

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A)**

**INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI  
VIADOTTO NW02 (NV97)**

**RELAZIONE DI CALCOLO VERSANTI IN FRANA**

SCALA:

-
---

COMMESSA   LOTTO   FASE   ENTE   TIPO DOC.   OPERA/DISCIPLINA   PROGR.   REV.

R	S	3	U	4	0	D	0	9	R	H	N	W	0	2	0	0	0	0	2	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma ROCKSOIL-Edin	GIUGNO 2020	MENESCHINCHERI	GIUGNO 2020	BARRECA		VITTORIO NO

ITALFERR S.p.A.  
 U.O. Opere Civil e gestione delle vie ferrate  
 Dist. Ing. Angelo Rizzoli  
 Codice degli Impianti delle Infrastrutture n° 425013

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	2 di 77

## INDICE

1. PREMESSA .....	5
2. NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	6
3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
4. SOFTWARE .....	6
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	7
6. GEOMORFOLOGIA .....	8
7. DISSESTI E PROCESSI EROSIVI.....	9
7.1 DISSESTO ID 97 – PK 24+000 .....	10
7.2 DISSESTO ID 101 – PK 24+000 .....	14
8. METODOLOGIA GENERALE DI ANALISI DEI MOVIMENTI .....	18
9. PROVE DI TAGLIO DIRETTO RESIDUO .....	19
10. DEFINIZIONE DELL'ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO DA CORRELAZIONI EMPIRICHE.....	19
11. MODELLO GEOTECNICO.....	21
12. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI DISSESTI.....	22
12.1 DISSESTO ID 97Bis – PK 24+000 .....	26
12.2 DISSESTO ID 101 – PK 24+000 .....	29
12.3 OPERE DI PRESIDIO .....	33
13. OPERE DI MITIGAZIONE .....	34
13.1 INTRODUZIONE .....	34
13.2 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI .....	34
13.3 ANALISI.....	34
13.3.1 FRANA 97.....	39
13.3.1.1 Risultati analisi strutturali (con parametri caratteristici).....	41

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	3 di 77

13.3.1.1.1	ANALISI SLOPE .....	41
13.3.1.1.2	ANALISI PARATIE.....	42
13.3.1.1.3	Frana 97 – Momento Flettente.....	43
13.3.1.1.4	Frana 97 - Taglio.....	44
13.3.1.1.5	Frana 97 - Spostamento .....	45
<b>13.3.1.2</b>	<b>Risultati analisi strutturali sismiche.....</b>	<b>46</b>
13.3.1.2.1	ANALISI SLOPE .....	47
13.3.1.2.2	ANALISI PARATIE.....	49
13.3.1.2.3	Frana 97 – Momento Flettente.....	50
13.3.1.2.4	Frana 97 – Taglio.....	51
<b>13.3.1.3</b>	<b>Risultati Analisi (GEO).....</b>	<b>52</b>
13.3.1.3.1	ANALISI SLOPE .....	52
13.3.1.3.2	ANALISI PARATIE.....	53
13.3.1.3.3	Frana 2 – Spinta passiva utilizzata.....	54
<b>13.3.1</b>	<b>VERIFICHE A1+M1 .....</b>	<b>54</b>
<b>13.3.2</b>	<b>SLU -SLV- SLE.....</b>	<b>54</b>
<b>13.3.2.1</b>	<b>Sollecitazioni di calcolo .....</b>	<b>54</b>
<b>13.3.2.2</b>	<b>Frana 97 - Momento Flettente – SLU: STATICO E SISMA .....</b>	<b>56</b>
<b>13.3.2.3</b>	<b>Frana 97 - Taglio – SLU: STATICO E SISMA .....</b>	<b>56</b>
<b>13.3.2.4</b>	<b>Frana 97 – SLE .....</b>	<b>57</b>
<b>13.3.3</b>	<b>FRANA 101.....</b>	<b>58</b>
<b>13.3.3.1</b>	<b>Risultati analisi strutturali (parametri caratteristici) .....</b>	<b>59</b>
13.3.3.1.1	ANALISI SLOPE .....	59
13.3.3.1.2	ANALISI PARATIE.....	60
13.3.3.1.3	Frana 101 – Momento Flettente.....	62
13.3.3.1.4	Frana 101 - Taglio.....	63
13.3.3.1.5	Frana 101 - Spostamenti .....	64
<b>13.3.3.2</b>	<b>Risultati analisi strutturali sismiche.....</b>	<b>64</b>
13.3.3.2.1	ANALISI SLOPE .....	66
13.3.3.2.2	ANALISI PARATIE.....	67
13.3.3.2.3	Frana 101 – Momento Flettente.....	68
13.3.3.2.4	Frana 101 – Taglio.....	69
<b>13.3.3.3</b>	<b>Risultati Analisi con parametri ridotti (GEO) .....</b>	<b>70</b>
13.3.3.3.1	ANALISI SLOPE .....	70
13.3.3.3.2	ANALISI PARATIE.....	71
13.3.3.3.3	Frana 101 – Resistenza passiva.....	72
<b>13.3.4</b>	<b>VERIFICHE A1+M1 .....</b>	<b>72</b>
<b>13.3.5</b>	<b>SLU -SLV- SLE.....</b>	<b>72</b>

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	4 di 77

<b>13.3.5.1</b>	<b><i>Sollecitazioni di calcolo</i></b> .....	<b>72</b>
<b>13.3.5.2</b>	<b><i>Frana 101 - Momento Flettente – SLU: STATICO E SISMA</i></b> .....	<b>73</b>
<b>13.3.5.3</b>	<b><i>Frana 101 - Taglio – SLU: STATICO E SISMA</i></b> .....	<b>73</b>
<b>13.3.5.4</b>	<b><i>Frana 101 – SLE</i></b> .....	<b>74</b>
<b>14.</b>	<b>MONITORAGGIO GEOTECNICO</b> .....	<b>75</b>
14.1	CONTROLLO PARAMETRI METEORICI .....	75
14.2	CONTROLLO DEI MOVIMENTI SUPERFICIALI .....	75
14.3	CONTROLLO DEI MOVIMENTI PROFONDI E DEI LIVELLI DI FALDA .....	76
14.4	FREQUENZA DI LETTURA.....	76
14.5	DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME.....	76

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

## 1. PREMESSA

Il presente documento, riguardante lo studio geotecnico dei dissesti rilevati (elaborati di riferimento: RS3U40D29PZGE0000001C, RS3U40D29PZGE0000002B, RS3U40D29PZGE0000003A, RS3U40D29PZGE0000004A) si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici del progetto definitivo della Diretrice ferroviaria Messina-Palermo-Catania, tratte Lercara – Xirbi e Caltanissetta Xirbi - Dittaino, suddivise rispettivamente nel lotto funzionale 3 e nei lotti funzionali 4a (Caltanissetta Xirbi – Enna) e 4b (Enna – Dittaino).

La tratta Lercara – Xirbi (Lotto 3) si estende tra le stazioni di Lercara Diramazione (inclusa) e Caltanissetta Xirbi (inclusa), dal km 0+000 (coincidente con la pk 76+730 della linea storica Palermo Catania) al km 47+683 (coincidente con la pk 126+412 della linea storica Palermo Catania).

La tratta Caltanissetta Xirbi – Enna (4a) si estende tra le stazioni di Caltanissetta Xirbi (esclusa) ed Enna (esclusa), dal km 0+000 (coincidente con la pk 125+759 della linea storica Palermo Catania) al km 26+700 (coincidente con la pk 157+130 della linea storica Palermo Catania).

Nello specifico si tratta dei dissesti rilevati nella viabilità NV97 ed intefrerenenti con le fondazioni del viadotto NW02.

Sono analizzati dapprima il metodo e lo studio adottati per la caratterizzazione geotecnica dei dissesti e successivamente le opere di mitigazione a protezione delle infrastrutture in progetto.

Pertanto:

- nel capitolo 6 si riassumono gli aspetti geologici e geomorfologici dell'area del dissesto, fornendo una sintesi degli elementi rilevati dalle elaborazioni geologiche;
- nel capitolo 9 si descrive la metodologia di lavoro utilizzata nell'ambito della caratterizzazione dei dissesti direttamente o indirettamente interferenti con le opere;
- nel capitolo 13 si riassumono gli aspetti geotecnico specifici di ogni movimento franoso individuato;
- nel capitolo 14 si forniscono indicazioni sulle azioni intraprese dal progettista e relative verifiche.

I criteri di interpretazione ed elaborazione tengono conto del fatto che lungo il tracciato in esame sono stati rinvenuti fondamentalmente depositi limoso –argillosi, in cui si incontrano alternanze di rocce sedimentarie.

I parametri progettuali adottati ed i criteri di dimensionamento delle opere sono conformi con la normativa vigente (NTC2018).

La presenza di aree caratterizzate da dissesti, comunque di estensione e spessori limitati, in corrispondenza delle opere in progetto porta alla necessità di prevedere opere di contenimento intese a evitare lo sviluppo di fenomeni di arretramento e/o espansione delle aree di dissesto e di presidi a garanzia della stabilità delle opere e delle porzioni di versante direttamente interessate.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b></p>												
<p>VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40 D 09</td> <td>RH</td> <td>NW0200 002</td> <td>A</td> <td>6 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	6 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	6 di 77								

Tenendo conto delle necessità e della funzionalità delle opere, in generale nella progettazione, si è cercato, per quanto possibile, di limitare le ampiezze di scavo, in modo da minimizzare l'impatto sul territorio. Le opere di maggior impatto riguardano il progetto delle aree d'imbocco delle gallerie. In ciascuna scheda viene fornita una sintesi delle azioni intraprese dal progettista al fine di verificare il grado di interferenza tra elementi di progetto ed elementi di dissesto, evidenziando gli effetti positivi sull'area in frana derivanti dalle misure messe in atto per impedirli.

## **2. *NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO***

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, "Aggiornamento delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni";
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14/01/2018".
- Rif. [3] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 C "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili" (21/12/2018);
- Rif. [4] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 C "Manuale di Progettazione delle opere civili" (21/12/2018);

## **3. *DOCUMENTI DI RIFERIMENTO***

- Rif. [5] Italferr, Progetto Preliminare/Progetto di fattibilità tecnico economica [Dicembre 2018];
- Rif. [6] ITALFERR - [RS3D00014RGMD0000001A], Dossier dati e requisiti di base [Maggio 2018].

Nel presente documento si fa inoltre riferimento ai seguenti elaborati allegati al progetto:

- Rif. [7] U.O. Geologia - [RS3G30R69RHGE0005001A] "Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica"

## **4. *SOFTWARE***

- GeoSlope vers.2007 - Geostru
- Paratie plus 14.1 - Harpaceas

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA  RS3U	LOTTO  40 D 09	CODIFICA  RH	DOCUMENTO  NW0200 002	REV.  A	FOGLIO  7 di 77

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Ai fini dell'inquadramento geologico e geomorfologico delle aree di interesse, la prima fase del lavoro è consistita nel reperimento di tutti i dati disponibili per l'elaborazione di un modello concettuale dell'area. Sono, inoltre, stati utilizzati i dati di campagne geognostiche ed indagini appositamente commissionate.

La disponibilità, per l'area d'interesse, di documentazioni geologiche di dettaglio e di modelli geologico-strutturali di riferimento ha permesso di inquadrare fin dall'inizio le attività di studio e di analisi all'interno di un modello generale adatto alle finalità del progetto.

Lo studio si è svolto mediante lo sviluppo delle seguenti attività:

- Analisi aerofotogrammetrica finalizzata sia al controllo delle risultanze geomorfologiche pregresse ed alla loro integrazione, sia al riconoscimento dei principali lineamenti tettonici dell'area;
- Rilevamento geologico strutturale in scala 1:5.000 volto al riconoscimento dei litotipi presenti, alla definizione del loro assetto tettonico con riconoscimento e misura di elementi fragili e duttili presenti in affioramento;
- Rilievo geomorfologico con verifica delle risultanze dell'analisi aerofotogrammetrica ed integrazione dati;
- Analisi di tutte le stratigrafie dei sondaggi pregressi per integrare i dati di superficie;
- Realizzazione di apposite campagne geognostiche in sito (sondaggi, geofisica e rilievi geomeccanici) ed in laboratorio;
- Prelievo di campioni e analisi chimiche eseguiti sulle diverse litologie attraversate dai tracciati;
- Rilievo geomorfologico di dettaglio eseguito sulle specifiche aree in frana.

Sulla base delle attività conoscitive e di tutti i dati raccolti, è stato ricostruito il quadro geologico dell'area di studio per cui sono stati prodotti le seguenti tipologie di elaborati:

- carta geologica;
- profili geologici in asse ai tracciati delle opere principali;
- carta geomorfologica;
- carta di ubicazione delle indagini;

La caratterizzazione geotecnica delle principali formazioni geologiche e geomorfologiche presenti lungo il tracciato di progetto fa riferimento alle indagini geotecniche effettuate sia nell'ambito della fase di progettazione definitiva sia delle precedenti fasi progettuali.

Le attività propedeutiche effettuate sono:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>  <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>  <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b></p>					
	<p>VIADOTTO NW02 (NV97)</p> <p>Relazione di calcolo versanti in frana</p>	<p>COMMESSA</p> <p>RS3U</p>	<p>LOTTO</p> <p>40 D 09</p>	<p>CODIFICA</p> <p>RH</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>NW0200 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>

- prove penetrometriche dinamiche SPT in foro;
- prove di permeabilità Lugeon in foro;
- prove dilatometriche in foro con dilatometro da roccia;
- prove geofisiche in foro (CH e DH) per la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione  $V_p$  e di taglio  $V_s$ ;
- prove di laboratorio di classificazione di resistenza e di deformabilità su campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno, prelevati nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio su provini prelevati nei fori di sondaggio;
- stendimenti di geofisica (sismica a rifrazione, a riflessione, geoelettrica);
- rilievi geologici su alcuni affioramenti rocciosi rappresentativi.
- misure piezometriche
- misure inclinometriche
- rilievi geostrutturali su alcuni affioramenti rocciosi rappresentativi.

## 6. GEOMORFOLOGIA

L'evoluzione geomorfologica dell'area oggetto di studio è strettamente legata all'evoluzione geodinamica della catena Appenninico-Maghrebide e dell'avanfossa Gela-Catania (Lentini et al. 1995; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000), particolarmente intensa nel Pleistocene medio-superiore e nell'Olocene (Carbone et al. 2010), nonché ai fenomeni di erosione superficiale che hanno interessato la regione durante il Quaternario (Carbone et al. 2010).

Le aree montuose sono caratterizzate da un'orografia relativamente aspra e sono generalmente delimitate da versanti da mediamente a fortemente inclinati. In questi settori il controllo strutturale sulla morfologia è piuttosto accentuato; ad esso si sommano effetti di processi morfogenetici quali il carsismo, l'erosione differenziale, fenomeni di dissesto e/o deformazioni gravitative profonde.

Il rilievo principale nell'ambito del corridoio di progetto è rappresentato dalla dorsale su cui sorge l'abitato di Marianopoli; il rilievo è impostato, lungo il versante orientale, da litotipi di pertinenza del Gruppo della Gessoso-Solfifera, in particolare il Calcarea di Base, con giacitura approssimativamente monoclinale subparallela al pendio; sul lato occidentale, la giacitura a reggipoggio del calcarea forma una barra allungata in direzione NE-SW, in parte condizionata da lineamenti tettonici.

Il settore collinare che contraddistingue la maggior parte del tracciato è caratterizzato da una morfologia molto meno accentuata, condizionata prevalentemente dalla presenza diffusa di unità litostratigrafiche a dominante componente pelitica. L'evoluzione di queste aree, caratterizzate da rilievi collinari poco acclivi, è essenzialmente controllata dall'azione dei corsi d'acqua che hanno generato ampie vallate a morfologia pianeggiante (Catalano et al. 2011). Fra le forme fluviali sono frequenti le incisioni connesse all'abbassamento del livello di base dell'erosione, come valli a V, vallecicole a fondo concavo e brevi gole

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA  RS3U	LOTTO  40 D 09	CODIFICA  RH	DOCUMENTO  NW0200 002	REV.  A	FOGLIO  9 di 77

fluviali, inoltre forme legate all'erosione laterale durante le fasi di stazionamento del livello di base, come meandri, scarpate di erosione, terrazzi e superfici di spianamento.

## 7. DISSESTI E PROCESSI EROSIVI

I versanti vallivi che caratterizzano il settore collinare sono spesso interessati da processi di dilavamento ed erosione superficiale e dall'innescò di frequenti movimenti franosi che interessano i primi metri dei terreni di copertura ma che molto raramente vanno a incidere i litotipi del substrato (Alfieri et al. 1994; Agnesi et al. 2000; Contino, 2002).

Le forme di ruscellamento consistono solitamente in superfici di erosione superficiale diffusa, con formazione di rivoli e solchi di erosione sul cui fondo si depositano accumuli colluviali, oppure calanchi in stadio da embrionale a evoluto, particolarmente frequenti nelle litofacies a prevalente componente argilloso-marnosa.

I dissesti superficiali costituiscono un agente morfogenetico importante. I fenomeni più diffusi sono rappresentati da frane di colamento e frane composite, cioè frane caratterizzate dalla concomitanza di più meccanismi evolutivi, tipicamente una combinazione di movimento rotazionale iniziale che evolve in colamento. La maggior parte delle frane cartografate lungo il corridoio di progetto appartengono a queste due categorie. Laddove vengono coinvolti litotipi con una componente litoide importante, ad esempio le successioni della Gessoso-Solfifera o del Gruppo di Enna, possono svilupparsi movimenti franosi di grandi dimensioni in cui una componente iniziale di crollo evolve successivamente o in maniera concomitante in colamento. Alcune di queste frane, cartografate a livello regionale, possono generare forme di accumulo lunghe fino a un massimo di 3-4 km, con spessori che per i corpi di maggiore estensione possono superare 100 m, mentre per i dissesti più piccoli sono generalmente compresi tra 2 e 10 m (Catalano et al. 2011).

Per la descrizione geologica delle tipologie di dissesto presenti lungo tutta la tratta si rimanda alla "Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica" (Rif. [7]).

Si riportano in seguito, per ogni dissesto studiato in questo specifico contesto (frane 97 e 101), una Scheda specifica:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 7.1 DISSESTO ID 97 – PK 24+000

#### Scheda

<b>CODICE DISSESTO e data rilevamento</b>	L4_NV dissesto n.97 -29/08/2019		
<b>opera</b>	LOTTO 4 - Nuova Viabilità		
<b>tipo di dissesto</b>	Frana per movimento di colamento lento		
<b>stato di attività</b>	attivo		
<b>dati morfologici</b>	(m)		
larghezza:	90	quota coronamento:	364
lunghezza (dal coronamento al piede):	180	quota piede:	337
profondità nicchia di distacco:	2-3		
spessore massa spostata:	'4-6		
dislocazione:	27		
pendenza versante:	15-20°		
uso del suolo: aree incolte, aree coltivate			
Nell'area si riconoscono evidenze morfologiche di un movimento complesso inattivo, che ha generato depositi detritici di spessore fino a circa 10 m, descritto nella scheda 97_bis. La frana attiva (colamento lento) coinvolge la parte superficiale di questi depositi, per uno spessore di circa 3 m.			
<b>Note</b>	Nel dissesto e nelle vicinanze sono presenti i sondaggi 4a-V14, 4a-V15, 4a-V16, 4a-V17.		

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

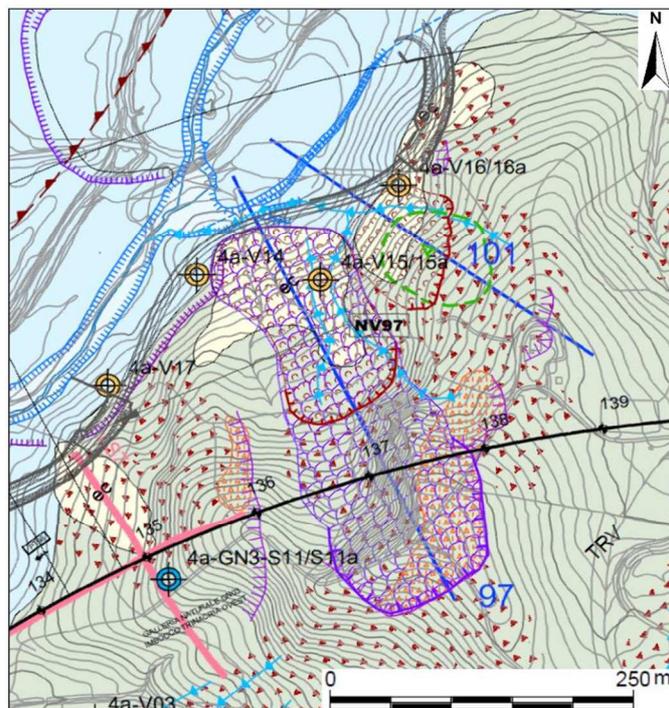
<b>CODICE DISSESTO e data rilevamento</b>	L4_NV dissesto n.97bis -29/08/2019				
<b>opera</b>	LOTTO 4 - Nuova Viabilità				
<b>tipo di dissesto</b>	Frana complessa (rotazionale + colamento) inattiva				
<b>stato di attività</b>	inattiva				
<b>dati morfologici</b>	(m)				
larghezza:	90		quota coronamento:	424	
lunghezza (dal coronamento al piede):	360		quota piede:	337	
profondità nicchia di distacco:	05-10				
spessore massa spostata:	10				
dislocazione:	110				
pendenza versante:	15-20°				
uso del suolo:	aree incolte, aree coltivate				
<p>Movimento complesso inattivo, rimodellato, che ha generato un accumulo di depositi detritici di spessore fino a circa 10 m ubicati al piede del versante. Non sono presenti evidenze geomorfologiche che possano far pensare ad una possibile riattivazione del fenomeno nella sua interezza. Nella parte inferiore del versante lo strato superficiale dei depositi detritici è coinvolto da movimenti di colamento lento, attivo, per uno spessore di circa 3 m, non interpretabile come riattivazione del dissesto originale.</p>					
<b>Note</b>	Nel dissesto e nelle vicinanze sono presenti i sondaggi 4a-V14, 4a-V15, 4a-V16, 4a-V17.				

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	12 di 77

### Stralcio cartografico



Estratto della carta geologico-geomorfologica: in blu la traccia della sezione geologica riportata nella pagina seguente. Per la legenda si rimanda alla carta.

N.B. (in viola è indicato il deposito inattivo con indicata la posizione della nicchia dell' iniziale distacco,  
In rosso il deposito attualmente attivo con relativa nicchia di distacco)

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	13 di 77

Foto



Panoramica dell'accumulo della frana complessa inattiva, interessato nella parte superficiale da fenomeni di colamento lento.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>NW0200 002</b>	REV. <b>A</b>

## 7.2 DISSESTO ID 101 – PK 24+000

### Scheda

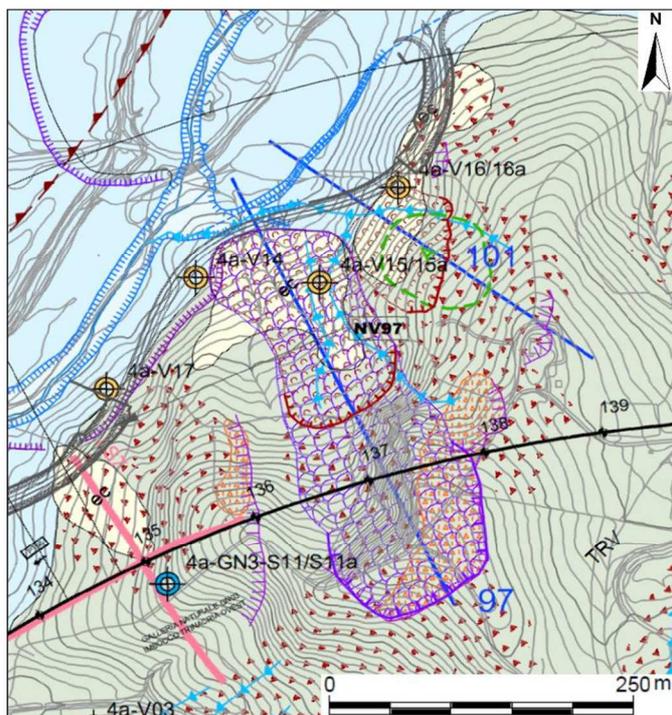
<b>CODICE DISSESTO e data rilevamento</b>	L4_NV dissesto n.101 -29/08/2019		
<b>opera</b>	LOTTO 4 - Nuova Viabilità		
<b>tipo di dissesto</b>	Frana per movimento di colamento lento		
<b>stato di attività</b>	attivo		
<b>dati morfologici</b>	(m)		
larghezza:	90	quota coronamento:	364
lunghezza (dal coronamento al piede):	110	quota piede:	338
profondità nicchia di distacco:	2-4		
spessore massa spostata:	4-5		
dislocazione:	27		
pendenza versante:	15-20°		
uso del suolo:	aree coltivate		
Movimento di colamento lento impostato nel detrito di versante, con spessori che localmente possono arrivare a 4-5 m.			
<b>Note</b>	Nel dissesto e nelle vicinanze sono presenti i sondaggi 4a-V14, 4a-V15, 4a-V16, 4a-V17.		

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	15 di 77

### Stralcio cartografico



Estratto della carta geologico-geomorfologica: in blu la traccia della sezione geologica riportata nella pagina seguente. Per la legenda si rimanda alla carta.

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	16 di 77

**Foto**



Area interessata dal fenomeno, vista da valle

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A	FOGLIO 17 di 77

Si propone in seguito una tabella riassuntiva dei singoli dissesti analizzati:

**Tabella 1 – Tabella riassuntiva dei dissesti studiati**

CENSIMENTO MOVIMENTI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO					
FRANA	WBS	pk	SONDAGGI	INCLINOMETRO	PIEZOMETRO
ID	-	-	-	-	
97-97bis	NV97	13+447	4aV15	Si - 4aV15	4a-V15
101	NV97	13+450	4aV16	Si - 4aV16	4a-V16

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A	FOGLIO 18 di 77

## 8. METODOLOGIA GENERALE DI ANALISI DEI MOVIMENTI

Lo schema generale della metodologia di lavoro adottata è riportato in seguito:

- Analisi del quadro geomorfologico e dei dissesti
- Integrazione di indagini geofisiche, geognostico e monitoraggio piezometrico
- Analisi morfologica locale dei versanti e riscontro con le curve di livello
- Determinazione di una caratterizzazione geotecnica generale
- Svolgimento della Back Analysis
- Caratterizzazione geotecnica delle frane
- Definizione e dimensionamento delle opere e degli interventi di sistemazione idraulica e geomorfologica

Nello specifico, invece, si è operato come di seguito sintetizzato:

### Con riferimento al modello geologico (Fase I)

- Individuazione dei movimenti interferenti con le opere
- Classificazione dei dissesti
- Stato: attivo, quiescente, inattivo
- Causa di innesco

### Definizione del modello geotecnico (Fase II)

- Stratigrafia (a partire dal modello geologico)
- Geometria del cinematismo (da dati inclinometrici o a partire dalle osservazioni geologiche)
- Parametri geotecnici (caratterizzazione geotecnica generale, correlazioni di letteratura in funzione dell'indice di plasticità)
- Condizioni al contorno (posizione della falda da sondaggio piezometrico o da ipotesi idrogeologiche)

### Back analysis per verifica del modello geotecnico (Fase III):

- Definizione del fattore di sicurezza attraverso i metodi di equilibrio limite
- Imposizione condizioni al contorno (Falda, cinematismo)
- Modifica delle condizioni al contorno (falda, geometria, rivalutazione dell'angolo d'attrito caratteristico), nel caso in cui il coefficiente di sicurezza ottenuto nella fase precedente non

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

risulta coerente con lo stato del dissesto (attivo/quiescente) fino a ottenere il valore di angolo di attrito in accordo con lo stato del dissesto.

#### Dimensionamento intervento secondo Normativa (Fase IV):

- Metodi equilibrio limite / metodi agli elementi finiti

#### 9. PROVE DI TAGLIO DIRETTO RESIDUO

Si hanno a disposizione le seguenti prove di taglio diretto residuo.

Foro	N° PROVINC	Da	A	z(m)	c' [kP]	φ' [°]
4AS12	C1	5,5	6	5,75	0	10
4AGN2S08	C1	49,8	50,25	50	8	14,5
4AV15	C2	8	8,5	8,25	42	11,3
4AV15	C5	23	23,4	23,2	8	12,3
4AV16	C1	6	6,55	6,275	19,6	12,6

#### 10. DEFINIZIONE DELL'ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO DA CORRELAZIONI EMPIRICHE

Per la definizione dell'angolo di attrito residuo sono state considerate le prove di taglio diretto "a residuo" disponibili, in numero esiguo e spesso a profondità di prelievo superiore rispetto alla profondità della maggior parte dei corpi di frana identificati per cui non si dispone di dati inclinometrici. La scelta dell'angolo di attrito residuo da associare ad ogni corpo franoso si basa in primis sull'esito delle prove di laboratorio, con riferimento a valori comunque plausibili, scartando quindi valori eccessivamente bassi oppure alti in relazione ai valori medi, anche considerando il fatto che molte prove hanno evidenziato valori non nulli della coesione residua, comunque non utilizzati nelle analisi. I valori di letteratura si sono utilizzati in assenza di prove o per confronto con quelle disponibili.

In presenza di tale condizione progettuale un'alternativa è stata quella di utilizzare correlazioni empiriche derivanti da letteratura e dedicate ai terreni con una frazione argillosa prevalente quali: TRV.

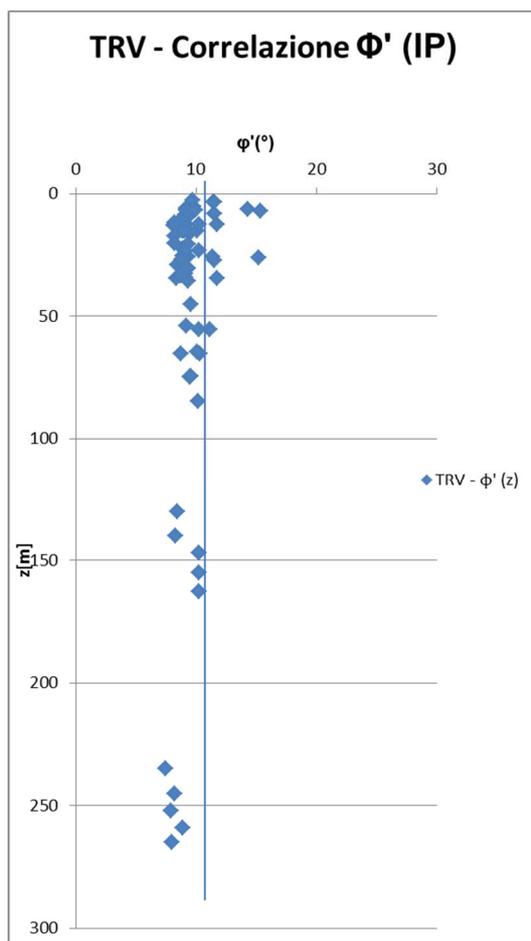
Per questi terreni è stato possibile ottenere un valore dell'indice di plasticità a cui viene associato un valore di angolo di attrito residuo secondo la formula di Kanji, 1974 riportata in seguito:

$$\phi'_R = \frac{46,6}{I_p^{0,446}}$$

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	20 di 77



**Figura 1 – Correlazione angolo di attrito residuo con IP (Kanji, 1974)**

Si può concludere che i valori di angolo di attrito residuo per una profondità tra 0 e 10m possono porsi intorno a 12-14° per la formazione TRV, assumendo una coesione residua nulla.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 4a)</p>												
<p>VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40 D 09</td> <td>RH</td> <td>NW0200 002</td> <td>A</td> <td>21 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	21 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 09	RH	NW0200 002	A	21 di 77								

## 11. MODELLO GEOTECNICO

Si riportano in seguito i dissesti individuati e oggetto di studio.

**Tabella 2 – Parametri modello geotecnico**

FRANA	LITOTIPO	TIPO	STATO	RIFERIMENTO	PROFONDITA' CORPO DI FRANA (m da pc)	inclinazione media (°)	Profondità falda da p.c. (m)	Angolo attrito residuo(°)	Riferimento
97bis	TRV	Colamento	Inattivo	Modello geologico	10	10 15	1,5	14	prove, back analysis
101	TRV	Colamento	Attivo	Modello geologico	5	10 15	2,6	12	prove, correlazione letteratura

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

## 12. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI DISSESTI

Nel presente capitolo verranno analizzate le sole frane, fra quelle descritte precedentemente ed analizzate dal punto di vista geomorfologico, che risultano potenzialmente o direttamente interferenti con le opere in progetto, sia lungo la linea che sulle viabilità.

Per ogni dissesto, l'analisi geotecnica che viene eseguita in questa sede ha lo scopo di individuare un modello che, partendo inizialmente da quello geologico, vuole definire tutti quegli elementi al contorno ("livello piezometrico critico", spessore, forma, estensione,...) che prefigurano una condizione di incipiente instabilità del corpo franoso ( $FS < 1$ ): esso non rappresenta quindi necessariamente una back analysis dello stato attuale ma un modello che poi verrà utilizzato per il dimensionamento degli interventi previsti.

Le frane esaminate vengono distinte per lo più dal punto di vista geologico come attive o quiescenti in quanto hanno mostrato dei movimenti recenti (attive) oppure in un passato comunque recente (quiescenti). Questa distinzione perde di significato dal punto di vista geotecnico ipotizzando quindi che esse siano attualmente caratterizzate da un coefficiente di sicurezza prossimo all'unità: il motore che favorisce l'instabilità ( $FS < 1$ ) di questi corpi è l'innalzamento del livello piezometrico, ad un valore maggiore o uguale rispetto a quello attualmente misurato, dovuto alle precipitazioni, oltre che ovviamente le azioni sismiche.

Il modello geotecnico che viene definito alla fine quindi può coincidere con quello geologico, dal punto di vista geometrico (spessore frana, forma...) e per livello critico di falda ipotizzato, (Vd. capitoli precedenti), oppure può discostarsene leggermente nel caso in cui la combinazione di questi fattori, unitamente alle caratteristiche di resistenza prefissate della coltre (angolo di attrito residuo derivato dalle prove di laboratorio e/o dalle correlazioni di letteratura), non evidenziasse da calcolo una condizione di incipiente instabilità ( $FS < 1$ ).

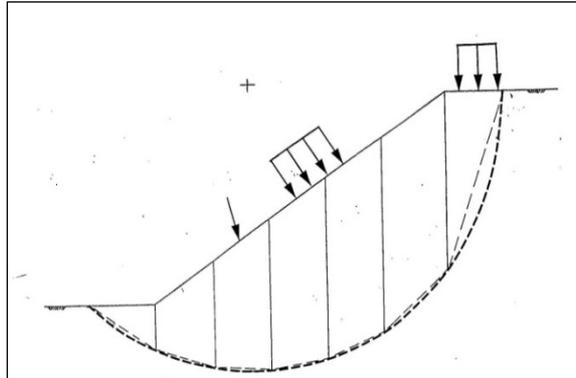
In questa sede si è analizzato anche il corpo di frana numero 97-97bis, il quale a differenza degli altri movimenti sinora citati, in base alla caratterizzazione geomorfologica precedentemente descritta, rappresenta, per le caratteristiche rilevate in sito, un accumulo attualmente inattivo e quindi stabile; pertanto a differenza delle frane classificate come attive o quiescenti, è caratterizzato da un coefficiente di sicurezza attuale maggiore di 1. Per questo corpo di frana quindi, è stata inizialmente effettuata una back analysis (sul massimo spessore ipotizzato) in cui il modello geotecnico è stato predisposto in modo da ottenere  $FS > 1$  (seppur di poco a favore di sicurezza). Questo modello tiene conto delle caratteristiche geometriche e di livelli di falda attuali e delle caratteristiche geotecniche ipotizzate. Questo modello è stato successivamente modificato (livello di falda critico e sisma in modo da simulare la condizione di incipiente scivolamento,  $fs < 1$ ) allo scopo di dimensionare le opere a protezione dei plinti del viadotto.

In questo scenario si illustrano di seguito: la descrizione delle ipotesi di calcolo e i relativi risultati, il criterio di determinazione dell'angolo di attrito, i risultati dell'analisi di stabilità all'equilibrio limite e l'indicazione delle modifiche delle condizioni al contorno apportate al fine di ottenere un fattore di sicurezza appena inferiore ad 1, dimensionamento dell'intervento e verifiche, monitoraggio.

Per l'analisi all'equilibrio limite si è utilizzata la teoria di Morgenstern e Price ed il software Slope/w

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

Il programma utilizzato, ovvero il software Slope/w si basa sull'applicazione di diversi metodi dell'equilibrio limite in condizioni bidimensionali quali il metodo di Bishop semplificato (1955), quello di Janbu semplificato (1973) e quello rigoroso di Morgenstern-Price (1965). I fattori di sicurezza presi in considerazione nel seguito sono stati ottenuti tramite il metodo di Morgenstern-Price.



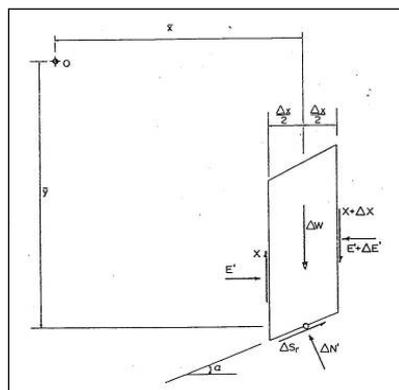
**Figura 2 – Blocco di terreno instabile suddivisione in concetti**

Il metodo valuta le condizioni di stabilità di un pendio naturale o di una scarpata artificiale ricercando per tentativi la superficie di scivolamento "critica", ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza  $F_s$  minimo, e verificando se tale valore risulta maggiore o minore di 1.

Il valore di  $F_s=1$  corrisponde ad una situazione di incipiente scivolamento del pendio lungo la superficie di scorrimento considerata.

Il metodo si basa sulla considerazione dell'equilibrio di un blocco (o "cuneo") rigido di terreno rappresentato nella figura che segue.

Il cuneo è soggetto sia all'azione del peso proprio sia a quella di eventuali forze esterne di varia natura (sovraccarichi verticali, azioni dei tiranti, forze di inerzia sismiche, ecc.); inoltre è possibile considerare la presenza della falda all'interno del pendio, trascurando il fenomeno di filtrazione.



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

**Figura 3 – Forze agenti sui conci**

A questo scopo il blocco viene dapprima suddiviso in conci e l'equilibrio globale è analizzato come somma dell'equilibrio di ciascuno di essi facendo delle assunzioni semplificative sulle forze reciproche tra i conci. Il metodo consente di valutare un valore del coefficiente di sicurezza medio della superficie di scivolamento ( $F_s=1$ ) definito come:

$$F_s = \frac{(\tau_{ult})_m}{\tau_m}$$

essendo:

$(\tau_{ult})_m$  = resistenza al taglio media del terreno lungo la superficie di scivolamento

$\tau_m$  = tensione tangenziale media mobilitata lungo la superficie di scivolamento.

Il programma ricerca automaticamente la superficie di scorrimento "critica" con un procedimento iterativo basato sul tracciamento automatico delle superfici circolari e sul successivo calcolo del coefficiente di sicurezza di ciascuna di esse. A questo proposito viene dapprima individuato un settore di passaggio (o un punto) comune a tutte le superfici di scivolamento (ad esempio: un tratto su uno dei contorni del pendio) ed una griglia di punti che vengono utilizzati come centro delle varie possibili superfici di scivolamento. Per ciascuna di esse viene eseguito il calcolo del coefficiente di sicurezza ed il valore più piccolo tra quelli ottenuti è assegnato all'intero pendio. Eventualmente la procedura può essere ripetuta imponendo altri vincoli alle superfici di scivolamento in modo da migliorare l'affidabilità della ricerca.

Oppure, come applicato nei casi che seguono, la geometria della superficie di scivolamento, la posizione della falda, e il centro del cerchio critico vengono assegnati dall'utente e il software provvede alla discretizzazione in strisce e al calcolo del fattore di sicurezza nelle condizioni imposte.

La posizione del centro del cerchio critico è stata ricercata valutando la modalità precedentemente esplicitata a maglia di centri e rette tangenti selezionando il cerchio fornente la superficie di scivolamento più prossima a quella desiderata.

Le analisi vengono eseguite considerando dapprima come dato di input la sezione geologica di studio individuata nelle fasi di caratterizzazione precedenti. In questa, come già evidenziato, sulla base di osservazioni e ipotesi geologiche in relazione ai dati a disposizione (carte geologiche, sondaggi stratigrafici, ecc), sono state ipotizzate: la stratigrafia per ogni sezione, la geometria del corpo di frana e la posizione "critica" della falda, oltre ovviamente le misure piezometriche attuali disponibili e la presenza degli inclinometri installati.

Nel corso dello studio in fase geotecnica alcune di queste ipotesi sono state modificate in modo da ottenere una soluzione plausibile in relazione agli angoli di attrito residuo ottenuti dai risultati delle prove di taglio diretto "a residuo" ( $c' = 0$ ) e/o dalle correlazioni empiriche utilizzate. Le ipotesi cui si riferisce sono in particolare: la geometria del corpo di frana e la posizione della falda critica facendo attenzione a mantenere invariata la posizione della nicchia di distacco, più precisamente identificata e localizzata nel modello geologico (in quanto visibile da ispezioni visive in situ).

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA  RS3T	LOTTO  40 D09	CODIFICA  RH	DOCUMENTO  NW0200 002	REV.  A	FOGLIO  25 di 77

Successivamente per ogni corpo di frana individuato si presenta un capitolo in cui vengono illustrate ipotesi, gli input di calcolo geotecnici e i risultati in termini di FS raggiunto (FS<1)-

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 12.1 DISSESTO ID 97bis – PK 24+000

#### Scheda

<b>CODICE DISSESTO e data rilevamento</b>	L4_NV dissesto n.97bis -29/08/2019				
<b>opera</b>	LOTTO 4 - Nuova Viabilità				
<b>tipo di dissesto</b>	Frana complessa (rotazionale + colamento) inattiva				
<b>stato di attività</b>	inattiva				
<b>dati morfologici</b>	(m)				
larghezza:	90		quota coronamento:	424	
lunghezza (dal coronamento al piede):	360		quota piede:	337	
profondità nicchia di distacco:	05-10				
spessore massa spostata:	10				
dislocazione:	110				
pendenza versante:	15-20°				
uso del suolo:	aree incolte, aree coltivate				
<p>Movimento complesso inattivo, rimodellato, che ha generato un accumulo di depositi detritici di spessore fino a circa 10 m ubicati al piede del versante. Non sono presenti evidenze geomorfologiche che possano far pensare ad una possibile riattivazione del fenomeno nella sua interezza. Nella parte inferiore del versante lo strato superficiale dei depositi detritici è coinvolto da movimenti di colamento lento, attivo, per uno spessore di circa 3 m, non interpretabile come riattivazione del dissesto originale.</p>					
<b>Note</b>	Nel dissesto e nelle vicinanze sono presenti i sondaggi 4a-V14, 4a-V15, 4a-V16, 4a-V17.				

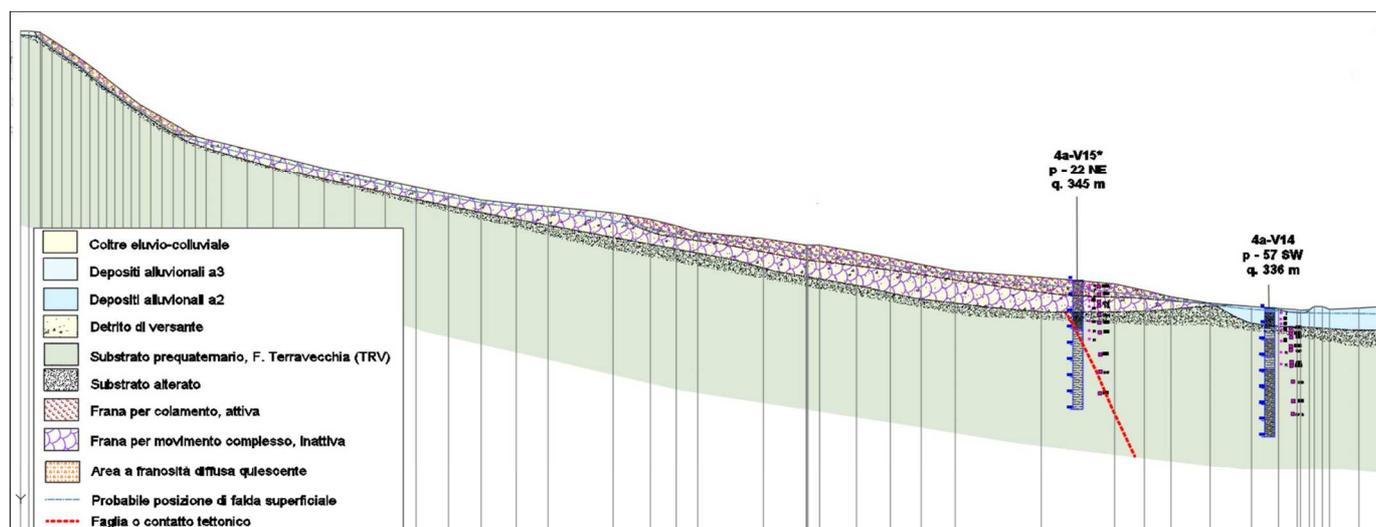
VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	27 di 77

N°LETTURE	Data rilievo	4aV15 Casagr. 5 m	4aV15 Casagr. 15 m
		falda m da P.C	falda m da P.C
1° LETTURA	15/10/2019	-	-
2° LETTURA	06/12/2019	-	-
3° LETTURA	20/01/2020	-	-
4° LETTURA	11/02/2020	-	-
		-	-
5° LETTURA	20/02/2020	-	-
6° LETTURA	17/03/2020	-	-
7° LETTURA	23/04/2020	-2,50	-2,50

### Sezione geologica



sezione geologica del versante interessato dal dissesto

### Ipotesi di calcolo e risultati

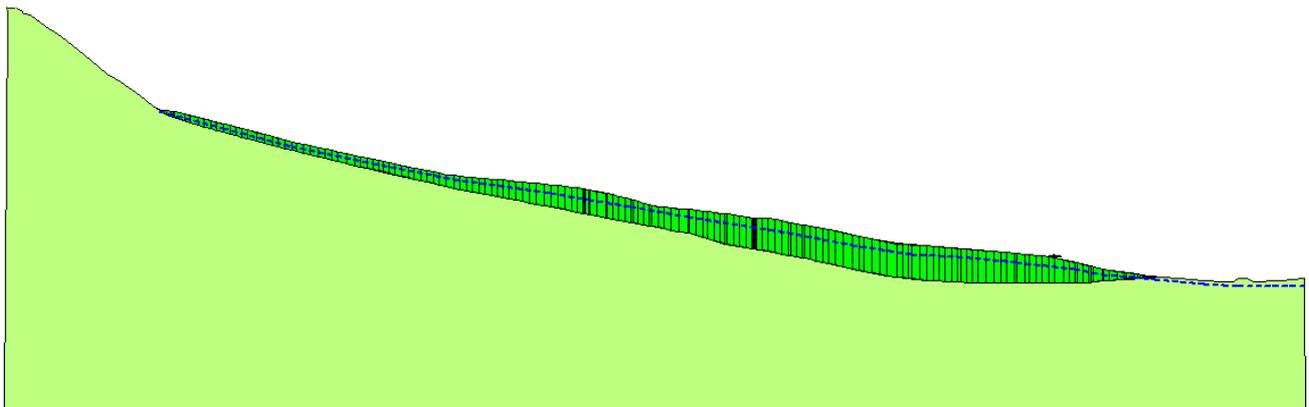
In questa sede si è analizzato il corpo di frana numero 97, il quale in base alla caratterizzazione geomorfologica precedentemente descritta è composto da uno strato superficiale attivo ma di spessore esiguo e da uno molto più esteso e profondo classificato però come attualmente inattivo (97bis).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

Il modello geotecnico fa riferimento alla formazione più profonda attualmente inattiva in quanto ritenuta più significativa. Il modello geotecnico differisce da quello geologico per la sola parte a monte decisamente più acclive, in quanto non si ritiene compatibile con le caratteristiche geotecniche della coltre. Tale corpo di frana rappresenta, un accumulo attualmente inattivo e quindi stabile: pertanto a differenza delle frane classificate come attive o quiescenti, è caratterizzato da un coefficiente di sicurezza attuale maggiore di 1.

Per questo corpo di frana quindi, è stata inizialmente effettuata una back analysis in cui il modello geotecnico è stato predisposto in modo da ottenere F.S. >1 (seppur di poco a favore di sicurezza). Questo modello tiene conto delle caratteristiche geometriche e di livelli di falda attuali e delle caratteristiche geotecniche ipotizzate (substrato TRV a profondità massima pari a 10m).

Questo modello è stato successivamente modificato (individuando un livello di falda critico (circa -1,5m da p.c.) ed inserendo il sisma di progetto dell'opera da proteggere, in modo da simulare la condizione di incipiente scivolamento, (F.S.<1 (0.99)) allo scopo di dimensionare le opere a protezione dei plinti del viadotto.



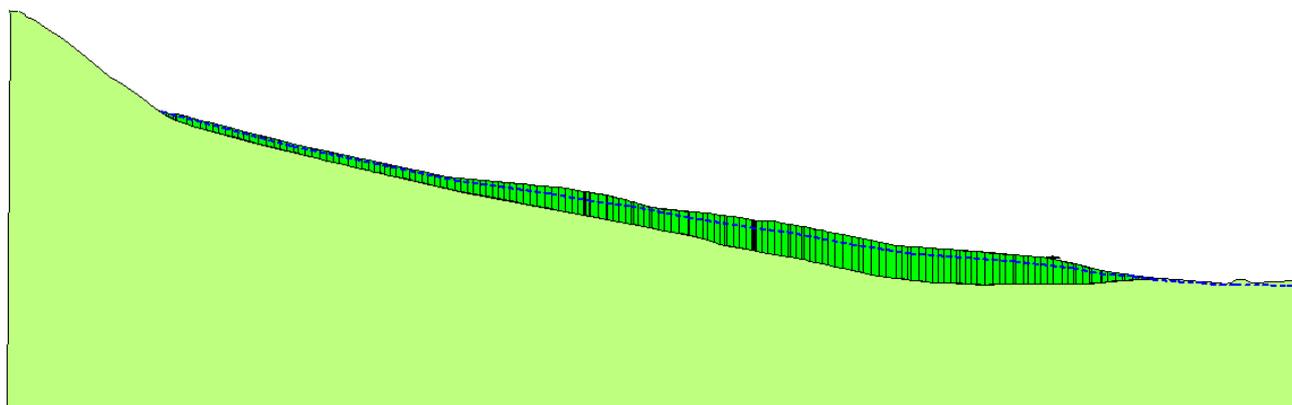
Terreno	F	$\Phi'$
Coltre (TRV)	1.07	14°

**Tabella 3 – Sezione 97 – Parametri di back analysis – stato attuale inattivo – falda a circa 2.5m da p.c.**

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	29 di 77



Terreno	F	$\Phi'$
Coltre (TRV)	0.99	14°

**Tabella 4 – Sezione 97 – Modello geotecnico dimensionante - livello di falda critica - FS<1.00 – falda a -1.5m da p.c.**

Nelle successive analisi di dimensionamento delle opere verrà dunque adottato il secondo modello con F.S.=0.99.

## 12.2 DISSESTO ID 101 – PK 24+000

### Scheda

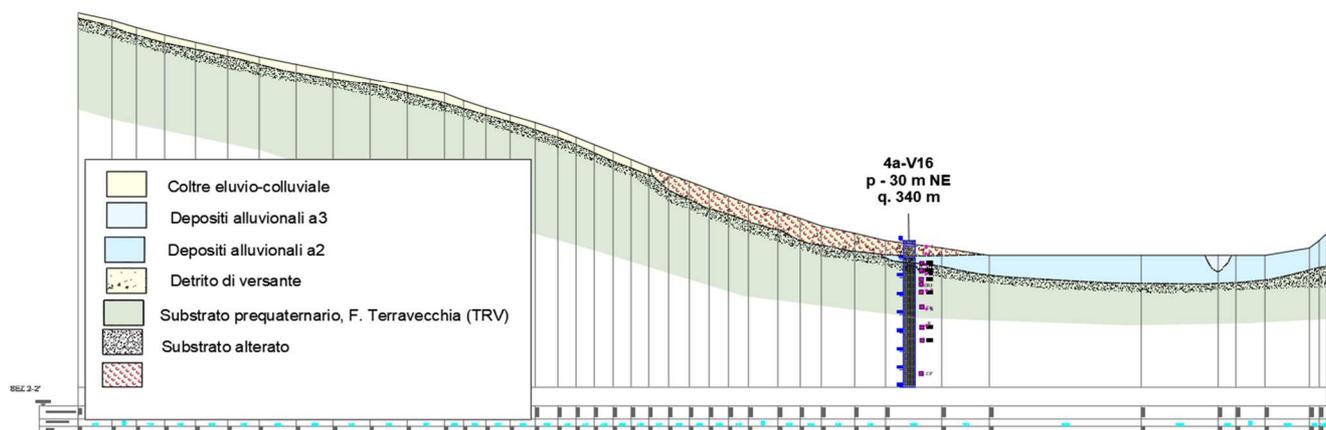


VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	31 di 77

### Sezione geologica



sezione geologica del versante interessato dal dissesto

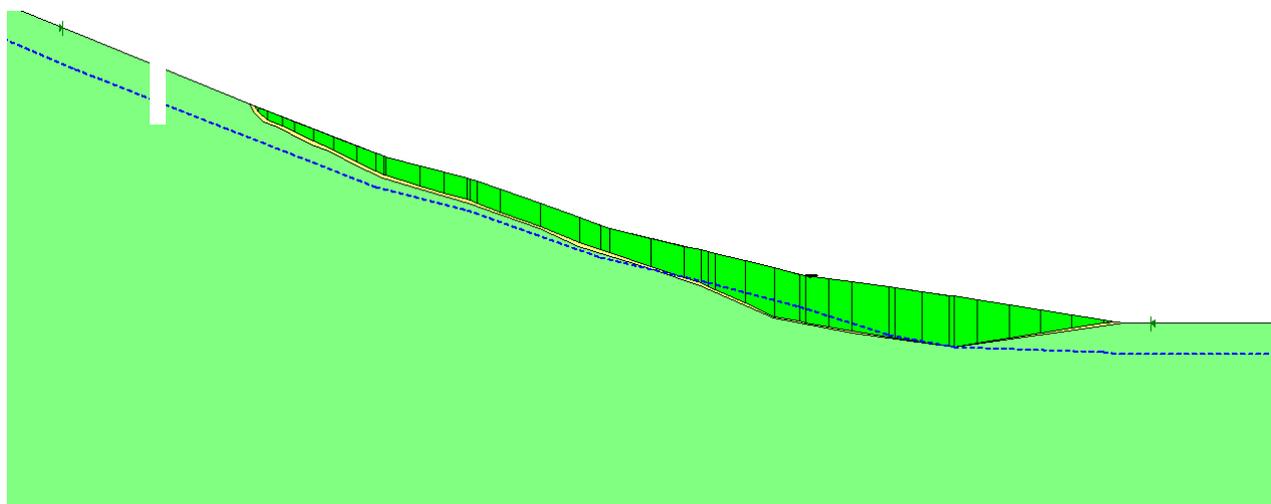
### Ipotesi di calcolo e risultati

Le ipotesi del modello geotecnico non rispecchiano quelle del modello geologico: il corpo di frana costituito da coltre su un substrato di TRV con una profondità pari a circa 5m in corrispondenza del sondaggio assume una forma diversa a monte, la falda, come da misure disponibili, è stata comunque mantenuta a circa 2.60m dal p.c.

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	32 di 77



Terreno	F	$\phi'$
Coltre (TRV)	0.99	12°

Tabella 5 – Sezione 101 – Parametri di back analysis

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA  RS3T	LOTTO  40 D09	CODIFICA  RH	DOCUMENTO  NW0200 002	REV.  A	FOGLIO  33 di 77

### 12.3 OPERE DI PRESIDIO

Il dimensionamento delle opere di presidio per le frane in studio è stato effettuato selezionando un singolo caso, il più sfavorevole, per cui si è proceduto al calcolo dell'”opera tipo” da prevedere, nella fattispecie di una berlinese di pali a sezione circolare con una trave di coronamento in testa

Nei paragrafi seguenti se ne illustrerà il tipo di opera, l'analisi e la verifica secondo le vigenti norme tecniche per le costruzioni

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</p>					
<p>VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana</p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 40 D09</p>	<p>CODIFICA RH</p>	<p>DOCUMENTO NW0200 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 34 di 77</p>

### 13. OPERE DI MITIGAZIONE

#### 13.1 INTRODUZIONE

Nel presente capitolo si illustrano le analisi e le verifiche secondo la normativa vigente delle opere di mitigazione delle frane che interferiscono con le opere.

Si sono scelte le cinque sezioni più rappresentative, le cui analisi sono state effettuate usando il software agli elementi finiti Paratie Plus 14.

Il tipo di opera previsto per la frana 101 è quello di una paratia ad arco a protezione della pila del viadotto NW02 in calcestruzzo armato C25/30 composta da 1 fila di pali  $\Phi 1000$  passo 1.2m con un'armatura longitudinale composta da ferri  $\Phi 30$  e spirali  $\Phi 14$  passo 20 cm per la frana 101 e con profondità di infissione 15 m d.p.c.

La frana 97 consta invece di paratie configurate planimetricamente ad arco a protezione delle pile del viadotto NW02 e costituite da pali disposti su due file a quinconce con diametro 1500, interasse 1.70m e profondità di infissione 25 m d.p.c, anch'esse armate con ferri  $\Phi 30$ .

Si sono disposti anche dei drenaggi per diminuire accumuli localizzati di falda a tergo della paratia, dovuti ad eventi meteorici e smaltiti con una canaletta a valle in calcestruzzo.

Queste paratie saranno predisposte a valle della frana a protezione delle fondazioni dei plinti del viadotto NW02.

#### 13.2 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI

#### 13.3 ANALISI

Ai fini del dimensionamento dell'opera di sostegno si sono considerate per le frane 97bis e 101 i maggiori spessori ed inclinazione del versante, a prescindere dalla loro posizione relativa rispetto al corpo di frana, considerando quindi gli spessori di frana più elevati fra quelli ipotizzati (oltre che le altre caratteristiche come le pendenze del versante). Il principio è quello secondo cui ad un volume di terra maggiore corrisponde una forza stabilizzante più elevata che quindi deve essere fornita dall'opera in progetto. Si riportano in seguito le immagini delle frane selezionate cui si riferiscono le opere di presidio verificate.

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	35 di 77

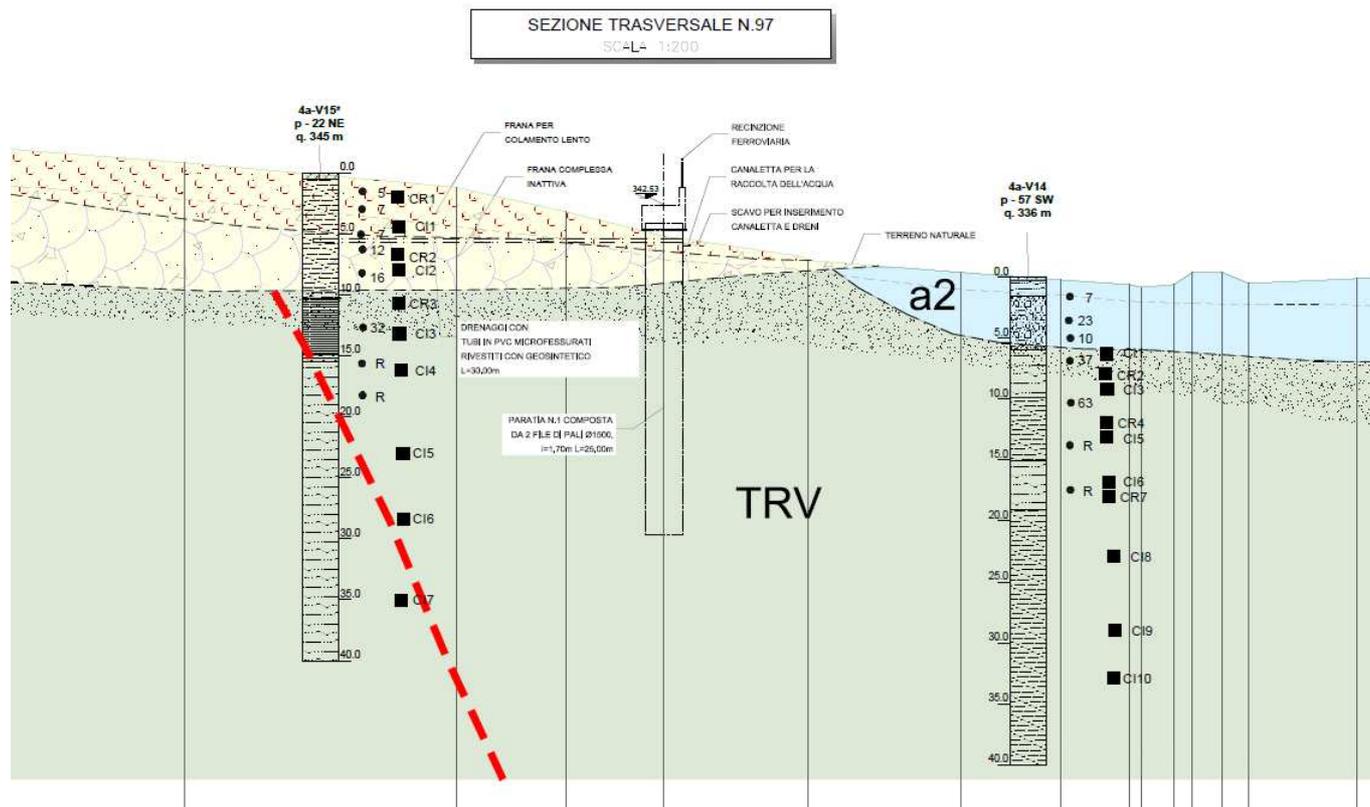


Figura 4: Frana numero 97 e accumulo di frana 97bis (piu profonda)

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	36 di 77

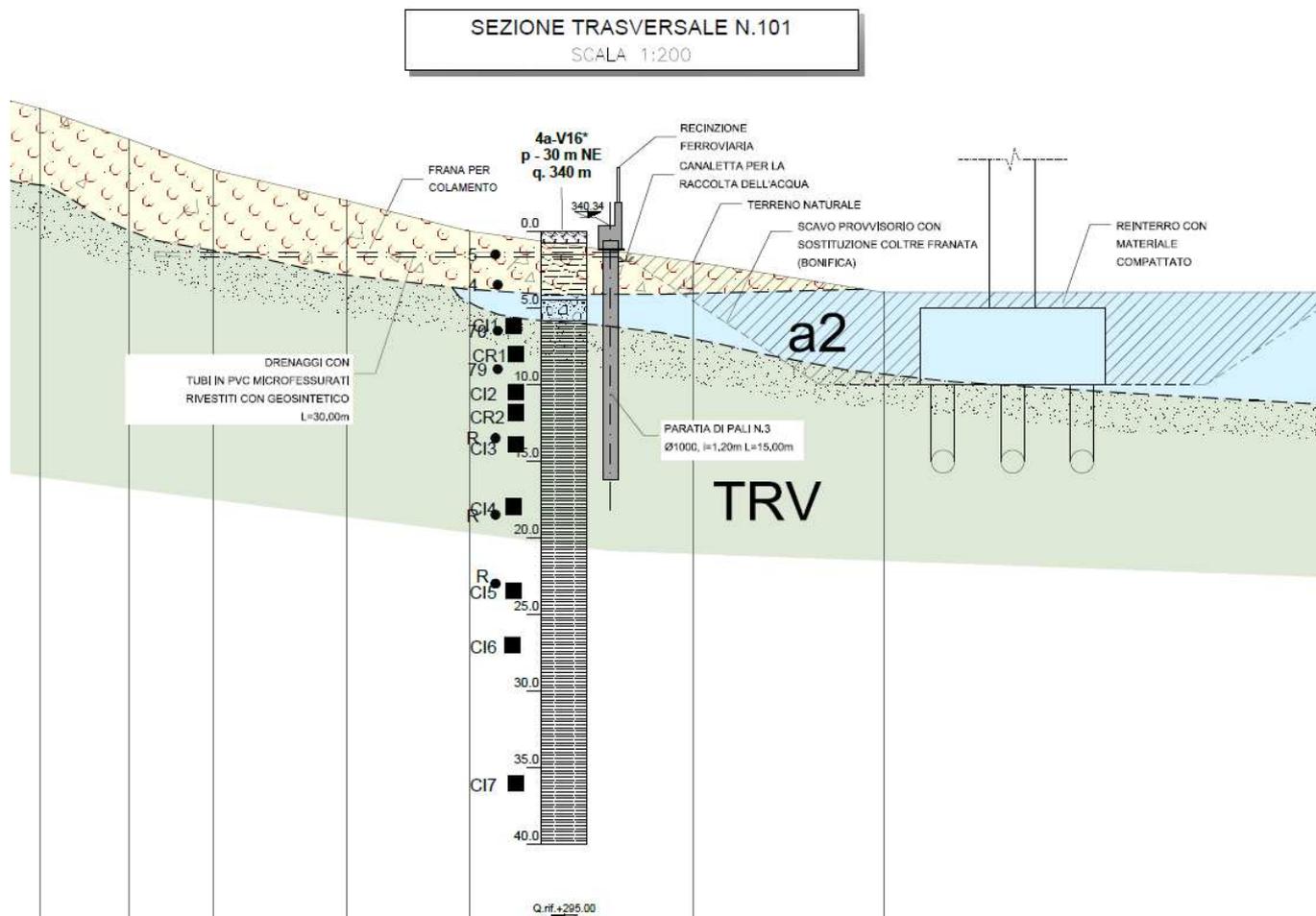


Figura 5: Frana numero 101

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b></p>					
<p>VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana</p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 40 D09</p>	<p>CODIFICA RH</p>	<p>DOCUMENTO NW0200 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 37 di 77</p>

La fase di analisi si è svolta in 2 step:

Approccio A2+M2(GEO) per Paratia

- Definizione della forza stabilizzante (Analisi SLOPE con parametri caratteristici residui ridotti a favore di sicurezza) da fornire al corpo di frana per stabilizzarla fino ad ottenere un coefficiente pari almeno ad 1.1.
- Tale forza verrà applicata nell'analisi della paratia (Analisi Paratie plus) per la corrispondente analisi GEO (approccio A2+M2+R1), che prevede anche in questo caso la riduzione dei parametri geotecnici (substrato). Si verifica la convergenza del modello e l'equilibrio geotecnico.

Approccio A1+M1+R1 per Paratia

- Definizione della forza stabilizzante (Analisi SLOPE con parametri caratteristici residui) da fornire al corpo di frana;
- Tale forza verrà applicata nell'analisi della Paratia (Analisi Paratie plus) per la corrispondente analisi STR (approccio A1+M1+R1)

Per la prima fase è stato utilizzato il metodo dell'equilibrio limite secondo Morgenstern-Price con il software SLOPE/w inserendo nel modello geotecnico del corpo di frana, precedentemente definito, nella zona di installazione dell'opera una forza stabilizzante, il cui modulo è tale da alzare il fattore di sicurezza ad 1.1. Tale valore di fattore di sicurezza si ritiene accettabile alla luce dei dati di input disponibili in termini di geometria, geotecnica e geologia.

Si è analizzata sia una condizione statica che una condizione sismica per l'analisi SLOPE con parametri caratteristici.

La seconda fase di analisi è rivolta al progetto dell'opera di mitigazione e quindi alla determinazione delle sollecitazioni in fase statica ed in fase sismica utilizzando il software Paratie Plus 14.

Si specifica che la forza derivata dal modello Slope nella prima fase è stata poi posta nel modello di Paratie di seconda fase ad H/3 rispetto allo spessore della frana applicandolo all'opera di presidio come un carico distribuito triangolare quindi  $q = 2F/h$ .

Le ipotesi assunte nella determinazione del modello sono quindi le seguenti:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

- Applicazione nel corpo di frana di una forza stabilizzante applicata in corrispondenza della paratia secondo lo spessore (da piano campagna alla superficie di scivolamento), quindi distribuita secondo un carico triangolare.
- Resistenza trascurabile dello strato di coltre a valle della paratia
- Determinazione dei fattori di spinta attiva statica secondo la teoria di Muller-Breslau (1924)
- Determinazione dei fattori di spinta passiva secondo le teorie di Lancellotta (2002,2007)
- Carico sismico secondo la formulazione di Mononobe e Okabe (tale applicazione vale esclusivamente per il solo substrato)
- Falda posta nella sua posizione critica ipotizzata nel modello geotecnico
- Calcestruzzo classe C25/30
- In testa alla paratia è stato imposto un carico accidentale distribuito di 20 kPa simulante i mezzi in circolazione in cantiere.
- Per il calcolo si assume una pendenza media di estradosso del pendio in quanto molto variabile lungo la sezione e assumere la massima (15°) si è rivelata una ipotesi troppo gravosa e non verosimile

Nella tabella in seguito si illustrano i parametri utilizzati per il calcolo del  $k_h$  e del  $k_v$  utilizzati secondo il par :

Frana	Cat. di suolo	ag	Ss	St	$a_{max}/g$	$B_s$	$k_h$	$k_v$	F [kN] STATICO	F [kN] SISMICO
97	C	0.1027	1.5	1	0.1541	0.24	0.037	0.018	430	1100
101	C	0.1027	1.5	1	0.1541	0.24	0.037	0.018	85	230

Tabella 6 – Parametri di calcolo A1+M1+R1

La seconda fase di analisi è rivolta al progetto dell'opera di mitigazione e quindi alla determinazione delle sollecitazioni in fase statica ed in fase sismica utilizzando il software Paratie Plus 14.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.1 FRANA 97

SEZIONE 97				
H	10	[m]		
peso specifico	20	[kN/m <sup>3</sup> ]		
angolo di attrito frana70 (A1-M1)	14	[°]		
<i>ka=teoria di Muller Breslau</i>				
<i>kp=teoria di Caquot Kerisel</i>				
STATICO				
ka_statico	0.941	Sa_statico	941	kN/m
kp_statico	2.333	Sp_statico	2333	kN/m
		F_slope	430	kN/m
SISMICO				
ka_sismico		Sa_sismico	0	kN/m
kp_sismico	2.004	Sp_sismico	2004	kN/m
		F_slope	1100	kN/m

STAGE	FORZA DA INSERIRE SU PARATIE
STATICO	430/10*2=86 KN
SISMA	1100/10*2=220 KN

Figura 6: Tabella frana numero 97 – Valori di spinta statica (Sp statica) e sismica (Sp sismica), forza derivante da analisi slope con contributo a valle

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	40 di 77

In seguito si riporta un'immagine del modello tipo determinato:

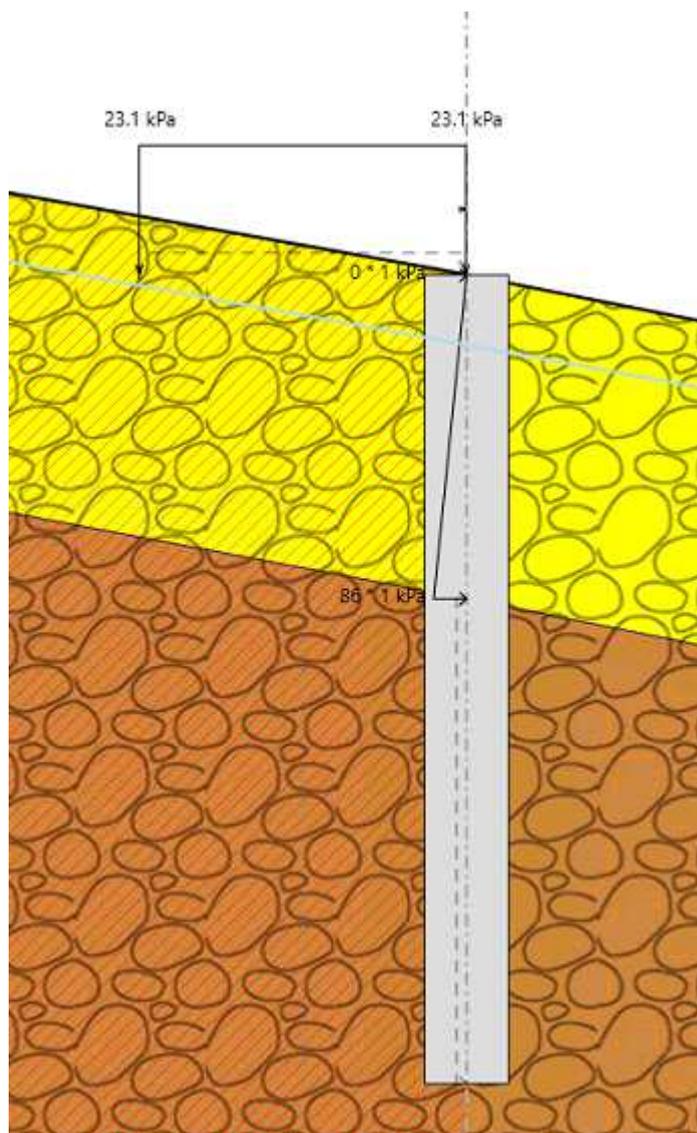


Figura 7: Frana numero 97 – Modello determinato

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

13.3.1.1 Risultati analisi strutturali (con parametri caratteristici)

13.3.1.1.1 ANALISI SLOPE

Frana n	F [kN] STATICO
97	430

Tabella 7 – Forza stabilizzante

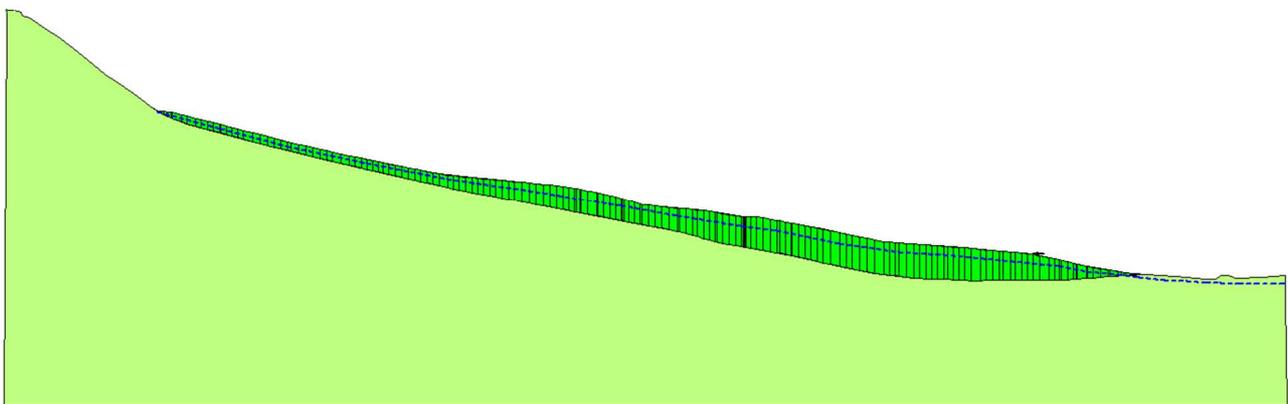


Figura 8: Frana numero 97 – Analisi Slope con parametri caratteristici (STATICO) – FS = 1.1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.1.1.2 ANALISI PARATIE

Si riportano i dati di input utilizzati per questa fase:

**Frana 97 - Spessore coltre 10 m – Falda a 2 m d.p.c – inclinazione 14°**

**Finestra: “Terreni”**

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	0.0001	14	0.758	0.0001	0.0001	20000
Substrato	20	23	24	0.593	0.306	2.007	100000

**Finestra: “Stratigrafia”**

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	1000	50	0.758	0.0001	0.0001	20000
Substrato monte(statico)	20	23	24	0.593	0.462	4,398	100000
Substrato valle(sisma)	20	23	24	0.593	0.306	1.3	100000

Tabella 8 – Parametri del modello – A1 + M1

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	43 di 77

Si riportano in seguito i risultati ottenuti

### 13.3.1.1.3 Frana 97 – Momento Flettente

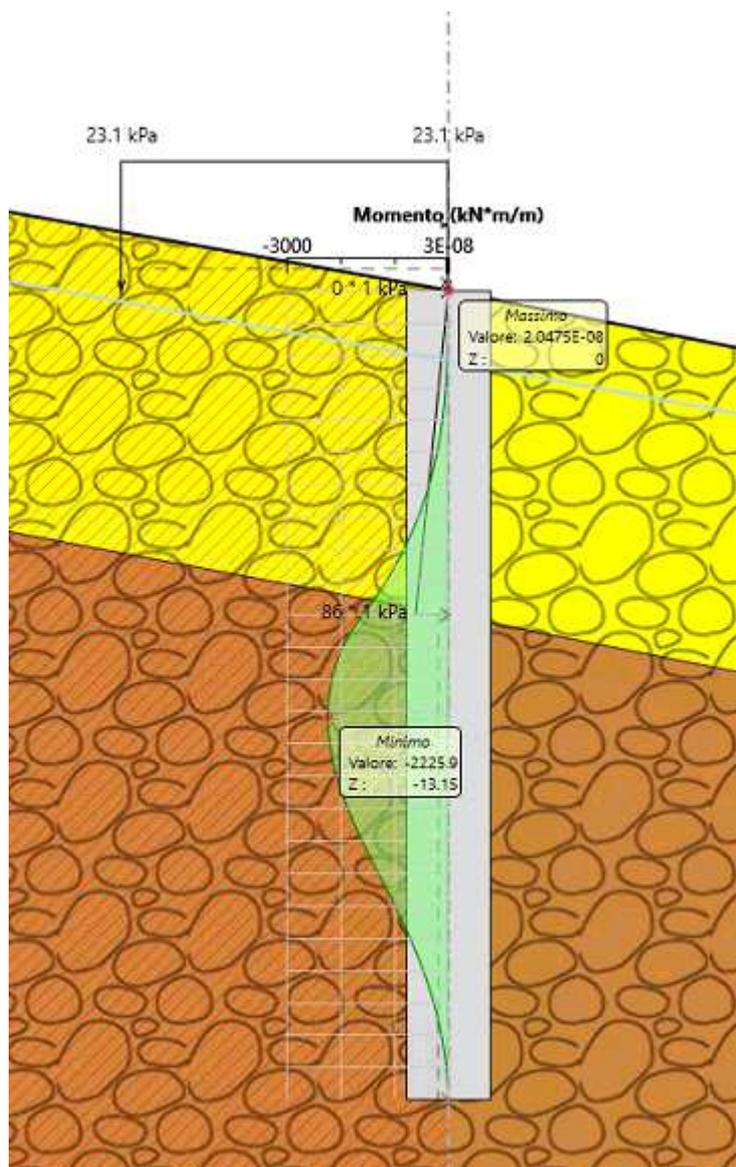


Figura 9: Frana numero 97 – A1 + M1 – Momento flettente – Valori Caratteristici

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	44 di 77

### 13.3.1.1.4 Frana 97 - Taglio

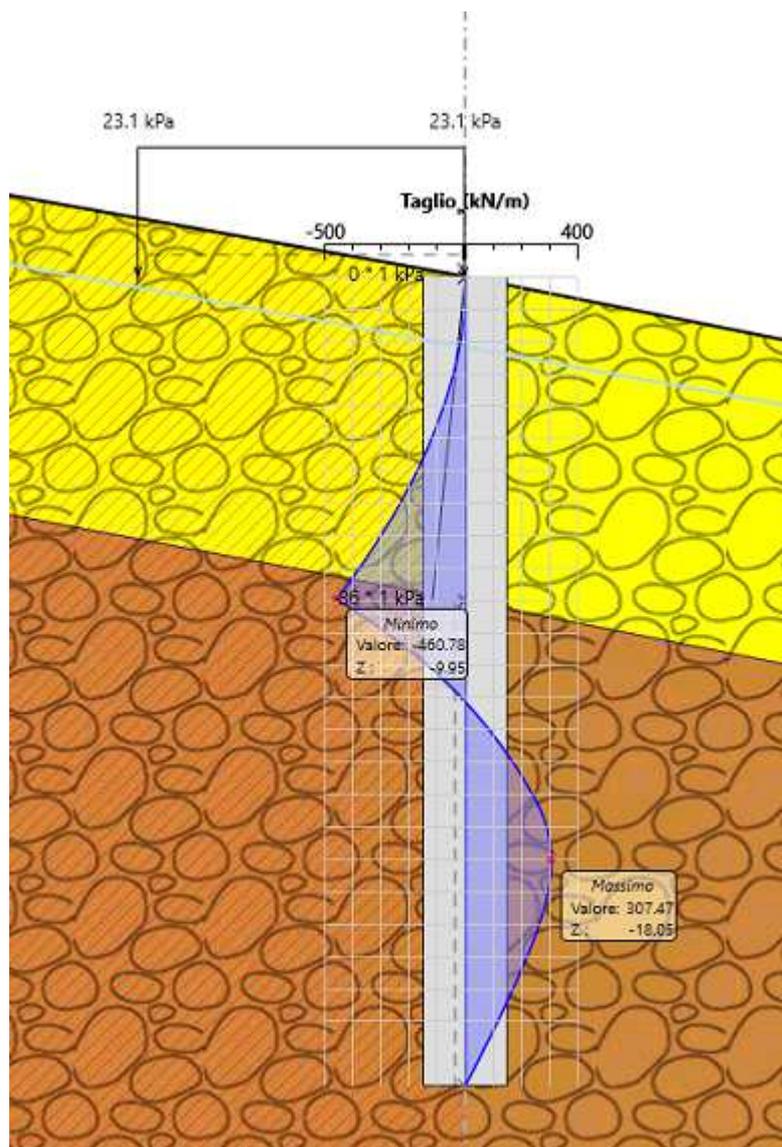


Figura 10: Frana numero 97 – A1 + M1 – Taglio – Valori Caratteristici

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	45 di 77

### 13.3.1.1.5 Frana 97 - Spostamento

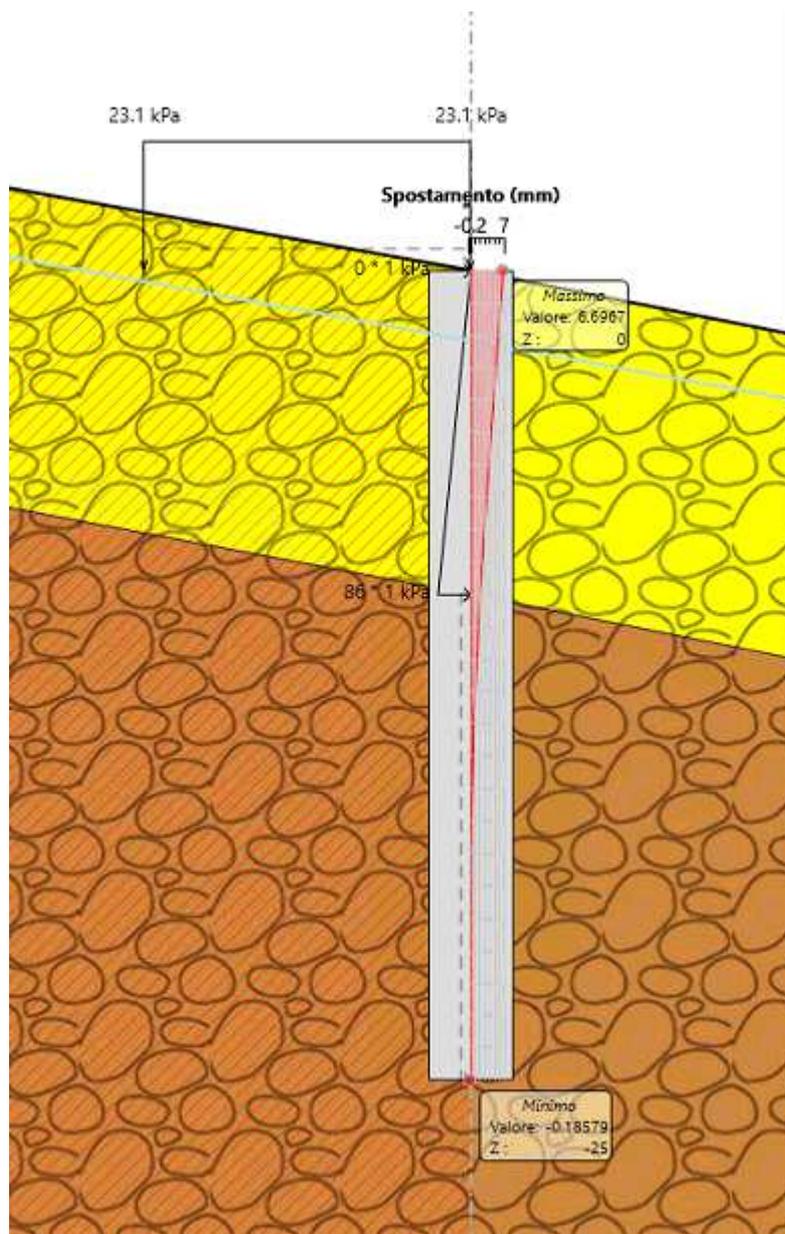


Figura 11: Frana numero 97 – A1 + M1 – Taglio – Valori Caratteristici

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.1.2 Risultati analisi strutturali sismiche

La fase sismica è stata calcolata in modo pseudo statico utilizzando la formulazione di Mononobe e Okabe per la determinazione del fattore di spinta spinta attiva in fase sismica distribuendo l'incremento di carico ottenuto in modo uniformemente distribuito su tutta la paratia ( $\Delta S_E$ ) immersa nel TRV non in frana. Si riporta un'immagine del modello utilizzato in paratie per l'analisi sismica:

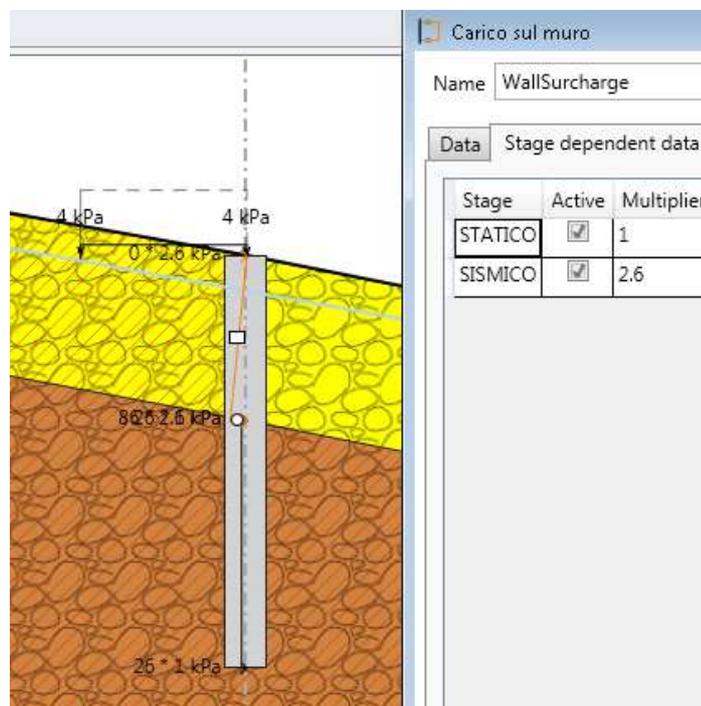


Figura 12 – Modello per analisi sismica

Si riportano i dati di input utilizzati per questa fase:

#### Parametri sismici

PARAMETRI SISMICI												
	htotale	ag/g	Categoria di suolo	S <sub>s</sub>	S <sub>T</sub>	amax/g	α <sub>attiva</sub>	α <sub>passiva</sub>	U <sub>s</sub>	β	kh <sub>attiva</sub>	kh <sub>passiva</sub>
97	25	0.0990	C	1.5	1	0.1485	0.854	1	0.075	0.056	0,0708	0,0829

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>40 D09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>NW0200 002</b>	REV. <b>A</b>

PARAMETRI SISMICI																	
htotale	terreno	h_distr	htotale_d	ag/g	Categoria di suolo	S <sub>S</sub>	S <sub>T</sub>	amax/g	H <sub>tot</sub>	α <sub>attiva</sub>	α <sub>passiva</sub>	U <sub>s</sub>	β	kh <sub>attiva</sub>	kv (±) <sub>attiva</sub>	kh <sub>passiva</sub>	kv (±) <sub>passiva</sub>
25	FYN4	15.0	25.0	0.0990	C	1.5	1	0.1485	25.0	0.632	1	0.125	0.49	0.0461	0.0000	0.0729	0.0000

MONONOBE - OKABE _Ka												
θ+ (M-O) [°]	β pendio [°]	ψ [°]	φ [°]	δ <sub>sisma</sub> [°]	K <sub>a,E</sub>	K <sub>a,E</sub> H	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	ΔS <sub>E</sub> [kPa]	ΔSq <sub>E</sub> [kPa]		k <sub>attiva_statica</sub> H	
2.638	14	90	24.0	16.0	0.5427	0.5217	20	25.43	0.24	<b>25.67</b>	0.461	

TRV1	monte			
	φ	14	°	FYN4
	α	90	°	
	β	0	°	
	δ <sub>STATICO</sub>	9,33	°	
	δ <sub>SISMICO</sub>	0	°	
	ψ <sub>STATICO</sub>	0	°	
	ψ <sub>SISMICO</sub>	4,74	°	
	i	14	°	
	kh	0,08	a/g	
	2θ <sub>STATICO</sub>	2,71	rad	
	2θ <sub>SISMICO</sub>	1,05	rad	
	kP <sub>STATICO</sub> H	<b>2,333</b>		
kP <sub>SISMICO</sub> H	<b>2,004</b>			

TRV2	monte				valle			
	φ	24	°	TRV	φ	24	°	TRV
	α	90	°		α	90	°	
	δ <sub>STATICO</sub>	16	°		δ <sub>STATICO</sub>	16	°	
	δ <sub>SISMICO</sub>	0	°		δ <sub>SISMICO</sub>	0	°	
	ψ <sub>STATICO</sub>	0	°		ψ <sub>STATICO</sub>	0	°	
	i	14,00	°		i	-14,00	°	
	2θ <sub>STATICO</sub>	1,91	rad		2θ <sub>STATICO</sub>	0,14	rad	
	kP <sub>STATICO</sub> H	<b>4,398</b>			kP <sub>STATICO</sub> H	<b>2,007</b>		
	kP <sub>SISMICO</sub> H	<b>3,18</b>			kP <sub>SISMICO</sub> H	<b>1,25</b>		

### 13.3.1.2.1 ANALISI SLOPE

Il calcolo secondo la combinazione con parametri caratteristici è stato svolto anche in fase sismica.

Nella tabella in seguito si illustrano i parametri utilizzati per il calcolo del kh e del kv in SLOPE:

Frana n	Cat. di suolo	ag	S <sub>s</sub>	S <sub>t</sub>	a <sub>max</sub> /g	B <sub>s</sub>	k <sub>h</sub>	k <sub>v</sub>	F [kN] SISMICO
97	C	0.0990	1.5	1	0.1485	0.24	0.035	0.017	1100

Tabella 9 – Analisi della forza stabilizzante – A1+M1+R1 – SLOPE

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	48 di 77

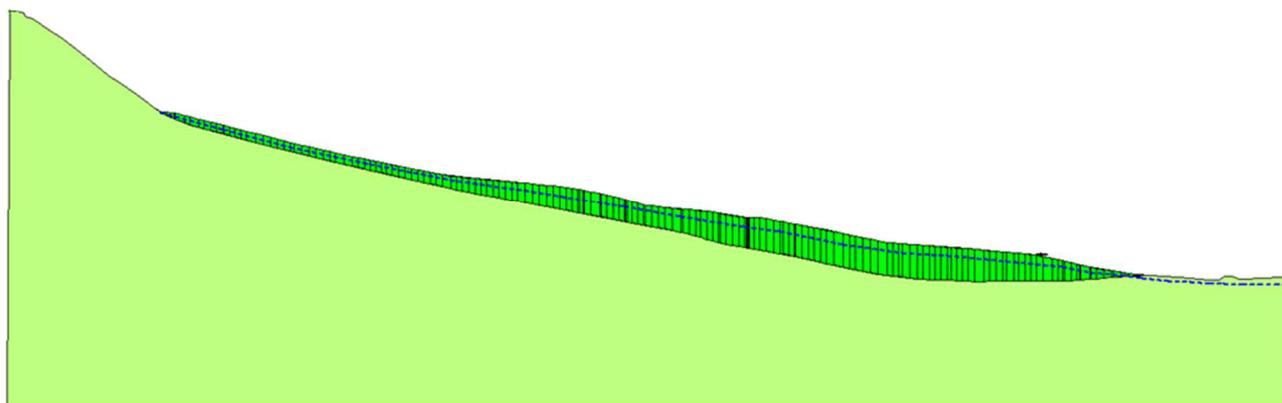


Figura 13: Frana numero 97 – Analisi Slope in A1 M1 (SISMA) – FS = 1.1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.1.2.2 ANALISI PARATIE

Si riportano i dati di input utilizzati per questa fase:

**Frana 97 – Spessore coltre 10m - Falda a 2m d.p.c. – inclinazione del pendio: 14°**

**Finestra: “Terreni”**

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	0.0001	14	0.758	0.0001	0.0001	20000
Substrato	20	23	24	0.593	0.306	2.007	100000

**Finestra: “Stratigrafia”**

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	1000	50	0.758	0.0001	0.0001	20000
Substrato monte(statico)	20	23	24	0.593	0.462	4,398	100000
Substrato valle(sisma)	20	23	24	0.593	0.306	1.3	100000

Tabella 10 – Parametri del modello

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	50 di 77

### 13.3.1.2.3 Frana 97 – Momento Flettente

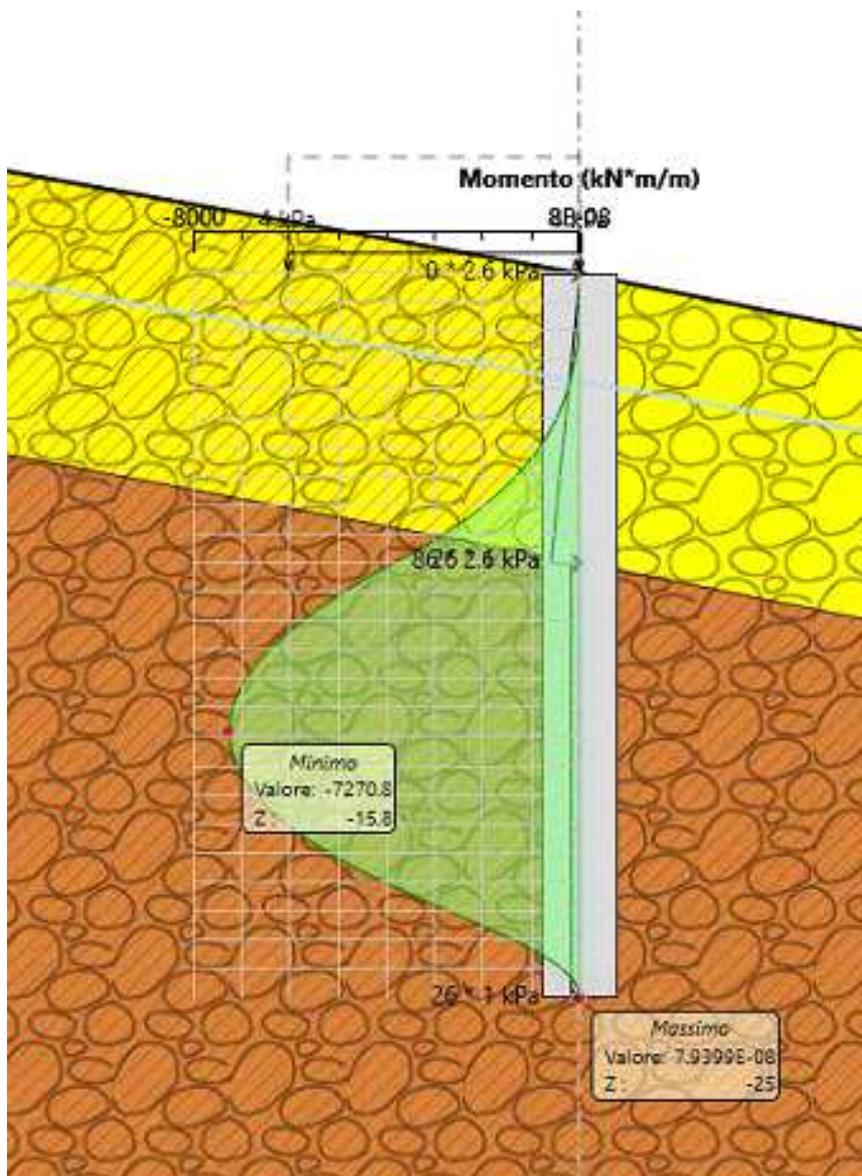


Figura 14: Frana numero 97 – Momento flettente

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	51 di 77

### 13.3.1.2.4 Frana 97 – Taglio

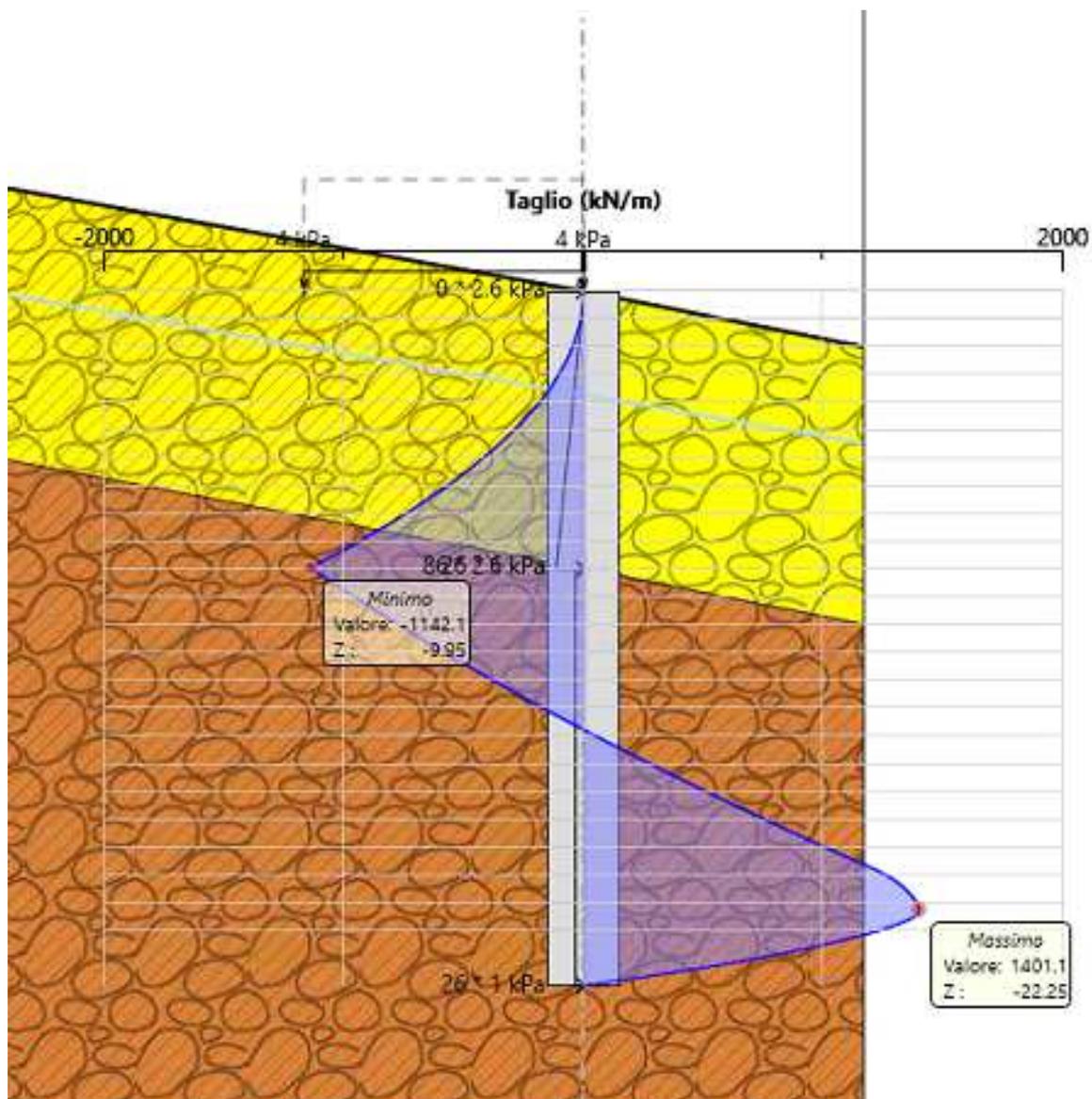


Figura 15: Frana numero 97 – Taglio

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

13.3.1.3 Risultati Analisi (GEO)  
 13.3.1.3.1 ANALISI SLOPE

Frana n	F [kN] STATICO	F paratie[kN]
97	680	$680/10^2=136$

Tabella 11 – Forza stabilizzante (GEO)

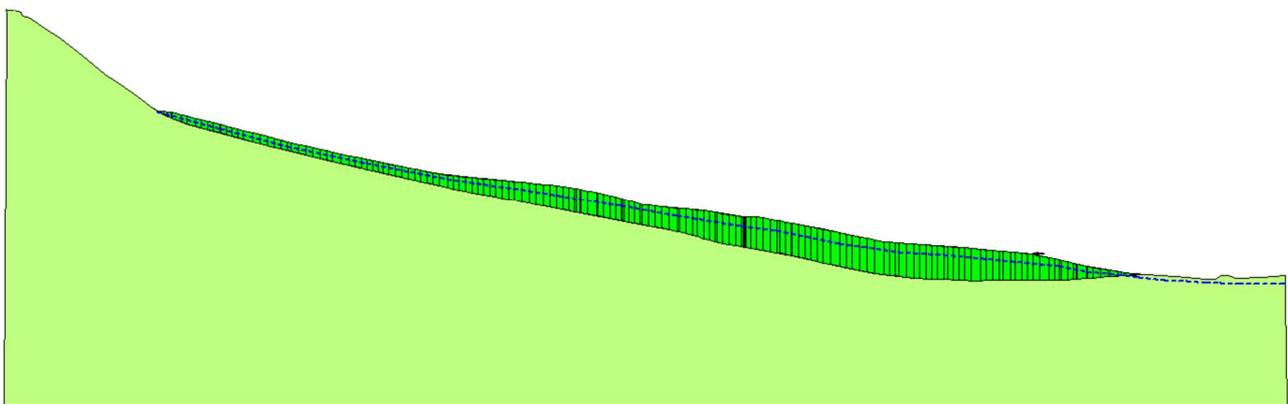


Figura 16: Frana numero 97 – Analisi Slope in GEO (STATICO) – FS = 1.1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.1.3.2 ANALISI PARATIE

#### Frana 97 – Spessore coltre 10m - Falda a 2m d.p.c. – inclinazione del pendio: 11°

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	0.0001	11.3	0.804	0.0001	0.0001	20000
Substrato	20	18.4	19.2	0.664	0.376	1.793	80000

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	1000	50	0.804	0.0001	0.0001	20000
Substrato	20	18.4	19.2	0.678	0.533	3.163	80000

Tabella 12 – Parametri del modello (GEO)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.1.3.3 Frana 2 – Spinta passiva utilizzata

Design Assumption:	Tipo Risultato:	Muro:	LEFT	Lato	RIGHT		
Nominal	Riepilogo spinte						
Stage	Vera effettiva	Pressione neutra	Vera Totale	Min ammissibile	Max ammissibile	Percentuale di resistenza massima	Vera / Attiva
	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)		
STATICO	2226.5	2579.4	4805.9	525.1	6930.3	32.13%	4.24

Figura 17: Frana numero 97 – Spinta passiva utilizzata (GEO) – Valori Caratteristici

### 13.3.1 VERIFICHE A1+M1

In questo paragrafo si riportano le verifiche statiche e sismiche agli SLU SLE ed SLV secondo la normativa vigente (NTC 2018).

### 13.3.2 SLU -SLV- SLE

#### 13.3.2.1 Sollecitazioni di calcolo

Le sollecitazioni riportate di seguito derivano dall'analisi con il software Paratie Plus A1+M1 (STRU) sia in condizioni statiche che sismiche.

Le sollecitazioni ricavate dal software paratie sono state distribuite secondo una interasse di 1.70 m e suddivise su due file di pali.

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	55 di 77

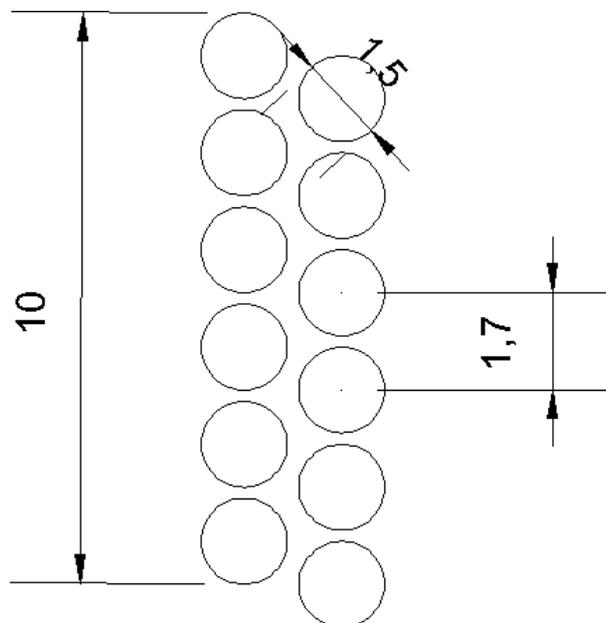


Figura 18- Stesa di 10 m di due file di pali diametro 1500 mm a interasse 1.70 m disposti a quinconce, in 10 m di estensione vi sono 12 pali

**Tabella 18 – Materiali e sollecitazioni di calcolo – A1+M1**

MATERIALI					
Calcestruzzo			Acciaio		
$R_{ck}$	30	Mpa	$f_{yk}$	450	Mpa
$f_{ck}$	25	Mpa	$E_s$	200000	Mpa
$E_{cm}$	31000	Mpa	$\gamma_c$	1,15	-
$\gamma_c$	1,5	-	$f_{yd}$	391,3	Mpa
$\alpha_{cc}$	0,85	-	$\epsilon_{uk}$	75	‰
$f_{cd}$	14,1	Mpa			
$f_{ctm}$	2,6	MPa			
$\nu$	0,5	-			
$\epsilon_{c2}$	2	‰			
$\epsilon_{cu2}$	3,5	‰			
$\alpha_e$	15,0	-			
$k_f$	0,4	-			
$k_l$	0,8	-	Valori limite		
$k_2$	0,5	-	$0,45 f_{ck}$	11,2	Mpa
$k_3$	1,71	-	$0,8 f_{yk}$	360	Mpa
$k_4$	0,425	-	$W_{k,lim}$	0,3	mm

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	56 di 77

COMBINAZIONI GABBIA 1 (a palo)			
	$M_{max}$	$T_{max}$	$N_{max}$
	kNm	kN	kN
<b>SLU</b>	2459.6195	2.4973	580.95
<b>SLU</b>	1712.75	509.1619	439.5775
<b>SLV</b>	6179.5	4.25	698.02
<b>SLV</b>	2048.5	1190.85	982.97
<b>SLE</b>	1892.015	1.921	580.9492

### 13.3.2.2 Frana 97 - Momento Flettente – SLU: STATICO E SISMA

	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$	$M_{Rd}$	F.S.
	kNm	kN	kNm	-
<b>SLU STATICO</b>	2459.6195	580.95	9365.4	3.81
<b>SLU SISMA</b>	6179.5	698.02	9028.0	1.46

Figura 19- Verifica SLU e SLV - Palo 1500 – doppio strato 30  $\phi$ 30

La verifica a pressoflessione è soddisfatta con doppio strato 30  $\phi$ 30 per la prima gabbia, doppio strato di 20  $\phi$ 26 per la seconda.

### 13.3.2.3 Frana 97 - Taglio – SLU: STATICO E SISMA

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	57 di 77

VERIFICA A TAGLIO - SLU					
$\alpha$	90	°	$M_{Ed}$	1712.75	kNm
$A_{sw}$	307.9	mm <sup>2</sup>	$N_{Ed}$	439.58	kN
r	750.0	mm	$V_{Ed}$	509.16	kN
$r_s$	714.0	mm	$M_{Rd}$	9421	kNm
$\alpha$	0.7	rad			
$A_{tot}$	1767145.9	mm <sup>2</sup>	$V_{Rd}$	894.8	kN
A	1520982.5	mm <sup>2</sup>	FS	1.76	-
b	1262.7	mm	<i>Non necessita di armatura a taglio</i>		
h	1399.5	mm			
d	1204.5	mm	cot $\theta$	2.5	-
$\gamma_c$	1.5	-			
$\sigma_{cp}$	0.2	kPa	$V_{Rsd}$	1632.6	kN
$\rho_l$	1.4	%	FS	3.21	-
k	1.4	-	$V_{Rcd}$	3330.2	kN
$v_{min}$	0.3	-	FS	6.54	-
$\alpha_c$	1.0	-			

VERIFICA A TAGLIO - SLV					
$\alpha$	90	°	$M_{Ed}$	2048.50	kNm
$A_{sw}$	307.9	mm <sup>2</sup>	$N_{Ed}$	982.97	kN
r	750.0	mm	$V_{Ed}$	1190.85	kN
$r_s$	714.0	mm	$M_{Rd}$	9910	kNm
$\alpha$	0.7	rad			
$A_{tot}$	1767145.9	mm <sup>2</sup>	$V_{Rd}$	894.8	kN
A	1520982.5	mm <sup>2</sup>	FS	0.75	-
b	1262.7	mm	<i>Necessita di armatura a taglio</i>		
h	1399.5	mm			
d	1204.5	mm	cot $\theta$	2.5	-
$\gamma_c$	1.5	-			
$\sigma_{cp}$	0.2	kPa	$V_{Rsd}$	1632.6	kN
$\rho_l$	1.4	%	FS	1.37	-
k	1.4	-	$V_{Rcd}$	3330.2	kN
$v_{min}$	0.3	-	FS	2.80	-
$\alpha_c$	1.0	-			

Tabella 13 – Verifica a Taglio - SLU – A1+M1 – condizioni statiche

La verifica a taglio è soddisfatta con una spirale  $\Phi 14$  passo 20cm.

### 13.3.2.4 Frana 97 – SLE

Tabella 14 – Verifica SLE-STATICO

ANALISI TENSIONALE - SLE		
$M_{Ek}$	1892.02	kNm
$N_{Ek}$	580.95	kN
$\sigma_{s,max}$	106.295	MPa
$\sigma_{c,max}$	-5.0	MPa
wk	0.06	mm

Le verifiche SLE sono soddisfatte.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.3 FRANA 101

SEZIONE 101				
H	5	[m]		
peso specifico	20	[kN/m <sup>3</sup> ]		
angolo di attrito frana70 (A1-M1)	12	[°]		
<i>ka=teoria di Muller Breslau</i>				
<i>kp=teoria di Caquot Kerisel</i>				
STATICO				
ka_statico	0.957	Sa_statico	239	kN/m
kp_statico	2.037	Sp_statico	509	kN/m
		F_slope	85	kN/m
SISMICO				
ka_sismico		Sa_sismico	0	kN/m
kp_sismico	1.784	Sp_sismico	446	kN/m
		F_slope	230	kN/m

STAGE	FORZA DA INSERIRE SU PARATIE
STATICO	$85/5 \cdot 2 = 34$ KN
SISMA	$230/5 \cdot 2 = 92$ KN

Figura 20: Tabella frana numero 101 – Valori di spinta statica (Sp statica) e sismica (Sp sismica), forza derivante da analisi slope con contributo a valle

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	59 di 77

In seguito si riporta un'immagine del modello tipo determinato:

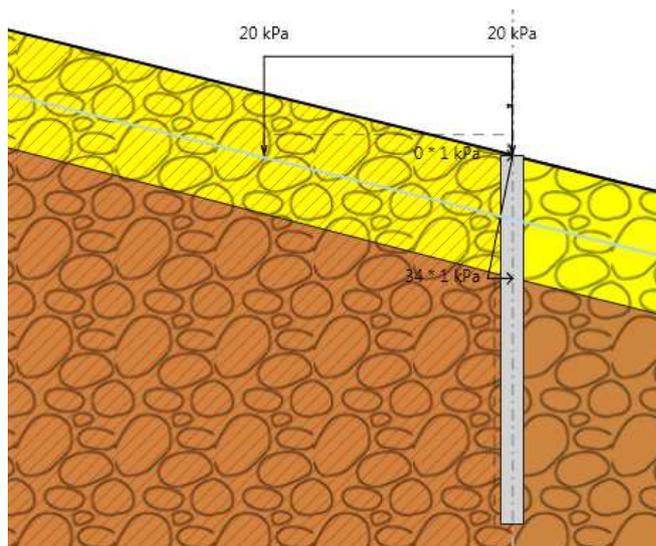


Figura 21: Frana numero 101 – Modello determinato

### 13.3.3.1 Risultati analisi strutturali (parametri caratteristici)

#### 13.3.3.1.1 ANALISI SLOPE

Frana n	F [kN] STATICO
101	85

Tabella 15 – Forza stabilizzante

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	60 di 77

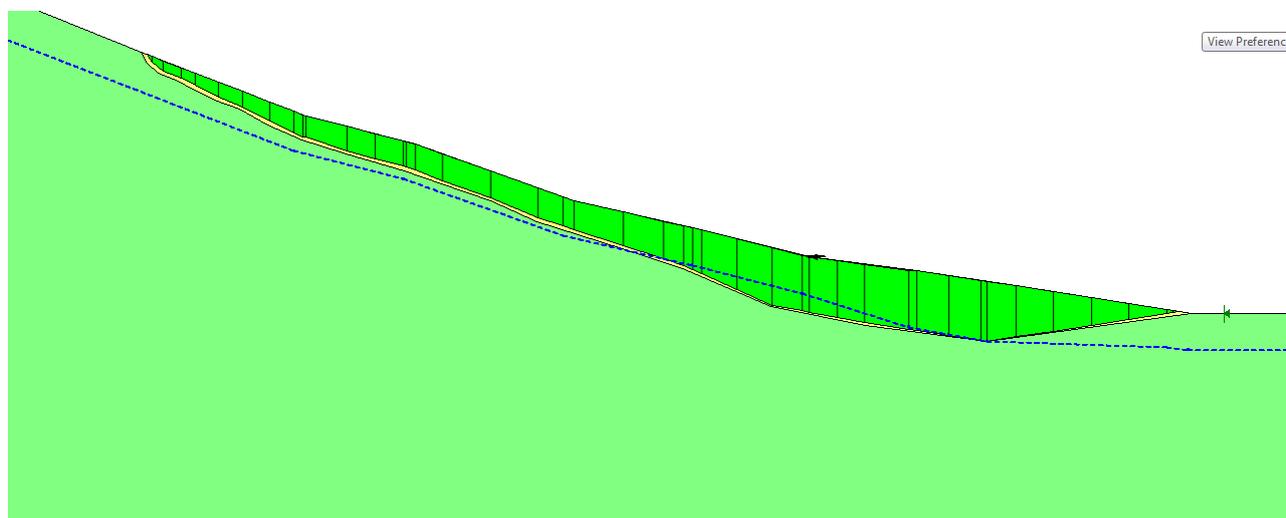


Figura 22: Frana numero 101 – Analisi Slope in parametri caratteristici (STATICO) – FS = 1.1

### 13.3.3.1.2 ANALISI PARATIE

Si riportano i dati di input utilizzati per questa fase:

**Frana 101 - Spessore coltre 5m – Falda a 2.6 m d.p.c – inclinazione 14°**

**Finestra: “Terreni”**

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	0.0001	12	0.792	0.0001	0.0001	20000
Substrato	20	28	24	0.600	0.306	2.007	83000

**Finestra: “Stratigrafia”**

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	1000	50	0.792	0.0001	0.0001	20000
Substrato monte(statico)	20	28	24	0.600	0.461	4.398	83000
Substrato valle(sisma)	20	28	24	0.600	0.306	1.25	83000

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA  RS3T	LOTTO  40 D09	CODIFICA  RH	DOCUMENTO  NW0200 002	REV.  A	FOGLIO  61 di 77

*Tabella 16 – Parametri del modello*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

Si riportano in seguito i risultati ottenuti

13.3.3.1.3 Frana 101 – Momento Flettente

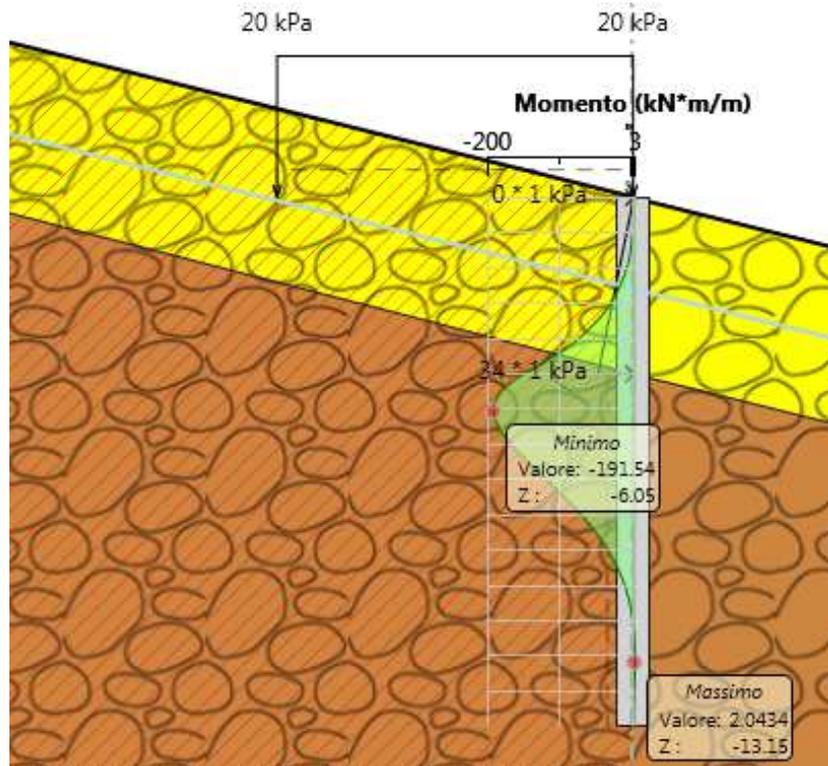


Figura 23: Frana numero 101 – A1 + M1 - Momento flettente –Valori Caratteristici

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	63 di 77

### 13.3.3.1.4 Frana 101 - Taglio

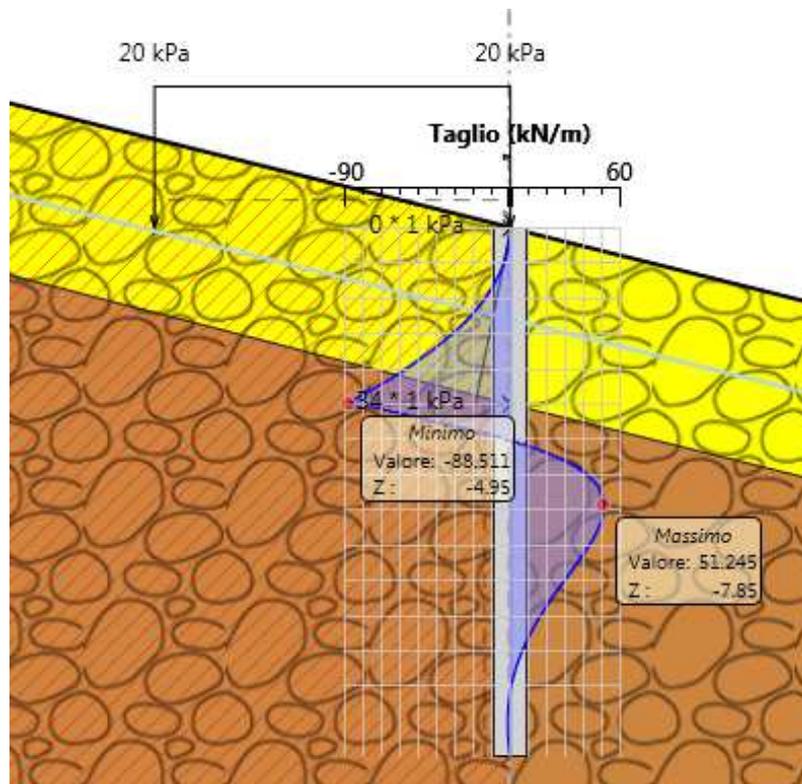


Figura 24: Frana numero 101 – A1 + M1 - Taglio – Valori Caratteristici

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.3.1.5 Frana 101 - Spostamenti

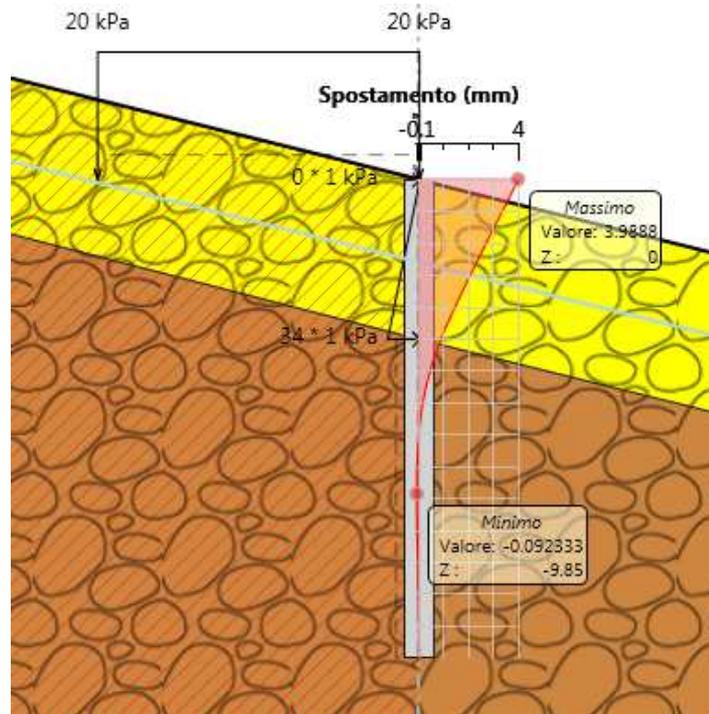


Figura 25: Frana numero 101 – A1 + M1 - Spostamenti – Valori Caratteristici

### 13.3.3.2 Risultati analisi strutturali sismiche

La fase sismica è stata calcolata in modo pseudo statico utilizzando la formulazione di Mononobe e Okabe per la determinazione del fattore di spinta attiva in fase sismica distribuendo l'incremento di carico ottenuto in modo uniformemente distribuito su tutta la paratia ( $\Delta S_E$ ) immersa nel TRV non in frana.

Si riporta un'immagine del modello utilizzato in paratie per l'analisi sismica:

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	65 di 77

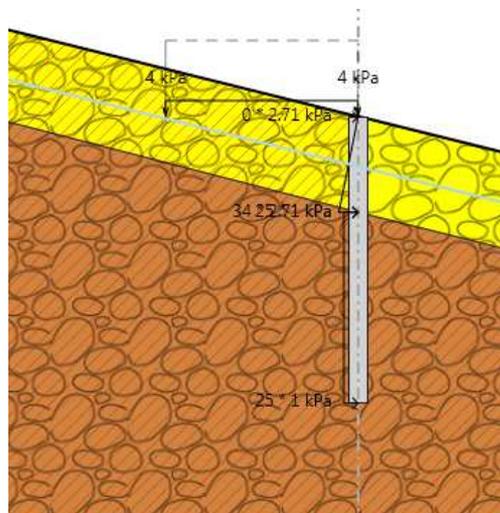


Figura 101 – Modello Paratie plus per analisi sismica

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

Si riportano i dati di input utilizzati per questa fase:

PARAMETRI SISMICI												
	htot	ag/g	Categori a di suolo	S <sub>s</sub>	S <sub>T</sub>	amax/ g	α <sub>attiva</sub>	α <sub>p</sub> assi va	U <sub>s</sub>	β	kh <sub>attiva</sub>	kh <sub>passiv a</sub>
<b>101</b>	15	<b>0.1027</b>	C	1.5	1	<b>0.1541</b>	0.851	1	0.075	0.56	0.0735	0.0860

PARAMETRI SISMICI																	
htotale	terreno	h_distr	htotale_d	ag/g	Categoria di suolo	S <sub>s</sub>	S <sub>T</sub>	amax/g	H <sub>tot</sub>	α <sub>attiva</sub>	α <sub>passiva</sub>	U <sub>s</sub>	β	kh <sub>attiva</sub>	kv (±) <sub>attiva</sub>	kh <sub>passiva</sub>	kv (±) <sub>passiva</sub>
15	FYN4	10.0	15.0	0.1027	C	1.5	1	0.1541	15.0	0.854	1	0.075	0.56	0.0735	0.0000	0.0860	0.0000

MONONOBE - OKABE _Ka												
θ+ (M-O) [°]	β pendio [°]	ψ [°]	φ [°]	δ <sub>sisma</sub> [°]	K <sub>a,E</sub>	K <sub>a,E</sub> H	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	ΔS <sub>E</sub> [kPa]	ΔS <sub>qE</sub> [kPa]		k <sub>attiva statica</sub> H	
4.202	14	90	24.0	16.0	0.5892	0.5663	20	23.77	0.42		24.19	

Tabella 17 – Parametri sismici

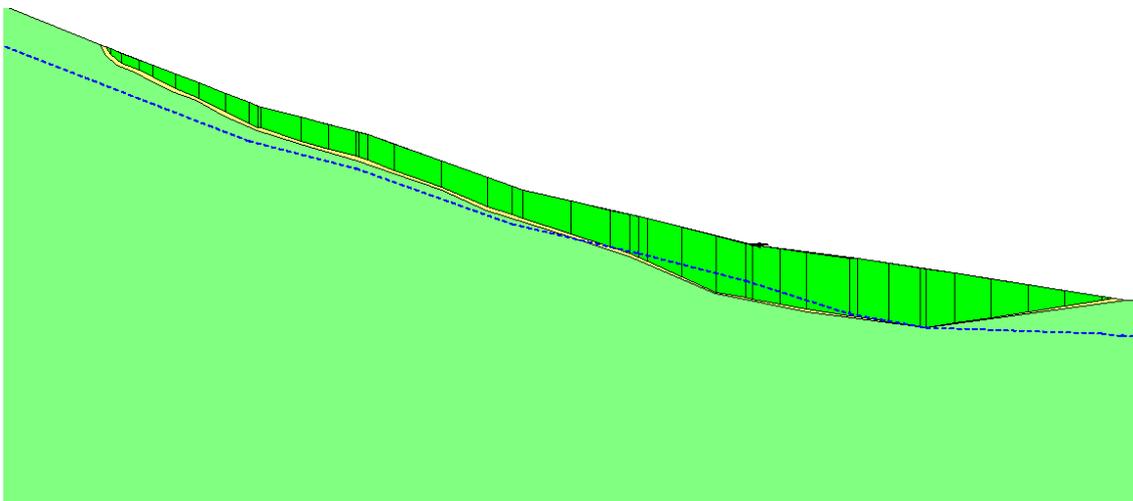
### 13.3.3.2.1 ANALISI SLOPE

Il calcolo secondo la combinazione di parametri caratteristici è stato svolto anche in fase sismica.

Nella tabella in seguito si illustrano i parametri utilizzati per il calcolo del kh e del kv in SLOPE:

Frana n	Cat. di suolo	ag	S <sub>s</sub>	S <sub>t</sub>	amax/g	B <sub>s</sub>	kh	kv	F [kN] SISMICO
101	C	0.1027	1.5	1	0.1541	0.24	0.037	0.018	230

Tabella 18 – Analisi della forza stabilizzante – A1+M1+R1 – SLOPE



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

Figura 26: Frana numero 101 – Analisi Slope in parametri caratteristici (SISMA) – FS = 1.1

### 13.3.3.2.2 ANALISI PARATIE

Si riportano i dati di input utilizzati per questa fase:

#### Frana 101 - Spessore coltre 5m – Falda a 2.6 m d.p.c – inclinazione 14°

##### Finestra: “Terreni”

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	0.0001	12	0.792	0.0001	0.0001	20000
Substrato	20	28	24	0.600	0.306	2.007	83000

##### Finestra: “Stratigrafia”

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	1000	50	0.792	0.0001	0.0001	20000
Substrato monte(statico)	20	28	24	0.600	0.461	4.398	83000
Substrato valle(sisma)	20	28	24	0.600	0.306	1.25	83000

Tabella 19 – Parametri del modello

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

13.3.3.2.3 Frana 101 – Momento Flettente

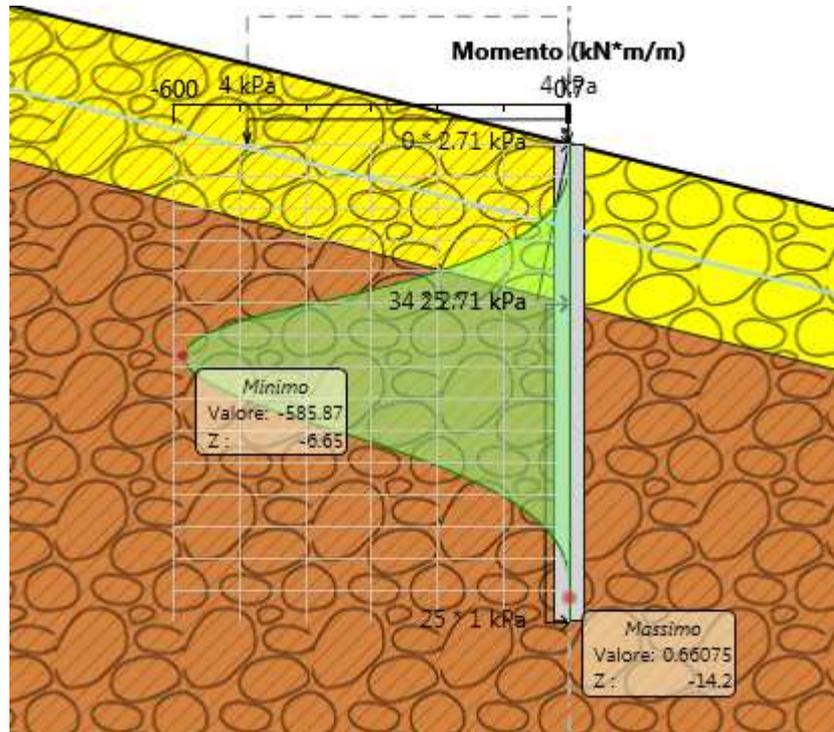


Figura 27: Frana numero 101 – Momento flettente (su paratia imposizione di una pressione di 25 kPa, sulla porzione in frana si applica una pressione da 0 a 92 kPa)

VIADOTTO NW02 (NV97)

Relazione di calcolo versanti in frana

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	69 di 77

### 13.3.3.2.4 Frana 101 – Taglio

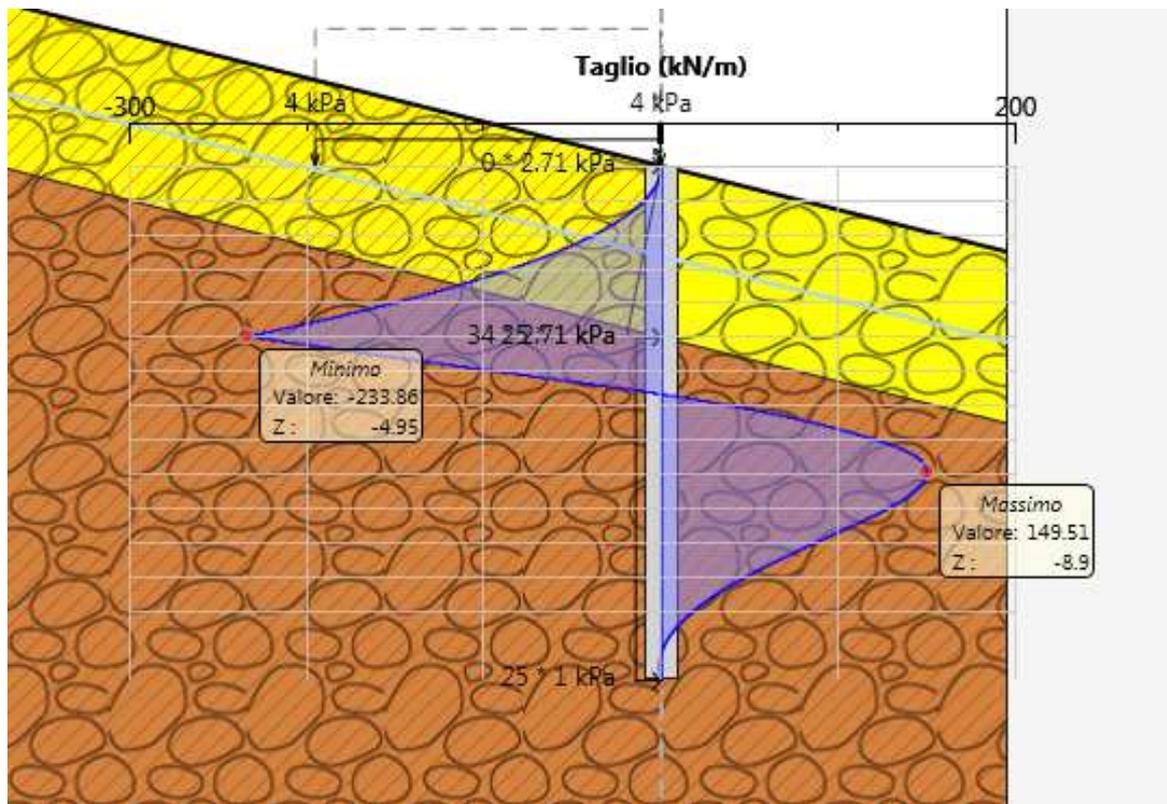


Figura 28: Frana numero 101 – Sisma - Taglio – Valori Caratteristici (su paratia imposizione di una pressione di 25 kPa, sulla porzione in frana si applica una pressione da 0 a 92 kPa)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

13.3.3.3 Risultati Analisi con parametri ridotti (GEO)

13.3.3.3.1 ANALISI SLOPE

Frana n	F [kN] STATICO	F paratie[kN]
101	220	$220/5*2=88$

Tabella 20 – Forza stabilizzante (GEO)

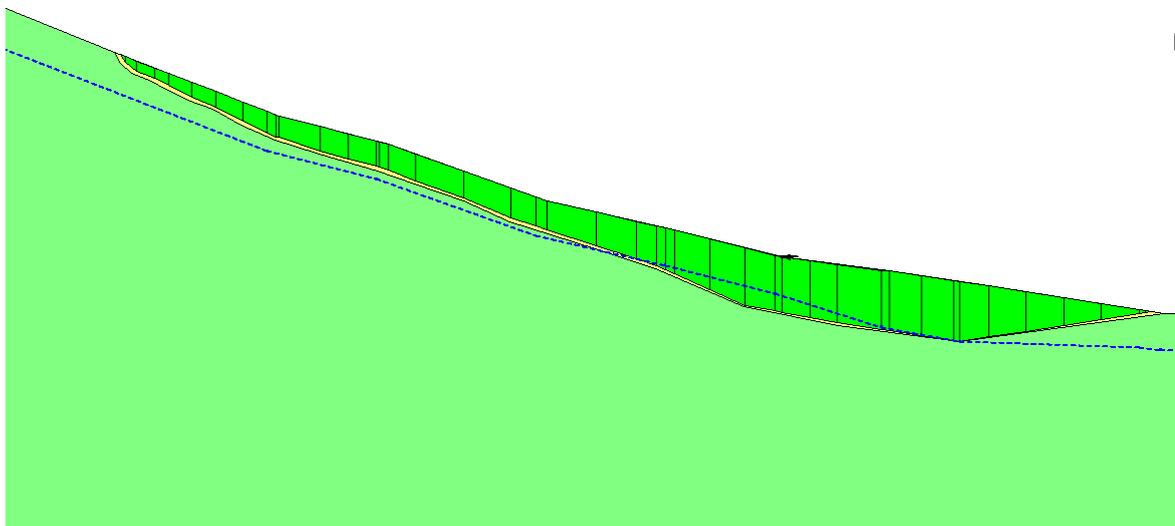


Figura 29: Frana numero 101 – Analisi Slope con parametri ridotti (STATICO) – FS = 1.1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.3.3.2 ANALISI PARATIE

#### Frana 101 - Spessore coltre 5m – Falda a 2.6 m d.p.c – inclinazione 14°

##### Finestra: “Terreni”

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	0.0001	9.65	0.832	0.0001	0.0001	20000
Substrato	20	22.4	19.6	0.664	0.382	1.889	83000

##### Finestra: “Stratigrafia”

Strato	$\gamma$	$c'$ [kPa]	$\Phi'$ [°]	$k_0$	$k_a$	$k_p$	$E'$ [kPa]
Frana	20	1000	50	0.832	0.0001	0.0001	20000
Substrato monte(statico)	20	22.4	19.6	0.664	0.516	3.092	83000

Tabella 21 – Parametri del modello (GEO)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>40 D09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>NW0200 002</b>	REV. <b>A</b>

### 13.3.3.3.3 Frana 101 – Resistenza passiva

Design Assumption:	Tipo Risultato:	Muro:	LEFT	Lato	RIGHT		
Nominal Stage	Riepilogo spinte Vera effettiva (kN/m)	Pressione neutra (kN/m)	Vera Totale (kN/m)	Min ammissibile (kN/m)	Max ammissibile (kN/m)	Percentuale di resistenza massima	Vera / Attiva
CaricoMonte	1014.8	763.7	1778.5	205.7	3007.3	33.74%	4.93

Figura 30: Frana numero 101 – Resistenza passiva (GEO) – Valori Caratteristici

### 13.3.4 VERIFICHE A1+M1

In questo paragrafo si riportano le verifiche statiche e sismiche agli SLU SLE ed SLV secondo la normativa vigente (NTC 2018).

### 13.3.5 SLU -SLV- SLE

#### 13.3.5.1 Sollecitazioni di calcolo

Le sollecitazioni riportate di seguito derivano dall'analisi con il software Paratie Plus A1+M1 (STRU) sia in condizioni statiche che sismiche.

MATERIALI					
Calcestruzzo			Acciaio		
$R_{ck}$	30	Mpa	$f_{yk}$	450	Mpa
$f_{tk}$	25	Mpa	$E_s$	200000	Mpa
$E_{cm}$	31000	Mpa	$\gamma_c$	1,15	-
$\gamma_c$	1,5	-	$f_{yd}$	391,3	Mpa
$\alpha_{cc}$	0,85	-	$\epsilon_{sk}$	75	%o
$f_{cd}$	14,1	Mpa			
$f_{ctm}$	2,6	MPa			
$\nu$	0,5	-			
$\epsilon_{c2}$	2	%o			
$\epsilon_{cs2}$	3,5	%o			
$\alpha_e$	15,0	-			
$k_1$	0,4	-			
$k_1$	0,8	-	Valori limite		
$k_2$	0,5	-	$0,45 f_{tk}$	11,2	Mpa
$k_3$	1,71	-	$0,8 f_{yk}$	360	Mpa
$k_4$	0,425	-	$W_{klim}$	0,3	mm

COMBINAZIONI GABBIA 1 (a palo)			
	$M_{max}$	$T_{max}$	$N_{max}$
	kNm	kN	kN
SLU	299.52	3.744	118.79
SLU	199.68	138.0756	154.1344
SLV	703.044	4.8	130.57
SLV	458.4	279.6	97.19
SLE	230.4	2.88	118.7915

Tabella 22 – Materiali e sollecitazioni di calcolo – A1+M1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

### 13.3.5.2 Frana 101 - Momento Flettente – SLU: STATICO E SISMA

	$M_{Ed}$	$N_{ed}$	$M_{Rd}$	F.S.
	kNm	kN	kNm	-
<b>SLU STATICO</b>	299.52	118.79	1486.2	4.96
<b>SLU SISMA</b>	703.044	130.57	1402.8	2.00

Figura 31- Verifica SLU e SLV - Palo 1000 – singolo strato 20  $\phi$ 24

La verifica a pressoflessione è soddisfatta con singolo strato 20  $\phi$ 24

### 13.3.5.3 Frana 101 - Taglio – SLU: STATICO E SISMA

VERIFICA A TAGLIO - SLU					
$\alpha$	90	°	$M_{Ed}$	199.68	kNm
$A_{sw}$	307.9	mm <sup>2</sup>	$N_{ed}$	154.13	kN
r	500.0	mm	$V_{ed}$	138.08	kN
$r_s$	464.0	mm	$M_{Rd}$	1650	kNm
$\alpha$	0.6	rad			
$A_{tot}$	785398.2	mm <sup>2</sup>	$V_{Rd}$	430.7	kN
A	669871.8	mm <sup>2</sup>	FS	3.12	-
b	842.2	mm	Non necessita di armatura a taglio		
h	932.6	mm			
d	795.4	mm	cot $\theta$	2.5	-
$\gamma_c$	1.5	-			
$\sigma_{cp}$	0.2	kPa	$V_{Rsd}$	718.7	kN
$\rho_l$	1.6	%	FS	5.20	-
k	1.5	-	$V_{Rcd}$	1466.7	kN
$v_{min}$	0.3	-	FS	10.62	-
$\alpha_c$	1.0	-			

VERIFICA A TAGLIO - SLV					
$\alpha$	90	°	$M_{Ed}$	458.40	kNm
$A_{sw}$	307.9	mm <sup>2</sup>	$N_{ed}$	97.19	kN
r	500.0	mm	$V_{ed}$	279.60	kN
$r_s$	464.0	mm	$M_{Rd}$	1413	kNm
$\alpha$	0.6	rad			
$A_{tot}$	785398.2	mm <sup>2</sup>	$V_{Rd}$	430.7	kN
A	669871.8	mm <sup>2</sup>	FS	1.54	-
b	842.2	mm	Non necessita di armatura a taglio		
h	932.6	mm			
d	795.4	mm	cot $\theta$	2.5	-
$\gamma_c$	1.5	-			
$\sigma_{cp}$	0.2	kPa	$V_{Rsd}$	718.7	kN
$\rho_l$	1.6	%	FS	2.57	-
k	1.5	-	$V_{Rcd}$	1466.7	kN
$v_{min}$	0.3	-	FS	5.25	-
$\alpha_c$	1.0	-			

Tabella 23 – Verifica a Taglio - SLU – A1+M1 – condizioni statiche

La verifica a taglio è soddisfatta con una spirale  $\phi$ 14 passo 30cm.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</p>												
<p>VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS3T</td> <td>40 D09</td> <td>RH</td> <td>NW0200 002</td> <td>A</td> <td>74 di 77</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	74 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	40 D09	RH	NW0200 002	A	74 di 77								

#### 13.3.5.4 Frana 101 – SLE

ANALISI TENSIONALE - SLE		
$M_{Ek}$	<b>230.40</b>	kNm
$N_{Ek}$	<b>118.79</b>	kN
$\sigma_{s,max}$	81.32	MPa
$\sigma_{c,max}$	-3.14	MPa
wk	0.05	mm

Tabella 24 – Verifica SLE

Le verifiche SLE sono soddisfatte.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97) Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

#### 14. MONITORAGGIO GEOTECNICO

Il monitoraggio di fenomeni franosi rappresenta la base per la realizzazione di piani e programmi che hanno come obiettivo la prevenzione dei rischi connessi all'instabilità dei versanti e al dissesto idrogeologico. Un piano di emergenza nel caso di rischio frana deve disporre di sistemi di controllo che consentano di individuare con sufficiente precisione la possibile evoluzione del fenomeno.

Come riportato all'interno delle NTC2018 (par. 6.2.5 e 6.2.6), si deve far riferimento al metodo osservazionale, in quanto: "Il monitoraggio ha lo scopo di verificare la validità della soluzione progettuale adottata o, in caso contrario, di individuare la più idonea delle soluzioni alternative previste".

Generalmente il controllo può essere suddiviso in:

- Controllo dei parametri meteorici
- Controllo dei movimenti superficiali
- Controllo dei movimenti profondi e dei livelli di falda

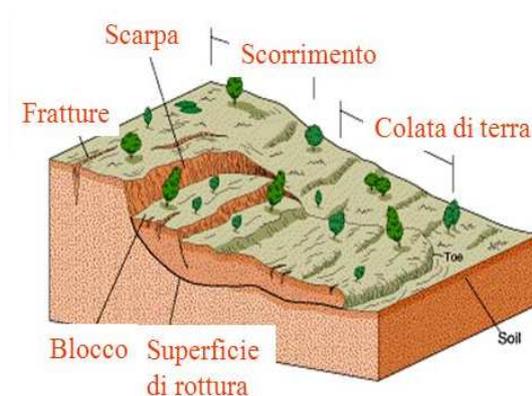


Figura 32. Schema frana complessa

##### 14.1 Controllo parametri meteorici

È prevista la lettura delle stazioni pluviometriche disponibili, poste nelle vicinanze delle opere in esame

##### 14.2 Controllo dei movimenti superficiali

Il piano di monitoraggio prevede l'installazione di mire topografiche o miniprismi, sulle opere di presidio effettuate.

Inizialmente si può prevedere sufficiente una frequenza di aggiornamento semestrale, ma tale valore potrà essere integrato alla luce delle risultanze.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
	VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA RS3T	LOTTO 40 D09	CODIFICA RH	DOCUMENTO NW0200 002	REV. A

In particolare sarà necessario avere come risultato dal monitoraggio dei punti a terra lo spostamento tridimensionale, pertanto nel monitoraggio delle aree di frana dovrà essere presa in considerazione l'installazione di target topografici riflettenti o miniprismi ottici, in funzione della frequenza e della modalità di lettura richiesta (manuale o automatica).

#### 14.3 Controllo dei movimenti profondi e dei livelli di falda

Il piano di monitoraggio prevede l'adozione d'inclinometri e piezometri, ubicati nelle aree costituite da colamenti, frane complesse in esame.

#### 14.4 Frequenza di lettura

Il programma di acquisizione dati del monitoraggio è riportato indicativamente nella tabella. Le frequenze, dovranno essere adeguate alle risultanze in corso d'opera e alle tempistiche di esecuzione, inoltre sono valutate considerando una realizzazione delle opere senza interruzioni dei lavori.

Nella colonna "corso d'opera" sono indicate le frequenze relative al periodo in cui l'opera effettivamente interferisce con lo strumento.

Le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d'opera. Pertanto, in funzione dei risultati e dell'andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite in accordo con il Progettista e la D.L.

I periodi relativi all'ante operam e al post operam sono rispettivamente pari a 6 mesi dall'inizio dei lavori e 12 mesi dopo la fine dei lavori.

Monitoraggio	Strumentazione	n r	ante operam	corso d'opera	post operam*
	Inclinometri	1	2/settimana	1/giorno	2 letture/ mese dopo costruzione  In assenza di movimenti: 1 lettura ogni 6 mesi per due anni*
	Piezometri	1	1/mese	1/settimana	
	target topografici (su paratia e corpo di frana)	-	-	1/giorno	

Tabella 25. Strumentazione monitoraggio geomorfologico e frequenze di lettura

\* frequenza da calibrare in funzione In funzione di quanto monitorato

#### 14.5 Definizione delle soglie di attenzione e di allarme

Il controllo mediante monitoraggio si basa principalmente sulla definizione di soglie aventi lo scopo di segnalare l'instaurarsi di una situazione deformativa e/o tensionale particolare. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo in funzione dei valori di soglia definiti, vengono attuate eventuali

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA – XIRBI (LOTTO 3)</b>					
VIADOTTO NW02 (NV97)  Relazione di calcolo versanti in frana	COMMESSA  RS3T	LOTTO  40 D09	CODIFICA  RH	DOCUMENTO  NW0200 002	REV.  A	FOGLIO  77 di 77

azioni e contromisure. I valori fissati per tali soglie sono funzione dei risultati previsti dai calcoli di progetto relativamente ai parametri salienti quali spostamenti, deformazioni, tensioni, ecc.; questi limiti sono definiti come:

- Soglia di attenzione: è definito come una quota parte delle risultanze delle sollecitazioni (o delle deformazioni) di progetto; il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve, in modo da valutare il potenziale instaurarsi di eventi e rapida evoluzione che potrebbero risultare incontrollabili.
- Soglia di allarme: definita in funzione del livello deformativo-tensionale più gravoso per una determinata situazione. Il suo superamento implica il coinvolgimento della Direzione Lavori per la valutazione di opportune contromisure.

Le contromisure da adottare in caso di superamento dei limiti di allarme, hanno lo scopo di riportare la situazione reale entro i limiti previsti in progetto. Azioni da eseguire nel caso del superamento del valore di soglia di allarme potranno essere quelle di prevedere l'inserimento di tiranti al fine di limitare gli spostamenti della paratia, oppure la realizzazione di una seconda fila di pali al fine di aumentare la rigidità dell'opera.