



“Le possibilità non hanno confini”



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

**Deliverable
D.3.03**

**SELEZIONE DELLE AREE TEST PER IL
PROGETTO E SINTESI DELLE
CARATTERISTICHE RILEVANTI AI FINI
DELL'IMPLEMENTAZIONE DEL
METODO DI MONITORAGGIO**

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 Bolano 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.

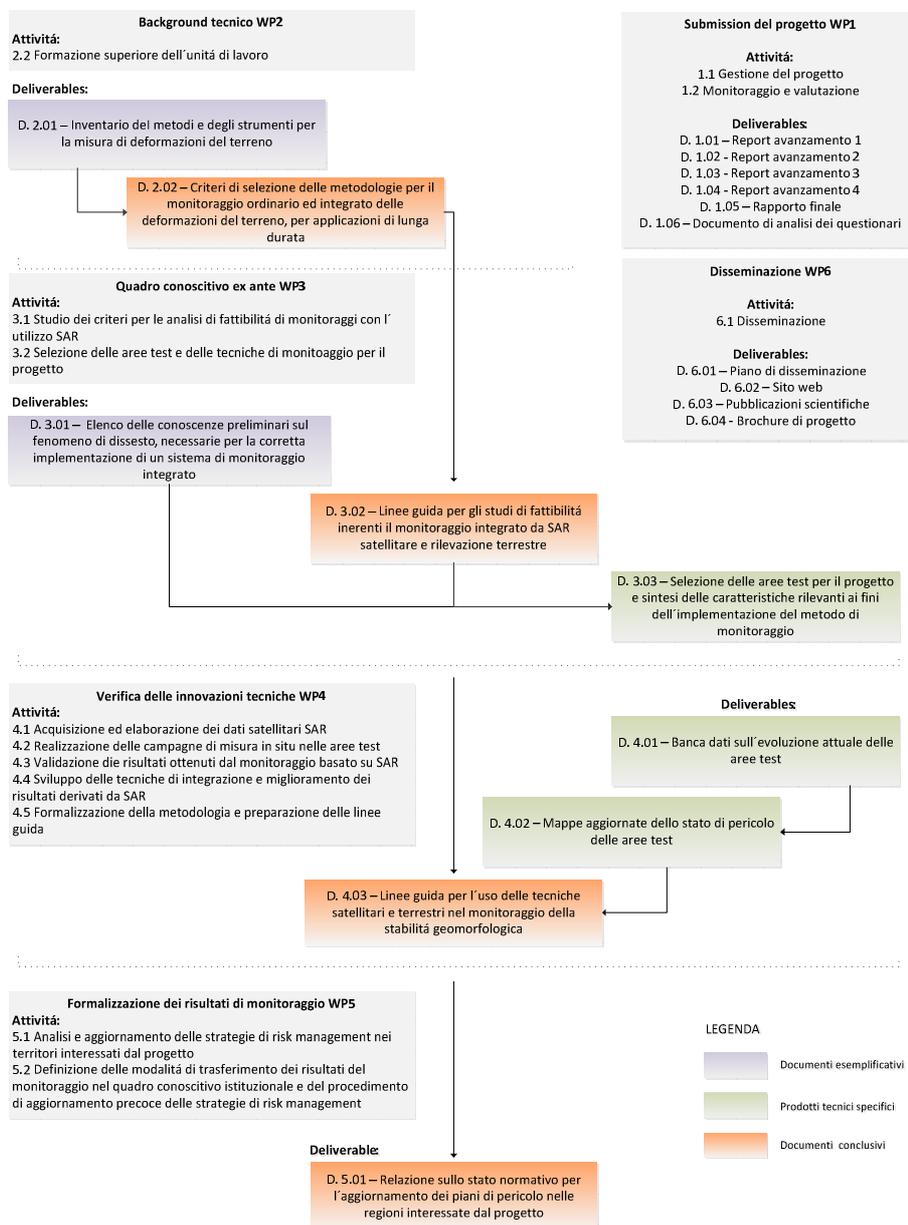
Metodologie

- 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. Criteri di selezione dell'area test - Tabella 3.03.2	9
2.1 Accessibilità	9
2.2 Applicabilità dell'interferometria multi temporale.....	11
3. Selezione del set di metodologie	16

1. Premessa

La documentazione proposta segue quanto previsto fra gli obiettivi del Workpackage 3, riguardo all'analisi dei parametri e delle caratteristiche dei fenomeni di instabilità rilevanti ai fini della valutazione di fattibilità di un monitoraggio integrato.

In questo documento si fa un esempio di applicazione dei criteri utili all'analisi di fattibilità di un monitoraggio integrato, definito considerando le metodologie impiegate in SloMove, nel quale si descrive il processo logico con cui sono state selezionate le aree test del progetto.

Nella prima parte è sintetizzato il procedimento tramite il quale, conoscendo le caratteristiche dei metodi di monitoraggio disponibili per il progetto, si è proceduto alla scelta ed alla verifica delle area test. La pre-selezione delle aree da valutare come caso studio per il progetto SloMove è stata fatta tenendo conto della rappresentatività e della rilevanza del tipo di fenomeni nel territorio dell'Alto Adige, come descritta nel Deliverable 3.01.

Per la scelta finale, argomento principale del presente documento, si è proceduto all'ordinamento di un insieme di parametri di valutazione rilevanti per le metodologie impiegate, e attribuendo a ciascuno di essi un indice per ottenere una graduatoria a punteggio. Questi parametri sono riportati in modo sintetico nella **Tabella 3.03.2** che è stata scomposta ed analizzata in modo dettagliato al fine di descrivere al meglio i criteri per la selezione dell'area test più idonea.

Nell'ultimo capitolo (Cap. 4) viene proposto invece il procedimento inverso tramite il quale poter valutare, sulla base delle caratteristiche del sito di studio, l'adeguatezza dei metodi di monitoraggio previsti. Gli elementi riportati nella Tabella 3.03.3 sono i medesimi della Tabella 2.01.1 e descritti nel glossario ad essa associato. L'iter di selezione segue in questo caso più pedissequamente quanto indicato nel diagramma logico 2.02.1 del D.2.02. L'esempio dell'applicazione di uno studio di fattibilità per il monitoraggio si completa con i seguenti passaggi:

- Selezione del set di metodologie, utilizzando le loro caratteristiche peculiari
- Verifica delle limitazioni all'applicabilità delle tecnologie selezionate, secondo il metodo proposto nel D.2.02.

2. Criteri di selezione dell'area test - Tabella 3.03.2

Accessibilità (costi)							
Sito/Parametri	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 Accessibilità

Questo é uno dei parametri ritenuti fondamentali nella selezione dell'area test del Progetto SloMove. L'accessibilità al sito di interesse influenza il numero di persone coinvolte nel lavoro di campagna e la durata stessa dei rilievi: questo impatta fortemente sui costi destinati al personale e talvolta sulla buona riuscita del monitoraggio.

La scelta di un monitoraggio integrato che preveda frequenti campagne di misura é strettamente relazionata all'accessibilità al sito espresso in termini di vie di accesso, dislivello complessivo e tempi di percorrenza a piedi. Questi fattori sono stati quantificati in modo da ottenere una classificazione dell'accessibilità per ogni area proposta.

Vie di accesso

Nella tabella seguente sono elencate alcune vie di accesso che permettono di avvicinarsi al sito selezionato, in un contesto di ambiente di alta montagna.

Vie di accesso	punteggio
Strada	12
Strada forestale	8
Sentiero	4
niente	0

Dislivello

In combinazione con il parametro precedente, la tabella seguente sono indicate i diversi intervalli di dislivello da coprire a piedi per raggiungere il sito di interesse.

Dislivello	punteggio
Basso	7
Medio	3
Alto	1
Basso = dislivello = 300-600 m	
Medio = dislivello = 600-1000 m	
Alto = dislivello = >1000 m	

Tempo di percorrenza a piedi

Il tempo di percorrenza a piedi é rilevante in termini di tempo speso per raggiungere il sito di interesse (piccolo dislivello non significa brevi tempi di percorrenza) e n. di persone per il trasporto del materiale necessario.

Tempo di percorrenza a piedi	punteggio
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

Giorni di pioggia e numero di giorni con neve a terra

Questi indicatori risultano significanti al fine di definire le condizioni di lavoro e l'applicabilità della tecnologia di monitoraggio scelta. Nel dover selezionare l'area ritenuta maggiormente idonea al monitoraggio previsto risulta rilevante valutare anche le condizioni climatiche di lavoro. Il punteggio per questi parametri è stato ottenuto semplicemente dividendo il numero di giorni (rispettivamente per pioggia e neve) per 10.

In questo modo, ad ogni area, è stato assegnato un punteggio diretto. I dati indicati in tabella provengono da stazioni termo-pluviometriche prossime ai rispettivi siti.

2.2 Applicabilità dell'interferometria multi temporale

In questo paragrafo sono descritti alcuni dei parametri fondamentali utili soprattutto a definire l'adeguatezza dell'analisi interferometrica multi-temporale. L'impiego delle altre tecniche selezionate per il monitoraggio integrato previsto nel Progetto SloMove, quali le misure GPS e TLS (Terrestrial Laser Scanning) che dipendendo da fattori simili, é in genere pregiudicato fortemente dall'accessibilità al sito.

Orientazione del versante (esposizione)

L'esposizione del versante influenza la visibilità dell'area da parte del satellite e di conseguenza anche la qualità del dato. L'orbita del satellite é orientata ca. N-S con una LOS (Line of Sight) del satellite disposta ortogonalmente. Questo implica che gli spotamenti che avvengono lungo la direzione N-S non possono essere adeguatamente osservati, mentre i fenomeni con andamento E-W (W-E) sono ben rilevati. In questi termini sono dunque preferibili i versanti esposti lungo la direttrice E-W, assumendo che i fenomeni di instabilità si sviluppano generalmente nella direzione di massima pendenza del versante.

Sulla base di queste ultime informazioni, é stata creata una tabella nella quale sono riportate diverse classi di orientazione del versante (esprese in gradi azimuth). Assumendo la moda della distribuzione dei valori di esposizione di ogni elemento del DEM quale valore piú frequente di esposizione che ricorre nell'area, il punteggio inerente all'esposizione di ogni area é attribuito in funzione dei valori di moda dell'esposizione. Le aree aventi valori di moda dell'esposizione piú prossime al valore ideale hanno punteggi piú alti.

Moda dell'esposizione	punteggio
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

Copertura boschiva

La presenza del bosco influenza l'impiego dell'interferometria multi-temporale poiché una copertura arborea densa impedisce al segnale radar di colpire superfici capaci di una retrodiffusione del segnale costante nel tempo. La copertura boschiva restituisce in genere segnali incoerenti che si traducono in assenza di informazioni. Per questo motivo, a questo parametro è stato attribuito un peso molto importante nella selezione delle area test. Tramite una elaborazione GIS della Carta dell'Uso del Suolo è stato possibile determinare, per ogni area esaminata, la percentuale di territorio caratterizzata da copertura boschiva; in base ad intervalli di percentuale di copertura boschiva è stato attribuito un punteggio.

Copertura boschiva	punteggio
0-5	10
5-10%	8
21%-40%	6
41%-61%	4
61%-81%	2
81%-100%	1

Visibilità al satellite (Distorsioni geometriche)

La visibilità del satellite è intesa come la capacità del sensore radar satellitare di rilevare il fenomeno con un certo grado di affidabilità.

Le distorsioni geometriche sono deformazioni prospettiche che determinano una minore qualità del dato interferometrico fino ad una sua totale assenza, e che dipendono dall'orientazione e dalla pendenza del processo da analizzare e dalla geometria del satellite (azimuth dell'orbita, linea di vista e angolo di incidenza al suolo). Tramite l'utilizzo di un programma GIS e di un tool specifico, e utilizzando un modello digitale del terreno ad alta risoluzione (dtm 2.5*2.5 m dimensione del pixel), è stato possibile definire quale satellite(e rispettiva geometria) risultasse più idoneo alla rilevazione di ogni area. Questo è stato possibile attraverso la creazione di una "maschera" nella quale sono indicate le porzioni di superficie soggette alle tre differenti distorsioni geometriche (forshortening, layover e shadowing) e quindi affette da dati meno affidabili.

L'idoneità di una geometria rispetto ad un'altra dipende dalla percentuale di territorio del sito considerato **dove il segnale radar risulta potenziato e più attendibile (aree di enhanced range)**. L'elaborazione della maschera è stata condotta distinguendo tra orbita ascendente e discendente; le geometrie ascendenti e discendenti considerate sono attribuibili a quelle dei satelliti TerraSAR-X e Cosmo-SKM.

Separatamente, per orbita e per geometria, è stato assegnato un punteggio in funzione della porzione in termini percentuali dell'area affetta da enhanced range .

enhanced range	punteggio
>80%	5
60-80%	4
40-60%	3
20-40%	2
0-20%	1

Il differente colore delle celle permette un immediato riconoscimento del livello di affidabilità per una determinata geometria e orbita.

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

Applicabilità dell'interferometria satellitare: esposizione del sito, copertura boschiva e visibilità al satellite (distorsioni geometriche).

2.3 Densità dei PS – risultati dal Progetto SAFER

Grazie alla presenza di dati pre-esistenti provenienti dal Progetto SAFER sono disponibili informazioni riguardo la distribuzione spaziale dei persistent scatterer (PS), nella parte occidentale del territorio della Provincia Autonoma di Bolzano, dove sono ubicate anche le possibili aree test. I dati sono riferiti alle orbite ascendenti e discendenti dei satelliti ERS, Envisat e RADARSAT. La disponibilità di questi dati consente di valutare la densità dei riflettori naturali esistenti e di verificare l'adeguatezza della tecnologia multi-interferometrica nel rilevare ogni sito: questa tipologia di informazioni costituisce un enorme vantaggio in quanto la presenza di riflettori naturali in numero elevato consente una migliore analisi del fenomeno.

Anche in questo caso i dati esistenti sono stati elaborati al fine di essere suddivisi in classi di attribuzione del punteggio.

Densità (PS/km ²)	punteggio
0-10	0
10-25	1
25-50	3
50-100	5
100-250	7
250-500	9
500-1000	11
>1000	13

2.4 Selezione dell'area test

Sommando i punteggi parziali per ogni famiglia principale di parametri considerati si è ottenuta una graduatoria con selezione dell'area test. La somma dei punteggi parziali senza considerare il contributo dato dai dati pre-esistenti provenienti dal Progetto SAFER (A+B+C) e disponibili solo in questo ambito, risulta più che sufficiente alla selezione dell'area test, anche comparata con i punteggi della sommatoria totale (ultima colonna A+B+C+D).

L'area test italiana selezionata è quella di Senales 7 che presenta caratteristiche di accessibilità e applicabilità adatte alle tecnologie di monitoraggio scelte e, dopo un primo sopralluogo, alla buona riuscita del lavoro di campagna. L'accessibilità al sito è facile in quanto raggiungibile in macchina lungo una strada bianca privata e un breve tragitto lungo un sentiero di montagna. Non esistono vincoli che impediscano l'istrumentazione del sito e le attività di campagna possono essere condotte in sicurezza adottando normali accorgimenti da tenere in contesti di alta montagna. Il dislivello da affrontare a piedi è inferiore a 400 m e il tempo di percorrenza molto breve. L'esposizione del versante e la pendenza, così come le caratteristiche del suolo risultano perfettamente idonee all'utilizzo delle tecniche di monitoraggio selezionate. La copertura boschiva è **totalmente** assente. Durante il primo sopralluogo è stato anche verificato che le condizioni meteorologiche cambiano rapidamente, solitamente accompagnate da brevi precipitazioni piovose. La copertura nevosa al suolo a fine giugno era assente e l'esposizione Est del versante agevola il suo rapido scioglimento durante i mesi estivi.

Densità PS/km ² - dati dal Progetto SAFER																A+B+C+D
Sito/Parametri	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	punteggio per orbita discendente	punteggio per orbita ascendente	punteggio totale D	
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

Sulla base di quanto finora esposto, si elencano le caratteristiche ritenute rilevanti per selezionare metodi di monitoraggio adeguati ed efficaci.

Dall'esperienza del progetto SloMove i parametri fondamentali da considerare nella scelta di tecnologie in remoto e terrestri, sono:

1. **Visibilità:** si tratti al satellite, al laser o alla fotogrammetria (esposizione e pendenza dell'area, condizioni atmosferiche, copertura boschiva e nevosa ostacoli artificiali e naturali);
2. **Accessibilità, vincoli e sicurezza:** per l'esecuzione delle misure o per l'strumentazione del sito;
3. **Caratteristiche della superficie monitorata:** possibilità di rilevare la superficie (presenza di riflettori, rugosità, copertura boschiva, copertura nevosa, ostacoli artificiali e naturali).

3. Selezione del set di metodologie

Inversamente a quanto descritto finora, nelle pagine seguenti si propone la procedura attraverso la quale, partendo da un'area nota affetta da determinati processi naturali, si possa definire, con gli strumenti finora forniti, alla selezione del set di metodologie di monitoraggio più adeguate. Questo rappresenta infatti la condizione più comune nella quale si trovano molti tecnici incaricati dello studio di processi di deformazione del terreno. Partendo da quanto descritto nel presente documento e nei Deliverable D 2.01 e D2.02 si è proceduto, considerando le caratteristiche morfologiche e fenomenologiche dell'area test Senales 7, selezionando le metodologie di monitoraggio per il caso in questione. Questo è stato realizzato utilizzando la Tabella 2.01.1 semplificata ma che mantiene i parametri ritenuti di fondamentale importanza: per ogni campo, da sinistra a destra, è stata valutata l'idoneità della tecnica, e in caso affermativo, la cella è stata colorata in azzurro. Solo le metodologie che rispondevano positivamente a tutte le richieste sono state selezionate come **tecnologie teoricamente utilizzabili**. La prima selezione ha individuato **il rilievo GPS in modalità statico-rapido, l'interferometria multi-temporale e il laser scanner da terra**, come le più idonee, confermando dunque la scelta iniziale.

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)	
Potenzimetro		Monitoraggio, Early warning system	puntuale	Crollo, indiretto: Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	basso (1 sensore)	
Potenzimetro 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	DiSAR	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 fotografica	Analisi post-quem	da puntuale a locale	Crollo, indiretto: Scivolamento	> cm	medie-alte velocità	no	si	no	a richiesta	medio (min. 10 fotogrammi)	

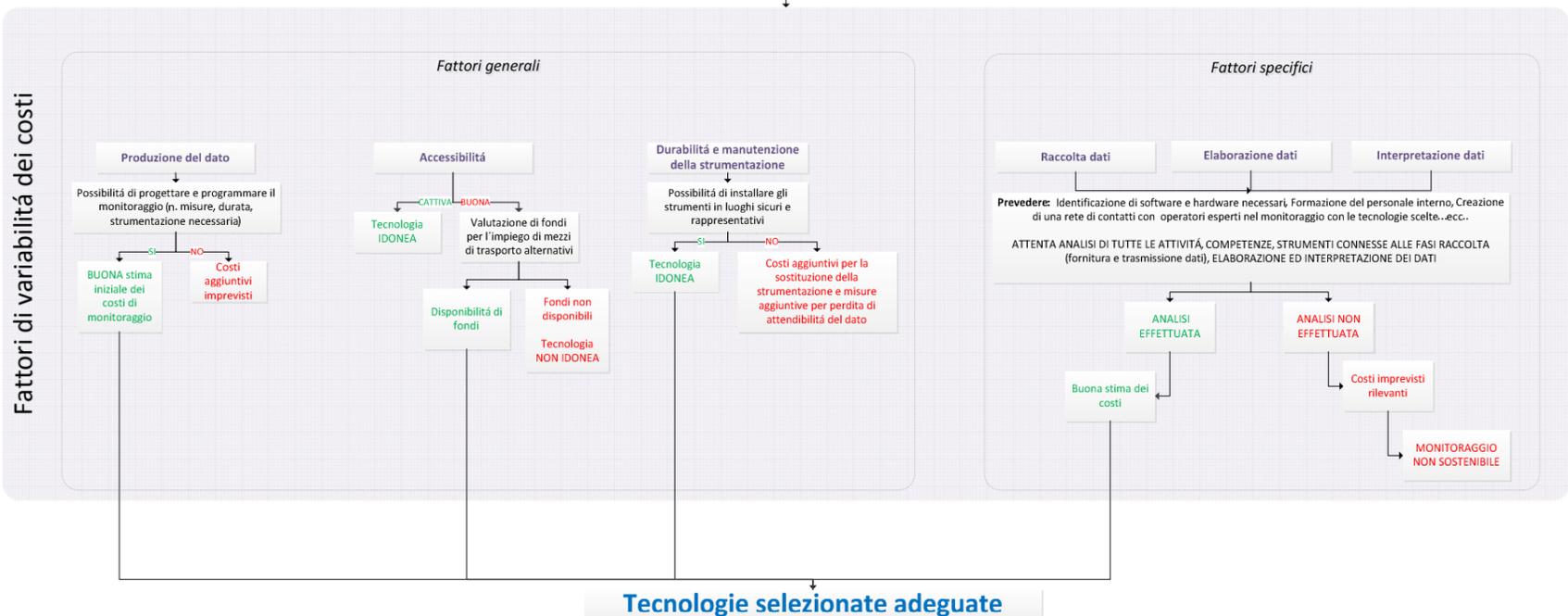
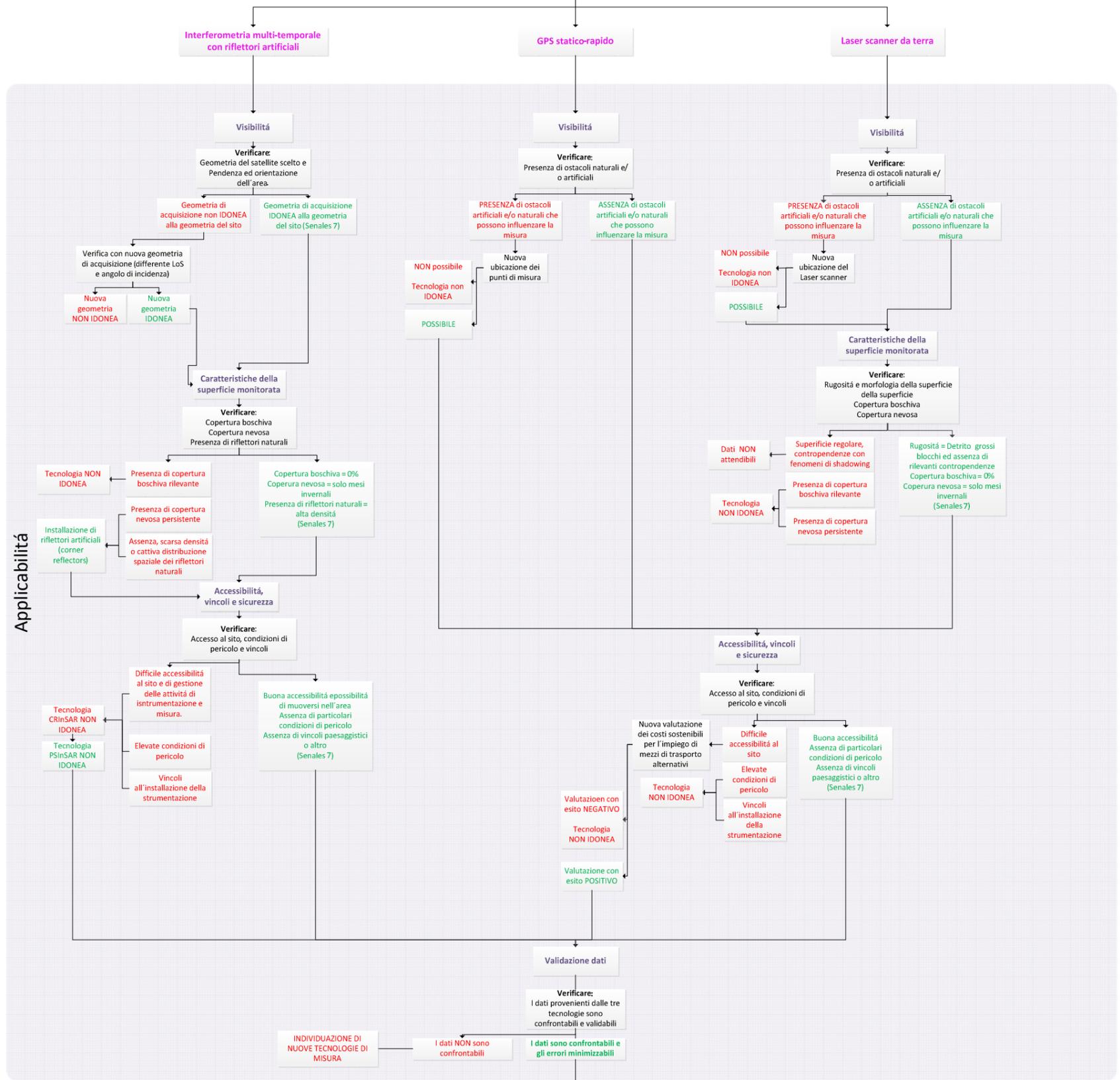
Tabella 3.03.3

Considerando le metodologie selezionate e teoricamente utilizzabili si è proceduto, sulla base del Diagramma logico D. 2.02, alla valutazione della loro reale adeguatezza tecnico-operativa (**Applicabilità**) e dei fattori che influenzano le stime iniziali dei costi di monitoraggio (**Fattori di variabilità dei costi**). Questo procedimento è descritto da un grafico (**Grafico 3.03.4**) con struttura ad albero, che affianca passo a passo il tecnico nell'analisi di tutti quei fattori che permettono la progettazione adeguata di un sistema di monitoraggio. In questo caso il percorso decisionale si sviluppa sulla base dell'esperienza maturata finora nel progetto SloMove.

Partendo dall'alto e proseguendo verso il basso, il grafico conduce lungo un percorso guidato che permette di valutare l'idoneità effettiva delle tecniche di monitoraggio selezionate. Sulla base delle condizioni verificatesi per l'area test Senales 7 e delle attività connesse alla progettazione e programmazione del monitoraggio SloMove

integrato, il grafico ha permesso di valutare che le metodologie selezionate sono adeguate allo studio dei processi naturali in esame e sostenibili nel tempo.

Tecnologie teoricamente utilizzabili



Tecnologie selezionate adeguate

Grafico 3.03.4