Ausführung des Projektes erst ermöglicht:

- Kofinanzierung durch das Interreg-Programm IV europäische territoriale Kooperation Italien – Schweiz 2007 – 2013, Convezion ID 27384220;
- Kofinanzierung durch die Autonome Provinz Bozen;
- Kofinanzierung durch die Europäische Akademie Bozen EURAC
- Kofinanzierung durch das WSL -Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Kontakte:

Lead Partner (Management)

Amt für Geologie und Baustoffprüfung, Autonome Provinz Bozen, Südtirol

Eggentalerstrasse 48

I-39053 Kardaun (BZ)

Verantwortliche

Claudia Strada

Tel +39 0471 361564

Fax +39 0471 361512

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

Wissenschaftliche Koordination

Institut für Angewandte Fernerkundung Europäische Akademie Bozen EURAC

Drususallee 1

I-39100 Bozen (BZ)

Verantwortlicher

Giulia Chinellato

Tel +39 0471 055387

Fax +39 0471 055389

E-Mail: christian.iasio@eurac.edu

Die Daten und die Informationen, welche in diesem Dokument wiedergegeben werden, zeigen Ideen und Erfahrungen der Autoren. Die Verwaltungsbehörden und Partnerinstitutionen des Projektes sind für die Nutzung der hier wiedergegebenen Informationen nicht Verantwortlich.

Das Projekt SloMove

Die Entstehung des Projektes SloMove beruht auf das Anliegen das heutig technisch zur Verfügung stehende Monitoringpotential für die Messung von Bodenverformungen zu verbinden. Weiters soll es für die Raumreglementierung und -planung eingesetzt werden. Dieses Bedürfnis ist vor allem im grenzüberschreitenden Hochgebirge gefragt, diese Teilen die Sicherung von wichtigen strategischen Verbindungsinfrastrukturen.

Allgemeine Ziele

- Abschätzung von Nutzen und Grenzen von satellitengestützter Radarinterferometrie für das Monitoring von Bodenverformungen im Hochgebirge;
- Optimierung der Monitoringprozeduren indem die durch terrestrischen Methoden erhaltenen Daten zur Validierung der Daten aus satellitengestützter Radarinterferometrie genutzt werden;
- Festigung des Grundwissens der Techniker über die Standartanwendung von SAR- und Geländedaten für das Monitoring von Hangbewegungen.

Spezielle Ziele

- Ausbildung des Personals durch gezielte Fortbildung in die einzelnen Ausarbeitungstechniken von Radardaten und der Implementierung von integrierten Monitoringsystemen, satellitengestützt wie auch terrestrisch;
- Test des integrierten Monitorings auf gut bekannten Untersuchungsgebieten;
- Erstellung eines Protokolls über die Anwendung der Monitoringmethoden (Planung und Prävention). Es sollten die limitierenden Faktoren und Erfordernisse aufgelistet werden, welche in den verschiedenen untersuchten Territorien, vor allem im alpinen Raum auftreten;
- Produktion und Verbreitung der Monitoringmethoden und der Prozeduren für die Anpassung der Verwaltungsverfahren zum Risikomanagement. Dies soll durch das erstellen von Leitfäden und Handbücher für die Techniker der öffentlichen Verwaltung und technischen Büros erfolgen. Dabei soll ein effizienter Informationsfluss garantiert werden zwischen Monitoring- und Planungsphase.

Methoden

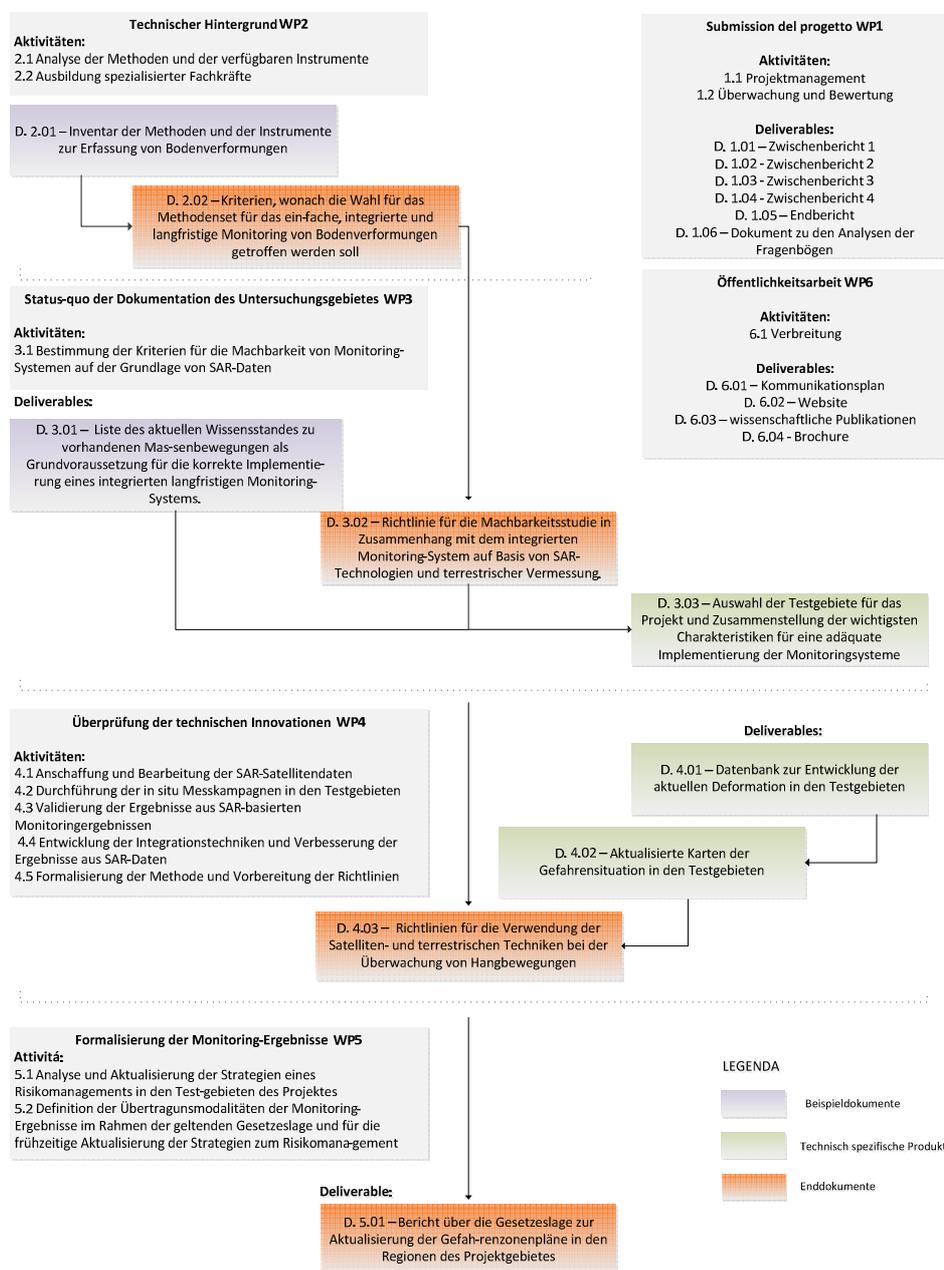
- satellitengestützte SAR Multi-Interferometrie;
- Terrestrial Laser Scanner;
- Differenzieller GPS;
- Auswertung der Daten zwischen Technikern und Administratoren

Dokumentation

Das Projekt besteht aus vier technisch operativen Arbeitspaketen und zwei weiteren Paketen, welche sich um Management und Öffentlichkeitsarbeit kümmern.

Der Fortschritt dieser Aktivitäten wird in vier Zwischenberichten und einem Endbericht wiedergegeben.

Die Produkte aus Forschung, Entwicklung und methodologischer Innovation werden in folgender Weise wiedergegeben: vier Dokumenten bzw. Leitlinien zur generellen Veranschaulichung, zwei Beispieldokumente mit Datenbanken und aktuellen Kartenmaterial des Testgebietes. Die Verbindung zwischen den einzelnen Dokumenten wird im Diagramm dargelegt:



Partner & Autoren

Italien

Lead Partner

Amt für Geologie und Baustoffprüfung
Autonome Provinz Bozen

Volkmar Mair
Claudia Strada
David Mosna

Partner 1

Institut für Angewandte Fernerkundung
Europäische Akademie Bozen EURAC

Christian Iasio
Giulia Chinellato

Schweiz

Partner 3

WSL -Institut für Schnee- und Lawinenforschung
SLF

Marcia Phillips
Robert Kenner

Partner 4

Abenis A.G. Ingenieure und Planer

Andreas Zischg

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkung.....	8
2. Auswahlkriterien für das Testgebiet - Tabelle 3.03.2.....	9
2.1 Zugänglichkeit.....	9
2.2 Anwendbarkeit der Multitemporalen Interferometrie	11
3. Auswahl des Methoden-Sets.....	16

1. Vorbemerkung

Die vorgestellten Unterlagen stimmen mit den im Workpackage 3 in Hinblick auf die Analyse der Parameter und der Eigenschaften der relevanten Instabilitätsphänomene zur Bewertung der Machbarkeit eines integrierten Monitorings vorgesehenen Zielen überein.

In diesem Dokument wird ein Beispiel für die Anwendung von für die Analyse der Machbarkeit eines integrierten Monitorings nützlichen Kriterien angeführt, welche unter Berücksichtigung der im Projekt SloMove angewandten Methoden definiert wurde, wobei der logische Prozess, nach welchem die Testgebiete des Projekts ausgewählt wurden, beschrieben wird.

Im ersten Teil wird die Vorgehensweise für die Auswahl und die Überprüfung der Testgebiete, auf der Grundlage der Kenntnisse über die Eigenschaften der für das Projekt verfügbaren Monitoringmethoden, zusammenfassend dargelegt. Die Vorauswahl der als Fallstudie für das Projekt SloMove zu bewertenden Gebiete erfolgte unter Berücksichtigung des bezeichnenden Charakters und der Relevanz der Typologie der Phänomene auf dem Südtiroler Landesgebiet, wie im Deliverable 3.01 beschrieben.

Für die Endauswahl, welche das zentrale Thema des vorliegenden Dokuments ist, wurde eine Gruppe an Bewertungsparametern zusammengestellt, die für die angewandten Methoden relevant sind und jedem Parameter wurde ein Index zugeordnet, um eine Rangordnung nach Punktezahlen zu erhalten. Diese Parameter sind zusammenfassend in der **Tabelle 3.03.2** angeführt, welche zergliedert und detailliert analysiert wurde, um die Kriterien für die Auswahl des geeignetsten Testgebietes bestmöglich zu beschreiben.

Im letzten Kapitel (Kap. 4) wird hingegen ein umgekehrter Ansatz zur Bewertung - auf der Grundlage der Eigenschaften des Untersuchungsortes - der Angemessenheit der vorgesehenen Monitoringmethoden angewendet. Die in der Tabelle 3.03.3 angeführten Elemente entsprechen jenen der Tabelle 2.01.1, die im zugehörigen Glossar beschrieben sind. Das Auswahlverfahren erfolgt in diesem Fall exakt nach den Angaben im logischen Diagramm 2.02.1 im Dokument D.2.02. Das Beispiel der Anwendung einer Machbarkeitsstudie für das Monitoring wird durch die folgenden Schritte ergänzt:

- Auswahl der Methoden-Sets unter Nutzung ihrer spezifischen Eigenschaften.
- Überprüfung der Einschränkungen in Hinblick auf die Anwendbarkeit der gewählten Technologien, nach der im Dokument D.2.02 vorgeschlagenen Methode.

2. Auswahlkriterien für das Testgebiet - Tabelle 3.03.2

Sito/Parametri	Accessibilità (costi)						
	Vie di accesso	punteggio	Dislivello	punteggio	Tempo di percorrenza a piedi	punteggio	punteggio totale A
Senales 1	strada forestale	8	Basso	7	15''-45''	7	22
Senales 2	-	0	Medio	3	45''-2h	3	6
Senales 3	-	0	Medio	3	45''-2h	3	6
Senales 4	strada forestale	8	Medio	3	45''-2h	3	14
Senales 5	-	0	Alto	1	> 2h	1	2
Senales 6	-	0	Alto	1	> 2h	1	2
Senales 7	strad forestale/sentiero	8	Basso	7	15''-45''	7	22
Solda 1	strada forestale	8	Medio	3	45''-2h	3	14
Solda 2	strada forestale	8	Basso	7	45''-2h	3	18
Solda 3	strada forestale	8	Medio	3	45''-2h	3	14
Solda 4	strada forestale	8	Alto	1	45''-2h	3	12
Solda 5	strada forestale	8	Alto	1	> 2h	1	10
Tubre 1	strada forestale	8	Basso	7	15''-45''	7	22
Tubre 2	strada forestale	8	Medio	3	15''-45''	7	18
Tubre 3	strada forestale	8	Medio	3	15''-45''	7	18
Tubre 4	strada forestale	8	Medio	3	15''-45''	7	18

2.1 Zugänglichkeit

Es handelt sich hierbei um einen der für die Auswahl des Testgebietes des Projekts SloMove als wesentlich erachteten Parameter. Die Zugänglichkeit des betroffenen Gebietes beeinflusst die Anzahl der für die Messkampagne einzusetzenden Personen und die Dauer der Messungen: dies hat wiederum bedeutende Auswirkungen auf die Personalkosten und in einigen Fällen auch auf den Erfolg des Monitorings.

Die Wahl der Methode des integrierten Monitorings, welche häufige Messkampagnen vorsieht, steht in engem Zusammenhang mit der Zugänglichkeit des Messorts, im Sinne von Zugangswegen, Gesamthöhenunterschied und Zeitaufwand, der notwendig ist, um den Weg zu Fuß zurückzulegen. Alle diese Faktoren wurden quantifiziert, um eine Klassifizierung der Zugänglichkeit für jedes vorgeschlagene Gebiet zu erstellen.

Zugangswege

In der nachfolgenden Tabelle sind einige der möglichen Zugangswege zum Messort aufgelistet, wobei es sich jeweils um Hochgebirgsgegenden handelt.

Zugangswege	Punktezahl
Straße	12
Forstweg	8
Weg	4
keine	0

Höhenunterschied

Unter Bezugnahme auf den vorhergehenden Parameter werden in der nachfolgenden Tabelle die verschiedenen Höhenunterschiede angeführt, die zu Fuß zurückgelegt werden müssen, um den jeweiligen Ort zu erreichen.

Höhenunterschied	Punktezahl
Niedrig	7
Mittel	3
Hoch	1
Gering = Höhenunterschied = 300-600	
Mittel = Höhenunterschied = 600-1000	
Hoch = Höhenunterschied = >1000 m	

Zeitaufwand (zu Fuß)

Der Zeitaufwand ist in Hinblick auf den Zeitbedarf, um den Weg bis zum betroffenen Ort zu Fuß zurückzulegen (geringer Höhenunterschied entspricht nicht geringem Zeitaufwand), und auf die Anzahl an Personen, die für den Transport des notwendigen Materials notwendig sind, relevant.

Zeitaufwand (zu Fuß)	Punktezahl
15''-45''	7
45''-2h	3
>2h	1

Sito/Parametri	Accessibilità (Applicabilità)		
	Giorni di pioggia / 10	Giorni di neve a terra /10	punteggio totale B
Senales 1	9	21	30
Senales 2	9	21	30
Senales 3	9	15	24
Senales 4	9	21	30
Senales 5	9	21	30
Senales 6	9	18	27
Senales 7	9	18	27
Solda 1	9	15	24
Solda 2	9	15	24
Solda 3	9	15	24
Solda 4	9	15	24
Solda 5	9	21	30
Tubre 1	9	21	30
Tubre 2	9	15	24
Tubre 3	9	15	24
Tubre 4	9	15	24

Anzahl der Regentage und Anzahl der Tage mit schneebedecktem Boden

Diese Indikatoren sind relevant, um die Arbeitsbedingungen und die Anwendbarkeit der für das Monitoring gewählten Technologie zu definieren. Bei der Wahl des geeignetsten Gebietes für das geplante Monitoring wird auch die Bewertung der Witterungsverhältnisse als wesentlich erachtet. Die Punktezah für diese Parameter wurde einfach durch Division der Anzahl der Tage (jeweils bei Regen oder Schnee) durch 10 errechnet.

Auf diese Weise wurde jedem Gebiet eine direkte Punktezah zugewiesen. Die in der Tabelle angeführten Daten entstammen Wetter-Messstationen im Nahbereich der jeweiligen Messorte.

2.2 Anwendbarkeit der Multitemporalen Interferometrie

In diesem Abschnitt werden einige der grundlegenden Parameter beschrieben, die insbesondere in Hinblick auf die Feststellung der Angemessenheit der Anwendung der multitemporalen, interferometrischen Messung nützlich sind. Die Anwendung der anderen gewählten Techniken für das im Projekt SloMove vorgesehene integrierte Monitoring, wie die GPS- und die TLS-Messungen (Terrestrial Laser Scanning), die von ähnlichen Faktoren abhängen, werden üblicherweise stark vom Faktor "Zugänglichkeit" des Messortes beeinflusst.

Hangausrichtung (Exposition)

Die Hangexposition wirkt sich auf die Sichtbarkeit des Gebietes für den Satelliten und infolgedessen auch auf die Qualität der Daten aus. Die Umlaufbahn des Satelliten hat in etwa eine N-S-Ausrichtung und eine orthogonal ausgerichtete Sichtverbindung (Line of Sight LOS). Dies hat zur Folge, dass die N-S Bewegungen nicht angemessen beobachtet werden können, während die Phänomene, die sich in Richtung E-W (W-E) bewegen, gut gemessen werden können. Aus diesem Grund sind, da die Instabilitätsphänomene sich üblicherweise in Richtung der größten Hangneigung bewegen, Hänge mit einer E-W Ausrichtung vorzuziehen.

Auf der Grundlage dieser letzten Informationen wurde eine Tabelle erstellt, in welcher verschiedene Ausrichtungsklassen des Hanges angeführt werden (ausgedrückt in Azimut). Nimmt man als Modalwert für die Verteilung der Expositionswerte eines jeden Elements des DEM den in diesem Gebiet am häufigsten vorkommenden Expositionswert an, erfolgt die Punktevergabe betreffend die Exposition eines jeden Gebietes nach dem Exposition-Modalwert. Die Gebiete, deren Exposition-Modalwert dem Idealwert am nächsten ist, erhalten eine höhere Punktezahl.

Expositions-Modalwert	Punktezahl
10-45	2
45-68	3
68-113	4
113-135	3
135-170	2
170-190	1
190-235	2
235-248	3
248-303	4
303-315	3
315-350	2
350-10	1

Bewaldung

Die Bewaldung einer Fläche hat Auswirkungen auf die Nutzung der multitemporalen Interferometrie, da ein dichter Baumwuchs verhindert, dass das Radarsignal Oberflächen trifft, die eine im Laufe der Zeit konstante Rückstreuung ermöglichen. In der Regel bewirken bewaldete Gebiete inkohärente Signale, die einen Informationsausfall bewirken.

Aus diesem Grund wurde diesem Parameter in Hinblick auf die Auswahl des Testgebietes eine sehr hohe Gewichtung beigemessen. Mithilfe einer GIS-Verarbeitung der Realnutzungskarte war es möglich, für jedes untersuchte Gebiet den Prozentwert der bewaldeten Fläche zu errechnen; auf der Grundlage von Bewaldungs-Prozentintervallen wurden Punktezahlen vergeben.

Bewaldung	Punktezahl
0-5	10
5-10%	8
21%-40%	6
41%-61%	4
61%-81%	2
81%-100%	1

Sichtbarkeit für den Satelliten (Geometrische Verzerrungen)

Die Sichtbarkeit für den Satelliten beschreibt die Fähigkeit des Satellitenradars, Phänomene mit einem bestimmten Zuverlässigkeitsgrad zu erfassen.

Die geometrischen Verzerrungen sind perspektivische Verformungen, die eine geringere Qualität der Daten des Interferometers bis hin zu einem gänzlichen Ausfall der Daten bedingen; sie hängen von der Ausrichtung und der Neigung des zu analysierenden Prozesses und von der Satellitengeometrie ab (Azimut der Umlaufbahn, Sichtlinie und Einfallswinkel am Boden). Durch Verwendung eines GIS-Programms und eines bestimmten Tools und mithilfe eines digitalen Geländemodells in Hochauflösung (dtm 2,5*2,5 m Pixelgröße) war es möglich zu ermitteln, welcher Satellit (und die entsprechende Geometrie) sich am besten für die Bemessungen eines jeden Gebietes eignen würde. Dies war durch die Schaffung einer "Maske" möglich, in welcher die Teilflächen hervorgehoben wurden, die für die drei verschiedenen geometrischen Verzerrungen (forshortening, layover und shadowing) anfällig sind und deren Daten somit weniger zuverlässig sind.

Die bessere Eignung einer Geometrie im Vergleich zu einer anderen hängt vom Prozentsatz der Fläche des herangezogenen Gebietes ab, wo das **Radarsignal stärker und zuverlässiger ist (enhanced-range Gebiete)**. Bei der Ausarbeitung der "Maske" wurde zwischen aufsteigender und absteigender Umlaufbahn unterschieden; die in Betracht gezogenen aufsteigenden und absteigenden Geometrien berücksichtigen die Umlaufbahnen der Satelliten TerraSAR-X und Cosmo-SKM.

Es wurde getrennt für Umlaufbahn und Geometrie eine Punktezah, je nach Prozentanteilen an enhanced-range beeinflussten Gebieten, vergeben.

Enhanced range	Punktezahl
>80%	5
60-80%	4
40-60%	3
20-40%	2
0-20%	1

Der Farbcode der Zellen ermöglicht es, auf einen Blick den Grad der Zuverlässigkeit für eine bestimmte Geometrie und Umlaufbahn zu erkennen.

Sito/Parametri	Visibilità e Caratteristiche della superficie											A+B+C
					Visibilità al satellite (Distorsioni geometriche)							
	Moda della distribuzione dell'esposizione	punteggio	Copertura boschiva (%)	score	Cosmo a-45,77	Cosmo d-45,77	Terra a-30	Terra d-30	punteggio per orbita discendente	punteggio per orbita ascendente	punteggio totale C	
Senales 1	50	3	6,2	8	22,30% F, 0,034% L, 73,82% E, 3,83% S	68,49% F, 2,73% L, 28,59% E, 0,17% S	20,89% F, 1,32% L, 77,48% E, 0,30% S	53,91% F, 17,18% L, 28,91% E	8	4	23	75
Senales 2	250	4	34,0	6	88,11% F, 5,73% L, 6,07% E, 0,08% S	11,71% F, 0,08% L, 82,95% E, 5,23% S	53,63% F, 40,26% L, 6,10% E	10,94 F, 1,01% L, 87,87% E, 0,18% S	2	10	22	58
Senales 3	170	1	25,0	6	42,85% F, 1,57% L, 54,79% E, 0,78% S	65,34% F, 0,77% L, 32,59% E, 1,28% S	32,58% F, 12,04% L, 55,37% E	44,79% F, 21,54% L, 33,66% E, 0,02% S	6	4	17	47
Senales 4	230	2	50,1	4	94,45% F, 3,73% L, 1,80% E, 0,004% S	4,36% F, 0,00% L, 91,24% E, 4,42% S	57,95% F, 40,26% L, 1,78% E	4,31% F, 0,14% L, 95,45% E, 0,10% S	2	10	18	62
Senales 5	250	4	6,1	8	83,73% F, 5,10% L, 10,95% E, 0,19% S	16,99% F, 0,38% L, 76,12% E, 6,50% S	52,83% F, 36,08% L, 11,97% E	15,44% F, 2,97% L, 82,34% E, 0,15% S	2	9	23	55
Senales 6	210	2	6,0	8	74,65% F, 0,84% L, 24,44% E, 0,05% S	38,91% F, 0,11% L, 60,14% E, 0,82% S	67,24% F, 8,50% L, 24,24% E	35,92% F, 3,46% L, 60,60% E, 0,01% S	4	6	20	49
Senales 7	135	3	0,0	10	6,5% F, 92% E	94% F, 4,64% E	6,2% F, 93% E	67% F, 27% L, 4,7% E	10	2	25	74
Solda 1	250	4	62,0	2	96,13% F, 2,90% L, 0,97% E	2% F, 92% E	56,69% F, 42,35% L, 0,95% E	3,44% F, 96,37% E, 0,1984% S	2	10	18	56
Solda 2	50	3	20,9	6	17,25% F, 0,02% L, 77,82% E, 4,90% S	60% F, 25% E	16,60% F, 0,57% L, 82,60% E, 0,21% S	54,09% F, 22,27% L, 23,63% E	9	4	22	64
Solda 3	70	4	61,9	2	1,51% F, 78,78% L, 19,68% S	55% F, 40% L	1,48% F, 0,01% L, 97,55% E, 0,94% S	36,63% F, 60,91% L, 2,43% E	6	6	18	56
Solda 4	310	3	35,9	4	53,04% F, 1,13% L, 43,52% E, 2,30% S	23% F, 68% E	37,60% F, 16,49% L, 45,86% E, 0,03% S	28,73% F, 8,88% L, 62,68% E, 0,05% S	6	6	19	55
Solda 5	320	2	0,8	10	74,95% F, 2,16% L, 22,61% E, 0,25% S	20% F, 76% E	61,70% F, 15,35% L, 22,92% E, 0,01% S	22,23% F, 1,13% L, 76,27% E, 0,35% S	4	4	20	60
Tubre 1	170	2	67,2	2	29,98% F, 0,04% L, 68,61% E, 1,37% S	82,87% F, 0,84% L, 16,25% E, 0,04% S	28,82% F, 1,33% L, 69,84% E	67,18% F, 16,63% L, 16,19% E	6	2	12	64
Tubre 2	150	2	87,6	1	16,06% F, 0,04% L, 81,62% E, 2,26% S	91,12% F, 3,22% L, 5,63% E,	15,93% F, 0,41% L, 83,51% E, 0,13% S	72,15% F, 22,36% L, 5,48% E	10	2	15	57
Tubre 3	170	1	60,2	2	20,16% F, 0,22% L, 76,26% E, 3,34% S	84,72% F, 2,87% L, 12,27% E, 0,12% S	17,82% F, 2,73% L, 79,28% E, 0,15% S	56,32% F, 31,44% L, 12,21% E, 0,01% S	6	2	11	53
Tubre 4	150	2	70,0	1	24,76% F, 0,78% L, 72,13% E, 2,31% S	76,53% F, 1,56% L, 19,10% E, 0,79% S	19,64% F, 6,01% L, 74,32% E, 0,02% S	57,88% F, 22,29% L, 19,80% E	6	2	11	52,7

Anwendbarkeit der satellitengestützten Interferometrie: Exposition des Gebietes, Bewaldung und Sichtbarkeit für den Satelliten (geometrische Verzerrungen).

2.3 Dichte der PS - Ergebnisse aus dem Projekt SAFER

Dank der Verfügbarkeit bereits bestehender Daten aus dem Projekt SAFER stehen Informationen über die räumliche Verteilung der Persistent Scatterer (PS) im westlichen Landesgebiet der Autonomen Provinz Bozen zur Verfügung, wo sich auch die möglichen Testgebiete befinden. Die Daten beziehen sich auf die aufsteigenden und absteigenden Umlaufbahnen der Satelliten ERS, Envisat und RADARSAT. Die Verfügbarkeit dieser Daten ermöglicht es, die Dichte der bestehenden natürlichen Reflektoren zu bewerten und die Angemessenheit der Technik der Multi-Interferometrie zur Bemessung eines jeden Gebietes zu überprüfen: diese Art von Informationen bringt enorme Vorteile mit sich, da das Vorhandensein einer großen Zahl von natürlichen Reflektoren eine bessere Analyse des Phänomens ermöglicht.

Auch in diesem Fall wurden die bestehenden Daten derart aufgearbeitet, damit sie in Klassen für die Punktevergabe aufgeteilt werden konnten.

Dichte (PS/km ²)	Punktezahl
0-10	0
10-25	1
25-50	3
50-100	5
100-250	7
250-500	9
500-1000	11

2.4 Auswahl des Testgebietes

Durch Summierung der Teilpunktezahlen für jede berücksichtigte Parameter-Hauptgruppe wurde eine Rangordnung der Testgebiete aufgestellt. Die Summe der Teilpunktezahlen, ohne die bereits bestehenden Daten aus dem Projekt SAFER (A+B+C) zu berücksichtigen, die nur in diesem Bereich zur Verfügung stehen, ist für die Auswahl des Testgebietes mehr als ausreichend; dies auch im Vergleich mit den Gesamtpunktezahlen (letzte Spalte A+B+C+D).

Auf italienischem Gebiet wurde Schnals 7 als Testgebiet ausgewählt; dieses Gebiet weist die für die gewählten Monitoringtechniken passenden Eigenschaften der Zugänglichkeit und der Anwendbarkeit auf. Eine erste Ortsbesichtigung hat ergeben, dass sich dieses Gebiet für eine erfolgreiche Durchführung der Messkampagne eignet. Das Testgebiet ist sehr einfach mit dem Auto über einen privaten Feldweg und eine kurze Strecke über einen Bergweg erreichbar. Es spricht nichts gegen die Installation der technischen Ausrüstung vor Ort und die Messkampagne kann unter guten Sicherheitsbedingungen durchgeführt werden, wenn die für ein Hochgebirge üblichen Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Der Höhenunterschied, der zu Fuß zurückgelegt werden muss, beträgt 400 m und erfordert nur sehr wenig Zeit. Die Exposition und die Neigung des Hanges sowie die Bodeneigenschaften sind für den Einsatz der gewählten Monitoringtechniken sehr gut geeignet. Das gesamte Gebiet ist **völlig unbewaldet**. Bei der ersten Ortsbesichtigung wurde festgestellt, dass die Wetterbedingungen sehr schnell umschlagen. Kurze Regenfälle kommen häufig vor und sind meist schwer vorhersehbar. Ende Juni war das Gebiet nicht schneebedeckt. Die ostseitige Exposition des Hanges begünstigt die schnelle Schneeschmelze während der Sommermonate.

Sito/Parametri	Densità PS/km ² - dati dal Progetto SAFER												punteggio per orbita discendente	punteggio per orbita ascendente	punteggio totale D	A+B+C+D
	Radarsat des (n. of PS)	PS/km ²	Radarsat asc (n. pf PS)	PS/km ²	Envisat des (n. Of PS)	PS/km ²	Envisat asc (n. of PS)	PS/km ²	Ers des (n. of PS)	PS/km ²	Ers asc (n. of PS)	PS/km ²				
Senales 1	41	16	104	41	1	74	29	no cover		4	2	1	6	7	82	
Senales 2	4721	1056	84	19	2501	559	no ps	no cover		no ps		24	3	27	85	
Senales 3	910	290	264	84	90	29	369	118	no cover	71	23	12	13	25	72	
Senales 4	2021	443	26	6	880	193	no ps	no cover		no ps		16	0	16	78	
Senales 5	2332	742	1522	485	1123	358	no ps	no cover		no ps		20	9	29	84	
Senales 6	1876	657	615	215	376	132	no ps	no cover		no ps		18	7	25	74	
Senales 7	57	1325	306	7111	no ps	104	2417	no cover	55	1278	13	39	52	126		
Solda 1	860	293	3	1	36	12	no ps	112	38	no ps		13	0	13	69	
Solda 2	13	9	no ps		no ps	20	14	no ps	6	4	0	1	1	65		
Solda 3	no ps		61	42	no ps	106	73	no ps	5	3	8	0	8	64		
Solda 4	136	31	7	2	no ps	4	1	5	1	3	1	3	0	3	58	
Solda 5	18	4	675	155	no ps	no ps	119	27	no ps		0	10	10	70		
Tubre 1	1836	420	118,00	43	no ps	818	298	no ps	134	48	11	15	26	90		
Tubre 2	364	83	86	24	no ps	55	16	no ps	7	2	7	8	15	72		
Tubre 3	445	102	446	110	no ps	121	30	no ps	13	3	7	10	17	70		
Tubre 4	594	136	484	146	no ps	292	88	23	7	41	12	7	13	20	72,7	

Auf der Grundlage der vorhergehenden Ausführungen werden die für die Auswahl angemessener und effizienter Monitoringmethoden als relevant erachteten Eigenschaften angeführt.

Auf der Grundlage der Erfahrungen im Projekt SloMove sind die zu berücksichtigenden grundlegenden Parameter bei der Auswahl der satellitengestützten und terrestrischen Technologien folgende:

1. **Sichtbarkeit:** mit Satellit, Laser oder Photogrammetrie (Exposition und Neigung des Gebietes, Wetterbedingungen, Bewaldung und Schneebedeckung und natürliche sowie künstliche Hindernisse);
2. **Zugänglichkeit, Einschränkungen und Sicherheit:** für die Durchführung der Messungen oder für die Installation der Geräte vor Ort;
3. **Eigenschaften der monitorierten Fläche:** Möglichkeiten, die Oberfläche zu erheben (Vorhandensein von Reflektoren, Rauheit, Bewaldung, Schneebedeckung, künstliche und natürliche Hindernisse).

3. Auswahl des Methoden-Sets

Umgekehrt als bisher geschildert, wird in den folgenden Seiten ein Verfahren vorgestellt, bei dem - ausgehend von einem Gebiet, über welches das Vorkommen bestimmter Naturphänomene bekannt ist - unter Verwendung der bisher zur Verfügung gestellten Geräte das am besten geeignete Methoden-Set für das Monitoring definiert werden kann. Dies ist nämlich die häufigste Bedingung bzw. Ausgangslage für viele mit der Untersuchung von Bodenverformungen beauftragte Techniker. Ausgehend von den Beschreibungen des vorliegenden Dokuments und der Deliverables D 2.01 und D2.02 wurden, unter Berücksichtigung der morphologischen und phänomenologischen Eigenschaften des Testgebiets Schnals 7, die Monitoringmethoden für den vorliegenden Fall gewählt. Dies erfolgte anhand der vereinfachten Tabelle 2.01.1, die jedoch die als wesentlich erachteten Parameter berücksichtigt: für jedes Feld wurde, von links nach rechts, die Angemessenheit der Technik bewertet. Wenn das Ergebnis positiv war, wurde die Zelle hellblau gefärbt. Nur jene Methoden, die alle gestellten Anforderungen erfüllten, wurden in den Kreis der **theoretisch nutzbaren Technologien** aufgenommen. Bei einer ersten Auswahl gingen die **Messungen mit GPS mittels "Rapid Static" Schnellmesstechnik**, die **multitermporale Interferometrie und der terrestrische Laserscanner** als besonders geeignete Lösungen hervor, die somit die erste Wahl bestätigten.

Tecnologie disponibili	Metodologie di acquisizione dati	Finalità	Scala di applicazione	Tipo di fenomeno	Incertezza della misura	Tasso di deformazione osservabile	Informazioni fornite			Intervallo temporale di misura	Costi	
							velocità	limiti spaziali	andamento delle deformazioni			
Rilievo di campagna e misura distanziometriche tra punti fissi		Monitoraggio	da puntuale a locale	Scivolamento, Crollo	da cm a dm	basse velocità	no	si	si	a richiesta	basso (1 rilievo - 1 misura)	
Inclinometro		Monitoraggio	puntuale	Scivolamento in materiale sciolto	mm	da basse a alte velocità	si	no	si	a richiesta - in continuo	medio (1 inclinometro)	
Potenzometro		Monitoraggio, Early warning system	puntuale	Crollo, indiretto: Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	basso (1 sensore)	
Potenzometro a corda vibrante		Monitoraggio	puntuale	Crollo, indiretto: Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	basso (1 sensore)	
Fessurimetro		Monitoraggio	puntuale	Crollo, indiretto: Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	a richiesta	basso (1 sensore)	
Clinometro mono - biassiale		Monitoraggio, Early warning system	puntuale	Crollo	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	medio (1 sensore)	
Clinometro rimovibile		Monitoraggio, Early warning system	puntuale	Crollo	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	medio (1 sensore)	
Livello ottico, teodolite, stazione totale	Livellamento	Monitoraggio	puntuale (con estensione a locale)	Scivolamento	da mm a cm	da basse a medie velocità	no	no	no	a richiesta	basso (1 misura)	
Teodolite, stazione totale	Triangolazione	Monitoraggio	puntuale (con estensione a locale)	Scivolamento	mm	da basse a medie velocità	no	no	no	a richiesta	basso (1 misura)	
	Trilaterazione	Monitoraggio	puntuale (con estensione a locale)	Scivolamento	mm	da basse a medie velocità	no	no	no	a richiesta	basso (1 misura)	
	Misure di distanza	Monitoraggio	puntuale (con estensione a locale)	Scivolamento	mm	da basse a medie velocità	no	no	no	a richiesta	basso (1 misura)	
Stazione totale integrata con GPS		Monitoraggio	locale	Crollo, Scivolamento	da mm a cm (funzione della distanza)	da basse a alte velocità	si	si	si	1-2 sec	alto (necessario acquisto strumentazione)	
Misure GPS	Gps statico	Monitoraggio, Early warning system	da puntuale a locale	Scivolamento	mm	da basse a medie velocità	si	no	no	a richiesta	medio (1 misura senza acquisto strumentazione)	
	Gps statico-rapido	Monitoraggio	da puntuale a locale	Scivolamento	from mm to cm	da basse a medie velocità	si	no	si	30 sec	medio (1 misura senza acquisto strumentazione)	GPS statico-rapido
	Cinematico	Monitoraggio	da puntuale a locale	Scivolamento	da dm a m	da basse a medie velocità	si	no	si	1-2 sec	medio (1 misura senza acquisto strumentazione)	
	Gps RTK	Monitoraggio	da puntuale a locale	Scivolamento	da cm a dm	da basse a medie velocità	si	no	no	5 sec	medio (1 misura senza acquisto strumentazione)	
	Continuo (o permanente)	Monitoraggio, Early warning system	da puntuale a locale	Crollo, Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	si	no	si		alto (misura con acquisto strumentazione)	
Aereo laser scanning		Monitoraggio	da puntuale a regionale	Scivolamento, Colate	da dm a m	medie-basse velocità	no	si	no	a richiesta	alto (1 rilievo * km ²)	
Aerofotogrammetria		Monitoraggio	da puntuale a regionale	Crollo, Scivolamento, Colate	da cm a dm	medie-alte velocità	no	si	no	a richiesta	alto (1 rilievo * ettaro)	
Interferometria differenziale	DInSAR	Analisi post-quem	da puntuale a regionale	Scivolamento	cm	basse velocità	si	si	si	ogni 4-46 giorni	medio (min. 2 scene)	
Interferometria multi-temporale	Scatteratori esistenti	Monitoraggio	da puntuale a regionale	Scivolamento	mm	basse velocità	si	si	si	ogni 4-46 giorni	medio-alto (min. 15-20 scene)	Interferometria multi-temporale
	Riflettori artificiali	Monitoraggio	da puntuale a regionale	Scivolamento	mm	basse velocità	si	si	si	ogni 4-46 giorni	medio-alto (min. 15-20 scene)	
SAR da terra	Scansione SAR	Monitoraggio/Early warning	da puntuale a locale	(Crollo), Scivolamento	mm-cm	medie-basse velocità	si	si	si	a richiesta	medio (1 indagine)	
Laser scanning da terra	Scansione Laser	Monitoraggio/Early warning	da puntuale a locale	Crollo, Scivolamento	da mm a cm	medie-basse velocità	si	si	si	a richiesta	basso (1 misura)	Laser scanning da terra
Fotogrammetria terrestre	Ripresa fotogrammetrica	Analisi post-quem	da puntuale a locale	Crollo, indiretto: Scivolamento	> cm	medie-alte velocità	no	si	no	a richiesta	medio (min. 10 fotogrammi)	

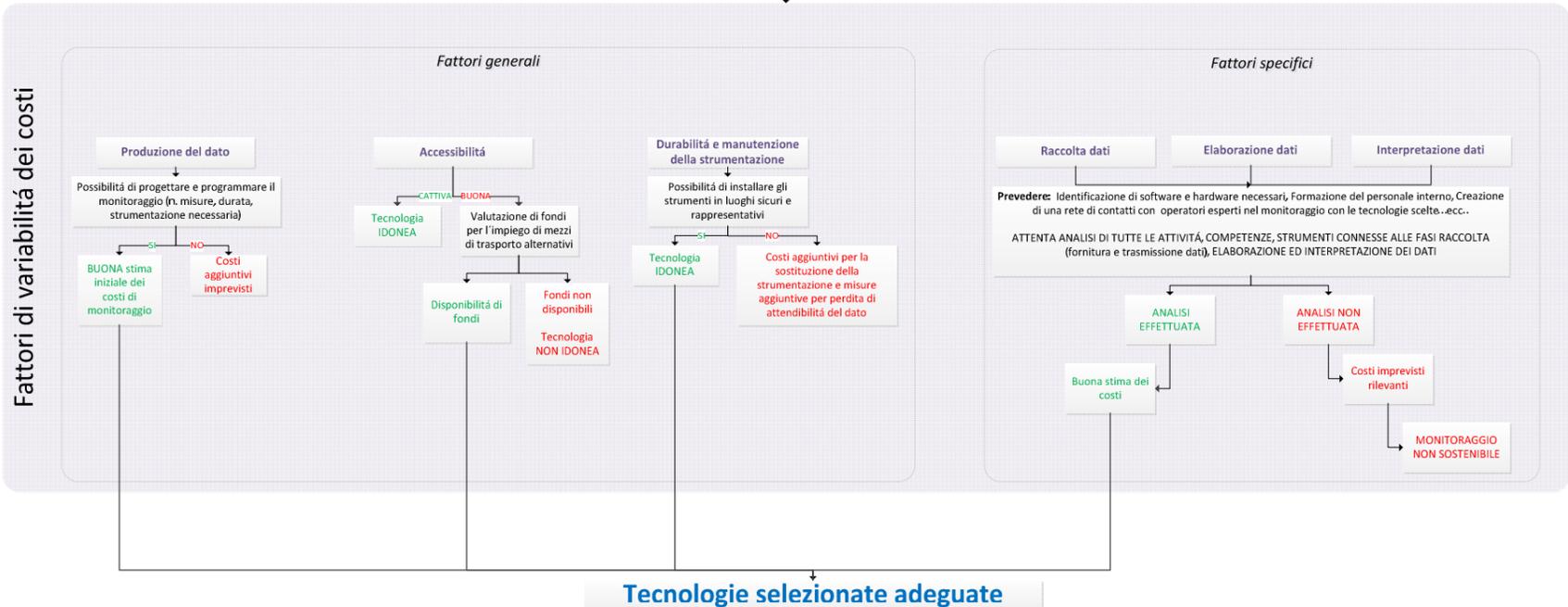
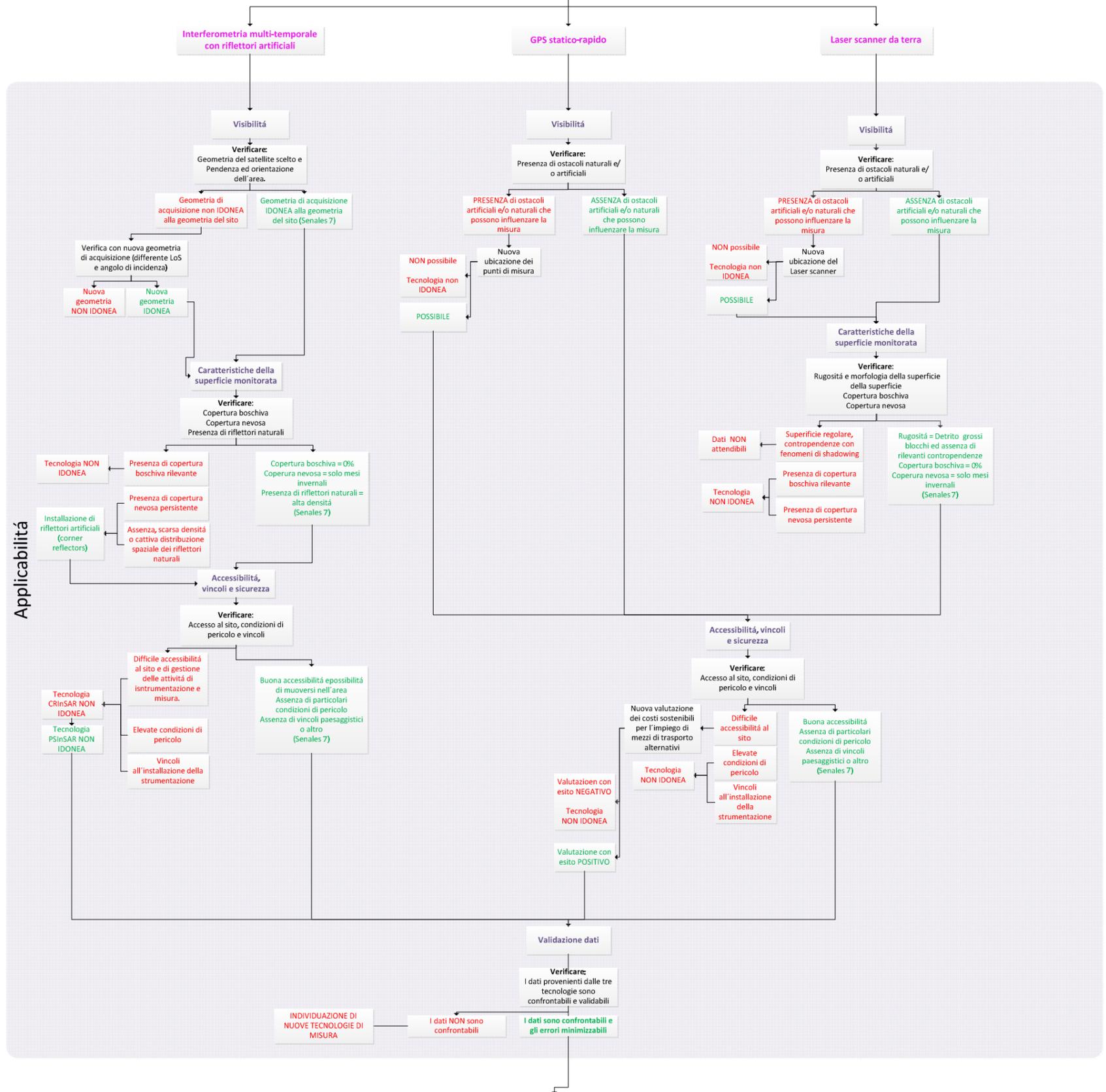
Tabelle 3.03.3

In Anbetracht der ausgewählten und theoretisch nutzbaren Methoden wurde auf der Grundlage des logischen Diagramms D. 2.02 die Bewertung ihrer tatsächlichen technisch-operationellen Angemessenheit (**Anwendbarkeit**) und der Faktoren, welche die anfänglichen Kostenschätzungen für das Monitoring beeinflussen (**Kostenbestimmungsfaktoren**), angestellt. Dieser Prozess wird durch eine Grafik (**Grafik 3.03.4**) mit einer Baumstruktur beschrieben, welche den Techniker Schritt für Schritt bei der Analyse all jener Faktoren, die eine angemessene Planung eines Monitoring-Systems ermöglichen, unterstützt. In diesem Fall fußt der Entscheidungsfindungsprozess auf den bis dato im Rahmen des Projekts SloMove gesammelten Erfahrungen.

Die Grafik unterstützt diesen Prozess und begleitet den Techniker, der sich von oben nach unten vorarbeitet, bei der Bewertung der tatsächlichen Angemessenheit der ausgewählten Monitoring-Techniken. Auf der Grundlage

der Bedingungen im Testgebiet Schnals 7 und der mit der Projektierung und Planung des integrierten Monitorings zusammenhängenden Tätigkeiten hat die Grafik es ermöglicht festzustellen, dass die gewählten Methoden für die Untersuchung der gegenständlichen Naturphänomene geeignet und nachhaltig sind.

Tecnologie teoricamente utilizzabili



Tecnologie selezionate adeguate

Grafik 3.03.4