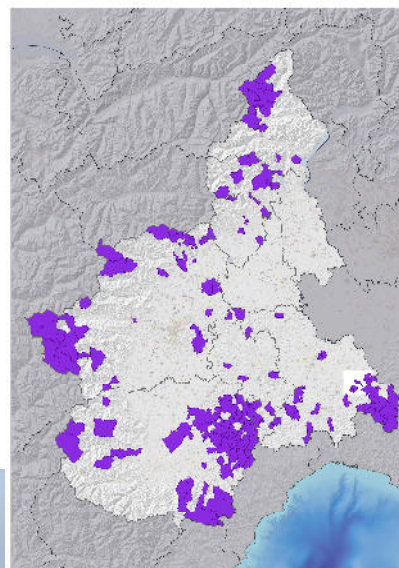


Disciplinare per lo sviluppo, la gestione e la diffusione dati di sistemi di monitoraggio su fenomeni franosi del territorio regionale con finalità di prevenzione territoriale e di protezione civile (DGR n. 18-3690 del 16/04/2012)



## Indice

- Premessa
- Metodo
- Applicazione del metodo dei cinematismi alle diverse tipologie strumentali impiegate nella ReRCoMF

## Premessa

Il “Disciplinare per lo sviluppo, la gestione e la diffusione dati di sistemi di monitoraggio su fenomeni franosi del territorio regionale con finalità di prevenzione territoriale e di protezione civile” (approvato con DGR n. 18-3690 del 16/04/2012), prevede l’analisi dei dati derivanti dalle campagne di misura sulla strumentazione per la definizione del Cinematismo, un indice numerico che descrive le variazioni di velocità del movimento del fenomeno franoso oggetto di monitoraggio. Durante il periodo di sperimentazione della procedura (previsto dalla DGR di approvazione e terminato il 16/04/2013) è nata l’esigenza di redigere un documento che illustri il metodo utilizzato per la definizione dei cinematismi, corredato dai casi applicativi e relativi limiti.

Il presente testo è quindi un aggiornamento della prima versione del documento, pubblicatoa sul sito dell’Agenzia nel marzo 2014, ed è rivolto principalmente ai destinatari dei rapporti informativi, documenti di sintesi attraverso i quali l’Agenzia veicola i cinematismi elaborati per ciascun sito della ReRCoMF.

## Metodo

I fenomeni franosi monitorati nell’ambito della ReRCoMF appartengono per lo più alle seguenti classi tipologiche (IFFI, 2004), riconducibili a frane a lenta evoluzione:

- scivolamento rotazionale/traslatoivo;
- colamento lento;
- complesso;
- deformazione gravitativa profonda di versante.

La variazione di velocità di movimento di una frana è, al momento, il parametro che meglio sintetizza la variazione dello stato di attività e permette di confrontare tra loro, nell’ambito del medesimo fenomeno considerato, le informazioni ricavate dall’utilizzo di strumenti di misura diversi.

Infatti le tipologie strumentali utilizzate nell’ambito dei siti ReRCoMF controllano il comportamento del corpo franoso sia in profondità (rilevando le entità di spostamento alla profondità di sviluppo del movimento franoso) sia in superficie (rilevando gli effetti, che si verificano al piano campagna).

L’indice numerico denominato “Cinematismo” viene calcolato basandosi sul confronto fra le velocità di spostamento rilevate dagli strumenti di monitoraggio nel corso di successivi rilievi e sintetizza le informazioni quantitative ottenute dalle risultanze delle campagne di misura.

Nell'ambito dello stesso sito, lo strumento che rileva la variazione di velocità più significativa, e pertanto il cinematismo più elevato, determina, il cinematismo globale del sito stesso, risultando quindi, cautelativamente, rappresentativo dell'attività del fenomeno franoso, o della porzione di esso, oggetto del monitoraggio (figura 1).

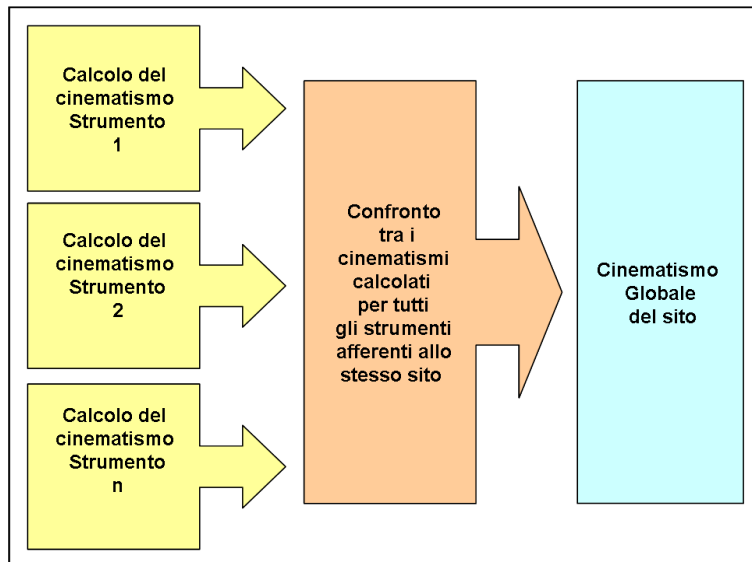


Figura 1 – fasi di definizione del cinematismo per un sito monitorato

Sono state definite quattro tipologie di cinematismo:

0. Assenza di movimenti: nessuno strumento del sito registra, dalla data della misura di origine, movimenti in atto.
1. Movimento ordinario (Figura 2): almeno uno strumento del sito registra un movimento in atto, la cui velocità registrata tra l'ultima lettura di esercizio e la precedente è inferiore o uguale alla velocità registrata dall'origine in occasione della lettura precedente.

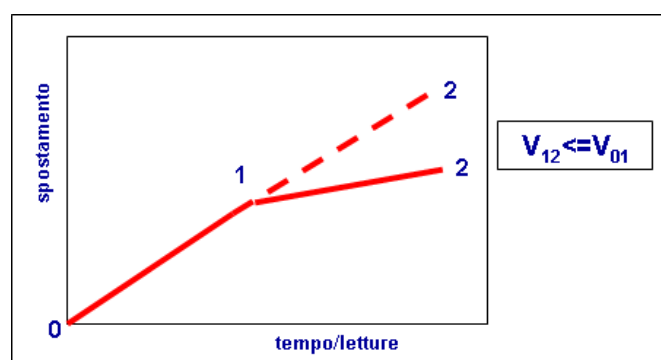


Figura 2 – schematizzazione di movimento ordinario (tipo 1)

2. Accelerazione del movimento (Figura 3): almeno uno strumento registra un movimento in atto, la cui velocità registrata tra l'ultima lettura di esercizio e la precedente è maggiore alla velocità registrata dall'origine in occasione della lettura precedente, ma inferiore alla velocità massima registrata dallo strumento dalla misura di origine in occasione della lettura precedente.

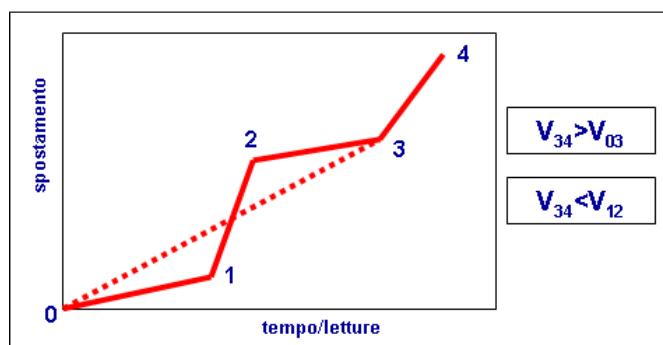


Figura 3 – schematizzazione di accelerazione del movimento (tipo 2)

3. Rilevante accelerazione del movimento (Figura 4): almeno uno strumento registra un movimento in atto, la cui velocità registrata tra l'ultima lettura di esercizio e la precedente è maggiore o uguale alla velocità massima registrata dalla misura di origine in occasione della lettura precedente.

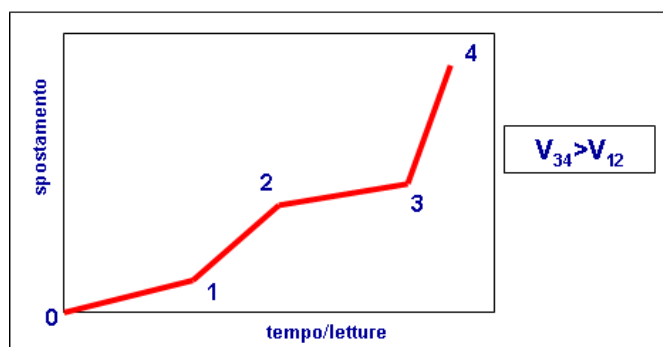


Figura 4 – schematizzazione di rilevante accelerazione del movimento (tipo 3)

Il cinematisimo, quando diverso da “0 – assenza di movimento”, deve rappresentare, sia per i non addetti ai lavori sia per i tecnici dei vari enti coinvolti, un'indicazione della variazione dello stato di attività del fenomeno franoso.

Al fine di una corretta interpretazione, l'indice cinematisimo deve essere necessariamente integrato dalla lettura della reportistica relativa alle risultanze strumentali che il Dipartimento tematico Geologia e dissesto di Arpa Piemonte fornisce periodicamente agli Enti interessati nelle varie forme previste dal disciplinare.

Più in generale, il cinematisimo emesso risulta maggiormente comprensibile quando interpretato alla luce della serie storica dei dati di monitoraggio, dei dati stratigrafici, delle analisi geomorfologiche e degli eventuali interventi di sistemazione del sito.

Il Disciplinare indica, oltre alle modalità e alle tempistiche per la diffusione dei cinematismi, anche le azioni di approfondimento che gli Enti e Soggetti destinatari delle comunicazioni sono chiamati a svolgere.

Si sottolinea che nel corso della sperimentazione del metodo (come da DGR del 16 aprile 2012, n. 18-3690) si è evidenziata la necessità di modificare le definizioni dei cinematismi.

In dettaglio, sono stati eliminati il riferimento al piano campagna, presente in tutte le definizioni, e nel solo caso del cinematisimo 1 anche la frase “Oppure, in occasione della prima lettura di esercizio si osserva un movimento in atto” (paragrafi 3.3.2 e 3.4.2).

Cinematismi	Descrizione
0 - Assenza di movimenti	Nessuno strumento registra, <del>al livello del piano campagna e dalla data della misura di origine, movimenti in atto.</del>
1 - Movimento ordinario	Almeno uno strumento registra, <del>al livello del piano campagna, un movimento in atto, la cui velocità media registrata tra l'ultima lettura di esercizio e la precedente è inferiore o uguale alla velocità media registrata dall'origine in occasione della lettura precedente. Oppure, in occasione della prima lettura di esercizio si osserva un movimento in atto.</del>
2 - Accelerazione del movimento	Almeno uno strumento registra, <del>al livello del piano campagna, un movimento in atto, la cui velocità media registrata tra l'ultima lettura di esercizio e la precedente è maggiore alla velocità media registrata dall'origine in occasione della lettura precedente, ma inferiore alla velocità massima registrata dallo strumento dalla misura di origine in occasione della lettura precedente.</del>
3 - Rilevante accelerazione del movimento	Almeno uno strumento registra, <del>al livello del piano campagna, un movimento in atto, la cui velocità media registrata tra l'ultima lettura di esercizio e la precedente è maggiore o uguale alla velocità massima registrata dalla misura di origine in occasione della lettura precedente.</del>

Tabella 1 – *modifica delle definizioni dei cinematismi per le frane monitorate con strumentazione a lettura manuale (frane SLM, cfr. par. 3.3.2 del Disciplinare)*

L'eliminazione del riferimento "al livello del piano campagna" discende dalla decisione di utilizzare, nell'ambito delle misure inclinometriche, il diagramma Movimento per punti rispetto all'origine, rappresentativo dello spostamento incrementale riferito alla zona di taglio (in profondità), rispetto alla precedente scelta del diagramma Movimento per sommatoria (riferito al piano campagna), indicato nel testo del Disciplinare. Tale decisione si è resa necessaria in quanto la rappresentazione grafica per punti risente meno degli errori sistematici (sono presenti solo quelli riferiti alla quota corrispondente), che invece risultano sommati ed amplificati nella rappresentazione per sommatoria.

L'eliminazione della frase "Oppure, in occasione della prima lettura di esercizio si osserva un movimento in atto" (paragrafi 3.3.2 e 3.4.2) si è resa necessaria poiché per qualunque strumento, alla prima lettura di esercizio non esiste una serie storica di dati da cui desumere variazioni di velocità. Da questo riscontro Arpa ha proposto di non calcolare i cinematismi prima della seconda lettura d'esercizio.

### **Applicazione del metodo dei cinematismi alle diverse tipologie strumentali impiegate nella ReRCoMF**

Le tipologie strumentali adottate nell'ambito della ReRCoMF sono le seguenti:

- tubi inclinometrici, su cui sono eseguite letture manuali periodiche;
- postazioni automatiche a sonde inclinometriche fisse con controllo remoto ed elaborazione periodica delle risultanze;
- tubi piezometrici, su cui sono eseguite letture automatiche con periodico scarico dei dati dalle memorie;



- caposaldi topografici a lettura ottica o con tecnica satellitare GPS, su cui sono eseguite letture manuali periodiche;
- strumentazione distanziometrica di superficie, su cui sono eseguite letture manuali o in continuo con periodico scarico dei dati dalle memorie.

I criteri di definizione dei cinematismi sono applicati agli strumenti che forniscono misure dello spostamento del fenomeno franoso in profondità o in superficie.

Tali strumenti vengono suddivisi in:

- Strumentazione a Lettura Manuale (SLM) ovvero la lettura strumentale è eseguita periodicamente da tecnici specializzati;
- Strumentazione a Lettura da Remoto (SLR) ovvero postazioni strumentali automatiche che registrano in continuo misure di spostamento e consentono l'accesso ai dati da remoto.

#### Tubi inclinometrici a lettura manuale periodica (SLM)

Data la complessità dell'interpretazione delle risultanze delle misure inclinometriche, la cui accuratezza è condizionata da numerosi fattori (verticalità del tubo, errori accidentali e sistematici, ripetibilità delle misure a fronte delle deformazioni indotte dal fenomeno franoso), per la definizione dei cinematismi si applica la procedura descritta di seguito:

1. si considerano i valori di spostamento differenziale locale, aventi orientazione coerente con la possibile direzione di movimento della frana, rilevati in ogni singola lettura di esercizio, a partire dalla seconda;
2. il tecnico specializzato incaricato dell'interpretazione delle misure, stabilisce l'entità minima iniziale di spostamento necessaria per discriminare le evidenze di un movimento franoso dal campo di errore strumentale. Normalmente tale valore non è inferiore a 2 mm;
3. individuata la profondità alla quale si rileva la massima deformazione del tubo, si confrontano misure successive rilevate a quella stessa quota. In caso di lunghe serie storiche è possibile che si manifestino variazioni della quota a cui viene misurata la deformazione massima; indicativamente tale variazione è contenuta in un range di +/- 1 metro rispetto alla quota inizialmente rilevata; in questi casi si considera lo spostamento massimo all'interno di tale *range*;
4. il confronto avviene tra i valori di velocità di spostamento manifestati dallo strumento secondo i criteri espressi nella Tabella 1;
5. è possibile che ad uno strumento al quale sia stato assegnato un cinematismo 1 (movimento ordinario) possa essere successivamente assegnato un cinematismo "0" (assenza di movimento). Ciò può avvenire con l'acquisizione di misure più aggiornate che evidenzino un errore strumentale in quelle precedenti e/o di conoscenze più approfondite del sistema di monitoraggio.
6. solo l'incremento o la stazionarietà dello spostamento locale contribuiscono alla definizione del cinematismo; eventuali decrementi del valore di spostamento indotti dalle incertezze intrinseche al sistema di misura, sono considerati come assenze di variazione rispetto all'incremento precedente;
7. se lungo il medesimo tubo vengono evidenziate più zone di taglio distinte fra loro (relative a movimenti differenziali che si manifestano a diverse profondità nello stesso corpo di frana), vengono definiti, con la medesima procedura sopra descritta, altrettanti cinematismi e quello più elevato è attribuito all'intero tubo;
8. la variabilità del cinematismo, nel caso di indice 2 e 3, è confermata in presenza di una velocità media di spostamento tra l'ultima lettura e quella precedente, rispettivamente, di almeno 1 e 2 mm/anno.



Il continuo incremento dei movimenti franosi porta alla progressiva lesione dei tubi inclinometrici. La conseguenza è l'impossibilità di continuare il controllo del movimento che ha prodotto l'interruzione del tubo; in questi casi cessa l'attribuzione del cinematismo a quella profondità di deformazione e Arpa Piemonte continua a misurare questi strumenti, seppur limitatamente alla profondità raggiungibile e con minor frequenza, per verificare eventuali nuove deformazioni, alle quali verranno attribuiti i cinematismi del caso.

Di ciò bisogna tenerne conto in occasione della valutazione della serie storica dei cinematismi, in quanto gli strumenti posizionati nei settori più attivi del movimento franoso hanno durata inferiore rispetto a quelli ubicati in settori meno attivi dello stesso fenomeno.

#### Postazioni automatiche a sonde inclinometriche fisse (SLR)

Per questo tipo di strumentazione è disponibile un servizio di scarico dati da postazione remota, eseguito tramite un'interfaccia web-user a cadenza mensile. I dati grezzi, acquisiti automaticamente e in continuo dalle sonde alle profondità di installazione, sono elaborati mensilmente in modalità differenziale rispetto alla misura di origine e convertiti in valori di risultante e azimut.

La presenza di una serie continua di dati, misurati nello stesso punto e nelle stesse condizioni, permette di definire il cinematismo in maniera più diretta.

La procedura utilizzata per il calcolo dei cinematismi, illustrata di seguito, consente inoltre di distinguere le evidenze di movimento dal rumore di fondo e dalle possibili derive della serie di dati:

1. il tecnico specializzato incaricato dell'interpretazione delle misure stabilisce l'entità minima iniziale di spostamento necessaria per discriminare le evidenze di un movimento franoso dal campo di errore strumentale. Normalmente tale valore non è inferiore a 1 mm e deve avere direzione coerente con quella di movimento della frana;
2. dopo l'installazione, è necessario un periodo variabile di almeno 6 mesi per collaudare il sistema.
3. il cinematismo viene determinato confrontando i valori di velocità di spostamento manifestati dallo strumento secondo i criteri espressi nella Tabella 3.3 del Disciplinare;
4. la variabilità del cinematismo, nel caso di indice 2 e 3, è confermata in presenza di un incremento mensile dello spostamento di almeno 0.5 mm.

#### Caposaldi topografici a lettura ottica o con tecnica satellitare GPS (SLM)

Per questo tipo di strumenti le misure sono condotte in modalità manuale ed a cadenza periodica; dall'elaborazione dei dati di campagna si ottiene, per ciascun caposaldo, una terna di valori che descrivono rispettivamente la variazione di quota, la risultante di spostamento sul piano x-y e la sua orientazione angolare. Per la definizione dei cinematismi si applica la procedura descritta di seguito:

1. l'operatore specializzato incaricato dell'interpretazione delle misure stabilisce l'entità minima iniziale di spostamento necessaria per discriminare le evidenze di un movimento franoso dal campo di errore strumentale. Normalmente tale valore per le misure GPS non è inferiore ad 1 cm sul piano x-y e a 3 cm sul asse z; per il sistema topografico ottico tale valore non è inferiore ad 0.5 cm sul piano x-y e a ad 0.5 cm sul asse z; inoltre la risultante planimetrica sul piano x-y deve avere azimut coerente con l'assetto geomorfologico del versante.
2. considerando le differenze di precisione ottenibili sui tre assi X, Y, e Z, proprie della strumentazione adottata, per la definizione dei cinematismi con tecnica satellitare GPS, si fa riferimento alla risultante planimetrica x-y, mentre per la tecnica a lettura ottica si fa riferimento alla risultante piano altimetrica x-y-z;



3. il cinematismo si determina attraverso il confronto tra i valori di velocità di spostamento manifestati dallo strumento secondo i criteri espressi nella Tabella 1.

#### Strumentazione distanziometrica di superficie (SLM e SLR)

Ricadono in questa tipologia strumentale le basi distanziometriche, i fessurimetri e gli estensimetri a filo, che periodicamente vengono misurati per determinare, in modalità differenziale rispetto ad una lettura di zero, l'apertura o la chiusura di fratture/fessure in roccia o su manufatti. Per la definizione dei cinematismi si applica la procedura descritta di seguito:

1. l'operatore specializzato incaricato dell'interpretazione delle misure stabilisce l'entità minima di spostamento necessaria per discriminare le evidenze di un movimento franoso dal campo di errore strumentale; normalmente tale valore non è inferiore ad 1 cm;
2. il cinematismo si determina attraverso il confronto tra i valori di velocità di spostamento manifestati dallo strumento secondo i criteri espressi nella Tabella 1.

#### Sito con presenza sia di SLR che SLM

Nel caso di un punto di misura letto sia manualmente che in modo automatico (caso degli inclinometri fissi) nella scheda di sintesi del sito (cfr. 3.3.3 del Disciplinare) prevale il cinematismo manifestato dal sensore automatizzato in quanto più aggiornato.

#### Sito con presenza di differenti tipi di SLM

Strumentazione di diversa tipologia può fornire per lo stesso sito cinematismi differenti; ciò è dovuto alle peculiarità della strumentazione utilizzata (controllo in profondità con cadenza generalmente semestrale - controllo di superficie con cadenza generalmente annuale).

Di ciò, e della differente frequenza con cui vengono eseguite le campagne di lettura su strumenti di diversa tipologia, occorre tenerne conto nella valutazione dei cinematismi assegnati nel tempo al medesimo sito.

In linea di massima si tende ad effettuare la misura annuale sugli strumenti di superficie in concomitanza con una delle letture semestrali sugli strumenti di profondità.