



“Le possibilità non hanno confini”



Unione Europea
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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

**Deliverable
D.2.01**

**INVENTARIO DEI METODI E DEGLI
STRUMENTI PER LA MISURA DI
DEFORMAZIONI DEL TERRENO**

Data: 05.2012

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.

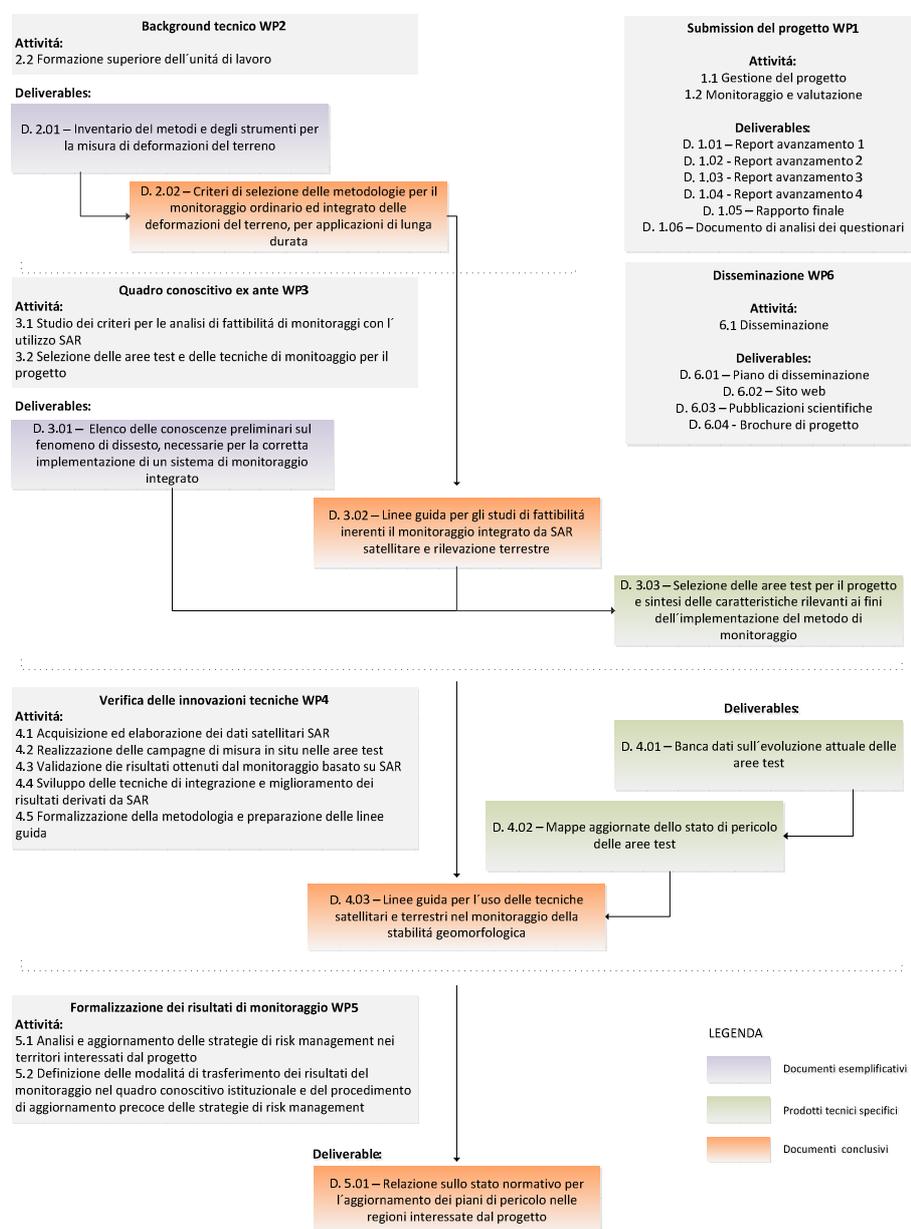
Metodologie

- 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. Struttura della tabella.....	9
3. Tabella 2.02.1	9
4. Glossario	10

1. Premessa

La documentazione proposta segue quanto previsto dal Workpackage 2 che si prefigge di divulgare e promuovere l'utilizzo di metodologie di misura delle deformazioni del terreno alternative a quelle commerciali. Il primo passo consiste dunque nella verifica delle tecniche di monitoraggio disponibili sul mercato, con maggiore riferimento a quelle sviluppate dalla ricerca scientifica.

L'obiettivo specifico del presente documento è quello di inventariare, descrivendone i punti di forza e di debolezza, le principali tecnologie satellitari e terrestri impiegate nelle misure e nel monitoraggio di deformazioni del terreno, per procedere alla loro selezione in funzione dei diversi contesti di applicazione.

Nel presente documento è riportata in forma tabellare una lista delle tecniche e delle strumentazioni maggiormente impiegate nello studio di fenomeni di dissesto, soprattutto frane di scivolamento e crolli. La Tabella 2.01.1 riassume le principali caratteristiche delle tecnologie elencate, in quanto ritenute rilevanti e utili ai tecnici incaricati di programmare attività di misura in termini di informazioni ottenibili, costi e obiettivi del monitoraggio. Lo scopo dunque delle informazioni riportate nelle pagine seguenti è mettere a conoscenza dell'esistenza di differenti metodologie di studio e supportare la selezione dei metodi più adeguati per il monitoraggio di specifici processi naturali.

I campi della Tabella 2.01.1 sono associati ad un breve glossario descrittivo che si pone come chiave di lettura della tabella nel suo complesso.

La tabella si prefigge inoltre l'obiettivo di presentarsi come strumento, che richiede un continuo aggiornamento, per la selezione diretta delle metodologie di studio più idonee al monitoraggio conoscitivo e/o di allertamento di fenomeni di dissesto naturali..

In ordine sono presentati:

- **Tabella 2.01.1 – Descrizione tecnologie disponibili**
- **Glossario**

2. Struttura della tabella

La lista include set di metodologie suddivise in base a tre grandi famiglie di appartenenza rappresentate da misure in remoto, terrestri ed in sito. L'organizzazione della tabella segue una logica legata al processo stesso di selezione della tecnologia e metodologia da impiegare in un contesto dove è noto il fenomeno considerato. La scala di rilievo, il motivo dello studio del processo e la natura dello stesso, devono essere noti e stabiliti sin dall'inizio delle fasi decisionali preliminari. Dopo questo primo approccio segue la selezione della tecnica in grado di fornire i risultati attesi con riferimento all'accuratezza della misura di rilievo, di range di deformazioni e tipo di prodotto di output fornito; gli ultimi campi riportano le limitazioni all'applicabilità delle metodologie legate a fattori tecnici ed economici (costi). Quest'ultimo campo perde di importanza proporzionalmente all'aumentare della rilevanza socio-economica del sito oggetto dello studio.

Le informazioni fornite dalla tabella sono tratte da più fonti bibliografiche che comprendono ditte private specializzate nel settore, tariffari d'ordine, consulenti che operano nell'ambito del monitoraggio ambientale; nel campo dei costi i valori riportati corrispondono al valore modale ricavato da diversi preventivi e capitolati di progetto.

3. Tabella 2.02.1

Tecnologie disponibili	Metodologie di acquisizione dati	Sorgente del dato	Finalità	Campo di applicazione	Scala di applicazione	Tipo di fenomeno	Incertezza della misura	Tasso di deformazione osservabile	Informazioni fornite			Intervallo temporale di misura	Disponibilità dei dati	Limitazioni all'applicabilità	Costi	
									velocità	limiti spaziali	andamento delle deformazioni				Categoria di costo	Costo unitario
Rilievo di campagna e misura distanziometriche tra punti fissi		Operatore	Monitoraggio	deformazioni del suolo	da puntuale a locale	Scivolamento, Crolo	da cm a dm	basse velocità	no	si	si	a richiesta	real time	accessibilità, condizioni meteo e di pericolo	basso (1 rilievo - 1 misura)	costo operatore /h
Inclinometro		Sensore	Monitoraggio	deformazioni del suolo e di strutture	puntuale	Scivolamento in materiale sciolto	mm	da basse a alte velocità	si	no	si	a richiesta - in continuo	non real time	rottura del tubo	medio (1 inclinometro)	euro/m 8,00
Potenzimetro		Sensore	Monitoraggio, Early warning system	deformazioni del suolo e di strutture	puntuale	Crolo, indiretto: Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	non real time	Croli, rottura	basso (1 sensore)	euro/pz 400,00
Potenzimetro a corda vibrante		Sensore	Monitoraggio	deformazioni del suolo e di strutture	puntuale	Crolo, indiretto: Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	non real time	Croli, rottura	basso (1 sensore)	euro/pz 400,00
Fessurimetro		Vetrino graduato	Monitoraggio	deformazioni di strutture e ammassi rocciosi	puntuale	Crolo, indiretto: Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	a richiesta	real time		basso (1 sensore)	euro/pz 8,00
Clinometro mono - biassiale		Sensore	Monitoraggio, Early warning system	deformazioni di strutture e ammassi rocciosi	puntuale	Crolo	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	real time		medio (1 sensore)	euro/uno 1200,00
Clinometro rimovibile		Sensore	Monitoraggio, Early warning system	deformazioni di strutture e ammassi rocciosi	puntuale	Crolo	mm	da basse a alte velocità	no	no	si	in continuo (10 sec)	real time		medio (1 sensore)	euro/uno 4000,00
Livello ottico, teodolite, stazione totale	Livellamento	Laser	Monitoraggio	misure di quote	puntuale (con estensione a locale)	Scivolamento	da mm a cm	da basse a medie velocità	no	no	no	a richiesta	real time	base di appoggio, alte distanze - bassa precisione, visibilità, accessibilità	basso (1 misura)	euro/acquisizione 300,00-100,00
Teodolite, stazione totale	Triangolazione	Laser	Monitoraggio	misure di distanze e angoli	puntuale (con estensione a locale)	Scivolamento	mm	da basse a medie velocità	no	no	no	a richiesta	real time	trasferimento dati, alta distanza-bassa precisione, temperatura e pressione atm., accessibilità	basso (1 misura)	euro/acquisizione 300,00-100,01
	Trilaterazione	Laser	Monitoraggio	misure di distanze e angoli	puntuale (con estensione a locale)	Scivolamento	mm	da basse a medie velocità	no	no	no	a richiesta	real time	trasferimento dati, alta distanza-bassa precisione, temperatura e pressione atm., accessibilità	basso (1 misura)	euro/acquisizione 300,00-100,02
	Misure di distanza	Laser	Monitoraggio	misure di distanze e angoli	puntuale (con estensione a locale)	Scivolamento	mm	da basse a medie velocità	no	no	no	a richiesta	real time	trasferimento dati, alta distanza-bassa precisione, temperatura e pressione atm., accessibilità	basso (1 misura)	euro/acquisizione 300,00-100,03
Stazione totale integrata con GPS		Laser - (Satellite)	Monitoraggio	deformazioni del suolo e di strutture	locale	Crolo, Scivolamento	da mm a cm (in funzione della distanza)	da basse a alte velocità	si	si	si	1-2 sec	(near) real time	grande distanza-bassa precisione, temperatura e pressione atm., accessibilità, visibilità dei satelliti, ostacoli naturali e/o artificiali, disturbi (radio, alte frequenze)	alto (necessario acquisto strumentazione)	(strumentazione) 15.000,00-30.000,00 euro
Misure GPS	Gps statico	Satellite	Monitoraggio, Early warning system	deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a locale	Scivolamento	mm	da basse a medie velocità	si	no	no	a richiesta	no real time	temperatura e pressione atm., accessibilità, visibilità dei satelliti, ostacoli naturali e/o artificiali, disturbi (radio, alte frequenze), range di deformazione	medio (1 misura senza acquisto strumentazione)	(strumentazione doppia frequenza) 10.000-15.000
	Gps statico- rapido	Satellite	Monitoraggio	deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a locale	Scivolamento	from mm to cm	da basse a medie velocità	si	no	si	30 sec		temperatura e pressione atm., accessibilità, visibilità dei satelliti, ostacoli naturali e/o artificiali, disturbi (radio, alte frequenze), range di deformazione	medio (1 misura senza acquisto strumentazione)	
	Cinematico	Satellite	Monitoraggio	deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a locale	Scivolamento	da dm a m	da basse a medie velocità	si	no	si	1-2 sec		temperatura e pressione atm., accessibilità, visibilità dei satelliti, ostacoli naturali e/o artificiali, disturbi (radio, alte frequenze), range di deformazione	medio (1 misura senza acquisto strumentazione)	
	Gps RTK	Satellite	Monitoraggio	deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a locale	Scivolamento	da cm a dm	da basse a medie velocità	si	no	no	5 sec		temperatura e pressione atm., accessibilità, visibilità dei satelliti, ostacoli naturali e/o artificiali, disturbi (radio, alte frequenze), range di deformazione	medio (1 misura senza acquisto strumentazione)	
	Continuo (o permanente)	Satellite	Monitoraggio, Early warning system	deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a locale	Crolo, Scivolamento	mm	da basse a alte velocità	si	no	si		real time	temperatura e pressione atm., accessibilità, visibilità dei satelliti, ostacoli naturali e/o artificiali, disturbi (radio, alte frequenze), range di deformazione	alto (misura con acquisto strumentazione)	
Aereo laser scanning		Laser	Monitoraggio	cartografia e modelli digitali, deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a regionale	Scivolamento, Colate	da dm a m	medie-basse velocità	no	si	no	a richiesta	non real time	pendenza, copertura del suolo, visibilità	alto (1 rilievo * km²)	1500-2000 euro/km²
Aereofotogrammetria		Immagine	Monitoraggio	cartografia e modelli digitali, deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a regionale	Crolo, Scivolamento, Colate	da cm a dm	medie-alte velocità	no	si	no	a richiesta	non real time	condizioni meteo, sovrapposizione trasversale (20%) e longitudinale (60%), lunghi tempi di elaborazione	alto (1 rilievo * ettaro)	2000 euro/ha
Interferometria differenziale	DInSAR	Radar satellitare	Analisi post-quem	cartografia e modelli digitali, deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a regionale	Scivolamento	cm	basse velocità	si	si	si	ogni 4-46 giorni	non real time	esposizione e pendenza del sito, copertura del suolo, range di deformazione	medio (min. 2 scene)	euro/scena 400,00-800,00
Interferometria multi-temporale	Scatteratori esistenti	Radar satellitare	Monitoraggio	deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a regionale	Scivolamento	mm		si	si	si	ogni 4-46 giorni	non real time	esposizione e pendenza del sito, copertura del suolo, range di deformazione, presenza di riflettori	medio-alto (min. 15-20 scene)	euro/scena 400,00-800,00
	Riflettori artificiali	Radar satellitare	Monitoraggio	deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a regionale	Scivolamento	mm		si	si	si	ogni 4-46 giorni	non real time	accessibilità, esposizione e pendenza del sito, copertura del suolo, range di deformazione	medio-alto (min. 15-20 scene)	euro/scena 400,00-800,00 + euro/corner 500,00
SAR da terra	Scansione SAR	Radar	Monitoraggio/Early warning	modelli digitali, deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a locale	(Crolo), Scivolamento	mm-cm	medie-basse velocità	si	si	si	a richiesta	near real time	accessibilità, visibilità, pendenza del sito, caratteristiche della superficie	medio (1 indagine)	8000 euro/indagine
Laser scanning da terra	Scansione Laser	Laser	Monitoraggio/Early warning	modelli digitali, deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a locale	Crolo, Scivolamento	da mm a cm	medie-basse velocità	si	si	si	a richiesta	near real time	accessibilità, visibilità, pendenza del sito, caratteristiche della superficie	basso (1 misura)	1000 euro/h
Fotogrammetria terrestre	Ripresa fotogrammetrica	immagine	Analisi post-quem	modelli digitali, deformazioni del suolo e di strutture	da puntuale a locale	Crolo, indiretto: Scivolamento	> cm	medie-alte velocità	no	si	no	a richiesta	non real time	accessibilità, visibilità, pendenza del sito	medio (min. 10 fotogrammi)	100 euro/ fotogramma

4. Glossario

Questo paragrafo si pone come chiave di lettura della Tabella 2.01.1. Brevemente qui di seguito sono riportati i campi della tabella citata e una sintetica descrizione.

- 1. Tecnologie disponibili:** sono elencate le tecnologie attualmente sul mercato e maggiormente diffuse per il monitoraggio delle deformazioni del terreno riferibili alle tecnologie di tipo satellitare e terrestri che utilizzano sensori o apparecchiature elettromeccaniche installate in situ.
- 2. Metodologie di acquisizione dati:** per alcune tecniche di misura sono presenti diverse metodologie di acquisizione dei dati. Un esempio sono le misure GPS che presentano metodi di acquisizione, utilizzando talvolta anche la stessa strumentazione, in grado di fornire dati affetti da diversi gradi di accuratezza e frequenza di misura.
- 3. Sorgente del dato:** lo strumento/tecnologia attraverso il quale il dato è stato acquisito. Nel caso in esame si sono prese in considerazione tecnologie per il telerilevamento che utilizzano sorgenti quali le micro-onde, il radar, il laser e sensori ottici. Si sono considerate anche metodologie che utilizzano sensoristica e strumentazioni elettromeccaniche da installare in situ.
- 4. Finalità:** lo scopo dell'indagine distinta tra aggiornamento cartografico (o DEM), semplice monitoraggio o necessità di dotarsi di un sistema di allertamento(EWS).
- 5. Campo di applicazione:** sono indicati i più frequenti campi di applicazione del metodo scelto utile nel valutare l'attendibilità stessa della misurazione e la possibilità di ottenere dati utilizzabili e adeguati. Ogni metodologia di misura si presta più o meno adeguatamente allo studio di determinati processi (ex. differenziazione tra fenomeni lenti e veloci) o per la creazione di specifici output (ex. modelli digitali del terreno) .
- 6. Scala di applicazione:** insieme al campo di applicazione rappresenta l'informazione sostanziale per la prima selezione della metodologia da impiegare. Nella tabella sottostante é sintetizzato un esempio del significato delle tre classi di scala considerate.

Scala di applicazione	descrizione
puntuale	Ex: monitoraggio di un edificio
locale	Ex: monitoraggio di una frana
regionale	Ex: studio sulla distribuzione regionale delle frane

- 7. Tipo di fenomeno:** partendo dalle definizioni di Cruden-Varnes (1996) sono state considerate 3 macro-classi: 1) crolli (ribaltamenti e rock avalanche); 2) scivolamenti (in materiale sciolto e roccia, rotazionali e traslazionali e colate lente); 3) colate rapide (con le quali si intendono colate detritiche di alta energia);
- 8. Incertezza della misura:** entità della **dispersione** delle misurazioni e del conseguente valore medio campionato, intorno al valore reale, assumendo un grado di precisione costante dato dallo strumento e dall'operatore.
- 9. Tasso di deformazione osservabile:** in questo campo sono indicati i tassi di deformazione misurabili. Il tasso medio di deformazione e lo spostamento istantaneo atteso, influenzano fortemente la scelta della tecnologia e della metodologia di misura.

Velocità	classe
lento	0.000005-<0.05 mm/s
medio	0.05-<5 mm/s
veloce	5 mm/s-5 m/s

- 10. Informazioni fornite:** in questo campo è indicato il tipo d'informazione fornita dalla misura condotta. In termini di monitoraggio di deformazioni del suolo, soprattutto di frane di scivolamento in roccia o materiale sciolto, rivestono un ruolo fondamentale la velocità, i limiti spaziali e l'andamento della deformazione. Nella tabella è indicato se questi dati sono forniti o meno.
- 11. Intervallo temporale di misura:** rappresenta l'intervallo temporale di acquisizione dei dati. Nella tabella seguente è riportata la chiave di lettura del campo.

a richiesta	la misure viene effettuata ogni volta che si ritiene utile
in continuo	dopo l'installazione degli strumenti l'acquisizione dei dati avviene in continuo
giorni	Il dato viene acquisito in determinati giorni ad intervalli minimi pre-fissati

12. Disponibilità dei dati: questo campo descrive la possibilità di ottenere dati in tempo reale, grazie a tecnologie tipo wireless, prossime al tempo reale o differite.

13. Limitazioni all'applicabilità: sono indicate le limitazioni tecniche da considerare nella selezione della tecnologia e da valutare per una corretta esecuzione del monitoraggio e la buona attendibilità dei risultati. Alcune tra le limitazioni più rilevanti sono le caratteristiche morfologiche del sito, le condizioni di copertura del terreno, la visibilità.

14. Costi: i costi sono uno dei parametri più importanti da considerare nelle fasi decisionali preliminari al monitoraggio ma difficilmente schematizzabili in termini generali. Il campo dei costi è suddiviso in categoria di costo secondo una valutazione relativa ed approssimativa, con riferimento agli ordini di grandezza di costo unitario (es. per punto di misura o per ettaro a seconda dei casi) specificati nella tabella sottostante. La "Categoria di costo" definisce la classe di appartenenza del costo riferito ad una campagna di indagine tipo, 1 inclinometro...ecc..

Categoria di costo	Stima costo unitario
Basso	0-1.000
Medio	1.000-5.000
Alto	5.000-20.000
Molto alto	>20.000

La stima del "Costo unitario" si ritiene utile per definire l'impatto economico di quel tipo di tecnologia e strumentazione in un progetto di monitoraggio; accanto alla categoria di costo in tabella è data una breve giustificazione dell'importo.