

Il monitoraggio con inclinometri e piezometri La rete REMOVER (REteMOnitoraggioVERsanti)

Dott. Geol. Monica Solimano, PhD

Dott. Geol. Gianluca Beccaris

La Regione Liguria nel 2006 ha rilevato la necessità di effettuare un monitoraggio (inclinometrico) dei versanti instabili al fine di:

- trarre valutazioni in merito all'**efficacia degli interventi** finanziati di difesa del suolo per il consolidamento dei dissesti
- acquisire **dati conoscitivi** propedeutici alla progettazione delle opere di sistemazione

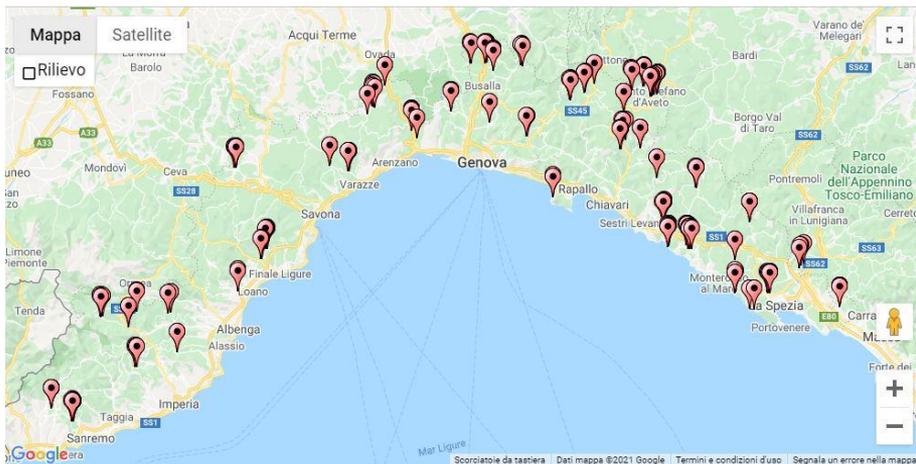
Ricognizione generale dei siti presenti sul territorio regionale (2007-2008) e della strumentazione installata nel tempo dai vari Enti locali attuatori degli interventi di difesa (es. Comunità Montane, Comuni, ecc...)

- 419 installazioni ricercate (233 incl. e 186 piez.)
- 278 installazioni rinvenute (66%) (161 incl. e n. 117 piez.)
 - 132 inclinometri efficienti (82% degli incl. rinvenuti)
 - 113 piezometri efficienti (97% dei piez. rinvenuti)

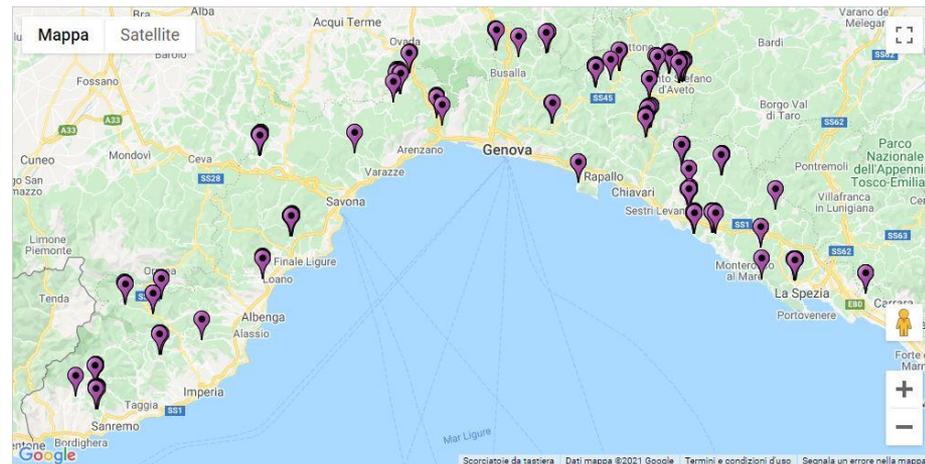
LA RETE REMOVER

La rete è gestita da ARPAL.

L'attività di monitoraggio è svolta su circa 30 siti, selezionati in accordo con Regione Liguria in base ad un programma annuale, nei quali sono presenti ad oggi (2021) circa 130 inclinometri e circa 60 piezometri



Inclinometri

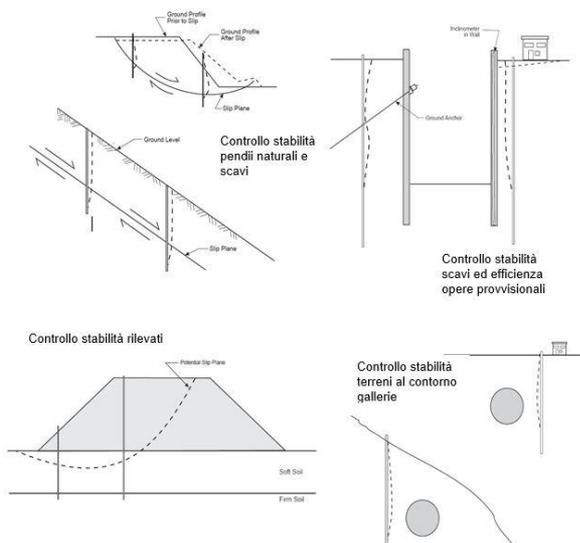


Piezometri

LA RETE REMOVER - FINALITÀ DEL MONITORAGGIO

Negli anni ha prodotto dati che hanno permesso di valutare:

- la **profondità della superficie di spostamento**;
- lo **spessore della zona di taglio/deformazione**: utile per la progettazione di opere di consolidamento che devono attraversare la zona di scorrimento o per il posizionamento di una sonda inclinometrica fissa;
- **valore/entità di spostamento**: per misurare la variazione di spostamento nella zona di taglio a seguito di eventi meteorici o di altre cause innescanti, per confermare la stasi del fenomeno a seguito, ad esempio, della realizzazione di interventi di consolidamento;



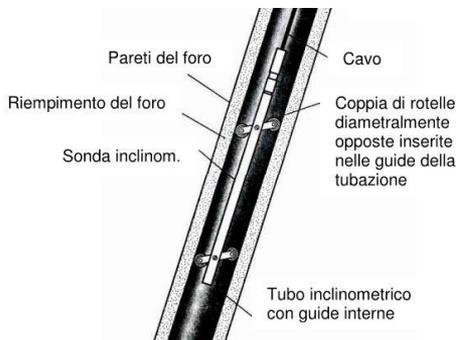
- **direzione di spostamento**, che in grossi corpi di frana può anche variare a causa di movimenti differenziali per l'innescò di corpi franosi secondari (aventi tipologie e cinematiche anche diversi da quello principale) o per cause strutturali (cinematismo in roccia).

LA RETE REMOVER - MONITORAGGIO FRANE - INCLINOMETRI - ALLESTIMENTO IN SITU

La **colonna inclinometrica** è costituita da **tubi deformabili** in alluminio con quattro scanalature, installati in fori di sondaggio, **resi solidali al terreno**, all'interno dei quali viene calata o fissata la **sonda inclinometrica** in grado di misurarne la deviazione dalla verticale ovvero gli spostamenti laterali (nel caso di inclinometri verticali) su due piani A e B tra loro ortogonali individuati dalle guide opposte nel tubo stesso.

La sonda inclinometrica è utilizzata oltre che per il controllo delle deformazioni del tubo, anche per determinare i parametri iniziali dello stesso, intendendo la deviazione dalla verticalità e l'eventuale curvatura.

Sezione tubo
inclinometrico



Pozzetto in elevazione



Pozzetto carrabile

LA RETE REMOVER - MONITORAGGIO FRANE - INCLINOMETRI - SISTEMA MANUALE - STRUMENTAZIONE

- una **sonda inclinometrica biassiale** portatile (A)
- una **centralina** portatile digitale di misura (Datalogger, B)
- un **cavo elettrico** di collegamento (C) tra la sonda inclinometrica e la centralina di misura
- una **sonda "testimone"** per il controllo della accessibilità dei tubi inclinometrici prima dell'inizio di una serie di misure (D)
- sonda spiralometrica
- software per l'archiviazione e gestione dei dati e per la restituzione grafica dei risultati delle elaborazioni



LA RETE REMOVER - MONITORAGGIO FRANE - INCLINOMETRI - SISTEMA MANUALE - ACQUISIZIONE DATI

Prima di iniziare le letture **segnare l'azimut** (che definisce l'angolo tra la guida (A1) di riferimento e la direzione del nord - la direzione della massima pendenza - la direzione del versante) in corrispondenza della testa del tubo.

Questa operazione serve per definire l'**orientazione delle guide** nello spazio in sede di elaborazione.

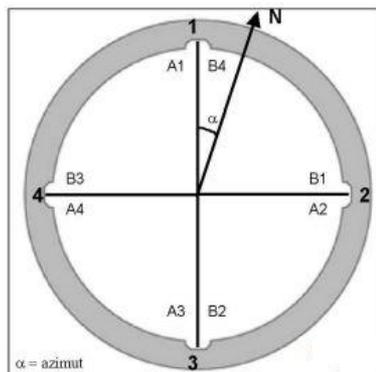
Le letture sono generalmente riferite al fondo foro (inclinometro intestato nel substrato stabile); nel caso tale operazione non sia possibile (per esempio in ambito di discarica con impermeabilizzazione sul fondo), allora la lettura è riferita alla testa della tubazione (la cui posizione è determinata con misure ottiche e/o GPS).



Gli spostamenti nel terreno sono determinati attraverso la comparazione delle **misure di esercizio**, ripetute nel tempo, rispetto alla **misura di zero** (posizione iniziale).

Utilizzando le sonde biassiali la **lettura di zero** fornirà i **valori dell'inclinazione del tubo**, alle varie profondità, nelle **otto componenti** A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, cui corrispondono quattro ripetizioni di misura (A1-B4/A2-B1/A3-B2/A4-B3).

Le **letture di esercizio** sono di norma eseguite sulle **guide A1-A3**, si eseguono ad intervalli di 0,5 m.



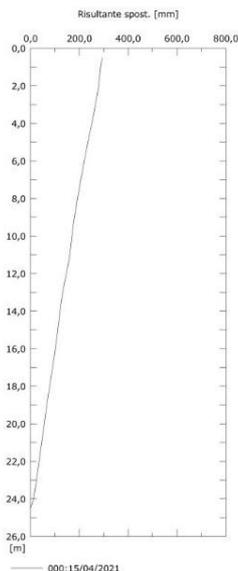
...misura di esercizio...

- verifica preventiva dello stato strutturale della tubazione mediante sonda testimone e/o telecamera;
- acquisizione della lettura da fondo foro previa completa stabilizzazione della sonda inclinometrica (per almeno 10 minuti)
- una volta in superficie, rotazione della sonda di 180° e nuovo inserimento della stessa nel tubo inclinometrico, con la rotella di riferimento nella guida A3 (opposta alla guida A1);

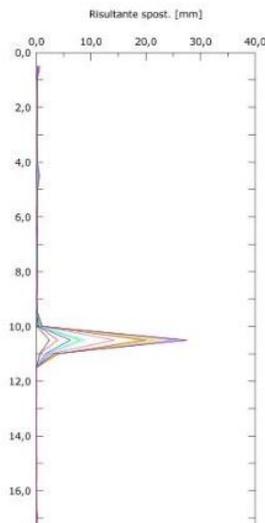
LA RETE REMOVER - MONITORAGGIO FRANE - INCLINOMETRI - SISTEMA MANUALE - ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione *assoluta* o misura di zero, serve per definire la verticalità fittizia del foro, cui andranno riferite tutte le letture di esercizio successive (da effettuarsi entro 7/10 giorni dall'installazione).

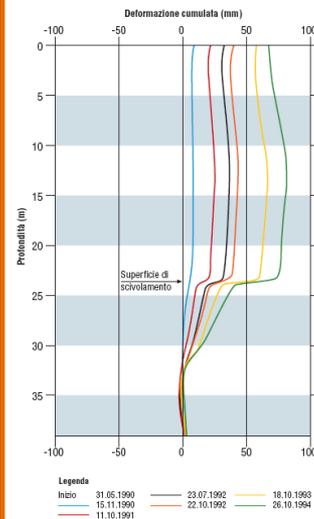
- La tolleranza rispetto alla verticale non deve superare 1,5-2% -



L'elaborazione *differenziale locale*, restituisce i dati singolarmente alle rispettive quote



L'elaborazione principale fa riferimento al grafico della risultante *differenziale integrale*, che attraverso la somma algebrica di tutti i singoli valori acquisiti *in situ*, definisce lo spostamento totale rispetto alla misura di zero

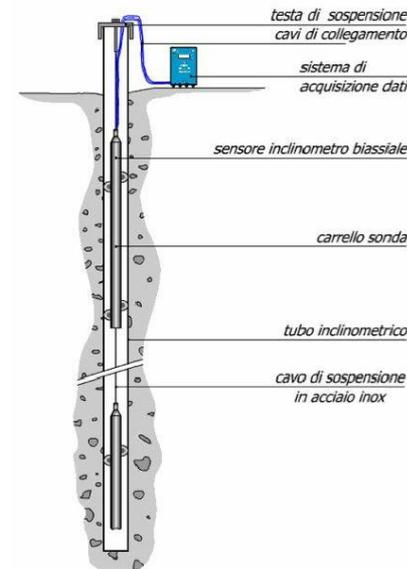


LA RETE REMOVER - MONITORAGGIO FRANE - INCLINOMETRI - SISTEMA AUTOMATICO

L'evoluzione della tecnologia e la necessità di **monitoraggi in continuo**, inducono a dotarsi di sistemi inclinometrici automatici nei siti di frana che necessitano di *dati giornalieri da confrontare con dati in continuo piezometrici e dati meteorologici*.

L'utilizzo di **sonde inclinometriche fisse**, installate in determinati punti della colonna e in grado di registrare **dati in continuo**, permette di azzerare gli eventuali errori occasionali e/o sistemati presenti nelle misure inclinometriche mobili e disporre in tempo reale di indicazioni utili sui movimenti franosi in atto.

Inclinometro automatico sito «S.Olcese» – Genova

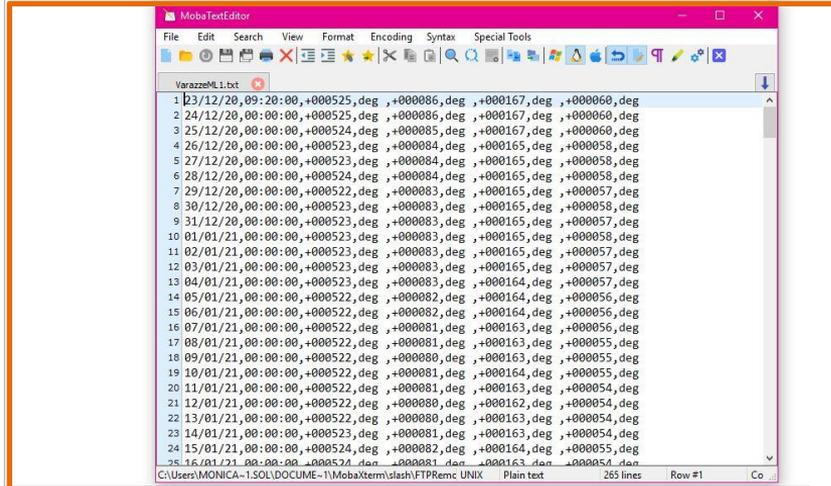


Inclinometro fisso di profondità -
SIM strumenti SNC

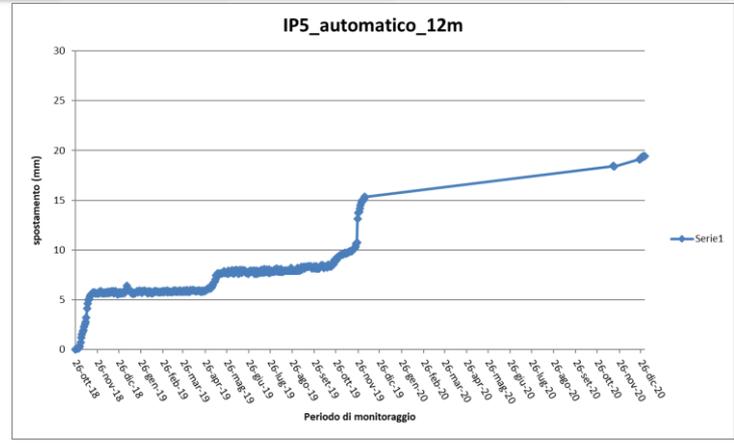
Sonda fissa a carrello - OTR

LA RETE REMOVER - MONITORAGGIO FRANE - INCLINOMETRI - SISTEMA AUTOMATICO - ELABORAZIONE DATI

Name	Size (KB)	Last modified	Owner	Group	Access	Size (Bytes)
OloeseSQL3.txt	18	2021-09-14 01:18	2001	2001	0770	18550
VarazzellM1.txt	18	2021-09-14 00:57	2001	2001	0770	18480
VarazzellM2.txt	18	2021-09-14 00:48	2001	2001	0770	18480
VarazzellM3.txt	18	2021-09-14 00:41	2001	2001	0770	18480
OloeseSQL4.txt	18	2021-09-14 00:25	2001	2001	0770	18550



```
1 23/12/20,09:20:00,+000525,deg,+000086,deg,+000167,deg,+000060,deg
2 24/12/20,00:00:00,+000525,deg,+000086,deg,+000167,deg,+000060,deg
3 25/12/20,00:00:00,+000524,deg,+000085,deg,+000167,deg,+000060,deg
4 26/12/20,00:00:00,+000523,deg,+000084,deg,+000165,deg,+000058,deg
5 27/12/20,00:00:00,+000523,deg,+000084,deg,+000165,deg,+000058,deg
6 28/12/20,00:00:00,+000524,deg,+000084,deg,+000165,deg,+000058,deg
7 29/12/20,00:00:00,+000522,deg,+000083,deg,+000165,deg,+000057,deg
8 30/12/20,00:00:00,+000523,deg,+000083,deg,+000165,deg,+000058,deg
9 31/12/20,00:00:00,+000523,deg,+000083,deg,+000165,deg,+000057,deg
10 01/01/21,00:00:00,+000523,deg,+000083,deg,+000165,deg,+000058,deg
11 02/01/21,00:00:00,+000523,deg,+000083,deg,+000165,deg,+000057,deg
12 03/01/21,00:00:00,+000523,deg,+000083,deg,+000165,deg,+000057,deg
13 04/01/21,00:00:00,+000523,deg,+000083,deg,+000164,deg,+000057,deg
14 05/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000082,deg,+000164,deg,+000056,deg
15 06/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000082,deg,+000164,deg,+000056,deg
16 07/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000081,deg,+000163,deg,+000055,deg
17 08/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000080,deg,+000163,deg,+000055,deg
18 09/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000080,deg,+000163,deg,+000055,deg
19 10/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000081,deg,+000164,deg,+000055,deg
20 11/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000081,deg,+000163,deg,+000054,deg
21 12/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000080,deg,+000162,deg,+000054,deg
22 13/01/21,00:00:00,+000522,deg,+000080,deg,+000163,deg,+000054,deg
23 14/01/21,00:00:00,+000523,deg,+000081,deg,+000163,deg,+000054,deg
24 15/01/21,00:00:00,+000524,deg,+000082,deg,+000164,deg,+000055,deg
25 16/01/21,00:00:00,+000524,deg,+000081,deg,+000163,deg,+000054,deg
```



I dati del monitoraggio inclinometrico sono sottoposti ad una **procedura di validazione** per la verifica della presenza di eventuali anomalie strumentali (analisi dei “checksum”, ovvero la semisomma delle opposte letture rilevate allo stesso intervallo di profondità, effettuata per ogni lettura).

Angolo di deviazione dalla verticale espresso in *senα* moltiplicato per una costante K di sensibilità della sonda («digit»)

Tubi piezometrici

spezzoni di tubo in PVC rigido, di diametro variabile, fessurati e rivestiti di geotessile non tessuto, all'interno dei quali **l'acqua di falda fluisce** attraverso un filtro e risale sino alla **quota di equilibrio idraulico pari al livello piezometrico**



Sulla base degli obiettivi di monitoraggio prefissati e dell'effettiva stratigrafia riscontrata, si deve prevedere la configurazione

...misure piezometriche...

- Consentono di determinare la **profondità del livello di falda** rispetto al piano di campagna per verificare, ad una scala di tempi estesa negli anni, il comportamento rispetto al/ai piano/i di scorrimento.
- Risultano **propedeutiche alla progettazione di interventi di mitigazione** del rischio di frana.
- Rivestono un ruolo rilevante, in quanto la **variazione del regime delle pressioni interstiziali comporta**, a parità di altre condizioni, **una modifica del fattore di sicurezza** e, pertanto, costituisce una delle principali cause innescanti delle frane.

LA RETE REMOVER - MONITORAGGIO FRANE - PIEZOMETRI - MISURA MANUALE

Il **freatimetro** è lo strumento di lettura del livello di falda.
Il sensore posto all'estremità del cavo, funziona come un interruttore che attiva un allarme sonoro e luminoso quando viene a contatto con acqua; le tacche (centimetrata) sono stampate con una serigrafia protetta che ne rende impossibile la cancellazione.



Freatimetro BFM - PASI

...misura...

- 1) **verifica della sensibilità del freatimetro** agendo sul trimmer (vite) di controllo manuale, immergendo la sonda in un secchio d'acqua;
- 2) **misura del livello statico della falda;**
- 3) **referire la misura**, in metri e in valore assoluto, **al piano campagna.**

LA RETE REMOVER - MONITORAGGIO FRANE - PIEZOMETRI - SISTEMA AUTOMATICO

Le **escursioni** che interessano la falda nel **breve periodo** e che possono determinare un peggioramento delle condizioni di stabilità del versante, hanno bisogno di un **approccio di studio differente** che necessariamente deve considerare un **monitoraggio automatico** con acquisizioni giornaliere o orarie (sensori piezometrici elettrici, circuiti idraulici chiusi, sensori di temperatura per compensazione, sonde multiparametriche).

La **misura** del sensore viene rilevata come **differenza tra la pressione** dovuta alla colonna d'**acqua (peso) e la pressione atmosferica**, e trasformata in un segnale elettrico in corrente. Il segnale in uscita viene trasmesso via cavo ad un'unità di lettura locale, manuale o automatica per la trasmissione in remoto.



Sonda freaticometrica automatica

Prima dell'inserimento della sonda automatica nel piezometro, è bene **conoscere informazioni circa la soggiacenza** della falda di versante e la **sua escursione massima e minima**



rischio di perdere una notevole mole di dati qualora il trasduttore dovesse trovarsi ad una quota superiore al livello di falda per un dato periodo

1) effettuare sempre una misura freatimetrica manuale per tarare il datalogger o per controllare eventuali anomalie;

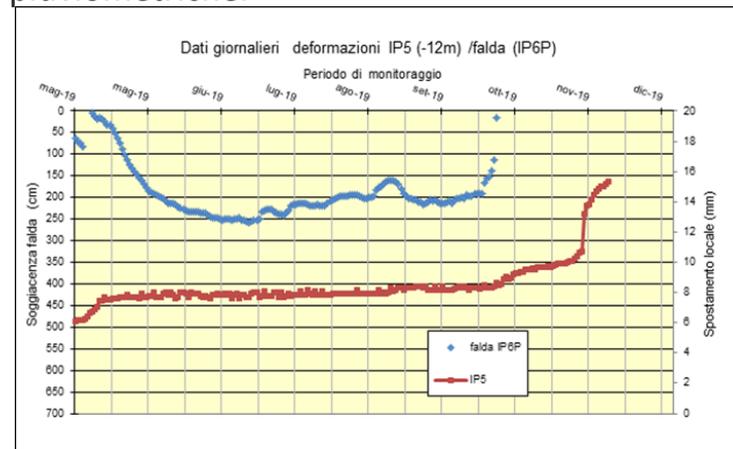
2) collegare, un dispositivo portatile con la sonda freatimetrica fissa, che può funzionare anche da datalogger, e attivare quindi lo scarico dei dati mediante software dedicato;

3) controllare in campo, mediante grafici, l'andamento delle freatimetrie nel tempo, individuando eventuali comportamenti anomali nella registrazione;



Piezometro automatico PZ 2 - Sito «S. Romolo» - Sanremo - IM

4) elaborare a tavolino i dati (.txt) in foglio di calcolo e creare grafici orari e/o giornalieri da confrontare alle curve inclinometriche e/o pluviometriche.



Esempio di confronto tra i dati piezometrici automatici con i dati inclinometrici (Sito «Pero» - Varazze, SV)

LA RETE REMOVER - RELAZIONE ANNUALE

Publicata sul sito <https://servizi.regione.liguria.it/page/welcome/REMOVER>

Contiene gli esiti del monitoraggio dei versanti dal 2008 al 2020 sui siti concordati con la Regione Liguria e costituisce adempimento della Legge Regionale n.20 del 4 agosto 2006 (art.32), e di quanto previsto all'Art. 4, c. 1, lettr. c) e d) della citata Intesa, **riepiloga e integra i dati delle misure** già periodicamente trasmessi per via informatica alla Regione.

Per incrementare la conoscenza dei fenomeni in esame:

- **dati pluviometrici** del Centro Meteo Funzionale IdroGeologico – CMFI di ARPAL,
- **dati geologici e stratigrafici** originali direttamente rilevati sul terreno e/o da sondaggio,
- **segni di dissesto** direttamente osservati sul terreno,
- **dati derivanti dall'interferometria satellitare**, per verificare la coerenza o meno con i dati inclinometrici,
- **dati ottenuti in campo dalla sismica a rifrazione**, per verificare stratigrafia e idrogeologia



Sito «Vallepiana» –
Borzonasca (GE)

Grazie per l'attenzione

<https://servizi.regione.liguria.it/page/welcome/REMOVED>

monica.solimano@arpal.liguria.it

gianluca.beccaris@arpal.liguria.it