

E78 GROSSETO - FANO
Tratto Nodo di Arezzo – Selci – Lama (E45)
Adeguamento a quattro corsie del tratto
San Zeno – Arezzo – Palazzo del Pero, 1° lotto

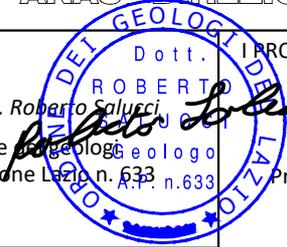
PROGETTO DEFINITIVO

FI 508

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Roberto Salucci
Ordine Ingegneri della Regione Lazio n. 633



PROGETTISTI SPECIALISTICI

Ing. Ambrogio Signorelli
Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111

COORDINATORE PER LA SICUREZZA
IN FASE DI PROGETTAZIONE

Arch. Santo Salvatore Vermiglio
Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270

Ing. Moreno Panfili
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657

Ing. Matteo Bordugo
Ordine Ingegneri Provincia di Pordenone al n. 790A

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Francesco Pisani

VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO

Arch. Pianif. Marco Colazza

Ing. Giuseppe Resta
Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629

PROGETTAZIONE ATI:
(Mandataria)

GP INGENGNERIA
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl

(Mandante)

cooprogetti

(Mandante)

engeko

(Mandante)

AIM
Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):

Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI
ORDINE INGEGNERI ROMA
N° 14035



STUDI ED INDAGINI

Geologia

Relazione di compatibilità geomorfologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV.PROG ANNO

DPFI508 D 23

NOME FILE

T01GE01GEORE03_A

REVISIONE

SCALA

CODICE
ELAB.

T01GE01GEORE03

A

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
D					
C					
B					
A	Emissione a seguito Istruttoria n°U. 0016028.09-01-2024	Gennaio '24	Vazzoler	Salucci	Guiducci

INDICE

1.	<u>PREMESSA.....</u>	<u>2</u>
2.	<u>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</u>	<u>3</u>
2.1.	NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE	3
2.2.	ELABORATI DI PROGETTO	4
2.3.	BIBLIOGRAFIA	5
2.4.	SIMBOLOGIA	6
3.	<u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO</u>	<u>7</u>
4.	<u>MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....</u>	<u>10</u>
4.1.	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOLOGICHE E GEOTECNICHE	10
4.2.	CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE	12
4.3.	SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	14
4.4.	AZIONE SISMICA DI PROGETTO	15
5.	<u>FENOMENI FRANOSI E INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE</u>	<u>20</u>
5.1.	PREMESSA	20
5.2.	METODI DI CALCOLO	21
5.2.1.	<i>Metodi di calcolo per le verifiche di stabilità.....</i>	<i>21</i>
5.2.2.	<i>Metodi di calcolo per le verifiche locali</i>	<i>23</i>
6.	<u>DESCRIZIONE DISSESTI PAI.....</u>	<u>25</u>
6.1.	FRANA 2 BIS	25
6.2.	FRANA 6 (SEZ 3+862)	30
6.3.	FRANA 11	43
7.	<u>PIANO DI MONITORAGGIO.....</u>	<u>48</u>
7.1.	FREQUENZA DELLE LETTURE	50
7.2.	ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO	50
7.3.	PIATTAFORMA DI GESTIONE DEI DATI	51
7.4.	ARCHITETTURA DEL SISTEMA.....	51
7.5.	INTERFACCIA UTENTE E VISUALIZZAZIONE DEI DATI.....	52
7.6.	CONFIGURAZIONE DEL SOFTWARE	53
7.7.	CONCLUSIONI	54
9.	<u>COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA</u>	<u>54</u>

1. PREMESSA

La presente relazione ha come finalità lo studio di compatibilità geomorfologica delle opere di progetto interferenti con le aree PAI nell'ambito del Progetto Definitivo Tratto Nodo Di Arezzo – Selci – Lama (E45), Adeguamento a quattro corsie del tratto San Zeno – Arezzo – Palazzo del Pero, 1° Lotto (FI508).

Nella seguente Tabella si riporta sinteticamente la lista delle aree PAI (dei quali si è ampiamente trattato nella Reazione Geologica) interferite dal tracciato

Tabella 1-1 Elenco fenomeni franosi individuati durante gli studi geologici

ID FRANA	Pk iniziale*	Pk finale*	Classificazione frana	Stato attività frana
FRANA 2bis	2+675	2+875	Frana di crollo	Attiva (pericolosità P4 nel PAI)
FRANA 6	3+675	3+925	Scivolamento e colata lenta	Quiescente (pericolosità P3a nel PAI)
FRANA 11	5+500	5+650	Area a franosità diffusa	Attiva (pericolosità P4 nel PAI)

* estensione indicativa

Il lavoro è stato svolto in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”, ed ai sensi della legge sui lavori pubblici D.lgs. n. 50/2016 e del regolamento D.P.R. 207/2010 considerando il livello progettuale di progetto definitivo.

2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1. NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE

1. EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical Design;
2. EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance;
3. AGI (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica";
4. UNI EN 206-1:2016, Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità
5. D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni";
6. Circolare 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM17/01/2018;
7. AICAP (2012) Ancoraggi nei terreni e nelle rocce - Raccomandazioni

2.2. ELABORATI DI PROGETTO

1. T00GE01GETCS01-02, Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 1-2 di 2;
2. T010GE01GEORE01, Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica;
3. T01GE00GEOPU01-05 Planimetrie ubicazione indagini geognostiche, Tav 1-5 di 5;
4. T01GE00GEORE01 Documentazione indagini geognostiche - Sondaggi geognostici e prove in sito;
5. T01GE00GEORE02 Documentazione indagini geognostiche - Georeferenziazione delle indagini;
6. T01GE00GEORE03 Documentazione indagini geognostiche - Analisi e prove di laboratorio geotecnico;
7. T01GE00GEORE04 Documentazione indagini geognostiche - Campagna geofisica;
8. T01GE00GETDI01, Int. stab. prog. 2+675 a pk 2+875 (frana 2bis) - Pianta, sez. tipo e dettagli;
9. T01GE00GETSG01÷07, Sezioni geotecniche;
10. T01GE01GEOCG01-05, Carta geologica - Tav. 1-5 di 5;
11. T01GE01GEOCG06-10, Carta geomorfologica - Tav. 6-10 di 10;
12. T01GE01GEOCI01-05, Carta idrogeologica- Tav. 1-5 di 5;
13. T01GE01GEOFG01-05, Profilo geologico Asse Grosseto- Tav.1-5 di 5;
14. T01GE01GEOFG06, Profilo geologico Asse Fano- Tav.6
15. T01GE01GEORE02, Rilievi geomeccanici;
16. T01GE01GEOSG01-02, Sezioni geologiche, Tav.1-2 di 2;

PROGETTAZIONE ATI:

2.3. BIBLIOGRAFIA

1. Bishop, A.W. (1955). "The use of the slip circle in the analysis of slopes", Geotechnique, vol. 5, pp.7-17

PROGETTAZIONE ATI:

2.4. SIMBOLOGIA

Si riporta di seguito l'elenco dei simboli dei parametri geotecnici utilizzati nella presente relazione:

ρ	densità del terreno;
γ / γ'	peso di volume del terreno / peso di volume immerso del terreno
w_n	contenuto d'acqua naturale
w_L	limite di liquidità
w_P	limite di plasticità
IP	indice di plasticità
D_r	densità relativa
ϕ'	valore dell'angolo di resistenza al taglio efficace (f di picco)
ϕ'_k	valore caratteristico angolo di resistenza al taglio efficace (f di picco)
ϕ'_R	valore dell'angolo di attrito residuo
c'	valore della coesione in condizioni drenate efficace
c'_k	valore caratteristico coesione in condizioni drenate efficace
c_u	valore della coesione in condizioni non drenate
$c_{u,k}$	valore caratteristico coesione in condizioni non drenate
σ_c	resistenza a compressione uniassiale della roccia
$G_{max} = G_0$	modulo di taglio alle piccole deformazioni
E_0	modulo di Young alle piccole deformazioni
E_{25}	modulo con riferimento ad un grado di mobilitazione della resistenza ultima a taglio pari al 25-30% e una deformazione dell'ordine di 1×10^{-3}
E_m	modulo di elasticità dell'ammasso roccioso
$E_{op, fondaz dirette}$	modulo elastico di Young operativo (opere di fondazione dirette)
$E_{op, fondaz profonde}$	modulo elastico di Young operativo (opere di fondazione profonde – opere di sostegno)
M	modulo edometrico confinato
$M_{fondaz dirette}$	modulo edometrico operativo per fondazioni dirette
$M_{fondaz profonde}$	modulo edometrico operativo per fondazioni profonde
$\Delta\sigma$	intervallo tensionale relativo alla prova edometrica
k	coefficiente di permeabilità
V_s	velocità delle onde di taglio
ν	coefficiente di Poisson
z	profondità dal piano campagna

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Per l'approfondimento degli aspetti geologici si rimanda all'elaborato di progetto T01GE01GEORE01 - Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica di cui qui di seguito si riportano degli estratti.

Geologicamente, l'area oggetto del presente studio, fa parte della fascia centrale della catena orogenica dell'Appennino settentrionale costituito da una struttura complessa di falde e sovrascorrimenti. In questo settore si sviluppano le formazioni alloctone cosiddette Liguridi, appartenenti ad un ambiente di tipo pelagico (Bacino Ligure), riferibili ad un periodo di deposizione compreso tra il Cretacico superiore e l'Eocene. Il Bacino corrispondente al sistema di pianura intermontana di Arezzo ed alla Val di Chiana deve la sua genesi ed evoluzione, durante l'orogenesi dell'Appennino, alla formazione di due alti strutturali, corrispondenti ad anticlinali, che delimitano il bacino: la dorsale Alpe di Poti - M. Murlo – Pratomagno, a est, e che continua fino ai rilievi di Cortona (Monte Castel Giudeo e Alta S.Egidio), ed i Monti del Chianti, a ovest, e Di Rapolano - Cetona a sud ovest. Gli elementi strutturali che caratterizzano le due dorsali sono la Falda Toscana e l'Unità Cervarola - Falterona, entrambe differenziate durante le fasi mioceniche del corrugamento appenninico dove affiorano in prevalenza di unità torbiditico-arenacee e subordinatamente argilloso-marnose.

In seguito, si descrivono brevemente le principali unità geologiche riconosciute lungo il tracciato.

LITOLOGIE DEL SUBSTRATO

- *Unità Arenarie del Cervarola (ac)*. Sono formate da un'alternanza di siltiti, arenarie fini e marne argillose con locali intercalazioni di calcari marnosi e noduli di selce. Le arenarie sono generalmente di esiguo spessore (3 - 4 cm), ma possono raggiungere spessori anche di 20 - 30 cm. I litotipi coerenti-lapidei sono caratterizzati generalmente da un grado di fratturazione medio alto e si differenziano sostanzialmente per la presenza o meno di differenziazioni litologiche e stratigrafiche. Prevalentemente si riscontra la presenza di Arenarie con intercalazioni argillitiche e siltitiche con buone proprietà meccaniche. Le caratteristiche meccaniche di tale classe diminuiscono però fortemente all'aumentare del grado di alterazione e della potenza degli strati argilloso-siltosi oltre che all'aumentare del grado di fratturazione. L'alterazione è rappresentata da un ammasso costituito da uno scheletro di clasti e blocchi arenacei e marnosi in matrice sabbiosa-argillosa fratturati, spesso le porzioni sono destrutturate ma sono ancora riconoscibili strutture originarie (stratificazione).

La formazione delle Arenarie del Cervarola è interessata da numerose dislocazioni per faglia diretta orientate in direzione appenninica (NW-SE), che attraversano il substrato e che vengono intercettate circa ortogonalmente dal tracciato stradale.

- *Unità Marne di San Polo (ms)*. La formazione è rappresentata da marne giallastre e grigie a frattura scheggiata intercalate al Macigno del Mugello. Essa si incontra solamente nella porzione iniziale del lotto 1, tra circa la pk 1200 e la pk 1550. Si tratta di marne a grana fine intensamente alterate, dalle basse caratteristiche di resistenza (resistenza a compressione uniassiale bassa), poco tenaci, scarsamente rigide ed elastiche, fittamente laminate ed intensamente fratturate (RQD bassi) con riempimenti a matrice argillosa.

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

- *Depositi alluvionali recenti ed attuali (at)*. Individuano depositi alluvionali recenti di ambiente fluviale, costituiti da limi argillosi, limi sabbiosi, argille limose, con spessi banchi di sabbie e strati ghiaiosi, di età olocenica. Affiorano maggiormente nella parte più a Ovest del tracciato dove ricoprono il substrato costituito dal Macigno del Mugello fino alle aree marginali in cui questo viene ad emergere. Gli spessori delle alluvioni tendono ad aumentare

PROGETTAZIONE ATI:

progressivamente verso Arezzo. Localmente sono presenti anche intercalazioni di terre fini e medio-fini, da argilla a limo sabbioso, che talvolta possono prevalere, in particolare nella parte sommatiale.

- *Terreni di riporto (r)*. Data l'intensa urbanizzazione dell'area, sono presenti terreni di riporto rappresentati da materiali eterogenei, da limi sabbiosi e/o argillosi a sabbie limose, con ghiaia o ciottoli di varia composizione, spesso clasti di marna, arenaria e laterizi; talora vi è presente sostanza organica. I terreni suddetti, intercettati da alcuni sondaggi, rappresentano rilevati stradali oppure aree di colmamento artificiale.
- *Depositi di frana (dt)*. Nell'area del tracciato del Lotto 1, nonostante i terreni affioranti non siano di natura particolarmente franosa, sono stati cartografati n. 17 fenomeni franosi. Questi sono concentrati nelle aree in cui gli ammassi risultano particolarmente fratturati e, più in generale, sui versanti con giacitura a franapoggio e traversipoggio. Caratterizzazione dell'ammasso roccioso

Il tracciato dell'opera è per la maggior parte caratterizzato dalla presenza del substrato roccioso; si tratta delle unità geologiche delle Arenarie del Cervarola (unità geologica ac) e subordinatamente, tra circa le pk 1+200 e 1+650, delle Marne di San Polo (unità geologica ms).

Il substrato roccioso è stato rilevato sia dai sondaggi geognostici che dalle indagini sismiche indirette (sismiche a rifrazione, down-hole e MASW). Inoltre, nell'ambito del documento *Geologia - Relazione Geologica (T01GE01GEORE01)*, il substrato che affiora lungo quasi tutto il tracciato è stato indagato tramite rilievi geomeccanici, i cui risultati sono presentati nell'elaborato di progetto *Geologia – Rilievi geomeccanici (T01GE01GEORE02)*.

La morfologia del territorio attraversato dal progetto in oggetto si può dividere in tre settori ben distinti tra loro:

- Un primo settore rappresentato da un territorio tipicamente pianeggiante, corrispondente alle aree di pianura della Val di Chiana e della piana di Arezzo, colmate da sedimenti alluvionali, poste rispettivamente nella zona sud-occidentale ed in quella nord-orientale; le pendenze sono molto blande e decrescono verso ovest nel settore della val di Chiana, cioè verso il Canale Maestro della Chiana, nella seconda area verso nord-ovest, cioè verso la piana di Arezzo. Le quote altimetriche sono di poco inferiori ai 250 m s.l.m. nell'area della Val di Chiana.
- Un secondo settore, nella porzione centrale del lotto, corrisponde all'area di spartiacque costituita da un rilievo impostato nelle Arenarie del Cervarola, la cui massima quota raggiunge i 700 m circa s.l.m.. Questo è rappresentato da versanti impostati su roccia caratterizzati da pendenze relativamente accentuate. Il tracciato attraversa la dorsale ad una quota di circa 500 m s.l.m..
- Un terzo settore caratterizzato da un'area di fondovalle, le cui quote variano da un massimo di 485 m s.l.m. ad un minimo di 435 m s.l.m..

Le quote altimetriche sono di poco inferiori ai 250 m s.l.m. nel tratto iniziale nell'area all'interno della Val di Chiana, e aumentano nel tratto centrale del lotto fino ad arrivare a circa 500 m s.l.m. per poi decrescere nuovamente fino a circa 435m s.l.m. Circa l'influenza dei depositi affioranti sul modellamento, le Arenarie del Cervarola danno le quote più elevate.

Dal punto di vista idrografico il tracciato intercetta due corsi d'acqua modesti, il Torrente Vingone tra le pk 250+000 e 353+229 ed il Rio Fiumicello che corre parallelo all'ultima parte del tracciato del lotto in esame.

Per il resto del tracciato sono presenti solo modestissimi scoli che drenano verso il reticolo principale.

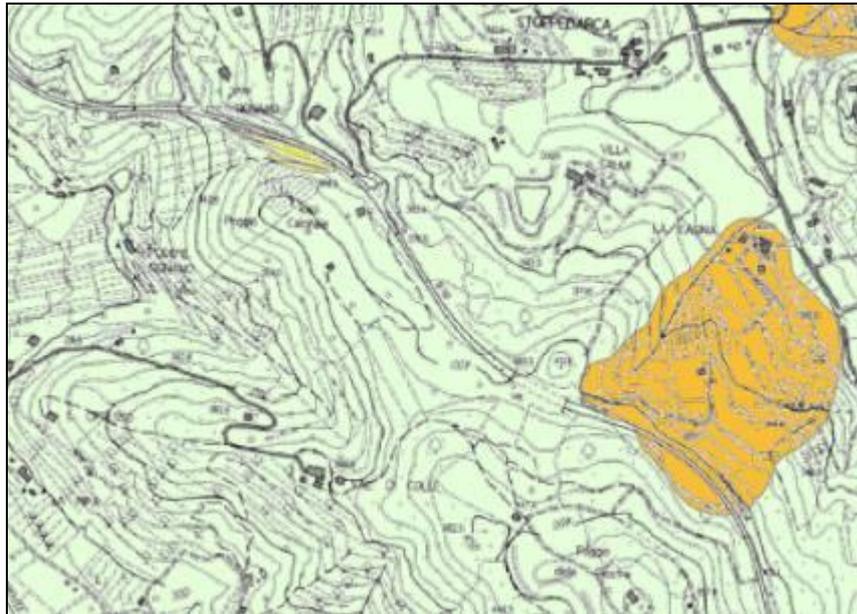
PROGETTAZIONE ATI:

La rete dei torrenti e dei canali che drenano la Piana di Arezzo e la Val di Chiana rappresentano un sistema idraulico e di drenaggio estremamente complesso, caratterizzato da un assetto geomorfologico che, specie nelle aree di margine e nelle fasce colluvio-alluvionali pedemontane orientali, determina condizioni di sovralluvionamento e di colmata alluvionale delle superfici.

Ne derivano spesso alvei pensili che solcano superfici depresse che, in occasione di fenomeni alluvionali o di piogge importanti, possono venire diffusamente allagate.

Questa condizione geomorfologica dei torrenti costituisce una naturale criticità idraulica che si somma alle numerose interferenze operate da infrastrutture viarie e insediamenti, le quali determinano spesso ostruzione al naturale deflusso in alveo, determinando fenomeni di allagamento. Tra questi va citato il Fosso di Covole, affluente sinistro del Torrente della Bicchieraia, uno dei cui rami apicali intercetta il tracciato tra le 5+500 e 5+650 circa ad una quota di 445 m s.l.m. circa ed è cartografato dal PAI come area a pericolosità di frana molto elevata.

Dall'analisi della cartografia PAI risulta che il tracciato del Lotto 1 sia interessato da due aree a pericolosità da frana molto elevata e da un'area a pericolosità di frana elevata, rispettivamente tra le pk 2625+000 e 2+830+000 e tra le pk 5500+000 e 5650+000 per quanto riguarda le prime e tra le pk 3725+000 e 3900+000 per quanto riguarda la seconda.



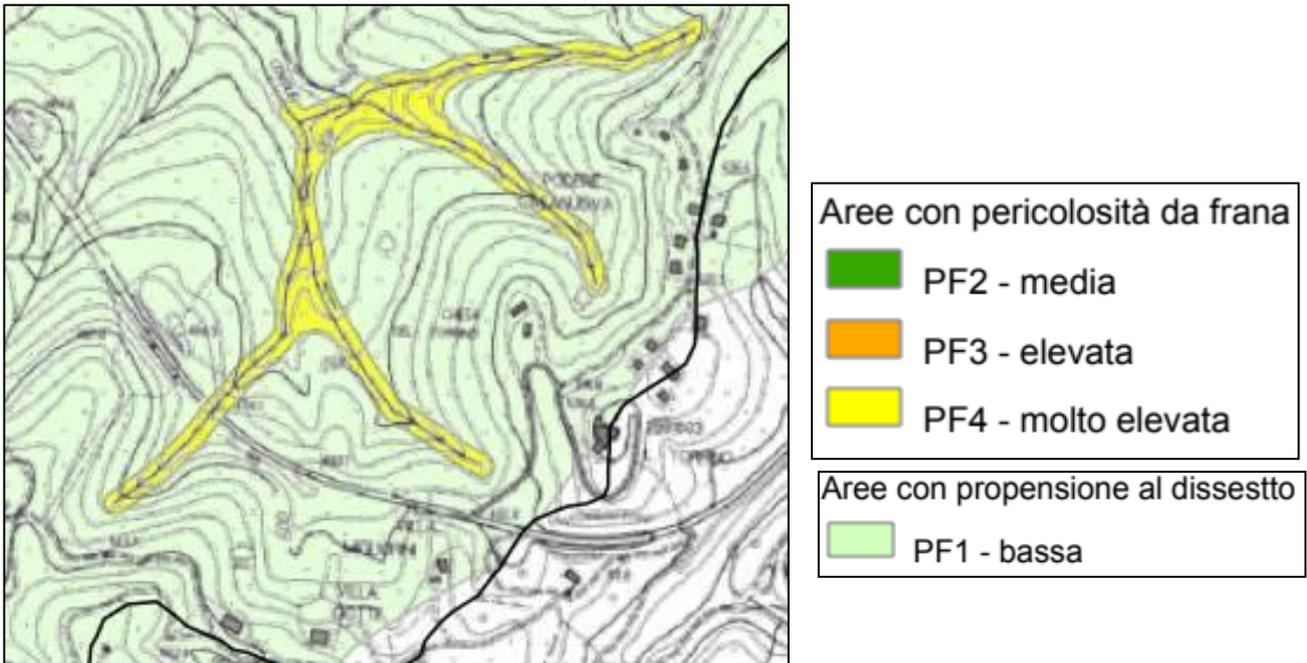


Figura 3-1 Stralci del PAI in cui sono evidenziate le tre aree che interessano il tracciato

Nella seguente Tabella si riporta sinteticamente la lista delle aree PAI (dei quali si è ampiamente trattato nella Reazione Geologica) interferite dal tracciato

Tabella 3-1 Elenco fenomeni franosi individuati durante gli studi geologici

ID FRANA	Pk iniziale*	Pk finale*	Classificazione frana	Stato attività frana
FRANA 2bis	2+675	2+875	Frana di crollo	Attiva (pericolosità P4 nel PAI)
FRANA 6	3+675	3+925	Scivolamento e colata lenta	Quiescente (pericolosità P3a nel PAI)
FRANA 11	5+500	5+650	Area a franosità diffusa	Attiva (pericolosità P4 nel PAI)

* estensione indicativa

4. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Di seguito si illustrano i risultati delle indagini in termini di parametro RQD (Rock Quality Designation, Deere 1963), i risultati delle prove di laboratorio su campioni litoidi intatti (prove di compressione uniassiale e prove tipo Point Load Test), e si illustrano i principali criteri per la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.

4.1. Definizione delle unità geologiche e geotecniche

Per l'approfondimento delle tematiche relative alla caratterizzazione geotecnica del sito si rimanda al documento T01GE00GETRE01 "Relazione Geotecnica".

Alla luce dei risultati delle indagini geognostiche e geotecniche e della loro interpretazione, nonché in considerazione dell'esito dei rilievi geomeccanici, nei seguenti paragrafi si sintetizza la caratterizzazione geotecnica dei terreni e del substrato roccioso interagenti con l'opera in progetto.

Di seguito si riporta una Tabella che correla le unità geotecniche suddivise per tratto e le unità geologiche corrispondenti.

Tabella 4-1 Schema riassuntivo delle unità geotecniche e le corrispondenti geologiche

UNITÀ GEOLOGICA	UNITÀ GEOTECNICA	TIPOLOGIA TERRENO/ROCCIA
R – Terreni di riporto	R - Riporto	Riporto
Fn - Frana	FN - Frana	Depositi di frana
at – Alluvioni recenti ed attuali	LS – Limi e sabbie	Coesivo in prevalenza limoso sabbioso
at – Alluvioni recenti ed attuali	GS – Ghiaie e sabbie limose	Incoerente in prevalenza ghiaiosa sabbiosa
ac – Arenaria del Cervarola	AC – Arenaria del Cervarola	Substrato formato da alternanze tra arenarie siltiti argilliti
ac – Arenaria del Cervarola	AC alt - Arenaria del Cervarola alterata	Substrato formato da alternanze tra arenarie siltiti argilliti fortemente alterato e destrutturato
ms – Marne di San Polo	MS – Marne di San Polo	Alternanze tra arenarie siltiti argilliti
ms – Marne di San Polo	MS alt - Marne di San Polo alterate	Substrato formato da alternanze tra arenarie siltiti argilliti fortemente alterato e destrutturato

4.2. Caratterizzazione delle unità geotecniche

Le tavole di progetto che raffigurano il profilo geotecnico a cui si fa riferimento da Ovest verso Est per la carreggiata in **direzione Grosseto**, alla scala 1:2000/1:200, sono:

- T01GE00GETFG01, profilo dalla pk 0+000 alla pk 1+800 (pk espresse in dir. Grosseto);
- T01GE00GETFG02, profilo dalla pk 1+650 alla pk 3+475 (pk espresse in dir. Grosseto);
- T01GE00GETFG03, profilo dalla pk 3+325 alla pk 5+150 (pk espresse in dir. Grosseto);
- T01GE00GETFG04, profilo dalla pk 5+000 alla pk 6+825 (pk espresse in dir. Grosseto);
- T01GE00GETFG05, profilo dalla pk 6+700 alla pk 8+475 (pk espresse in dir. Grosseto).

Le tavole di progetto che raffigurano il profilo geotecnico a cui si fa riferimento da Ovest verso Est per la carreggiata in **direzione Fano** sono le stesse di quelle della direzione Grosseto, alla scala 1:2000/1:200, ad eccezione del tratto da pk 5+000 ÷ 6+825 espresse in dir. Fano:

- T01GE00GETFG01, profilo dalla pk 0+000 alla pk 1+800 (pk espresse in dir. Grosseto);
- T01GE00GETFG02, profilo dalla pk 1+650 alla pk 3+475 (pk espresse in dir. Grosseto);
- T01GE00GETFG03, profilo dalla pk 3+325 alla pk 5+150 (pk espresse in dir. Grosseto);
- T01GE00GETFG04, profilo dalla pk 5+000 alla pk 6+825 (pk espresse in dir. Grosseto), per i tratti: tra pk 5+000 e pk 5+700 e tra pk 6+500 e pk 6+825;
- T01GE00GETFG06, profilo dalla pk 5+000 alla pk 6+875 (pk espresse in dir Fano) per il tratto tra pk 5+700 e pk 6+500.
- T01GE00GETFG05, profilo dalla pk 6+700 alla pk 8+475 (pk espresse in dir. Grosseto);

Per le rampe di accesso ed i collegamenti è possibile fare riferimento ai seguenti profili redatti con scala 1:1000/1:100:

- T01GE00GETFG07, profilo rampa E e rampa F;
- T01GE00GETFG08, profilo rampa J e rampa L;
- T01GE00GETFG09, Rampa collegamento Pero.

Per i viadotti è possibile fare riferimento ai seguenti profili alla scala 1:1000/1:100:

- P01VI01GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.01;
- P01VI02GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.02;
- P01VI03GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.03;
- P01VI04GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.04;
- P01VI05GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.05;
- P01VI06GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.06;
- P01VI07GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.07;
- P01VI08GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.08;
- S01VI09GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.09;
- V01VI10GETFG01, profilo geotecnico Viadotto VI.10.

Inoltre, è possibile fare riferimento alle seguenti sezioni geotecniche, con scala 1:200:

- T01GE00GETSG01, Sezione geotecniche (pk GR 1+800; pk GR 2+505);
- T01GE00GETSG02, Sezione geotecniche (pk GR 2+775; pk GR 2+970);
- T01GE00GETSG03, Sezione geotecniche (pk GR 3+080; pk GR 3+862);
- T01GE00GETSG04, Sezione geotecniche (pk GR 4+120; pk GR 4+283);
- T01GE00GETSG05, Sezione geotecniche (pk GR 5+032; pk GR 5+530);
- T01GE00GETSG06, Sezione geotecniche (pk GR 5+032; pk GR 5+530).

Facendo riferimento al profilo longitudinale in dir. Grosseto, di seguito vengono brevemente descritti i terreni di fondazione che interagiscono con l'opera in progetto.

PROGETTAZIONE ATI:

Dalla pk **0+000** alla **0+475** il profilo stratigrafico è caratterizzato dalla presenza di terreni alluvionali di natura limosa intervallati da lenti più argillose o più sabbioso-ghiaiose. Il suo spessore tende velocemente a diminuire da Ovest verso Est fino a scomparire alla pk 0+475 circa, dove il substrato è affiorante. Il sondaggio B_S01 non intercetta il substrato roccioso.

Dalla **0+475** alla **0+750** il substrato roccioso è affiorante; per quanto significativa, la prova MASW ha indicato la presenza di uno spessore di substrato alterato (unità AC alt) di spessore pari a circa 4-5 m, seguito dal substrato con migliore caratteristiche fisico-meccaniche, si tratta dell'unità delle Arenarie del Cervarola (unità AC).

Dalla **0+475** alla **1+200**, ancora una volta, il profilo stratigrafico è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali. Tuttavia, in questo caso la loro natura è francamente incoerente (unità GS), come suggeriscono l'esito dei sondaggi B_S02 e B_S03 e delle prove di laboratorio eseguite sui campioni estratti. La sua profondità massima, alla pk 1+000 raggiunge circa 25-26 m da p.c., mentre lateralmente (sia verso Est che verso Ovest) la sua profondità tende a diminuire. Al di sotto dei terreni alluvionali si incontrano le Arenarie del Cervarola (unità AC). Anche in questo caso, nella parte superficiale dell'unità AC, è presente un cappellaccio di alterazione (AC alt) con spessore minimo.

Dalla **1+200** alla **1+600** affiora il substrato roccioso dell'unità delle Marne di San Polo (unità MS); le indagini disponibili hanno indicato uno spessore di circa 5-6 m di substrato alterato. In corrispondenza delle pk 1+200 e 1+600, come indicato negli elaborati geologici, sono presenti i limiti geologici tra Arenarie del Cervarola e Marne di San Polo.

Dalla **1+600** alla **8+125** affiora persistentemente il substrato roccioso e, in particolare, la formazione geologica delle Arenarie del Cervarola. Lungo tutto il tracciato è presente, dapprima, l'unità costituita dal substrato roccioso alterato (AC alt), con spessore variabile da pochi metri fino talvolta a cc 30 m, come ad esempio in corrispondenza dei sondaggi B_S11, B_S12. Segue il substrato non alterato con buone caratteristiche fisico-meccaniche. Anche all'interno dell'unità AC sono presenti lenti di substrato alterato (vedi B_S05, B_S14, B_S15, MASW4).

Dalla **8+125** alla **8+475** il substrato roccioso non è più affiorante, ma sepolto da depositi di natura alluvionale, composti in prevalenza terreni coesivi. Il loro spessore è di circa una decina di metri.

4.3. Sintesi della caratterizzazione geotecnica

Alla luce dei risultati delle indagini di progetto, tenuto conto della disponibilità di dati sperimentali, sulla base della caratterizzazione di ciascuna unità geotecnica, è possibile proporre la sintesi dei parametri geotecnici riportati nella seguente Tabella.

Tabella 4-2 Sintesi dei parametri geotecnici

Unità geotecnica	Unità geologica	γ/γ'	Variabilità parametri			Valori caratteristici		
			φ'	c'	c_u	φ'_k	c'_k	$c_{u k}$
		(kN/m ³)	(°)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)	(kPa)
R	r	20.0/10.0	26÷35	0÷10	-	35	0	-
FN	fn	19.5/9.5	20÷30	0÷10	-	20÷26	0÷5	-
LS	at	19.5/9.5	24÷28	10÷30	40÷60	26	10	50
GS	at	19.5/9.5	27÷32	0	-	30	0	-
MS alt	ms	19.5/9.5	24÷32	10÷80	-	27	10÷50*	-
MS	ms	23.0/13.0	24÷32	80÷200	-	28	100	-
AC alt	ac	19.5/9.5	25÷35	10÷80	-	30	10÷50*	-
AC	ac	23.0/13.0	25÷35	80÷210	-	32	90	-

*Valore che incrementa con la profondità

Unità geotecnica	Unità geologica	Valori di deformabilità di riferimento							
		q_s per micropali tipo IGU	V_s	G_0	ν	$M_{\text{fond. Dir.}}$	$E_{\text{fond. Dir.}}$	$E_{\text{fond. Prof.}}$	E_{substr}
		(kPa)	(m/s)	(MPa)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
R	r	100	200	80	0.25	-	20	30	-
FN	fn	60	100÷200	20÷80	0.3	-	6÷10	9÷15	-
LS	at	-	200÷400	80÷300	0.3	4÷20	3÷16	8÷30	-
GS	at	100÷150	200÷400	80÷300	0.3	-	10÷15	15÷22	-
MS alt	ms	200÷400	200÷700	80÷1000	0.2	-	20÷240	25÷300	-
MS	ms	400÷600	700÷1000	1100÷2300	0.2	-	-	-	1100÷1400
AC alt	ac	200÷400	200÷700	80÷1000	0.2	-	20÷240	25÷300	-
AC	ac	400÷600	700÷1000	1100÷2300	0.2	-	-	-	1100÷1400

Si sottolinea che per la caratterizzazione geomeccanica dei materiali litoidi appartenenti alle fasce cataclastiche (zone di faglia), si ritiene opportuno fare riferimento ai parametri definiti per le unità di ammasso roccioso alterato (MS alt, AC alt).

Per quanto riguarda il regime delle pressioni neutre si rimanda al paragrafo sulle misure piezometriche, alla relazione geologica di progetto e agli elaborati grafici relativi.

4.4. Azione sismica di progetto

L'azione sismica di riferimento, utilizzata per lo svolgimento delle analisi presentate nel capitolo successivo, è stata definita sulla base dei criteri esposti nelle "Norme tecniche per le costruzioni" (Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018).

L'azione sismica viene valutata a partire dalla cosiddetta "pericolosità sismica di base" riferita ad un sito con suolo rigido (categoria A) e superficie topografica orizzontale.

Allo stato attuale la pericolosità sismica di base sul territorio italiano è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). La Figura riportata di seguito mostra la distribuzione dell'accelerazione massima orizzontale a_g di riferimento su suolo rigido con possibilità di superamento pari al 10% in 50 anni, per le coordinate Lat. 43.419682° e Long. 11.924533° nel comune di Arezzo e ottenuta dal citato database. Si tratta di una coordinata rappresentativa dell'intero tracciato posta nel mezzo alla pk 5+200.

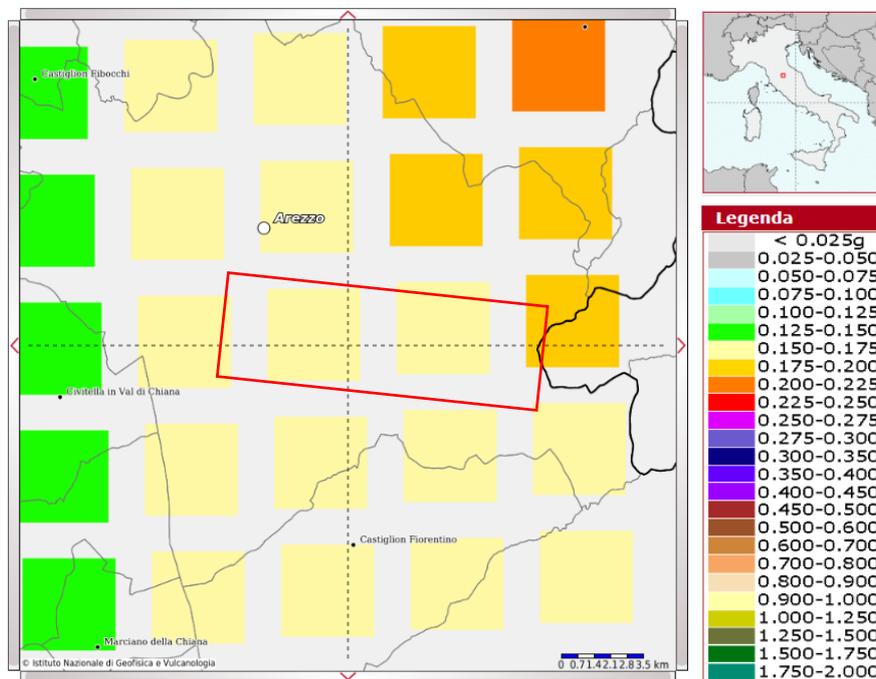
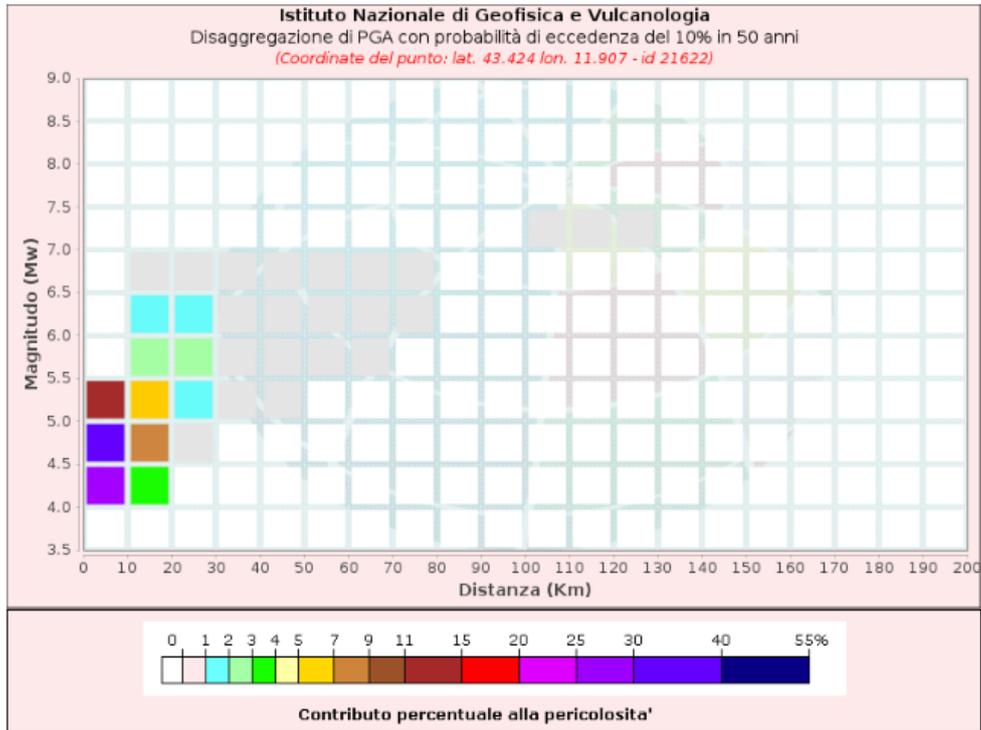


Figura 4-1 Accelerazione massima orizzontale a_g di riferimento su suolo rigido con possibilità di superamento pari al 10 % in 50 anni, dal sito dell'istituto nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Lat. 43.419682° e Long. 11.924533°). In rosso è indicato approssimativamente il tracciato della E78 Grosseto Fano in oggetto

Inoltre, nelle seguenti Figure si riportano il grafico della disaggregazione della pericolosità sismica che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. Dai grafici viene fornito il terremoto che domina lo scenario di pericolosità.



a)

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
(Coordinate del punto: lat. 43.424 lon. 11.907 - id 21622)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	25.1000	33.7000	11.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.0600	7.8200	6.1300	2.2000	1.5900	0.0187	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.3620	1.6400	2.0800	1.9600	0.0514	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.1160	0.7120	0.9940	0.0402	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.1430	0.3990	0.0207	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0143	0.1300	0.0063	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0325	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi

Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.86	8.88	1.16

b)

Figura 4-2 a) Grafico di disaggregazione per sito in coordinate rappresentative per il tracciato in oggetto (Lat. 43.419682° e Long. 11.924533°); b) Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, per sito in coordinate rappresentative per il tracciato in oggetto (Lat. 43.422, Long. 11.923)

I valori dei parametri a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_C^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), per i periodi di ritorno T_R di riferimento sono sito specifici, ovvero cambiano in base alla coordinata (Forniti attraverso l'applicativo 'Spettri' elaborato dal M.LL.PP).

La Figura 4-1, infatti, mostra come il valore di a_g su suolo rigido con possibilità di superamento pari al 10% in 50 anni è variabile. Infatti, nel Comune di Arezzo, si osserva che varia da circa 0.125÷0.150 nella parte Nord/ Nord-Ovest, nella parte centrale e meridionale del comune tra 0.150÷0.175, mentre nella porzione a Nord-Est/Est i valori raggiungono accelerazioni pari a 0.175÷0.200.

In accordo con le NTC18 per le opere in progetto possono essere definite le seguenti caratteristiche:

Vita nominale

La vita nominale di un'opera è intesa come numero di anni nel quale deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata ed è definita dalle NTC in funzione del tipo di costruzione (*tabella 2.4.I*). Nel caso del presente intervento si considera:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con lo scopo di valutare le conseguenze di una interruzione di operatività assegnata o di un eventuale collasso della struttura, le costruzioni sono catalogate in 4 classi d'uso (par. 2.4.2, NTC2018) a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso C_u per la definizione dell'azione sismica.

All'opera in oggetto viene assegnata una Classe d'uso IV. A tale classe d'uso è associato un coefficiente d'uso C_u pari a 2.

Periodo di riferimento

Il periodo di riferimento con il quale valutare le azioni sismiche di progetto è dato dal prodotto della vita nominale e del coefficiente d'uso. Nel caso in esame si ha:

$$V_R = V_N \times C_u = 100 \text{ anni}$$

Nelle seguenti Tabelle sono riportati n.3 esempi di valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione dei periodi di ritorno T_R indicati e di valori dei parametri sismici per i tempi di ritorno associati ai quattro stati limite SLO, SLD, SLV e SLC per 3 coordinate rappresentative per l'intero tracciato (circa sono state scelte all'inizio, nel mezzo e alla fine del tracciato).

Tabella 4-3 Parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione dei periodi di ritorno T_R indicati e i valori dei parametri sismici per i tempi di ritorno associati ai quattro stati limite SLO, SLD, SLV e SLC per le coordinate indicate

Pk. 0+650
 Lat. 43.444111°
 Long. 11.886107°

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0.054	2.512	0.261
50	0.067	2.515	0.273
72	0.077	2.522	0.278
101	0.089	2.468	0.283
140	0.102	2.455	0.285
201	0.118	2.415	0.288
475	0.160	2.423	0.292
975	0.200	2.432	0.300
2475	0.260	2.465	0.313

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.072	2.518	0.275
SLD	101	0.089	2.468	0.283
SLV	949	0.199	2.431	0.300
SLC	1950	0.243	2.456	0.310

Pk. 3+300
 Lat. 43.432845°
 Long. 11.911414°

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0.055	2.509	0.262
50	0.068	2.507	0.273
72	0.078	2.517	0.278
101	0.091	2.453	0.282
140	0.103	2.454	0.285
201	0.120	2.414	0.288
475	0.162	2.424	0.293
975	0.202	2.432	0.301
2475	0.263	2.466	0.314

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.073	2.512	0.275
SLD	101	0.091	2.454	0.282
SLV	949	0.201	2.432	0.300
SLC	1950	0.246	2.458	0.311

Pk. 8+050
 Lat. 43.426464°
 Long. 11.949885°

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0.056	2.503	0.262
50	0.069	2.495	0.273
72	0.080	2.508	0.278
101	0.093	2.448	0.283
140	0.106	2.444	0.286
201	0.123	2.416	0.288
475	0.167	2.419	0.294
975	0.208	2.429	0.304
2475	0.269	2.474	0.317

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.075	2.502	0.276
SLD	101	0.093	2.448	0.283
SLV	949	0.206	2.429	0.304
SLC	1950	0.252	2.462	0.314

Il valore dell'accelerazione di riferimento a_g così ottenuto deve essere modificato per tener conto sia delle variazioni prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali che della morfologia del sito; l'accelerazione massima orizzontale di riferimento si ottiene con la seguente espressione:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t$$

dove S_s è un coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_t di amplificazione topografica.

L'attribuzione delle categorie di sottosuolo è stata svolta in funzione dei risultati delle indagini disponibili, ovvero in base ai risultati in termini di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio S , $V_{s,eq}$. Tali dati sono stati ottenuti delle prospezioni sismiche di tipo MASW e Down-Hole, così distribuite lungo il lotto:

- N°4 indagini MASW (B_MASW1, B_MASW2, B_MASW3, B_MASW4);
- N°4 prove downhole nei fori di sondaggio (B_S07, B_S11, B_S13, B_S20);
- N°20 prove di sismica a rifrazione.

I risultati delle indagini sismiche svolte in corrispondenza dei n. 3 dissesti in esame in questo elaborato sono sintetizzati nella Tabella seguente la quale, sulla base dei valori di V_s propone anche la categoria di suolo secondo quanto disposto dal par. 3.2.2. della normativa vigente.

PROGETTAZIONE ATI:

Tabella 4-4 Categoria di sottosuolo secondo le NTC18 delle prove sismiche effettuate. Per le prove sismiche a rifrazione il calcolo della $V_{s,eq}$ è stato eseguito lungo la verticale al centro dello stendimento a partire dalla quota del p.c.

ID PROVA SISMICA	$V_{s,eq}$ (m/s)	Cat. di suolo NTC'18
B_MASW3	743	B
B_S13	341	E
B_Sism05	410	B
B_Sism07	358	E
B_Sism07quater	501	B

In base alle informazioni riportate, desunte dalla campagna di indagini, per le opere nell'area del tracciato in progetto è possibile considerare i terreni di fondazione come appartenenti alla categoria B: *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”*

Per quanto riguarda gli effetti legati alla topografia del sito, alla luce delle informazioni disponibili è possibile assegnare la categoria topografica T1: *“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”*.

Pertanto, il coefficiente di amplificazione stratigrafica è pari a $S_s = 1.2$ e il coefficiente di amplificazione topografica è pari a $S_t = 1.0$.

Con riferimento ad uno Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), rappresentativo dell'intero tracciato, l'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$$a_{max} = 0.2g \times 1.20 \times 1.0 = 0.24g$$

5. FENOMENI FRANOSI E INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE

5.1. PREMESSA

Il tracciato della strada in progetto interagisce con alcune frane riconosciute nella cartografia tecnica di riferimento e dagli studi geologici affrontati nel progetto.

Nel presente capitolo si approfondiscono i movimenti franosi censiti nella cartografie del PAI (Piano di assetto idrogeologico) che intercettano le opere in progetto e si sviluppano le valutazioni progettuali relative agli interventi di stabilizzazione. Per tali fenomeni sono state condotte analisi dello stato di fatto, allo scopo di accertare la validità delle ipotesi relative alla caratterizzazione stratigrafica e meccanica dei terreni in posto. Successivamente sono state svolte le analisi in condizioni statiche (SLU) e sismiche (SLV) dell'assetto stradale di progetto valutando la necessità di prevedere idonei interventi di stabilizzazione mediante paratie di pali e tiranti passivi.

Le valutazioni sono state condotte sulla base delle informazioni disponibili sulla geologia locale e derivanti dalle indagini geognostiche e geotecniche effettuate. Alcune delle aree di frana sono state attrezzate con inclinometri e piezometri che, al crescere dei dati di monitoraggio nel tempo (ora limitati), sapranno eventualmente chiarire le caratteristiche dei movimenti franosi e consentiranno l'affinamento della progettazione degli interventi di consolidamento. Si sottolinea che si tratta di fenomeni franosi riconosciuti e catalogati presso gli enti competenti, segnalati e discussi nella *Relazione geologica T01GE01GEORE01*, cui si rimanda per ogni approfondimento.

Nella seguente Tabella si riporta sinteticamente la lista delle aree PAI (dei quali si è ampiamente trattato nella Reazione Geologica).

Tabella 5-1 Elenco fenomeni franosi individuati durante gli studi geologici

ID FRANA	Pk iniziale*	Pk finale*	Classificazione frana	Stato attività frana
FRANA 2bis	2+675	2+875	Frana di crollo	Attiva (pericolosità P4 nel PAI)
FRANA 6	3+675	3+925	Scivolamento e colata lenta	Quiescente (pericolosità P3a nel PAI)
FRANA 11	5+500	5+650	Area a franosità diffusa	Attiva (pericolosità P4 nel PAI)

* estensione indicativa

Nei seguenti paragrafi si richiamano i metodi di calcolo impiegati (già presentati nel paragrafo relativo agli scavi a scarpata libera); per ogni fenomeno franoso individuato si analizzano le interferenze con il tracciato in progetto e, per quei fenomeni che intercettano o interagiscono significativamente con l'asse stradale, si illustrano i risultati delle verifiche di stabilità in condizioni statiche (SLU) e sismiche (SLV), eseguite valutando gli effetti degli interventi di stabilizzazione proposti per garantire un adeguato margine di sicurezza.

5.2. METODI DI CALCOLO

5.2.1. METODI DI CALCOLO PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ

Le verifiche di stabilità per lo sviluppo della progettazione degli interventi di consolidamento sono state condotte con il codice di calcolo Slide2 (ver. 9.020) sviluppato dalla società Rocscience (Canada) che implementa numerosi metodi di calcolo dell'equilibrio limite (analisi LEM). In particolare, le analisi sono state condotte con il metodo di Bishop semplificato (1955, doc.rif.1).

Le verifiche di stabilità delle scarpate sono state condotte con il codice di calcolo Slide2 (ver. 9.020) sviluppato dalla società Rocscience (Canada) che implementa numerosi metodi di calcolo dell'equilibrio limite (analisi LEM). In particolare, le analisi sono state condotte con il metodo di Bishop semplificato (1955, doc.rif.1) ed ipotizzando superfici di scorrimento circolari di raggio r , con il materiale coinvolto nella rottura suddiviso in conci di larghezza b (vedi schema riportato nella Figura di seguito), per ognuna delle quali vengono valutati il momento stabilizzante M_s (resistenza R del sistema geotecnico) e il momento ribaltante M_r (azione E) calcolati rispetto al centro del cerchio.

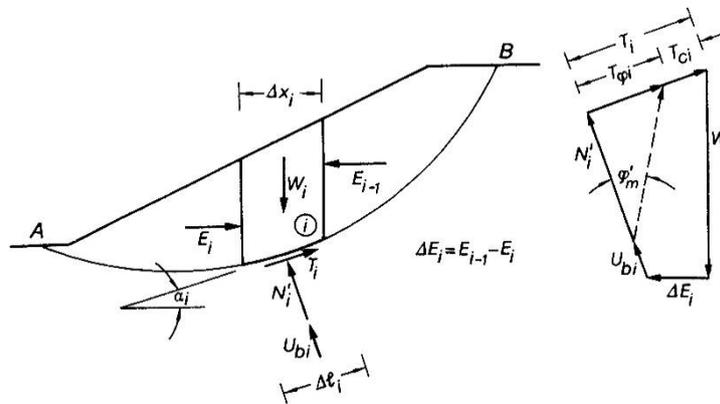


Figura 5-1 Schema metodo di Bishop semplificato (1955)

Il contributo al momento stabilizzante M_s di un concio è fornito in generale dalla resistenza alla base, somma della componente del peso W ortogonale alla base moltiplicata per la tangente dell'angolo di resistenza al taglio ϕ e della eventuale coesione c , moltiplicata per la lunghezza $b/\cos\alpha$, dove α è l'inclinazione della base del concio rispetto all'orizzontale. Nell'ipotesi che il concio sia parzialmente immerso in acqua e che alla base la pressione idraulica valga u , si ottiene:

$$M_s = \frac{c \times b + (W - u \times b) \times \tan \phi}{m\alpha} \times r$$

dove:

$$m\alpha = \cos \alpha \times \left(1 + \frac{\tan \alpha \times \tan \phi}{F} \right)$$

Il contributo al momento ribaltante M_r di un concio è fornito dalla componente del peso W parallela alla base del concio:

$$M_r = W \times \sin \alpha \times r$$

Il programma non definisce separatamente il valore dell'effetto delle azioni E che portano instabilità (momenti ribaltanti M_r) e della resistenza corrispondente R (momenti stabilizzanti M_s), ma solo il loro rapporto ($F=R/E$) che è il "fattore di sicurezza globale".

Per quanto riguarda le verifiche di sicurezza, in condizioni statiche (SLU) la stabilità globale, secondo quanto indicato nell'Eurocodice 7, può essere verificata utilizzando il "fattore di sicurezza globale" F e un fattore ausiliario definito ODF ("Over-design factor"), di seguito definito con riferimento alla combinazione A2+M2+R2 richiesta dalle NTC 2018:

- viene calcolato il fattore di sicurezza F come rapporto R/E utilizzando i parametri di resistenza dei terreni di progetto φ_d e c_d e amplificando i carichi con i coefficienti parziali γ_{G1} e γ_{G2} ;
- viene calcolato ODF dividendo F per il coefficiente parziale sulle resistenze γ_R .

Affinché le verifiche siano soddisfatte deve quindi risultare:

$$ODF = \frac{F}{\gamma_r} = \frac{R(\varphi_d, c_d)/E(\varphi_d, c_d)}{\gamma_r} > 1$$

Il coefficiente γ_r per il terreno, ai sensi delle NTC 18, è stato assunto pari a 1.1.

Le verifiche in condizioni sismiche (SLV) sono state condotte ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza del terreno e assumendo γ_r pari a 1.2. Nella condizione sismica i sovraccarichi stradali sono stati moltiplicati per il coefficiente di combinazione $\Psi_2=0.3$, come previsto dalle NTC18 al §2.5.2. Tali analisi sono state condotte mediante metodo di tipo pseudo-statico che considera un sistema di forze orizzontali e verticali applicate ai volumi di terreno coinvolti.

Le forze orizzontali di inerzia, dovute alla azione sismica, sono state considerate con intensità pari a:

$$F_h = k_h \times W$$

con

$$k_h = \beta_s \times \frac{a_{max}}{g}$$

dove:

- β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito (pari a 0.38 nelle verifiche dello stato limite ultimo SLV);
- a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- W peso del materiale;
- g accelerazione di gravità.

Le forze verticali sono state considerate pari a:

$$F_v = k_v \times W$$

con

$$k_v = \pm 0.5 \times k_h$$

PROGETTAZIONE ATI:

Lungo il tracciato della strada in progetto e in corrispondenza degli svincoli e dalla viabilità secondaria, l'accelerazione massima orizzontale attesa con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), tenuto conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali e da quelle morfologiche del sito, è pari a:

$$a_{max} = 0.200g \times 1.20 \times 1.0 = 0.24g$$

Per cui si ha:

$$k_h = 0.38 \frac{0.24 g}{g} = 0.091$$

$$k_v = \pm 0.5 \times 0.091 = \pm 0.045$$

Per la determinazione dei parametri cui corrisponde un valore del coefficiente di sicurezza prossimo all'unità (collasso incipiente) del volume di terreno interessato dalla presenza conclamata del fenomeno franoso, a supporto delle considerazioni riguardo alla caratterizzazione geotecnica, preliminarmente alla modellazione delle condizioni di progetto, è stata studiata la condizione ante operam e conseguentemente condotta una back analysis, sempre con l'ausilio del software Slide2 precedentemente descritto. Per tale analisi sono stati impiegati valori dei coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza del terreno pari a 1.0.

Nell'analisi di sensitività, il valore dell'angolo di attrito viene fatto variare tra i valori minimo e massimo definiti dall'utente. Ciò si traduce in un grafico del fattore di sicurezza FS rispetto al valore del parametro ϕ : è stato quindi determinato il valore di ϕ corrispondente ad un valore del fattore di sicurezza FS=1.0÷1.1 (i.e. "collasso incipiente").

5.2.2. METODI DI CALCOLO PER LE VERIFICHE LOCALI

Le verifiche locali relative alla paratia per il consolidamento della frana sono state svolte utilizzando un modello F.E.M. (codice ParatiePlus 23.0), in cui la paratia viene rappresentata con elementi tipo "beam" dotati di rigidità flessionale EJ, con E modulo elastico e J momento d'inerzia; ai lati degli elementi sono considerate agenti delle molle di tipo elastoplastico (caratterizzate dal modulo elastico alla Winkler), che simulano il comportamento sforzi-deformazioni del terreno.

Il codice implementa in automatico le combinazioni di carico previste dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* e descritte di seguito.

Nella modellazione dei terreni i coefficienti di spinta passiva k_p sono stati calcolati secondo la teoria di Lancellotta considerando un angolo di attrito δ terreno-paratia pari a $\frac{2}{3}\phi$, mentre i coefficienti di spinta attiva k_a sono stati calcolati considerando cautelativamente un angolo di attrito δ terreno-paratia nullo.

Le verifiche di sicurezza delle paratie di sostegno degli scavi sono state condotte secondo quanto previsto dalle NTC 2018 (§6.5.3.1.2), nei seguenti stati limite:

- Stato Limite Ultimo di tipo geotecnico (GEO);
- Stato Limite Ultimo di tipo strutturale (STR);
- Stato Limite di Esercizio.

Le analisi agli Stati Limite Ultimi, che confrontano il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione E_d con quello di progetto della resistenza del sistema geotecnico R_d , devono essere effettuate considerando l'Approccio 1, ovvero verificando entrambe le seguenti combinazioni:

- combinazione 1: A1+M1+R1
- combinazione 2: A2+M2+R1

tenendo conto dei coefficienti riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti del gruppo R1 pari all'unità.

PROGETTAZIONE ATI:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_F')	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(0)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽⁰⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 6.2.I NTC18

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.2.II NTC18

La verifica agli Stati Limite di Esercizio (SLE) viene effettuata ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni ed impiegando i parametri geotecnici caratteristici.

Sono state inoltre condotte le analisi in condizioni sismiche, con riferimento a quanto riportato al §7.11.1 e §7.11.6.3 delle Norme Tecniche, nei confronti dei possibili Stati Limite Ultimi (SLV) di tipo strutturale o geotecnico ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

Le azioni sismiche sono state valutate, in conformità all'approccio pseudo-statico, considerando l'incremento dinamico di spinta del terreno valutato in via cautelativa con la relazione proposta da Wood (1973), idonea per strutture molto rigide e non in grado di ammettere spostamenti residui quali quelle in oggetto:

$$\Delta P_d = \frac{a_{max}}{g} \times \gamma \times H^2$$

dove:

a_{max} è la massima accelerazione orizzontale pari a 0.24g;

H è la massima profondità di scavo;

γ è il peso specifico del terreno.

6. DESCRIZIONE DISSESTI PAI

6.1. FRANA 2 BIS

Il fenomeno viene cartografato dal PAI come area con pericolosità da frana molto elevato (P4) che interessa il tracciato tra le pk. 2+625 e 2+830 circa. I sopralluoghi hanno permesso di determinare che l'intera area corrisponde ad una trincea impostata nelle Arenarie del Cervarola, interessata dal distacco di cunei litoidi (frana di crollo) e protetta da rete metallica, funi e chiodi. A causa della elevata acclività del versante non sono state eseguite indagini dirette.

Il progetto prevede la realizzazione di un intervento di rimozione della rete esistente, pulizia e disaggancio della parete, realizzazione di una nuova rete chiodata e realizzazione di una paratia berlinese.

Nella tabella che segue si riassumono le principali caratteristiche geometriche del corpo di frana :

quota max (m s.l.m.)	quota min (m s.l.m.)	dislivello (m)	lunghezza massima (m)	larghezza massima (m)	lunghezza tracciato coinvolto (m)	distanza min dall'asse di progetto (m)	Spessore max dissesto in area tracciato (m)
377	357	20	165	19	99	-	2

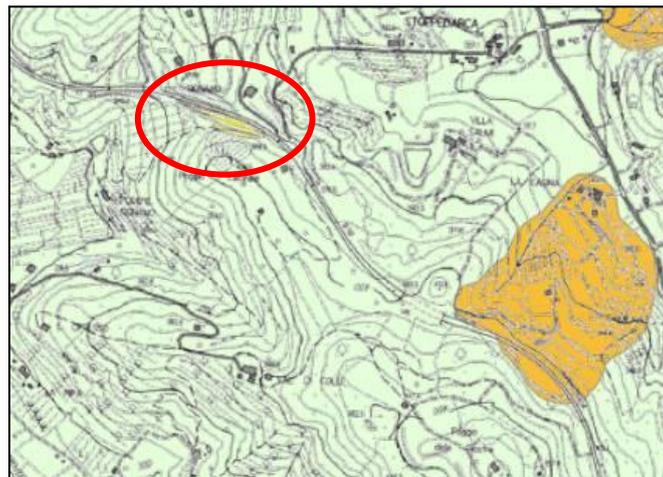


Figura 6-1 Stralcio carta della pericolosità del Pai



Figura 6-2 Vista della SS 73 direzione Fano – Nella foto di sinistra panoramica della scarpata interessata dal dissesto. Nella foto di destra visibili le Arenarie di Cervarola con stratificazione a franapoggio consolidate con rete metallica, funi e chiodi; visibile in basso l'accumulo di cunei litoidi franati

PROGETTAZIONE ATI:

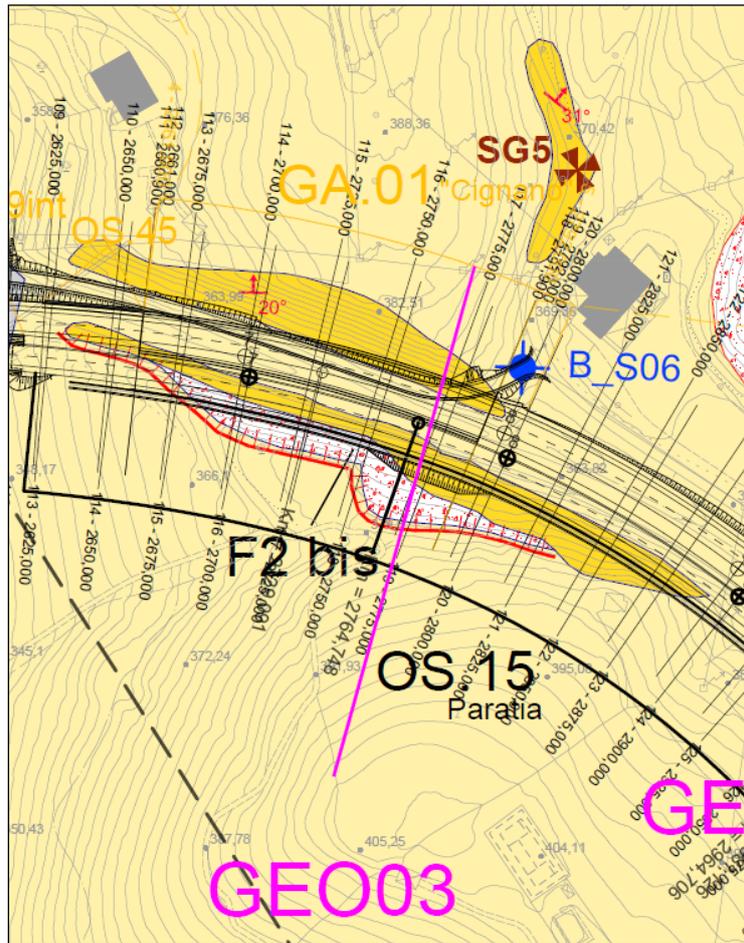


Figura 6-3 Stralcio carta geologica con perimetrazione frana 2 bis

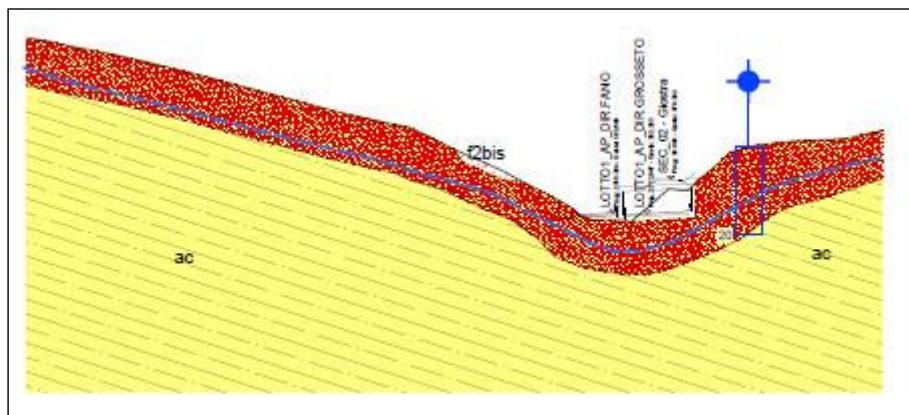


Figura 6-4 Sezione stratigrafica perpendicolare al tracciato

PROGETTAZIONE ATI:

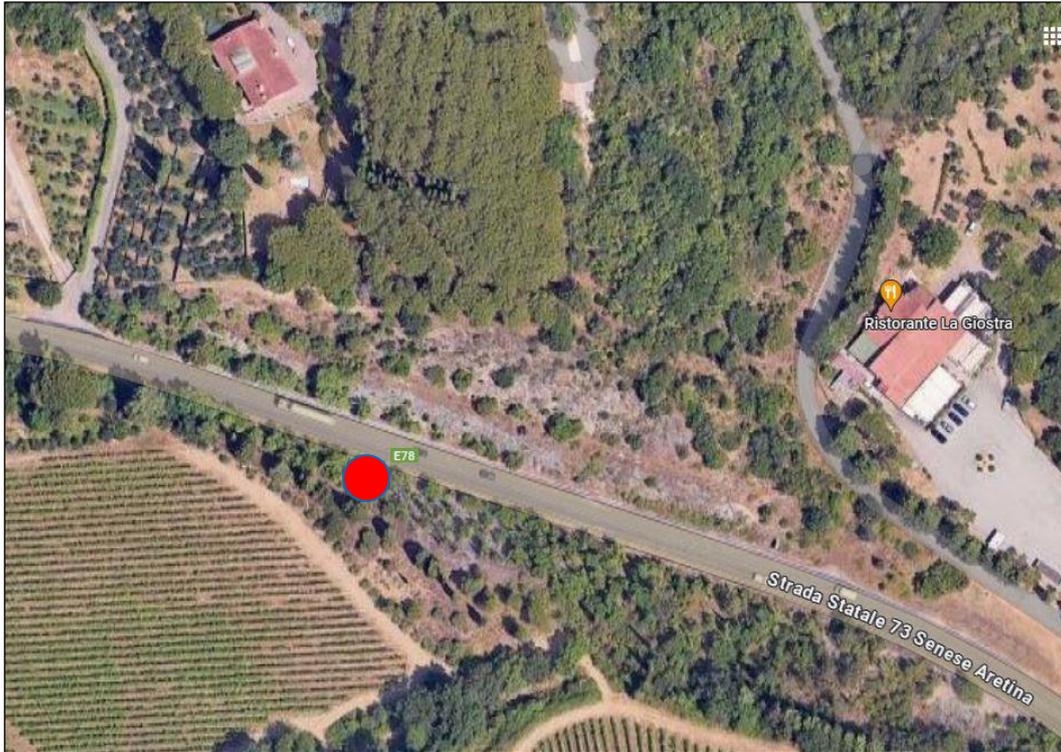


Figura 6-5 Ripresa satellitare con ubicazione punto MM9QLCA

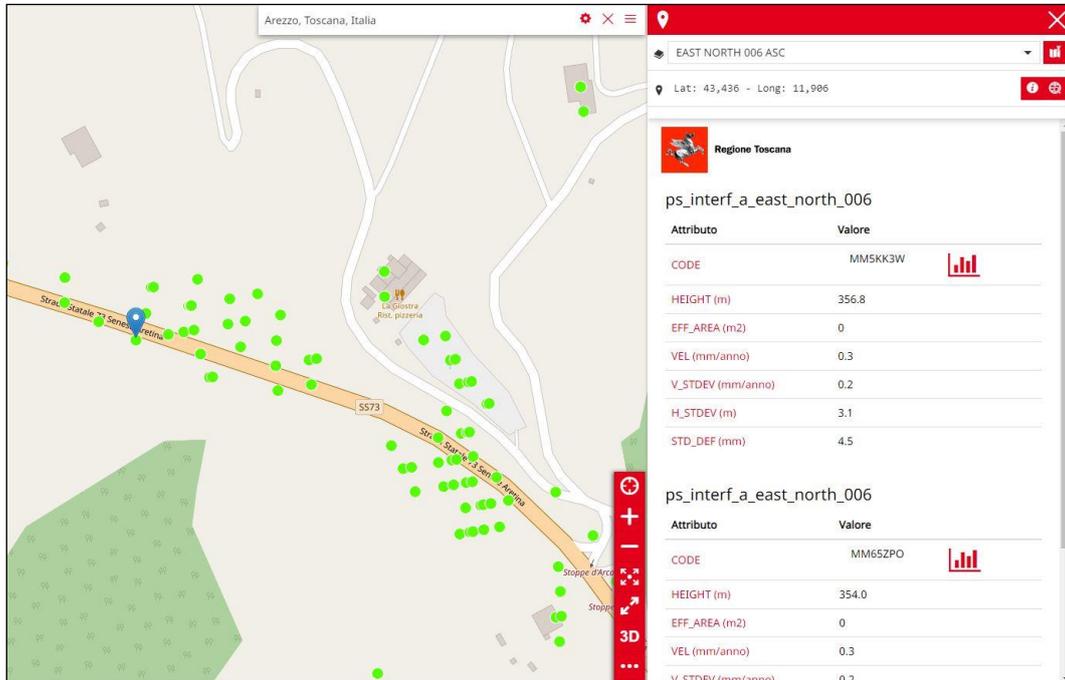


Figura 6-6 Schermata punto MM9QLCA

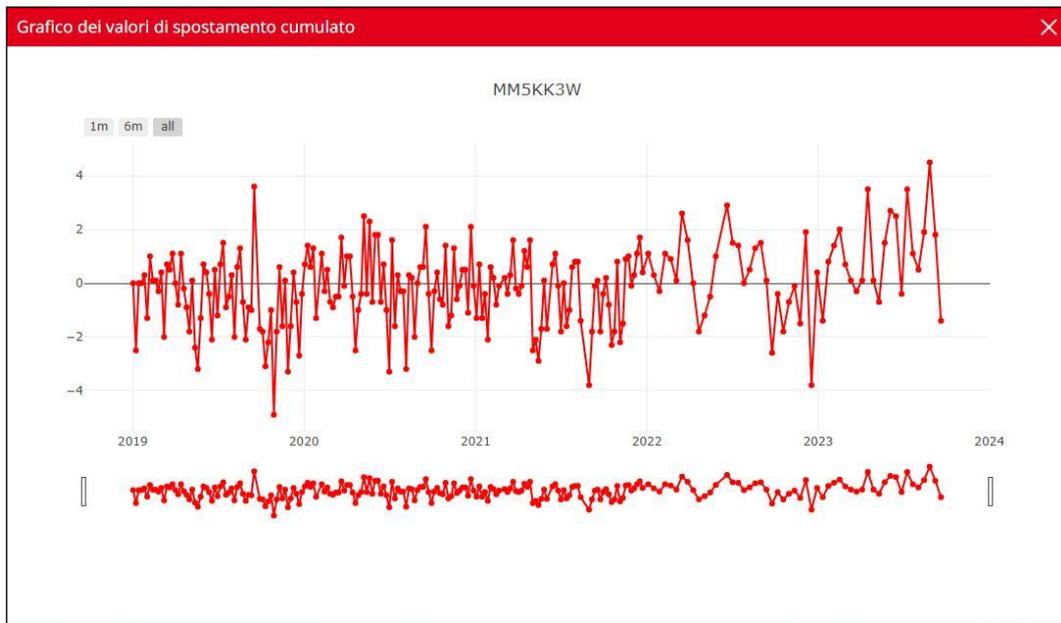


Figura 6-7 Grafico spostamento cumulativo punto MM9QLCA

Il punto mostra velocità di spostamento pari 0,3 mm/anno senza generali tendenze di abbassamento costante.

La frana interferisce con il tracciato in progetto e, in particolare, il fenomeno franoso è collocato appena a monte della carreggiata Fano, come mostra la seguente Figura.

SEZIONE TIPO FRANA 2

SCALA 1:200
0 2 4 6 8 10 m

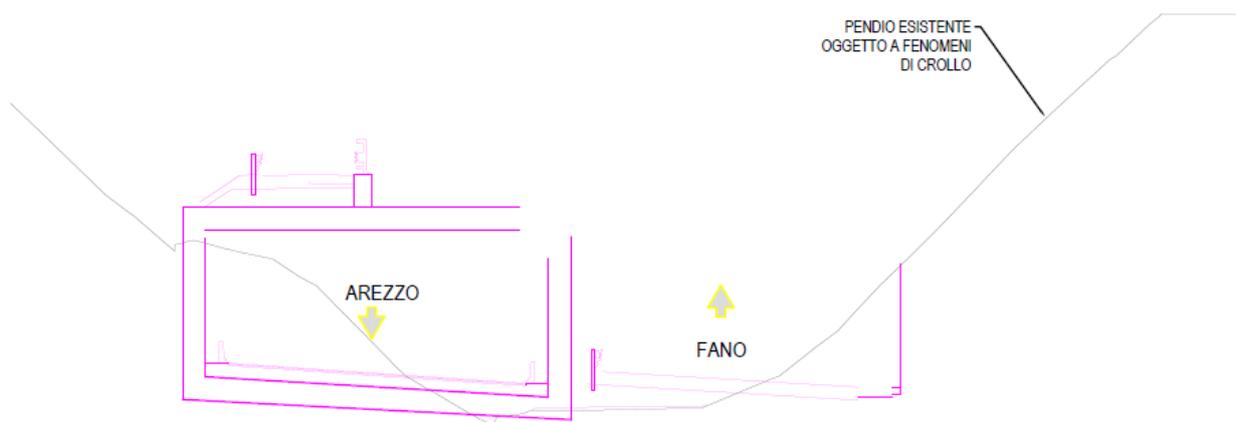


Figura 6-8 Schema tipo della sezione topografica con indicazione delle opere in progetto

Per il tratto tra le prog. 2+675 e la prog. 2+875 si propone un intervento di stabilizzazione che prevede le seguenti fasi:

- rimozione delle reti esistenti presenti tra le prog. 2+625 e la prog. 2+830;

PROGETTAZIONE ATI:

- installazione di rivestimenti tipo MACMAT o similare fissati con chiodi di lunghezza pari a 5.0 m e interasse 2.5x2.5 m.

Per i dettagli sull'intervento si rimanda all'elaborato grafico di riferimento "Interventi di stabilizzazione da progressiva 2+675 e la prog. 2+875 (frana 2BIS) – Pianta sezione tipo e dettagli" (T01GE00GETDI01).

PROGETTAZIONE ATI:

6.2. FRANA 6 (SEZ 3+862)

Il fenomeno, molto esteso, viene censito dal PAI come scivolamento e colata lenta - inattivo potenzialmente instabile (quiescente) con pericolosità P3a. Interessa il tracciato tra le pk. 3+725 e 3+900 circa. Il dissesto è stato investigato con i sondaggi BS08-BS08bis-BS08ter e la base sismica B_Sism06.

Il progetto prevede la realizzazione di una paratia berlinese con tiranti passivi.

Nella tabella che segue si riassumono le principali caratteristiche geometriche del corpo di frana :

quota max (m s.l.m.)	quota min (m s.l.m.)	dislivello (m)	lunghezza massima (m)	larghezza massima (m)	lunghezza tracciato coinvolto (m)	distanza min dall'asse di progetto (m)	Spessore max dissesto in area tracciato (m)
408	316	92	380	355	198	-	6 su riporti - 6 su frana

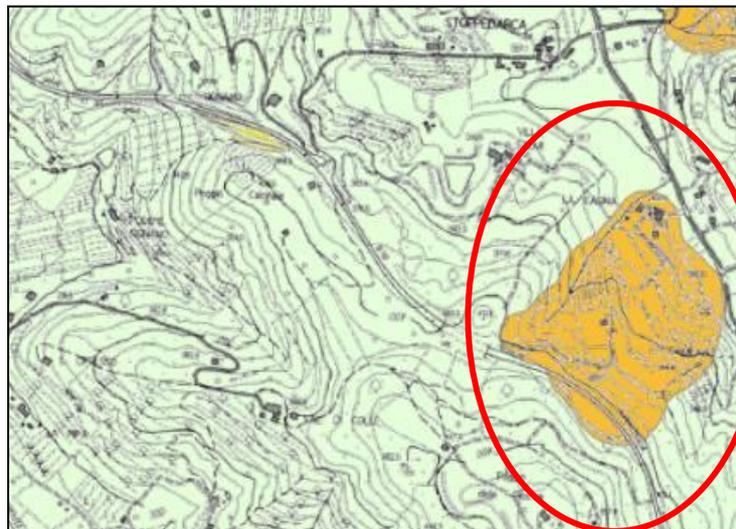


Figura 6-9 Stralcio carta della pericolosità del Pai

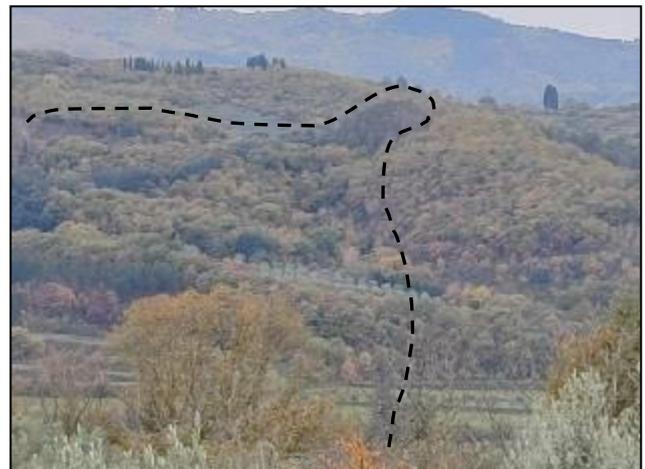


Figura 6-10 Nella foto di sinistra il settore di nicchia del dissesto. Nella foto di destra è stata riportata l'estensione della frana sull'intero pendio, ripreso dal versante opposto.

PROGETTAZIONE ATI:

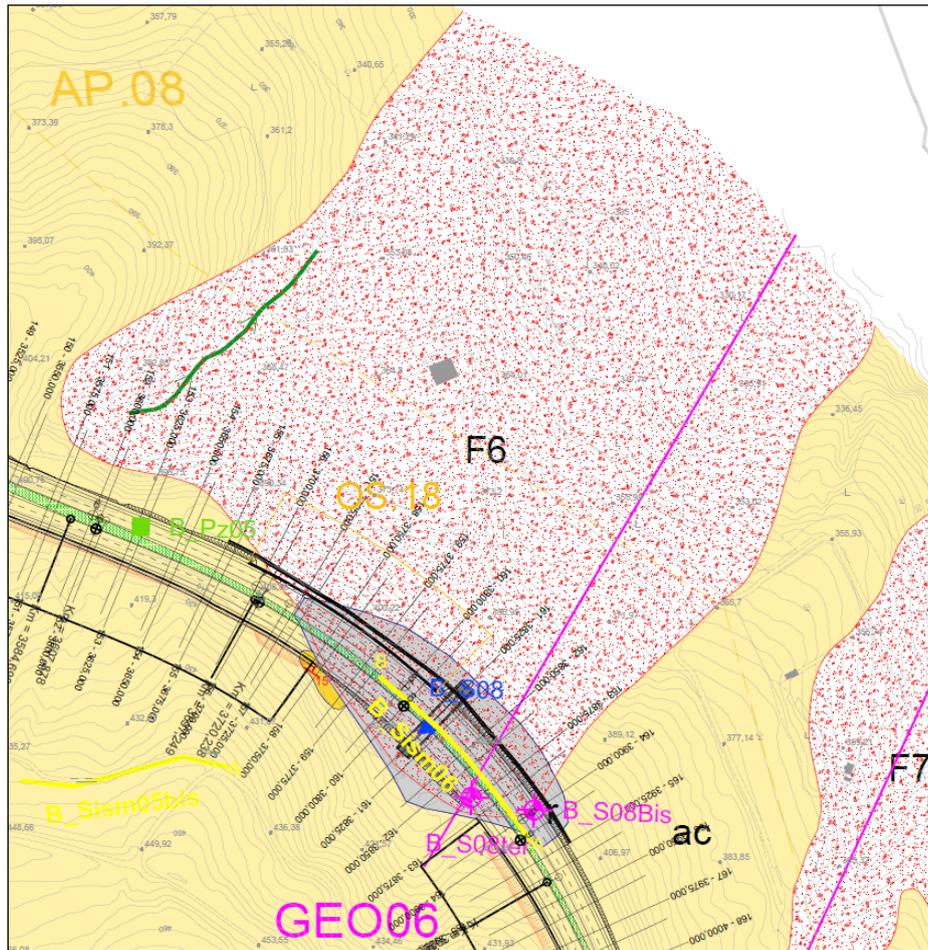


Figura 6-11 Stralcio carta geologica con perimetrazione frana 6

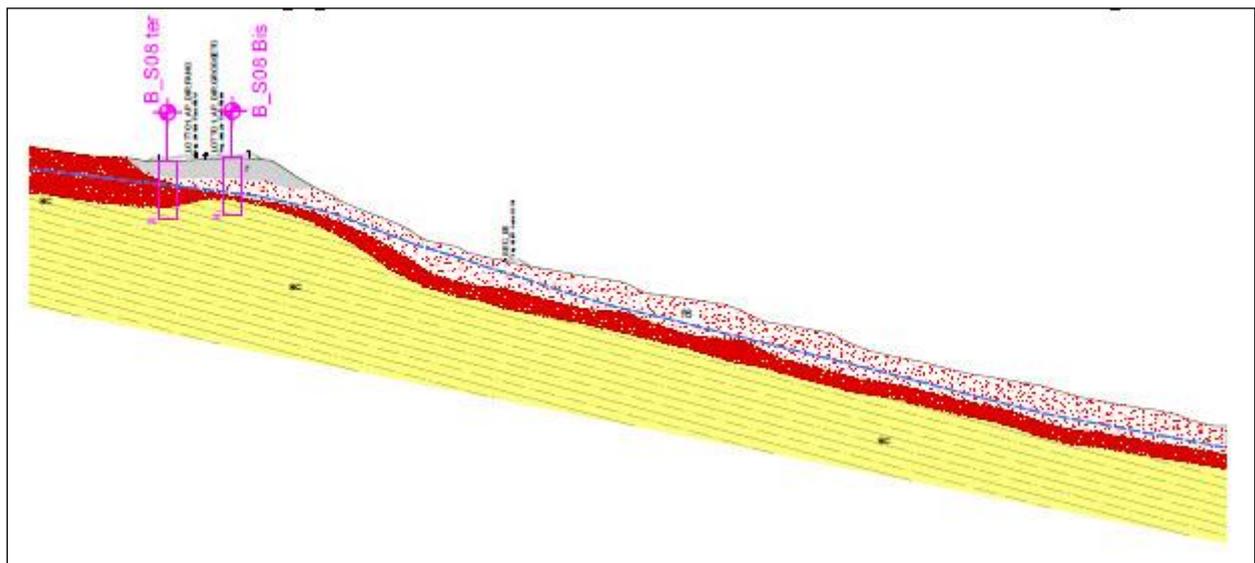


Figura 6-12 Sezione stratigrafica perpendicolare al tracciato

PROGETTAZIONE ATI:

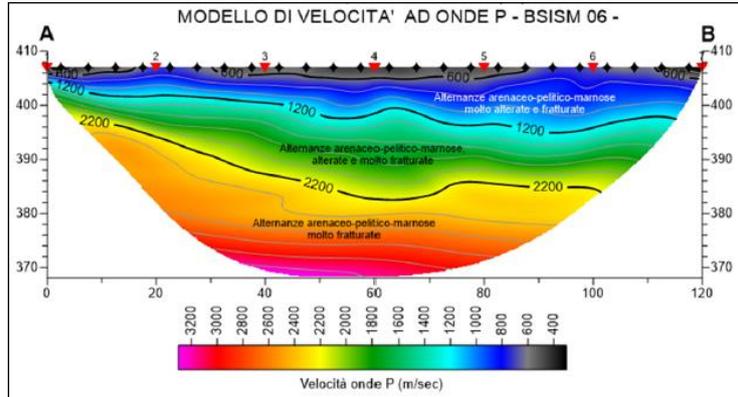
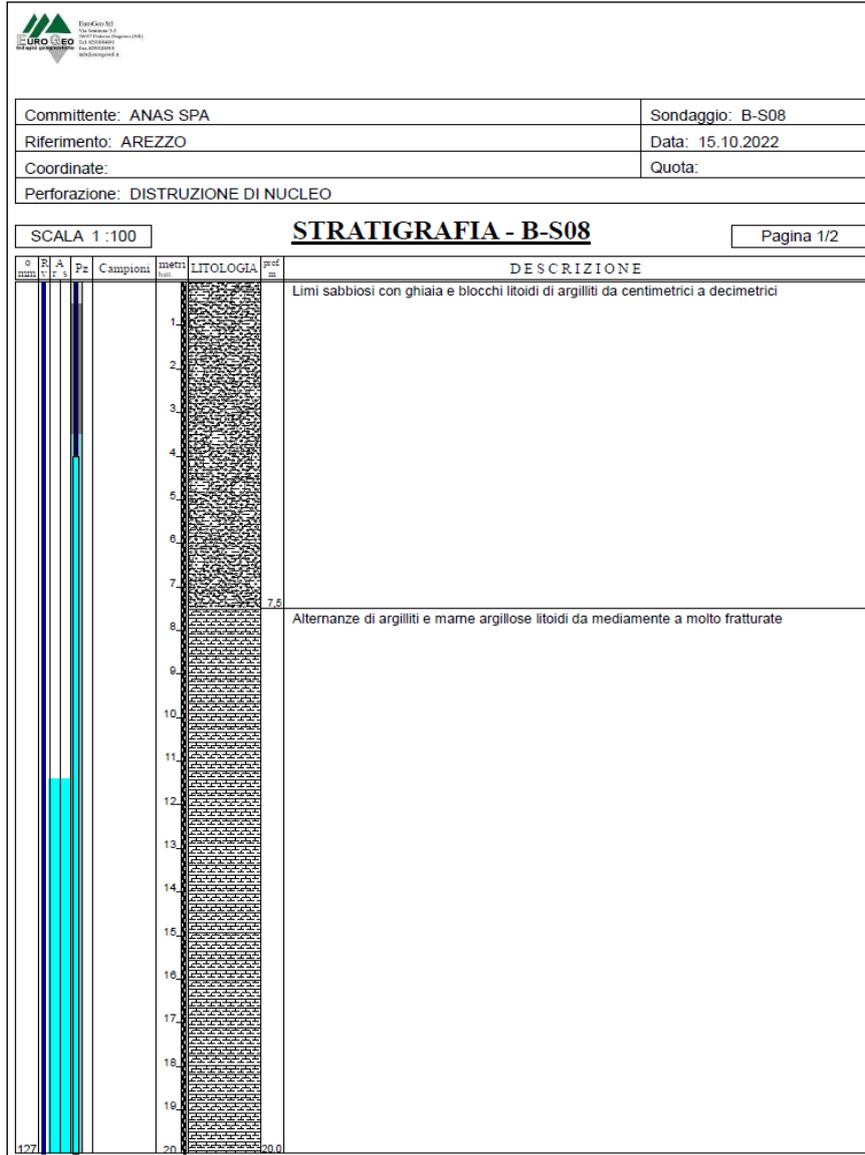
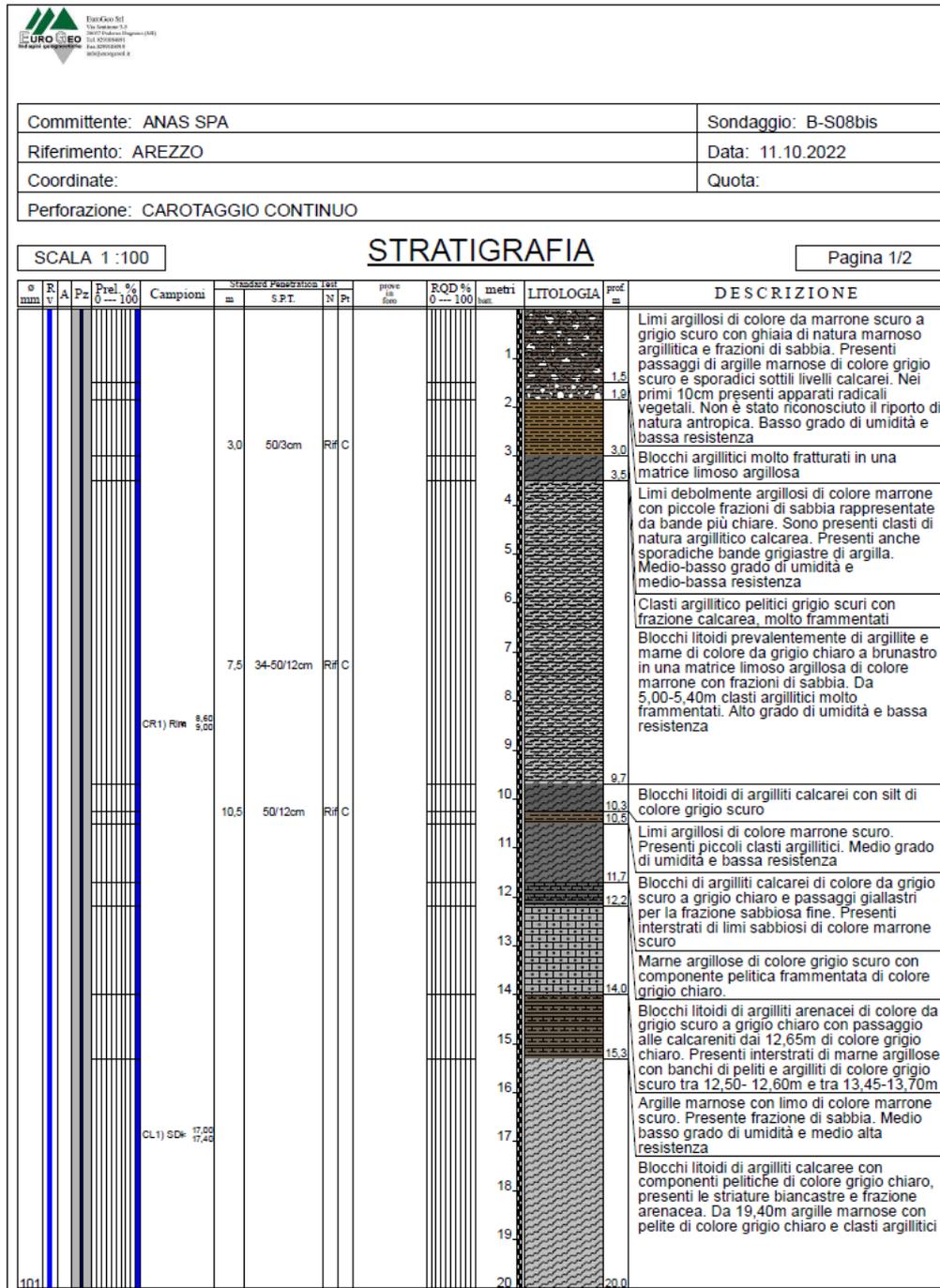


Figura 6-13 Sezione sismica BSISM 05



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

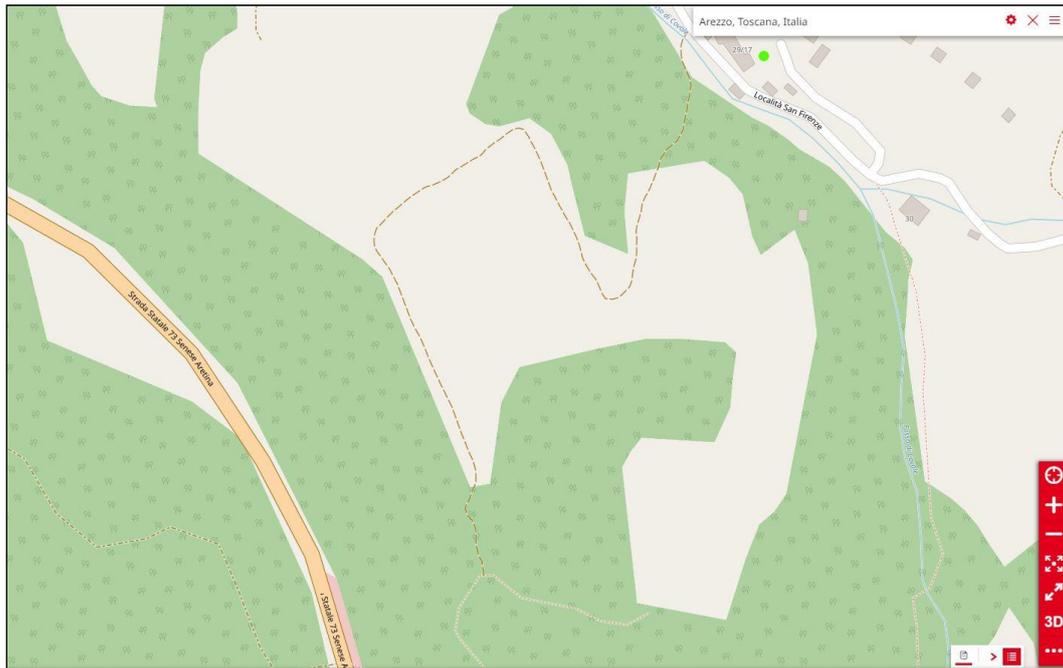


Figura 6-14 Schermata Web-GIS Lamma; non sono presenti punti di misura.

Gli interventi previsti sono illustrati negli elaborati che riguardano l'opera minore OS.58: P01OS58STRPP01, P01OS58STRPP02, P01OS58STRPP03, P01OS58STRPS01, P01OS58STRSZ01, P01OS58STRSZ02, P01OS58STRDC01.

INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE

La frana 6 interessa direttamente le carreggiate del progetto in oggetto ed è necessario intervenire con l'obiettivo di proteggere l'infrastruttura che si andrà a realizzare. Si sottolinea che l'obiettivo non è quello della stabilizzazione dell'intero versante ma la messa in sicurezza della piattaforma stradale.

L'immagine riportata di seguito illustra la sezione di progetto in corrispondenza della frana.

CONDIZIONI ANTE OPERAM

Per la determinazione dei parametri cui corrisponde un valore del coefficiente di sicurezza prossimo all'unità (collasso incipiente) del volume di terreno interessato dalla presenza conclamata del fenomeno franoso, a supporto delle considerazioni riguardo alla caratterizzazione geotecnica, preliminarmente alla modellazione delle condizioni di progetto, è stata studiata la condizione ante operam e conseguentemente condotta una back analysis. I valori caratteristici di c' e ϕ impiegati nella modellazione delle condizioni di progetto tengono conto dei risultati di tale studio preliminare.

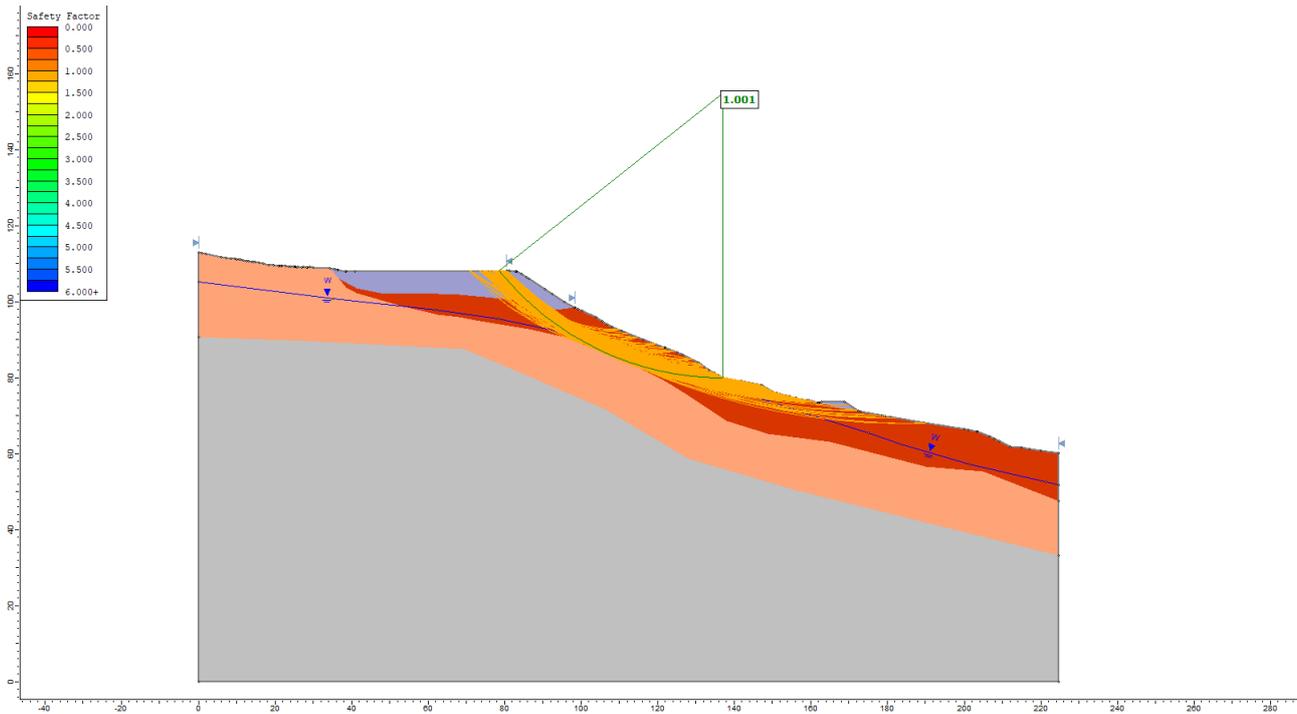


Figura 6-16 Sezione progressiva 3+862. Analisi ante operam. Condizioni statiche

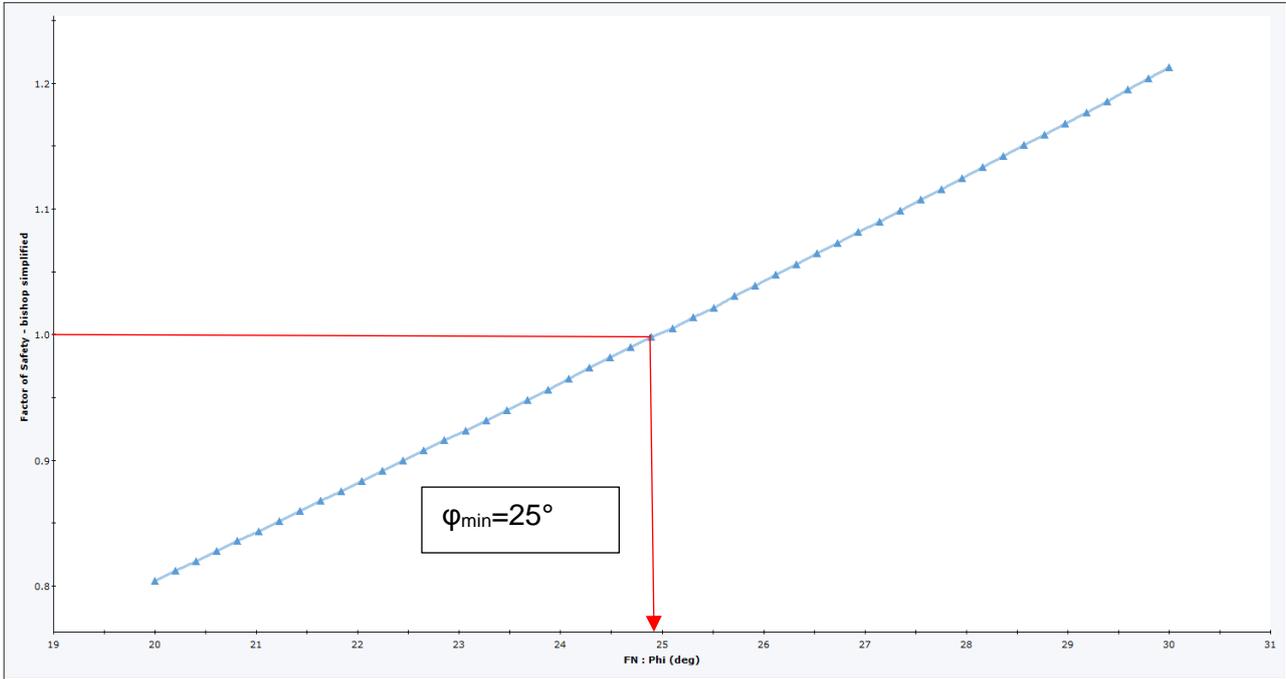


Figura 6-17 Sezione progressiva 3+862. Analisi di sensitività

Verifiche di stabilità

CONDIZIONI POST OPERAM

In base alle informazioni disponibili riguardo agli aspetti geologici delle aree in frana e alla luce delle informazioni desunte dalla campagna di indagini geologiche e geotecniche, per garantire un adeguato margine di sicurezza dei tratti di strada che interferiscono la frana in oggetto, alla luce dei risultati delle analisi precedentemente illustrate, si propone di prevedere la stabilizzazione del terreno mediante paratie di pali e tiranti passivi. Con riferimento alle sezioni di calcolo esaminate (che si ritengono le più significative) si prevede di realizzare paratie di pali trivellati di diametro 600 mm disposti su due allineamenti distanti 0.6 m e interasse tra i pali sul singolo allineamento pari a 1.0 m, lunghezza dei pali pari a 22 m. Riguardo agli ancoraggi, si prevede l'installazione di barre di ancoraggio (ancoraggi passivi, non pre-tensionati), con barre con resistenza limite a snervamento maggiore di 1000 kN, perforazione sub-orizzontale diametro 160 mm iniettati a pressione, lunghezza 23-25 m, interasse orizzontale 2.0 m. Per i dettagli sull'intervento si rimanda all'elaborato grafico di riferimento.

I risultati delle analisi di stabilità globale della sezione del tratto in frana in oggetto, in condizioni stati (SLU) e sismiche (SLV), sono riportati di seguito in forma tabellare e grafica.

Tabella 6-2 Riassunto sezioni di calcolo e risultati stabilità globale

Progressiva	N. FRANA	ODF condizioni statiche	ODF condizioni sismiche
3+862	6	1.043	1.024

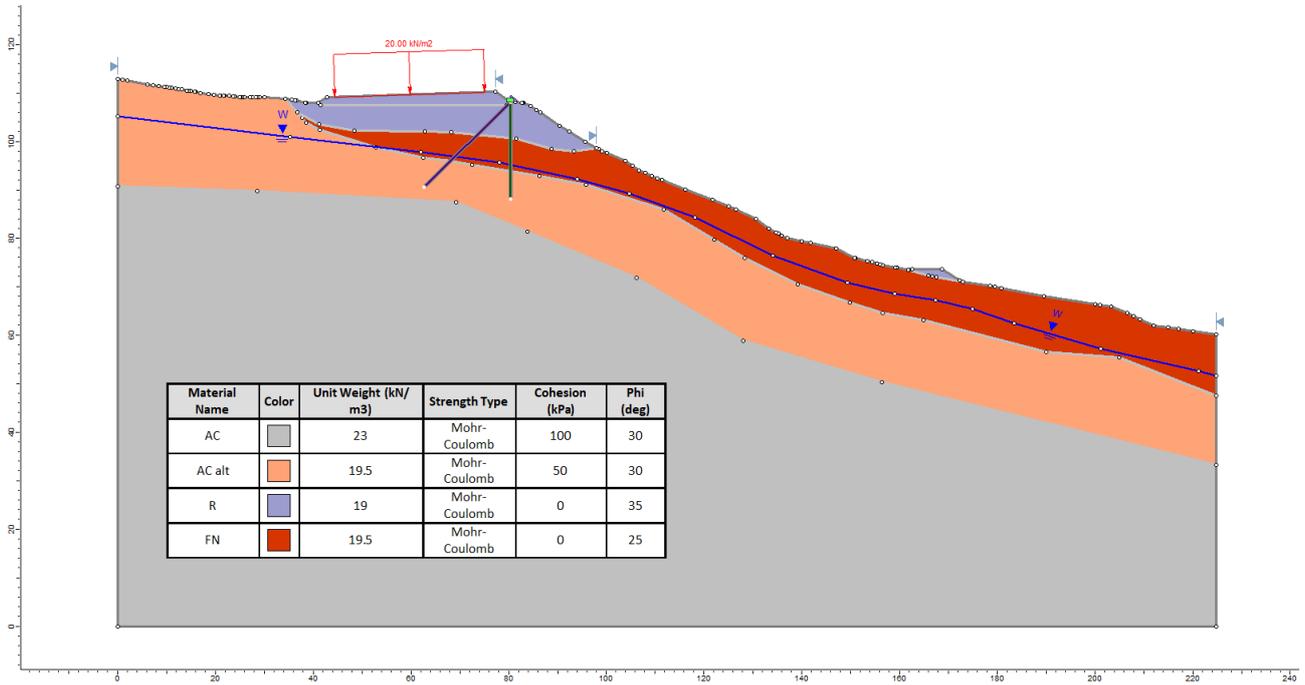


Figura 6-18 Sezione progressiva 3+862. Modello di calcolo

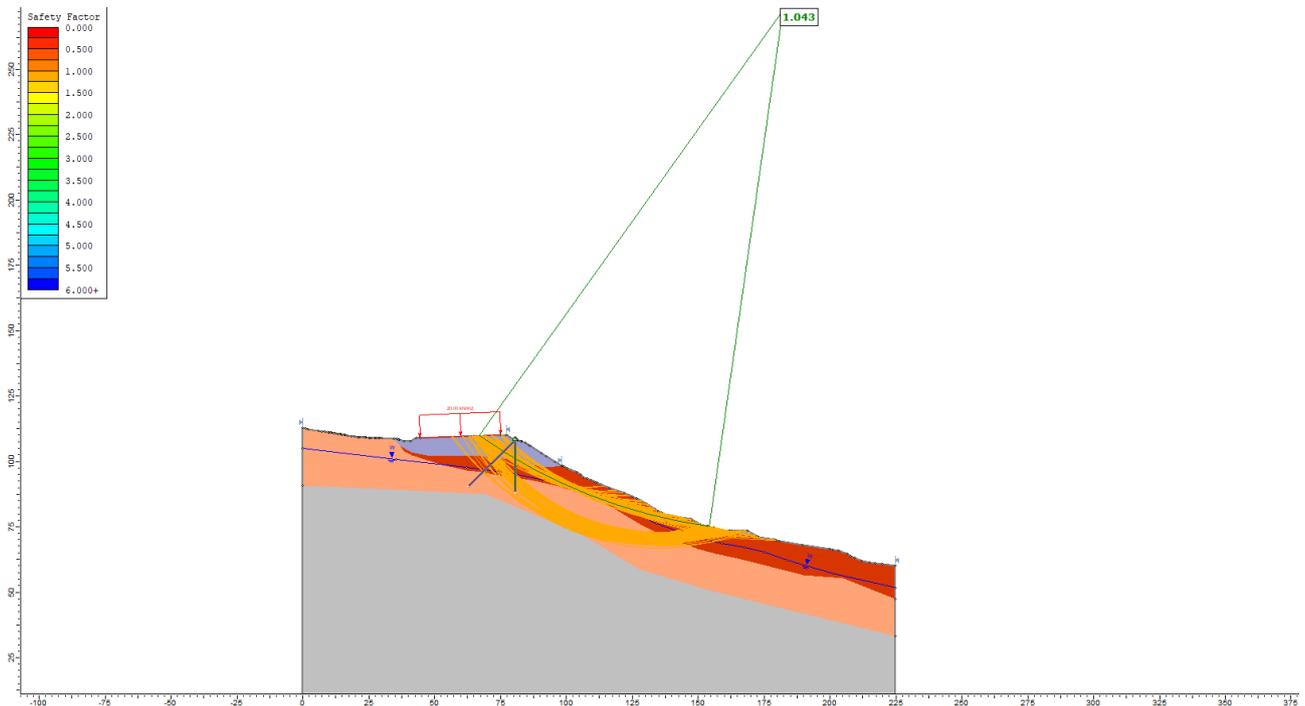


Figura 6-19 Sezione progressiva 3+862. Condizioni statiche

PROGETTAZIONE ATI:

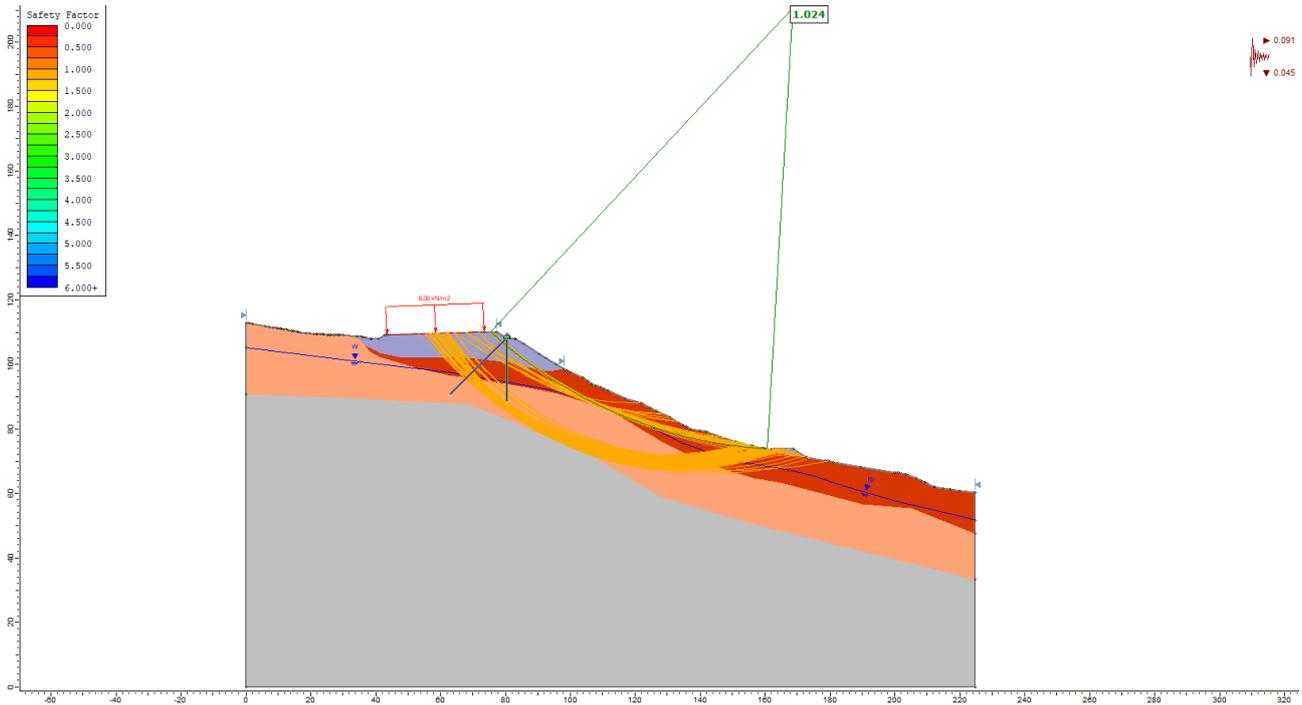


Figura 6-20 Sezione progressiva 3+862. Condizioni sismiche

Verifiche locali

In considerazione delle caratteristiche geomorfologiche della frana e delle caratteristiche geometriche dell'opera di consolidamento, per le verifiche locali della paratia e dei tiranti di ancoraggio si rimanda a quanto illustrato per la Frana 4 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

6.3. FRANA 11

Il fenomeno viene censito dal PAI, con forma differente, ed indicato come area a franosità diffusa ad elevata pericolosità (P4) che intercetta il tracciato tra le pk 5+500 e 5+650 circa. Il rilevamento di terreno ha permesso di classificarlo come attivo. Nella foto a sinistra, il fianco destro del dissesto. Nella foto a destra, una panoramica dello stesso.

Il progetto prevede la realizzazione di una paratia berlinese con tiranti passivi.

Nella tabella che segue si riassumono le principali caratteristiche geometriche del corpo di frana :

quota max (m s.l.m.)	quota min (m s.l.m.)	dislivello (m)	lunghezza massima (m)	larghezza massima (m)	lunghezza tracciato coinvolto (m)	distanza min dall'asse di progetto (m)	Spessore max dissesto in area tracciato (m)
510	386	124	680	135	134	-	1 su riporti su 3 frana

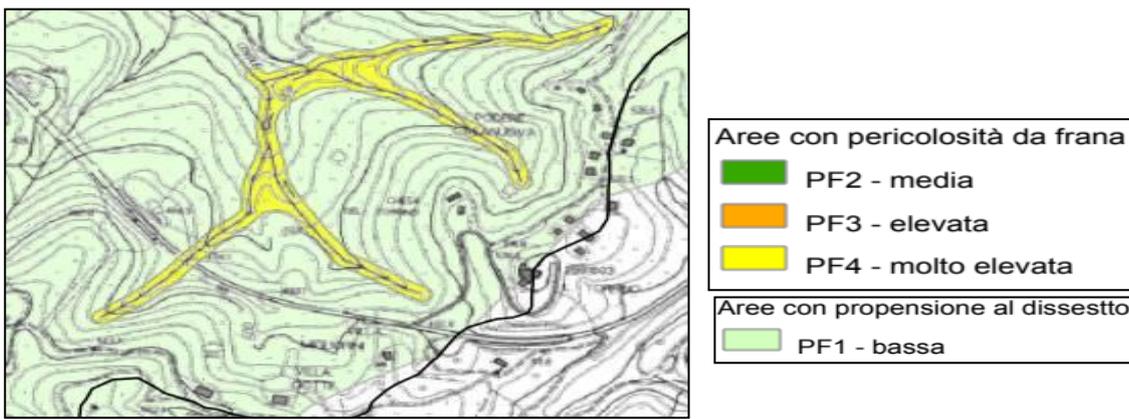


Figura 6-21 Stralcio carta della pericolosità del Pai



Figura 6-22 In sinistra foto panoramica della zona di nicchia; in destra è stata riportata l'estensione del dissesto sull'intero pendio, ripreso dal versante opposto.

PROGETTAZIONE ATI:

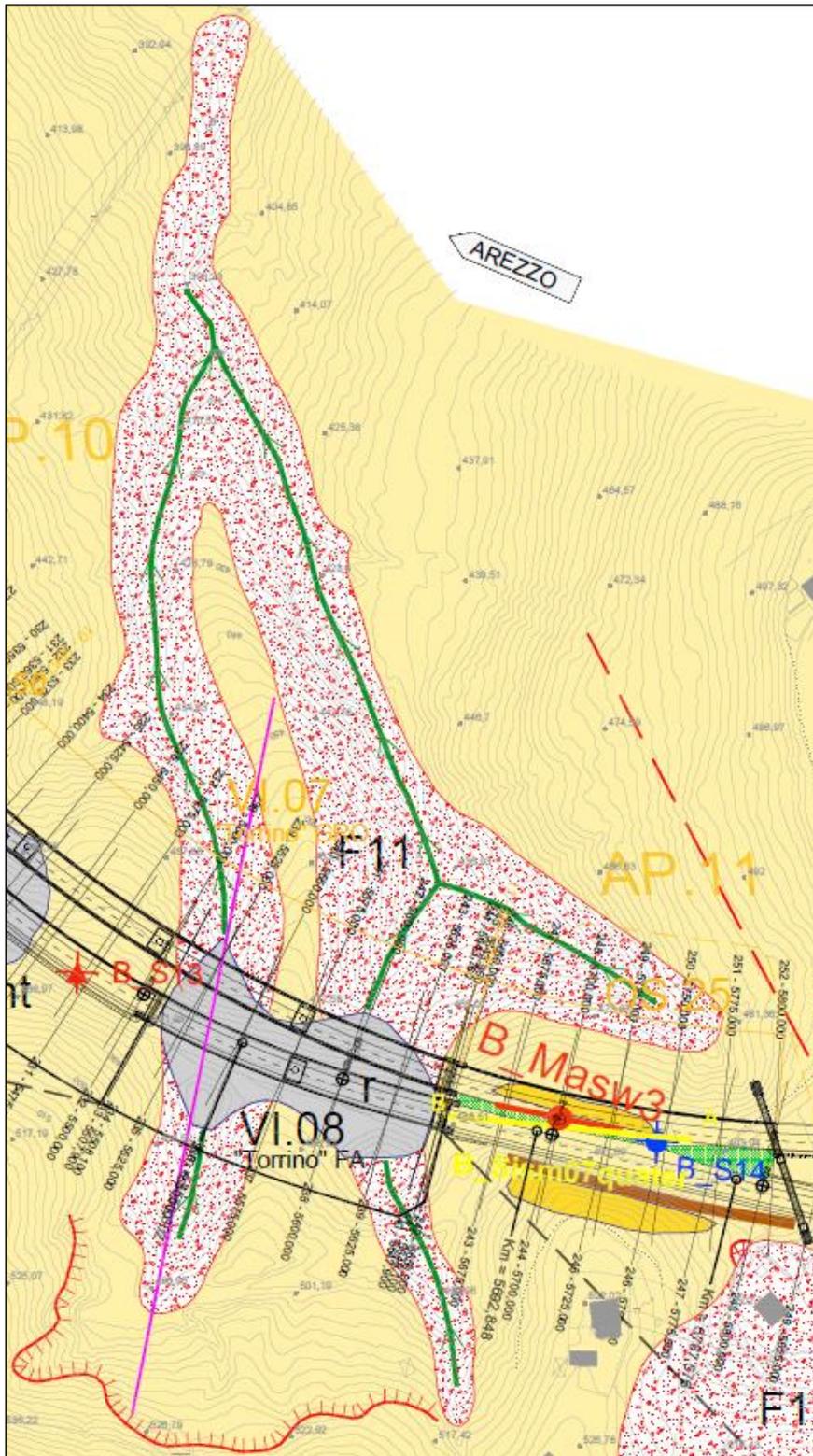


Figura 6-23 Stralcio carta geologica con perimetrazione frana 11

PROGETTAZIONE ATI:

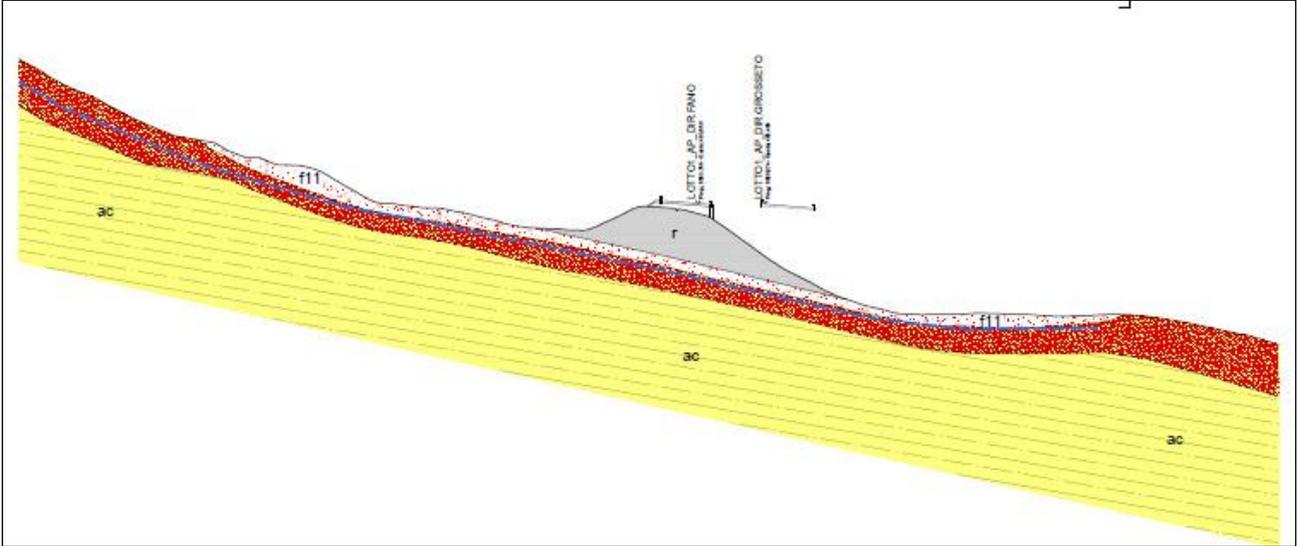


Figura 6-24 Sezione stratigrafica perpendicolare al tracciato

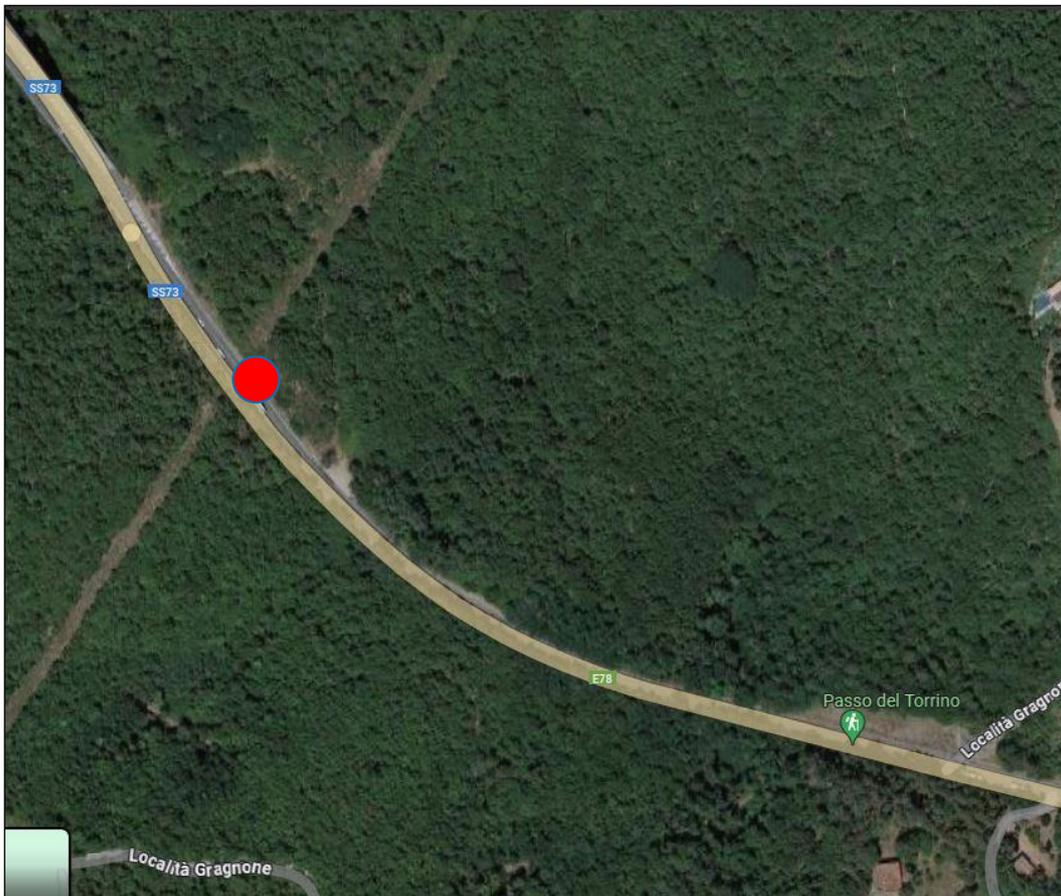


Figura 6-25 Ripresa satellitare con ubicazione punto MQPW6Y5

PROGETTAZIONE ATI:

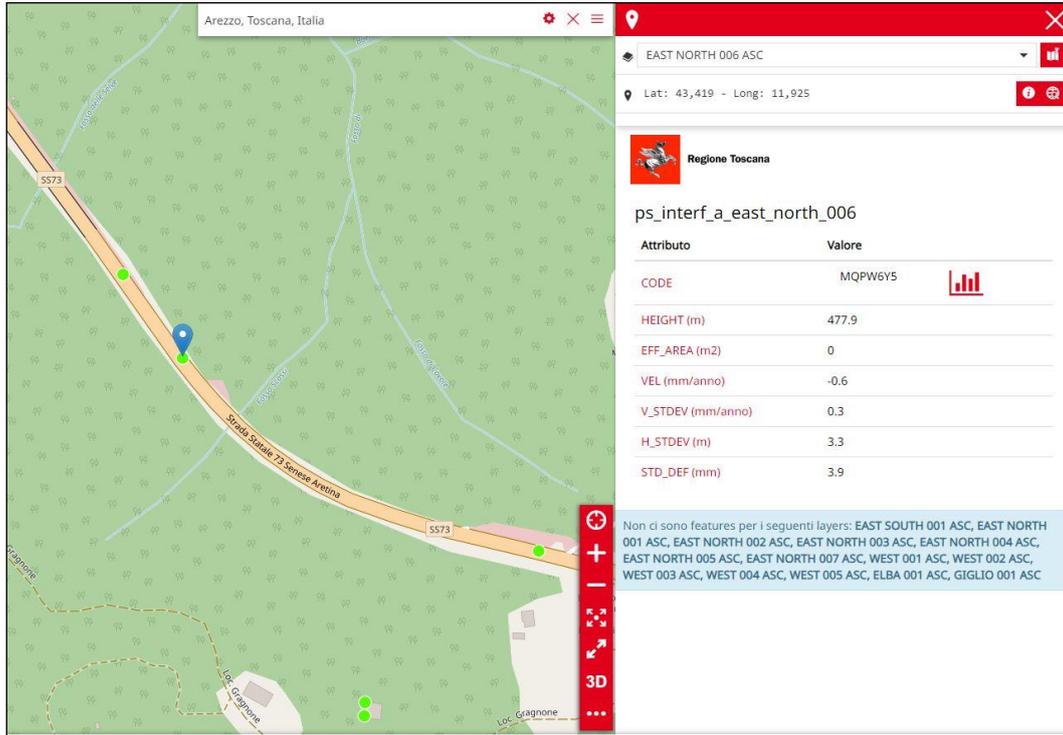


Figura 6-26 Schermata punto MQPW6Y5

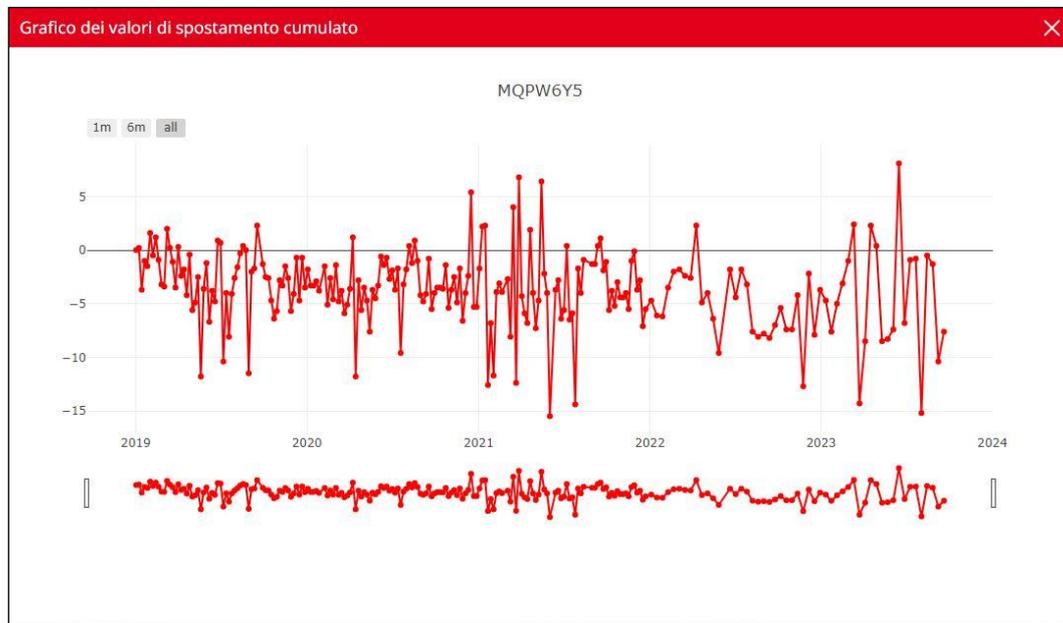


Figura 6-27 Grafico spostamento cumulativo punto MQPW6Y5

Il punto mostra velocità di spostamento pari $-4,3$ mm/anno non mostrando generali tendenze all'abbassamento.

PROGETTAZIONE ATI:

Nei pressi della frana 11 è prevista la costruzione dei viadotti VI.07, lungo la carreggiata Grosseto, e VI.08, lungo la Carreggiata Fano. Si prevedono la rimozione del rilevato esistente e l'installazione di opere di rinverdimento e/o di ingegneria naturalistica dei versanti sui quali si andrà ad operare. Inoltre, la scansione delle pile dei VI.07 e VI.08 è stata definita per non interferire con il corpo di frana.

Gli interventi di ingegneria naturalistica previsti sono illustrati nell'elaborato T01GE00GETSG05.

PROGETTAZIONE ATI:

7. PIANO DI MONITORAGGIO

Per definire la tipologia di monitoraggio si è fatto riferimento ai modelli geologico-geomorfologico e geotecnico, ampiamente descritti nelle specifiche relazioni ed elaborati grafici.

Il piano di monitoraggio proposto si prefigge lo scopo di:

- verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e il comportamento osservato;
- verifica della qualità delle prestazioni dell'opera dopo la costruzione.

Note le condizioni di progetto, la scelta della strumentazione da installare è una diretta conseguenza dei parametri che si intendono monitorare. È necessario prevedere un monitoraggio geotecnico strutturale delle opere di sostegno (muri di sostegno, paratie di pali e terre armate), dei viadotti e dei rilevati e un monitoraggio geomorfologico nelle aree franose lungo il tracciato.

Nella seguente Tabella si presenta una sintesi delle grandezze da misurare e la strumentazione prevista in corrispondenza delle aree interessate da frane

Tabella 7-1 Grandezze da misurare e strumentazione prevista.

MONITORAGGIO	GRANDEZZA DA MISURARE	STRUMENTAZIONE PREVISTA
<i>Monitoraggio geomorfologico <u>frane</u></i>	Misura di pressioni interstiziali, spostamenti del terreno	Piezometri a tubo aperto, inclinometri

Gli strumenti di monitoraggio geotecnico-strutturale dovranno essere installati all'interno delle parti componenti delle opere, durante le fasi realizzative. Il monitoraggio dovrà essere condotto con una determinata frequenza "in corso d'opera" appena conclusi i lavori per la realizzazione dell'opera stessa, e con una frequenza "post operam" con letture che proseguono fino a 12 mesi dal termine dei lavori.

Per quanto riguarda il monitoraggio geomorfologico per l'analisi e lo studio dei fenomeni franosi osservati lungo il tracciato in progetto si rimanda alla Relazione geologica, alla Relazione geotecnica e alle relative sezioni geologiche-geotecniche redatte.

Si sottolinea che su alcune delle frane individuate è già attivo un monitoraggio tramite inclinometri e piezometri; tuttavia, risulta necessario ampliare tale monitoraggio su frane non ancora monitorate. Di seguito si riporta una Tabella riassuntiva relativa alle tre aree censite dal PAI e relative ai dissesti 2bis, 6 e 11.

Tabella 7-2 Elenco delle frane PAI interferite dal progetto, indicazione del monitoraggio esistente e di quello da prevedere

ID FRANA	PROG. INIZIALE	PROG. FINALE	PRESENZA DI MONITORAGGIO IN FASE DI PROGETTAZIONE	INTERVENTO	MONITORAGGIO DA PREVEDERE
FRANA 2bis	2625	2830	-	INTERVENTI DI PULIZIA DEL VERSANTE E CREAZIONE NUOVA RETE A PROTEZIONE DEL VERSANTE	NO
FRANA 6	3700	3925	N.1 PIEZOMETRO, N.2 INCLINOMETRI	INTERVENTO DI STABILIZZAZIONE (A.P. + SEC05) (3 ORDINI DI PARATIE+TIRANTI)	SI (integrazione del monitoraggio esistente)
FRANA 11	5500	5650	-	INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA	SI

Durante la durata dei lavori si prevede la prosecuzione delle misure sui piezometri installati nel 2023 per il controllo del “regime idrogeologico” e degli inclinometri installati per il monitoraggio dei fenomeni franosi. Oltre alla strumentazione già esistente si prevede l’installazione di nuova strumentazione per il monitoraggio delle frane non ancora monitorate.

Nelle seguenti Tabelle si riportano i principali dati relativi alla strumentazione piezometrica e inclinometrica esistente, installata in corrispondenza delle frane ricadenti in aree PAI . Per l’ulteriore strumentazione piezometrica esistente si valuteranno letture del livello piezometrico in corso d’opera dalla DL.

Tabella 7-3 Strumentazione piezometrica esistente in corrispondenza della area Pai del dissesto 6

PIEZOMETRO	LUNGHEZZA DEL TUBO	TRATTO FINESTRATO (m da p.c)
B_S08	20	4-20

Tabella 7-4 Strumentazione piezometrica esistente in corrispondenza della area Pai del dissesto 6

INCLINOMETRO	LUNGHEZZA DEL TUBO (m)
B_S08 bis	20
B_S08 ter	20

La strumentazione integrativa prevista per il controllo dei movimenti franosi è sintetizzata di seguito.

ID FRANA	PROG. INIZ.	PROG. FIN.	MONITORAGGIO ESISTENTE		MONITORAGGIO DA PREVEDERE				
			INCL. ESISTENTI	PIEZ. ESISTENTI	MON. DA PREVEDERE	N. INCL.	LUNGH. INCL. (m)	N. PIEZ.	LUNGH. PIEZ. (m)
FRANA 2bis	2+625	2+830			NO	-	-	-	-
FRANA 6	3+700	3+925	S_B08bis (20 m) S_B08ter (20 m)	B_S08 (20 m)	SI	1	20	-	-
FRANA 11	5+500	5+650			NO	2	20	2	20

PROGETTAZIONE ATI:

7.1. FREQUENZA DELLE LETTURE

Per il monitoraggio geomorfologico si prevede una frequenza delle letture della strumentazione installata di:

- 1 lettura ogni 60 giorni durante i lavori dell'intera infrastruttura (corso d'opera);
- 1 lettura ogni 60 giorni per i 12 mesi successivi al termine di realizzazione dell'intera infrastruttura.

Con condizioni meteorologiche intense si consiglia l'esecuzione di ulteriori letture di inclinometri e piezometri sia in corso d'opera che post-operam, valutata dal direttore dei lavori.

Tabella 7-5 Frequenza delle letture strumentazione monitoraggio geomorfologico.

TIPOLOGIA DI STRUMENTAZIONE	CORSO D'OPERA	POST OPERAM 12 MESI
Inclinometri	1/60gg	1/60gg
Piezometri	1/60gg	1/60gg

7.2. ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO

L'analisi dei dati di monitoraggio sarà a cura di figure professionali specifiche all'interno delle strutture organizzative dell'impresa e della Direzione Lavori. L'installazione degli strumenti e l'analisi dei dati di monitoraggio sono previsti a cura dell'Impresa esecutrice dei lavori, mentre la D.L. avrà la possibilità di effettuare dei controlli puntuali sia con misure in contraddittorio (stimate in quantità pari a circa il 50% delle misure previste a carico dell'Impresa), sia tramite verifiche specifiche.

7.3 PIATTAFORMA DI GESTIONE DEI DATI

I dati raccolti dovranno essere gestiti mediante un sistema informativo geografico (GIS) per il monitoraggio, che ha lo scopo di archiviare, rendere consultabili ed elaborabili i dati derivanti dal monitoraggio durante le diverse fasi realizzative dell'opera, confrontarli fra di loro e con tutti gli altri dati derivanti da ulteriori indagini, fornendo un supporto alle decisioni in tempo reale.

La piattaforma per la gestione dei dati di monitoraggio comunemente usata è del tipo "web-based" o equivalente. Essa dovrà prevedere un sistema di archiviazione dati su database SQL o equivalente, garantendo la totale sicurezza dei dati.

La piattaforma web di gestione dovrà avere le seguenti funzionalità:

- Consentire l'accesso alle informazioni solamente agli utenti autorizzati;
- Archiviare e visualizzare tutti i documenti;
- Archiviare e visualizzare le tavole di progetto;
- Visualizzare gli elaborati relativi al monitoraggio;
- Raggruppare gli elaborati secondo una struttura logica;
- Consentire il download degli elaborati;
- Visualizzare le informazioni all'interno di una planimetria (GIS).

Il sistema di gestione dati dovrà garantire la riservatezza delle informazioni attraverso un accesso protetto da password fornito esclusivamente agli utenti autorizzati. Inoltre, dovrà consentire la corretta archiviazione di tutti i documenti, dalle tavole di progetto alle relazioni tecniche con possibilità di visualizzazione online.

Infine, si potrà avere la possibilità d'interagire con la planimetria dell'area, visualizzando i diversi "layers" (isolinee e stradale), la planimetria dell'intervento e la posizione degli strumenti di monitoraggio.

All'occorrenza, il sistema potrà essere pensato per gestire in tempo reale su sito Web i dati generati con macchine di scavo meccanizzate.

7.4 ARCHITETTURA DEL SISTEMA

Il Sistema, basato su Web Server GIS, dovrà presentare almeno le seguenti caratteristiche:

- la banca dati risiederà fisicamente su un unico computer ma sarà consultabile a chiunque abbia una connessione internet, secondo diversi livelli di accesso e conseguentemente di disponibilità delle informazioni;
- qualsiasi utente avrà accesso al sistema senza la necessità di avere i software dedicati installati sul suo computer ma utilizzando i programmi residenti sul server;
- si dovrà prevedere almeno la realizzazione di due postazioni, una ubicata in area locale e una presso l'entità che gestisce il server Web.

Quella locale (cantiere) sarà dotata di Personal Computer su cui saranno installati tutti i software applicativi e dedicati alla strumentazione installata oltre che i software idonei all'interrogazione automatica dei data-logger e lo scarico dei dati (Multilogger). Il Server remoto, installato presso gli uffici del gestore del sito Web, sarà invece dotato dei programmi e degli strumenti per la gestione del Data Base sul Web.

Il flusso delle informazioni sarà il seguente:

- Esecuzione delle misure in automatico mediante interrogazione degli strumenti installati da parte dei Data Logger;
- Esecuzione delle misure manuali (p.es con strumentazione portatile) o automatiche con scarico manuale (mediante collegamento locale ai sensori con centralina portatile o personal computer portatile);

PROGETTAZIONE ATI:

- Nell'ufficio di cantiere/locale: creazione nel Data Base dei nuovi eventuali strumenti/famiglie di strumenti;
- Nell'ufficio di cantiere/locale: scarico automatico dei dati acquisiti in automatico mediante trasmissione con GSM o dispositivo analogo e caricamento o scarico manuale da centralina/pc computer portatile dei dati acquisiti/trasferiti manualmente; trasferimento e caricamento manuale dei dati tramite opportuni file excel/csv direttamente nel database o tramite maschere di inserimento; creazione di archivio locale dei dati grezzi di cantiere (backup locale) in modo da avere sempre disponibili i dati sperimentali di cantiere;
- trasferimento da ufficio di cantiere/locale a ufficio remoto di gestione Web via rete dei dati grezzi e loro caricamento sul Data Base Web;
- interrogazione da ufficio di cantiere/locale (PCSR) del Web per validazione dei dati prima della pubblicazione definitiva sul Web. La validazione dei dati, intesa come valutazione critica dell'accettabilità del dato grezzo e le motivazioni relative saranno comunque disponibili agli utenti autorizzati per la verifica del processo;
- da ufficio remoto: pubblicazione dei dati su Web resi disponibili ai vari utenti con diversi livelli di abilitazione;
- da ufficio di cantiere/locale: verifica degli eventuali superamenti delle soglie preimpostate, comunicate dai "Responsabili". Tali soglie, definite come "di attenzione" e "di allarme" porteranno all'attivazione di contromisure. Nel caso di superamento della soglia di attenzione potranno essere aumentati il numero degli strumenti o la frequenza delle misure allo scopo di meglio individuare e definire la problematica in atto e valutare le possibili ricadute sull'avanzamento dei lavori. Nel caso di superamento della soglia di allarme, dovranno intervenire il Progettista e la Direzione Lavori per l'individuazione delle opportune contromisure.

7.5 INTERFACCIA UTENTE E VISUALIZZAZIONE DEI DATI

Un'apposita interfaccia consentirà di realizzare i grafici e/o le tabelle del periodo desiderato (dalla data xxx alla data yyy) o degli ultimi nn ore/giorni/mesi e consentirà di impostare manualmente e/o automaticamente la scala delle ascisse.

Sarà possibile realizzare report personalizzati consultabili a schermo o stampabili in PDF, eventualmente sarà anche possibile mandare automaticamente via mail questi report agli indirizzi desiderati.

I dati potranno essere esportati in formato ASCII/csv per l'importazione ed elaborazione ulteriore con Excel.

L'individuazione della strumentazione potrà essere effettuata tramite mappa georeferenziata (GIS). Gli hot-spot consentiranno di visualizzare grafici, schede tecniche (monografie, certificati, ecc.) e fotografie relative agli strumenti.

7.6 CONFIGURAZIONE DEL SOFTWARE

Saranno possibili diversi livelli di accesso al DataBase:

- **AMMINISTRATORE:** per l'amministrazione degli utenti e le impostazioni generali del progetto;
- **POWER USER:** per la validazione dei dati e loro pubblicazione sul Web
- **EDITOR:** per l'inserimento, lettura e cancellazione dei dati, nonché impostazioni generali del progetto;
- **USER:** per l'inserimento e lettura dei dati;
- **READER:** per la lettura dei dati.

Tali livelli andranno definiti in funzione delle varie competenze, con possibilità di accesso diversificate per i singoli attori coinvolti nelle attività del monitoraggio (Direttore di Cantiere, Responsabili dei monitoraggi, Progettisti, Direzione Lavori, ecc...).

7.7 CONCLUSIONI

Il programma di monitoraggio descritto prevede la posa in opera e la lettura programmata degli strumenti di monitoraggio. Nei paragrafi precedenti sono state indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

Le indicazioni fornite nella presente relazione sono scaturite da considerazioni di tipo teorico e tecnico. In corso d'opera andranno quindi verificate e meglio adattate alla situazione reale valutando la possibilità di incrementare o ridurre le strumentazioni e la frequenza delle letture, in funzione del reale comportamento registrato.

Si rimanda alla successiva fase di Progetto Esecutivo la definizione di specifiche soglie di allerta per i singoli strumenti.

9. COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA

In conclusione si può affermare che gli studi geologici e le verifiche geotecniche hanno mostrato la stabilità e compatibilità geomorfologica delle opere di progetto previste nell'ambito dei n. 3 dissesti censiti dal PAI descritti al Capitolo 6.

Inoltre nella fase di lavorazione, al fine di non pregiudicare la stabilità dei luoghi, saranno adottati i seguenti accorgimenti:

- si prevede l'accesso alle aree di lavorazione mediante l'utilizzo della viabilità esistente (principale o secondaria) che al termine dei lavori sarà ripristinata;
- quando necessario saranno attraversate aree a verde e/o campi coltivati solamente in situazioni poco acclivi e in assenza di ostacoli morfologici naturali; a chiusura del cantiere tali aree saranno ripristinate allo stato originario;
- nei casi in cui, per assenza di rete viaria esistente e per locali condizioni morfologiche, sia necessaria la nuova realizzazione di piste di cantiere, saranno realizzate nuove piste con tracciati che consentano di ridurre al minimo scavi, adottando tecniche di ingegneria naturalistica nei punti geomorfologicamente più critici;

Il ripristino dei luoghi avranno lo scopo di restituire la configurazione originaria alle aree interessate dai lavori e verranno adottati tutti gli accorgimenti per consentire una corretta regimazione delle acque, evitare la comparsa di fenomeni di erosione e consentire il successivo impianto di specie vegetali.