



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA 12/09
 CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA
 ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19
 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"
 AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001
 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

VARIANTE TECNICA N°3

ai sensi dell'art. 176, comma 5, secondo periodo lettera "a" e lettera "b", del D.Lgs. N. 163/2006 e Art. 11 del CSA-NG

CONTRAENTE GENERALE



DIRETTORE DEI LAVORI
Ing. CARLO DAMIANI
 STRUTTURA OPERATIVA DI DIREZIONE LAVORI
ITALCONSULT

OPERE D'ARTE MAGGIORI VIADOTTI

Viadotto San Giuliano

Relazione Geotecnica



Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

2416-07

Codice Elaborato:

PA12_09 - V 1 4 7 V I 2 0 4 V I 0 4 Z R D 0 0 7 A Scala: -----

F																	
E																	
D																	
C																	
B																	
A	Giugno 2017	EMISSIONE										A. ANTONELLI	P. PAGLINI				
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO								

Il Progettista:

Il Consulente Specialista:

Il Geologo:

Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione:

Il Direttore dei Lavori:



Responsabile del procedimento: Ing. ETTORE DE CESBRON DE LA GRENNELAIS

INDICE

1.INTRODUZIONE	1
1.1 Premessa	1
1.2 Normativa di riferimento	1
2.CONTESTO GEOLOGICO	2
3.CAMPAGNA INDAGINI NELLE PRECEDENTI FASI PROGETTUALI	6
3.1 Progetto Definitivo	6
3.1.1 Stratigrafie	6
3.1.2 Prove di laboratorio e in situ	7
3.2 Progetto Esecutivo	8
3.2.1 Stratigrafie	8
3.2.2 Prove di laboratorio e in situ	10
4.PIANO DELLE INDAGINI E DEI MONITORAGGI IN ATTO	11
4.1 Monitoraggio delle opere d'arte	12
4.2 Monitoraggio inclinometrico.....	19
4.3 Monitoraggio piezometrico	33
4.4 Sondaggi realizzati	34
4.5 Prove di laboratorio	36
5.ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO	38
5.1 Stratigrafie	38
5.2 Prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche	43
5.3 Prove edometriche	47
5.4 Prove di taglio diretto.....	49
5.5 Prove di taglio residuo.....	50
5.6 Prove triassiali consolidate e drenate.....	50
5.7 Prove triassiali non consolidate e non drenate.....	53
6.ANALISI A RITROSO	54
7.MODELLO GEOTECNICO INTERPRETATIVO	59
8.INTERVENTI PROPOSTI	61
8.1 Sistema di pozzi drenanti	62
8.1.1 Verifiche geotecniche di stabilità globale e valutazione dell'effetto dei dreni sull'abbassamento della falda	66
8.2 Consolidamento carreggiata DX	73
8.3 Sottofondazioni spalle viadotto San Giuliano carr. SX.....	75
8.1 Spalla A – viadotto San Giuliano carr. SX.....	76
8.2 Spalla B – viadotto San Giuliano carr. SX.....	78

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Novembre 2016
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione di calcolo sottofondazioni in area instabile	Pagina I

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Il presente documento è redatto nell'ambito dei lavori di adeguamento alla categoria B della S.S. 640 secondo le norme del DM 5.11.2001 dell'itinerario Agrigento-Caltanissetta-A19 dal km 44+000 allo svincolo con la A19 e analizza nel dettaglio il contesto geotecnico nella tratta in corrispondenza del Viadotto San Giuliano.

La specificità della zona, soggetta a fenomeni deformativi che sono stati rilevati e monitorati nel corso del tempo a partire da Marzo 2017 da parte del Contraente Generale, necessita di una specifica e dettagliata analisi del contesto geotecnico per un corretto dimensionamento delle opere che interessano tale tratta.

In questo documento si illustrano le indagini e i monitoraggi che il Contraente Generale ha effettuato fino ad oggi, le risultanze delle prove di laboratorio e l'analisi dei dati per arrivare a definire la caratterizzazione geotecnica di dettaglio per la zona in oggetto.

Il programma di monitoraggio in atto sarà mantenuto nel corso del prossimo anno per poter confermare il modello geotecnico di dettaglio di questa zona.

1.2 Normativa di riferimento

Le verifiche statiche e la redazione della presente relazione sono state eseguite nel rispetto della Normativa in vigore, in particolare:

- **DM Infrastrutture del 14 gennaio 2008** - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – ed in particolare il capitolo 6 – Progettazione Geotecnica.
- **“Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”** n°617 del 2 febbraio 2009.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 1 di 81

2. CONTESTO GEOLOGICO

L'area in esame si caratterizza dalla presenza di versanti collinari a litologia argilloso-marnosa (Formazione Terravecchia e Argille Brecciate) con inclinazioni medie dei pendii che mediamente sono di circa 12° ma che possono superare anche i 30° , lungo i fianchi delle incisioni.

Questo dato indicherebbe una propensione alla instabilità morfologica lungo le incisioni vallive, per angoli di attrito compreso tra 17 e 23° . Ciò trova conferma dai dissesti formati nell'area nell'ultimo ciclo stagionale, considerando che lo stress tettonico sui terreni può aver causato una forte deformazione con un conseguente decadimento delle caratteristiche geotecniche (diminuzione della coesione e della resistenza al taglio).

L'intensa deformazione per taglio (shearing), combinata con la fratturazione di ritiro, favorisce infatti l'assorbimento d'acqua dei terreni argillosi generalmente impermeabili dando luogo a superfici lungo le quali la resistenza al taglio è praticamente nulla.

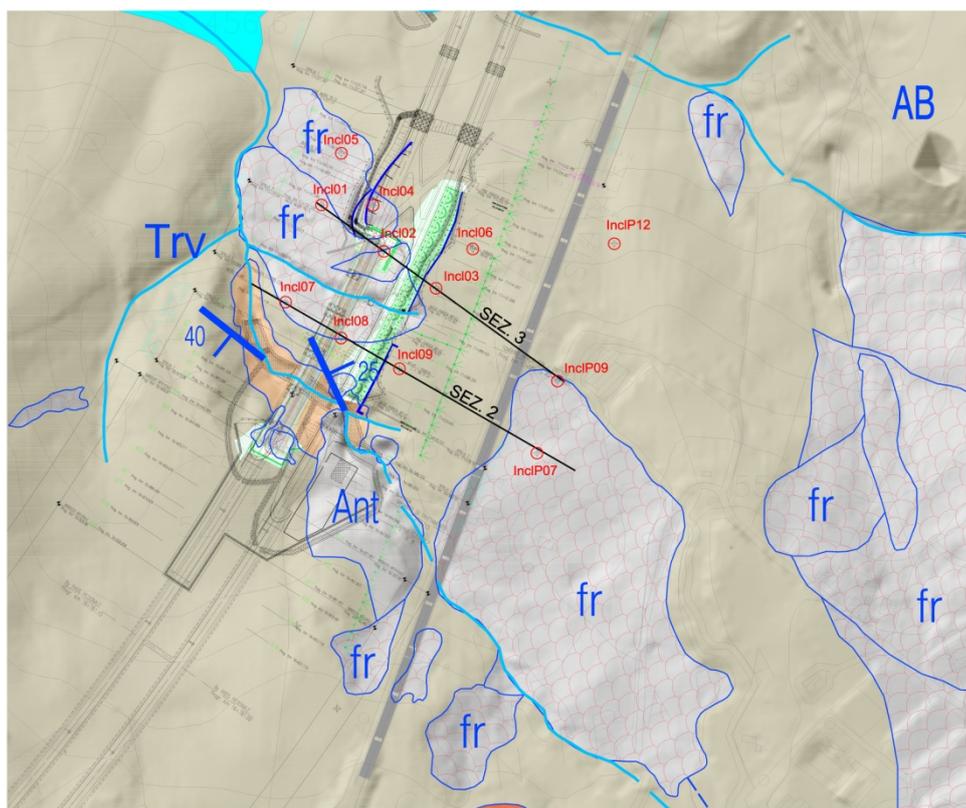


Figura 2.1: carta geologica dell'area di interesse del viadotto San Giuliano

Le figure seguenti evidenziano la situazione geomorfologica nell'area, così come delineata in sede di Progetto Esecutivo delle opere.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 2 di 81

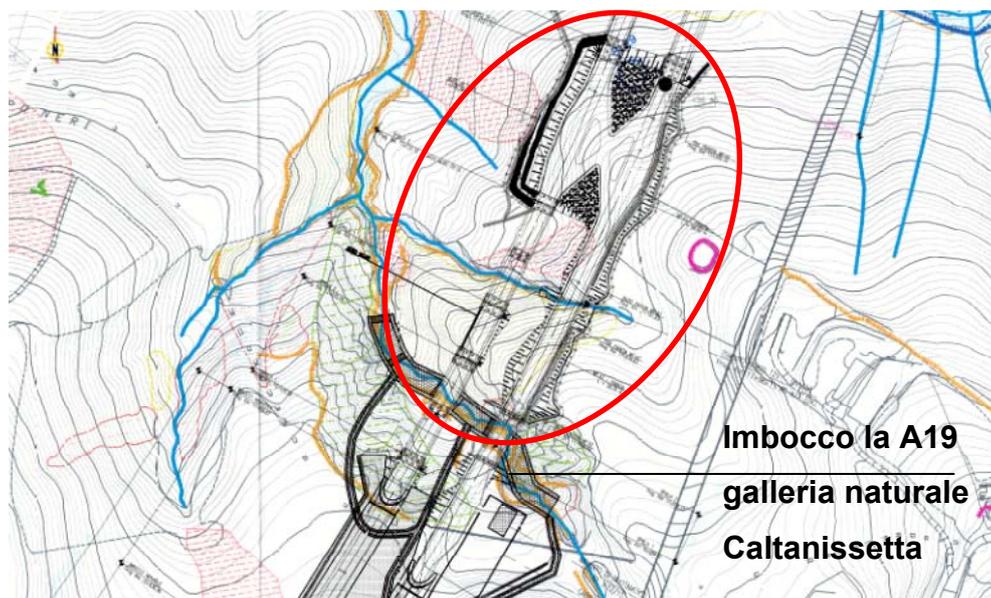


Figura 2.2: stralcio della carta geomorfologica di PE e indicazione dell'area in studio (in rosso).

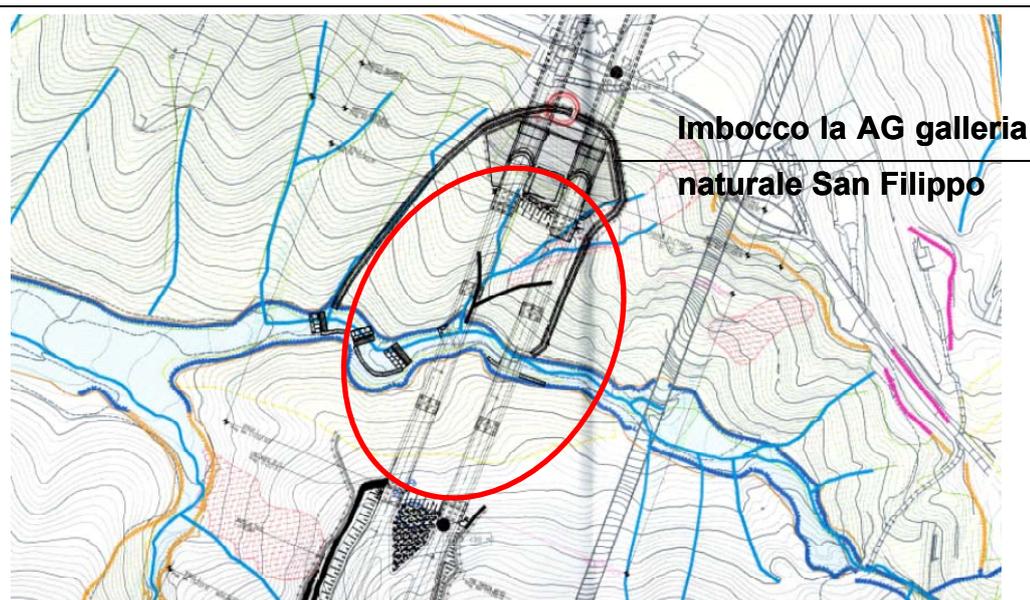


Figura 2.3: stralcio della carta geomorfologica di PE e indicazione dell'area in studio (in rosso)

Le informazioni geologico-geofisiche-geotecniche provenienti dalle numerose fasi di indagini precedentemente eseguite e la modellazione geologica dell'area definita anche

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 3 di 81

attraverso i rilievi e le osservazioni lungo le numerose trincee realizzate durante i lavori di preparazione della viabilità di cantiere, hanno permesso di identificare con più precisione i litotipi affioranti e di operare una analisi multiscala dello stile deformativo.

In particolare nella seguente figura si evidenzia il dissesto denominato "Frana di San Giuliano", così come indicato sulla relazione geologica.

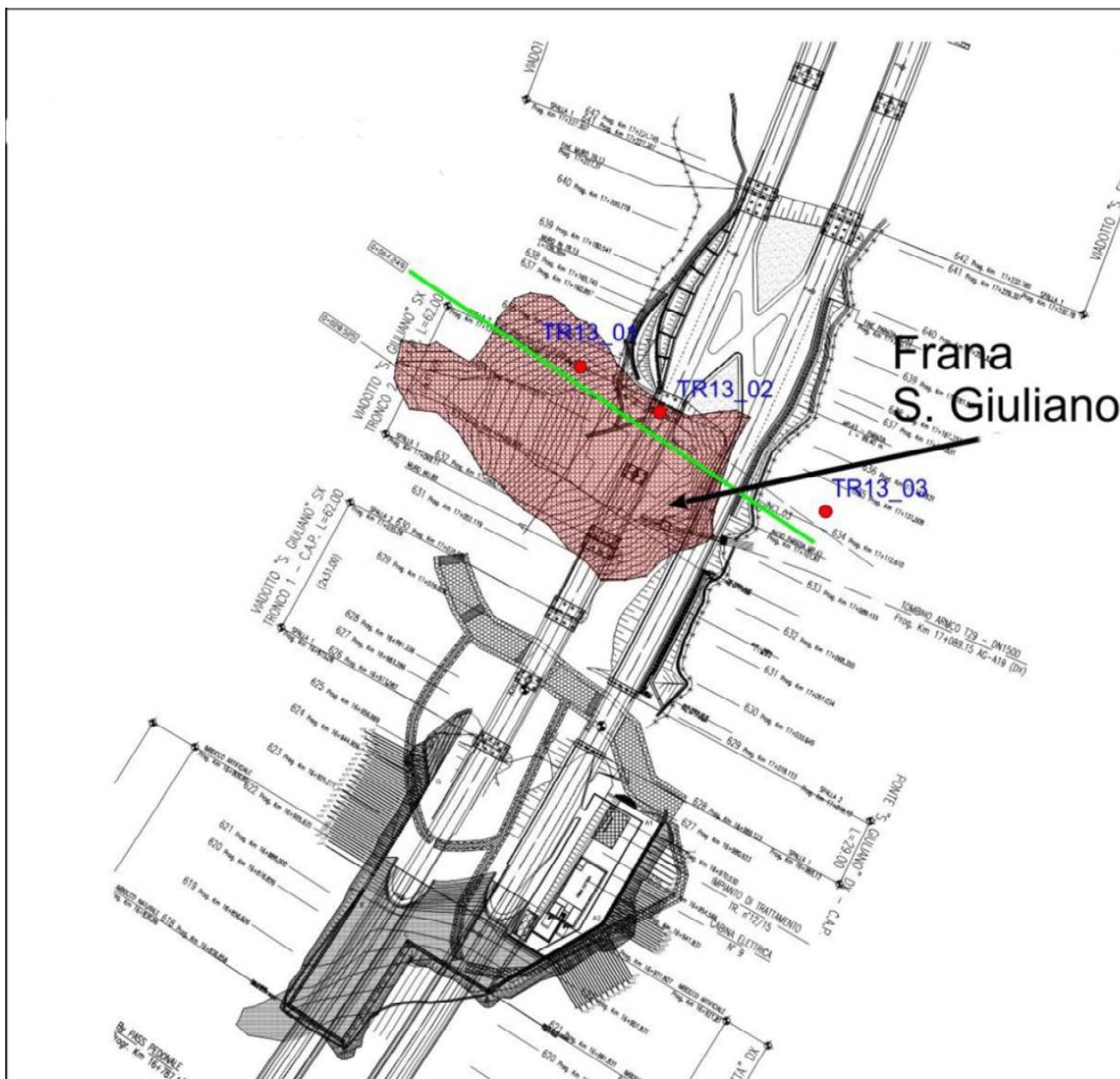


Figura 2.4: Stralcio planimetrico con ubicazione della frana denominata San Giuliano

Si tratta di una frana complessa (colamento a valle e rototraslazione a monte) che coinvolge il versante argilloso (Argille Brecciate) per un'area di circa 9.000 mq. Il

<p>Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A</p>	<p>Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione</p>	<p>Data: Giugno 2017</p>
<p>Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx</p>	<p>Relazione geotecnica</p>	<p>Pagina 4 di 81</p>

movimento lungo il versante è ben evidente sul terreno dove si individua una zona di distacco ben sviluppata, a sviluppo retrogrado.

Le stratigrafie ottenute dai sondaggi eseguiti unitamente alle letture inclinometriche hanno evidenziato lo stato di "attività" del dissesto e il vettore principale verso NO del corpo di frana.

Il monitoraggio inclinometrico in corso ha evidenziato come l'intero versante sia caratterizzato da terreni che localmente presentano dei fenomeni di dissesto attivo.

In particolare è stato possibile riconoscere una superficie di scorrimento superficiale che si è riattivata negli ultimi eventi piovosi del gennaio 2017 ad una quota di variabile da circa 5 metri a 10 metri dal piano campagna.

L'inclinometria ha evidenziato, inoltre, una zona di deformazione millimetrica in una fascia di profondità compresa tra la prima superficie di scorrimento fino a 20 metri.

Per ulteriori informazioni di dettaglio si rimanda agli approfondimenti di dettaglio presenti sulla relazione geologica del versante.

<i>Cod. elab.:</i> 147VI204VI04ZRD007A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – <i>Opere di sottofondazione</i>	<i>Data:</i> Giugno 2017
<i>Nome file:</i> v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	<i>Pagina</i> 5 di 81

3. CAM

4. PAGNA INDAGINI NELLE PRECEDENTI FASI PROGETTUALI

4.1 Progetto Definitivo

In fase di progettazione definitiva nelle prossimità del versante San Giuliano, le campagna di indagini geognostico/geotecniche 2006/2007 ha previsto la realizzazione di :

- n°1 sondaggio a carotaggio continuo S30 (L=30.0m)
- n°1 Pozzetto esplorativo P14

Nella figura seguente si riporta uno stralcio planimetrico con l'ubicazione dei sondaggi di P.D.

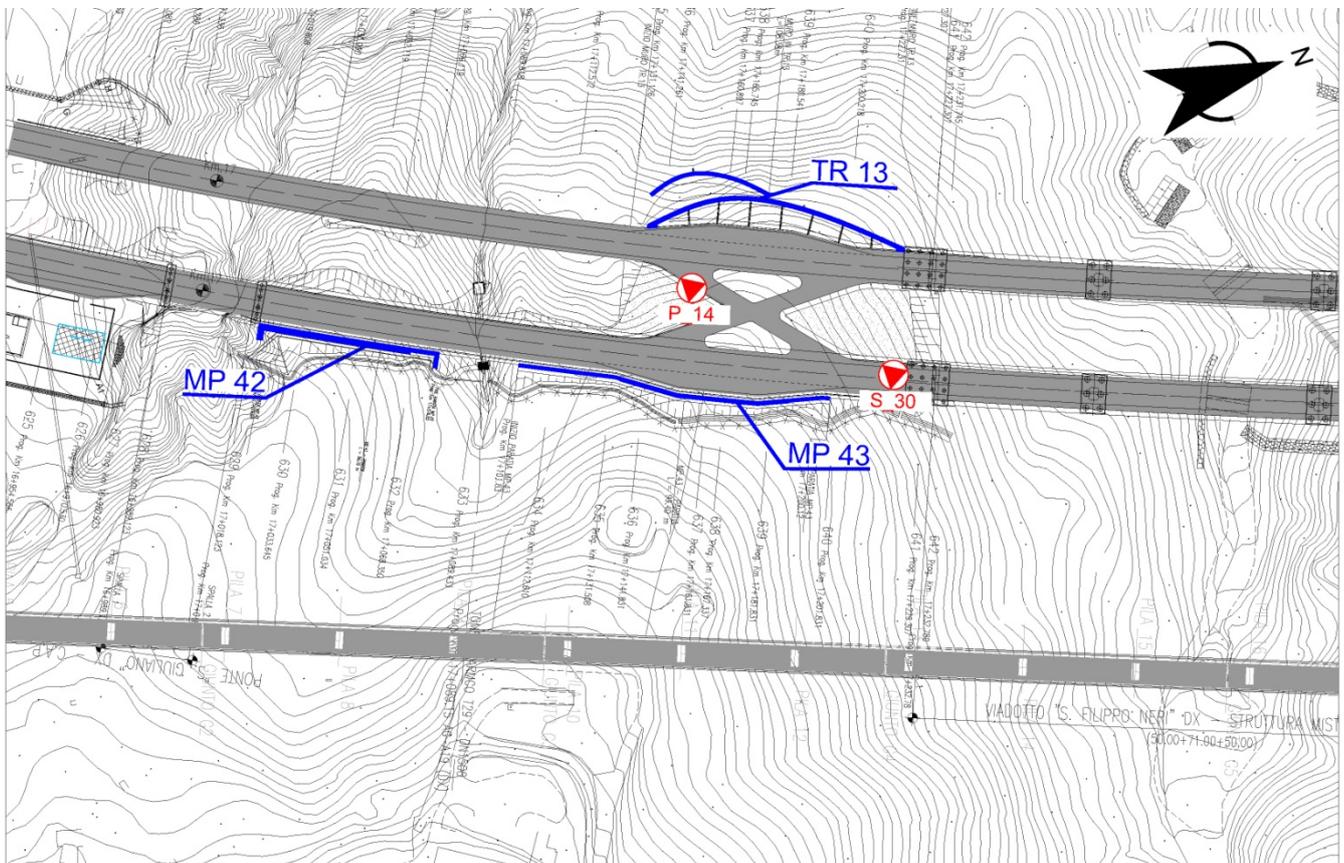


Figura 4.1: stralcio planimetrico con le indagini geotecniche condotte sul versante in fase di PD

4.1.1 Stratigrafie

Di seguito si riporta in forma sintetica la stratigrafia emersa dai sondaggi realizzati durante la campagna geognostica di PD del 2006/2007:

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 6 di 81

VARIANTE

Tabella 4.1: Stratigrafia sondaggio S30

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-0.5	Suolo Agrario
-0.5÷-4.0	Argilla limosa di colore giallastro, alterata
-4.0÷-30.0	Argilla limosa di colore grigio chiaro, consistente, a tratti scagliosa con rara presenza di gusci fossili

4.1.2 Prove di laboratorio e in situ

Durante la realizzazione del sondaggio S30 , sono stati prelevati n°3 campioni indisturbati al fine di poter effettuare la caratterizzazione geotecnica mediante prove di laboratorio.

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati e le prove in situ realizzate sul pozzetto esplorativo si possono riassumere in:

- Prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche (determinazione della massa volumica, massa volumica apparente, contenuto d'acqua naturale, classificazione secondo Raccomandazioni AGI, analisi granulometrica, limiti di consistenza), di seguito sintetizzate come **(P.F.)**
- Compressione edometrica **(C.E.)**.
- Taglio diretto **(T.D.)**.
- Prova di Espansione libera laterale **(E.L.L.)**
- Triassiale consolidata e non drenata **(C.U.)**.
- Triassiale consolidata e drenata **(C.D.)**.
- Prova penetrometrica dinamica **(P.P.D.)**

Tabella 4.2: sintesi delle prove di laboratorio/ in situ di Progetto Definitivo

Sondaggio	Campione	profondità [m]	Prove						
			P.F.	C.E.	T.D.	E.L.L.	U.U.	C.U.	P.P.D.
S-30	C1	-10.0	●	●	●	●			
S-30	C2	-17.0	●			●			
S-30	C3	-25.0	●		●	●		●	
P_14	--	---							●

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 7 di 81

4.2 Progetto Esecutivo

In fase di progettazione esecutiva, in corrispondenza dell'area viadotto San Giuliano, è stata effettuata, nel 2010, una campagna di approfondimento geognostico/geotecnico suddiviso in 3 fasi che ha portato alla realizzazione di:

- n°4 sondaggio a carotaggio continuo
- n°2 Tomografie sismiche

Nella figura seguente si riporta l'ubicazione dei sondaggi e tomografie.

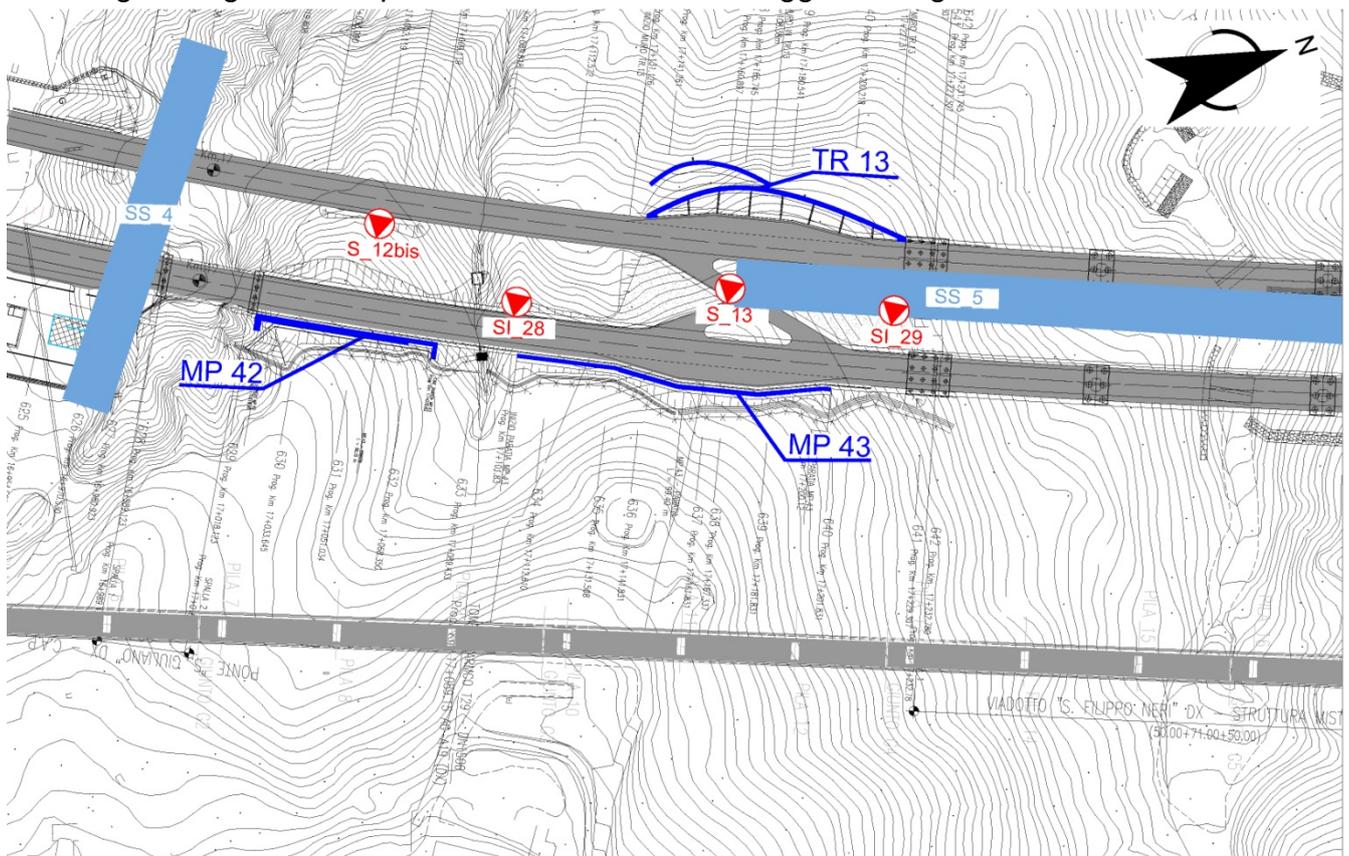


Figura 4.2: stralcio planimetrico con le indagini geotecniche condotte sul versante in fase di PE

4.2.1 Stratigrafie

Di seguito si riporta in forma sintetica la stratigrafia emersa dai sondaggi realizzati durante la fase 1 e la fase 2 del 2010, afferenti la campagna di approfondimento geotecnico/geognostico di progettazione esecutiva.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 8 di 81

VARIANTE

Tabella 4.3: Stratigrafia sondaggio S12bis

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-4.0	Limo argilloso color tabacco
-4.0÷-63.0	Argilla color grigio-verdastro, a luoghi con inclusi argilliti duri ed elementi lapidei delle dimensioni della ghiaia, di natura carbonitica. Diffusa reazione all' HCl

Tabella 4.4: Stratigrafia sondaggio S13

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-0.7	Terreno vegetale
-0.7÷-2.0	Limo argilloso color tabacco. Diffusa reazione all' HCl
-2.0÷-20.0	Argilla color grigio-verdastro, a luoghi con inclusi argillitici duri ad elementi lapidei, con dimensioni della ghiaia, di natura carbonitica. Diffusa reazione all' HCl

Tabella 4.5: Stratigrafia sondaggio SI_28

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-2.8	Limo con argilla sabbioso di color nocciola bruno, plastico, con inclusi litici di natura arenitica centimetrici
-2.8÷-4.0	Argilla con limo di color grigio-verdastro, plastica, con inclusi litici millimetrici
-4.0÷-14.0	Argilla con limo di color grigio-verdastro, con livelli marnosi, plastica, alternati a livelli di argilla con limo meno consistente con inclusi litici millimetrici e centimetrici
-14.0÷-20.0	Argilla marnosa di color grigio-verdastro, consistente, alternata a livelli di argilla con limo. Sono inclusi litici millimetrici e centimetrici e a -18.0m livello arenitico grigiastro.

Tabella 4.6: Stratigrafia sondaggio SI_29

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-4.3	Limo con argilla sabbioso, di color nocciola bruno, plastico con inclusi frammenti di natura arenitica
-4.3÷-5.0	Argilla con limo di color grigiastro con inclusi litici millimetrici
-5.0÷-9.0	Argilla con limo marnosa di color variabile da grigiastro a grigio-verdastro con inclusi millimetrici. A -8.5 m si riscontra un livello arenitico grigiastro.
-9.0÷-16.0	Argilla marnosa di color grigio-verdastro, consistente, con inclusi litici millimetrici.
-16.0÷-32.2	Argilla marnosa di color grigio-verdastro, consistente, alternata a livelli di argilla con limo, con inclusi litici millimetrici e centimetrici
-32.2÷-34.7	Argilla con limo a tratti marnosa di color grigio-verdastro, scagliosa poco consistente, con inclusi livelli di argilla sabbiosa
-34.7÷-40.0	Argilla marnosa di color grigio-verdastro, alternata ad argilla con limo sabbiosa, scagliosa, con inclusi litici millimetrici e centimetrici

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 9 di 81

4.2.2 Prove di laboratorio e in situ

Durante la realizzazione dei sondaggi , sono stati presi dei campioni indisturbati al fine di poter effettuare la caratterizzazione meccanica della litologia, con prove di laboratorio.

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati e le prove in situ realizzate sul pozzetto esplorativo si possono riassumere in:

- Prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche (determinazione della massa volumica, massa volumica apparente, contenuto d'acqua naturale, classificazione secondo Raccomandazioni AGI, analisi granulometrica, limiti di consistenza), di seguito sintetizzate come **(P.F.)**
- Compressione edometrica **(C.E.)**.
- Taglio diretto **(T.D.)**.
- Prova di Espansione libera laterale **(E.L.L.)**
- Triassiale consolidata e non drenata **(C.U.)**.
- Triassiale consolidata e drenata **(C.D.)**.
- Tomografia sismica **(T.M.)**

Tabella 4.7: sintesi delle prove di laboratorio/ in situ di Progetto Esecutivo

Sondaggio	Campione	profondità [m]	Prove							
			P.F.	C.E.	T.D.	E.L.L.	U.U.	C.U.	T.M.	
S12bis	C1	-36.0	●			●				
S12bis	C2	-42.0	●	●					●	
S12bis	C4	-54.0	●						●	
SI_29	C1	-6.0	●	●	●	●				
SI_29	C2	-17.0	●		●	●				
SI_29	C3	-22.8	●						●	
SI_29	C4	-29.0	●		●				●	
SS4	--	--								●
SS5	--	--								●

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 10 di 81

5. PIANO DELLE INDAGINI E DEI MONITORAGGI IN ATTO

Come già accennato precedentemente, il versante in oggetto è attraversato dall'asse principale della costruenda SS640, infrastruttura alla quale si riconducono le numerose opere d'arte presenti, realizzate al fine di modellare la conformazione del versante alla costruzione della sede stradale.

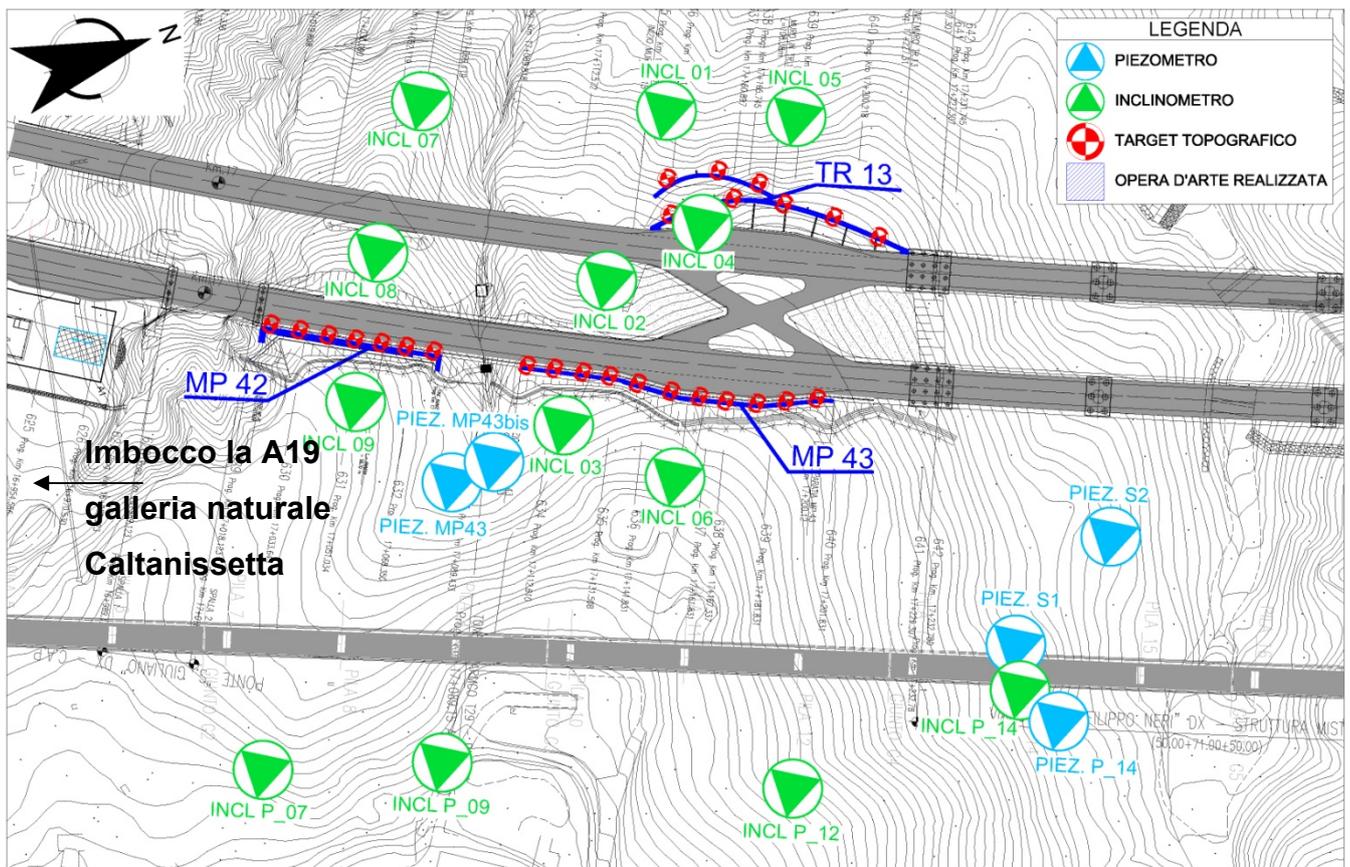


Figura 5.1: stralcio planimetrico e sintesi piano di monitoraggio del versante

Tale monitoraggio è stato sviluppato e progressivamente integrato in corso d'opera, in modo da raggiungere un sufficiente livello di dettaglio con la finalità di ottenere il controllo deformativo delle opere d'arte realizzate, il controllo dei possibili scivolamenti più o meno profondi presenti lungo il versante ed al tempo stesso per permettere il necessario approfondimento sulla risposta deformativa complessiva dell'intero pendio nel tempo.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 11 di 81

5.1 Monitoraggio delle opere d'arte

Lungo l'asse principale della futura SS640, in corrispondenza del versante oggetto di approfondimento, sono presenti due paratie ed un muro su pali. Proseguendo da SUD in direzione NORD si collocano (figura2.1):

- **MP 42** (da pk17+016 a pk17+076) paratia di pali Φ 1500 e Φ 1000;
- **MP 43** (da pk17+101 a pk17+200) paratia di pali Φ 1200 e Φ 1000;
- **TR 13** (da pk17+131 a pk17+227) muro con fondazione su pali Φ 1000.

Su tali opere, sin dai primi scavi di sbancamento e progressivamente nei successivi ribassi, è stato implementato il monitoraggio topografico, mediante l'utilizzo di una stazione totale ad altissima precisione.

Di seguito si riportano le evidenze di monitoraggio sino ad oggi riscontrate:

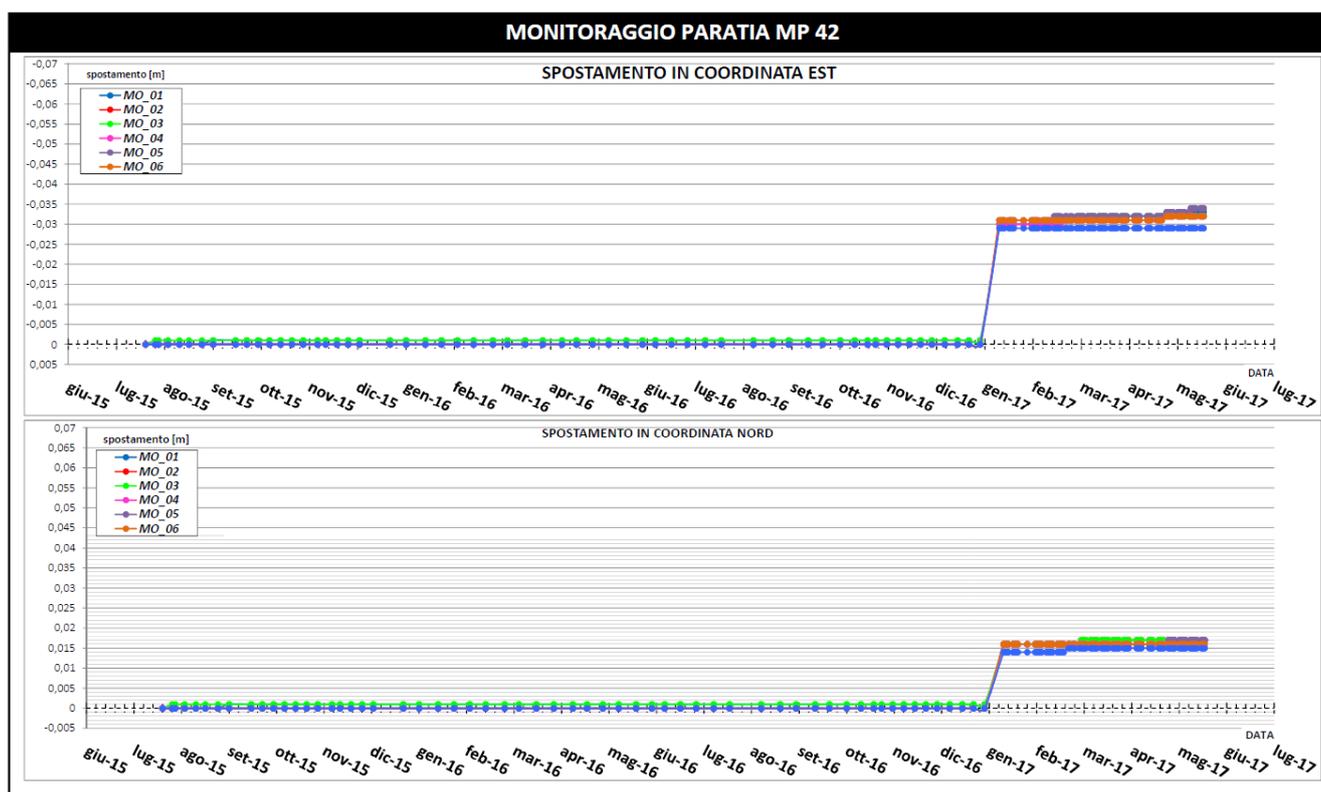


Figura 5.2: spostamenti planimetrici in funzione del tempo dell'opera MP 42

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 12 di 81

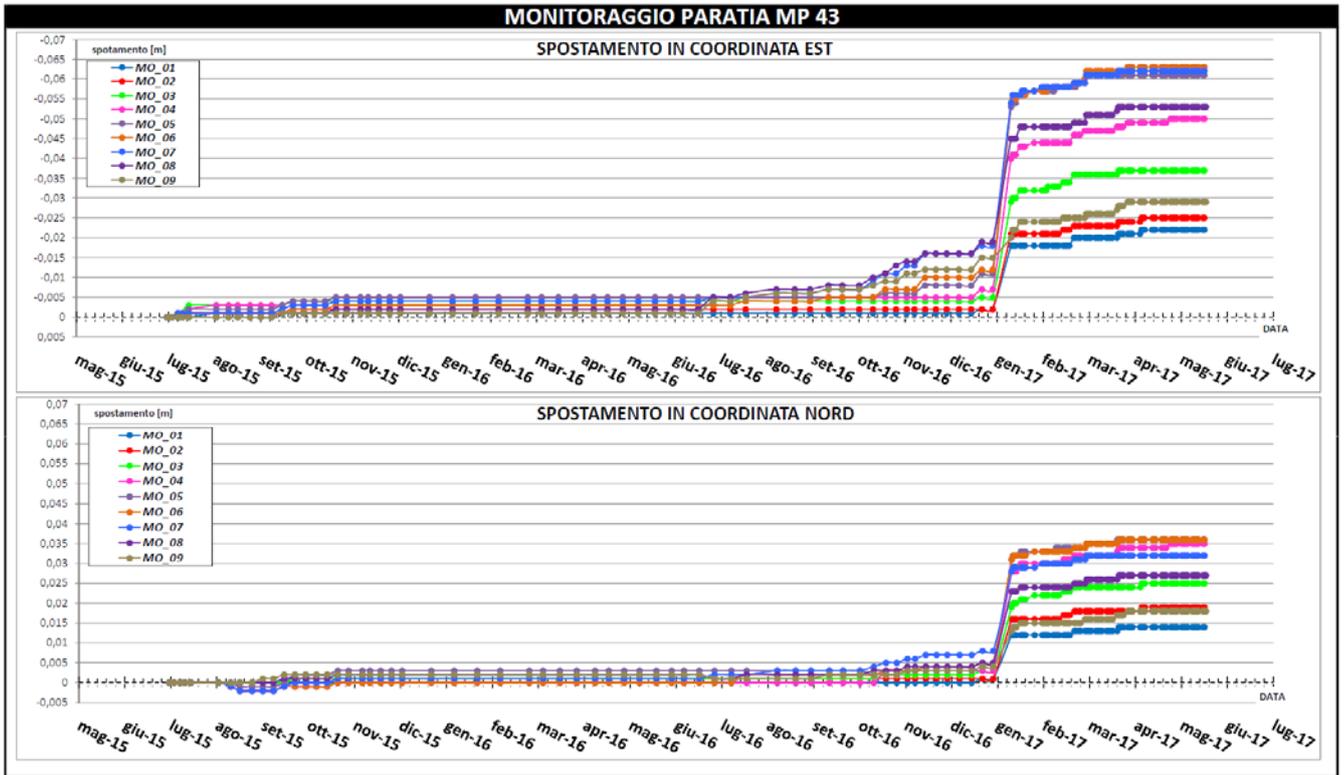


Figura 5.3: spostamenti planimetrici in funzione del tempo dell'opera MP 43

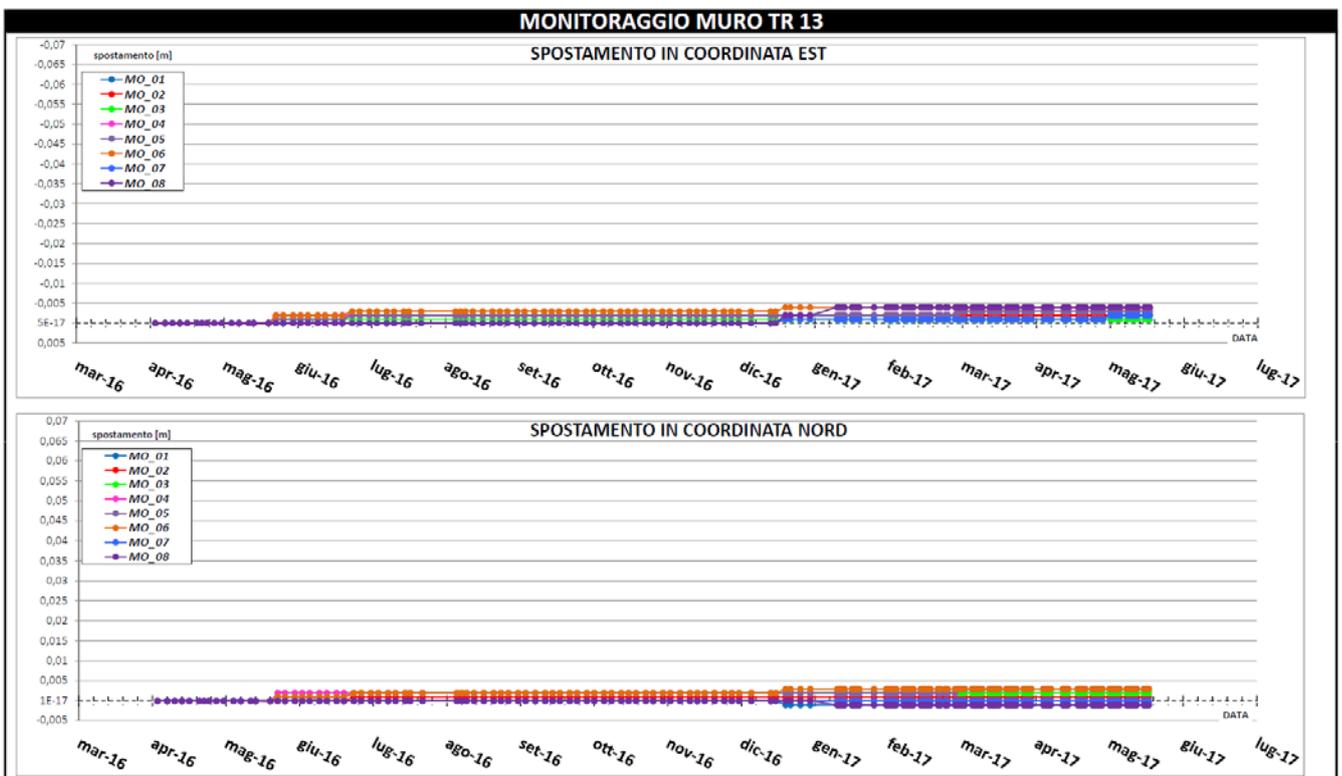


Figura 5.4: spostamenti planimetrici in funzione del tempo dell'opera TR 13

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 13 di 81

Analizzando nel dettaglio i dati di monitoraggio relativi alla paratia MP42, è possibile riscontrare che durante le fasi di ribasso a valle dell'opera e successivamente la loro ultimazione fino a Dicembre 2016, minimi sono gli incrementi degli spostamenti in testa cordolo.

A partire dalla fine di Dicembre 2016 fino a Gennaio 2017, si evidenzia invece un incremento degli spostamenti, con vettore spostamento orientato a NORD-OVEST, ovvero verso la valle del pendio del San Giuliano, compatibile con gli eventuali spostamenti indotti dall'instabilità del pendio.

Successivamente, nel periodo Gennaio 2017, il trend evolutivo degli spostamenti presenta invece un plateau orizzontale, indicativo di una stabilizzazione delle deformazioni che si protrae fino ad oggi.

La paratia MP43, presenta andamenti degli spostamenti simili a quelli riscontrati sull'opera MP42. Ad una prima fase di disturbo deformativo, caratterizzato dalla presenza di minimi spostamenti localizzati tra Agosto 2015 e Novembre 2015 ed associabili alle fasi di scavo del terreno a valle della paratia, segue una lunga fase di stabilizzazione che si estende fino a Dicembre 2016.

Tra Dicembre 2016 e Febbraio 2017, si registra analogamente con quanto rilevato per l'MP42, un incremento considerevole degli spostamenti con direzione NORD-OVEST, quindi compatibili con le eventuali fenomenologie da versante, al quale segue una fase di stabilizzazione con plateau orizzontale che prosegue sino ad oggi.

Discorso differente per l'opera TR13, posizionata maggiormente a valle rispetto alle due paratie e che non presenta ad oggi incrementi degli spostamenti degni di nota.

Considerato il verificarsi di questi episodi con rapide evoluzioni degli spostamenti intervallati a periodi di successiva stabilizzazione, non si è voluto escludere la possibilità che tali fenomeni deformativi possano essere influenzati anche da fattori esterni, indipendenti dalla geometria dell'opere geotecniche e che tali fattori possano costituire il potenziale meccanismo di innesco ed accelerazione degli spostamenti.

In tale ottica, un buon riscontro si ottiene sovrapponendo il dato topografico a disposizione, con le informazioni pluviometriche ottenute dalla stazione meteo installata nelle corrispondenze della paratia di imbocco A19 della GN Caltanissetta.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 14 di 81

Di seguito si riporta lo storico dei dati pluviometrici espressi sia come altezza di pioggia che come curva pluviometrica cumulata, in una sovrapposizione con l'evidenza dei dati topografici riferiti alle opere MP42 ed MP43.

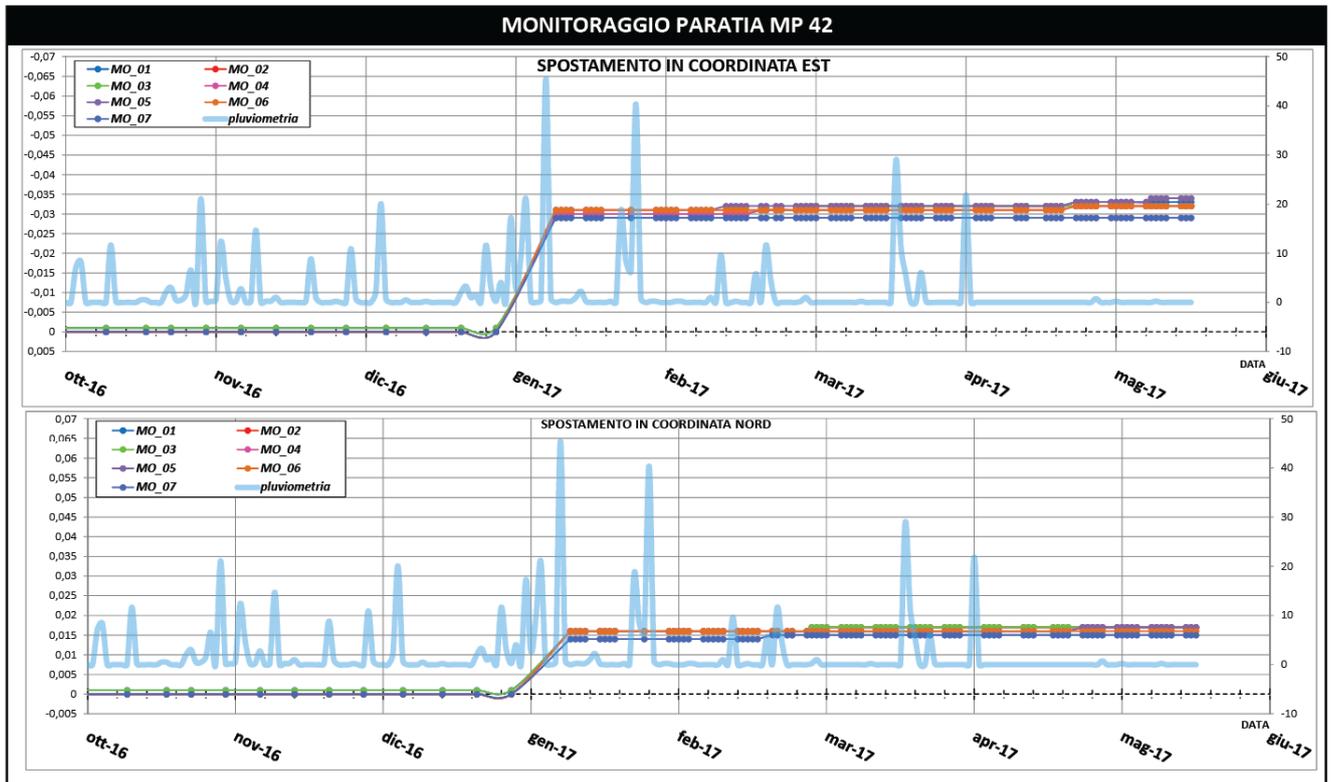


Figura 5.5: sovrapposizione dati di monitoraggio MP42 con dati pluviometrici giornalieri

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 15 di 81

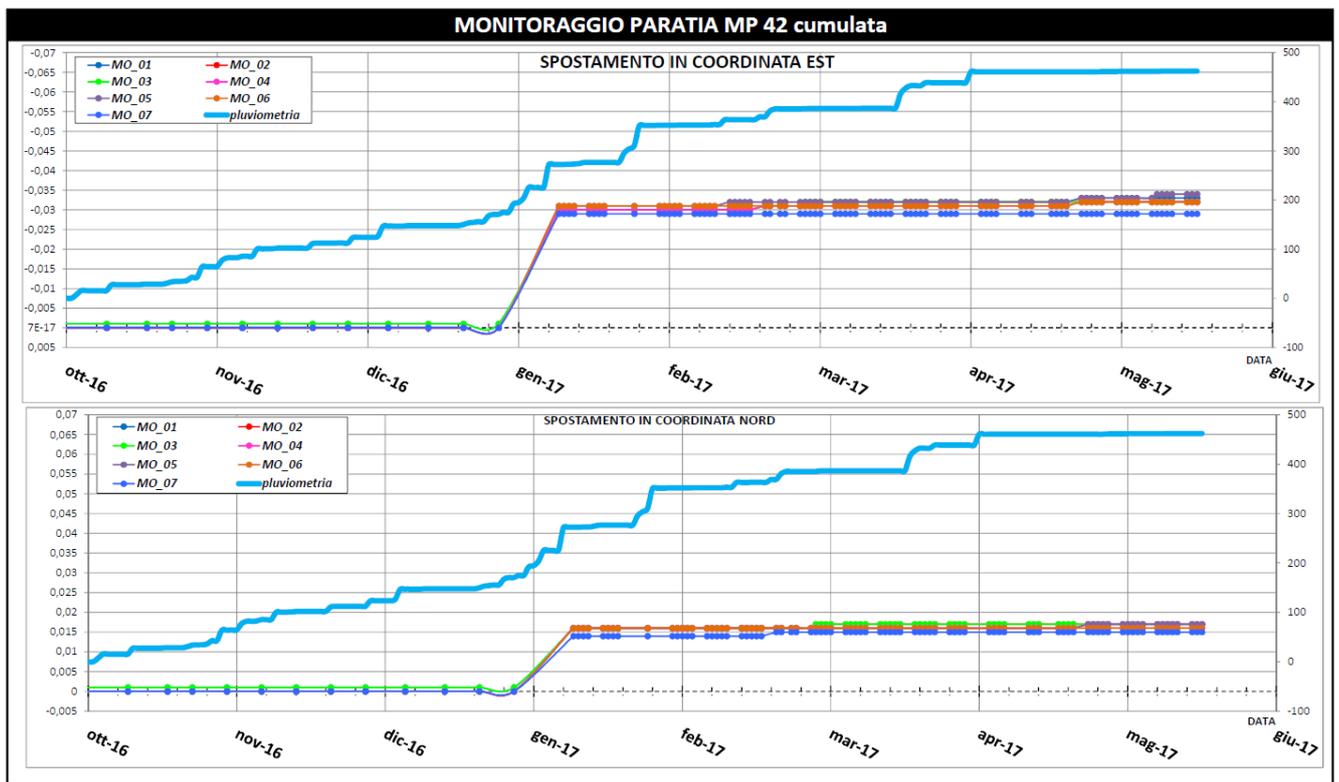


Figura 5.6: sovrapposizione dati di monitoraggio MP42 con dati pluviometrici cumulati

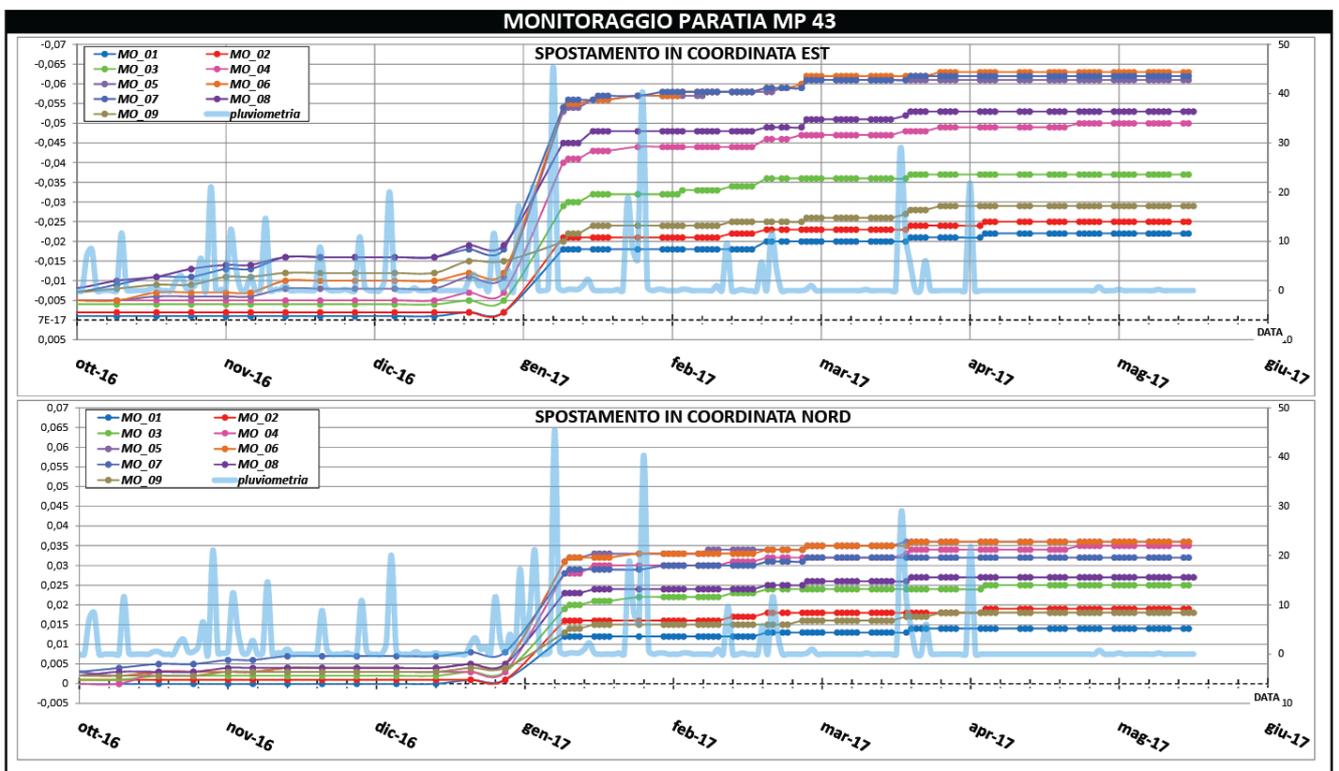


Figura 5.7: sovrapposizione dati di monitoraggio MP43 con dati pluviometrici giornalieri

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 16 di 81

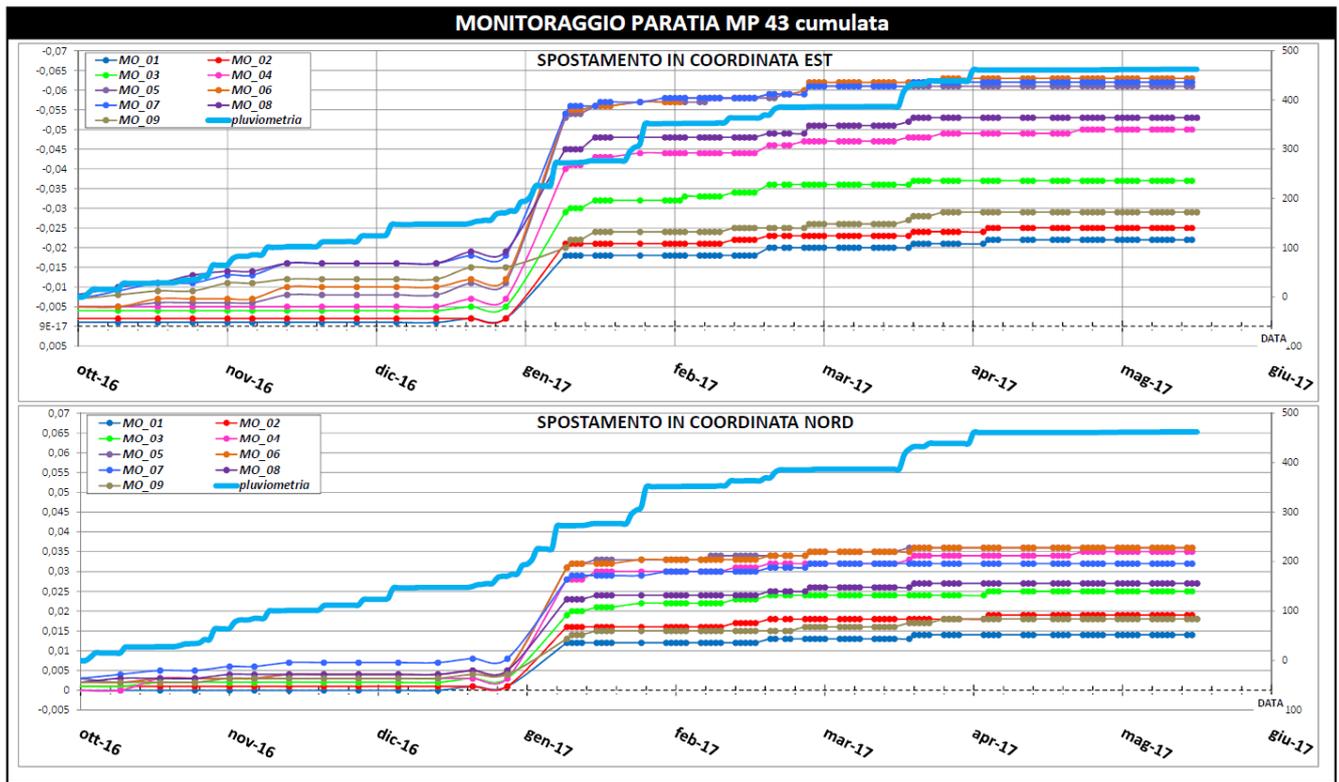


Figura 5.8: sovrapposizione dati di monitoraggio MP43 con dati pluviometrici cumulati

Come descritto precedentemente, le sovrapposizioni riportate mostrano una buona coerenza di informazione tra il periodo di innesco dei fenomeni deformativi delle opere d'arte ed il manifestarsi di eventi meteorici per periodi superiori ai 20-30 giorni.

Un'ulteriore osservazione da evidenziare è relativa al valore assoluto dello spostamento nelle due opere, che presentano di fatto spostamenti di entità differente.

Le sostanziali differenze che caratterizzano le due opere, sono da ricondurre principalmente all'ubicazione planimetrica di ciascuna opera in relazione alla morfologia del versante sul quale si trovano posizionate:

- **MP42** - l'opera intercetta il versante intersecando il locale pendio in direzione pseudo-longitudinale rispetto alla curva di massima pendenza. Tale disposizione planimetrica, potrebbe aver creato dei possibili fenomeni di diffusione degli effetti indotti dall'instabilità del pendio, con una conseguente diminuzione degli spostamenti dell'opera d'arte.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 17 di 81

- **MP43** - l'opera intercetta il versante intersecando il locale pendio perpendicolarmente alla curva di massima pendenza. Tale disposizione planimetrica, potrebbe aver creato una possibile amplificazione degli effetti indotti dalla locale instabilità del versante con un conseguente aumento degli spostamenti dell'opera d'arte.

<i>Cod. elab.:</i> 147VI204VI04ZRD007A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – <i>Opere di sottofondazione</i>	<i>Data:</i> Giugno 2017
<i>Nome file:</i> v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	<i>Pagina</i> 18 di 81

5.2 Monitoraggio inclinometrico

Il monitoraggio della stabilità del pendio è avvenuta mediante l'installazione di verticali inclinometriche e lo studio è stato condotto in due fasi, la prima nella quale è stata installata una singola sezione inclinometrica lungo la direzione di massima pendenza. La sezione è costituita da n.3 inclinometri da 35m, nello specifico INCL-01/03, installati nel periodo 13÷19/05/2016.

In considerazione degli spostamenti riscontrati nelle misure della prima sezione inclinometrica, si è proceduto con l'ampliamento dell'area monitorata mediante l'installazione di altre 2 sezioni inclinometriche composte da 4 strumenti di misura e l'installazione di un quarto inclinometro a monte della sezione realizzata a Maggio 2016, portando a 12 il numero di verticali inclinometriche installate nell'area di pertinenza del viadotto S.Giuliano.

Di seguito si riporta lo stralcio planimetrico con indicazione delle sezioni inclinometriche.

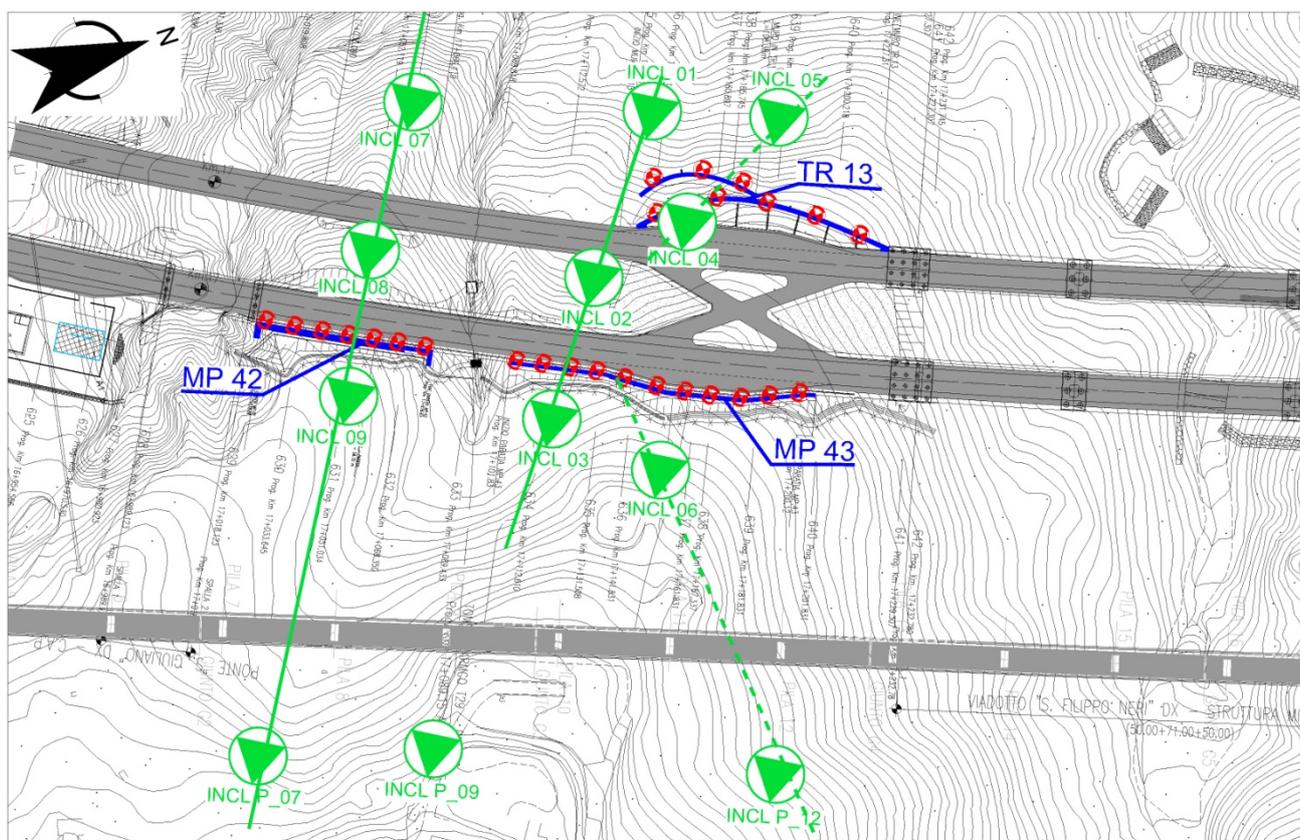


Figura 5.9: Planimetria con indicazione dell'ubicazione degli inclinometri

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 19 di 81

Di seguito si riportano i grafici delle misure effettuate fino ad oggi.

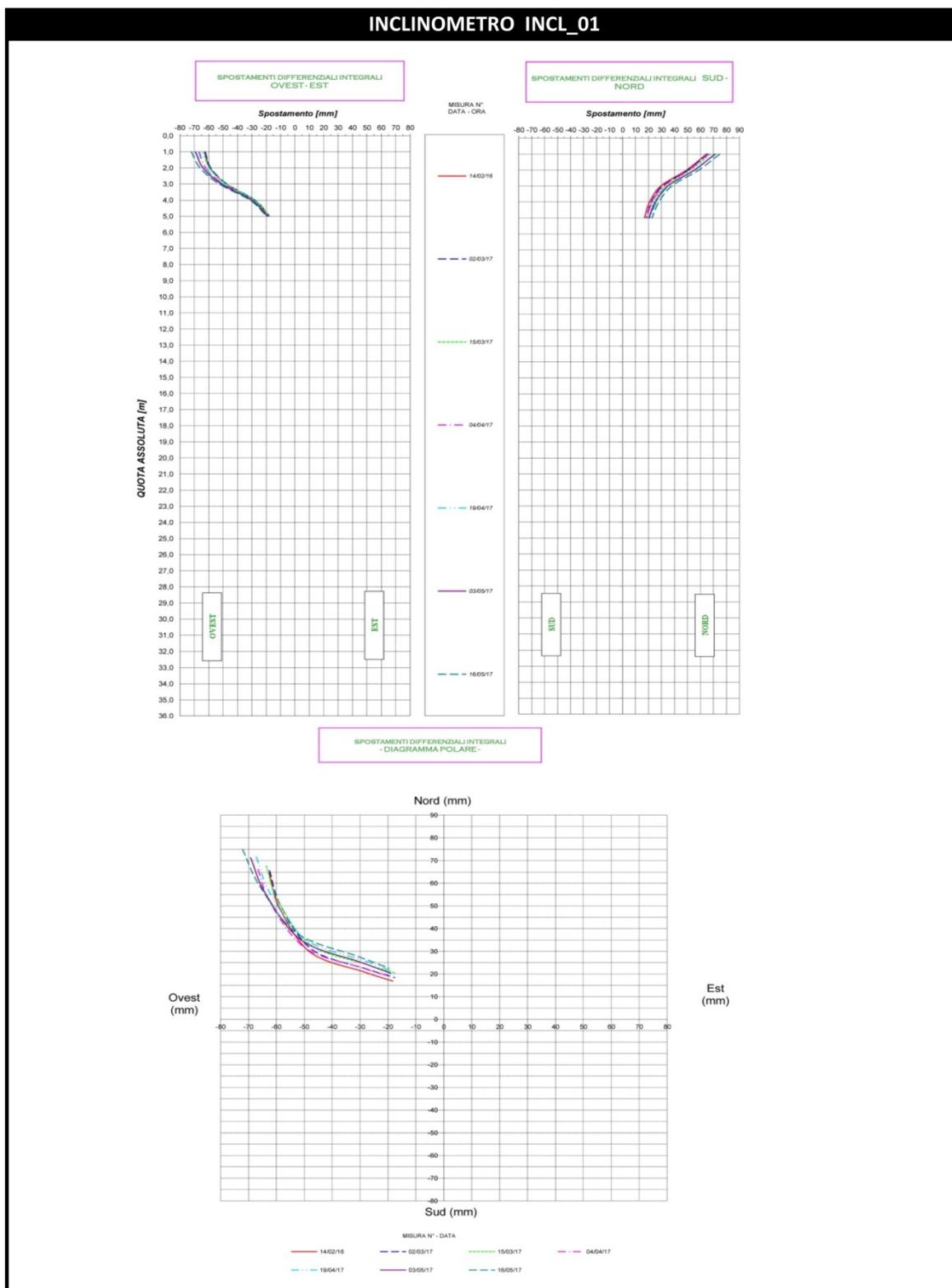


Figura 5.10: dati monitoraggio inclinometro 01

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 20 di 81

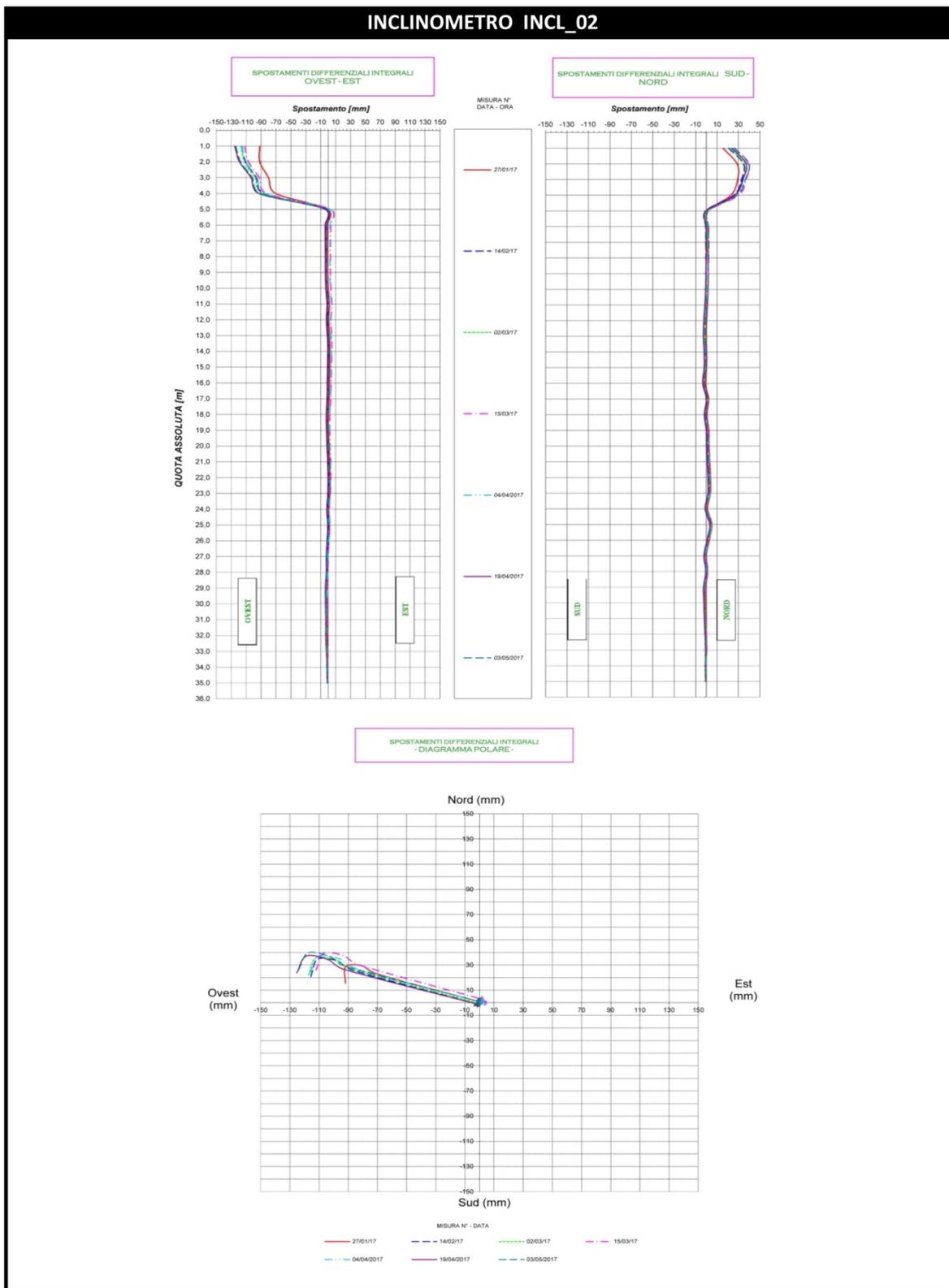


Figura 5.11: dati monitoraggio inclinometro 02

<p>Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A</p>	<p>Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione</p>	<p>Data: Giugno 2017</p>
<p>Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx</p>	<p style="text-align: center;">Relazione geotecnica</p>	<p>Pagina 21 di 81</p>

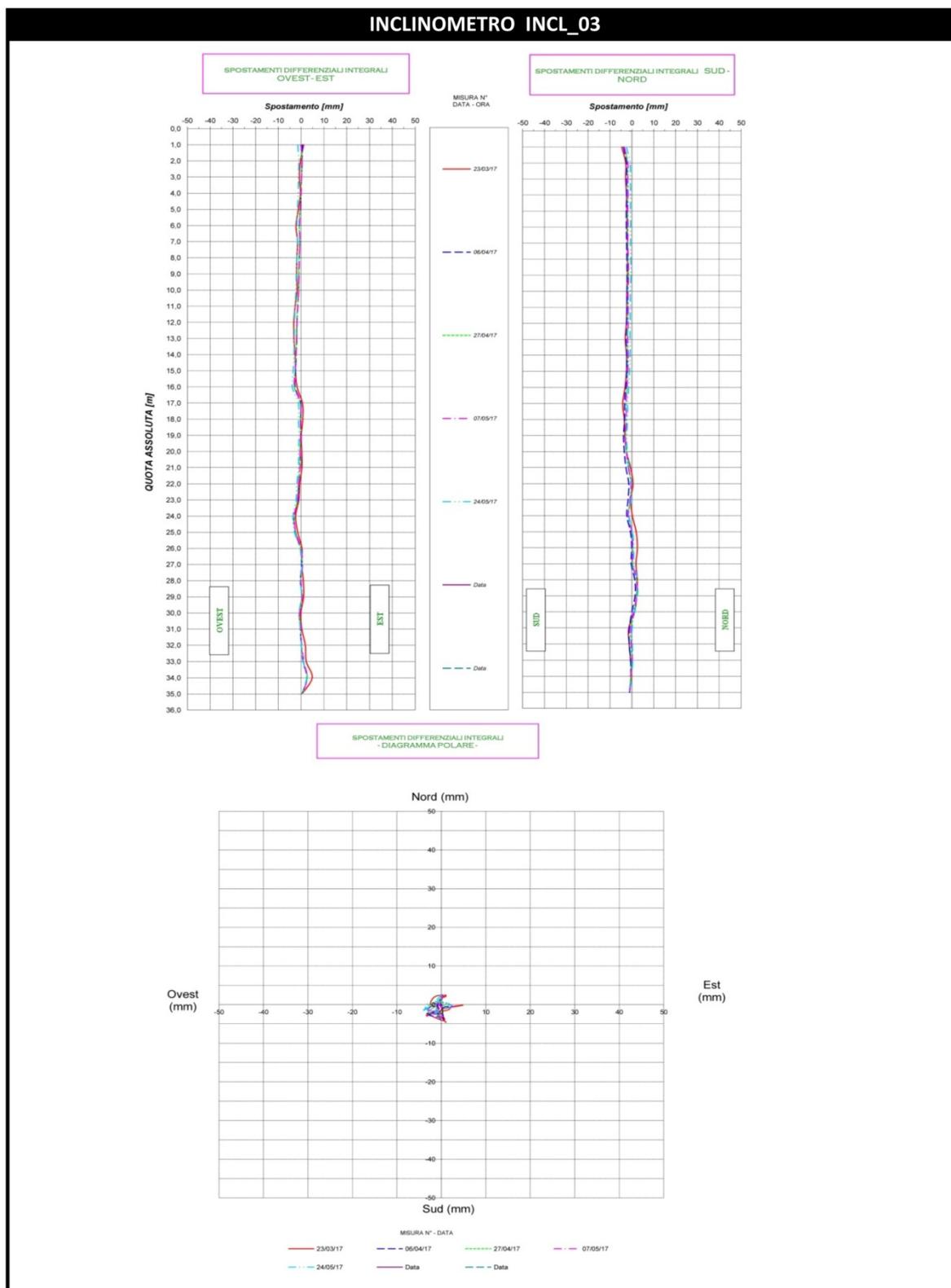


Figura 5.12.: dati monitoraggio inclinometro 03

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 22 di 81

VARIANTE

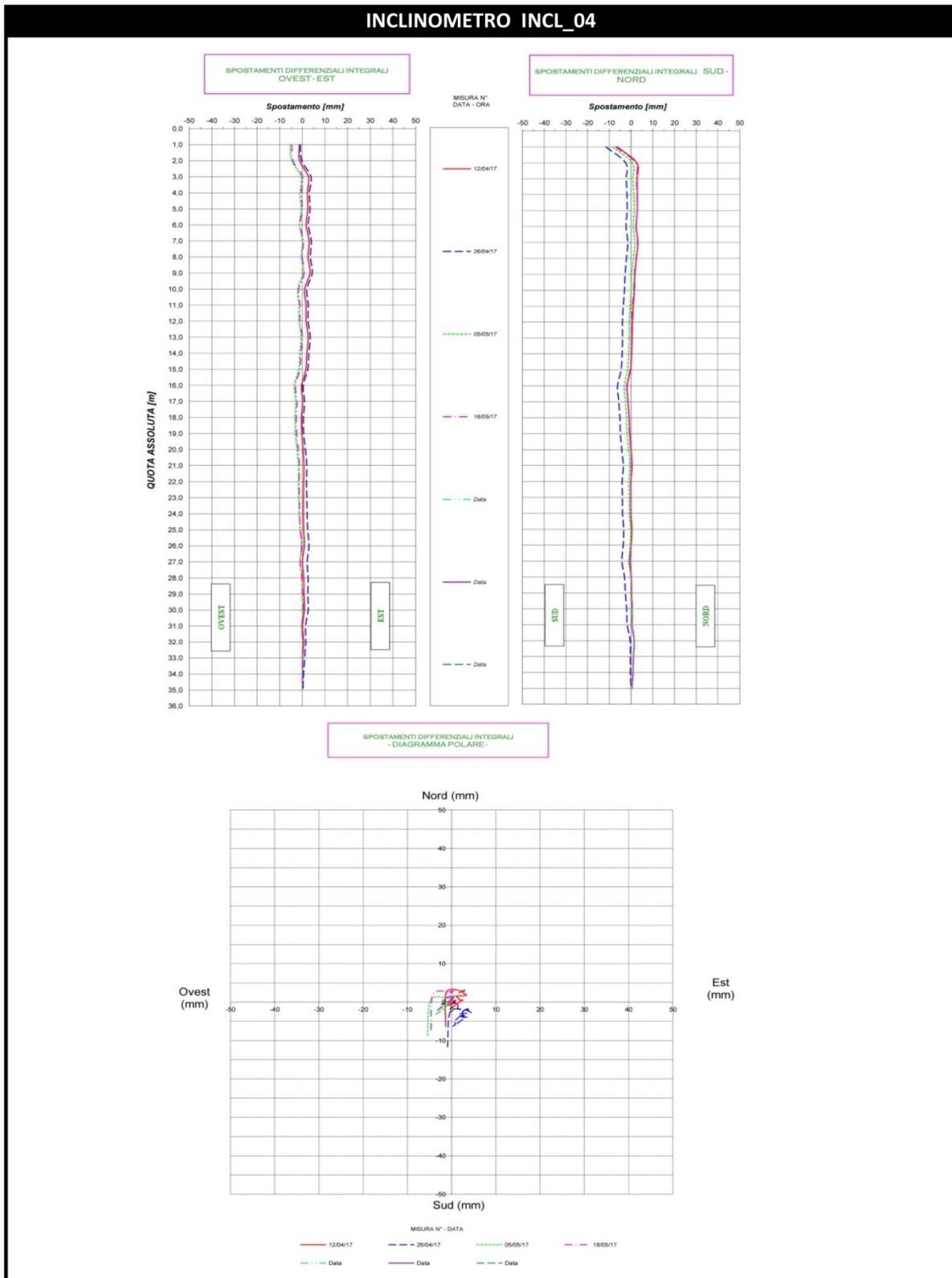


Figura 5.13: dati monitoraggio inclinometro 04

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 23 di 81

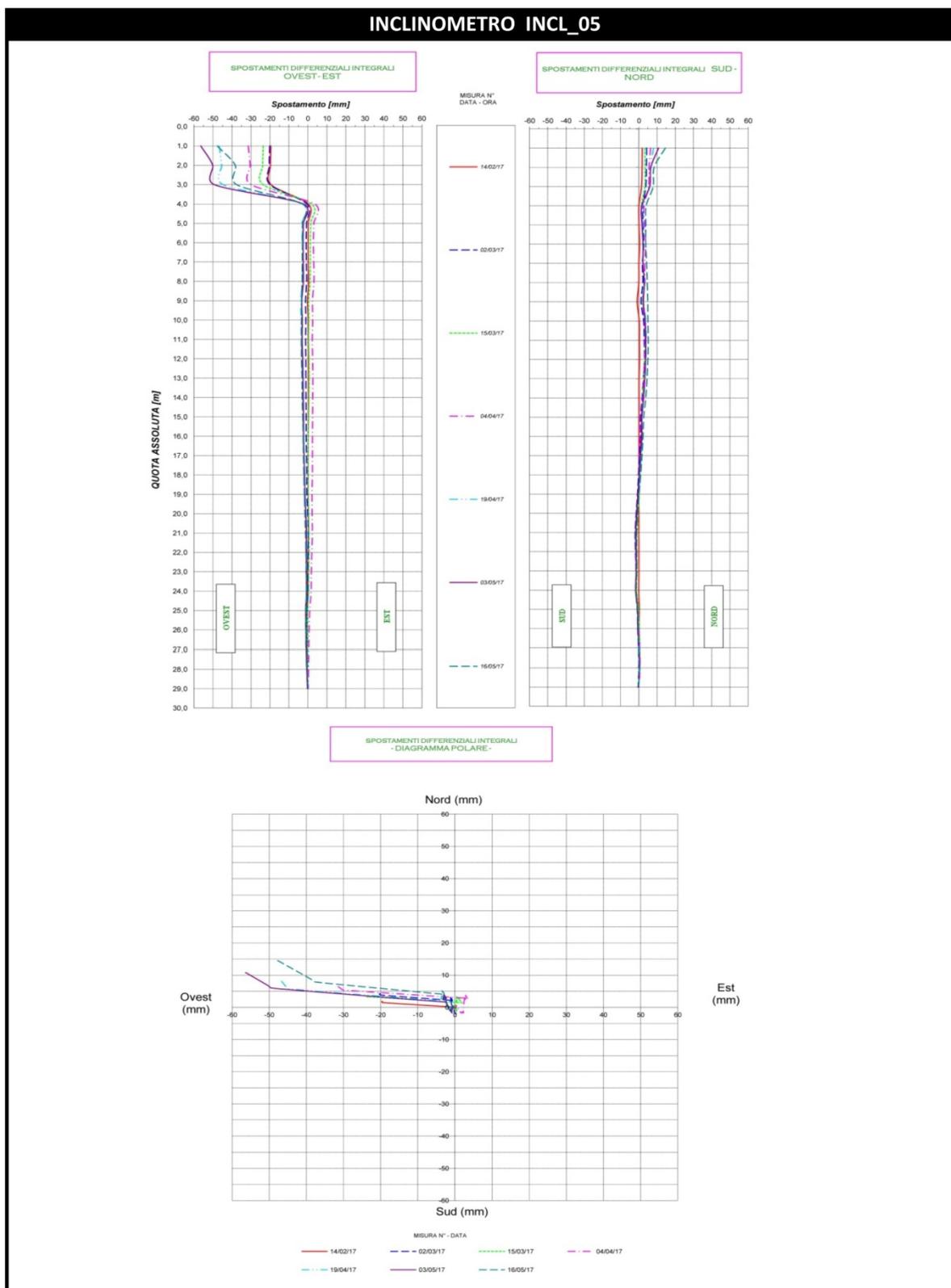


Figura 5.14.: dati monitoraggio inclinometro 05

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 24 di 81

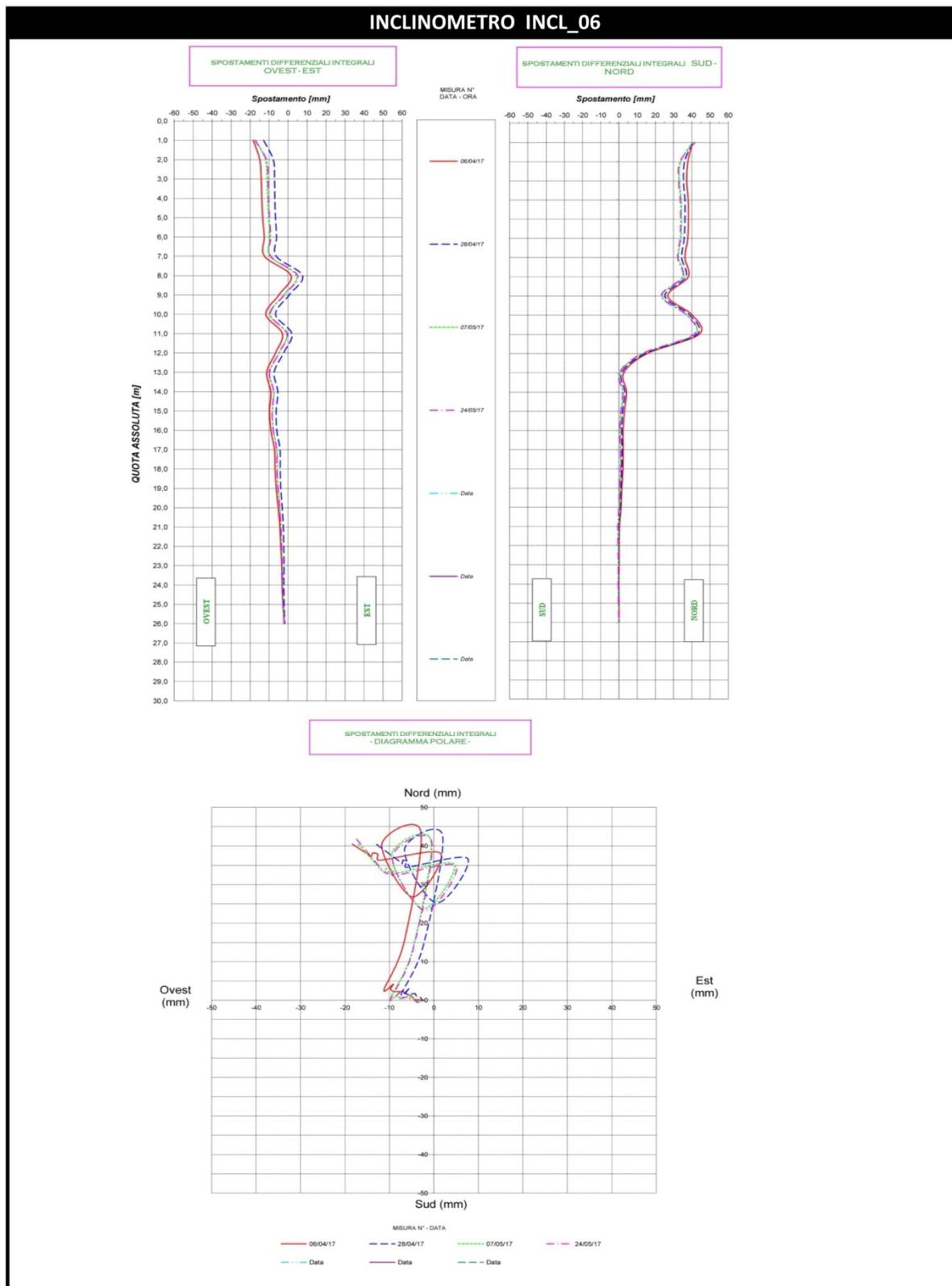


Figura 5.15.: dati monitoraggio inclinometro 06

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 25 di 81

VARIANTE

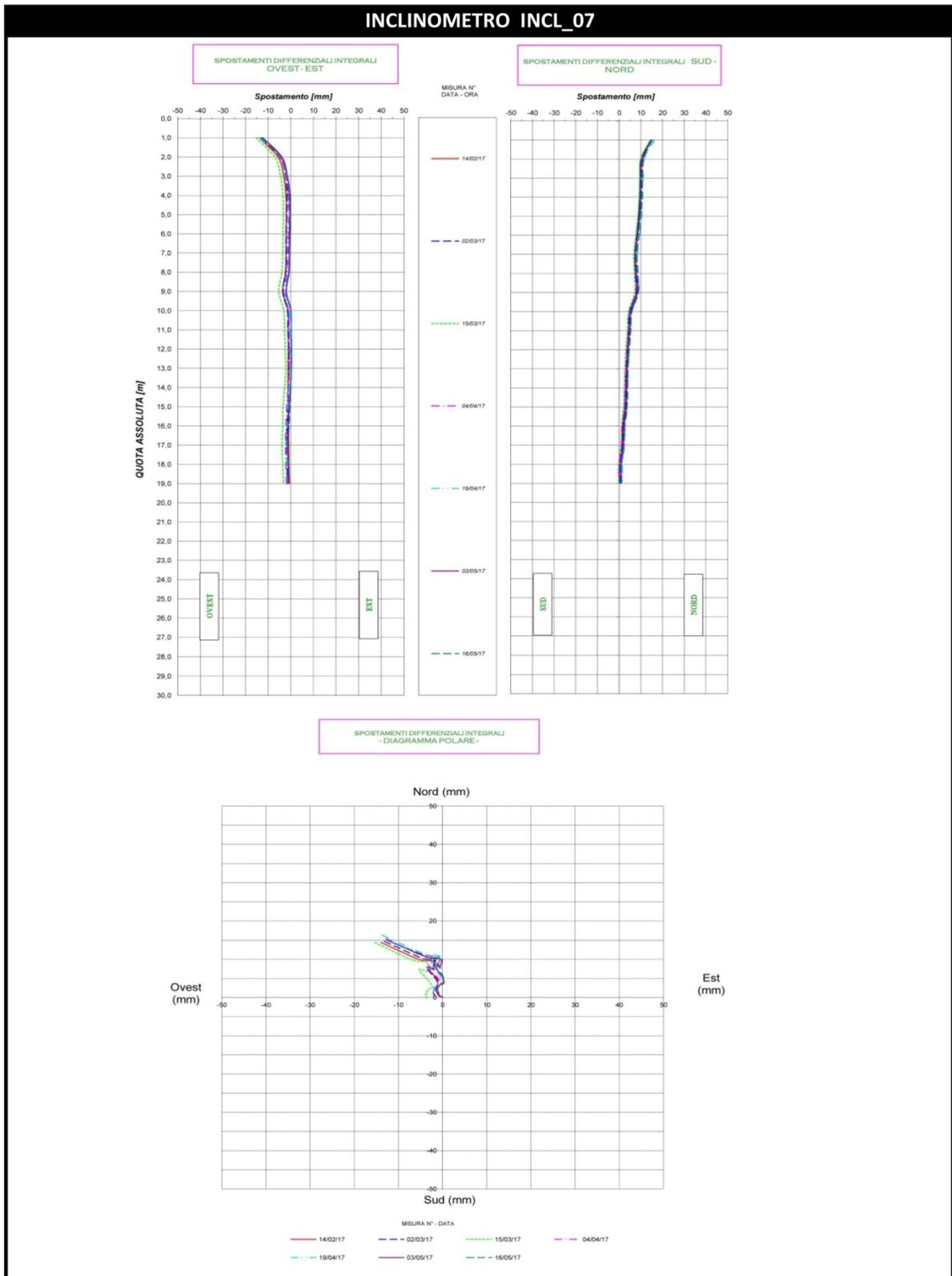


Figura 5.16.: dati monitoraggio inclinometro 07

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 26 di 81

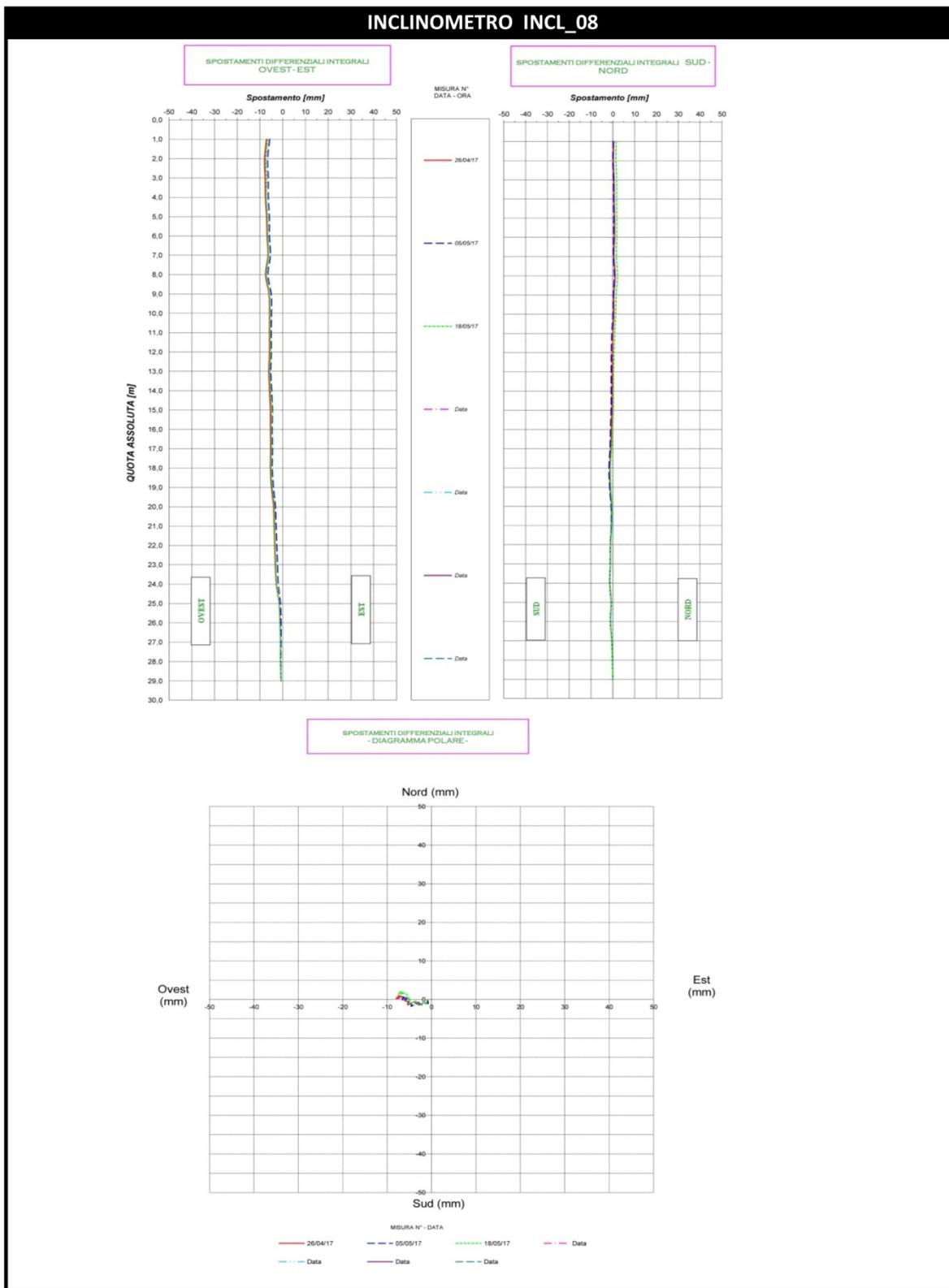


Figura 5.17: dati monitoraggio inclinometro 08

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 27 di 81

VARIANTE

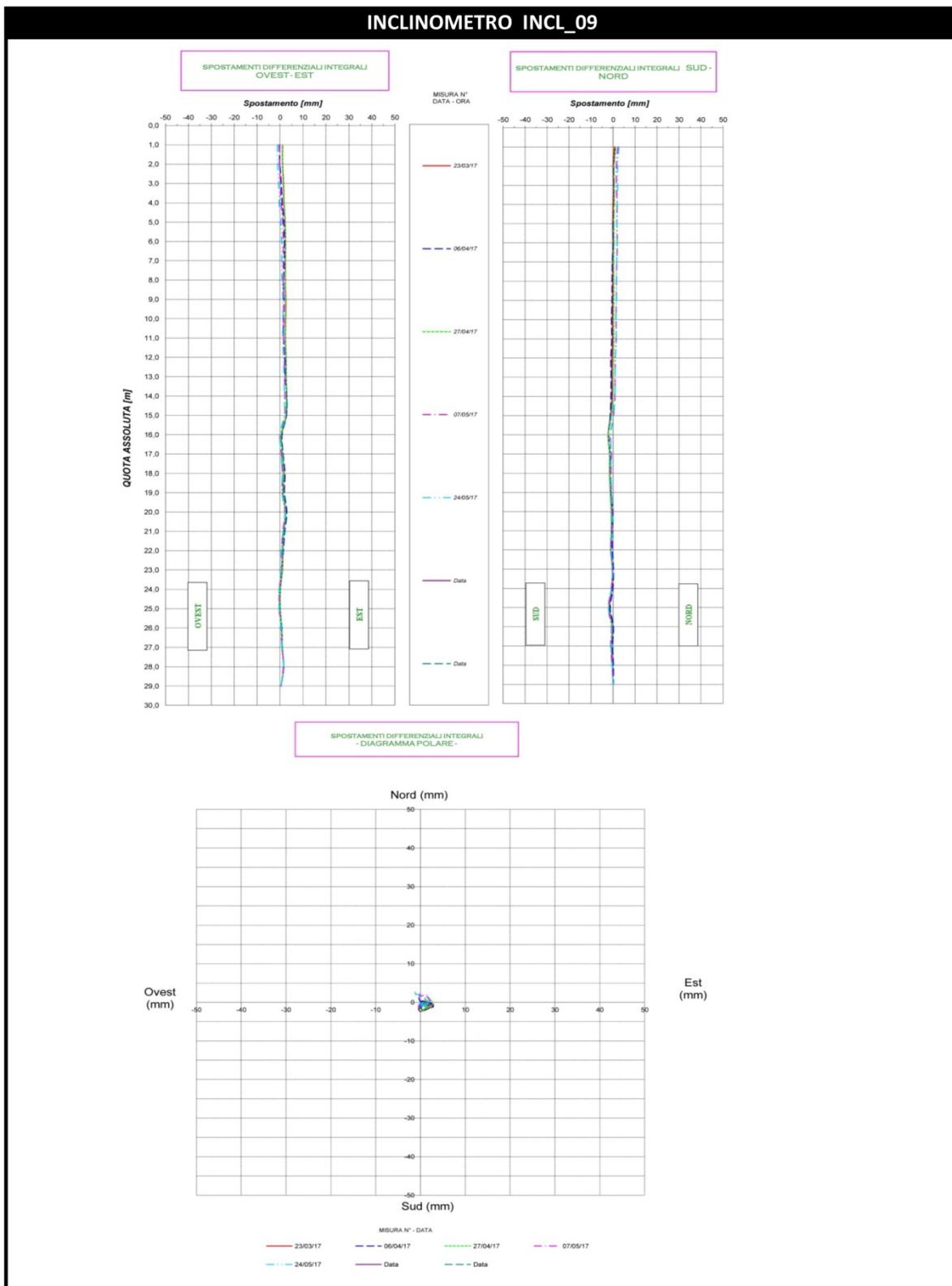


Figura 5.18: dati monitoraggio inclinometro 09

<p>Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A</p>	<p>Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione</p>	<p>Data: Giugno 2017</p>
<p>Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx</p>	<p>Relazione geotecnica</p>	<p>Pagina 28 di 81</p>

VARIANTE

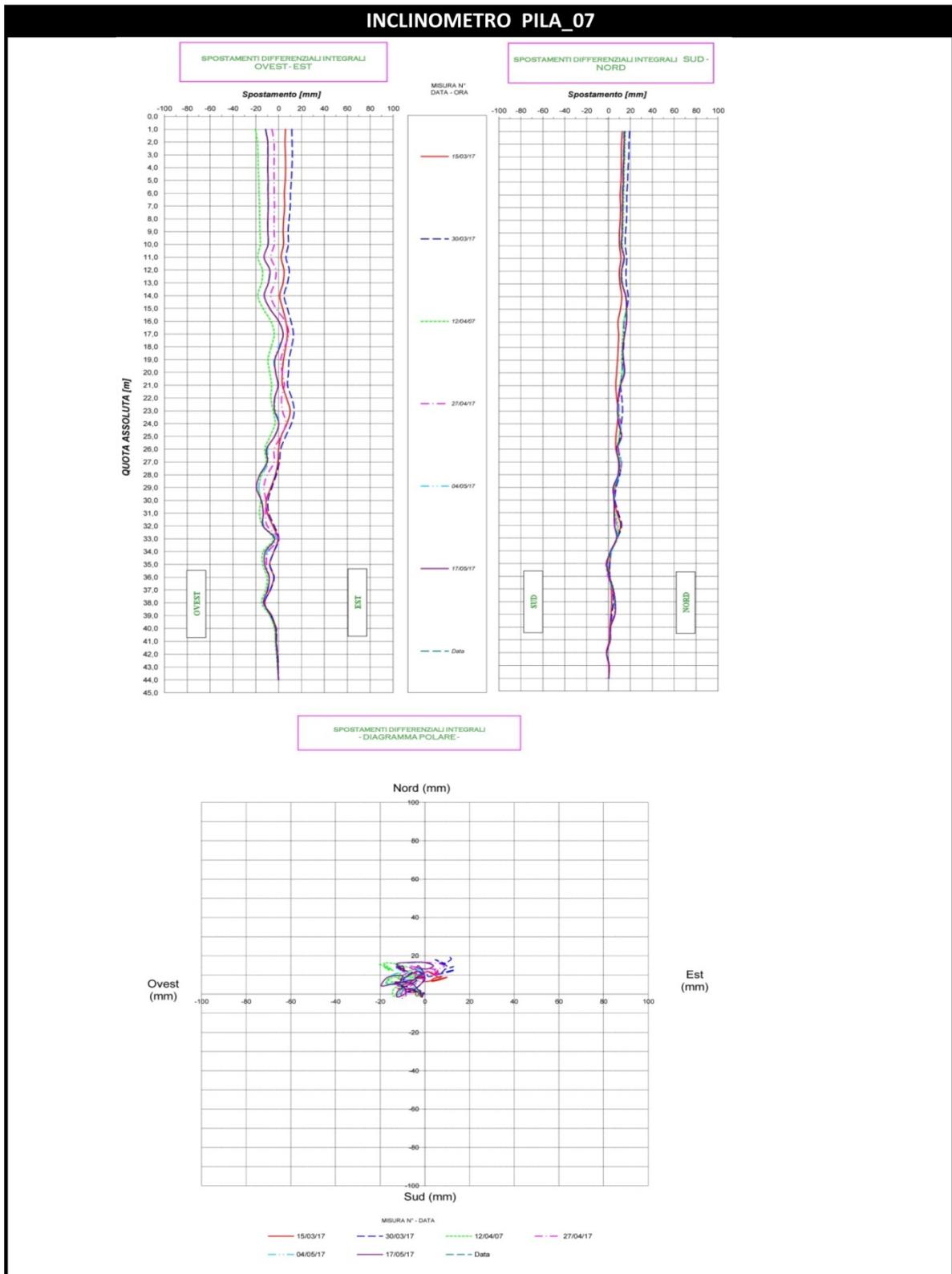


Figura 5.19: dati monitoraggio inclinometro pila 07

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 29 di 81

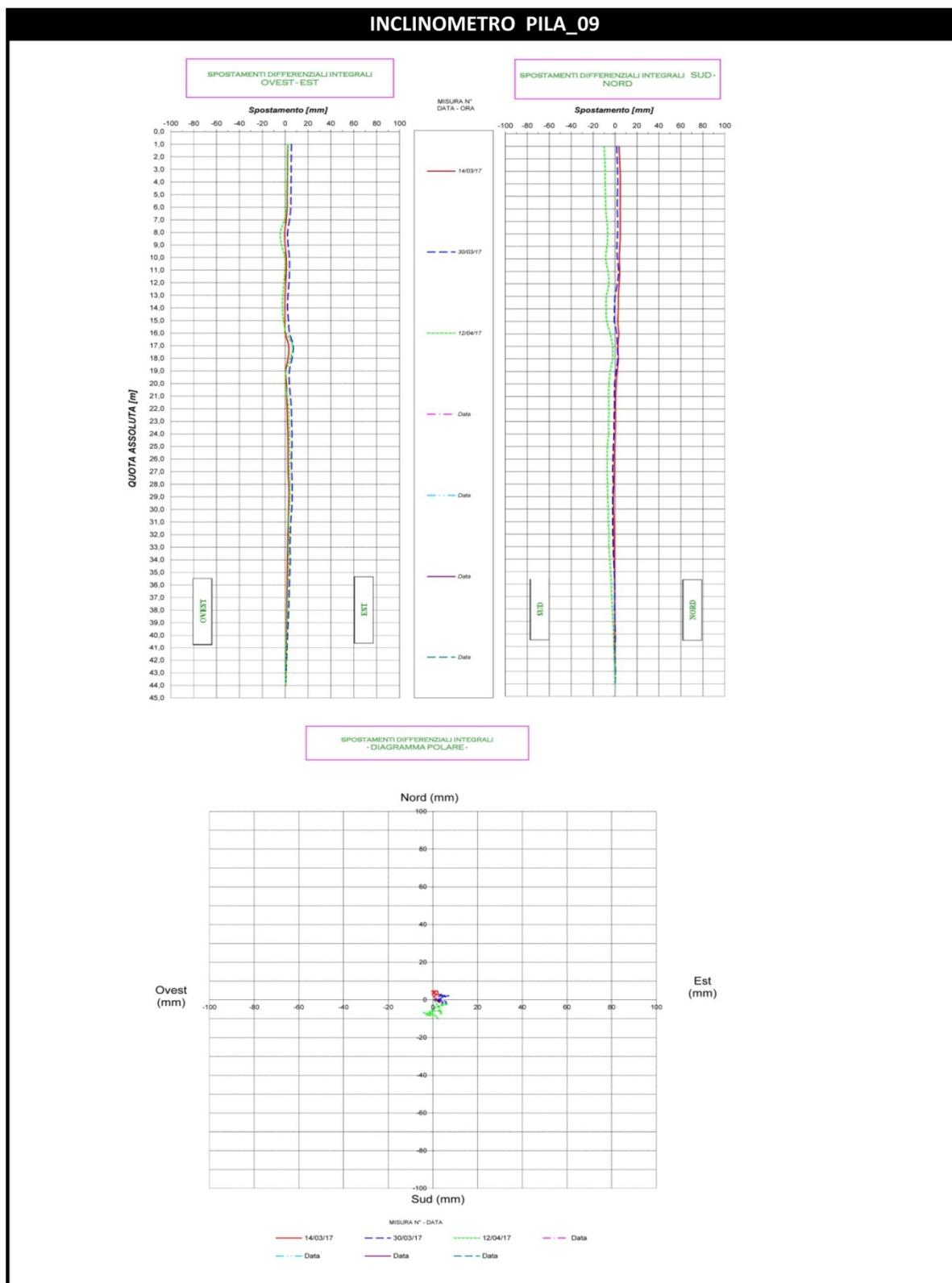


Figura 5.20: dati monitoraggio inclinometro pila 09

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 30 di 81

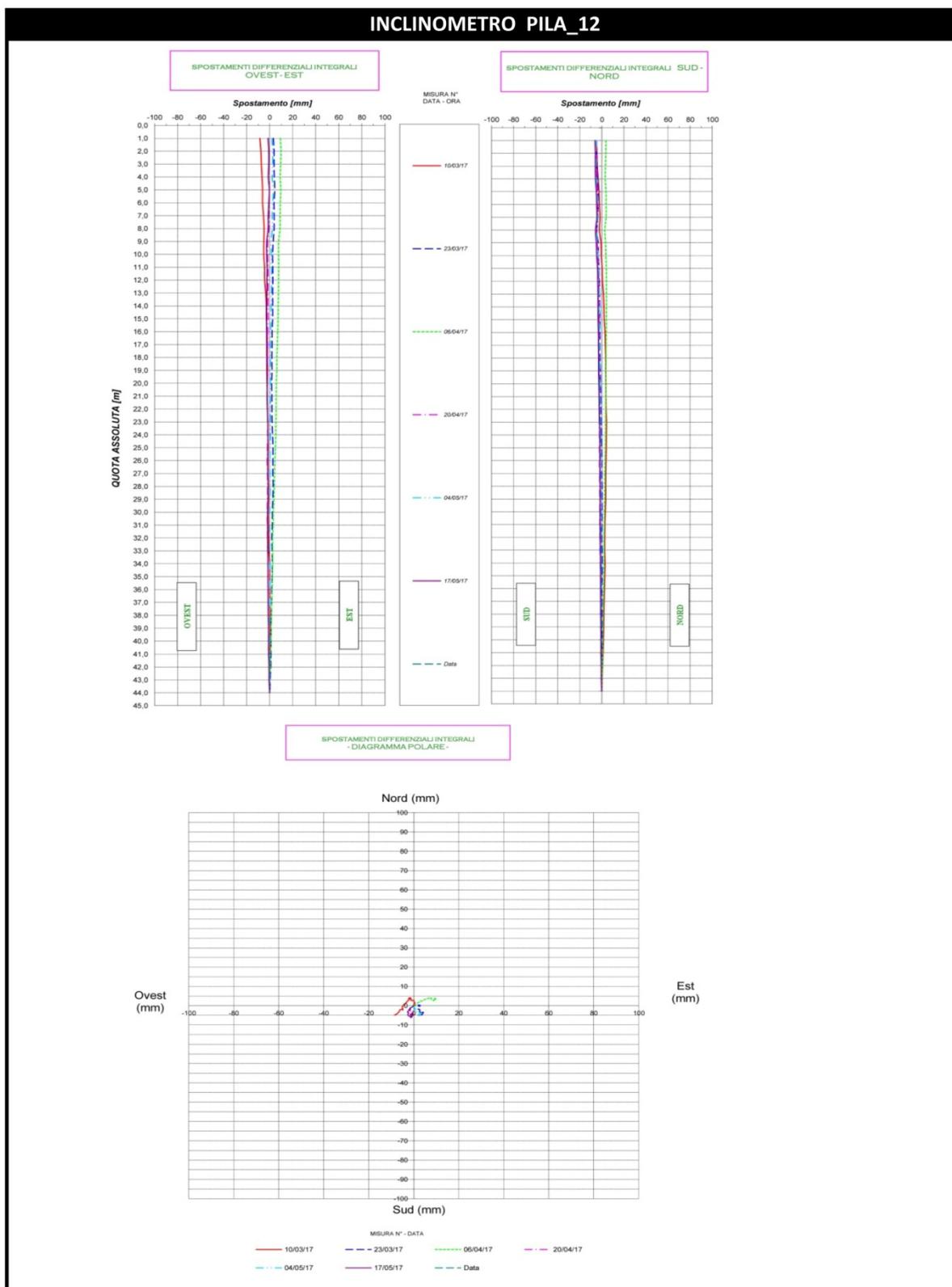


Figura 5.21: dati monitoraggio inclinometro pila 12

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 31 di 81

Le evidenze di monitoraggio ad oggi presentano componenti significative di spostamento sugli inclinometri 01, 02 e 05, dove gli spostamenti hanno principalmente direzione OVEST, ovvero verso valle, con spostamento massimo pari a 13.0 cm (incl_02) a 5 m circa da pc. Sugli inclinometri 06 e pila_07 si riscontrano deformazioni con profondità comprese tra 9 e 13 m circa e con vettori di spostamento orientati verso NORD, NORD-OVEST, anche in questo caso lo spostamento è diretto verso la linea di massima pendenza del versante, mentre lo spostamento massimo è pari a 4.5cm (incl_06). La sezione inclinometrica contraddistinta invece, dalla presenza degli inclinometri 07-08-09 (lato Caltanissetta), presenta deformazioni poco significative se si considera il valore assoluto dello spostamento .

In generale, quindi, ciò che si evidenzia è una connotazione evolutiva nel tempo degli spostamenti lungo tutto il versante del viadotto San Giuliano, con profondità di scivolamento che in alcuni casi interessano gli strati più superficiali del versante ed in altri contesti possono raggiungere profondità importanti, comprese tra 10 e 13 m.

<i>Cod. elab.:</i> 147VI204VI04ZRD007A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – <i>Opere di sottofondazione</i>	<i>Data:</i> Giugno 2017
<i>Nome file:</i> v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	<i>Pagina</i> 32 di 81

5.3 Monitoraggio piezometrico

Al fine di analizzare la possibile correlazione tra gli eventi deformativi del versante con l'innalzamento o l'abbassamento della falda in situ, sono stati realizzati 3 piezometri nelle corrispondenze del versante.

Il PIEZ_P_14 ad acquisizione manuale è un classico piezometro a tubo aperto ed è stato realizzato ad EST della già esistente pila 14 del viadotto S.Giuliano esistente (figura 2.1), mentre i piezometri denominati PIEZ_S1/S2 dotati di corda vibrante e acquisizione dati in remoto h24, sono stati realizzati in direzione OVEST della suddetta pila.

Le differenze che sussistono nella tipologia di strumentazione installata, sia in termini di risposta nel tempo che della grandezza fisica misurata dallo strumento, individuano la quota piezometrica della falda a profondità differenti comprese tra circa 11-12m dal piano campagna per i piezometri a corda vibrante, mentre il piezometro a tubo aperta attesta la profondità della falda a circa 26m.

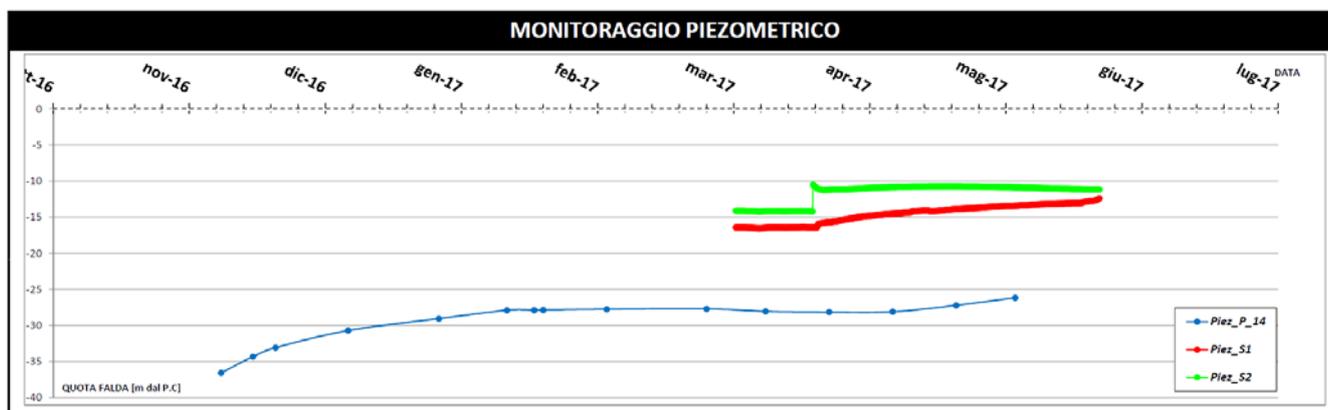


Figura 5.22: dati di monitoraggio piezometrico versante

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 33 di 81

5.4 Sondaggi realizzati

Nella figura seguente si riporta l'ubicazione dei sondaggi eseguiti nella zona in oggetto.

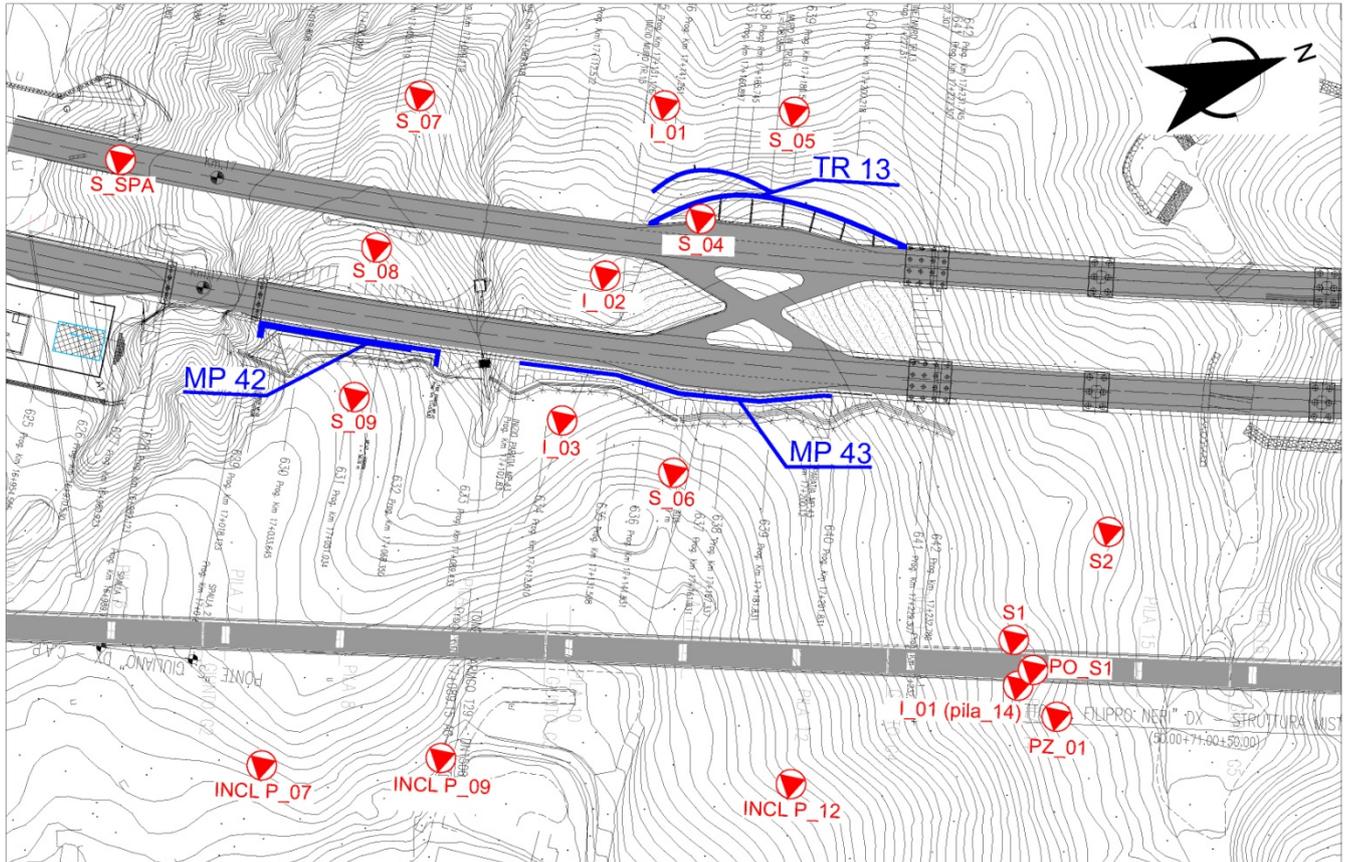


Figura 5.23: ubicazione dei sondaggi

Nella tabella seguente invece si riportano i dati più importanti relativi a ciascun sondaggio. Tali dati sono assolutamente generali e servono per una definizione di massima sull'ubicazione altimetrica del sondaggio, la data di realizzazione, la lunghezza e il riferimento al rapporto di prova per facilitare la consultazione.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 34 di 81

VARIANTE

Tabella 5.1: sintesi delle caratteristiche dei sondaggi eseguiti

Sondaggio	Lunghezza [m]	Data	Rapporto prova [n°]	Quota boccaforo [m.s.l.m]
S-SPA	43	16-17/01/2017	4216	504.4
INCL_P12	45	01-02/02/2017	0417	517.114
INCL_P9	45	03-07/02/2017	0417	529.415
INCL_P7	45	07-09/02/2017	0417	528.134
S1	35	14-16/03/2017	0617	507.25
S2	25	13-14/03/2017	0617	486.644
I1	35.4	10-13/05/2016	1116	483.794
I2	35.4	13-17/05/2017	1116	492.89
I3	35.4	17-19/05/2016	1116	512.72
S4	35	12-13/09/2016	2916	478.713
S5	30	19-20/09/2016	2916	493.97
S6	30	20-21/09/2016	2916	514.356
S7	30	19/09/2016	2916	489.1
S8	30	15-16/09/2016	2916	503.398
S9	30	15/09/2016	2916	515.758
I1	40	04/11/2016	3716	492.684
Pz1	40	11-16/11/2016	3716	492.497
Po_S1	22	11/11/2016	3716	492.500

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 35 di 81

5.5 Prove di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati dei campioni da sottoporre a prove di laboratorio. Le prove condotte sono:

- Prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche (determinazione della massa volumica, massa volumica apparente, contenuto d'acqua naturale, classificazione secondo Raccomandazioni AGI, analisi granulometrica, limiti di consistenza), di seguito sintetizzate come P.F..
- Compressione edometrica (C.E.).
- Taglio diretto (T.D.).
- Taglio residuo (T.R.).
- Triassiale non consolidata e non drenata (U.U.).
- Triassiale consolidata e drenata (C.D.).

Nella tabella seguente si riporta, per ciascun sondaggio, la quota di prelievo dei campioni e le prove a cui sono stati sottoposti.

Tabella 5.2: sintesi delle prove di laboratorio condotte sui diversi campioni prelevati dai diversi sondaggi eseguiti

Sondaggio	Campione	profondità, z [m]	Prove					
			P.F.	C.E.	T.D.	T.R.	U.U.	C.D.
S-SPA	F-C1	-10.25	●	●	●			
S-SPA	F-C2	-20.1	●	●	●	●		
S-SPA	F-C3	-30.15	●	●	●			
S-SPA	F-C5	-40.1	●	●			●	
S-SPA	R-C1	-40.35	●	●	●	●		
S-SPA	F-C6	-42.8	●	●				●
S2	F-C1	-7.65	●	●	●	●		
S2	F-C2	-11.7	●	●	●	●		
S2	F-C3	-21.25	●	●	●	●		
I1	F-C1	-3.15						
I1	F-C2	-6.2	●	●	●			
I1	C-C3	--11.85	●	●	●			
I1	F-C4	-17.6	●	●	●			
I1	C-C5	-25.1	●	●				
I1	F-C6	-35.2	●					
I2	F-C1	-3.15	●	●	●			
I2	F-C2	-6.15	●	●	●	●		
I2	C-C3	-12.15	●	●	●			

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 36 di 81

VARIANTE

Sondaggio	Campione	profondità, z [m]	Prove					
			P.F.	C.E.	T.D.	T.R.	U.U.	C.D.
I2	C-C4	-18.3	●	●			●	●
I2	C-C5	-25.15	●	●			●	
I2	C-C6	-35.2	●	●	●			
I3	F-C1	-3.2						
I3	F-C2	-6.2	●	●	●	●		
I3	C-C3	-12.15	●	●	●	●		
I3	C-C4	-19.7	●	●				●
I3	C-C5	--25.35	●	●	●			
I3	C-C6	-35.2	●	●				

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 37 di 81

6. ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO

6.1 Stratigrafie

Di seguito si riportano in forma sintetica le stratigrafie emerse dai sondaggi realizzati. La finalità di questa illustrazione è quella di poter correlare direttamente la specifica prova di laboratorio con la litologia presente a quella quota.

Tabella 6.1: Stratigrafia sondaggio S-SPA

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-1	Argilla limosa, marnosa, colore marrone, con clasti argillosi sub-arrotondati e lapidei di natura calcarea umida, plastica, poco consistente.
-1÷-43	Argilla marnosa di colore grigio scuro; il litotipo è poco umido, plastico e duro. La struttura è omogenea con presenza di clasti marnosi millimetrici, sub arrotondati.

Tabella 6.2: Stratigrafia sondaggio S1

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-2	Argille limose, struttura indistinta, umido, plastico, colore marrone.
-2÷-35	Argilla brecciata di colore grigio verdastra, secche e dure, con $w_n \ll w_p$

Tabella 6.3: Stratigrafia sondaggio S2

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-3	Argille limose, alterate, con clasti poligenici, colore marrone
-3÷-10.8	Argille marnose di colore grigio brunastro
-10.8÷-14	Argille marnose di colore marrone con $w_n \approx w_p$
-14÷-25	Argilla brecciata di colore grigio verdastra, secche e dure con $w_n \ll w_p$

Tabella 6.4: Stratigrafia sondaggio I1

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-2.5	Argilla limosa, marnosa, struttura indistinta, umida, plastica, poco o moderatamente consistente, di colore grigio
-2.5÷-3.2	Argilla limosa, marnosa, struttura indistinta, umida, plastica, poco o moderatamente consistente, di colore bruno grigiastro
-3.2÷-7.7	Argilla limosa, marnosa, struttura indistinta con presenza di breccia argillosa, umida, plastica, di colore marrone giallastro, da poco consistente (fino a 5m) a moderatamente o molto consistente.
-7.7÷-35.4	Argilla grigia, limosa debolmente marnosa, struttura indistinta, con breccia argillosa, poco umida e poco plastica, generalmente consistente o molto consistente. Tra 12-15m sono presenti livelli (di spessore 2-10cm) di sabbia fine grigiasta in alternanza irregolare con strati argillosi

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 38 di 81

VARIANTE

Tabella 6.5: Stratigrafia sondaggio I2

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-3.2	Limo argilloso di colore grigio bruno, umido, plastico struttura indistinta, da poco a moderatamente consistente
-3.2÷-35.4	Argilla grigia, limosa debolmente marnosa, struttura indistinta, con breccia argillosa, generalmente consistente o molto consistente, talora vi sono passaggi o strati meno consistenti (3-5m, 6.3-7m, 10-11m); a circa 19m vi è un passaggio lapideo (h7cm circa); sono presenti strati marnosi di colore biancastro-grigio chiaro (19-19.5m, 21.4-21.6m, 22.3-22.6m)

Tabella 6.6: Stratigrafia sondaggio I3

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-2.5	Limo argilloso giallastro, umido, plastico struttura indistinta
-2.5÷-35.4	Argilla grigia, limosa debolmente marnosa, struttura indistinta, con breccia argillosa, generalmente consistente o molto consistente, talora vi sono talvolta sono presenti scagliette argillitiche (2.5-3m); più in profondità sono presenti brecce argillose di dimensioni 0.3-0.4cm a spigoli generalmente arrotondati

Tabella 6.7: Stratigrafia sondaggio INCL_P7

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-2.9	Limo argilloso giallastro, umido, plastico struttura indistinta
-2.9÷-45	Argilla grigia, limosa debolmente marnosa, struttura indistinta, talvolta sono presenti scagliette argillitiche; più in profondità sono presenti brecce argillose di dimensioni 0.3-3-4cm a spigoli generalmente arrotondati

Tabella 6.8: Stratigrafia sondaggio INCL_P9

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-3.2	Limo argilloso giallastro, umido, plastico struttura indistinta
-3.2÷-45	Argilla grigia, limosa debolmente marnosa, struttura indistinta, talvolta sono presenti scagliette argillitiche; più in profondità sono presenti brecce argillose di dimensioni 0.3-3-4cm a spigoli generalmente arrotondati

Tabella 6.9: Stratigrafia sondaggio INCL_P12

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-3.8	Limo argilloso giallastro, umido, plastico struttura indistinta
-3.8÷-45	Argilla grigia, limosa debolmente marnosa, struttura indistinta, talvolta sono presenti scagliette argillitiche; più in profondità sono presenti brecce argillose di dimensioni 0.3-3-4cm a spigoli generalmente arrotondati

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 39 di 81

Tabella 6.10: Stratigrafia sondaggio S4

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-1	Limo argilloso a struttura indistinta umida plastica, colore grigio bruno con tonalità marrone chiaro
-1÷-35	Argilla limosa, marnosa, di colore grigio, tra 1 e 4m sono presenti strati centimetrici di colore marrone distribuiti irregolarmente; la struttura è indistinta, con presenza di breccia argillosa, marnoso-argillosa ed in subordine lapidea; il litotipo è generalmente consistente o molto consistente. Talvolta sono presenti concrezioni di calcite secondaria. Alla profondità di circa 8m vi è un frammento lapideo calcareo, alla profondità di 13.8m vi è una discontinuità. A vari livelli (14.3-15, 18.2-18.7, 25.4-25.5, 30.8-31) sono presenti livelli argilloso-marnosi laminati irregolarmente con talvolta livelli marnosi argillosi

Tabella 6.11: Stratigrafia sondaggio S5

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-2.1	Limo argilloso a struttura indistinta umida plastica, colore marrone, da poco a moderatamente consistente
-2.1÷-30	Argilla limosa, marnosa, di colore grigio, la struttura è indistinta, con presenza di breccia argillosa, marnoso-argillosa ed, in subordine, lapidea; il litotipo è da moderatamente consistente (fino a circa 2m di profondità) a molto consistente. Il litotipo è molto umido e poco plastico (allo stato naturale). Sono presenti a vari livelli (5.9-6m e 13.3-13.5m) strati di argilla marnosa dove è talvolta visibile una laminazione irregolare.

Tabella 6.12: Stratigrafia sondaggio S6

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-1.1	Limo argilloso, marnoso, struttura indistinta, poco umido, poco plastico colore marrone chiaro, consistente
-1.1÷-3.9	Limo argilloso, marnoso, di colore marrone giallastro, struttura indistinta con presenza di clasti argillosi, marnosi ed in subordine lapidei (dim. $0.5 < \varnothing < 3-4\text{cm}$) umido, allo stato naturale poco plastico, consistente. Tra 3.8 e 5m sono presenti strati centimetrici, di colore grigio.
-3.9÷-30	Argilla limosa, marnosa, di colore grigio, tra 5 e 8.7m sono presenti strati centimetrici di colore marrone giallastro. La struttura è indistinta, con presenza di breccia argillosa, marnoso-argillosa ed, in subordine, lapidea; il litotipo è, generalment, da consistente a molto consistente. Il litotipo è poco umido e poco plastico (allo stato naturale). Sono presenti rari livelli di argilla marnosa dove è talvolta visibile una laminazione irregolare.

Tabella 6.13: Stratigrafia sondaggio S7

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-2.1	Limo argilloso, marnoso, struttura indistinta, umido, plastico, colore marrone, da poco a moderatamente consistente
-2.1÷-30	Argilla limosa, marnosa, di colore grigio, la struttura è indistinta, con presenza di breccia argillosa, marnoso-argillosa ed, in subordine, lapidea; il litotipo è da moderatamente consistente (fino a circa 6m di profondità) a molto consistente. Il litotipo è poco umido e poco plastico (allo stato naturale). Talvolta sono presenti concrezioni di calcite secondaria. Sono presenti a vari livelli (4-4.4m, 12.25m, 8.85m, 11.1m, 14.9m, 16m) strati di argilla marnosa dove è visibile una laminazione irregolare.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 40 di 81

VARIANTE

Tabella 6.14: Stratigrafia sondaggio S8

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-1.1	Limo argilloso, marnoso, struttura indistinta, umido, plastico, colore marrone
-1.1÷-30	Argilla limosa, marnosa, di colore grigio, sono presenti tra 1.1 e 2.2m di profondità strati centimetrici, dai contorni sfumati, di colore marrone; la struttura è indistinta, con presenza di breccia argillosa, marnosa ed, in subordine, lapidea; il litotipo è da moderatamente consistente (fino a circa 3m di profondità) a molto consistente. Il litotipo è inizialmente umido e plastico (fino a circa 2.5m) poi diviene poco umido e poco plastico (allo stato naturale). Talvolta sono presenti concrezioni di calcite secondaria. Tra 11-11.4m è presente uno strato di argilla marnosa con argillite in scagliette centimetri che; tra 17.4-17.5m vi è uno strato con arenarie verdastre con vena di calcite secondaria. Sono altresì presenti a vari livelli (5-6m, 12.25m, 13.3m, 14.2m, 25.3m, 27.5m) strati di argilla marnosa dove è visibile una laminazione irregolare, con presenza di strati marnosi di colore grigio chiaro (5.15-5.3m, 5.75-5.8m).

Tabella 6.15: Stratigrafia sondaggio S9

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-0.4	Detrito calcareo
-0.4÷-2.2	Limo argilloso, marnoso, struttura indistinta, umido, plastico, colore marrone da circa 1m di profondità sono distinguibili clasti argillosi centimetrici
-2.2÷-30	Argilla limosa, marnosa, di colore grigio, sono presenti (2.5-2.6m e 3.8-3.85m) strati di colore marrone; la struttura è indistinta, con presenza di breccia argillosa, marnoso-argillosa ed, in subordine, lapidea. Il litotipo è generalmente consistente o molto consistente. Talvolta sono presenti concrezioni di calcite secondaria. Alla profondità di circa 12.5m sono presenti frammenti lapidei (\varnothing 3-4cm) a spigoli vivi; a 15.2m vi è un sottile strato (1-2cm) di sabbia molto fine di colore bianco grigiastro. Tra 15.2m e 16m è presente un livello argilloso-marnoso in cui è visibile una laminazione; a 18.2m vi è un blocco lapideo (\varnothing =6-8cm).

Tabella 6.16: Stratigrafia sondaggio I1_PILA14

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-1.4	Argilla limosa, marnosa, colore marrone, struttura indistinta con clasti argillosi sub-arrotondati (dim $0.3 < \varnothing < 1$ cm) e lapidei di natura calcarea (dim $0.3 < \varnothing < 3-4$ cm), umida, plastica, poco consistente.
-1.4÷-3.0	Argilla marnosa di colore grigio chiaro. Il litotipo è umido e plastico consistente; la struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim $0.3 < \varnothing < 1$ cm) su arrotondati.
-3.0÷-11.8	Argilla marnosa di colore grigio chiaro, con, talora, tonalità grigio più scuro tendenti ad aumentare con la profondità. Il litotipo è poco umido e plastico, molto consistente. La struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim $0.3 < \varnothing < 1$ cm) sub arrotondati con generale predominanza di clasti inferiori al centimetro. Tra 3.4 e 3.8m vi è uno strato di calcare lapideo biancastro recuperato in frammenti a spigoli vivi (dim $0.3 < \varnothing < 3-5$ cm) e matrice costituita da sabbia sottile. Sono presenti rari sottili strati marnoso-argillosi bianco grigiastri di spessore 5-10cm.
-11.8÷-15	Argilla marnosa di colore marrone, marrone grigiastro con talora straterelli grigio chiaro (c.a.1cm); il litotipo umido e plastico è, generalmente, molto consistente. La struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim $0.3 < \varnothing < 1$ cm) sub arrotondati con generale predominanza di clasti inferiori al centimetro. Sono presenti due superfici di discontinuità alla profondità di 13.6m e alla profondità di 14.5m, con, in brevi tratti, diminuzione della

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano –	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Pagina 41 di 81

VARIANTE

Profondità [m]	Descrizione litologica
	consistenza.
-15÷-40	Argilla marnosa di colore grigio scuro; il litotipo è poco umido e plastico, molto consistente. La struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim 0.3<Ø<1cm) sub arrotondati con generale predominanza di clasti inferiori al centimetro

Tabella 6.17: Stratigrafia sondaggio Pz1_PILA14

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-1.4	Argilla limosa, marnosa, colore marrone, struttura indistinta con clasti argillosi sub-arrotondati (dim 0.3<Ø<1cm) e lapidei di natura calcarea (dim 0.3<Ø<3-4cm), umida, plastica, poco consistente.
-1.4÷-3.0	Argilla marnosa di colore grigio chiaro. Il litotipo è umido e plastico consistente; la struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim 0.3<Ø<1cm) sub arrotondati.
-3.0÷-11.8	Argilla marnosa di colore grigio chiaro, con, talora, tonalità grigio più scuro tendenti ad aumentare con la profondità. Il litotipo è poco umido e plastico, molto consistente. La struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim 0.3<Ø<1cm) sub arrotondati con generale predominanza di clasti inferiori al centimetro. Sono presenti rari sottili strati marnoso-argillosi bianco grigiastri di spessore 5-10cm.
-11.8÷-15	Argilla marnosa di colore marrone, marrone grigiastro con talora straterelli grigio chiaro (c.a.1cm); il litotipo umido e plastico è, generalmente, molto consistente. La struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim 0.3<Ø<1cm) sub arrotondati con generale predominanza di clasti inferiori al centimetro.
-15÷-40	Argilla marnosa di colore grigio scuro; il litotipo è poco umido e plastico, molto consistente. La struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim 0.3<Ø<1cm) sub arrotondati con generale predominanza di clasti inferiori al centimetro. Sono presenti talvolta strati marnoso-argillosi bianco-grigiastri di spessore 5-10cm.

Tabella 6.18: Stratigrafia sondaggio Po_S1_PILA14

Profondità [m]	Descrizione litologica
0÷-0.65	Calcestruzzo
-0.65÷-12.0	Vuoto (fondazione a pozzo)
-12.0÷-13	Calcestruzzo
-13÷-15	Argilla marnosa di colore marrone, e grigiastro con straterelli marroni (circa 1cm); il litotipo umido e plastico è, generalmente, molto consistente. La struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim 0.3<Ø<1cm) sub arrotondati con generale predominanza di clasti inferiori al centimetro.
-15÷-22	Argilla marnosa di colore grigio scuro; il litotipo è poco umido e plastico, molto consistente. La struttura è indistinta con presenza di clasti argillosi (dim 0.3<Ø<1cm) sub arrotondati con generale predominanza di clasti inferiori al centimetro.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 42 di 81

6.2 Prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche

Sui campioni prelevati nei sondaggi eseguiti è stata valutata la massa volumica, il contenuto d'acqua naturale ed i limiti di consistenza.

Questi valori sono stati riassunti nella tabella seguente in funzione delle unità geotecniche rilevabili dall'analisi delle stratigrafie.

Tabella 6.19: Risultati delle prove fisiche effettuate sui campioni prelevati

Sondaggio	Campione	Profondità [m]	U.G.	γ_N [kN/m ³]	w _L [%]	w _p [%]	w _n [%]	IP [%]	IC [%]
I1	C2	06.20	TRVBa_1	20.91	51.60	29.80	21.80	20.90	48.4
I1	C3	11.85	TRVBa_2	20.54	37.40	21.00	16.40	14.00	62.6
I1	C4	17.60	TRVBa_2	21.63	48.40	29.50	18.90	16.50	51.6
I1	C5	25.10	TRVBa_2	21.89	47.10	25.10	22.0	16.00	52.9
I1	C6	35.20	TRVBa_2	21.99	45.40	24.80	20.60	16.70	54.6
I2	C1	03.15	TRVBa_1	20.42	43.70	23.30	20.40	19.30	56.3
I2	C2	06.15	TRVBa_2	21.56	59.70	29.47	22.40	17.90	40.3
I2	C3	12.15	TRVBa_2	20.62	48.00	26.90	21.10	20.00	52
I2	C4	18.30	TRVBa_2	21.94	48.90	27.70	21.20	17.20	51.1
I2	C5	25.15	TRVBa_2	22.10	44.40	23.40	21.00	15.60	55.6
I2	C6	35.20	TRVBa_2	21.36	47.30	26.90	20.40	16.40	52.7
I3	C2	06.20	TRVBa_2	21.68	40.60	22.60	18.00	17.10	59.4
I3	C3	12.15	TRVBa_2	21.57	46.70	26.00	20.70	18.20	53.3
I3	C4	19.70	TRVBa_2	21.51	53.30	28.40	24.90	19.10	46.7
I3	C5	25.40	TRVBa_2	20.98	47.60	27.20	20.40	20.90	52.4
I3	C6	35.20	TRVBa_2	21.56	45.00	26.30	18.70	14.50	55
S2	C1	07.65	TRVBa_1	19.94	52.00	27.60	24.40	25.50	48
S2	C2	11.60	TRVBa_2	21.17	45.40	24.50	20.90	19.70	54.6
S2	C3	21.175	TRVBa_2	21.71	49.60	25.30	24.30	17.00	50.4
S-SPA	C1	10.25	TRVBa_2	21.51	43.80	23.20	20.60	15.00	56.2
S-SPA	C2	20.10	TRVBa_2	21.04	45.50	23.70	21.80	16.60	54.5
S-SPA	C3	30.125	TRVBa_2	21.26	46.10	24.50	21.60	17.40	53.9
S-SPA	C4	35.15	TRVBa_2	21.66	45.90	23.10	22.80	16.80	54.1
S-SPA	C5	40.05	TRVBa_2	21.30	53.50	23.50	30.00	15.60	46.5
S-SPA	C6	42.30	TRVBa_2	21.44	49.90	25.10	24.80	18.90	50.1

LL = limite liquido; LP = limite plastico; Wn = contenuto d'acqua iniziale; IP = indice di plasticità; γ_N = peso dell'unità di volume totale

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 43 di 81

Per quanto attiene al peso di volume del materiale, per l'unità TRVBa_1 il valore medio rilevato sui provini è pari a 20.4kN/m^3 , mentre per quanto attiene l'unità TRVBa_2 (sia sottunità a che b), il valore medio è pari a 21.5kN/m^3 .

Nella figura seguente è rappresentata la distribuzione statistica dell'indice di consistenza.

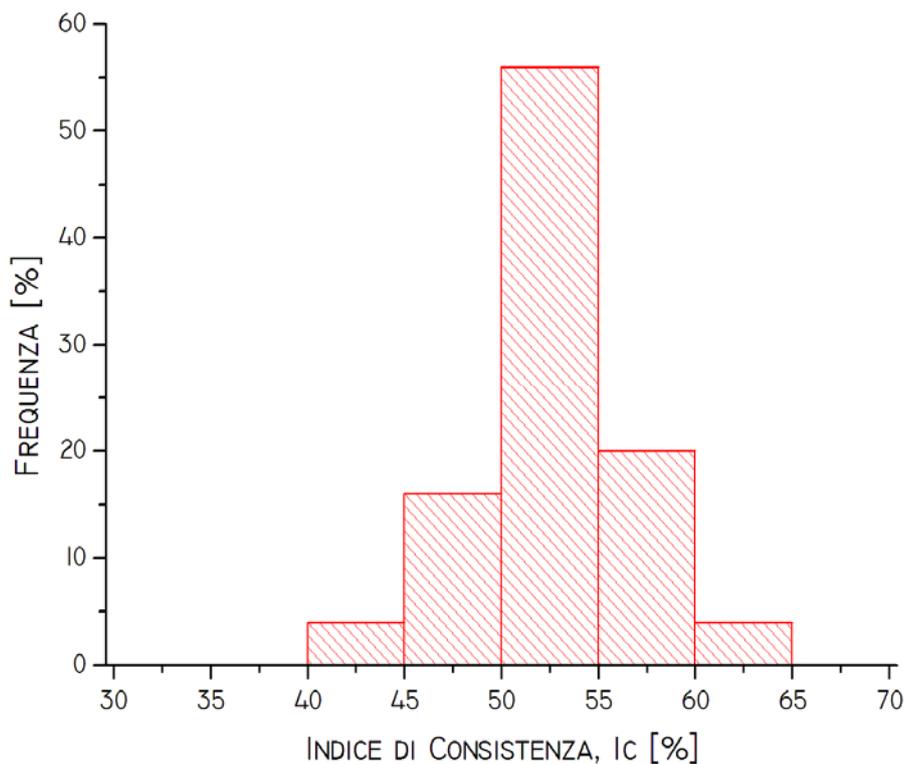


Figura 6.1: Distribuzione statistica dell'indice di consistenza

I valori più frequenti dell'indice di consistenza sono compresi tra 0.50 e 0.55, che consentono quindi di classificare le argille come plastiche.

Non si evidenziano differenze significative nell'indice di plasticità tra i campioni prelevati vicino alla superficie e quelli in profondità.

I valori precedentemente ricavati sono riportati sulla Carta di Plasticità di Casagrande (rif. figura seguente).

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 44 di 81

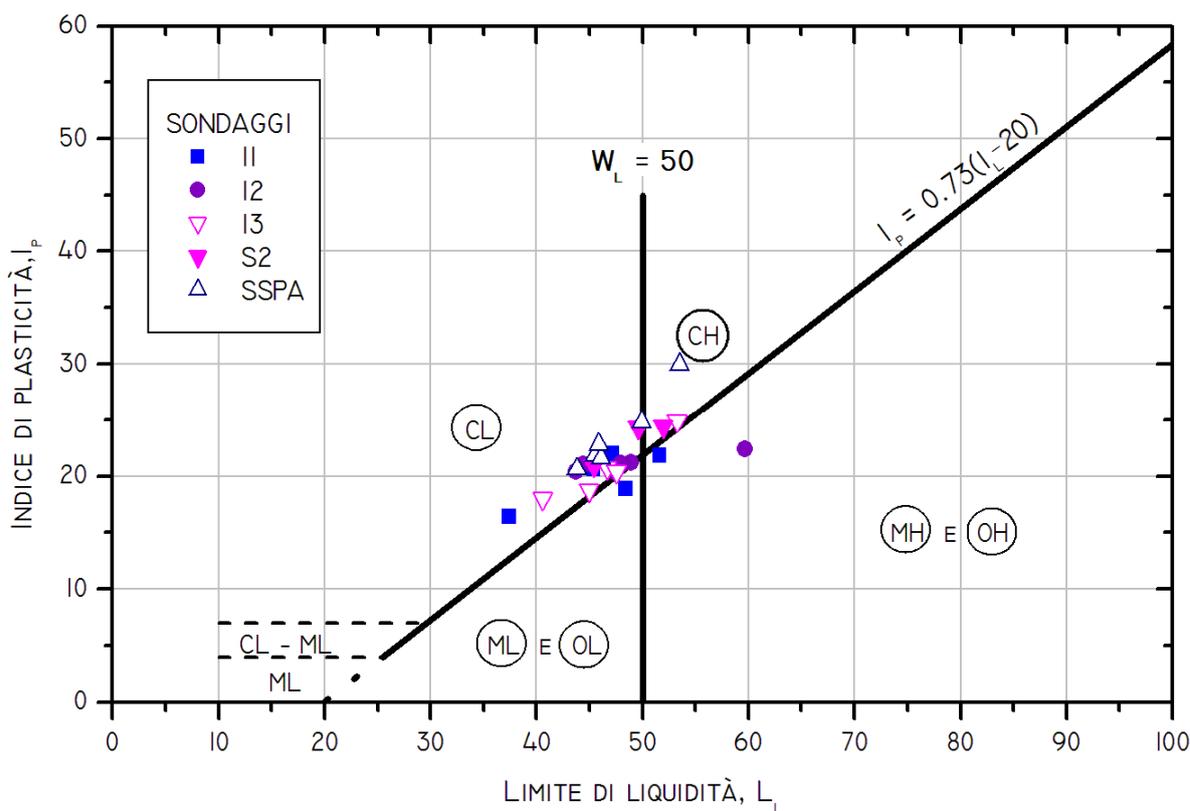


Figura 6.2: Carta di plasticità con raffigurati i campioni prelevati nei diversi sondaggi

Dall'esame del diagramma precedente si osserva che la maggior parte dei campioni ricade nel campo delle argille inorganiche di media plasticità.

Di seguito si riportano in forma tabellare i risultati delle analisi granulometriche condotte.

Tabella 6.20: Risultati delle analisi granulometriche

Sondaggio	Campione	Profondità [m]	U.G.	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla
I1	C2	06.20	TRVBa_1	1.26	10.47	40.88	47.39
I1	C3	11.85	TRVBa_2	0.01	34.22	37.51	28.26
I1	C4	17.60	TRVBa_2	3.06	10.29	48.70	37.95
I1	C5	25.10	TRVBa_2	1.38	11.36	58.57	28.68
I1	C6	35.20	TRVBa_2	2.59	11.83	48.86	36.72
I2	C1	03.15	TRVBa_1	1.79	11.45	52.79	33.97
I2	C2	06.15	TRVBa_2	1.18	9.64	59.70	29.47

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 45 di 81

VARIANTE

Sondaggio	Campione	Profondità [m]	U.G.	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla
I2	C3	12.15	TRVBa_2	0.86	9.22	59.09	30.83
I2	C4	18.30	TRVBa_2	0.52	7.57	63.65	28.26
I2	C5	25.15	TRVBa_2	2.00	17.15	56.60	24.26
I2	C6	35.20	TRVBa_2	1.88	11.33	49.29	37.51
I3	C2	06.00	TRVBa_2	1.26	19.29	56.81	22.65
I3	C3	12.15	TRVBa_2	1.32	9.80	51.91	36.97
I3	C4	19.70	TRVBa_2	0.62	9.04	57.27	33.13
I3	C5	25.40	TRVBa_2	1.64	8.01	54.77	35.58
I3	C6	35.20	TRVBa_2	1.35	8.34	59.16	31.15
S2	C1	07.65	TRVBa_1	1.51	9.47	43.57	45.45
S2	C2	11.60	TRVBa_2	1.22	9.46	52.51	36.80
S2	C3	21.175	TRVBa_2	1.70	24.28	43.65	30.26
S-SPA	C1	10.25	TRVBa_2	0.85	12.34	62.54	24.28
S-SPA	C2	20.10	TRVBa_2	0.78	9.18	59.35	30.69
S-SPA	C3	30.125	TRVBa_2	0.65	8.10	54.69	36.56
S-SPA	C4	35.15	TRVBa_2	1.59	8.61	61.80	28
S-SPA	C5	40.05	TRVBa_2	0.90	9.15	54.51	35.45
S-SPA	C6	42.80	TRVBa_2	1.62	8.39	55.14	34.86

Dall'analisi granulometrica, si evince che la percentuale di limo è quasi sempre superiore rispetto a quella dell'argilla, pertanto il materiale può essere classificato come limo-argilloso.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 46 di 81

6.3 Prove edometriche

Dalle prove edometriche sono stati ricavati i valori del coefficiente di consolidazione c_v e del modulo edometrico E_{ed} . Di seguito ri riportano i risultati in funzione della pressione di riferimento.

Tabella 6.21: Risultati delle prove edometriche

Sondaggio	Campione	U.G.	Profondità [m]	Pressione [MPa]	E_{ed} [MPa]	K [m/s]	C_v [mm ² /s]
I1	C2	TRVBa_1	6.20	0.392	12.145	3.95E-08	4.8E-02
				0.784	15.914	9.37E-09	1.46E-02
				1.569	25.273	5.23E-09	1.29E-02
				3.138	33.315	2.62E-09	8.10E-03
I1	C5	TRVBa_2	25.10	0.784	24.750	1.05E-08	2.60E-02
				1.569	44.201	6.26E-09	2.71E-02
				3.138	76.171	3.29E-09	2.41E-02
I2	C1	TRVBa_1	03.15	0.784	14.887	2.03E-08	3.33E-02
				1.569	27.920	1.05E-08	2.79E-02
				3.138	50.052	5.50E-09	2.53E-02
I2	C2	TRVBa_2	06.15	0.196	8.679	2.80E-07	2.45E-01
				0.392	12.453	2.63E-08	3.27E-02
				0.784	18.951	1.34E-08	2.51E-02
				1.569	31.572	6.76E-09	2.05E-02
				3.138	54.108	3.93E-09	1.99E-02
I3	C2	TRVBa_2	06.20	0.196	8.796	1.61E-07	1.42E-01
				0.392	14.973	1.01E-07	1.50E-01
				0.784	23.420	6.34E-08	1.46E-01
				1.569	36.072	4.34E-08	1.51E-01
				3.138	52.655	3.55E-08	1.76E-01
I3	C6	TRVBa_2	35.20	0.196	14.973	4.47E-08	6.8E-02
				0.392	18.591	1.79E-08	3.36E-02
				0.784	24.140	1.08E-08	2.60E-02
				1.569	37.901	6.23E-09	2.31E-02
				3.138	63.527	3.48E-09	2.12E-02

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 47 di 81

Di seguito si riporta l'andamento della permeabilità con la profondità. Quest'ultima è stata assunta non quella di prelievo del campione, ma quella corrispondente alla pressione di prova. Ai fini delle presenti valutazioni, sono state considerate solo quelle con una pressione inferiore a quella corrispondente ad una altezza di 40m.

Sulla base dei diversi valori è stata definita infine una curva di interpolazione. Nel grafico riportato nella figura seguente, a fini illustrativi, sono stati riportati anche i valori di permeabilità estratti dalle prove edometriche del P.E; questi valori vanno a validare la curva interpolatrice.

Tali dati sono compresi nell'intervallo dei valori di permeabilità per i limi argillosi (10^{-6} m/s ÷ 10^{-8} m/s).

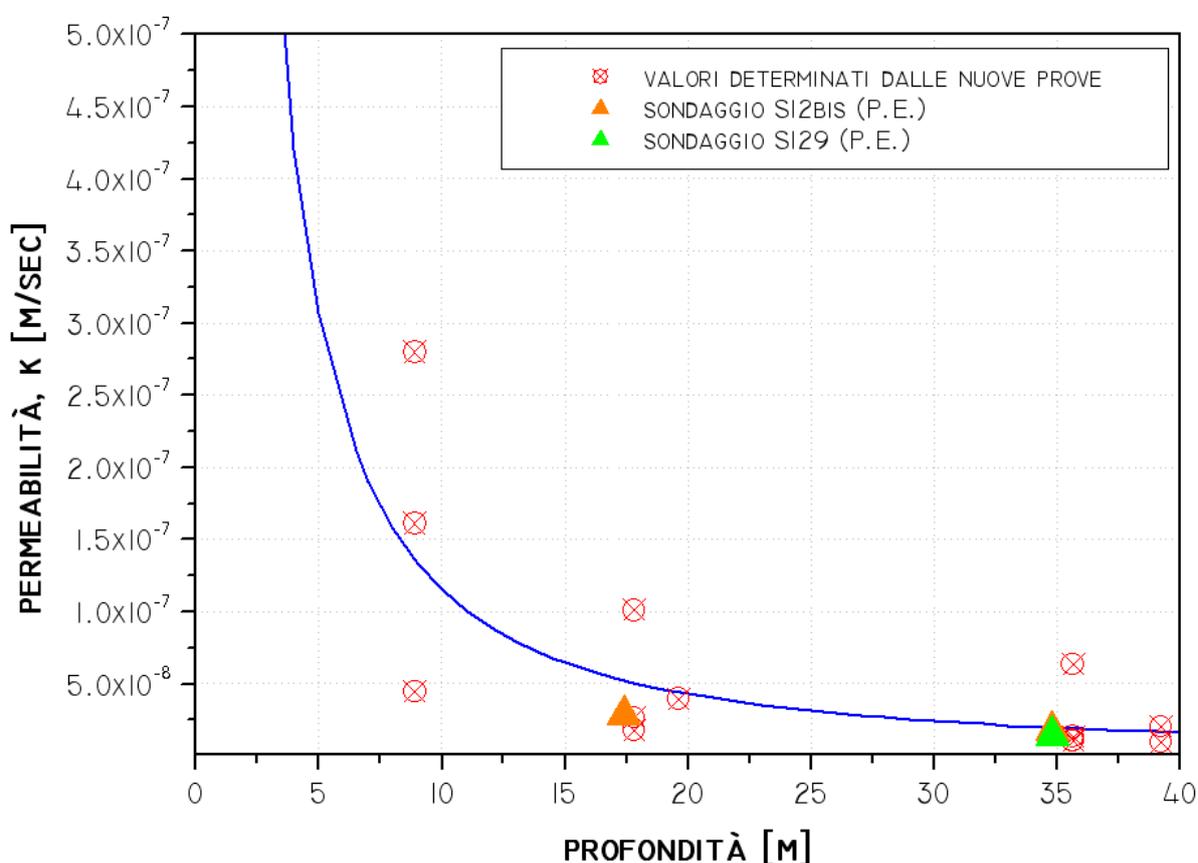


Figura 6.3: andamento dei valori di permeabilità con la profondità

Sulla base di questa curva, si assumono pertanto i valori medi per gli spessori delle varie unità geotecniche coinvolte, quali valori caratteristici.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 48 di 81

6.4 Prove di taglio diretto

Di seguito si riportano i risultati ottenuti da queste prove. In totale sono state eseguite n.17 prove. La distinzione è stata effettuata sulla base delle stratigrafie di ciascun sondaggio attribuendo le argille limose superficiali all'unità TRVBa_1 e le argille marnose all'unità TRVBa_2. La distinzione tra la sottounità TRVBa_2a e TRVBa_2b è fatta partendo dalla distribuzione dei valori con la profondità.

Tabella 6.22: sintesi dei risultati delle prove di taglio diretto

Sondaggio	profondità [m]	U.G.	c [kPa]	ϕ [°]
S-SPA	10.25	TRVBa_2	30	30
S-SPA	20.25	TRVBa_2	87.8	18.2
S-SPA	30.125	TRVBa_2	59.3	20.9
S-SPA	40.05	TRVBa_2	67.6	19.4
I1	6.2	TRVBa_1	41.5	15.8
I1	11.85	TRVBa_2	14.3	26.6
I1	17.6	TRVBa_2	55	25
I2	3.15	TRVBa_1	28.5	25.5
I2	6.15	TRVBa_2	12.9	32.2
I2	12.15	TRVBa_2	19.1	23.8
I2	35.2	TRVBa_2	73.5	26
I3	6.2	TRVBa_2	39.5	27.4
I3	12.15	TRVBa_2	34.7	24.6
I3	25.4	TRVBa_2	18	21
S2	7.65	TRVBa_1	17.7	21.1
S2	11.6	TRVBa_2	35.1	21.9
S2	21.175	TRVBa_2	45.2	23.9

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 49 di 81

6.5 Prove di taglio residuo

Con il medesimo approccio seguito per le prove di taglio diretto, di seguito si riportano i risultati delle prove di taglio residuo. In totale sono state realizzate n.9 prove.

Tabella 6.23: sintesi dei risultati delle prove di taglio residuo

Sondaggio	profondità [m]	U.G.	c [kPa]	ϕ [°]
S-SPA	20.1	TRVBa_2	46	15.5
S-SPA	40.05	TRVBa_2	41.8	11.9
I1	6.2	TRVBa_2	11.9	8.8
I2	6.15	TRVBa_2	9.6	20.4
I3	6.2	TRVBa_2	15	13.8
I3	12.15	TRVBa_2	12.3	21.4
S2	7.65	TRVBa_1	7.6	15.3
S2	11.6	TRVBa_2	30.4	7.9
S2	21.175	TRVBa_2	42.2	13.3

Per l'unità TRVBa_1, c'è un sola prova a disposizione, pertanto il valore della coesione è di 7.6kPa, mentre l'angolo di attrito è di 15.3°.

Per l'unità TRVBa_2 il valore medio della coesione si attesta su 26.2kPa, mentre per l'angolo di attrito è di 14.1°.

6.6 Prove triassiali consolidate e drenate

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le prove triassiali eseguite in condizioni consolidate e drenate. In totale sono state eseguite n.3 prove.

Tabella 6.24: sintesi dei risultati delle prove triassiali consolidate drenate

Sondaggio	profondità [m]	U.G.	c [kPa]	ϕ [°]
S-SPA	42.8	TRVBa_2	33	19.4
I2	18.3	TRVBa_2	50	24.3
I3	19.7	TRVBa_2	23	26.8

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 50 di 81

I valori ricavati da queste prove sono analizzati insieme ai dati ricavati dalle prove di taglio diretto (paragrafo 6.3).

Per l'unità TRVBa_1 i valori minimi per la coesione e l'angolo di attrito, sono rispettivamente di 28.5kPa e 15.8°. I valori medi invece si attestano rispettivamente su 35kPa e 20.7°.

Per quanto attiene l'unità TRVBa_2 i valori disponibili sono stati diagrammati in funzione della profondità al fine di valutare l'influenza di questa sulle caratteristiche meccaniche. Nella figura seguente si riporta l'andamento.

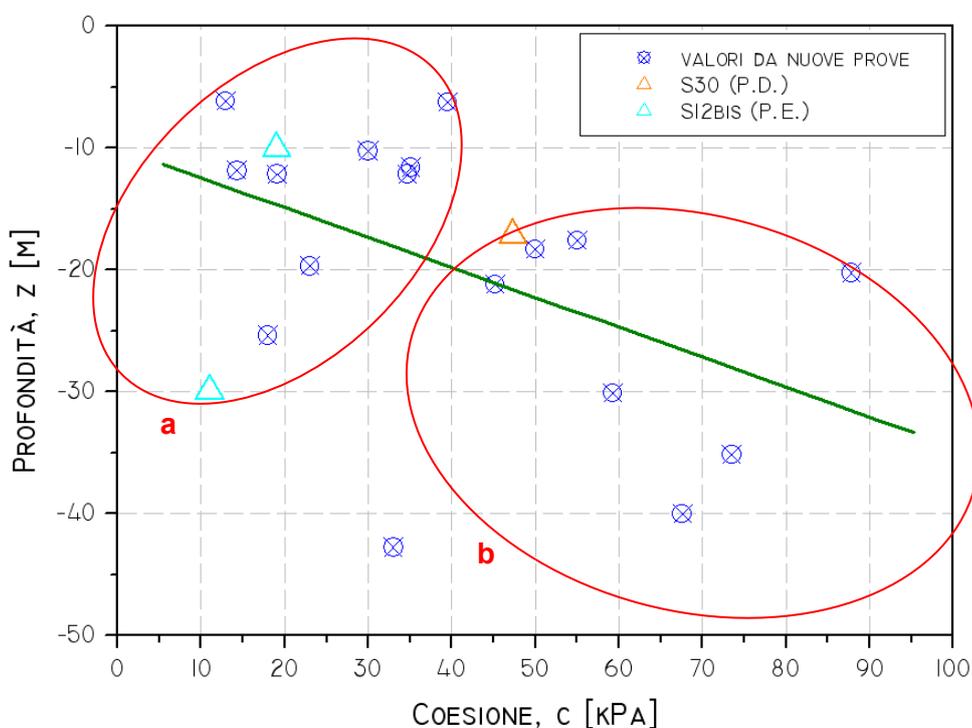


Figura 6.4: variazione della coesione con la profondità

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 51 di 81

VARIANTE

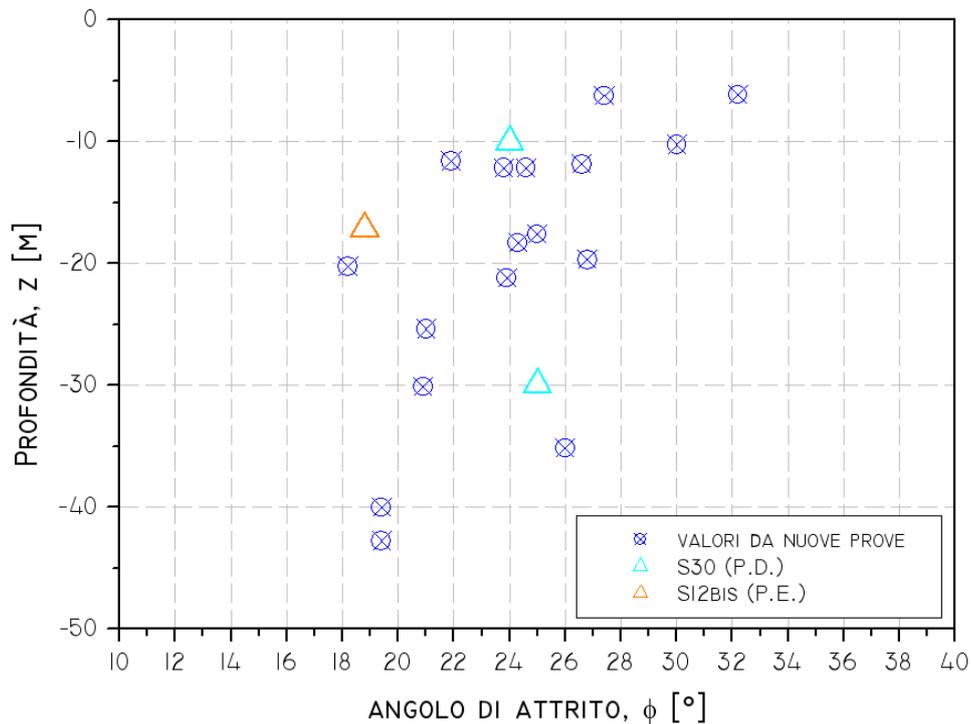


Figura 6.5: variazione dell'angolo di attrito con la profondità

Nei grafici precedenti sono stati inseriti anche i valori ricavati dalle precedenti fasi progettuali a conferma del fatto che i valori rientrano nello stesso intervallo di dati delle nuove prove.

Dai grafici sopra riportati si osserva che per la coesione vale una lieve correlazione lineare con la profondità. In particolare è possibile individuare due serie di valori (evidenziate nel grafico con linee di colore rosso ed individuate dalla lettera a e b. La zona, corrispondente ad una fascia più superficiale del materiale (identificata con la lettera a, pertanto l'acronimo diventa TRVBa_2a), ha valori di coesione minori (valore medio circa 25kPa), mentre la zona più profonda (identificata dalla lettera b – TRVBa_2b) ha valori di coesione maggiore (valore medio circa 60kPa).

Per quanto attiene invece l'angolo di attrito, la distribuzione di valori rispetto al valore medio (24°) è abbastanza limitata, con una variazione di $\pm 4^\circ$.

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 52 di 81

6.7 Prove triassiali non consolidate e non drenate

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le prove triassiali eseguite in condizioni non consolidate e non drenate. In totale sono state eseguite n.3 prove.

Tabella 6.25: sintesi dei risultati delle prove triassiali non consolidate non drenate

Sondaggio	profondità [m]	U.G.	cu [kPa]
S-SPA	35.15	TRVBa_2	414
I2	18.3	TRVBa_2	442
I2	25.15	TRVBa_2	400

Il valore medio ottenuto corrisponde a 419kPa. Non si individua una corrispondenza con la profondità tale da poter considerare una variabilità della coesione non drenata in funzione della profondità.

I valori di coesione non drenata ottenuti dalle prove di laboratorio, si riferiscono a campioni prelevati a profondità maggiori di 18.0m ca, ben distanti dal piano campagna soggetto ai fenomeni di scivolamento superficiale e/o deformazione. Considerando inoltre che i valori di cu ottenuti, risultano essere maggiori rispetto a quelli di progettazione esecutiva, a favore di sicurezza ed in un ottica prettamente conservativa, tali valori verranno presi come riferimento anche per questa fase progettuale.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 53 di 81

7. ANALISI A RITROSO

I dati di monitoraggio evidenziano movimenti certi fino ad una profondità media di 13m da piano campagna per il settore centrale del nuovo viadotto S.Giuliano con direzione ortogonale all'asse stradale. Per quanto riguarda la nuova carreggiata Nord, la direzione degli spostamenti rilevati dagli inclinometri ubicati a tergo della paratia mostrano una direzione controllata dalla morfologia del versante. Lo stesso vale anche per la pila 14 del viadotto esistente che manifesta uno scivolamento profondo a 15m con direzione quasi parallela all'asse stradale.

Visto che i fenomeni di instabilità sono correlati con le precipitazioni e tenendo conto della natura dei terreni, le analisi sono state eseguite per condizioni sature.

In questo capitolo si riportano una serie analisi di stabilità globale (con il codice SLIDE di Rocscience Inc.[®], versione 7.013, in accordo con il metodo Bishop semplificato) condotte con la finalità di valutare a ritroso la corrispondenza tra la situazione rilevata dalla strumentazione installata dal Contraente Generale e i parametri geotecnici più rappresentativi.

La scelta della sezione di analisi di stabilità globale all'equilibrio limite è ricaduta su una sezione caratteristica e rappresentativa del versante, ubicata in corrispondenza degli inclinometri 1, 2 e 3 (nelle immagini di seguito, rappresentati mediante tre linee verticali).

In considerazione della stratigrafia e dei parametri di Progetto Esecutivo, è stata dapprima simulata la condizione di completa saturazione del versante (situazione corrispondente a eventi meteorici di una certa durata ed intensità).

Da questa analisi si può evincere che la sezione risulta stabile e il fattore di sicurezza è pari a 1.086.

<i>Cod. elab.:</i> 147VI204VI04ZRD007A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – <i>Opere di sottofondazione</i>	<i>Data:</i> Giugno 2017
<i>Nome file:</i> v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	<i>Pagina</i> 54 di 81

VARIANTE

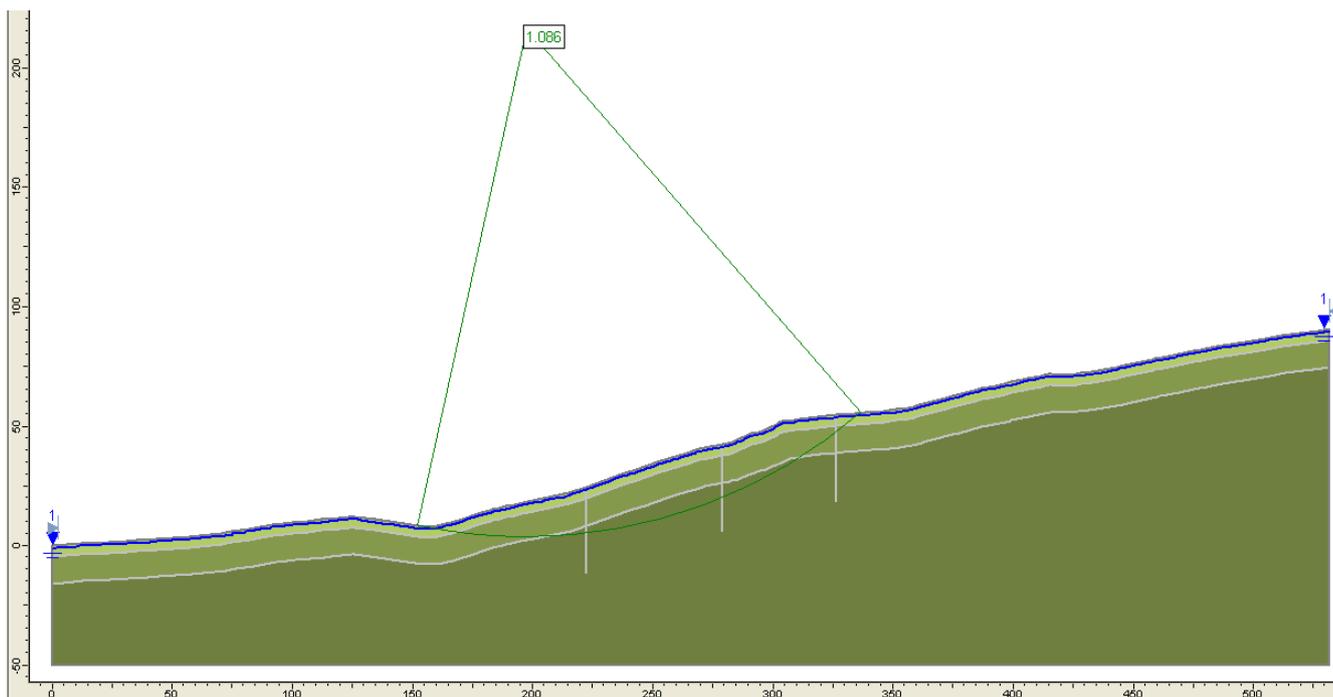


Figura 7.1: analisi di stabilità in condizioni di P.E. (geotecniche e stratigrafiche) e di completa saturazione del versante

Sulla base delle risultanze degli inclinometri, per poter simulare la zona instabile, sono stati attribuiti all'unità più superficiale (TRVBa_1) i valori minimi di coesione e angolo di attrito emersi dalle indagini effettuate. L'analisi di stabilità globale del pendio in queste condizioni evidenzia un fattore di sicurezza minimo pari a 1.084, pertanto stabile e non rappresentativo della situazione reale. Si pone l'attenzione sul fatto che adottando i parametri minimi emersi dalle prove di taglio diretto e triassiali C.D. per l'unità TRVBa_1, il fattore di sicurezza minimo rimane pressoché invariato rispetto alla situazione di Progetto Esecutivo.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 55 di 81

VARIANTE

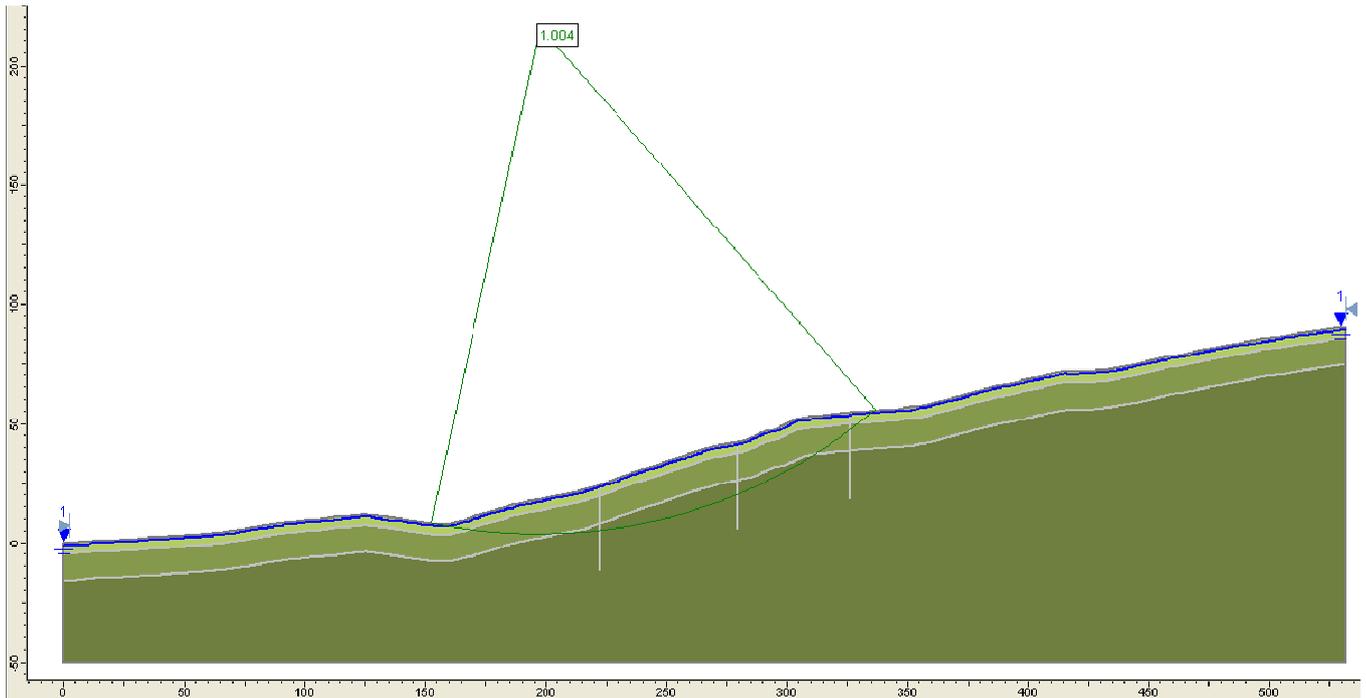


Figura 7.2: analisi di stabilità considerando i valori minimi dei parametri per l'unità TRVBa_1 (stabiliti a partire dalle recenti prove di laboratorio)

Considerando inoltre che, essendosi verificati dei movimenti, è realistico attribuire i parametri residui all'unità TRVBa_1 in quanto si presuppone che la resistenza di picco sia ormai già stata superata e la resistenza è governata dai parametri residui. Adottando i parametri residui (individuati in questa fase da specifiche prove condotte), il fattore di sicurezza è pari a 1.072, pertanto stabile e non rappresentativo della situazione presente in sito. Il fattore di sicurezza rappresentativo della situazione reale presente in sito deve essere inferiore a 1 in quanto la situazione di incipiente rottura è già stata superata e gli inclinometri hanno già rilevato spostamenti.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 56 di 81

VARIANTE

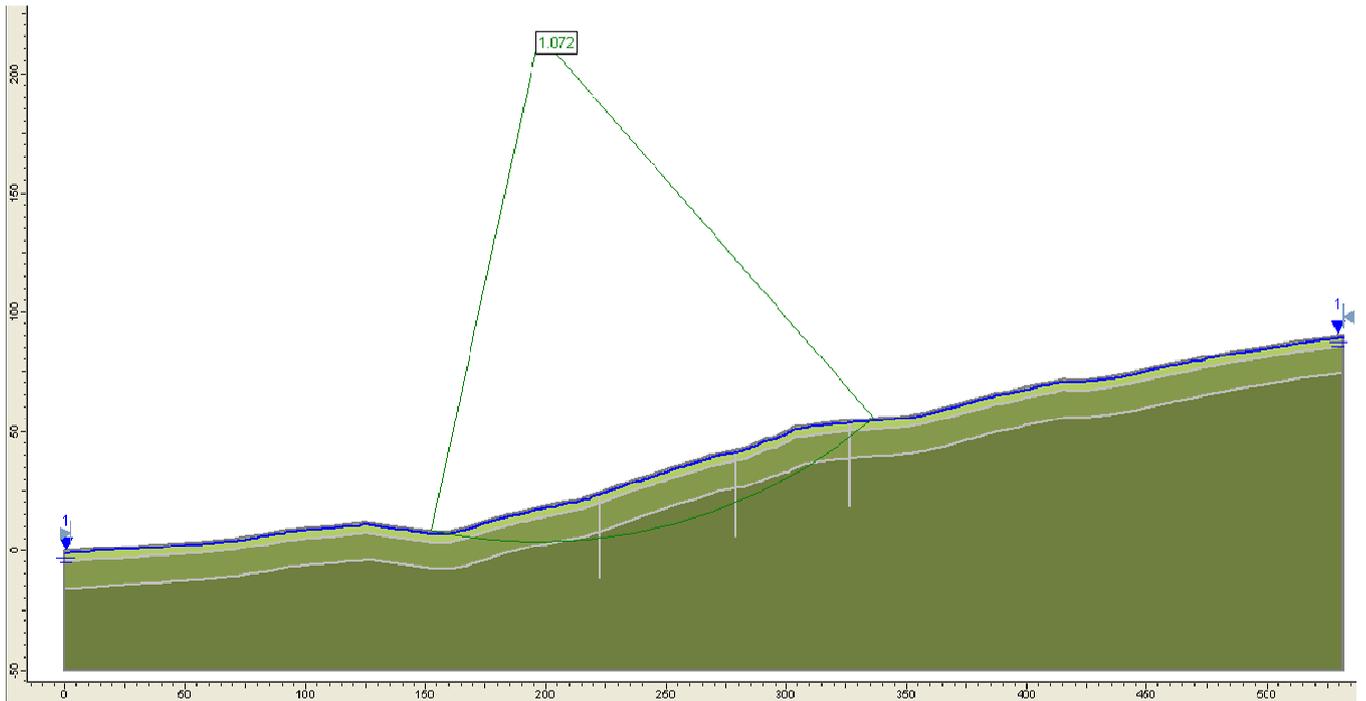


Figura 7.3: analisi di stabilità considerando i valori minimi dei parametri residui per l'unità TRVBa_1 e la stratigrafia di PE

Quindi, adottando la stratigrafia di Progetto Esecutivo, tutte le condizioni esaminate non corrispondono alla situazione monitorata dalla strumentazione installata. Ai fini geotecnici, per la simulazione dei fenomeni osservati, si trasla il limite tra l'unità TRVBa_1 e TRVBa_2. Il nuovo contatto si colloca in corrispondenza della profondità media (13m) rilevata dagli inclinometri, ove si verifica lo scivolamento. Di seguito si riporta l'analisi di stabilità condotta considerando la completa saturazione del pendio; in rosso sono indicate tutte le superfici di scivolamento con fattore di sicurezza inferiore a 1.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 57 di 81

VARIANTE

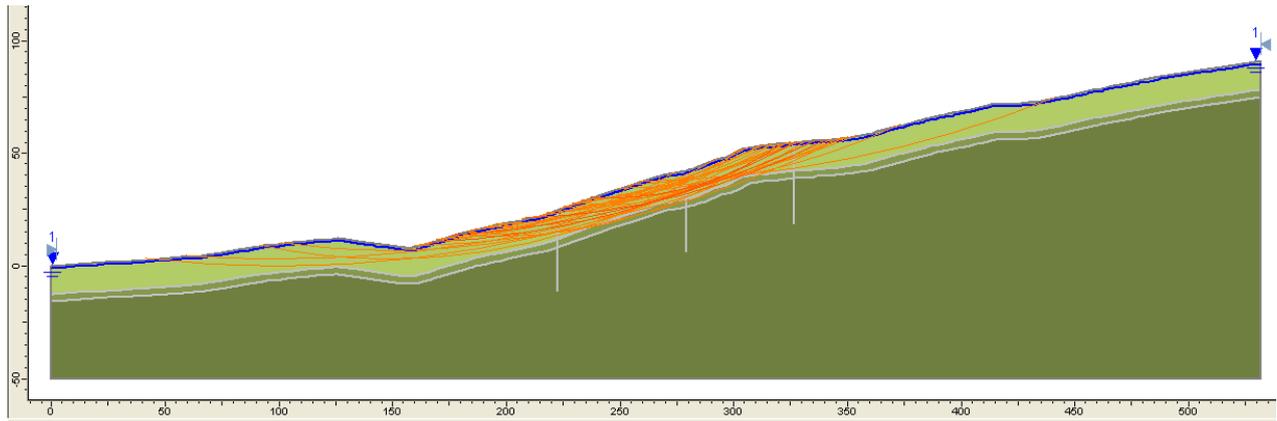


Figura 7.4: analisi di stabilità considerando i valori minimi dei parametri residui per l'unità TRVBa_1; il limite tra l'unità TRVBa_1 e TRVBa_2 corrisponde alla profondità media rilevata dagli inclinometri ove si verifica lo scivolamento. (in rosso superfici con FS < 1.0).

L'area in corrispondenza dell'involuppo delle diverse superfici con fattore di sicurezza inferiore a 1 rappresenta la zona instabile. Ai fini geotecnici, in particolare per il dimensionamento delle opere che interessano il pendio, la stratigrafia assunta è uniforme lungo tutta la scarpata e corrisponde a quella desunta dalle analisi di stabilità condotte a ritroso.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 58 di 81

8. MODELLO GEOTECNICO INTERPRETATIVO

Sulla base dei sondaggi realizzati nella zona in oggetto, delle prove di laboratorio condotte sui provini e dalle analisi a ritroso, di seguito si riportano i parametri geotecnici e la stratigrafia da assumere per le analisi geotecniche delle strutture che insistono sulla zona in oggetto.

Per un utile confronto, si riportano anche i parametri e la stratigrafia di Progetto Definitivo ed Esecutivo.

Tabella 8.1: Parametri geotecnici caratteristici di Progetto Definitivo

Unità geotecnica (stratificazione)	γ [kN/m ³]	c_k' [kPa]	ϕ_k' [°]	E [MPa]	ν [-]
LA (0÷-2.0)	18.5	15	19	-	-
FB_sup (-2.0÷-15.0)	19.0	25	17.5	-	-
FB_inf (<-15.0)	20.0	25	23	-	-

Tabella 8.2: Parametri geotecnici caratteristici di Progetto Esecutivo

Unità geotecnica (stratificazione)	γ [kN/m ³]	c_k' [kPa]	c_u [kPa]	ϕ_k' [°]	E [MPa]	ν [-]
TRVBa_1 (0÷-4.6)	18.5	15	50	19	70	0.35
TRVBa_2a (-4.6÷-16.5)	21.6	19	250	23	80	0.30
TRVBa_2b (<-16.5)	20.8	25	250	22	100	0.30

Tabella 8.3: Parametri geotecnici caratteristici relativi all'approfondimento geotecnico sulla zona del S. Giuliano

Unità geotecnica (stratificazione)	γ [kN/m ³]	c_k' [kPa]	c_u [kPa]	ϕ_k' [°]	E [MPa]	ν [-]
TRVBa_1 (0÷-4.6)	18.5 (*)	5	50	15	40	0.35
TRVBa_1 (-4.6÷-13.0)	18.5 (*)	5	250	15	40	0.35
TRVBa_2a (-13.0÷-16.5)	21.5	19	250	23	80	0.30
TRVBa_2b (<-16.5)	21.5	25	250	22	100	0.30

(*) rispetto al valore delle prove, è stato scelto un valore più basso per contemplare le porzioni dell'unità geotecnica scadenti di difficile campionamento

dove:

- γ : peso di volume naturale
- ν : rapporto di Poisson
- E : modulo di deformabilità
- ϕ_k' : angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)
- c_k' : coesione efficace (valore caratteristico)
- c_u : coesione non drenata

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 59 di 81

Da un confronto tra i parametri geotecnici tra il P.E. approvato e quelli proposti a seguito dell'approfondimento condotto per questa specifica zona emerge che è stata variata la stratigrafia dell'unità TRVBa_1, passando da uno spessore di 4.6m a 13m. Questo incremento deriva sostanzialmente dalla analisi geotecniche condotte a ritroso e trova riscontro con le profondità media ove gli inclinometri mostrano spostamenti.

I parametri a rottura assunti per l'unità TRVBa_1 corrispondono ai parametri residui del terreno, in quanto la resistenza di picco del terreno soggetto a movimenti instabili si ritiene già superata. Sulla base anche delle analisi a ritroso condotte, si ritiene che tale assunzione corrisponde effettivamente alla situazione reale.

L'unità TRVBa_2 invece, non ha subito deformazioni tali da supporre che sia in una condizione di resistenza residua. I parametri di resistenza desunti dalle analisi di laboratorio integrative hanno mostrato valori addirittura superiori a quelli assunti in fase di Progetto Esecutivo (in particolare per profondità superiori a 20m), pertanto, cautelativamente, si mantengono quelli di Progetto in considerazione del fatto che sono stati desunti da un gran numero di provini analizzati.

I valori del modulo elastico e rapporto di Poisson, fanno riferimento al PE, con la eccezione dell'unità TRVBa_1 per la quale il modulo è stato quasi dimezzato per tener conto del suo stato residuo.

La falda è stata posizionata a circa -1m dal piano campagna per considerare la completa saturazione del terreno. Il coefficiente di saturazione del terreno è assunto pari a 1 in condizioni di completa saturazione.

<i>Cod. elab.:</i> 147VI204VI04ZRD007A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – <i>Opere di sottofondazione</i>	<i>Data:</i> Giugno 2017
<i>Nome file:</i> v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	<i>Pagina</i> 60 di 81

9. INTERVENTI PROPOSTI

Alla luce delle evidenze emerse, tenendo in considerazione la presenza di piani di scivolamento medio-profondi più o meno diffusi sul versante e considerata la riscontrata e non prevedibile risposta deformativa del pendio, per quanto riguarda l'asse principale si è resa necessaria la modifica di alcune soluzioni strutturali adottate in fase di Progetto Esecutivo a favore di soluzioni maggiormente conservative. In altri casi invece, il Progetto Esecutivo è stato del tutto integrato, inserendo degli interventi di consolidamento al fine di mitigare i fenomeni deformativi in atto sul pendio.

In particolare gli interventi consistono in:

- Sistema di drenaggio del pendio costituito da un allineamento di pozzi drenanti a monte del versante per l'abbattimento delle pressioni interstiziali del terreno in concomitanza di eventi meteorici importanti.
- consolidamento della carreggiata DX, mediante l'esecuzione di cuffie di pali medio-profondi.
- fondazioni a pozzo per le spalle del viadotto San Giuliano, in sostituzione della classica fondazione su pali.

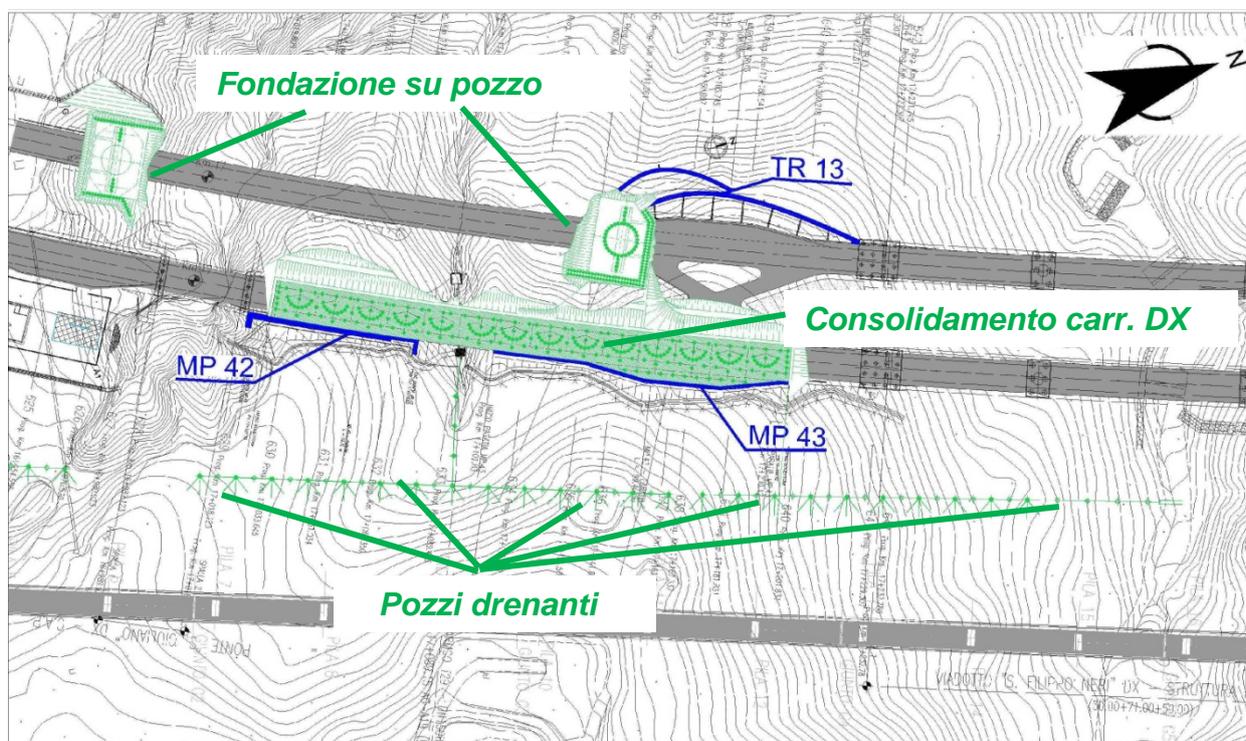


Figura 9.1: interventi proposti - planimetria di insieme

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 61 di 81

9.1 Sistema di pozzi drenanti

Il versante del viadotto San Giuliano, così come già precedentemente descritto, è caratterizzato dalla presenza di terreni a matrice argillosa, a bassa permeabilità. La correlazione tra eventi meteorici importanti e spostamenti del pendio denota l'importanza del controllo delle pressioni interstiziali nelle formazioni limose-argillose.

Obiettivo dell'intervento proposto è quindi quello di limitare l'innalzamento della quota piezometrica di falda, mediante la captazione delle acque in un apposito sistema drenante capace di smaltire le acque meteoriche velocemente dalla zona instabile.

L'opera di drenaggio proposta, è una trincea costituita da 2 tipologie di pozzi drenanti disposti a schema alternato: pozzo ispezionabile (vuoto) e pozzo a piena sezione drenante (pieno). I pozzi hanno un diametro esterno pari $\varnothing 1500\text{mm}$ e sono rivestiti internamente da una lamiera grecata $\varnothing 1200\text{mm}$, mentre il gap tra il diametro esterno e la lamiera è riempito con malta cementizia. Le colonne ad intera sezione drenante presentano la lamiera grecata nella sommità inferiore, ovvero quella di collegamento della condotta di fondo.

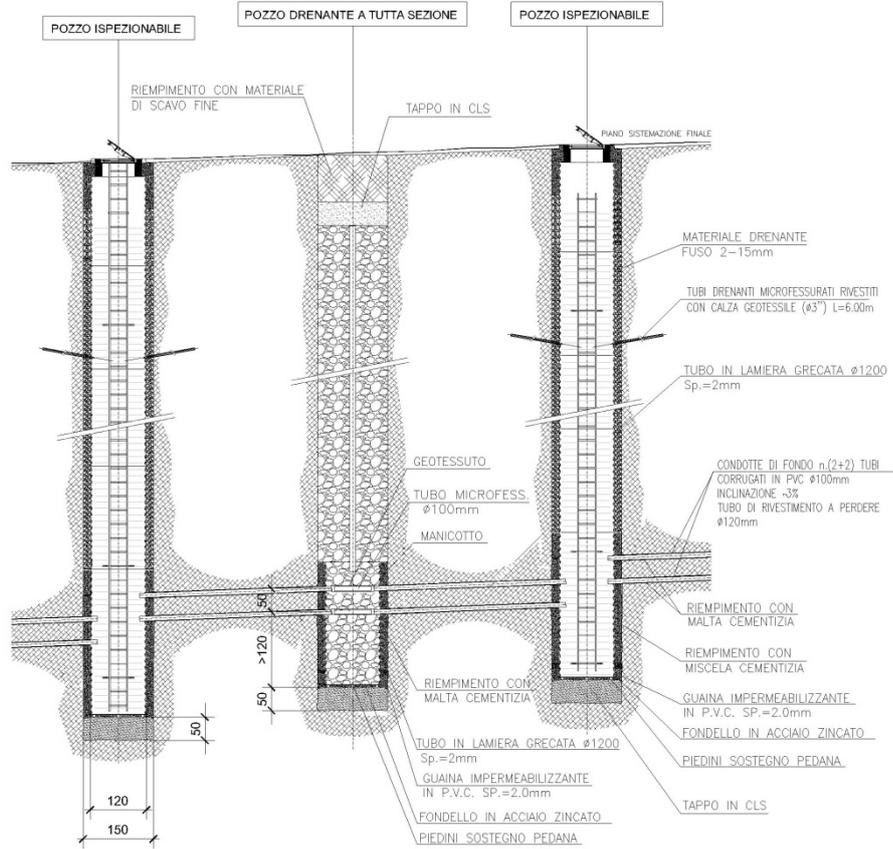
Il sistema dei pozzi è collegato mediante coppie di tubi PVC corrugati $\varnothing 100\text{mm}$, allo scopo di convogliare le acque drenate nei rispettivi recapiti.

<i>Cod. elab.:</i> 147VI204VI04ZRD007A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – <i>Opere di sottofondazione</i>	<i>Data:</i> Giugno 2017
<i>Nome file:</i> v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	<i>Pagina</i> 62 di 81

SEQUENZA POZZI DRENANTI

1:100

SEZIONE LONGITUDINALE



SEZIONE ORIZZONTALE

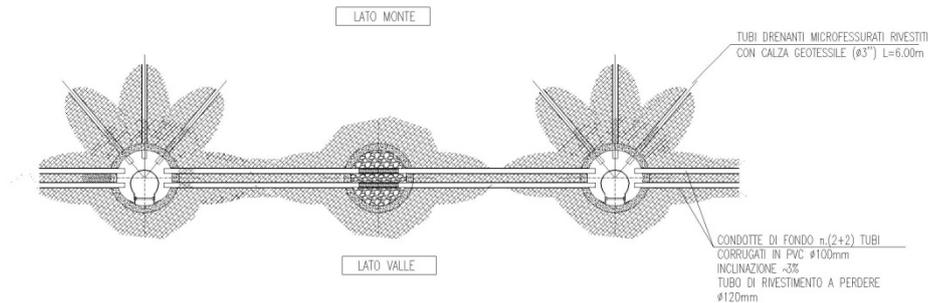


Figura 9.2: Sezione longitudinale e orizzontale della trincea con pozzi drenanti

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 63 di 81

Per quanto concerne il versante del viadotto San Giuliano, 2 sono i settori di pozzi drenanti di pertinenza. Il primo settore è costituito da 17 pozzi a completa sezione drenante e 19 ispezionabili, si sviluppa dalla pk 17+010 ca alla pk 17+162, presenta una profondità massima degli elementi drenanti pari a 19 metri e convoglia le acque drenante nell'opera di presa idraulica Tombino T29.

Il secondo settore invece è costituito da 9 pozzi a piena sezione e 11 ispezionali, si estende dalla pk 17+174ca alla pk17+335ca, presenta una profondità massima degli elementi drenanti pari a 16.5m, e convoglia le acque drenate nell'impluvio che si trova nelle corrispondenza del viadotto San Filippo.

Vi è infine un terzo settore a completamento dell'intervento proposto; esso si colloca nelle vicinanze dell'imbocco A19 della GN Caltanissetta fino all'impluvio che sovrappassa il viadotto San Giuliano in carr. DX. Tale settore è costituito da 9 pozzi a piena sezione e 10 pozzi ispezionabili e costituisce un ulteriore presidio cautelativo nella zona di futura realizzazione delle spalle del viadotto San Giuliano carr. DX e SX.

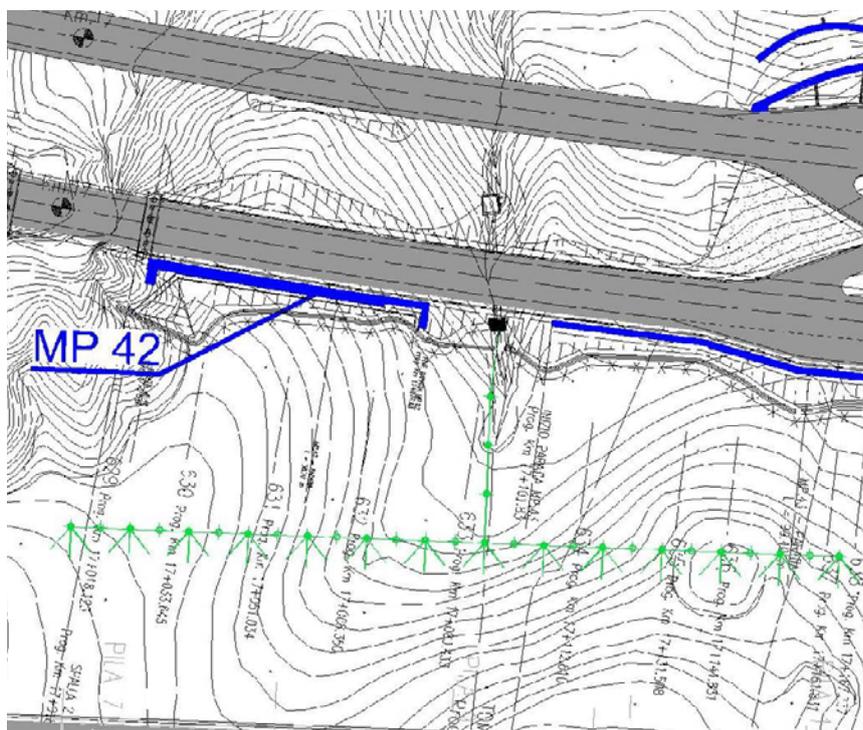


Figura 9.3: planimetria primo settore di pozzi drenanti.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 64 di 81

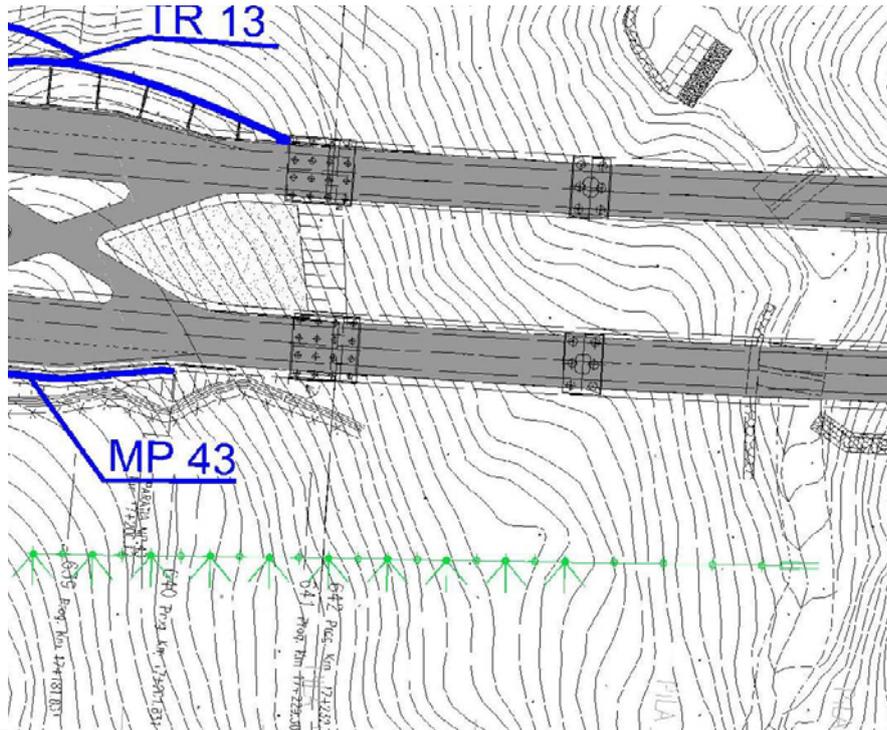


Figura 9.4: planimetria settore di pozzi drenanti.

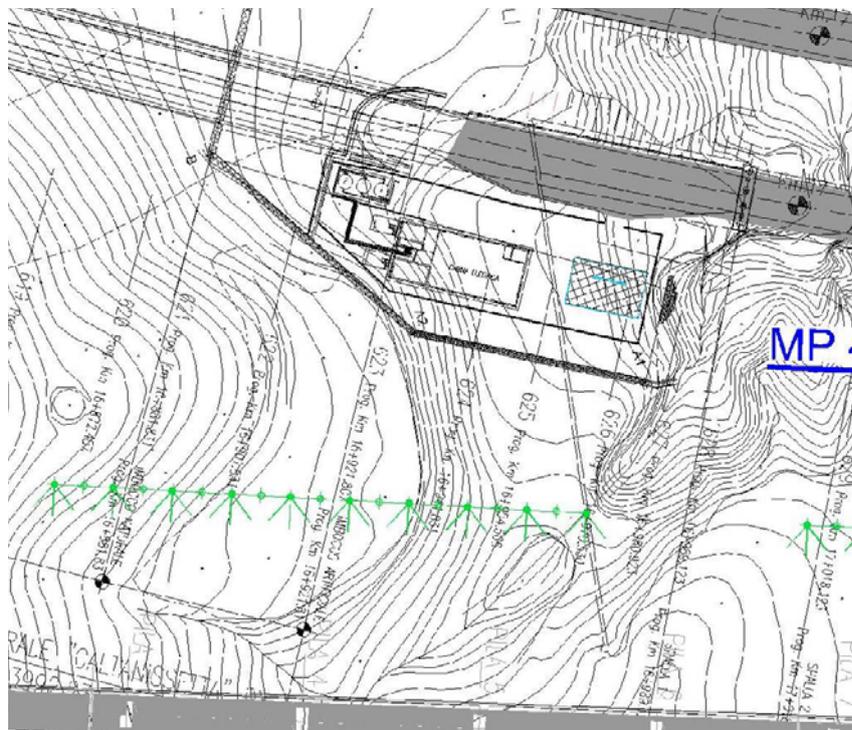


Figura 9.5: planimetria terzo settore di pozzi drenanti.(imbocco A19 GN Caltanissetta)

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 65 di 81

9.1.1 Verifiche geotecniche di stabilità globale e valutazione dell'effetto dei dreni sull'abbassamento della falda

Di seguito si riportano le verifiche geotecniche di stabilità globale del pendio in presenza dei dreni. Le verifiche sono condotte secondo il metodo di Bishop semplificato. Le analisi di stabilità globale sono state implementate mediante il programma Slide 7.013 della Rocscience Inc.[®].

La scelta delle 3 sezioni di analisi per la tratta ove sono presenti i drenaggi è stata effettuata in considerazione della morfologia superficiale ponendosi nelle condizioni più gravose ai fini della stabilità.

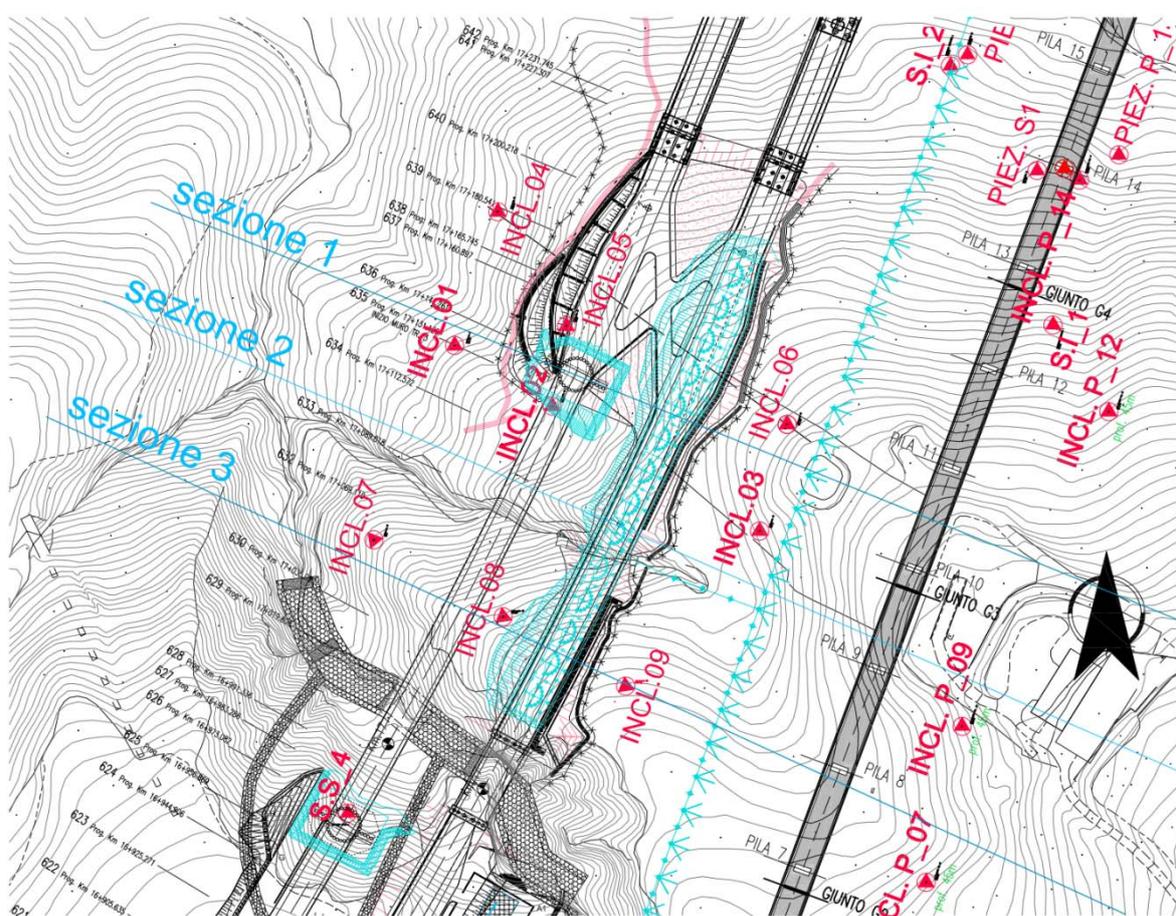


Figura 9.6: ubicazione delle tre sezioni di verifica

L'abbassamento della falda per effetto dei drenaggi è stata analizzata mediante un modello idrogeologico bidimensionale implementato mediante il software ad elementi finiti RS2 della Rocscience Inc.[®].

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 66 di 81

Ciascun modello idrogeologico è composto da due fasi:

- Fase 1: condizione idrostatica con falda a piano campagna
- Fase 2: simulazione dei dreni mediante l'imposizione della pressione nulla al contorno del dreno.

Così facendo, impostando per ciascuna unità geotecnica il valore della permeabilità, si ottengono la posizione della falda a lungo termine per ciascuna sezione analizzata.

Nelle figure seguenti si riporta per ciascuna sezione la posizione della falda per effetto del sistema di drenaggio.

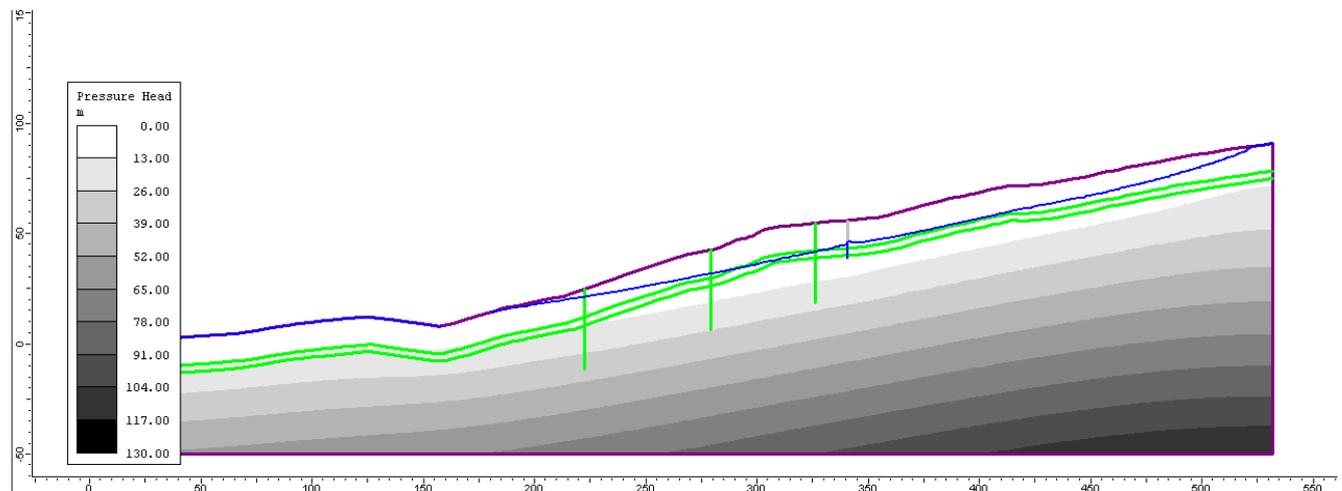


Figura 9.7: sezione 1 – posizione della falda a seguito dell'effetto drenante

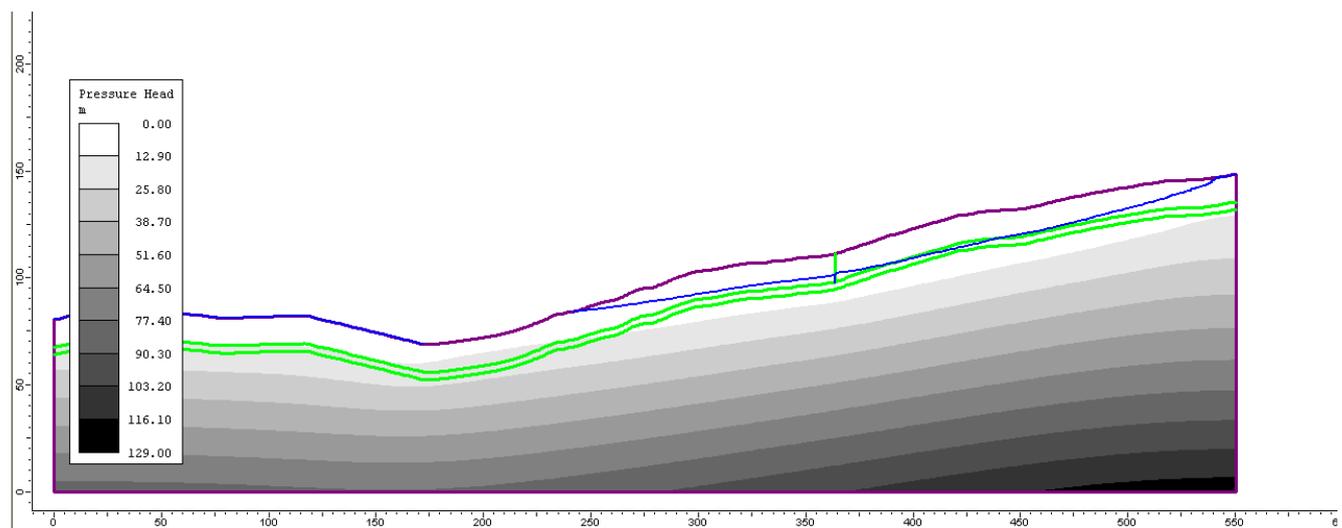


Figura 9.8: sezione 2 – posizione della falda a seguito dell'effetto drenante

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 67 di 81

VARIANTE

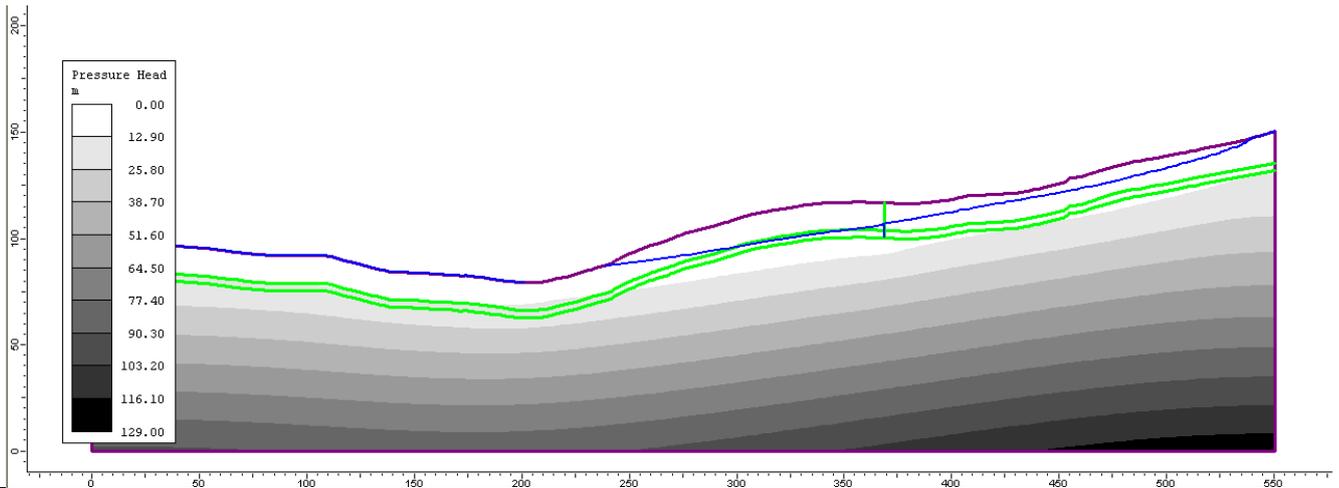


Figura 9.9: sezione 3 – posizione della falda a seguito dell'effetto drenante

Le verifiche di stabilità condotte con la falda ricavata dai modelli idrogeologici messi a punto, sono di seguito riportate.

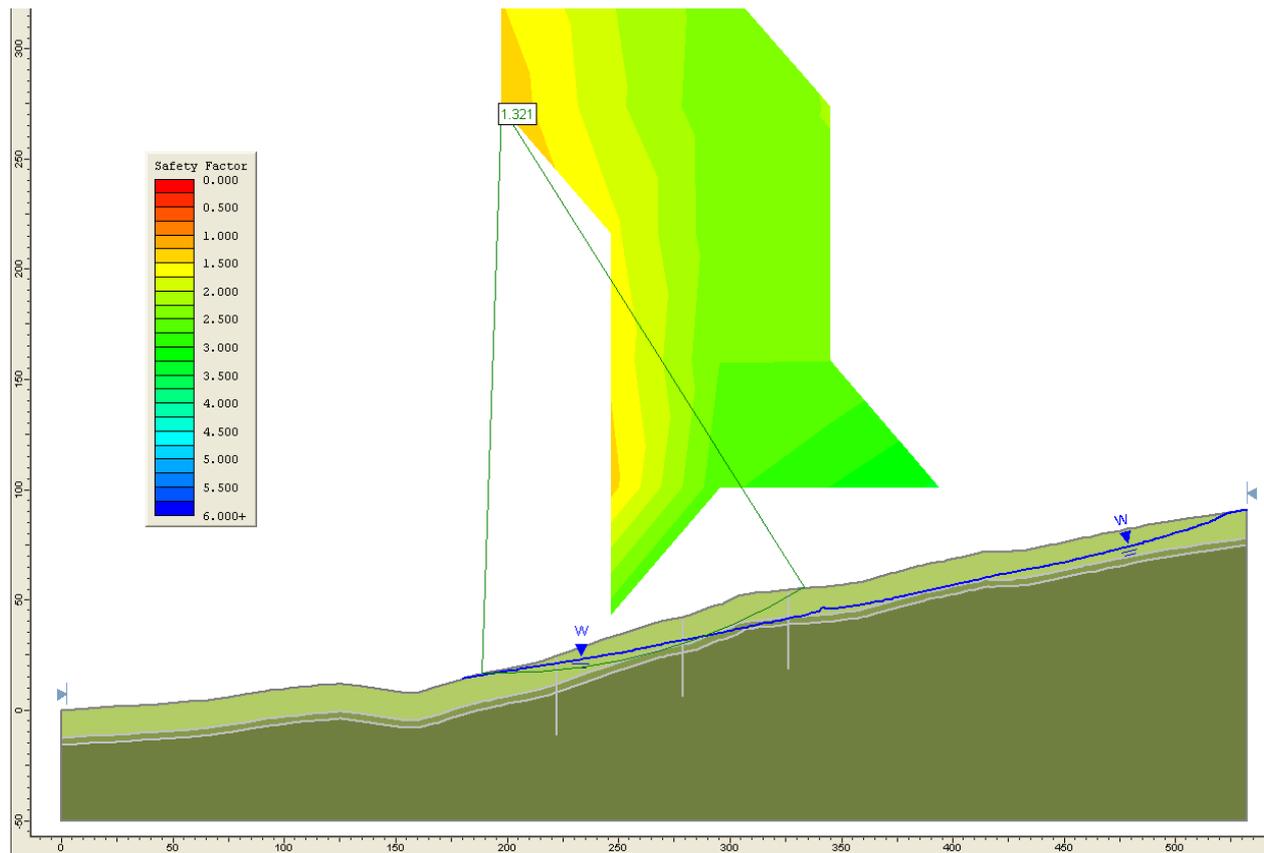


Figura 9.10: sezione 1 – analisi di stabilità del pendio con abbattimento della falda indotta dal sistema drenante

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano –	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Pagina 68 di 81

VARIANTE

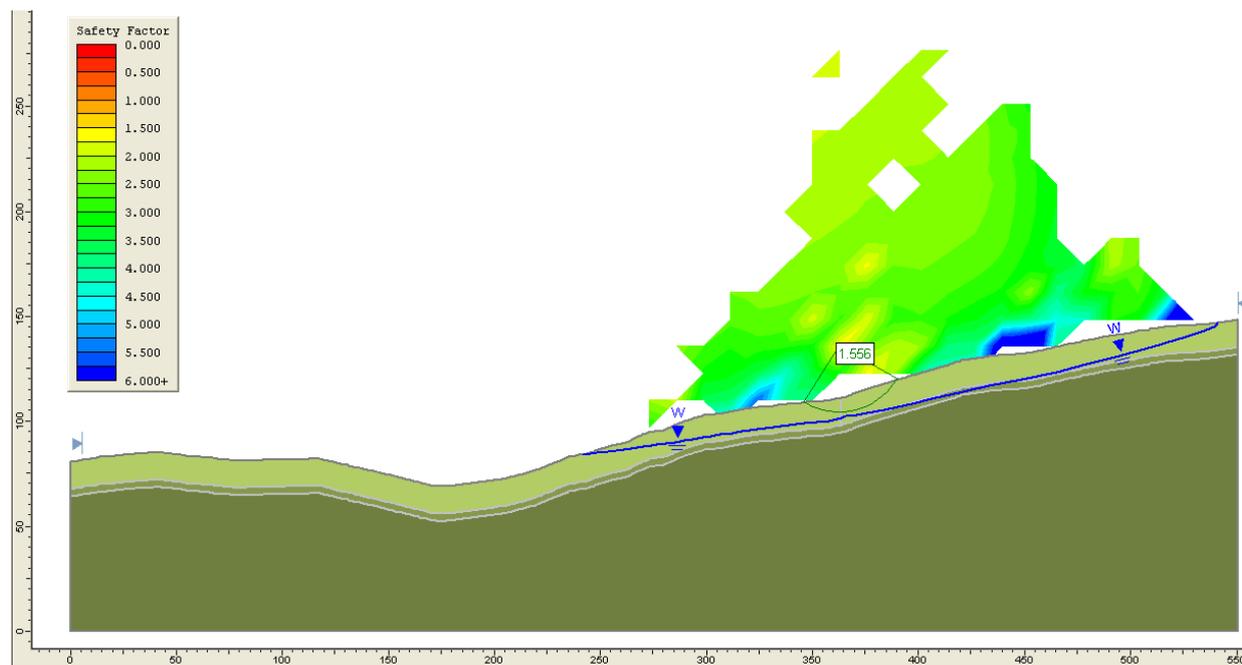


Figura 9.11: sezione 2 – analisi di stabilità del pendio con abbattimento della falda indotta dal sistema drenante

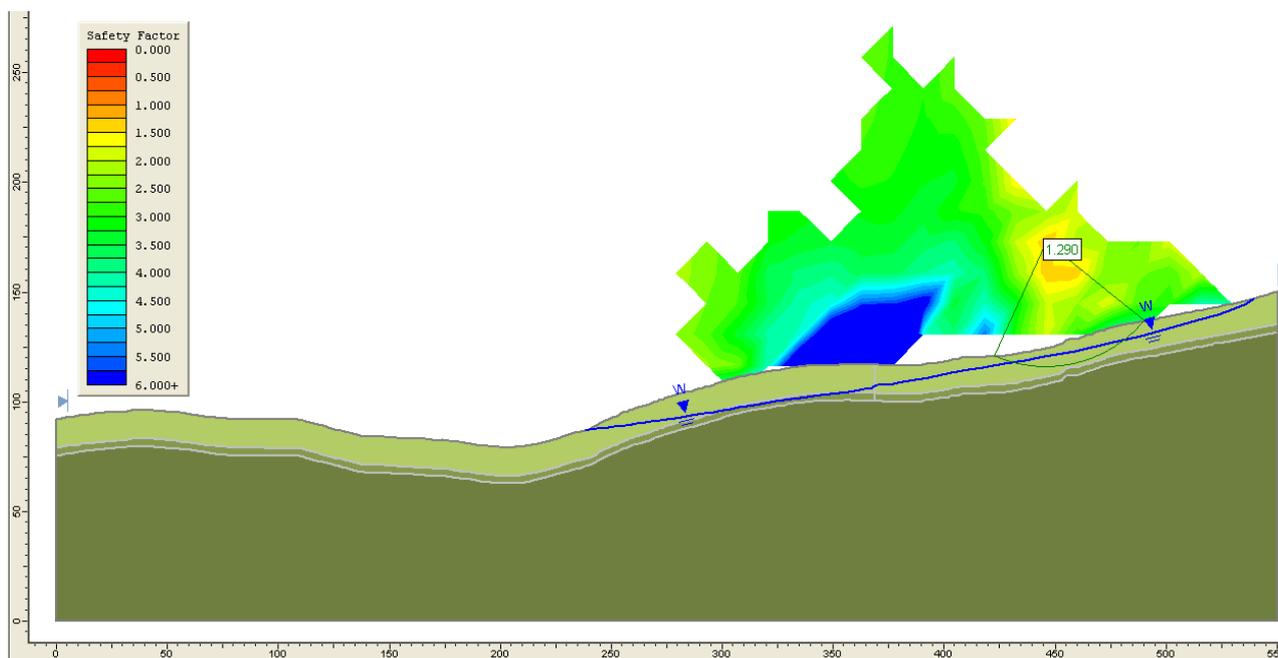


Figura 9.12: sezione 3 – analisi di stabilità del pendio con abbattimento della falda indotta dal sistema drenante

In tutte le tre sezioni esaminate, è rispettata la stabilità.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 69 di 81

Di seguito si riportano le verifiche di stabilità per le medesime sezioni, con la falda a piano campagna. In rosso si indicano tutte le superfici instabili (FS<1)

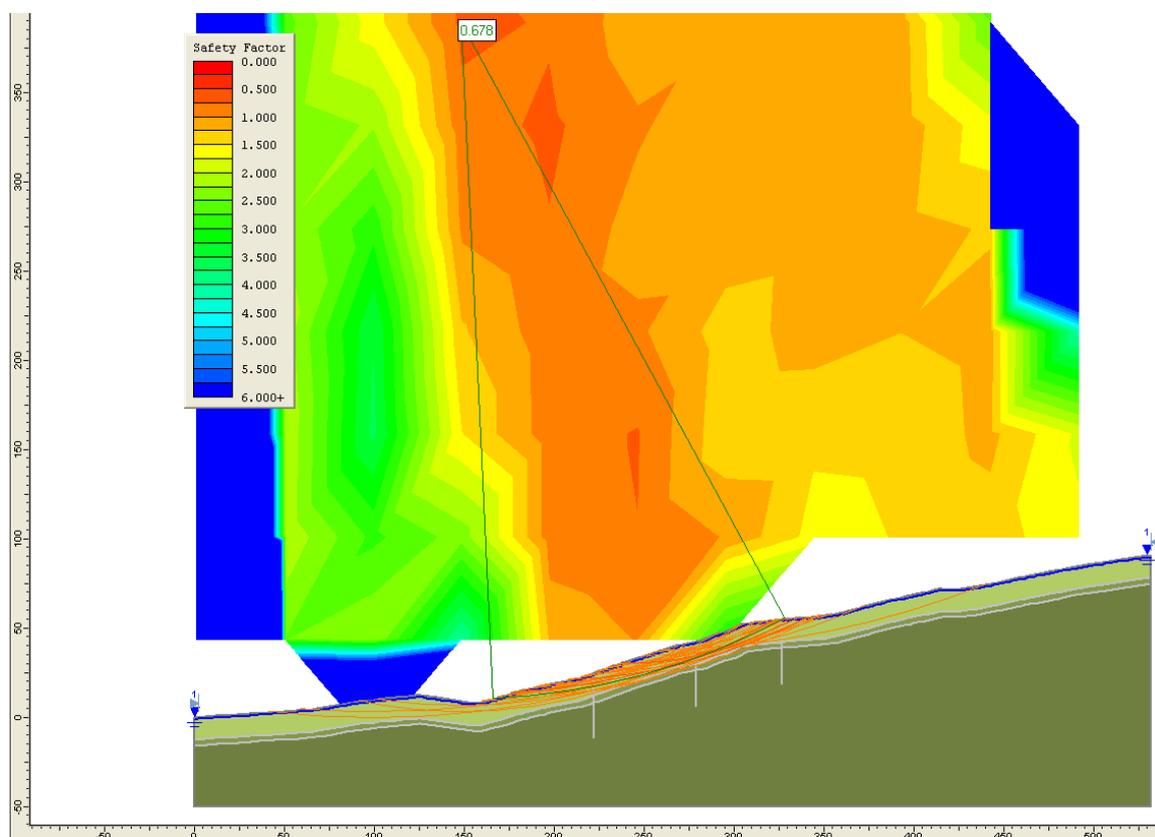


Figura 9.13: sezione 1 – analisi di stabilità del pendio con falda a piano campagna

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 70 di 81

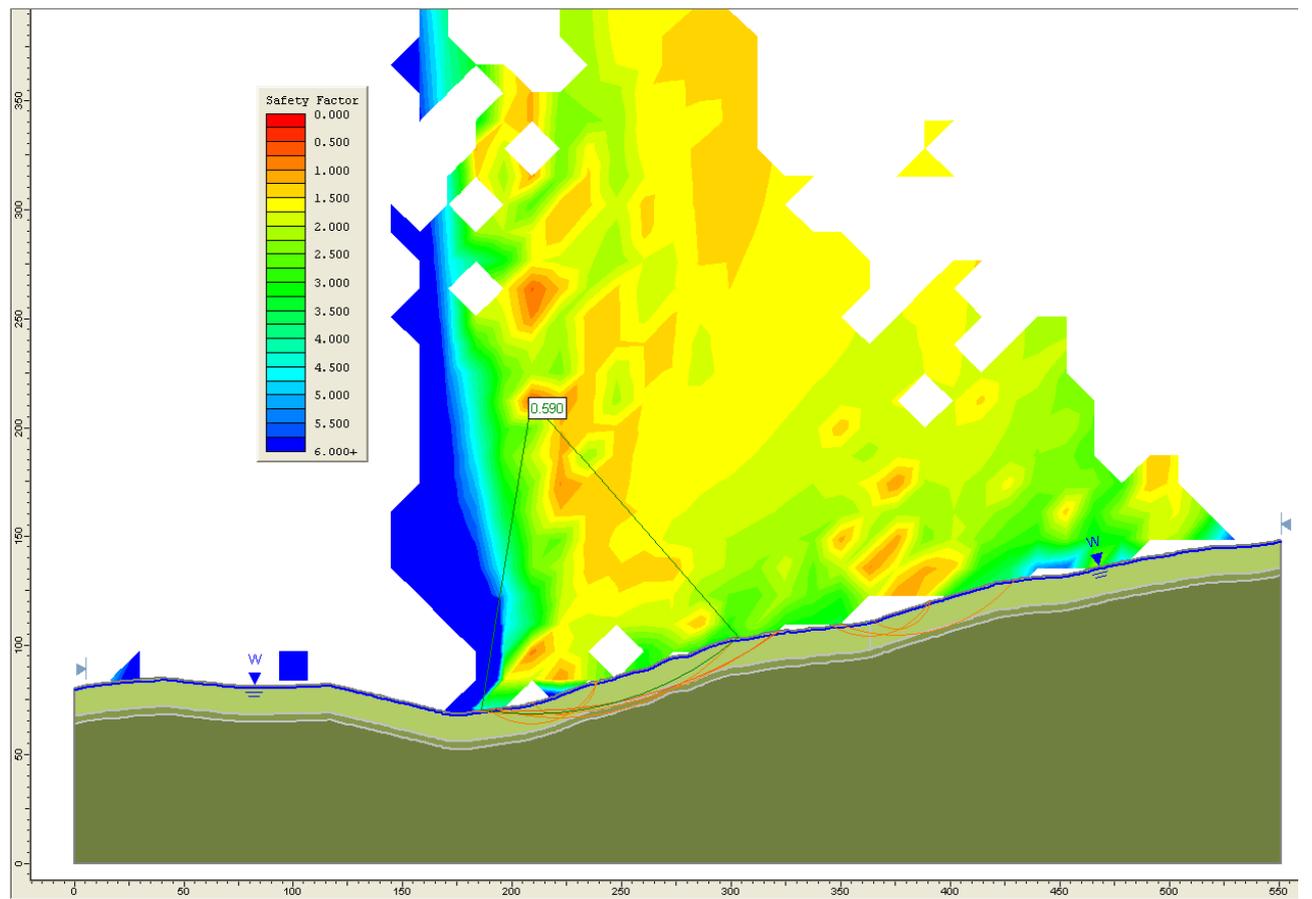


Figura 9.14: sezione 2 – analisi di stabilità del pendio con falda a piano campagna

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 71 di 81

VARIANTE

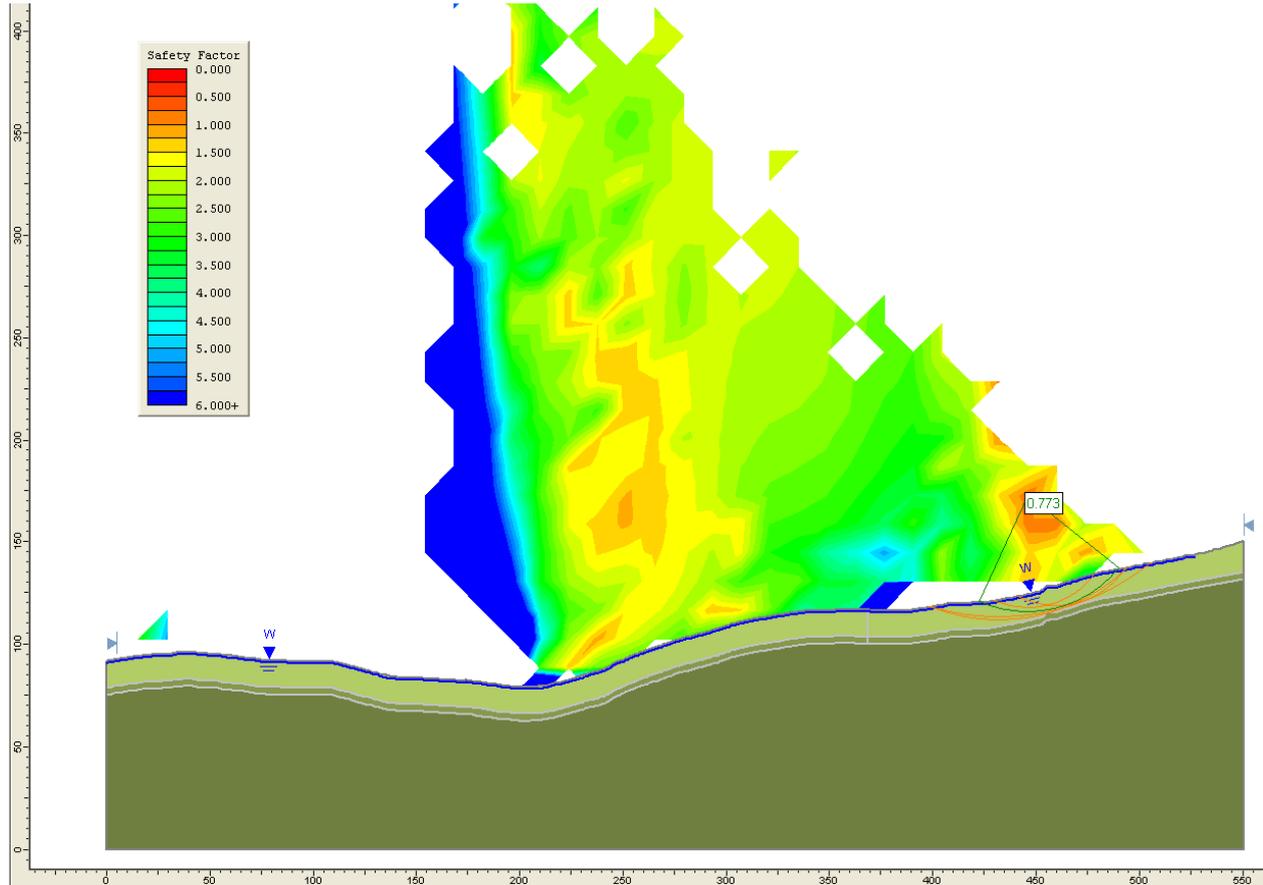


Figura 9.15: sezione 3 – analisi di stabilità del pendio con falda a piano campagna

Nella tabella seguente si riporta un confronto tra i fattori di sicurezza minimi ottenuti nei due casi: con falda a piano campagna e con falda abbattuta per effetto del sistema di drenaggio.

Tabella 9.1: confronto sui FS delle analisi di stabilità per la verifica dell'efficacia del drenaggio sulla stabilità del pendio

Sezioni di analisi	FS _{min} con falda a piano campagna	FS _{min} con falda abbassata per effetto del sistema di drenaggio
1	0.678	1.321
2	0.590	1.556
3	0.773	1.290

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 72 di 81

9.2 Consolidamento carreggiata DX

L'intervento di consolidamento della carreggiata destra si estende dalla pk 17+201.831 alla pk 17+027.18, tratto dell'asse principale caratterizzato dalle già realizzate MP42 ed MP43. Esso è finalizzato alla mitigazione del rischio annesso ad eventuali evoluzioni nel tempo dei fenomeni di instabilità già riscontrati sul versante, con l'obiettivo di dissipare gli eventuali fenomeni di scivolamento in modo che essi rimangano circoscritti e non vadano ad interessare la nuova sede stradale della SS640.

L'intervento proposto consiste nella realizzazione di una serie di pali di lunghezza 20m e diametro 1m disposti a forma di cuffia per contenere l'instabilità che interessa il versante attraversato dalla nuova SS640. La particolare forma assunta dai pali permette di creare un sistema di sottofondazione rigida che si oppone allo spostamento della zona instabile verso valle.

Tali pali sono collegati sulla sommità da una soletta di lunghezza pari a circa 74m e larghezza variabile da un minimo di 11.3 ad un massimo di 15.6m, per uno spessore 1.2m. La platea di collegamento dei pali non sarà collegata alle opere MP42 ed MP43, al fine di evitare che eventuali spostamenti possano generare sforzi non compatibili sulle paratie già realizzate.

Per le verifiche strutturali dell'opera si rimanda alla relazione di calcolo specifica.

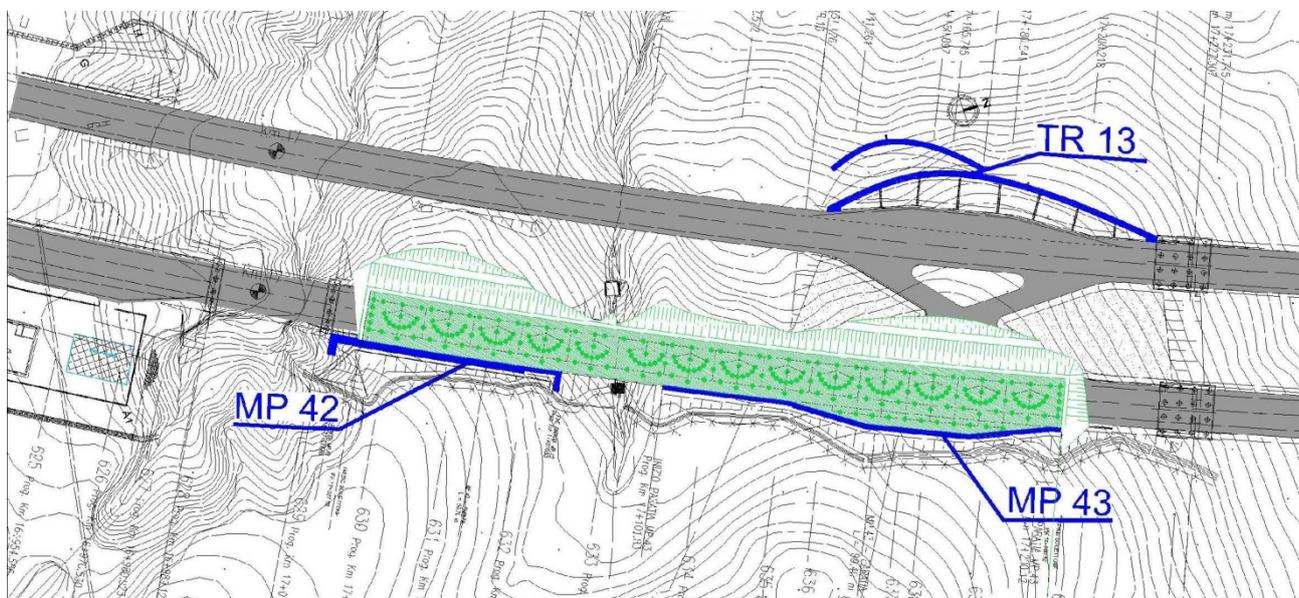


Figura 9.16: planimetria generale dell'intervento

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 73 di 81

VARIANTE

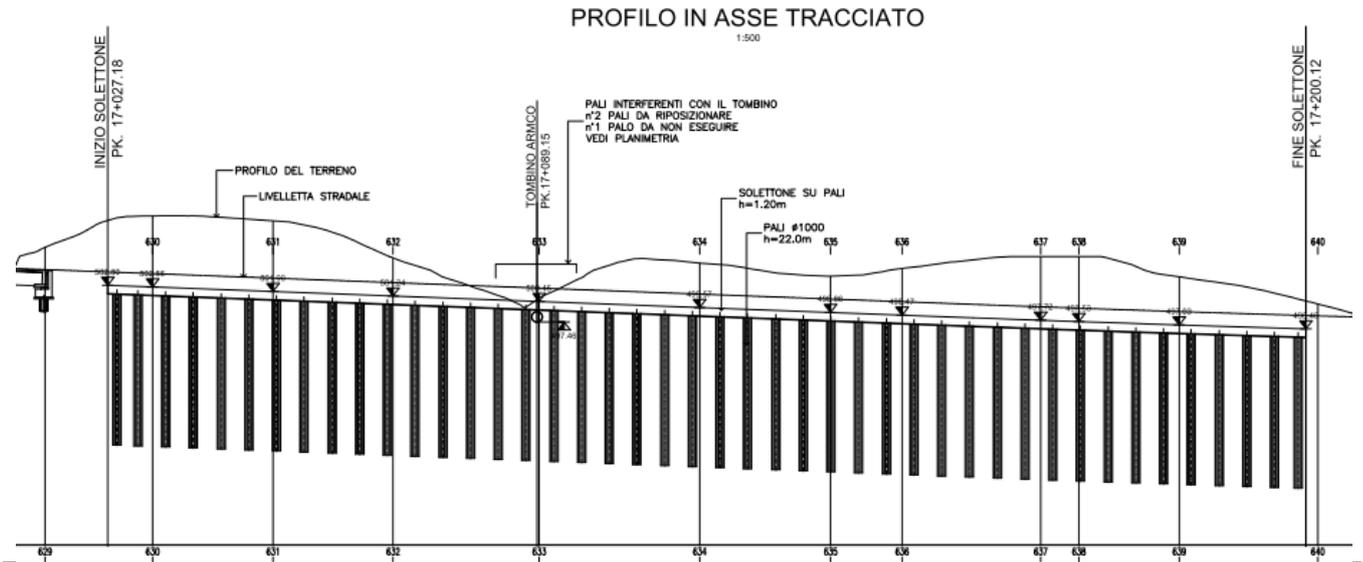


Figura 9.17: profilo dell'opera in asse tracciato

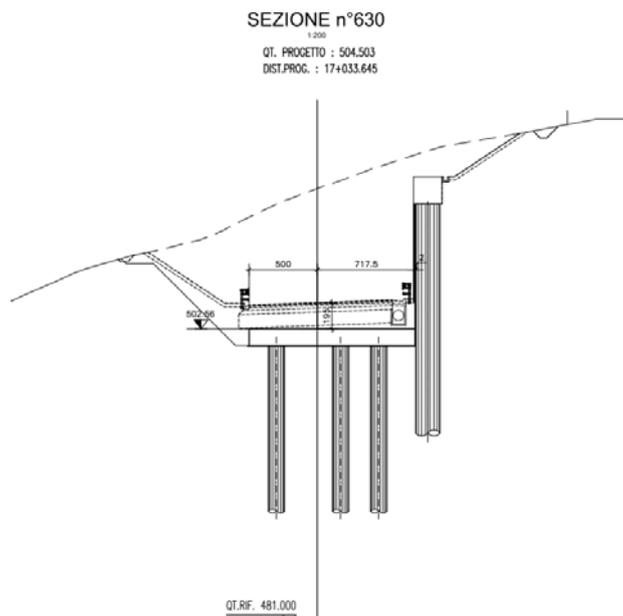


Figura 9.18: sezione caratteristica dell'opera

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 74 di 81

9.3 Sottofondazioni spalle viadotto San Giuliano carr. SX

La soluzione strutturale di PE per il viadotto San Giuliano, carr. SX, presenta uno schema statico dell'impalcato disposto su più appoggi, con sottofondazioni degli elementi portanti, spalle e pile, caratterizzati da platee su pali con diametro $\varnothing 1200$.

Tale soluzione, alla luce delle manifestazioni deformative di versante riscontrate, è risultata essere una soluzione strutturale poco conservativa ai fini della stabilità globale dell'opera. La soluzione proposta in sostituzione a quella di PE, affronta il problema delle fenomenologie di versante, mediante due differenti scelte progettuali:

- Realizzazione del viadotto con uno schema statico dell'impalcato totalmente differente da quello previsto in PE, ovvero il ponte avrà un'unica campata da 170m ca ed una struttura ad archi esterni inclinati e controventati a via inferiore, capace di sovrappassare la parte instabile del versante.
- Realizzazione delle sottofondazioni delle spalle del viadotto, mediante pozzi profondi costituiti da una corona di pali $\varnothing 1000$, in grado di rispondere adeguatamente agli sforzi indotti dagli scivolamenti profondi.

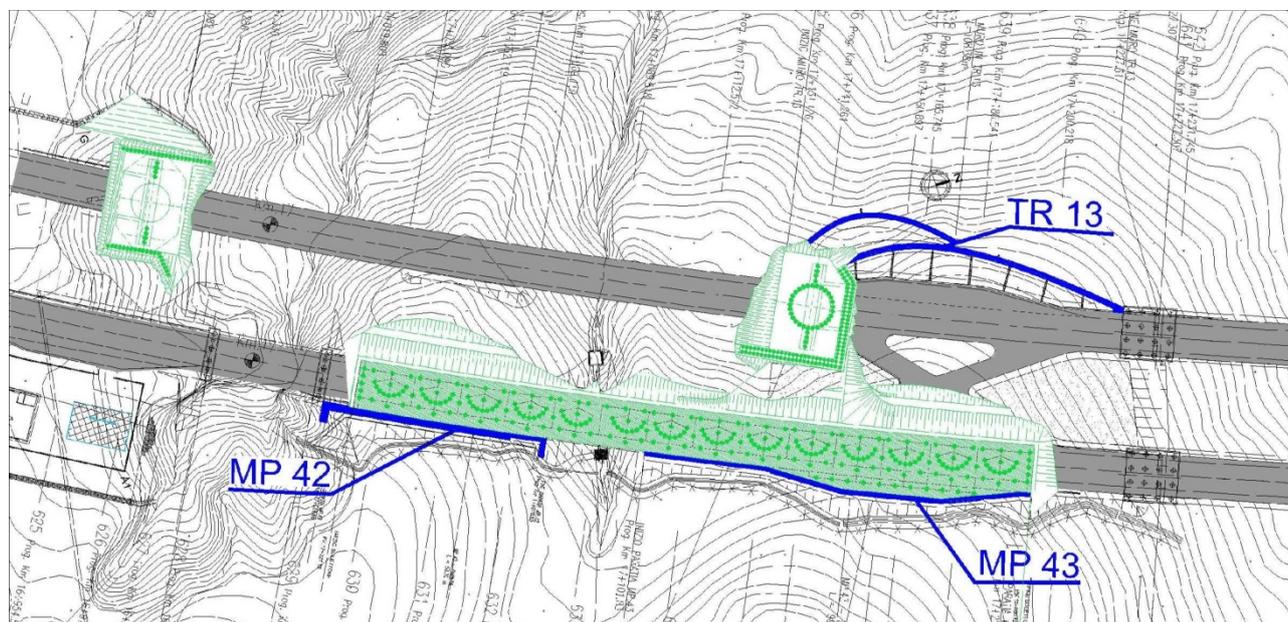


Figura 9.19: planimetria generale dell'intervento

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 75 di 81

9.1 Spalla A – viadotto San Giuliano carr. SX

La sottofondazione della spalla SA è costituita da una struttura a pozzo con diametro interno pari a 10m ($D_{est} = 12m$) e una profondità di 27m, dimensionata in funzione degli sforzi agenti in testa al pozzo trasmessi dalla spalla del viadotto. Il pozzo è realizzato mediante 29 pali in c.a. di classe C28/35 di diametro $\varnothing 1000$ e lunghezza 33m, disposti a interasse 1.2m, che costituiscono la corona esterna del pozzo: a scavo ultimato si procederà al riempimento della parte interna con cls di classe C16/20. Nelle figure seguenti si riportano una sezione caratteristica del pozzo e la pianta.

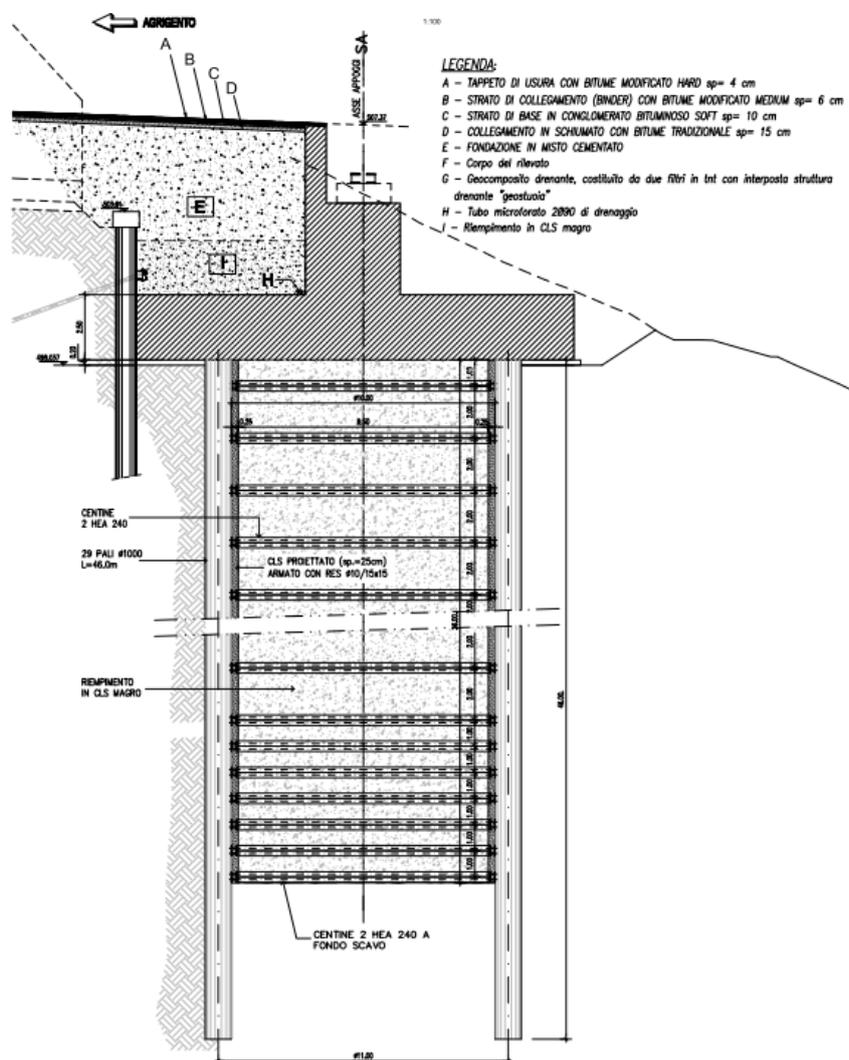


Figura 9.20: Sezione in asse tracciamento del pozzo di sottofondazione della spalla SA.

Cod. elab.: 147VI204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione Relazione geotecnica	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx		Pagina 76 di 81

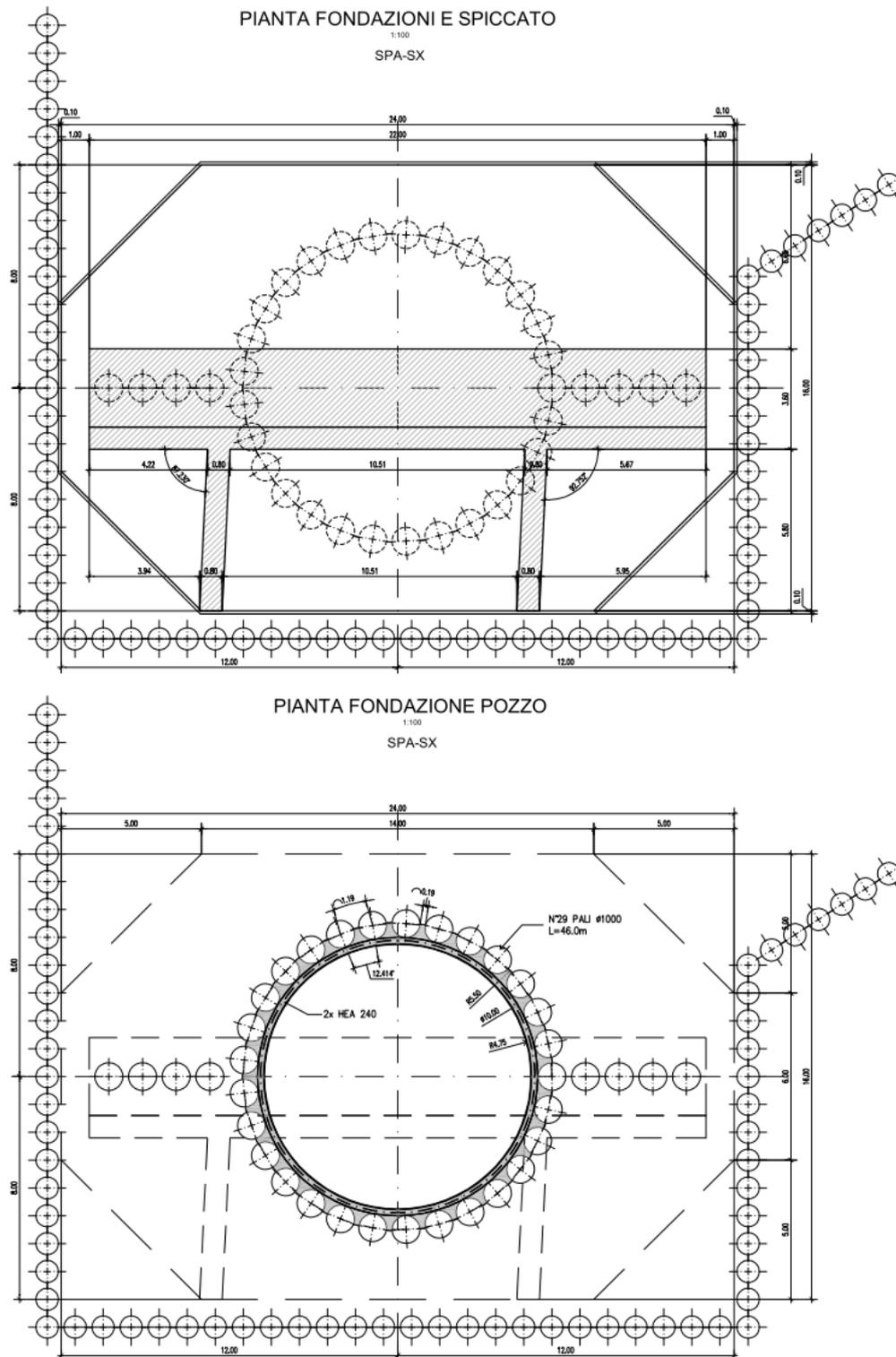


Figura 9.21: Pianta del pozzo e spiccato della fondazione della spalla SA.

Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 77 di 81

9.2 Spalla B – viadotto San Giuliano carr. SX

La spalla B è direttamente coinvolta da scivolamenti superficiali, per una profondità di circa 5.9m, come si evince dai dati inclinometrici dello strumento TR_13_Incl_02 e tenendo conto del piano di imposta della sottofondazione.

La fondazione prevista in progetto esecutivo (plinto fondato su 12 pali di diametro $\varnothing 1200$) era dimensionata per assumere i carichi dell'impalcato, non quelli derivanti da scivolamento degli strati superficiali (come riscontrato in prossimità dell'opera): l'entità di tali carichi richiedono l'adozione di una struttura con inerzia e resistenza più elevate.

Si è proceduto quindi con la sostituzione della sottofondazione prevista con una struttura a pozzo con diametro interno pari a 10m ($D_{est} = 12m$) e una profondità di 36m, dimensionata in funzione degli sforzi di taglio derivanti dallo scivolamento. Il pozzo è realizzato mediante 29 pali in c.a. di classe C28/35 di diametro $\varnothing 1000$ e lunghezza 46m disposti a interasse 1.2m che costituiscono la corona esterna del pozzo: a scavo ultimato si procederà al riempimento della parte interna con cls di classe C16/20.

Nelle figure seguenti si riportano una sezione caratteristica del pozzo e la pianta.

<i>Cod. elab.:</i> 147VI204VI04ZRD007A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – <i>Opere di sottofondazione</i>	<i>Data:</i> Giugno 2017
<i>Nome file:</i> v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	<i>Pagina</i> 78 di 81

VARIANTE

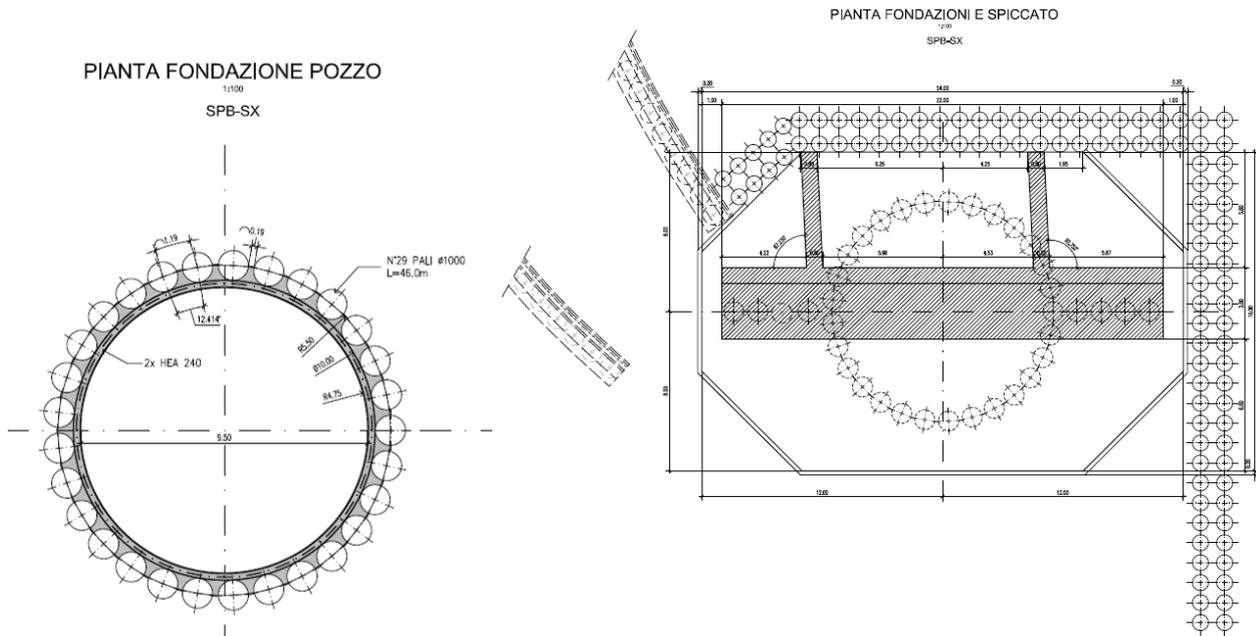


Figura 9.23: Pianta del pozzo e spiccato della fondazione della spalla SB.

Redatto:

Dott. Ing. Andrea Giordano

Dott. Ing. Vittorio Lo Faro

Verificato:

Dott. Ing. Georgios Kalamaras

Il Progettista

Ing. Pierfrancesco Paglini



Cod. elab.: 147V1204VI04ZRD007A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – Viadotto San Giuliano – Opere di sottofondazione	Data: Giugno 2017
Nome file: v_2479-07 relazione geotecnica r2.docx	Relazione geotecnica	Pagina 80 di 81