

REPORT

Frana "Piagneto" - Collagna (RE)

Elaborazione Dati

LAMS (Landslides Automatic Monitoring System)

INDICE

1. LAMS (Landslides Automatic Monitoring System)	5
1.1. Descrizione Tecnica	5
1.2. Caratteristiche e Vantaggi del Sistema LAMS.....	6
2. Localizzazione e Installazione in situ	7
2.1. Localizzazione del Sito di Misura	7
2.2. Installazione Sistema LAMS	8
3. Analisi ed Elaborazione Dati – 1° Step.....	11
3.1. Analisi Dati	11
3.2. Confronto con Elaborazione Dati "Regione Emilia-Romagna"	15
4. Analisi e Elaborazione Dati – 2° Step.....	19
4.1. Analisi Dati	19
4.3. Confronto con Elaborazione Dati "Regione Emilia-Romagna"	23
5. Analisi Dati Temperatura.....	24
5.1. Correlazione Temperatura – Piovosità nell'area di Collagna (RE).....	25
5.2. Correlazione Temperatura – Piovosità – Idrodinamica del versante	27
6. Allegati.....	29

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Suddivisione in step della Ricerca in atto sul campo-test di Piagneto c/o Collagna (RE).	10
Tabella 2 - Tabella di dati assoluti (in metri), acquisiti per il 1°Step di ricerca.....	11
Tabella 3 - Tabella Dati "Spostamenti Differenziali Locali X e Y" (in metri).	12
Tabella 4 - Dati "Incrementali" (Movimento per Punti) e "Cumulativi" (Movimento per Sommatoria, dal basso) (in metri).....	13
Tabella 5 - Tabella di dati assoluti (in metri), acquisiti per il 2°Step di ricerca.....	19
Tabella 6 - Tabella Dati "Spostamenti Differenziali Locali X e Y" (in metri).	20
Tabella 7 - Dati "Incrementali" (Movimento per Punti) e "Cumulativi" (Movimento per Sommatoria, dal basso) (in metri).....	21

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Schematizzazione delle parti principali del sistema fisso di monitoraggio LAMS: blocco di gestione (A) e blocco di misura (B).....	5
Figura 2 - Modulo di acquisizione (B1) con le sue componenti principali, costituite da un modulo di superficie, con la relativa scheda di superficie, e da un ago. Nella parte bassa della figura è messo in risalto il particolare dell' inclinometro MEMS.	6

Figura 3 – Localizzazione del sito di misura, interessato dall’installazione del Sistema di Monitoraggio LAMS (●) denominata (I), con evidenziazione dell’area del versante di frana..... 8

Figura 4 - Schematizzazione dell’installazione dei blocchi e delle parti principali del sistema fisso di monitoraggio LAMS su un ipotetico versante di frana..... 9

Figura 5 - Fasi di montaggio ed installazione del sistema fisso di monitoraggio LAMS, con particolare relativo alla centralina di alimentazione e gestione “AMON-RA”. 9

Figura 6: Grafici degli Spostamenti Differenziali Locali (assi X e Y) (in metri). 12

Figura 7: Grafici di Risultanti degli Spostamenti Incrementali (Movim. per Punti) e Cumulativi (Movim. per Sommatoria). 13

Figura 8: Diagramma “Polare” che indica la direzione, l’entità degli spostamenti (in metri) ed il verso di scorrimento della frana. Nel diagramma sono riportati gli spostamenti principali, riferiti ai mesi di Dicembre 2010 e Gennaio 2011, nonché l’ultimo monitoraggio effettuato per il 1°step di ricerca. In alto (a destra), viene riportata anche la disposizione degli assi X e Y dei sensori inclinometrici rispetto al Nord, data l’installazione del LAMS secondo la convenzione “anglosassone”. 14

Figura 9: Risultanti degli Spostamenti Incrementali (Movimenti per Punti), elaborato da Regione Emilia-Romagna per l’inclinometro “Piagneto 5”. 16

Figura 10: Risultanti degli Spostamenti Cumulativi (Movimenti per Sommatoria), elaborato da Regione Emilia-Romagna per l’inclinometro “Piagneto 5”. 17

Figura 11: Diagramma Polare, dal quale si evince la direzione della fronte franoso, elaborato da Regione Emilia-Romagna per l’inclinometro “Piagneto 5”. 18

Figura 12: Grafici degli Spostamenti Differenziali Locali (assi X e Y) (in metri), con la situazione aggiornata al 28-08-2012 (ultima acquisizione elaborata)..... 20

Figura 13: Grafici di Risultanti degli Spostamenti Incrementali (Movim. per Punti) e Cumulativi (Movim. per Sommatoria), con la situazione aggiornata al 28-08-2012 (ultima acquisizione elaborata). 21

Figura 14: Diagramma “Polare” che indica la direzione, l’entità degli spostamenti (in metri) ed il verso di scorrimento della frana. Nel diagramma sono riportati gli spostamenti principali, relativi a Dicembre 2011 ed Aprile 2012 (ultimo monitoraggio elaborato per il 2°step di ricerca, relativo a Agosto 2012). In alto (a destra) è riportata la disposizione degli assi X e Y rispetto al Nord, da notare la disposizione dell’asse Y verso la direzione di massima pendenza del versante..... 22

Figura 15: Diagramma “Polare”, relativo all’ultimo monitoraggio di Agosto 2012, che mette in luce la direzione, l’entità degli spostamenti (in metri) ed il verso di scorrimento della frana, mediante la tecnica della gradazione dei colori per ciascun segmento di “spezzata” analizzato. 22

Figura 16: Analisi dei dati assoluti di temperatura (in gradi) dei sensori per ciascun metro di sondaggio monitorato..... 24

Figura 17: Analisi dei dati medi giornalieri di Temperatura (in gradi), correlati con i dati giornalieri di Piovosità (in millimetri) nell’area di Collagna (servizio dell’ARPA-SIM dell’Emilia-Romagna – Piattaforma DEXTER). 25

Figura 18: Correlazione tra la Derivata della Temperatura (media giornaliera) e la Piovosità (precipitazioni giornaliere, in millimetri). Il grafico viene utilizzato per delineare le anomalie termiche dell’area del versante tra i sensori a diversa profondità ed associarle a particolari eventi metereologici verificatisi nella zona di Collagna..... 26

Figura 19: Correlazione tra la soggiacenza della falda acquifera (condizioni idrodinamiche del versante, in metri) e la piovosità (in metri) dell'area di Collagna. Il piezometro "Piagneto 7P" è quello più adiacente la zona di versante indagata dal sistema di monitoraggio LAMS..... 27

Figura 20: Correlazione fra le Temperature (in gradi) alle diverse profondità e le condizioni idrodinamiche del versante (soggiacenza della falda acquifera, in metri)..... 28

1. LAMS (Landslides Automatic Monitoring System)

Per rispondere ai bisogni del Mercato Geologico-Ambientale e, specificamente, del settore del Monitoraggio Frane, AMON-X ha studiato un prodotto innovativo di estrema utilità, soprattutto per scopi di protezione civile, dato che è in grado di monitorare un sito in continuo, da remoto, con un'adeguata precisione strumentale.

Il **Sistema Fisso di Monitoraggio Frane LAMS** (Landslides Automatic Monitoring System) è una soluzione altamente innovativa, basata soprattutto sulla tecnologia dei Sensori Accelerometrici **MEMS** (Micro Electro-Mechanical Systems).

Il grande sviluppo degli accelerometri MEMS è stato trainato dalla diffusione in campo automobilistico dei sistemi di sicurezza air-bag e, successivamente, dal loro utilizzo nel campo della telefonia e dell'informatica. Questo tipo di sensori, che consentono di effettuare misure di accelerazione, è realizzato integrando in un unico microchip sia la parte meccanica sia quella elettronica, ottenendo in questo modo un perfetto connubio fra prestazioni e prezzo.

A fronte delle potenzialità degli accelerometri MEMS, è nata l'idea "innovativa" di utilizzarli in sostituzione dei tradizionali inclinometri, impiegati per il monitoraggio dei fronti di frana, e inserirli in un sistema di monitoraggio fisso.

1.1. Descrizione Tecnica

LAMS è un innovativo sistema di monitoraggio fisso adattabile a qualsiasi situazione di misura e quindi alla morfologia del fronte franoso da monitorare.

Nella Figura 1 è possibile vedere la schematizzazione delle parti principali del sistema, di seguito descritte.

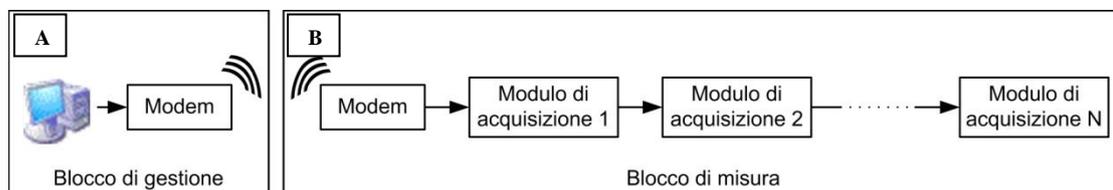
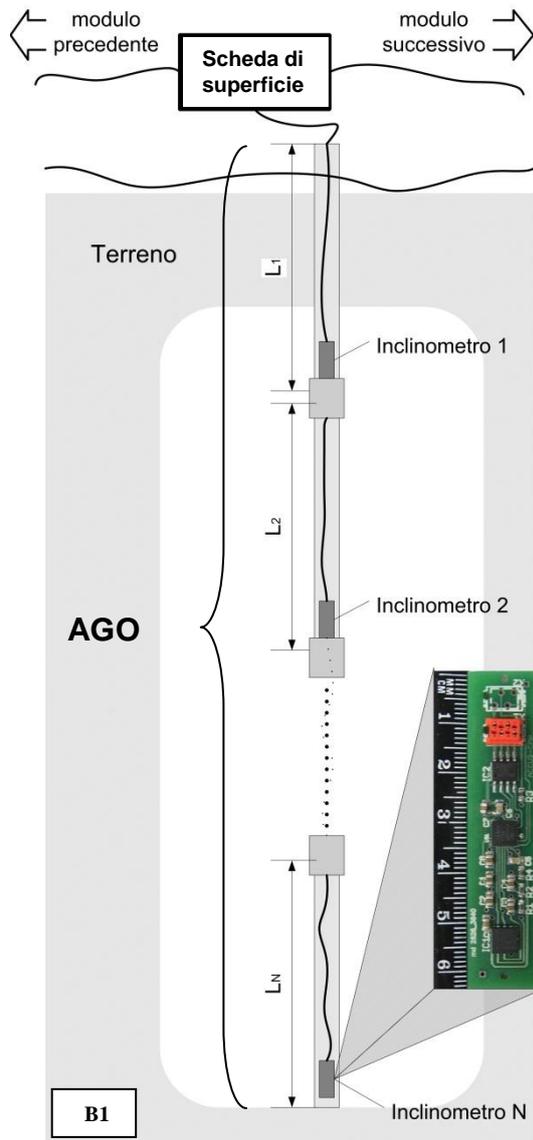


Figura 1 - Schematizzazione delle parti principali del sistema fisso di monitoraggio LAMS: blocco di gestione (A) e blocco di misura (B).

- A. Blocco di gestione.** È costituito da un server che gestisce l'acquisizione, l'archiviazione e l'analisi dei dati. Su esso è installato un **Web Service**¹ che offre la possibilità di consultare via web lo stato dei vari siti di misura. In questo modo, la gestione dei dati è centralizzata e la loro analisi può essere eseguita da qualsiasi computer connesso alla rete internet, senza la necessità di installare alcun software, ma utilizzando un comune browser e delle sicure credenziali di accesso ai servizi del web service.
- B. Blocco di misura.** Comprende uno o più moduli di acquisizione (Modulo di Superficie AMON-RA + AGO con Sonde Inclinometriche Biassiali), che inviano dati al Blocco di Gestione (Modem con trasmissione GPRS). Il numero e la configurazione di questi ultimi dipendono: dal numero di punti in cui si desidera compiere le misure; dalla profondità a cui occorre arrivare; dalla precisione che si vuole ottenere.

¹ Al momento dell'installazione del sistema LAMS (1°step) era disponibile un software di gestione del sistema che doveva essere completato e fornito al Referente Tecnico della Regione Emilia-Romagna, come da capitolato. Tuttavia lo sviluppo successivo del sistema è stato orientato verso l'utilizzo di un server, dotato di apposito Web-Service per la gestione centralizzata dei dati. La realizzazione di questo sistema è attualmente in corso e, al termine delle operazioni, sarà fornito un accesso al servizio a titolo gratuito.



B1. Nella Figura 2, qui a sinistra, è illustrato, in maniera schematica, un **modulo di acquisizione**, che comprende il Modulo di Superficie AMON-RA e l'Ago di Misura.

a) Modulo di Superficie AMON-RA, che comprende una **scheda di superficie** collegata, con le corrispondenti schede del modulo precedente (con il modem nel caso della prima scheda superficiale) e con la scheda relativa al modulo successivo. AMON-RA è una centralina di acquisizione e gestione del sistema, viene alimentata da pannello solare e svolge la funzione di raccogliere i dati provenienti dai sensori inclinometrici ad essa collegati e di trasmetterli (via GPRS) al Blocco di Gestione;

b) "AGO", composto da una serie di **N tubi d'acciaio inox** di lunghezza **L**, collegati fra loro da un giunto cardanico. Tali tubi sono cavi e, all'interno di ognuno, si trova un **sensore inclinometrico biassiale**, rigidamente vincolato al tubo che consente di misurarne l'inclinazione. I sensori sono poi connessi fra loro tramite un cavo che va dalla scheda di superficie fino all'inclinometro **N**.

Figura 2 - Modulo di acquisizione (B1) con le sue componenti principali, costituite da un modulo di superficie, con la relativa scheda di superficie, e da un ago. Nella parte bassa della figura è messo in risalto il particolare dell' inclinometro MEMS.

In sede di progettazione del sistema, oltre a poter decidere il numero di moduli di acquisizione, è possibile variare, secondo le circostanze, il numero **N** di sensori, la lunghezza **L** di ciascun tubo, agendo in questo modo sulla risoluzione della misura e sulla possibilità di raggiungere maggiori profondità.

1.2. Caratteristiche e Vantaggi del Sistema LAMS

LAMS è stato ideato con l'intento di affermare un nuovo approccio al monitoraggio dei fenomeni franosi, che consenta di sostituire i tradizionali sistemi impiegati per questo scopo.

Le caratteristiche principali di LAMS sono:

- **completo automatismo** del sistema che permette di eseguire un monitoraggio continuo del fenomeno franoso, **da remoto** (Piattaforma Web Service), così da ridurre drasticamente gli interventi "tecnici" in frana;
- **competitività sui mercati**, che determina i seguenti vantaggi:

- sensibile **diminuzione dei costi della strumentazione**, dato sia l'uso di componentistica elettronica e meccanica di "largo consumo" e di facile progettazione, che una rete consolidata di fornitori;
- innovativa **Piattaforma Web Service**, che permette la fruizione e l'analisi/elaborazione dei dati tramite accesso via web, con account "sicuri" e senza l'installazione di software aggiuntivi sul proprio PC, favorendo una gestione centralizzata dei dati;
- **modularità** del sistema LAMS, che consente di ottimizzare i costi in ciascuna situazione (scelta del numero di sensori, passo di misura, etc.), agendo sulla risoluzione della misura e sulla possibilità di raggiungere maggiori profondità;
- **affidabilità e precisione strumentale**: l'utilizzo di sensori accelerometrici MEMS, impiegati anche in altri settori (telefonia ed informatica), garantisce un'adeguata precisione strumentale per l'individuazione di superficie di scorrimento di una frana e il monitoraggio di movimenti in atto lungo la stessa (risoluzione di 0.025°, pari a una sensibilità di 1/2.000); inoltre, la sonda inclinometrica è multiparametrica, data la presenza anche di un sensore di temperatura, che può essere di notevole importanza per lo studio di altri parametri del sottosuolo;
- aumento della **longevità** del sito di misura: LAMS segue i movimenti in atto fino alla definitiva rottura sulla superficie di scorrimento, mentre nei tradizionali sistemi di monitoraggio si verificano "strozzature" nei tubi di controllo, che ne impediscono la misura e possono pregiudicare la funzionalità del sito di misura.

In sintesi, vengono elencate le caratteristiche del prodotto LAMS che danno vantaggio competitivo:

- 1) MONITORAGGIO CONTINUO e IN REMOTO;
- 2) INNOVATIVITA', data dall'utilizzo sia di sensori accelerometrici MEMS sia della PIATTAFORMA WEB SERVICE per acquisizione/elaborazione dati;
- 3) LONGEVITA', si evitano le "strozzature" nei tubi di controllo che pregiudicano la funzionalità del sito di misura;
- 4) MODULARITA', data dalla scelta in fase di pre-installazione sia del numero di sonde che del passo di misura;
- 5) SONDA FISSA e MULTIPARAMETRICA, con misurazione della TEMPERATURA.

2. Localizzazione e Installazione in situ

2.1. Localizzazione del Sito di Misura

La frana sottoposta a monitoraggio coinvolge 2 tornanti della SS 63 del Valico del Cerreto, in località Piagneto nel Comune di Collagna (RE) (Figura 3).

Nell'area di frana è stato predisposto un campo-test dove sono stati eseguiti 13 sondaggi, da parte del Servizio Tecnico dei Bacini Affluenti del Po - Sede di Reggio Emilia, i cui fori sono stati attrezzati con 7 inclinometri e 6 piezometri.

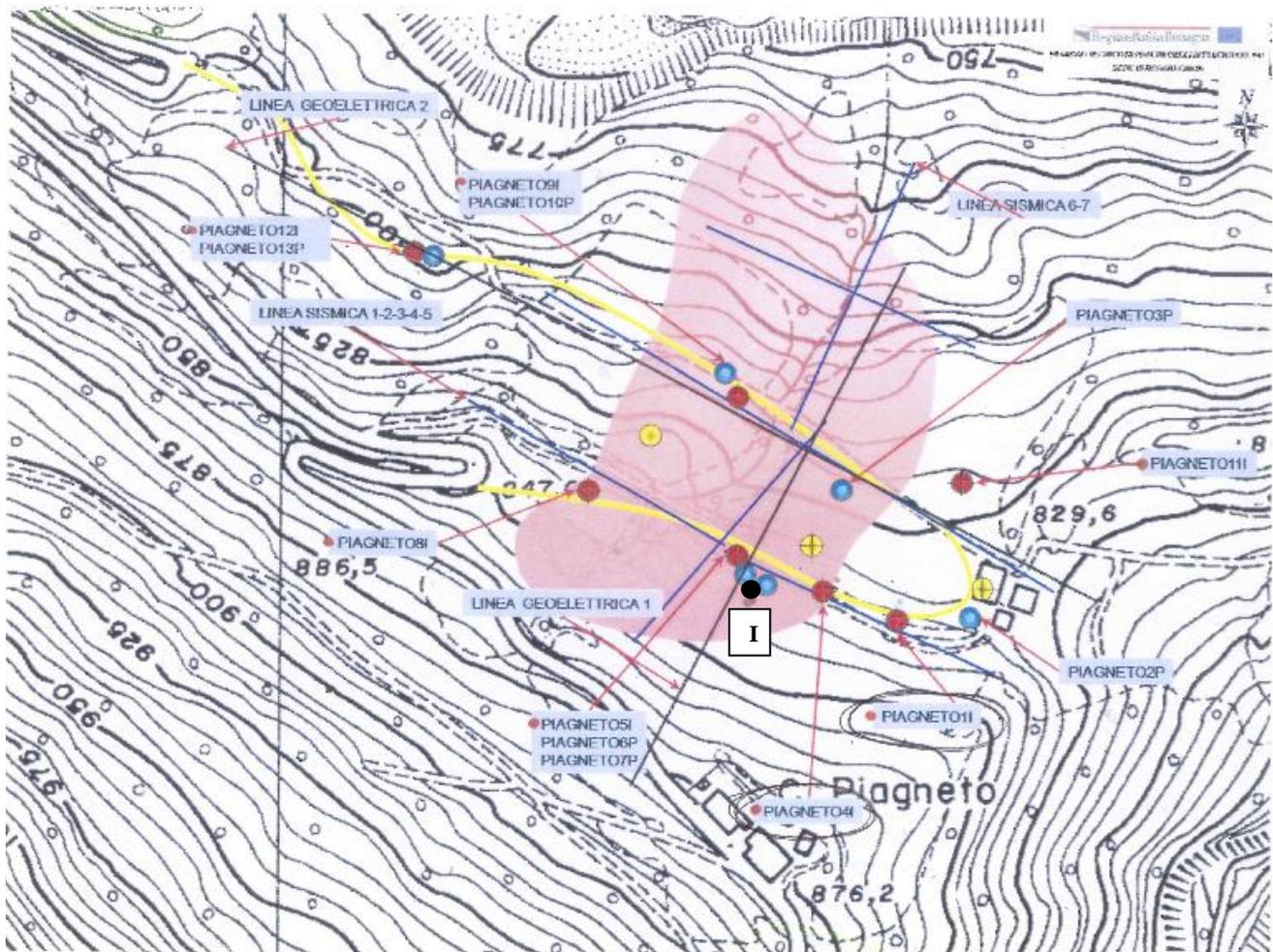


Figura 3 – Localizzazione del sito di misura, interessato dall’installazione del Sistema di Monitoraggio LAMS (●) denominata (I), con evidenziazione dell’area del versante di frana.

2.2. Installazione Sistema LAMS

Nell’ambito dell’accordo stipulato, tra il Consorzio Ferrara Ricerche e la Regione Emilia-Romagna, AMON-X S.r.l. ha attrezzato il foro di sondaggio I (profondità pari a 9m), con un sistema automatico di monitoraggio frana, denominato “LAMS” (Figura 4).

Il capitolato d’appalto prevedeva l’installazione di:

- n. 5 “Sonde IF-P1”, sonde inclinometriche di lunghezza pari a 1m;
- n. 1 centralina di alimentazione e di comunicazione e n. 1 scheda di superficie;
- n. 1 software di gestione del sistema (si veda nota a piè pagina 1).

A scopo di ricerca e sviluppo del prodotto e data l’assoluta novità e innovatività del sistema, AMON-X S.r.l. ha fornito l’installazione di n. 4 “Sonde IF-P1” aggiuntive, in modo da garantire un monitoraggio automatico continuo dell’intera perforazione.

L’installazione del sistema di monitoraggio (Figura 5) è stata effettuata, in accordo con il Referente Tecnico della Regione (Dr. Geol. Giovanni Truffelli del Servizio Tecnico dei Bacini degli Affluenti del Po), in data 28/09/2010, con collaudo finale ed inizio elaborazioni effettuato in data 11/10/2010. L’orientazione del Sistema di Monitoraggio LAMS è stata impostata secondo la convenzione “anglosassone”, la quale prevede l’installazione nella direzione di massima pendenza del versante; quindi, nel 1°step l’asse X dei sensori inclinometrici è stato installato secondo la direzione N-NE (N30°E) e l’asse Y secondo la direzione E-SE. Nel 2°step, invece, l’asse Y è stato installato secondo la direzione N30°E (massima pendenza del versante).

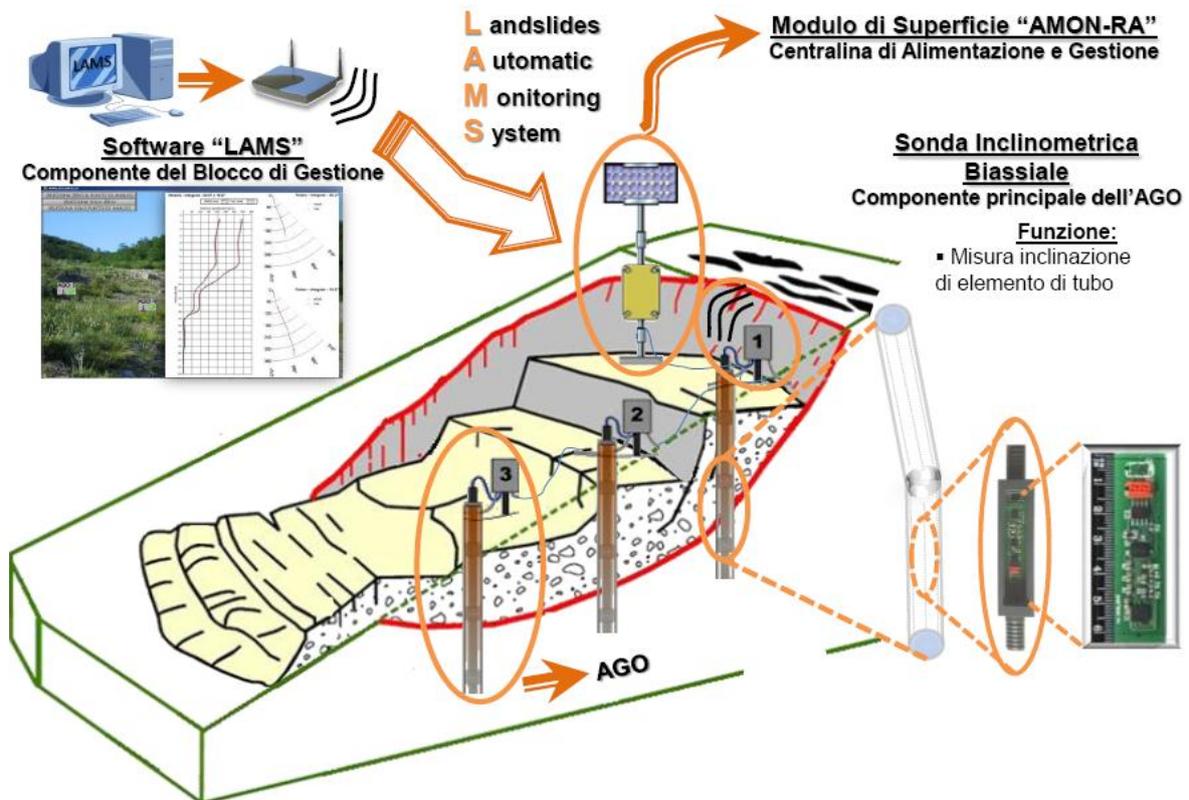


Figura 4 - Schematizzazione dell'installazione dei blocchi e delle parti principali del sistema fisso di monitoraggio LAMS su un ipotetico versante di frana.



FASE DI MONTAGGIO / INSTALLAZIONE

Figura 5 - Fasi di montaggio ed installazione del sistema fisso di monitoraggio LAMS, con particolare relativo alla centralina di alimentazione e gestione "AMON-RA".

AMON-X S.r.l., nell'ambito della ricerca in collaborazione con la Regione Emilia-Romagna, ha usufruito del campo-test di Piagneto c/o Collagna (RE) per progredire con la ricerca e lo sviluppo del prodotto LAMS, arrivando alla versione attuale del prodotto altamente performante. A tal proposito, AMON-X ha suddiviso tale ricerca in due distinti step (Tabella 1):

Fasi Ricerca	Inizio Attività	Fine Attività	Descrizione Attività
1° STEP	11-10-2010	08-07-2011	LAMS (1° versione) con installazione di innovativi Inclinometri Triassiali MEMS. Il sistema di monitoraggio è stato testato con varie frequenze di interrogazione/chiamata (1h, 2h, 6h).
2° STEP	08-07-2011	...in corso...	LAMS (2° versione) con migliorie strumentali, date dall'installazione di Inclinometri Biassiali MEMS molto più stabili. Il sistema è in modalità "continua", dunque può essere interrogato in qualunque momento (frequenza pari a 1h, 2h).

Tabella 1 - Suddivisione in step della Ricerca in atto sul campo-test di Piagneto c/o Collagna (RE).

Nell'ambito del 1° step (installazione in situ del 28/09/2010), il collaudo ha previsto sia la verifica del funzionamento elettrico della sensoristica che la "fase di zero" del sistema, cioè la prima misura di riferimento alla quale sono riferite le misure periodiche di monitoraggio.

Dopo la fase di zero del sistema, per scopi di ricerca e di didattica (Visita guidata del Prof. Corsini c/o sito di misura, nell'ambito del progetto europeo "MONITOR II: Practical Use of Monitoring in Natural Disasters Management"), il sistema LAMS ha subito varie risistemazioni nel foro di sondaggio. A tal proposito, si ritiene che per le analisi ed elaborazioni successive debba essere utilizzato lo "zero del sistema" del giorno 23/11/2010, perché il sistema di monitoraggio non ha riscontrato movimenti significativi, nel periodo trascorso tra la data del collaudo e il nuovo zero del sistema.

A scopo di ricerca e, soprattutto, per il continuo sviluppo del prodotto LAMS sono stati apportati alcuni accorgimenti tecnici e migliorie strumentali, quali l'utilizzo di Inclinometri Biassiali MEMS anziché gli Inclinometri Triassiali della 1° versione: quindi, il sistema di monitoraggio è stato sostituito in data 08/07/2011 con un nuovo sistema di monitoraggio LAMS, dando inizio alla seconda fase (2° step).

A causa di questa perturbazione indotta in situ sulla strumentazione, il sistema LAMS è stato nuovamente collaudato in data 08/07/2011: le attività previste sono state sia la verifica del funzionamento elettrico della sensoristica che una nuova "fase di zero" del sistema, diversa da quella del precedente collaudo. La motivazione, alla base della modifica dello "zero", è sostanzialmente meccanica, poiché è impensabile che un sistema possa ripercorrere le inclinazioni pre-esistenti, riscontrate nel sistema installato nel 1° step.

Lo scopo del presente documento, quindi, è quello di consegnare un report generale per i primi 15 mesi della sperimentazione (dati originali, analisi ed elaborazione grafica degli stessi), in modo da fornire l'informazione completa sullo stato di attività del movimento franoso, sull'entità, la direzione e la profondità degli spostamenti registrati.

Tali dati saranno confrontati con quelli derivati dalla strumentazione inclinometrica tradizionale, presente nel foro adiacente (Piagneto 5), e con un sistema di monitoraggio topografico con stazione totale (attivo da settembre 2009, gestito dal prof. Corsini dell'Università degli Studi di Modena e Reggio-Emilia) in collaborazione con il Referente Tecnico della Regione Emilia-Romagna.

3. Analisi ed Elaborazione Dati - 1° Step

3.1. Analisi Dati

Nell'ambito del 1°step della ricerca, è fornito un riepilogo (Tabella 2) dei dati mensili assoluti dove sono riportati: la fase di zero registrata a Novembre 2010 e, successivamente, le acquisizioni relative ai mesi di Novembre 2010, Dicembre 2010, Gennaio 2011, Aprile 2011 e Luglio 2011 (fine 1°step).

Data	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	X6	Y6	X7	Y7	X8	Y8	X9	Y9
Fase di 0: 23/11/2010	0,033	2,501	0,007	2,465	-0,029	2,495	0,000	2,474	0,022	2,466	0,000	2,492	-0,003	2,489	-0,033	2,509	-0,002	2,519
24/11/10 23.56	0,033	2,501	0,007	2,465	-0,029	2,495	0,000	2,474	0,022	2,466	-0,001	2,492	-0,003	2,489	-0,032	2,509	-0,002	2,519
8/12/10 23.56	0,035	2,498	0,008	2,465	-0,027	2,493	0,003	2,473	0,029	2,463	0,004	2,487	-0,006	2,487	-0,034	2,510	-0,003	2,517
8/1/11 10.06	0,034	2,498	0,008	2,464	-0,026	2,491	0,003	2,470	0,036	2,461	0,005	2,482	-0,011	2,488	-0,036	2,503	-0,010	2,514
30/4/11 20.00	0,034	2,499	0,010	2,470	-0,027	2,493	-0,010	2,466	0,041	2,459	0,005	2,479	-0,010	2,483	-0,043	2,499	-0,001	2,514
8/7/11 08.00	0,032	2,495	0,008	2,468	-0,032	2,500	-0,013	2,462	0,045	2,456	0,006	2,477	-0,008	2,479	-0,043	2,494	-0,006	2,518

Tabella 2 - Tabella di dati assoluti (in metri), acquisiti per il 1°Step di ricerca.

Nell'Allegato 1, saranno riportati i dati assoluti giornalieri acquisiti nell'ambito del 1°step. Tutte le elaborazioni dati (mensili) con relativi grafici saranno invece fornite con un Allegato in formato .xls (Microsoft Office Excel), dove saranno riportati: gli "Spostamenti locali differenziali" su Assi X e Y (rispetto alla fase "zero" di partenza); i "Movimenti per punti" e "Movimenti per sommatoria", cioè le risultanti degli spostamenti incrementali e cumulativi; i grafici "Polari", dai quali si evince la direzione e verso di scorrimento della frana.

Profondità	Novembre '10		Dicembre '10		Gennaio '11		Aprile '11		Luglio '11	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0,0005	0,0004	0,002	0,003	0,001	0,003	0,001	0,002	-0,001	0,006
2	0,0001	-0,0001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,003	-0,005	0,001	-0,003
3	0,0000	-0,0001	0,002	0,001	0,004	0,004	0,002	0,001	-0,003	-0,006
4	-0,0002	0,0003	0,003	0,001	0,003	0,004	-0,010	0,009	-0,013	0,012
5	0,0001	0,0000	0,007	0,003	0,013	0,005	0,019	0,007	0,023	0,010
6	-0,0001	0,0001	0,005	0,005	0,005	0,010	0,005	0,013	0,007	0,015
7	-0,0002	0,0006	-0,004	0,003	-0,008	0,001	-0,007	0,007	-0,005	0,010
8	0,0000	0,0006	-0,001	-0,001	-0,003	0,006	-0,010	0,011	-0,011	0,016
9	-0,0002	0,0001	-0,001	0,001	-0,008	0,005	0,001	0,005	-0,004	0,001

Tabella 3 - Tabella Dati "Spostamenti Differenziali Locali X e Y" (in metri).

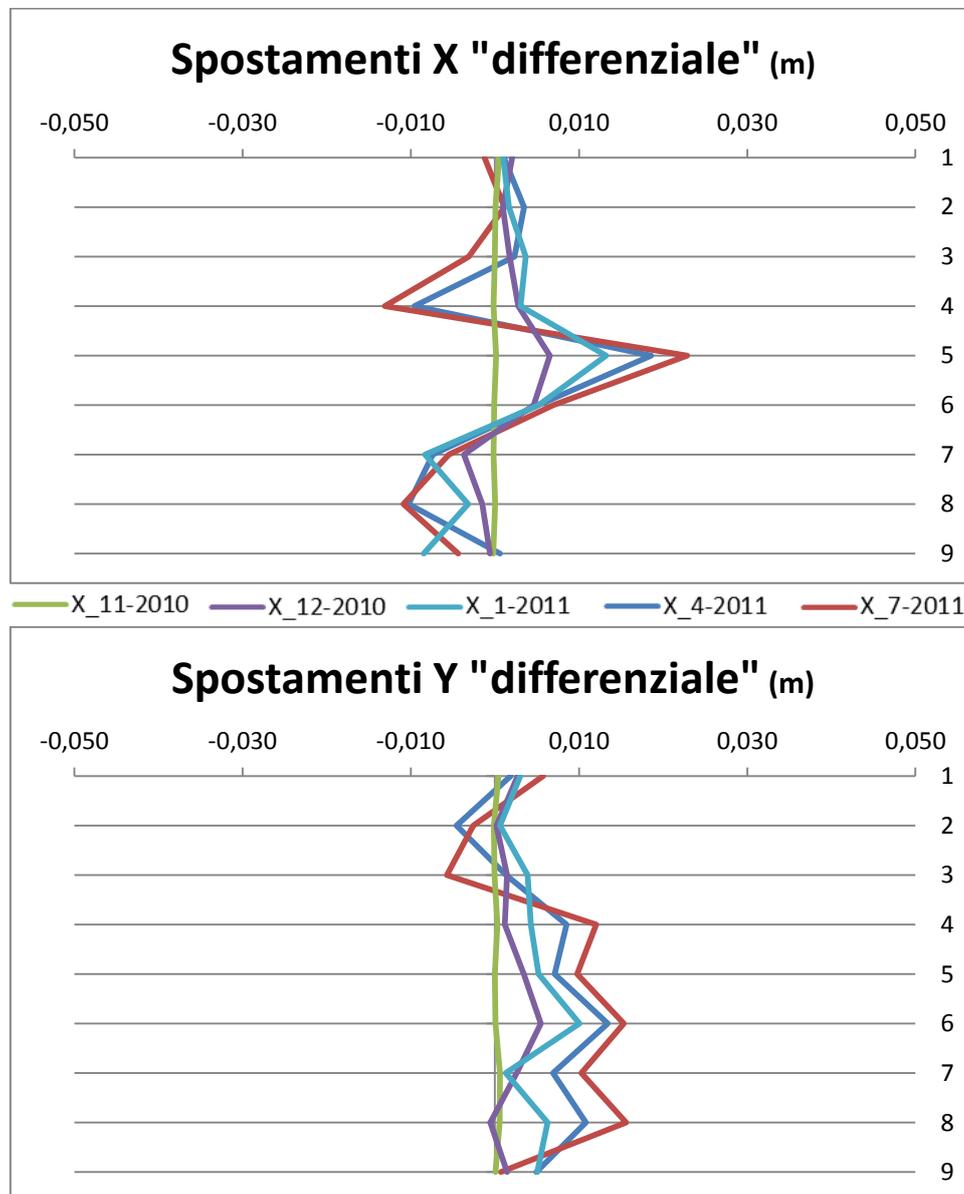


Figura 6: Grafici degli Spostamenti Differenziali Locali (assi X e Y) (in metri).

Profondità	Novembre '10		Dicembre '10		Gennaio '11		Aprile '11		Luglio '11	
	Punti	Sommat.	Punti	Sommat.	Punti	Sommat.	Punti	Sommat.	Punti	Sommat.
1	0,0006	0,0028	0,003	0,032	0,003	0,066	0,002	0,088	0,006	0,110
2	0,0001	0,0022	0,001	0,028	0,002	0,063	0,006	0,085	0,003	0,104
3	0,0001	0,0021	0,002	0,027	0,005	0,061	0,003	0,080	0,007	0,101
4	0,0003	0,0020	0,003	0,025	0,005	0,056	0,013	0,077	0,018	0,095
5	0,0001	0,0017	0,007	0,022	0,014	0,051	0,020	0,064	0,025	0,077
6	0,0001	0,0015	0,007	0,015	0,011	0,037	0,014	0,044	0,017	0,052
7	0,0006	0,0014	0,005	0,008	0,008	0,025	0,010	0,030	0,012	0,035
8	0,0006	0,0008	0,002	0,003	0,007	0,017	0,015	0,020	0,019	0,023
9	0,0002	0,0002	0,002	0,002	0,010	0,010	0,005	0,005	0,004	0,004

Tabella 4 - Dati "Incrementali" (Movimento per Punti) e "Cumulativi" (Movimento per Sommatoria, dal basso) (in metri).

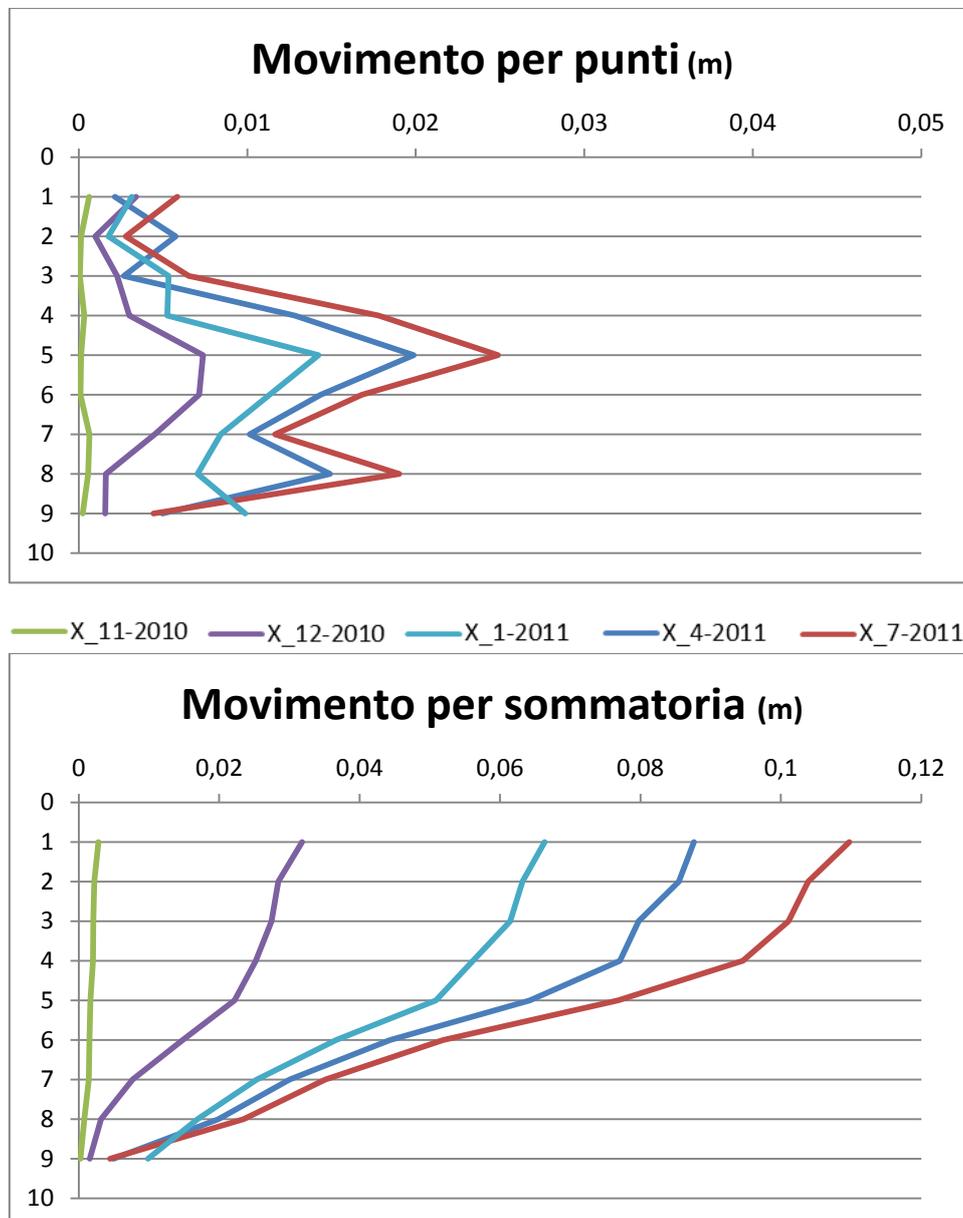


Figura 7: Grafici di Risultanti degli Spostamenti Incrementali (Movim. per Punti) e Cumulativi (Movim. per Sommatoria).

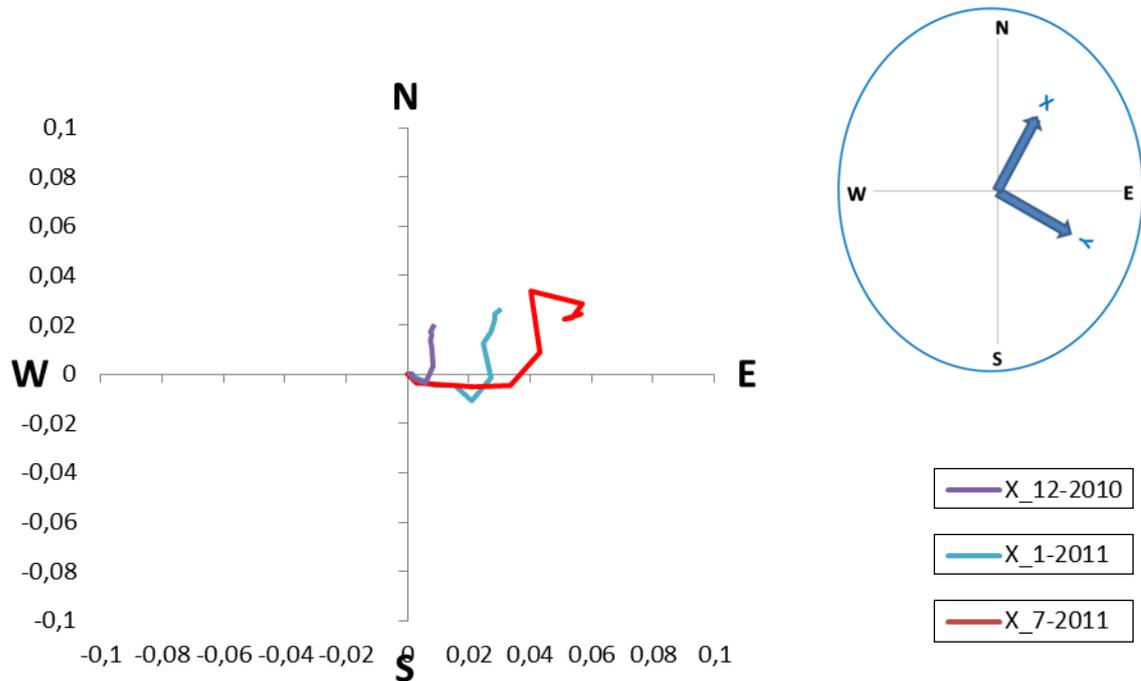


Figura 8: Diagramma "Polare" che indica la direzione, l'entità degli spostamenti (in metri) ed il verso di scorrimento della frana. Nel diagramma sono riportati gli spostamenti principali, riferiti ai mesi di Dicembre 2010 e Gennaio 2011, nonché l'ultimo monitoraggio effettuato per il 1°step di ricerca. In alto (a destra), viene riportata anche la disposizione degli assi X e Y dei sensori inclinometrici rispetto al Nord, data l'installazione del LAMS secondo la convenzione "anglosassone".

3.2. Confronto con Elaborazione Dati "Regione Emilia-Romagna"

Dall'elaborazione dati (Figura 6 e Figura 7), emerge con particolare chiarezza che il movimento principale si individua alla profondità di 5 metri in due distinti periodi: 8 Dicembre 2010 e tra Fine Dicembre 2010 e Gennaio 2011. In particolare, dai dati incrementali (movimento per punti) si riscontrano spostamenti di poco inferiori a 1cm (8-12-2010) e pari a 1,5cm (Dicembre 2010-Gennaio 2011).

I movimenti principali si riscontrano sull'asse X, data la sua direzione lungo la massima pendenza del versante: quindi dal Diagramma Polare di

Figura 8, si evince che i movimenti principali si individuano lungo la direttrice NE.

Il grafico degli spostamenti incrementali (Figura 7), inoltre, mostra in maniera evidente, nel primo metro di sondaggio, il fenomeno della "deriva di testa tubo", problema che si verifica normalmente entro i primi 3m dal p.c. e dovuto a cause indipendenti da dinamiche gravitative ma relative, invece, a problemi di installazione/fissaggio del sistema. La deriva di testa tubo si traduce in spostamenti apparenti, quindi, occorre interpretare il grafico in maniera corretta, onde evitare di incorrere in errate valutazioni.

E' importante osservare (Figura 6 e Figura 7) che, nel corso di un periodo lungo di monitoraggio, l'entità dello spostamento sulla superficie di scivolamento della frana ha subito una sorta di deriva, accentuandosi rispetto al reale spostamento rilevato: questo fenomeno rappresenta l'evidenza di un errore, dovuto a un limite costruttivo sull'asse Y delle sonde inclinometriche. Questa deriva si evidenzia in modo marcato nel Grafico delle Risultanti degli Spostamenti Cumulativi (Movimento per Sommatoria, Figura 7): infatti, alla fine del 1°step di ricerca, il movimento riscontrato è pari a circa 11cm, dovuto alla deriva (su asse Y) che si somma da Gennaio 2011 fino a Luglio 2011.

Dal confronto con le elaborazioni della Regione Emilia-Romagna per l'inclinometro "Piagneto 5" (Figura 9), si concorda sia sull'individuazione della profondità di scivolamento della frana a 5m, che sul movimento della suddetta superficie: infatti, nel periodo Novembre-Dicembre 2010, si individua uno spostamento pari a circa 0,6cm per un totale di circa 1cm. Mentre nei successivi rilevamenti, il grafico mostra uno spostamento inferiore a circa 0,3 cm, a conferma del fatto che il sistema LAMS nel 1°step di ricerca soffriva di problematiche di deriva strumentale sull'asse Y.

Le stesse elaborazioni risultano concordi anche per i dati cumulativi relativi al movimento principale monitorato (Dicembre 2010): il sistema LAMS ha riscontrato uno spostamento pari a 0,33cm e, dall'elaborazione della Regione Emilia-Romagna, si individua uno spostamento di poco superiore a 4cm (Movimento per sommatoria, Figura 10). Il confronto deve però essere effettuato a parità di zero del sistema (differenza con l'acquisizione di campagna del 15-11-2010).

Per quanto riguarda direzione e verso del movimento, dal confronto fra i diagrammi Polari (Figura 8 e Figura 11) si riscontra la medesima direzione di scorrimento della frana verso NE per i movimenti principali monitorati a Dicembre 2010 e Gennaio 2011. A causa della deriva strumentale sull'asse Y, invece, si individua una direzione di scorrimento prevalente verso E alla fine del 1°step di ricerca (Luglio 2011).

Alla luce dei confronti fra i monitoraggi e in virtù dello sviluppo tecnologico del sistema LAMS, ma soprattutto in accordo con il Referente Tecnico della Regione Emilia-Romagna (Dr. Geol. Giovanni Truffelli del Servizio Tecnico dei Bacini degli Affluenti del Po), AMON-X S.r.l. ha provveduto a sostituire in data 08/07/2011 la 1° versione LAMS con un nuovo sistema di monitoraggio LAMS, dando inizio alla seconda fase di ricerca sul campo-test "Piagneto" (2°step).

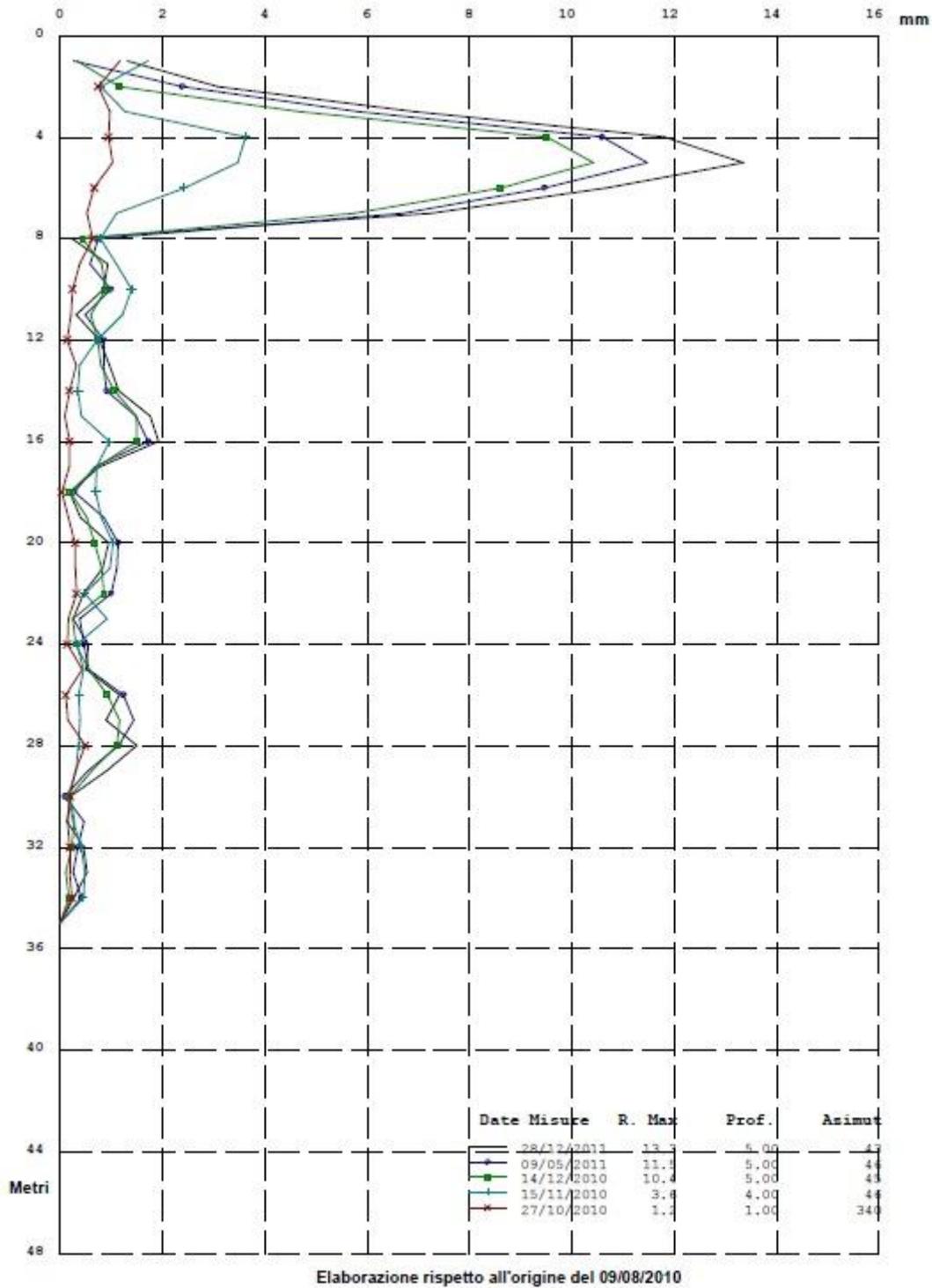
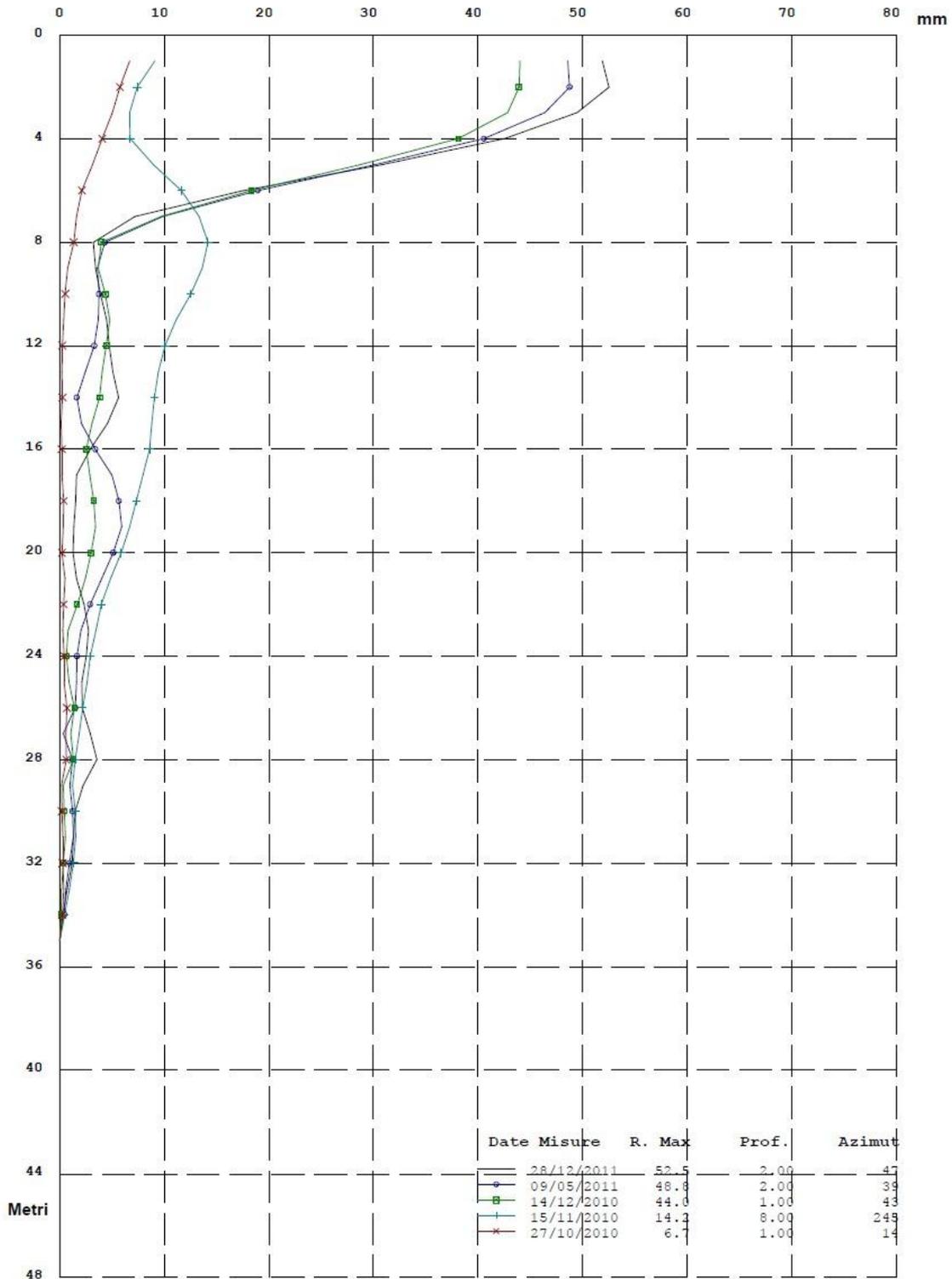


Figura 9: Risultanti degli Spostamenti Incrementali (Movimenti per Punti), elaborato da Regione Emilia-Romagna per l'inclinometro "Piagneto 5".



Elaborazione rispetto all'origine del 09/08/2010

Figura 10: Risultanti degli Spostamenti Cumulativi (Movimenti per Sommatoria), elaborato da Regione Emilia-Romagna per l'inclinometro "Piagneto 5".

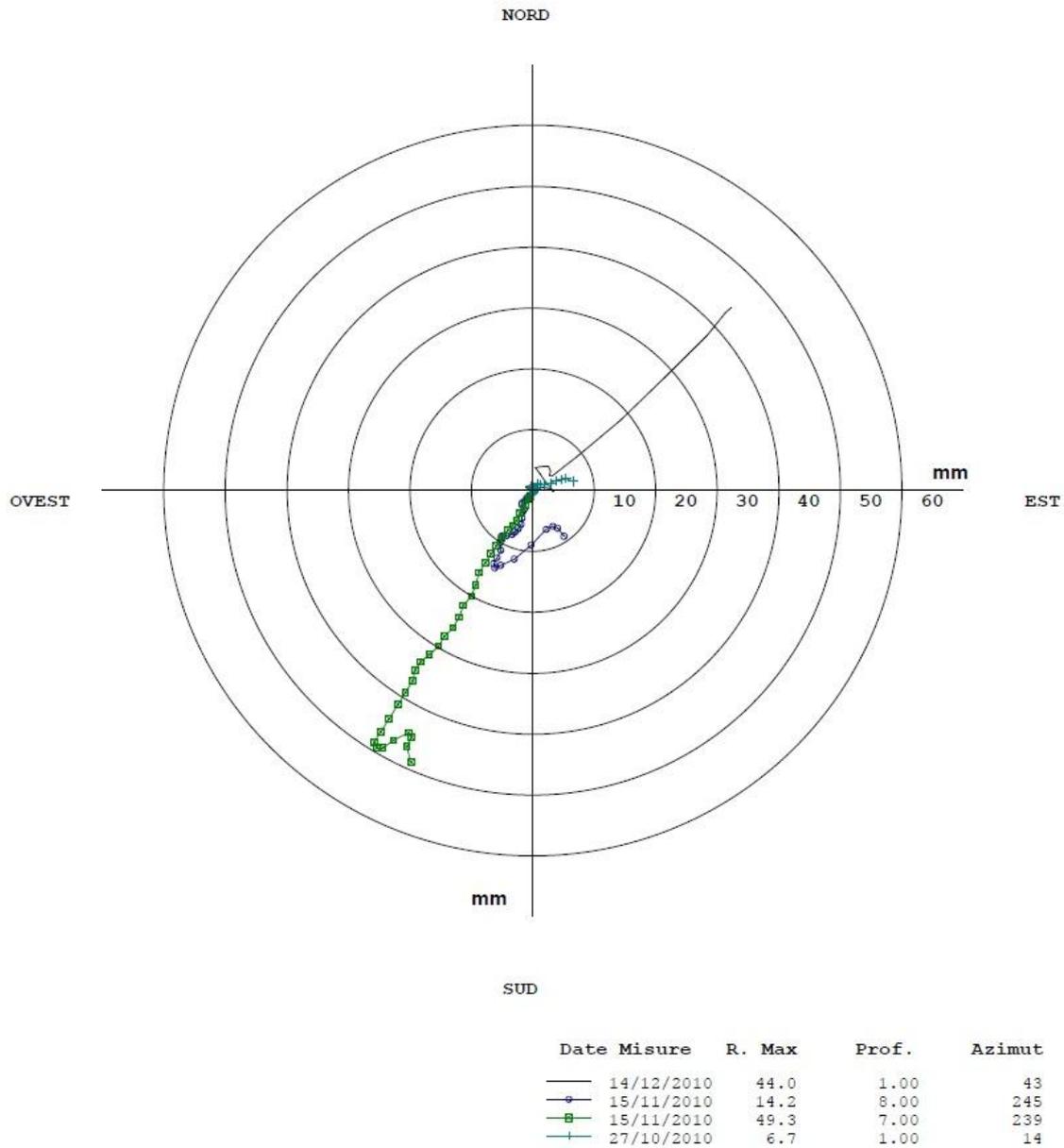


Figura 11: Diagramma Polare, dal quale si evince la direzione della fronte franoso, elaborato da Regione Emilia-Romagna per l'inclinometro "Piagneto 5".

4. Analisi e Elaborazione Dati - 2° Step

4.1. Analisi Dati

Nell'ambito del 2°step della ricerca, AMON-X S.r.l. fornisce un riepilogo (Tabella 5) dei dati mensili assoluti, dove sono riportati la fase di zero registrata a Luglio 2011 e, successivamente, le acquisizioni relative ad alcuni mesi significativi da Luglio 2011 ad Agosto 2012.

Data	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	X6	Y6	X7	Y7	X8	Y8	X9	Y9
Fase di 0: 08/7/2011	0,035	-0,073	0,053	-0,053	0,044	-0,040	0,079	-0,050	0,033	-0,042	0,024	-0,083	0,004	-0,066	0,039	-0,078	0,045	-0,106
31/10/11 23.30	0,035	-0,072	0,053	-0,053	0,045	-0,040	0,079	-0,051	0,033	-0,043	0,023	-0,083	0,004	-0,066	0,039	-0,077	0,046	-0,108
29/11/11 23.30	0,035	-0,070	0,053	-0,054	0,044	-0,040	0,079	-0,051	0,033	-0,042	0,022	-0,083	0,003	-0,066	0,038	-0,077	0,046	-0,107
31/12/11 21.30	0,033	-0,070	0,053	-0,054	0,044	-0,040	0,078	-0,050	0,031	-0,041	0,021	-0,082	0,004	-0,066	0,038	-0,078	0,045	-0,107
31/1/12 23.30	0,033	-0,073	0,053	-0,052	0,043	-0,038	0,078	-0,050	0,031	-0,042	0,021	-0,082	0,004	-0,066	0,038	-0,077	0,046	-0,107
24/2/12 11.30	0,034	-0,073	0,052	-0,051	0,043	-0,039	0,078	-0,050	0,031	-0,042	0,021	-0,082	0,004	-0,066	0,038	-0,077	0,046	-0,107
30/3/12 09.30	0,033	-0,071	0,052	-0,052	0,043	-0,039	0,078	-0,050	0,031	-0,041	0,021	-0,082	0,004	-0,066	0,038	-0,077	0,046	-0,107
22/4/12 09.30	0,033	-0,072	0,052	-0,052	0,043	-0,038	0,077	-0,048	0,028	-0,041	0,020	-0,082	0,003	-0,067	0,038	-0,077	0,047	-0,108
28/5/12 11.30	0,033	-0,071	0,051	-0,052	0,044	-0,038	0,077	-0,047	0,028	-0,040	0,019	-0,082	0,003	-0,066	0,038	-0,078	0,046	-0,108
28/8/12 11.30	0,034	-0,070	0,052	-0,051	0,043	-0,038	0,077	-0,047	0,029	-0,041	0,019	-0,082	0,003	-0,067	0,038	-0,078	0,046	-0,107

Tabella 5 - Tabella di dati assoluti (in metri), acquisiti per il 2°Step di ricerca.

Nell'Allegato 2 saranno riportati i dati assoluti acquisiti nell'ambito del 2° step (in corso, ultima acquisizione del 28-08-2012). Tutte le elaborazioni dati (mensili), con relativi grafici, saranno fornite con un Allegato in formato .xls (Microsoft Office Excel), dove saranno riportati: gli "Spostamenti locali differenziali" su Assi X e Y (rispetto alla fase "zero" di partenza); i "Movimenti per punti" e "Movimenti per sommatoria", cioè le risultanti degli spostamenti incrementali e cumulativi; i grafici "Polari", da cui si evince la direzione e verso di scorrimento della frana.

Profondità	Ottobre '11		Dicembre '11		Marzo '12		Aprile '12		Maggio '12	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0,001	0,001	-0,002	0,002	0,001	0,001	-0,002	0,002	-0,002	0,002
2	0,000	0,000	0,001	-0,001	0,000	0,000	0,001	-0,001	-0,002	0,001
3	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,002
4	-0,001	0,000	-0,002	0,000	-0,001	0,000	-0,002	0,000	-0,002	0,003
5	0,000	-0,002	-0,002	0,001	0,000	-0,002	-0,002	0,001	-0,005	0,001
6	-0,001	0,000	-0,003	0,001	-0,001	0,000	-0,003	0,001	-0,006	0,001
7	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	-0,001
8	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	-0,001	0,000
9	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,001	-0,001

Tabella 6 - Tabella Dati "Spostamenti Differenziali Locali X e Y" (in metri).

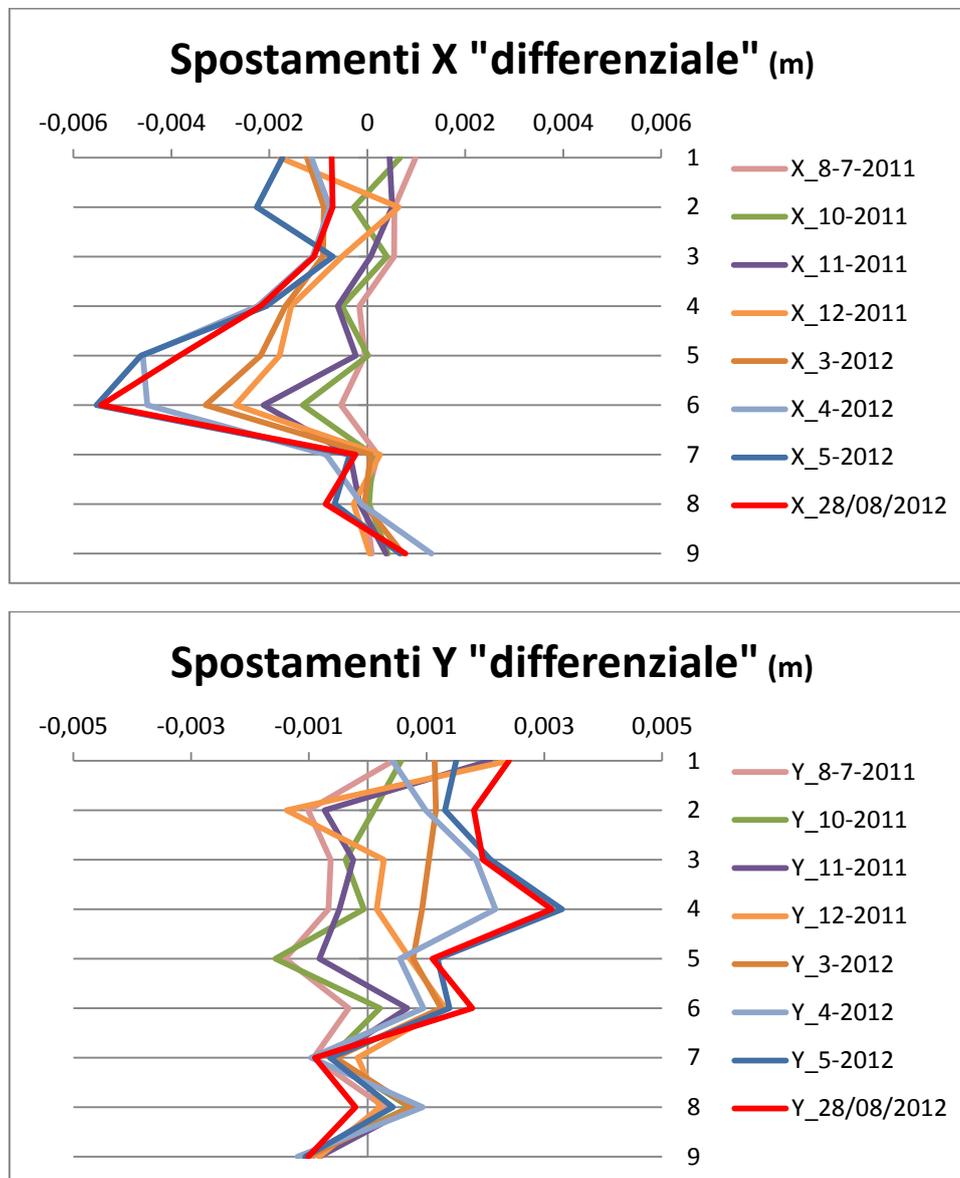


Figura 12: Grafici degli Spostamenti Differenziali Locali (assi X e Y) (in metri), con la situazione aggiornata al 28-08-2012 (ultima acquisizione elaborata).

Profondità	Ottobre '11		Dicembre '11		Marzo '12		Aprile '12		Maggio '12	
	Punti	Sommat.	Punti	Sommat.	Punti	Sommat.	Punti	Sommat.	Punti	Sommat.
1	0,001	0,008	0,003	0,013	0,001	0,008	0,003	0,013	0,002	0,024
2	0,000	0,007	0,002	0,010	0,000	0,007	0,002	0,010	0,003	0,022
3	0,001	0,007	0,001	0,009	0,001	0,007	0,001	0,009	0,002	0,019
4	0,001	0,006	0,002	0,008	0,001	0,006	0,002	0,008	0,004	0,017
5	0,002	0,005	0,002	0,006	0,002	0,005	0,002	0,006	0,005	0,013
6	0,001	0,004	0,003	0,004	0,001	0,004	0,003	0,004	0,006	0,008
7	0,001	0,003	0,000	0,001	0,001	0,003	0,000	0,001	0,001	0,003
8	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,002
9	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Tabella 7 - Dati "Incrementali" (Movimento per Punti) e "Cumulativi" (Movimento per Sommatoria, dal basso) (in metri).

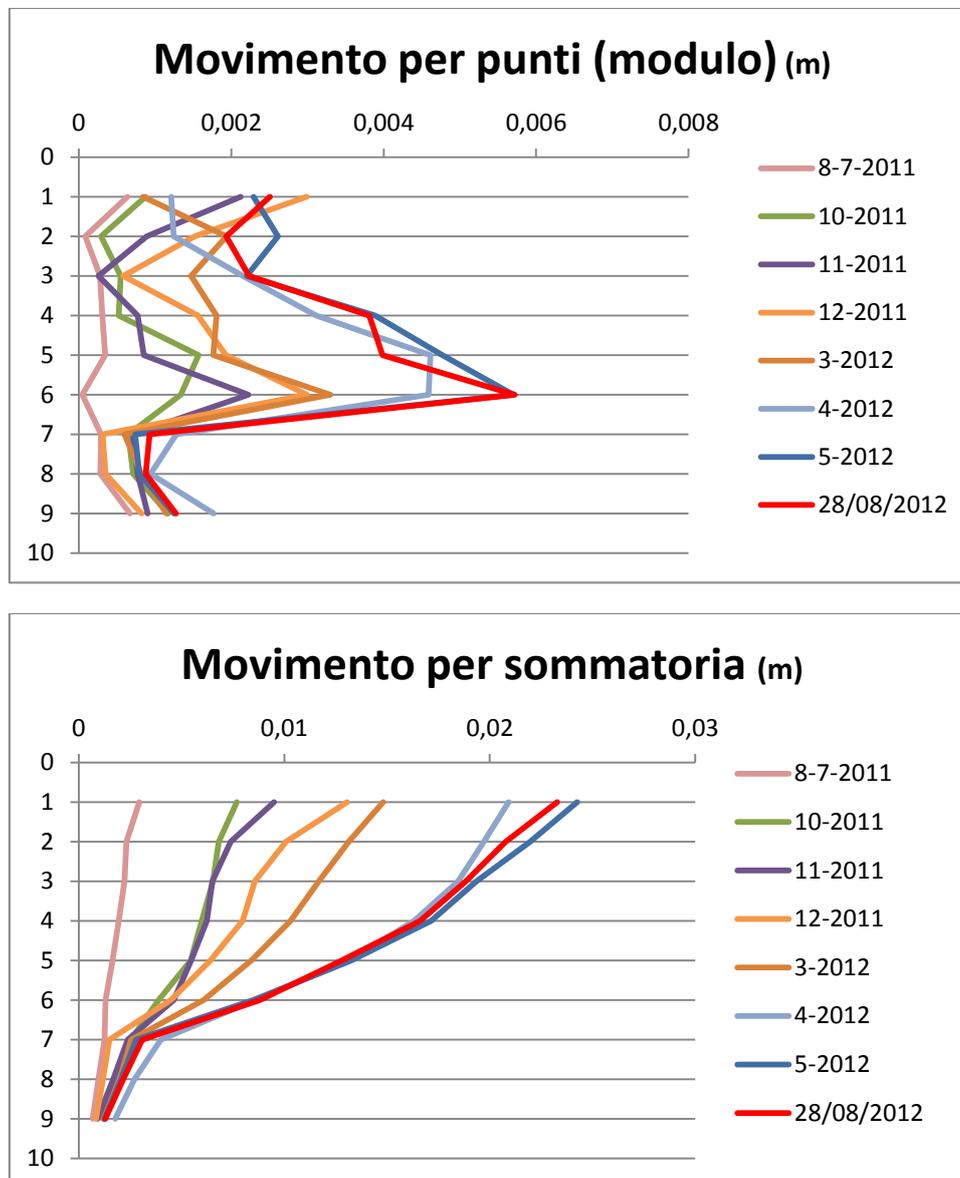


Figura 13: Grafici di Risultanti degli Spostamenti Incrementali (Movim. per Punti) e Cumulativi (Movim. per Sommatoria), con la situazione aggiornata al 28-08-2012 (ultima acquisizione elaborata).

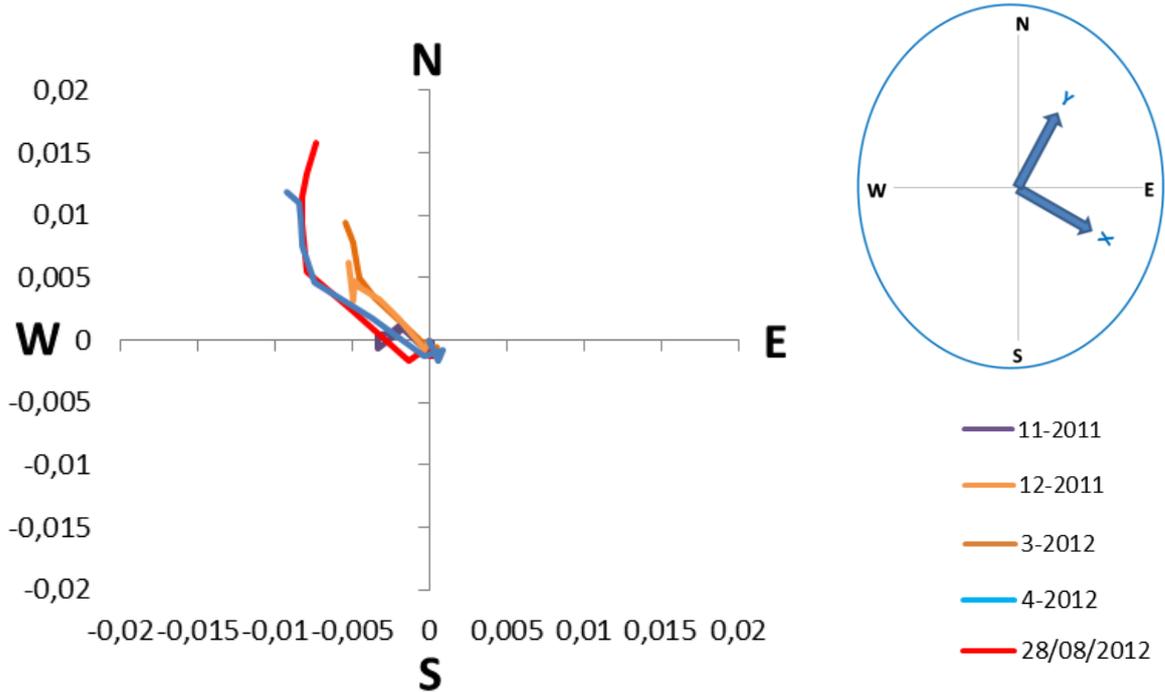


Figura 14: Diagramma "Polare" che indica la direzione, l'entità degli spostamenti (in metri) ed il verso di scorrimento della frana. Nel diagramma sono riportati gli spostamenti principali, relativi a Dicembre 2011 ed Aprile 2012 (ultimo monitoraggio elaborato per il 2° step di ricerca, relativo a Agosto 2012). In alto (a destra) è riportata la disposizione degli assi X e Y rispetto al Nord, da notare la disposizione dell'asse Y verso la direzione di massima pendenza del versante.

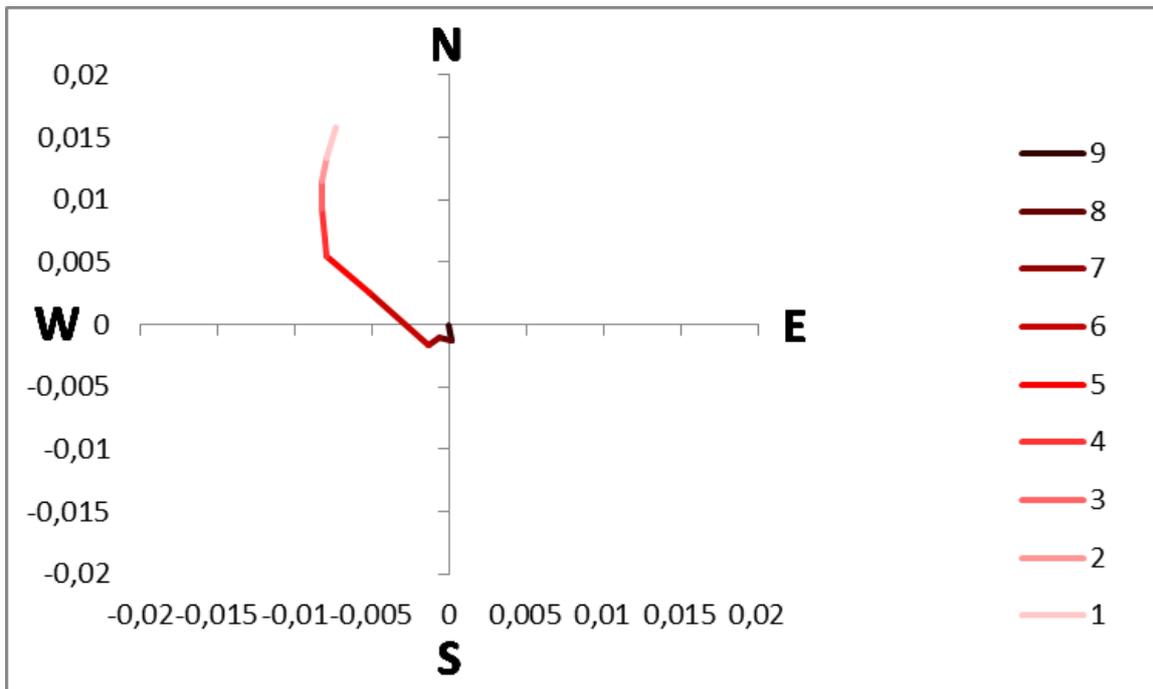


Figura 15: Diagramma "Polare", relativo all'ultimo monitoraggio di Agosto 2012, che mette in luce la direzione, l'entità degli spostamenti (in metri) ed il verso di scorrimento della frana, mediante la tecnica della gradazione dei colori per ciascun segmento di "spezzata" analizzato.

4.3. Confronto con Elaborazione Dati "Regione Emilia-Romagna"

Dall'elaborazione dati non si evincono particolari spostamenti fino a Marzo 2012: dall'analisi dei dati e grafici incrementali (Movimento per punti, Figura 13) risulta uno spostamento pari a circa 0,35cm, registrato il 17 Dicembre 2011. Questo dato è assolutamente conforme alle elaborazioni della Regione Emilia-Romagna per l'inclinometro "Piagneto 5" (Figura 9), dove si riscontra uno spostamento da Luglio-Dicembre 2011 all'incirca pari a 0,3cm. Il sistema LAMS, invece, ha riscontrato un movimento importante intorno al 21 Aprile 2012, il quale ha permesso di individuare uno spostamento finale pari a circa 0,65cm.

Nel 2°step i movimenti principali si sono riscontrati sull'asse X, anche se il movimento franoso principale dovrà attendersi sull'asse Y, data la sua disposizione lungo la massima pendenza del versante. Quindi, si evince che i movimenti principali si individuano lungo la direttrice NW (Figura 14). Ciò è dovuto alla diversa natura dei movimenti attualmente in atto: la zona monitorata sembrerebbe essere in un'area più distale rispetto al movimento franoso principale, e quindi, in periodi di stasi, questa zona potrebbe essere influenzata dal movimento dell'area adiacente.

Il grafico degli spostamenti incrementali (Figura 13), anche in questo caso, mostra in maniera evidente, nel primo metro di sondaggio, il fenomeno della "deriva di testa tubo", relativo a problemi di installazione/fissaggio del sistema. Dall'analisi degli spostamenti cumulativi (Movimento per sommatoria, Figura 13) si riscontra un movimento totale pari a 2,5cm.

Dal confronto con le elaborazioni della Regione Emilia-Romagna ("Piagneto 5", Figura 9) risulta, invece, una differenza sull'individuazione della profondità di scivolamento della frana, anche se adesso il movimento risulta poco rilevante. Nel 2°step, infatti, il movimento principale sembra svilupparsi alla profondità di 6m, anche se lo spostamento di Aprile 2012 è avvenuto tra 5 e 6m.

Quindi, saranno determinanti i successivi rilevamenti che potranno confermare le elaborazioni del 1°step, oppure ricollocare la superficie di slittamento a 6m. Questo fenomeno può essere correlato con un possibile diverso assestamento del sistema LAMS avvenuto in seguito alla seconda installazione. In particolare, un differente grado di penetrazione dell'ago nel terreno può aver causato lo spostamento apparente della superficie di slittamento.

Alla luce dei confronti fra i monitoraggi, AMON-X S.r.l. ritiene che la nuova versione del sistema LAMS stia dando ottimi risultati sul campo-test "Piagneto", soprattutto per quanto riguarda la stabilità e ripetibilità delle misure. Gli spostamenti, nel 2°step (ancora in corso), non sono al momento significativi, ma comunque gli esiti dei rilevamenti, nel complesso, sono soddisfacenti.

5. Analisi Dati Temperatura

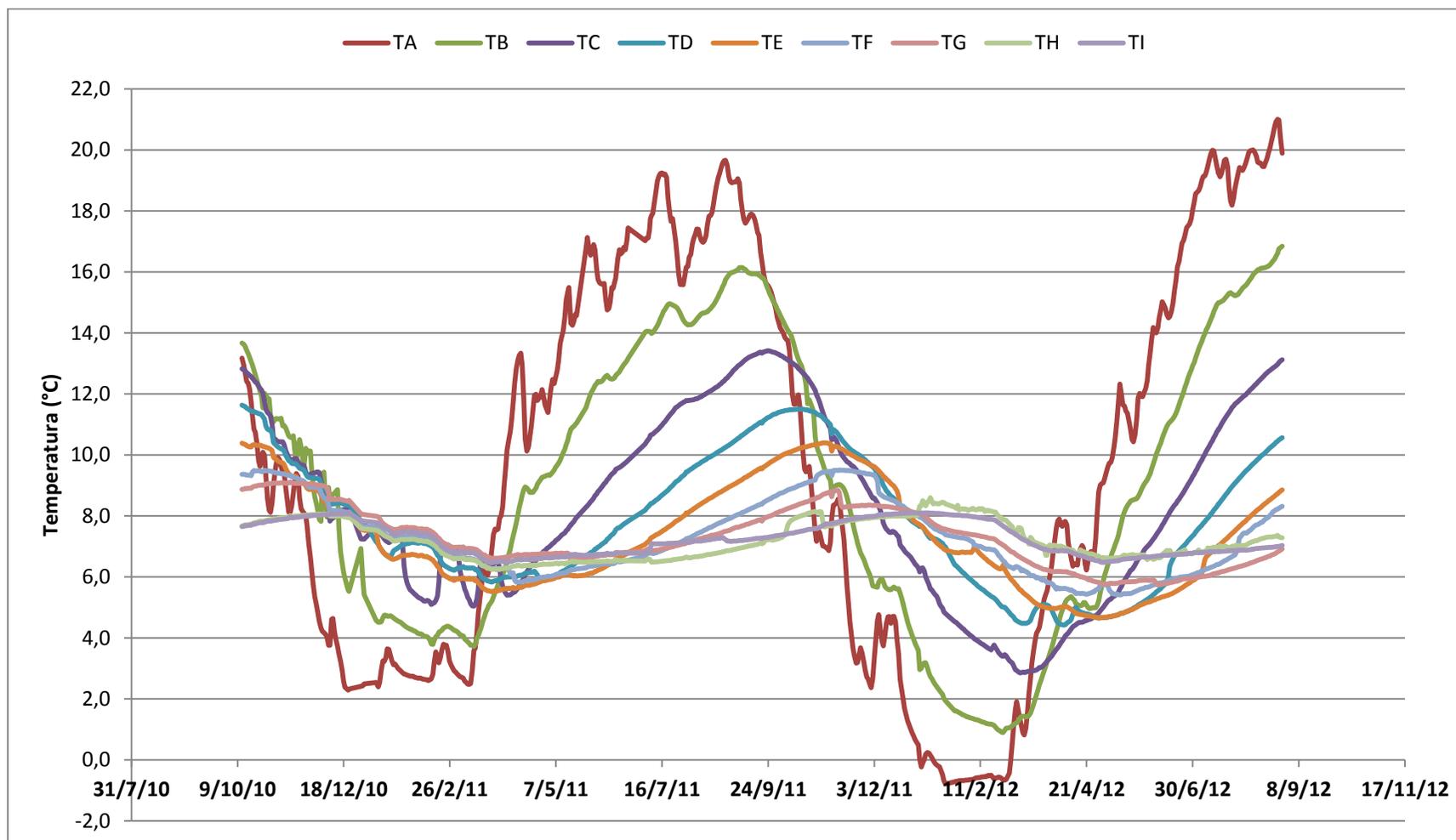


Figura 16: Analisi dei dati assoluti di temperatura (in gradi) dei sensori per ciascun metro di sondaggio monitorato.

5.1. Correlazione Temperatura - Piovosità nell'area di Collagna (RE)

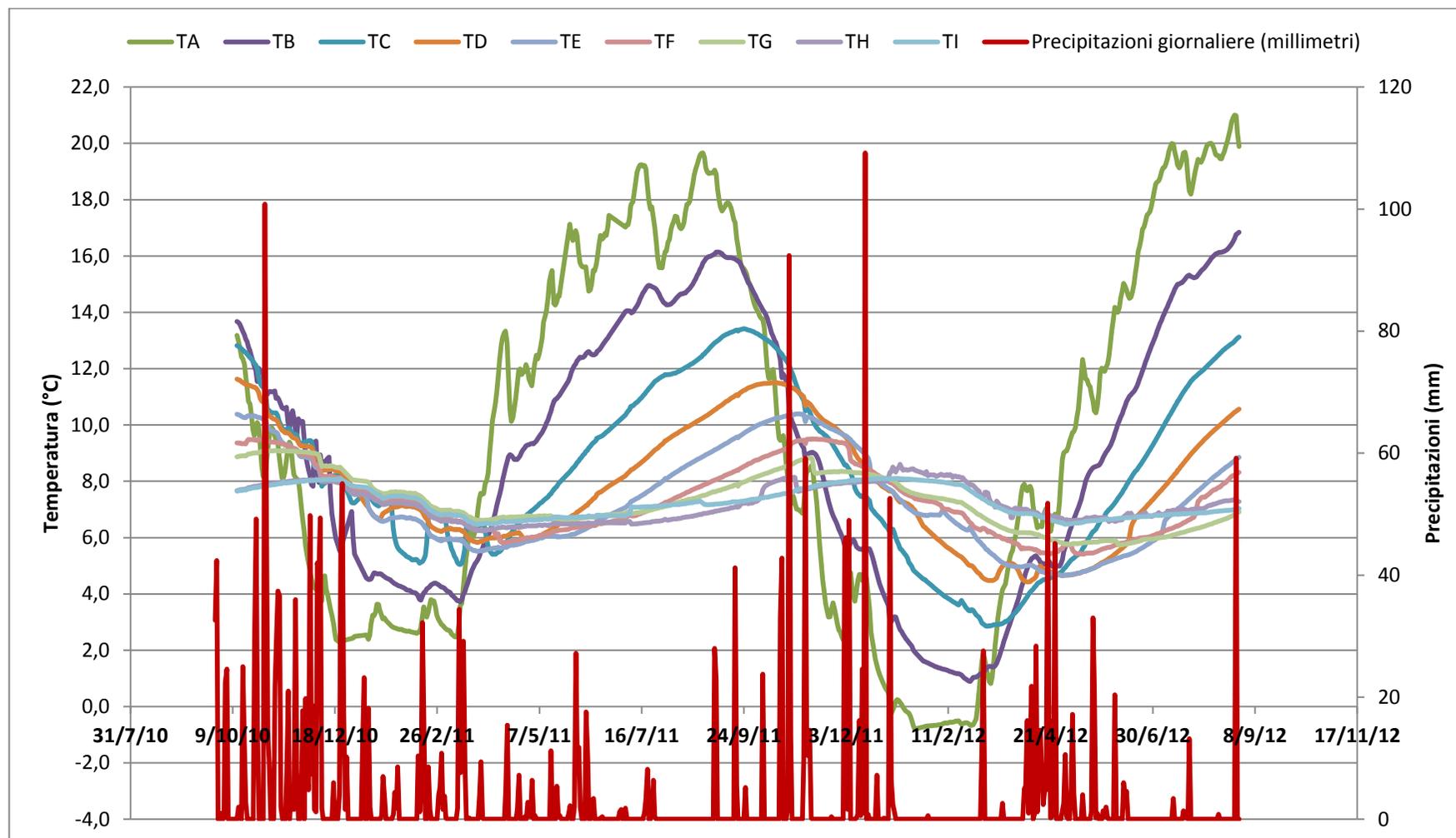


Figura 17: Analisi dei dati medi giornalieri di Temperatura (in gradi), correlati con i dati giornalieri di Piovosità (in millimetri) nell'area di Collagna (servizio dell'ARPA-SIM dell'Emilia-Romagna - Piattaforma DEXTER).

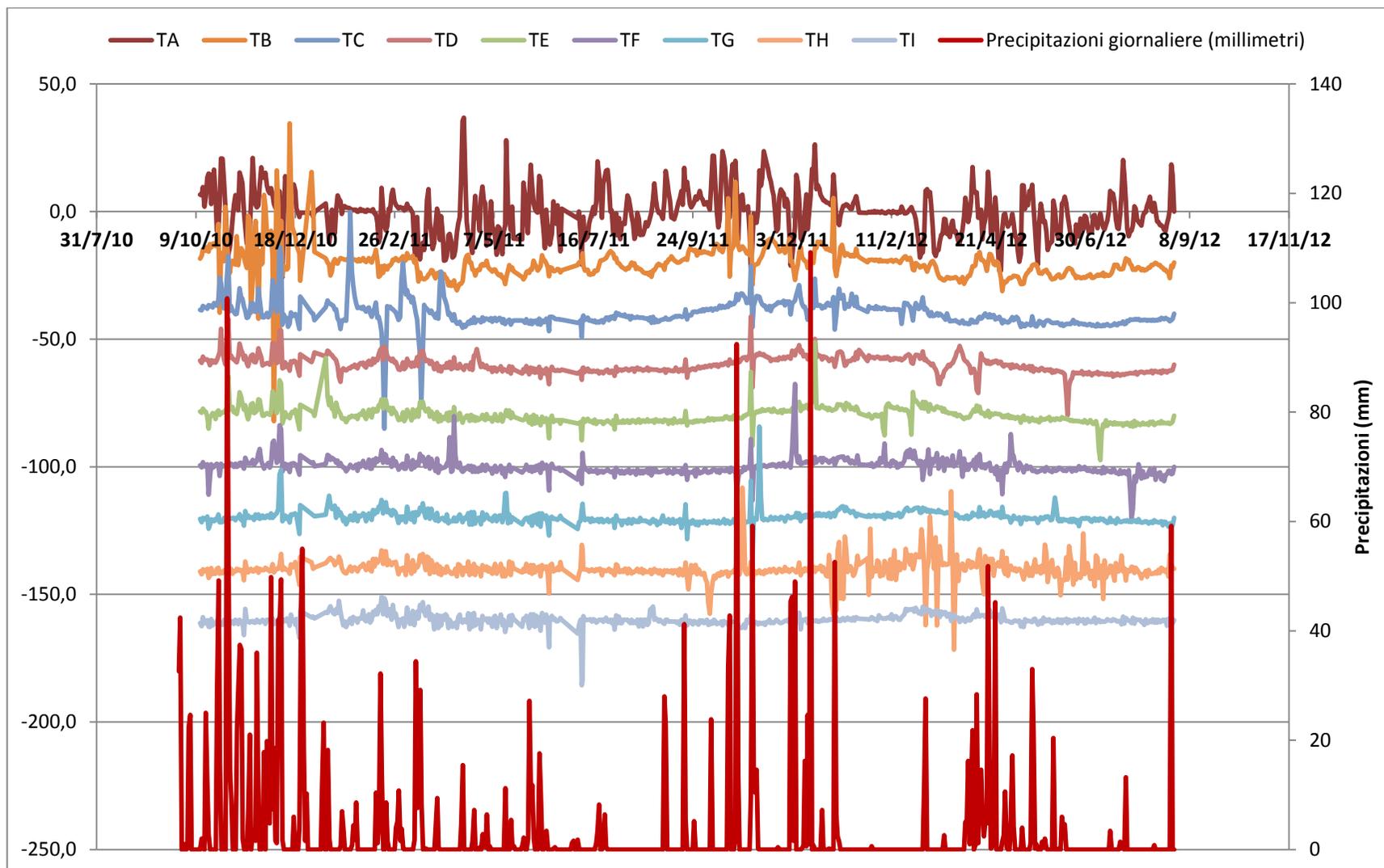


Figura 18: Correlazione tra la Derivata della Temperatura (media giornaliera) e la Piovosità (precipitazioni giornaliere, in millimetri). Il grafico viene utilizzato per delineare le anomalie termiche dell'area del versante tra i sensori a diversa profondità ed associarle a particolari eventi meteorologici verificatisi nella zona di Collagna.

5.2. Correlazione Temperatura - Piovosità - Idrodinamica del versante

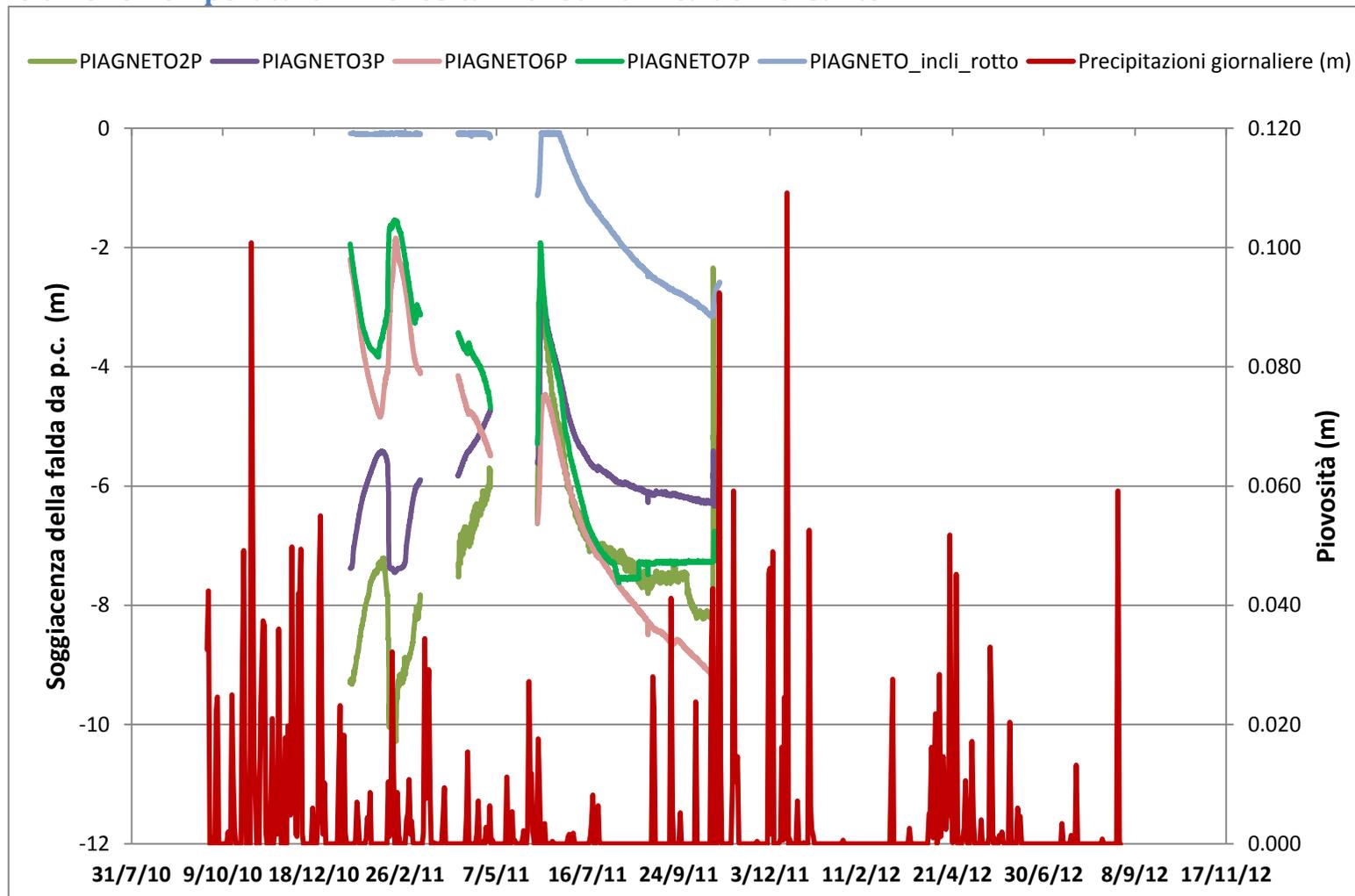


Figura 19: Correlazione tra la soggiacenza della falda acquifera (condizioni idrodinamiche del versante, in metri) e la piovosità (in metri) dell'area di Collagna. Il piezometro "Piagneto 7P" è quello più adiacente la zona di versante indagata dal sistema di monitoraggio LAMS.

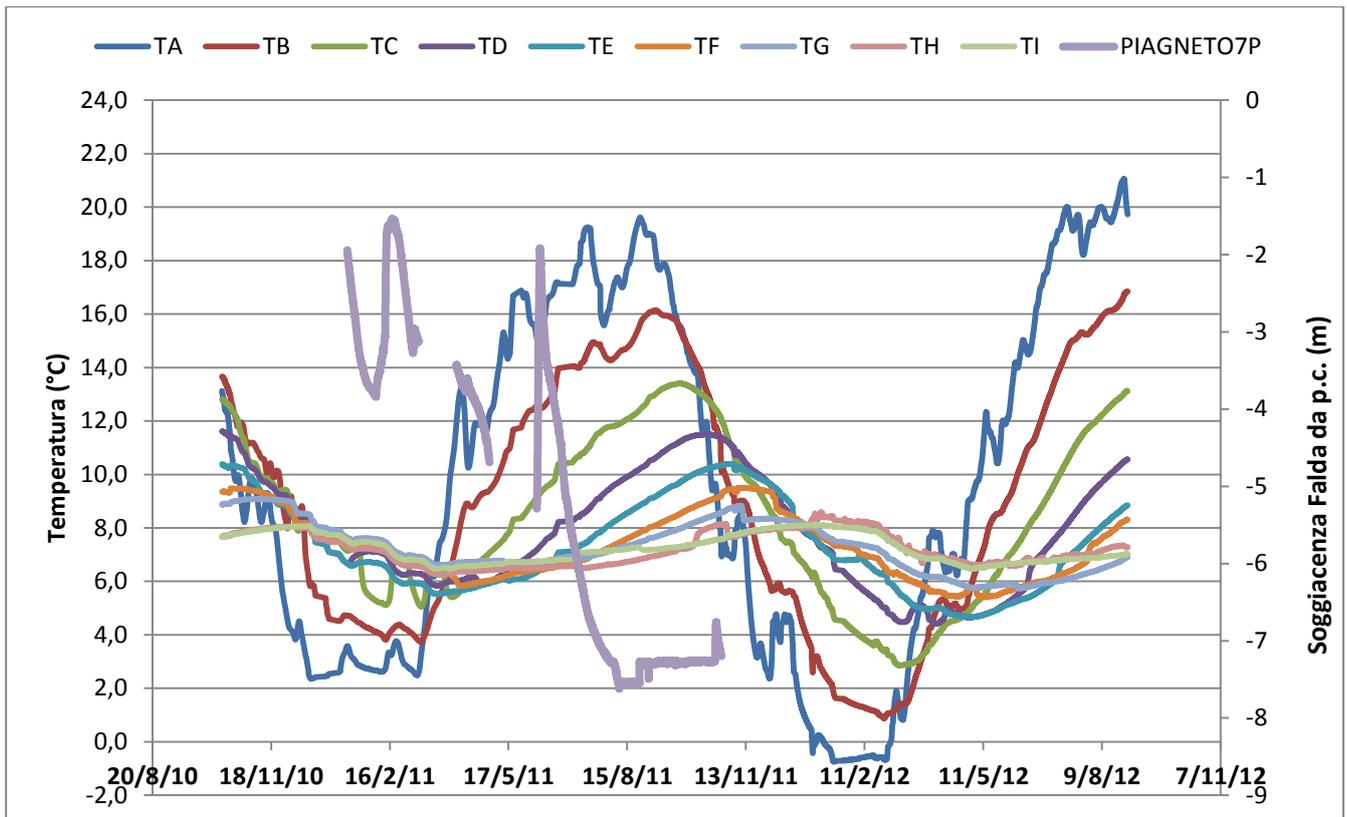


Figura 20: Correlazione fra le Temperature (in gradi) alle diverse profondità e le condizioni idrodinamiche del versante (soggiacenza della falda acquifera, in metri).

In questo capitolo, AMON-X mette in luce i dati di correlazione tra la Piovosità dell'area con la variabile Temperatura, misurata nel sondaggio, e con le condizioni idrodinamiche del versante (soggiacenza della falda acquifera).

Nell'ambito di queste ricerche, come si evince dai grafici di correlazione tra la temperatura assoluta e quella derivata con la piovosità giornaliera oraria (Figura 17 e Figura 18) si delineano piccole anomalie termiche sui sensori a diversa profondità, associabili a particolari eventi metereologici verificatisi nella zona di Collagna, anche se le anomalie non sempre si riscontrano.

Mentre per quanto riguarda le correlazioni tra la Temperatura assoluta e le condizioni idrodinamiche del versante (periodo Gennaio 2011 - Fine Ottobre 2011), si riscontra un andamento singolare della temperatura del sensore localizzato al 3° metro, registrata nel periodo Gennaio-Marzo 2011, che presenta delle oscillazioni simili alla falda acquifera, la cui altezza variava tra i 2-4m nello stesso intervallo temporale (Figura 20).

Altre possibili correlazioni possono essere stabilite dall'analisi della variazione dell'andamento sinusoidale della temperatura, monitorata su un lungo termine. Attualmente le elaborazioni del caso, sono ancora in atto.

L'andamento della temperatura è una caratteristica molto importante del terreno, dato che può permettere di individuare eventuali anomalie termiche dovute ad un alto contenuto d'acqua nel terreno (correlazione con eventuali movimenti sulla superficie di scorrimento della frana), ma anche di analizzare il terreno come sorgente/pozzo di calore per favorire l'installazione di eventuali impianti geotermici.

Infatti le analisi, finora effettuate, hanno permesso di individuare una certa stabilità termica della temperatura durante l'anno (*neutral zone*) a circa 10m di profondità. Quindi, individuando le

funzioni caratteristiche della temperatura (sinusoide) per ciascun metro monitorato, si riesce a calcolare la diffusività termica del terreno, tramite la seguente equazione²:

$$T(x, t) = \bar{T} + \frac{A}{2} e^{-\frac{z}{d}} \sin\left(\omega t - \frac{z}{d} + \phi\right)$$

la quale permette di calcolare la temperatura T di un terreno indisturbato, omogeneo ed isotropo in funzione del tempo t (giorni) a diverse profondità z (metri) e, dove:

\bar{T} = temperatura media del terreno (°C) alla profondità in cui essa non è più influenzata dalla temperatura superficiale;

A = ampiezza della variazione annua della temperatura superficiale;

ω è frequenza angolare, pari a $\frac{2\pi}{t} = \frac{2\pi}{365 \text{giorni}}$

ϕ è costante di fase, pari a $\frac{3\pi}{2} = \frac{2\pi}{365} t^0$, con t^0 = giorno dell'anno in cui la temperatura superficiale raggiunge il minimo;

d è profondità di smorzamento (damping depth), cioè profondità a cui la semi-ampiezza dell'oscillazione $\frac{A}{2}$ diventa $\frac{1}{e}$ del valore in superficie. Questa grandezza si ricava dalla seguente

relazione: $d = \sqrt{\frac{365 D_t}{\pi}}$, dove D_t è la diffusività termica (m^2/giorno) ed in prima approssimazione

è indipendente dalla temperatura, è una grandezza scalare definita come: $\frac{K_t}{c_p \rho}$, con K_t che definisce

la conducibilità termica, c_p il calore specifico a pressione costante e ρ la densità.

Alla luce degli incoraggianti risultati ottenuti dal monitoraggio delle temperature in profondità e dalle correlazioni con la Piovosità e la soggiacenza della falda acquifera, AMON-X S.r.l. ritiene che il sistema LAMS si stia rivelando un ottimo supporto anche per quanto riguarda le misure di temperatura. Quindi, dal momento in cui si saranno ricavate le curve caratteristiche per ciascuna profondità, si otterranno raffronti importanti dalle ricerche fra le variabili citate in precedenza.

6. Allegati

- **ALLEGATO 1:** Analisi_Dati_1-step.xls
- **ALLEGATO 2:** Analisi_Dati_2-step.xls
- **ALLEGATO 3:** Analisi_Dati_Temperature.xls
- **ALLEGATO 4:** Dati_Piovosità-Collagna.xls

² Kirkham, D. and W. L. Powers, 1972. Advanced soil physics. Wiley-Interscience, A division of John Wiley & Sons, Inc., New York.