



# CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

AREA VIABILITA' – EDILIZIA – BENI CULTURALI  
DIREZIONE VIABILITA'  
P.O. – Progettazione e Gestione OO.PP. Area Nord/Est

**P.O. FESR**  
Sicilia 2014-2020

## Strategia Nazionale Aree Interne (SNAI) Area Interna delle "Madonie" – Riqualficazione rete viaria

**OGGETTO:** S.P. n° 9 "Delle Madonie": Campofelice di Roccella – Castelbuono.  
Lavori di ripristino e messa in sicurezza della sede viaria in tratti saltuari.

PROGETTO DI €.1.500.000,00 - CUP: D47H17001450006

### PROGETTO ESECUTIVO

(art. 23, c.8, D.Lgs. n. 50/2016 e s.m.i.)

**COMMITTENTE:** CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

## RELAZIONE GEOTECNICA

Palermo, li

Il Progettista  
(Ing. Elio Venturella)

Il Responsabile Unico del Procedimento  
(Dott. Giovanbattista Costanzo)

CITTA' METROPOLITANA DI  
PALERMO  
Visto, si esprime parere tecnico  
favorevole ai sensi dell'art.5, comma 3  
della L.R. n.12 del 2011

N. \_\_\_\_\_

Palermo \_\_\_\_\_

II RESPONSABILE UNICO DEL  
PROCEDIMENTO

\_\_\_\_\_





Città Metropolitana di Palermo

AREA VIABILITA' - EDILIZIA - BENI CULTURALI

Direzione Viabilità

*P.O. - Progettazione e gestione OO.PP. Area Nord/Est*

**S.P. n° 9 “Delle Madonie”: Campofelice di Roccella – Castelbuono.  
Lavori di ripristino e messa in sicurezza della sede viaria in tratti saltuari.**

Progetto di €.1.500.000,00 - CUP: D47H17001450006

**PROGETTO ESECUTIVO**

*(art. 23, c.8, D.Lgs. n. 50/2016 e s.m.i.)*

**RELAZIONE GEOTECNICA**

**Premessa**

La Strada Provinciale n°9 “Delle Madonie” ricade nella rete stradale dell’Area Nord/Est (ex Alte Madonie) della Città Metropolitana di Palermo, collega i Comuni di Campofelice di Roccella, Collesano, Isnello e Castelbuono alla viabilità primaria (S.S. 113 - S.S. 286 - Autostrade) e costituisce la prima parte dell’itinerario per raggiungere il centro sciistico di Piano Battaglia.

La strada inizia al bivio con la S.S. n°113, a valle dell’abitato di Campofelice di Roccella, prosegue verso l’interno, attraversa i centri abitati di Campofelice di Roccella, Collesano e Isnello e termina alle porte dell’abitato di Castelbuono.

Ha uno sviluppo complessivo di Km 34 + 700, una larghezza pressoché costante di ml. 7,00-7,50 di cui ml. 6,00 di carreggiata, affiancata da cunette o da banchine ed è dotata per l’intera estensione di pavimentazione bitumata.

La pavimentazione stradale in alcuni tratti si presenta usurata e deformata e in altri tratti risulta bisognevole di interventi di riqualificazione specialmente per quanto attiene a opere di presidio, di corredo ed alcune opere d’arte vetuste.

L’eccessiva piovosità, dell’inverno 2009/2010 prima e dell’inverno 2014/2015 per ultimo, ha innescato diversi movimenti franosi nel territorio delle Madonie, che hanno interessato anche la viabilità provocando vari cedimenti e/o ribassamenti di tratti di piano viabile, smottamenti di terreno di monte e, nei casi più gravi, crolli dell’intera piattaforma stradale.

La S.P.9 è interessata in alcuni tratti da frane, cedimenti, smottamenti e avvallamenti nei quali si ritiene necessario intervenire per mettere in sicurezza i tratti interessati e assicurare la continuità del transito.

La presente relazione geotecnica è finalizzata alla descrizione della natura geo-lito-morfologica dei siti oggetto degli interventi di messa in sicurezza, in tratti saltuari, del piano viario della SP 9.

La relazione geotecnica viene redatta, in particolare, conformità alle sottoelencate normative:

1. Norme Tecniche per le Costruzioni emanate con il D.M. 17/01/2018 pubblicato nel suppl. 8 G.U. 42 del 20/02/2018;
2. Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 21 Gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

Per il calcolo ed il dimensionamento delle strutture previste per l'eliminazione dei tratti di strada dissestati si adotteranno i criteri della Geotecnica e della Scienza delle Costruzioni.

### **Dati geologici di riferimento**

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalla realizzazione delle opere in oggetto, si è fatto riferimento alle risultanze della campagna di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche di laboratorio eseguite dalla Città metropolitana di Palermo nei siti caratterizzati dalle principali criticità individuate lungo il tracciato stradale in merito a dissesti idrogeologici che hanno comportato la chiusura o la parzializzazione della carreggiata stradale.

In particolare tali risultanze sono state analizzate all'interno della relazione geologica esecutiva che costituisce, elaborato allegato al presente progetto esecutivo. Dall'estrapolazione dei parametri geotecnici determinati nella predetta relazione geologica sono stati individuati, per ogni sito di intervento, i parametri geotecnici medi posti alla base del dimensionamento strutturale delle opere di sostegno ed opere d'arte.

### **Indagini**

Per lo sviluppo della progettazione delle opere sono state eseguite indagini geognostiche, prelevati campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico, nell'ambito di interesse dei vari tratti di strada interessati da fenomeni franosi e/o deformativi importanti, finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica e meccanica dei terreni di fondazione, al fine di porre in essere le relative calcolazioni per le strutture fondali.

Le indagini sono consistite in indagini in situ (dirette e indirette) e indagini di laboratorio.

### **Indagini in situ**

Le indagini geotecniche in *situ* sono state eseguite dall'impresa L&R Laboratori e Ricerche s.r.l. con sede in via Pablo Picasso, 2 – 95037 San Giovanni La Punta (CT) per conto della Città Metropolitana di Palermo, nell'ambito dei lavori per la sistemazione del piano viario, messa in sicurezza ed esecuzione di opere di corredo della S.P. n. 9 "Della Madonie" di competenza della Città Metropolitana di Palermo. Le indagini sono consistite nell'esecuzione di 11 sondaggi meccanici a rotazione (S1-S11) a rotazione con carotaggio continuo, 6 stendimenti sismici MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), (Masw1- Masw6), 22 prelievi di campioni indisturbati. Ciascun sondaggio è stato spinto sempre per le lunghezze ritenute significative, sia in riferimento alle opere da progettare, sia in rapporto alle unità geologiche incontrate.

I risultati delle indagini sono riportati negli elaborati a cura della stessa Impresa e sono in possesso del Committente a cui si rimanda per maggiori dettagli. Per i dettagli delle stratigrafie e delle prove in *situ* MASW si rimanda ai relativi elaborati a cura dell'Impresa esecutrice.

## Indagini di laboratorio

Le indagini geotecniche di laboratorio sono state eseguite presso il laboratorio M.T.R. Meccanica Terre e Rocce di Troina (Enna) del Dott. F. Furia per conto dell'Impresa L&R Laboratori e Ricerche s.r.l..

I risultati delle indagini sono riportati nell'elaborato a cura della stessa Impresa e sono in possesso del Committente. Sui campioni prelevati nel corso delle perforazioni sono state eseguite, oltre alle prove di identificazione e delle proprietà indice, prove di taglio diretto TD e prove di compressione triassiale del tipo UU (non consolidata non drenata).

Dai risultati ottenuti dalle prove di laboratorio è possibile stimare i parametri fisico-meccanici dei terreni attraversati, i quali vengono riportati nella tabella sottostante (tabella 1) (per i dettagli si veda il corrispondente fascicolo a cura della L&R Laboratori e Ricerche s.r.l.).

SONDAGGIO	SIGLA CAMPIONE	Contenuto d'acqua W (%)	Massa Volum. apparente $\gamma' (t/m^3)$	Peso specifico dei granuli $\gamma_s (t/m^3)$	Indice dei vuoti $e_s$	Porosità $n$	Grado di saturazione $S_r$ (%)	Analisi Granulometrica				Limiti				Coesione $c'$ (KN/m <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito $\psi$ (°)	Coesione non drenata $c_u$ (KN/m <sup>2</sup> )
								GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice di Consistenza	Classificazione			
S1	C1	19,90	1,97	2,72	0,65	0,39	82,98	5,08	9,59	45,68	39,64	47	22	1,09	A7-6	37	19	--
	C2	12,04	2,12	2,74	0,45	0,31	73,05	5,51	44,80	24,26	25,43	40	16	1,18	A6	--	--	132
S2	C1	18,91	1,98	2,76	0,66	0,40	79,20	6,18	4,80	34,30	54,73	46	15	0,88	A7-6	36	18	--
	C2	18,14	2,07	2,73	0,56	0,36	88,62	2,78	48,19	30,64	18,38	48	18	0,99	A7-6	--	--	116
S3	C1	12,85	1,87	2,70	0,63	0,39	54,79	9,56	44,57	34,55	11,32	53	13	1,02	A7-6	21	23	--
	C2	19,58	2,02	2,76	0,63	0,39	85,06	3,03	18,39	49,57	29,01	45	24	1,23	A7-6	--	--	118
S4	C1	16,17	1,98	2,76	0,62	0,38	72,14	9,42	34,09	36,22	20,27	45	18	1,05	A7-6	23	20	--
	C2	12,26	2,03	2,73	0,51	0,34	65,36	27,39	20,09	25,37	27,15	48	19	1,23	A7-6	--	--	141
S5	C1	20,28	1,96	2,76	0,69	0,41	80,52	2,92	38,62	40,15	18,32	43	19	0,97	A7-6	32	17	--
	C2	14,71	2,08	2,67	0,47	0,32	82,98	16,80	30,44	25,36	27,40	45	22	1,30	A7-6	--	--	79,43
S6	C1	12,72	1,89	2,76	0,64	0,39	54,68	22,81	41,61	18,14	17,44	46	18	1,19	A7-6	21	24	--
	C2	9,15	2,01	2,76	0,50	0,33	50,39	7,56	45,49	30,02	16,93	51	19	1,31	A7-6	--	--	81,34
S7	C1	13,54	1,98	2,74	0,57	0,36	65,01	6,02	39,96	25,91	28,11	46	17	1,12	A7-5	34	18	--
	C2	8,07	2,04	2,76	0,47	0,32	47,81	23,14	35,06	23,63	18,17	44	15	1,23	A7-6	--	--	144
S8	C1	17,36	1,95	2,75	0,65	0,40	73,02	11,92	38,13	28,29	21,67	47	20	1,10	A7-6	39	22	--
	C2	13,52	2,00	2,74	0,56	0,36	66,19	15,83	49,65	24,34	10,17	45	21	1,32	A2-7	--	--	180
S9	C1	16,41	1,96	2,76	0,64	0,39	71,10	3,10	41,35	33,89	21,66	47	24	1,31	A7-6	32	20	--
	C2	10,40	2,06	2,75	0,47	0,32	60,40	11,80	23,75	26,23	38,22	45	15	1,16	A7-6	--	--	165
S10	C1	16,93	1,96	2,71	0,62	0,38	74,53	8,05	52,13	29,30	10,51	35	18	1,07	A6	31	21	--
	C2	11,38	2,07	2,64	0,42	0,30	71,56	15,91	30,23	24,99	28,87	46	21	1,38	A7-6	--	--	100
S11	C1	17,84	1,96	2,65	0,59	0,37	80,13	2,67	12,98	34,60	49,74	42	17	0,97	A7-6	33	19	--
	C2	12,78	2,03	2,73	0,52	0,34	67,35	38,37	30,51	19,53	11,59	44	15	1,07	A2-7	--	--	67,66

Tabella 1. Stima dei parametri geotecnici in relazione ai risultati delle prove di laboratorio.

### **Inquadramento geografico, geologia e geomorfologia**

Il tracciato in esame dal punto di vista cartografico ricade nell'area di unione dei Fogli I.G.M.I in scala 1: 25000 "Collesano", "Isnello" e "Castelbuono".

L'area interessata della strada in oggetto è caratterizzata da terreni con caratteristiche litotecniche varie, che condizionano le morfologie dei versanti.

L'area ricade geologicamente nel gruppo montuoso delle Madonie, il quale rappresenta un segmento della catena siciliana costituita da una serie di falde di ricoprimento, il cui movimento, iniziato nel Miocene è proseguito fino al Pliocene. La tettonica postoregenica a carattere distensivo ha conferito alle Madonie l'assetto attuale.

**Tratto Campofelice – Collesano** - In tale tratto dal punto di vista altimetrico la strada percorre versanti con quote che vanno dai 100 – 200 m s.l.m. all'innesto fino a quote di 400 – 500 m s.l.m. in corrispondenza del centro abitato di Collesano, ma quanto detto su uno sviluppo lineare piuttosto lungo e quindi senza particolari problemi. I terreni a valle della strada sono interessati da un diffuso reticolo idrografico, sede di corsi d'acqua stagionali affluenti del Torrente Roccella.

La situazione morfologica degrada dolcemente verso il torrente suddetto per poi risalire in riva destra. A monte la situazione è un po' più acclive, motivata da un andamento sempre più accentuato dei terreni, che dalla presenza dei termini rigidi ad est e ad ovest di Collesano.

Nell'intorno di Collesano in particolare il paesaggio è caratterizzato da forme diversificate. Laddove affiorano le formazioni calcaree prevalgono ripidi versanti e frequenti scarpate strutturali, mentre i versanti argillosi sono modellati da movimenti gravitativi e da processi di erosione concentrata e diffusa.

Ad ovest del centro abitato sono presenti numerose frane, generalmente si tratta di colate mentre quella più vicina al centro abitato è del tipo scivolamento rotazionale- colamento. La frana che ha avuto riattivazioni successive in concomitanza con eventi piovosi eccezionali è ad oggi quiescente.

**Tratto Collesano – Isnello** - Il tratto in esame ricade quasi interamente nella giurisdizione del **Parco delle Madonie** e in particolare nelle zone **B, C e D**.

In tale tratto la situazione morfologica è piuttosto varia. La strada ha dei tratti pianeggianti ma si sviluppa per la maggior parte con tornanti resi sempre necessari per superare dislivelli e situazioni topografiche particolari.

Le quote infatti dai 500-600 m s.l.m. ad est di Collesano raggiungono con ampi tornanti ed in un breve tratto di circa 3 chilometri i 700-800 m s.l.m. in contrada Mongerrati. Da qui tornano a decrescere gradualmente fino all'abitato di Isnello ove raggiungono nuovamente i 500-600 m s.l.m. Dal punto di vista delle pendenze dei versanti tale tratto è decisamente quello più acclive sia a monte che a valle della sede stradale.

**Tratto Isnello – Castelbuono** - L'abitato di Isnello è caratterizzato a Nord Ovest dall'affioramento di dolomie e calcari. Gran parte dell'abitato poggia sulla formazione Gratteri costituita da argille marnose e marne grigio azzurre con intercalazioni di calcareniti e calcisiltiti.

Nella parte alta della formazione compaiono banchi di quarzareniti. L'assetto morfologico e di conseguenza piuttosto accidentato ad ovest del centro abitato con formazione di ampie coltri detritiche dovute ai processi di degradazione, mentre ad est si osservano fenomeni di deformazioni superficiali plastiche e forme di erosione areale e/o incanalata. Da Contrada San Giovanni l'affioramento predominante ritornano ad essere le argille del numidico e ciò praticamente fino a fine strada.

Per tutti gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e tipologici nei siti oggetto di intervento, si rimanda alla Relazione Geologica a cura della Dott.ssa Geol. R. Di Natale.

Dal punto di vista geomorfologico la strada provinciale S.P. n°9 “Delle Madonie” attraversa il bacino n° 29 denominato “Torrente Roccella e Area tra il torrente Roccella e il Fiume Imera Settentrionale”, del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana, previsto dall’art. 17 della L. 183/1989 e approvato il 04/07/2000 in Sicilia con il Piano Straordinario per l’Assetto Idrogeologico.

Svariati sono i dissesti censiti nel PAI che ricadono un po' su tutto il tracciato ma particolarmente nel tratto da Campofelice di Roccella – Collesano, come da cartografia allegata.

### **Km. 28+700 Comune di Isnello – Terre rinforzate**

In corrispondenza del km 28+700 è presente un dissesto che coinvolge parte della sede stradale. Nelle figure 1,2 e 3 sono riportate alcune foto della zona dissestata.

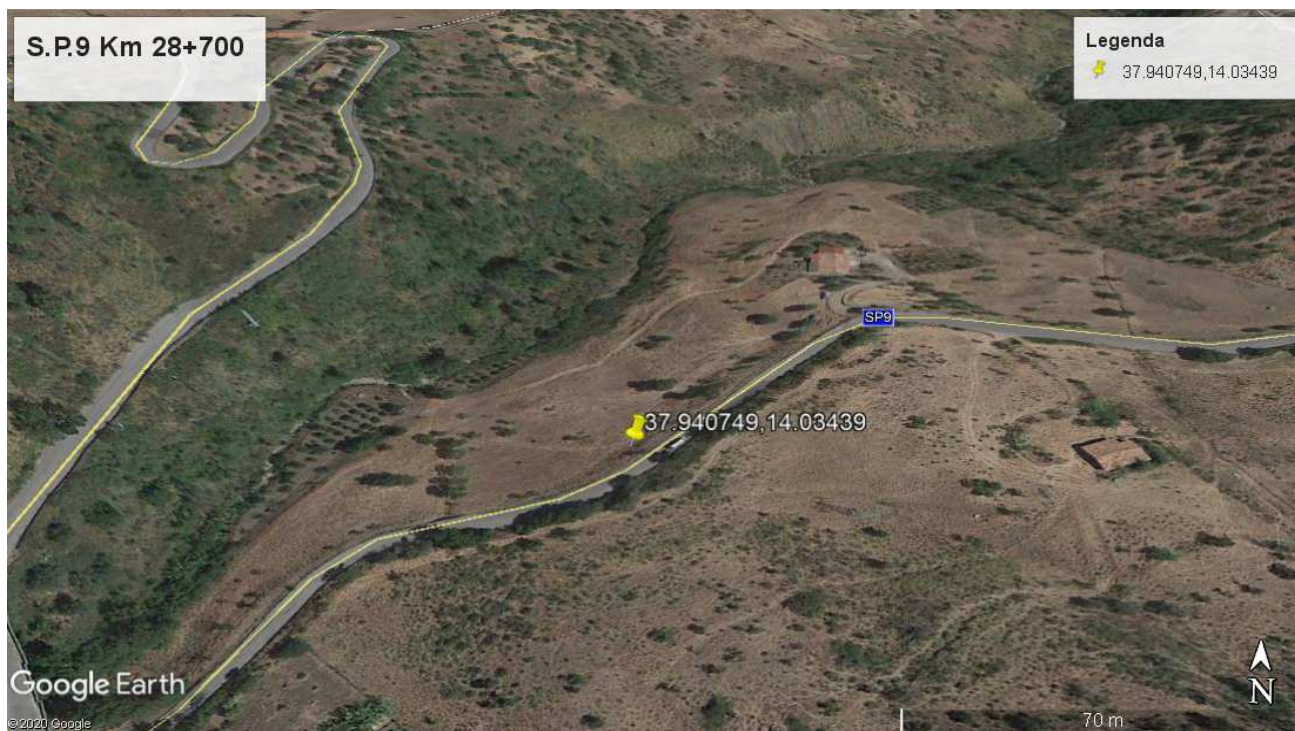


Fig. 1. Ortofoto S.P. 9 km 28+700.



Fig. 2. Dissesto al km 28+700. Si nota la parziale rottura della sede stradale e il cedimento verso valle di parte della sede stradale. Vista in direzione Isnello.





Fig. 3. Dissesto al km 28+700. Si nota la parziale rottura della sede stradale e il cedimento verso valle di parte della sede stradale. Vista in direzione Castelbuono.

Il dissesto in esame si ritiene sia dovuto principalmente alla costituzione dei terreni di fondazione della strada nella zona in oggetto ed anche alla non sufficiente ed adeguata regimazione delle acque superficiali.

La regimazione delle acque (superficiali e all'interno dei terreni) è di primaria importanza per il corretto funzionamento e la durabilità di tutte le altre opere che si realizzeranno nella zona dissestata.

Nel tratto in esame inoltre, a luoghi, la sede stradale appare deformata non per vetustà del manto d'usura ma per risalita capillare delle acque contenute nelle argille del sottofondo. Oltre che un drenaggio sottocunetta lato monte è indispensabile la ricostituzione della fondazione mediante apporto di misto granulometrico per uno spessore non inferiore a cm. 40.

#### **Caratterizzazione sismica del sito**

Si fa riferimento alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018). Il tratto di strada entro il quale è compresa la zona oggetto di intervento appartiene al Comune di Isnello (PA).

Per la caratterizzazione sismica del sito si sono considerati le seguenti grandezze.

#### **Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento**

1. Vita nominale dell'opera:  $V_N=50$  anni;
2. Classe d'uso: III (coefficiente d'uso  $C_U=1.5$ );
3. Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75$  anni.

## Modellazione sismica

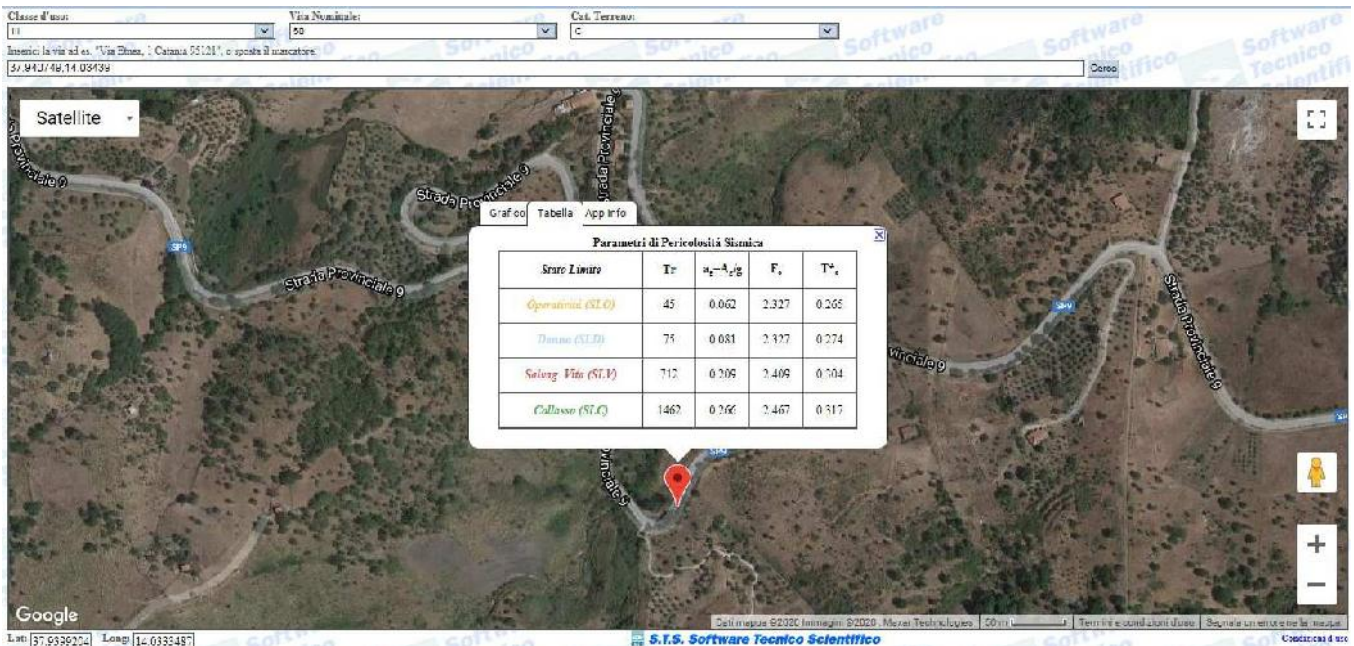
### Localizzazione geografica e classificazione sismica.

L'intervento in oggetto, è sito alla progr.va km.ca 28+700 della S.P. n. 9, 90010 Isnello (PA).

Le coordinate geografiche sono: Longitudine: 37,940749° - Latitudine: 14,03439°

Il territorio del Comune di Isnello e quindi anche la S.P. n. 9 alla progr.va km.ca 28+700 risulta appartenente alla Zona sismica 2.

L'areale oggetto del predetto intervento è stato individuato all'interno della carta di pericolosità sismica vigente e nella sotto riportata immagine e di seguito vengono indicati i parametri di pericolosità sismica del sito.



Per lo stato limite di salvaguardia della vita (stato limite ultimo, SLV; TR=712 anni) si hanno i seguenti valori dei parametri sismici:

$$a_g = 2.050 \text{ m/s}^2 \quad (a_g/g = 0.209);$$

$$T_c^* = 0.304;$$

$$F_0 = 2.409.$$

essendo :

$a_g$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

$T_c^*$  il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

$F_0$  il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

### Amplificazione locale (stratigrafica e topografica)

**Categoria di sottosuolo.** Non avendo a disposizione dati per la caratterizzazione sismica, i terreni del sito in esame cautelativamente si possono classificati come terreni di categoria di sottosuolo di tipo C.

**Categoria topografica.** La categoria topografica assunta pertinente al sito in esame è la categoria T2.

I parametri di pericolosità sismica del sito assunti sono risultati:

Sisma: Parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$

Stato limite	$P_{vr}$ (%)	$T_R$	$a_g/g$	$F_o$	$T_c^*$ (sec)
SLO	81				
SLD	63				
SLV	10	712	0,209	2,409	0,304
SLC	5				

Categoria Sottosuolo: C - Categoria Topografica: T2

Amplificazione stratigrafica e topografica

Stato limite	$P_{vr}$ (%)	S	$S_T$	$S_s$	$C_c$	$T_c$ (sec)
SLO	81					
SLD	63					
SLV	10	1,677	1,2	1,4	1,56	
SLC	5					

### Carichi sismici

#### Muri di sostegno.

Per la determinazione dell'azione sismica è stato fatto riferimento al paragrafo 7.11.6.2 delle NTC "Muri di sostegno", utilizzando un'analisi pseudo statica, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente, pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  sono pari a:

$$K_h = \beta_m \cdot a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0,5 \cdot K_h$$

essendo :

$\beta_m$  il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, il coefficiente di accelerazione orizzontale massima attesa al sito è dato dalla seguente espressione:

$$(a_{max}/g) = S (ag/g) = S S_T (ag/g) = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 0,209 = 0,351, \text{ dalla quale si ottiene:}$$

$$a_{max} = 0,351 \cdot 9,81 = 3,439 \text{ m/s}^2$$

essendo

$S_T = 1,2$  per inclinazione del pendio  $> 15^\circ$  l'amplificazione stratigrafica e

$$S_s = 1,7 - 0,6 F_0 (ag/g) = 1,7 - 0,6 \cdot 2,409 \cdot 0,209 = 1,398$$

Essendo  $S_s$  calcolato minore di 1,5; si assume pertanto  $S_s = 1,4$ .

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  per il calcolo delle opere di sostegno in terra rinforzata valgono quindi:

$$K_h = \beta_m \cdot (a_{max} / g) = 0,38 \cdot 0,351 = 0,133$$

$$K_v = \pm 0,5 \cdot K_h = 0,5 \cdot 0,133 = 0,067$$

Essendo  $\beta_m = 0,38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV).

### Stabilità dei pendii.

Per la determinazione dell'azione sismica è stato fatto riferimento al paragrafo 7.11.3.5 delle NTC "Stabilità dei pendii", utilizzando un'analisi pseudo statica, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticali di tale forza possono esprimersi come  $F_h = K_h * W$  ed  $F_v = K_v * W$ , con  $K_h$  e  $K_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontali e verticali. Nelle verifiche i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  sono pari a:

$$K_h = \beta_s * a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0,5 * K_h$$

essendo :

$\beta_s$  il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, il coefficiente di accelerazione orizzontale massima attesa al sito è dato dalla seguente espressione:

$$(a_{max}/g) = S (a_g/g) = S S T (a_g/g) = 1.4 * 1.2 * 0.209 = 0.351, \text{ dalla quale si ottiene:}$$

$$a_{max} = 0.351 * 9.81 = 3.439 \text{ m/s}^2$$

essendo

$ST = 1.2$  per inclinazione del pendio  $> 15^\circ$  l'amplificazione stratigrafica e

$$S_s = 1.7 - 0.6 F_0(a_g/g) = 1.7 - 0.6 * 2.409 * 0.209 = 1.398$$

Essendo  $S_s$  calcolato minore di 1.5; si assume pertanto  $S_s = 1.4$ .

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  per il calcolo delle opere di sostegno in terra rinforzata valgono quindi:

$$K_h = \beta_s * (a_{max} / g) = 0,28 * 0,351 = 0,098$$

$$K_v = \pm 0,5 * K_h = 0,5 * 0,098 = 0,049$$

Essendo  $\beta_m = 0.28$

### **Costituzione del sottosuolo e valori caratteristici dei parametri geotecnici.**

La caratterizzazione meccanica dei terreni costituenti il sottosuolo (e quindi i valori caratteristici dei parametri geotecnici) è stata effettuata unitariamente sulla base delle risultanze del sondaggio S10 eseguito in questa zona, delle osservazioni in situ e delle prove di laboratorio.

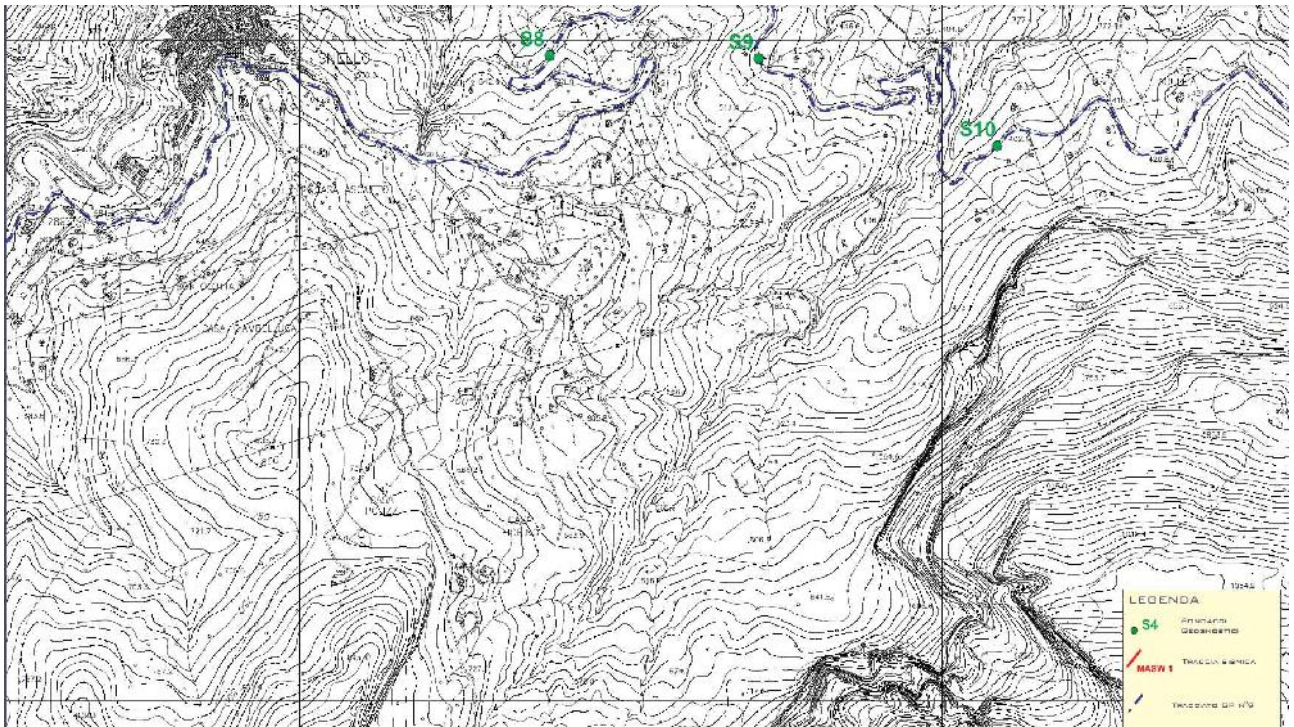


Fig. 3. Foto satellitare con ubicazione del sondaggio S10 a progressiva 28+700.

La stratigrafia sintetica del sondaggio è riportata sulla figure 4.

0-0.30m	Pavimentazione in conglomerato bituminoso.
0.30-2.80m	Sabbia e ghiaia di natura e dimensioni eterogenee (Misto di cava).
2.80-9.10m	Limo sabbioso a media consistenza e colore variabile dal marrone al nerastro.
9.10-15.00m	Argilla limosa con livelli diagenizzati a struttura caotica, buona consistenza e colore grigio-nerastro.

Fig. 4. Profilo stratigrafico Sondaggio S10 (SP9, km 28+700).

I terreni riscontrati nel sondaggio S10, profondo complessivamente 15,00 mt dal p.c. che rappresenta la sede stradale, dall'alto verso il basso sono costituiti da una copertura di 2,8 mt dal p.c. di terreni di riporto eterogenei (R), essenzialmente di natura calcarea, costituenti il rilevato stradale stesso, segue un primo strato fino alla profondità di 9,10 mt costituito da una coltre superficiale **limo-sabbioso** (LS) a media consistenza di colore variabile dal marrone al nerastro sovrastante un secondo strato fino a 15,00 mt di **argilla limosa** (AL) a struttura caotica, buona consistenza di colore grigio-nerastro.

Come si evince dalla Tabella 1 “*Stima dei parametri geotecnici in relazione ai risultati delle prove di laboratorio*”, riportata in premessa, i parametri fisico-meccanici dei terreni attraversati ottenuti dalle prove di laboratorio sono:

Sondaggio S10: campione C1 a profondità 5,60 m dal p.c. coesione  $c' = 31$  KN/mq, angolo di attrito interno  $\phi' = 21^\circ$ , campione C2 a profondità 11,40 m dal p.c. coesione non drenata  $C_u = 100$  KN/mq

L'indice di consistenza effettuato sul campione prelevato a profondità di 11,40 dal p.c. maggiore di 1.

Ai fini delle calcolazioni il modello geotecnico di sottosuolo dall'alto verso il basso è così costituito:

*Strato A - Materiale di riporto (rilevato stradale) R*

Sondaggio S10 strato A profondo 2,80 mt dal p.c.

Considerata la granulometria e la costituzione mineralogica di questi terreni si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_a = 16$  kN/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_{sat} = 19$  kN/m<sup>3</sup>;
- $c' = 0$ ;
- $\phi' = 30-32^\circ$ .

Essendo

- $\gamma_a$  = Peso dell'unità di volume asciutto
- $\gamma_{sat}$  = Peso dell'unità di volume saturo d'acqua
- $c'$  = Coesione intercetta
- $\phi'$  = Angolo di resistenza a taglio

*Strato B – Limo sabbioso LS*

Sondaggio S10 strato B profondo da 2,80 mt a 9,10 dal p.c.

Per questi terreni, per quanto sopra considerato, si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_a = 16$  kN/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_{sat} = 20$  kN/m<sup>3</sup>;

- $c'=31$  kPa;
- $\phi' = 21^\circ$ .

*Strato C – Argille limose AL*

Sondaggio S10 strato C profondo da 9,10 mt a 15,00 dal p.c.

Per questi terreni, per quanto sopra considerato, si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_d=18$  kN/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_{sat}=20,3$  kN/m<sup>3</sup>;
- $c'=35$  kPa;
- $\phi' = 25^\circ$ .

Il rilevato in terra rinforzata è realizzato con paramento in pietrame. Per il materiale di riempimento si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_d=17.5$  kN/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_{sat}=17.5$  kN/m<sup>3</sup>;
- $c'=17$  kPa;
- $\phi' = 40^\circ$ .

### **Interventi previsti**

L'intervento consiste nel rifacimento del corpo stradale. Si prevede sostanzialmente di realizzare un rilevato in terra rinforzata.

La struttura in progetto si inquadra come opera di sostegno in terra, il cui utilizzo è previsto al par. 6.5 delle NTC 2018 *“strutture miste, che esplicano la funzione di sostegno anche per effetto di trattamenti di miglioramento e per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento”*.

Il rilevato presenta un'altezza di 3.00 m disposto parallelamente al tracciato del piano viabile. Il rilevato in terra rinforzata con paramento in pietrame è realizzato mediante strati di terreno, di spessore pari a 1,00 m ed idonee proprietà geotecniche, debitamente compattato e mutuamente connessi per tramite di elementi di armatura planari orizzontali realizzati in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale tipo 8x10 in accordo con le *“Linee Guida per la redazione di capitolati per l'impiego di rete metallica a doppia torsione”* approvate dal Consiglio Superiore LL.PP., (n. 69/2018) e con le UNI-EN 10223-3. Gli elementi presentano una lunghezza di ancoraggio variabile nell'intervallo 5-6 m.

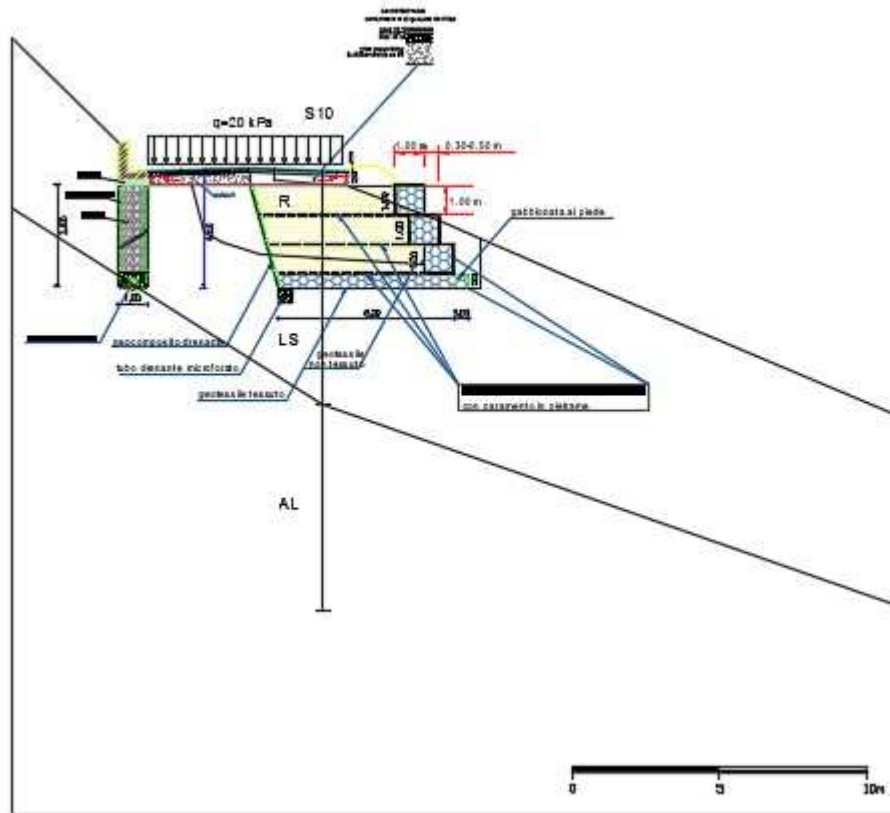
Al disopra del rilevato è localizzato un cassonetto stradale di altezza 50 cm.

### **Calcoli geotecnici**

I calcoli sono stati eseguiti considerando un sovraccarico accidentale di 20 kPa applicato su tutta la superficie della strada.

Lo schema di calcolo delle terre armate è rappresentato sulla figura 5. I risultati dei calcoli geotecnici sono riportati nella relazione di calcolo delle terre armate.

TERRE RINFORZATE CON  
PARAMENTO IN PIETREME





### **Km. 27+100 Comune di Isnello - Paratia di pali sottoscarpa in c.a**

In corrispondenza del km 27+100 è presente un dissesto che coinvolge parte della sede stradale. Nelle figure 1,2,3,4 e 5 sono riportate alcune foto della zona dissestata.

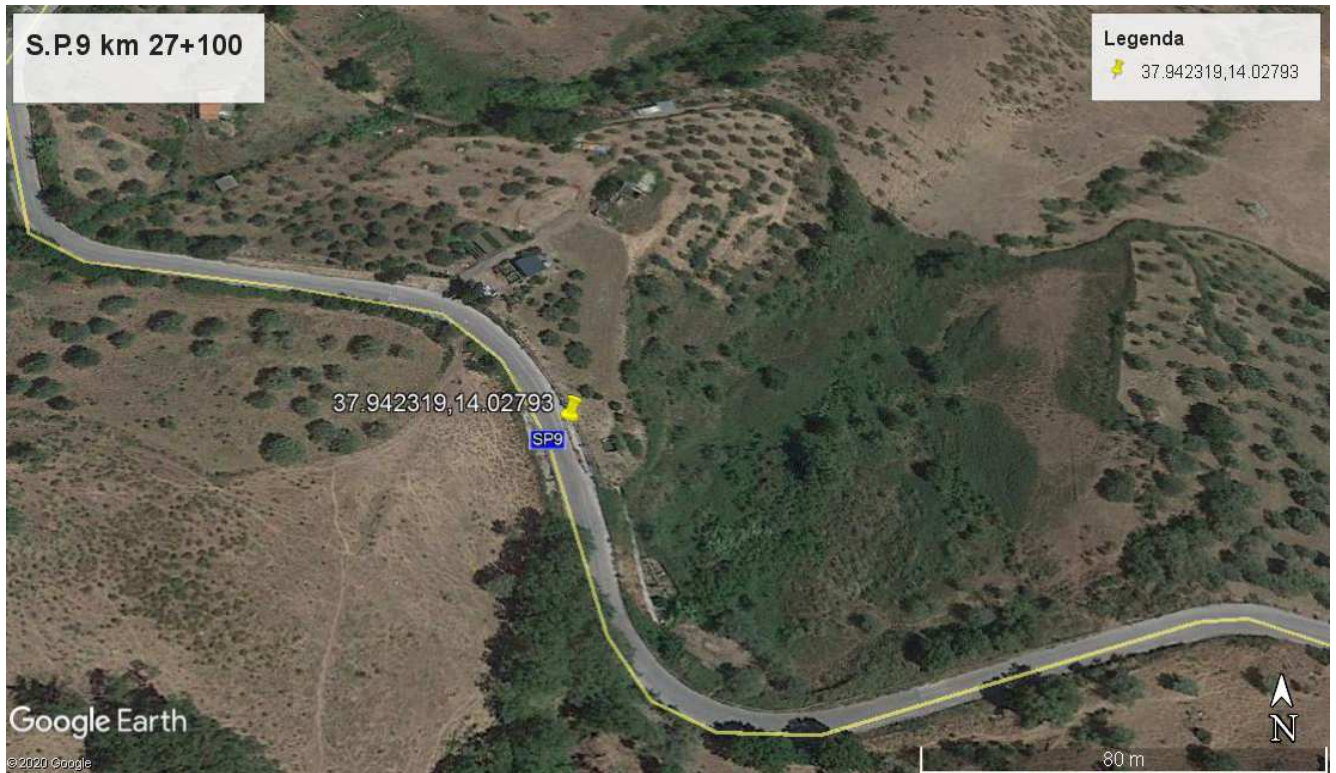


Fig. 1. Ortofoto S.P.9 km 27+100.



Fig. 2. Dissesto al km 27+100. Si nota la parziale rottura della sede stradale e il cedimento verso valle di parte della sede stradale. Vista in direzione Castelbuono.



Fig. 3. Dissesto al km 27+100. Muro di sottoscarpa a valle. Vista da valle in direzione Isnello.



Fig. 4. Dissesto al km 27+100. Muro di sottoscarpa a valle. Vista da valle in direzione Castelbuono.



Fig. 5. Dissesto al km 27+100. A valle della strada si osservano tratti di muro di sottoscarpa parzialmente divelti. Vista da valle in direzione Isnello.

Sul lato valle è presente un muro di sottoscarpa in c.a. a sostegno del rilevato stradale che risulta parzialmente divelto.

Il dissesto in esame si ritiene sia dovuto principalmente alla costituzione dei terreni di fondazione della strada nella zona in oggetto, alla non sufficiente ed adeguata regimazione delle acque superficiali ed anche alla non sufficiente lunghezza del muro di sottoscarpa che solo in parte sostiene il rilevato stradale.

La regimazione delle acque (superficiali e all'interno dei terreni) è di primaria importanza per il corretto funzionamento e la durabilità di tutte le altre opere che si realizzeranno nella zona dissestata.

Nel tratto in esame inoltre, a luoghi, la sede stradale appare deformata non per vetustà del manto d'usura ma per risalita capillare delle acque contenute nelle argille del sottofondo. Oltre che un drenaggio sottocunetta lato monte è indispensabile la ricostituzione della fondazione mediante apporto di misto granulometrico per uno spessore non inferiore a cm. 40.

### **Caratterizzazione sismica del sito**

Si fa riferimento alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018). Il tratto di strada entro il quale è compresa la zona oggetto di intervento appartiene al Comune di Isnello (PA).

Per la caratterizzazione sismica del sito si sono considerati le seguenti grandezze.

### **Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento**

1. Vita nominale dell'opera:  $V_N=50$  anni;
2. Classe d'uso: III (coefficiente d'uso  $C_U=1.5$ );

3. Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75$  anni.

## Modellazione sismica

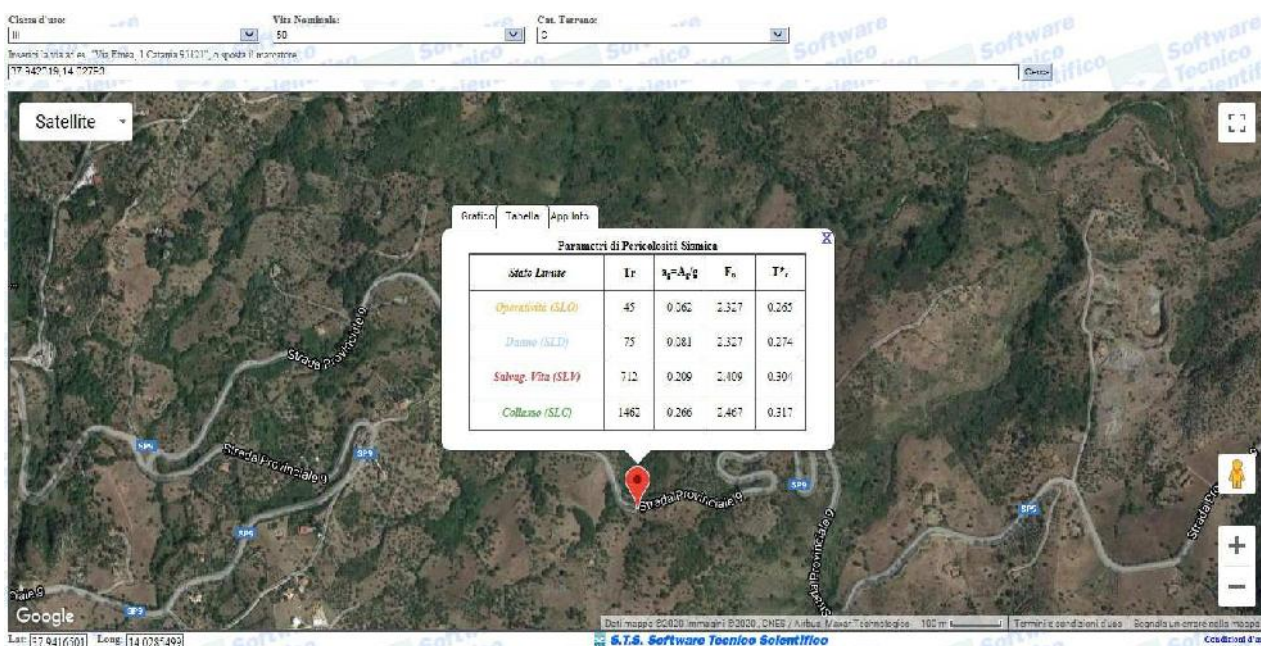
### Localizzazione geografica e classificazione sismica.

L'intervento in oggetto, è sito alla progr.va km.ca 21+700 della S.P. n. 9, 90010 Isnello (PA).

Le coordinate geografiche sono: Longitudine: 37,942319° - Latitudine: 14,02793°

Il territorio del Comune di Isnello e quindi anche la S.P. n. 9 alla progr.va km.ca 27+100 risulta appartenente alla Zona sismica 2.

L'areale oggetto del predetto intervento è stato individuato all'interno della carta di pericolosità sismica vigente e nella sotto riportata immagine e di seguito vengono indicati i parametri di pericolosità sismica del sito.



Per lo stato limite di danno (stato limite di esercizio, SLD; TR=75 anni) per il sito in esame valgono i seguenti valori dei parametri sismici:

$$a_g = 0.795 \text{ m/s}^2 \text{ (} a_g/g = 0.081 \text{)};$$

$$T_c^* = 0.274;$$

$$F_0 = 2.327.$$

essendo :

$a_g$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

$T_c^*$  il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

$F_0$  il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per lo stato limite di salvaguardia della vita (stato limite ultimo, SLV; TR=712 anni) si hanno i seguenti valori dei parametri sismici:

$$a_g = 2.050 \text{ m/s}^2 \text{ (} a_g/g = 0.209 \text{)};$$

$$T_c^* = 0.304;$$

$$F_0 = 2.409.$$

### Amplificazione locale (stratigrafica e topografica)

**Categoria di sottosuolo.** Non avendo a disposizione dati per la caratterizzazione sismica, i terreni del sito in esame cautelativamente si possono classificati come terreni di categoria di sottosuolo di tipo C.

**Categoria topografica.** La categoria topografica assunta pertinente al sito in esame è la categoria T2.

I parametri di pericolosità sismica del sito assunti sono risultati:

Sisma: Parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$

Stato limite	$P_{vr}$ (%)	$T_R$	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$ (sec)
SLO	81				
SLD	63	75	0,081	2,327	0,274
SLV	10	712	0,209	2,409	0,304
SLC	5				

Categoria Sottosuolo: C - Categoria Topografica: T2

### Amplificazione stratigrafica e topografica

Stato limite	$P_{vr}$ (%)	S	$S_T$	$S_s$	$C_c$	$T_c$ (sec)
SLO	81					
SLD	63					
SLV	10	1,677	1,2	1,4	1,56	
SLC	5					

### Carichi sismici

#### Paratie.

Per la determinazione dell'azione sismica è stato fatto riferimento al paragrafo 7.11.6.3 delle NTC "Paratie", utilizzando un'analisi pseudo statica, dove l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente, costante nello spazio e nel tempo.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, il coefficiente di accelerazione orizzontale massima attesa al sito è dato dalla seguente espressione:

$$(a_{max}/g) = S (a_g/g) = S_S S_T (a_g/g) = 1.4 * 1.2 * 0.209 = 0.351, \text{ dalla quale si ottiene:}$$

$$a_{max} = 0.351 * 9.81 = 3.439 \text{ m/s}^2$$

essendo

$$S_T = 1.2 \text{ per inclinazione del pendio } > 15^\circ \text{ l'amplificazione stratigrafica e}$$

$$S_s = 1.7 - 0.6 F_0 (a_g/g) = 1.7 - 0.6 * 2.409 * 0.209 = 1.398$$

Essendo  $S_s$  calcolato minore di 1.5; si assume pertanto  $S_s = 1.4$ .

Il coefficiente sismico orizzontale per il calcolo della paratia vale quindi

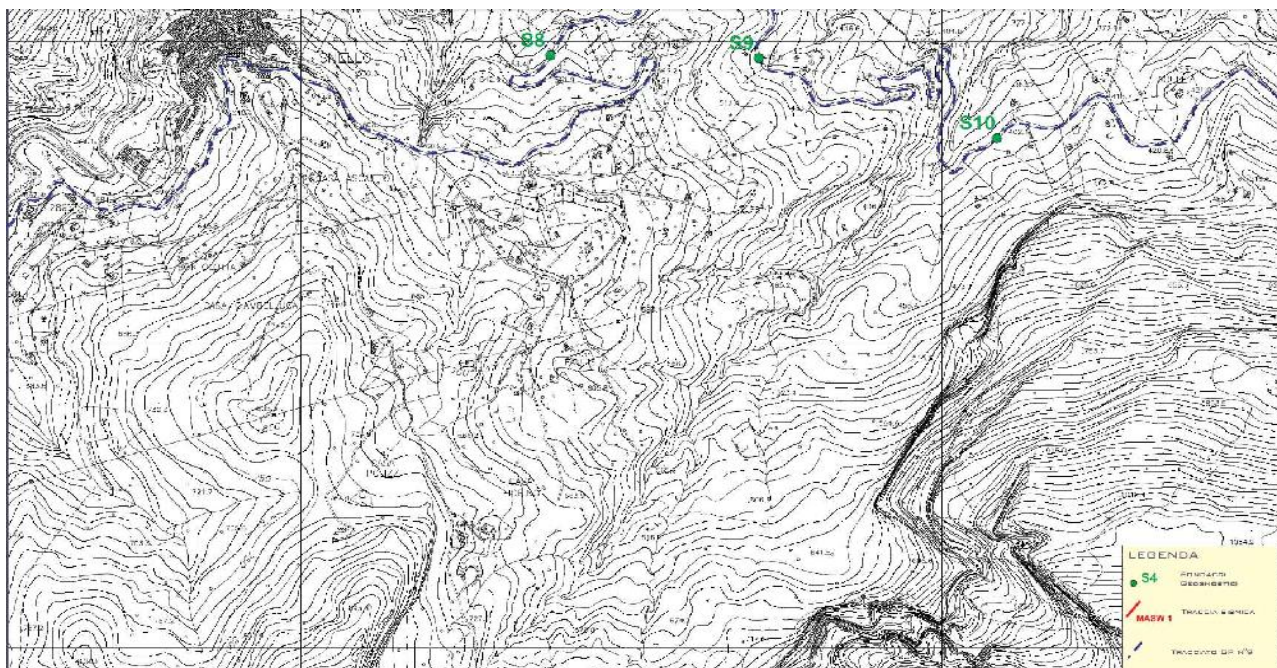
$$K_h = \alpha \beta (a_{max}/g) = 0.819 * 0.547 * 0.351 = 0.157$$

Essendo  $\alpha$  e  $\beta$  i coefficienti di riduzione dell'azione sismica relativi alla deformabilità dei terreni e

dalla capacità dell'opera di subire spostamenti senza perdita di resistenza rispettivamente.

### **Costituzione del sottosuolo e valori caratteristici dei parametri geotecnici.**

La caratterizzazione meccanica dei terreni costituenti il sottosuolo (e quindi i valori caratteristici dei parametri geotecnici) è stata effettuata unitariamente sulla base delle risultanze del sondaggio S9 eseguito in questa zona, delle osservazioni in situ e delle prove di laboratorio.



Sondaggio S9 a 27+100

La stratigrafia sintetica del sondaggio è riportata sulla figure 4.

0-0.40m	Pavimentazione in conglomerato bituminoso.
0.40-2.40m	Sabbia e ghiaia di natura e dimensioni eterogenee (Misto di cava).
2.40-8.40m	Argille limosa con livelli cm diagenizzati a composizione carbonatica, media consistenza e colore variabile dal marrone al grigio-verdastro.
8.40-15.00m	Argille limosa con porzioni diagenizzate a composizione carbonatica e colore grigio-verdastro.

Fig. 4. Profilo stratigrafico Sondaggio S9 (SP9, km 27+100).

I terreni riscontrati nel sondaggio S9, profondo complessivamente 15,00 mt dal p.c. che rappresenta la sede stradale, dall'alto verso il basso sono costituiti da una copertura di 2,4 mt dal p.c. di terreni di riporto eterogenei (R), essenzialmente di natura calcarea, costituenti il rilevato stradale stesso, segue un primo strato fino alla profondità di 8,40 mt costituito da una coltre superficiale **argilla limosa** (AL) a composizione carbonatica e a media consistenza di colore variabile dal marrone al grigio-verdastro sovrastante un secondo strato fino a 15,00 mt di **argilla limosa** (AL) a composizione carbonatica e colore grigio-verdastro.

Come si evince dalla Tabella 1 “*Stima dei parametri geotecnici in relazione ai risultati delle prove di laboratorio*”, riportata in premessa, i parametri fisico-meccanici dei terreni attraversati ottenuti dalle prove di laboratorio sono:

Sondaggio S9: campione C1 a profondità 5,00 m dal p.c. coesione  $c' = 32$  KN/mq, angolo di attrito interno  $\phi' = 20^\circ$ , campione C2 a profondità 10,00 m dal p.c. coesione non drenata  $C_u = 165$  KN/mq

L'indice di consistenza effettuato sul campione prelevato a profondità di 10,00 dal p.c. maggiore di 1.

Ai fini delle calcolazioni il modello geotecnico di sottosuolo dall'alto verso il basso è così costituito:

*Strato A - Materiale di riporto (rilevato stradale) R*

Sondaggio S9 strato A profondo 2,40 mt dal p.c.

Considerata la granulometria e la costituzione mineralogica di questi terreni si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_a = 16$  kN/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_{sat} = 19$  kN/m<sup>3</sup>;
- $c' = 0$ ;
- $\phi' = 30-32^\circ$ .

Essendo

- $\gamma_a$  = Peso dell'unità di volume asciutto
- $\gamma_{sat}$  = Peso dell'unità di volume saturo d'acqua
- $c'$  = Coesione intercetta
- $\phi'$  = Angolo di resistenza a taglio

*Strato B - Argille limose AL*

Sondaggio S9 strato B profondo da 2,40 mt a 8,40 dal p.c.

Per questi terreni, per quanto sopra considerato, si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_a = 16$  kN/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_{sat} = 20$  kN/m<sup>3</sup>;

- $c'=32$  kPa;
- $\phi' = 20^\circ$ .

#### *Strato C – Argille limose AL*

Sondaggio S9 strato C profondo da 8,40 mt a 15,00 dal p.c.

Per questi terreni, per quanto sopra considerato, si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_d=18$  kN/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_{sat}=20,2$  kN/m<sup>3</sup>;
- $c'=40$  kPa;
- $\phi' = 25^\circ$ .

#### **Interventi previsti**

In questa zona, nel tratto più dissestato, si realizzerà una paratia di pali accostati in c.a. di sostegno. La paratia sarà realizzata in parte in prosecuzione del muro di sottoscarpa esistente e in parte in sostituzione del tratto di muro di sottoscarpa divelto.

I pali della paratia avranno diametro  $\phi=1000$ mm, saranno lunghi 15 m, e avranno interasse di 1.25m. In questo modo consentiranno alle acque presenti nei terreni di continuare a filtrare.

I pali saranno collegati in testa da un cordolo in cemento armato largo 1.20m e alto 1.40m. La lunghezza complessiva della paratia risulta quindi  $15+1.4=16.4$  m.

L'opera di sostegno è un'opera di sottoscarpa, in un tratto stradale a mezzacosta. L'intervento si rende necessario per consentire la ripresa del corpo stradale. L'opera consente di evitare scavi di sbancamento per la ripresa del corpo stradale, peraltro ricadendo i lavori sulla preesistente sede stradale non è necessario avviare alcuna procedura espropriativa.

#### **Calcoli geotecnici**

I calcoli sono stati eseguiti considerando un sovraccarico accidentale di 20 kPa applicato su tutta la superficie della strada.

A favore della sicurezza, è stato completamente trascurato il contributo alla resistenza di valle dei primi cinque metri di terreno. Questa ipotesi è stata fatta seguendo quanto riportato nelle NTC2018 (6.5.2.2 Modello geometrico di riferimento) riguardo a possibili modifiche del profilo del terreno a monte e a valle dell'opera di sostegno. Pertanto, la paratia è stata dimensionata come avente uno sbalzo libero pari a 5,0 m.

I pali della paratia avranno lunghezza di 15 m; l'interasse dei pali sarà di 1.25 m; il cordolo di collegamento dei pali sarà largo 1.20 m e sarà alto 1.40 m. L'altezza complessiva della paratia (pali + cordolo) sarà quindi di 16.40 m.

Lo schema di calcolo della paratia è rappresentato sulla figura 5. I risultati dei calcoli geotecnici sono riportati nella relazione di calcolo della paratia. Le combinazioni di carico esaminate sono sintetizzate nella tabella 2.



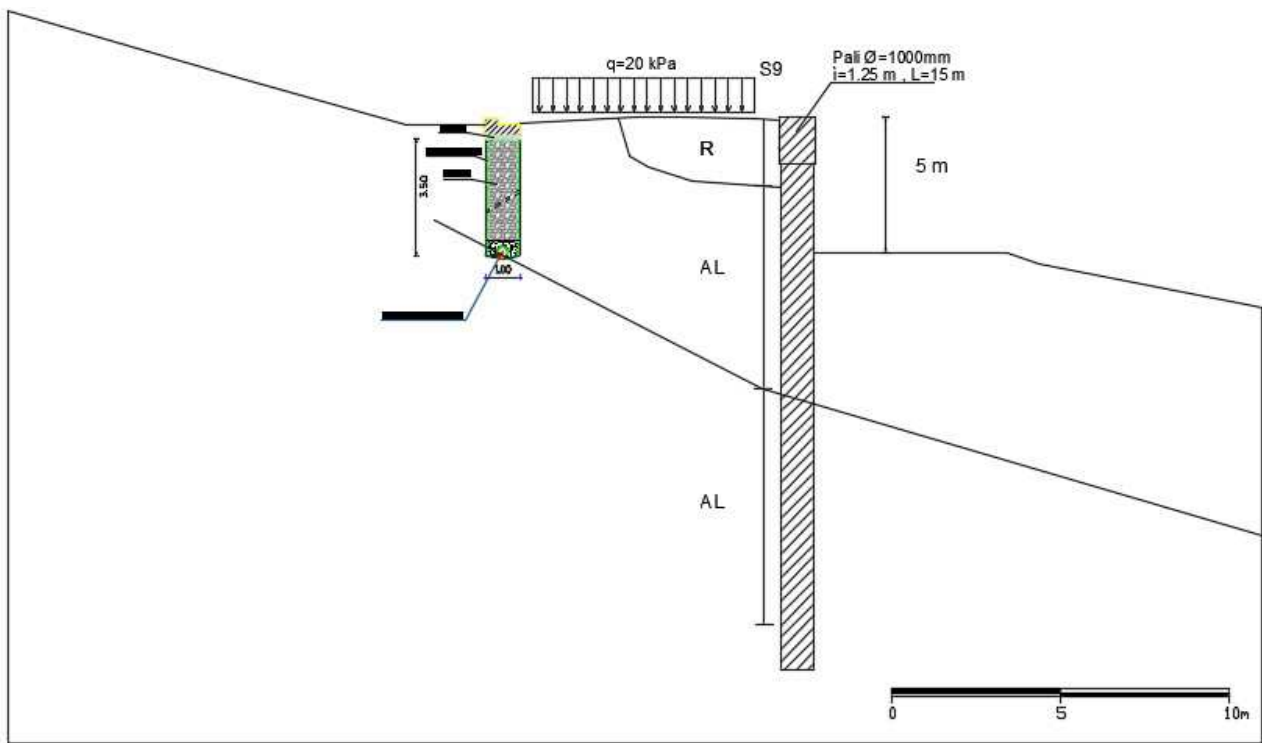


Fig. 5. Dissesto al km 27+100. Schema di calcolo della paratia.

Tabella 2. Combinazioni di carico utilizzate per il calcolo delle paratie di pali di grande diametro (A e B).  
 Legenda: SLER= stato limite di esercizio combinazione rara; SLEF= stato limite di esercizio combinazione frequente; SLEQ = stato limite di esercizio combinazione quasi permanente.

Combinazione	Tipo combinazione	Presenza di sovraccarico q (20 kPa)	Presenza di sisma
C1	A1+M1	no	no
C2	A1+M1	si	no
C3	A2+M2	no	no
C4	A2+M2	si	no
C5	A2+M2	si	si
C6	SLER	si	no
C7	SLEF	si	no
C8	SLEQ	si	no
C9	SLEQ	si	si

### Verifiche di stabilità generale

Le verifiche di stabilità generale sono state eseguite col metodo di Bishop, per stato piano di deformazione, in termini di tensioni efficaci. Il valore minimo del coefficiente di sicurezza previsto dalle NTC2018 è pari a 1.1 in condizioni statiche e a 1.2 in condizioni sismiche.

I dettagli dei calcoli sono riportati nella relazione di calcolo della paratia. Le combinazioni di carico esaminate sono sintetizzate nella tabella 3.

Tabella 3. Combinazioni di carico utilizzate nei riguardi della stabilità globale. Metodo di Bishop. In tutti i casi è presente un sovraccarico accidentale  $q = 20$  kPa.

Combinazione	Tipo combinazione	Presenza di sovraccarico $q$ (20 kPa)	Presenza di sisma
C3	A2+M2	si	no
C4	A2+M2	si	no
C5	A2+M2	si	si

## Messa in opera di gabbioni metallici lato monte in tratti saltuari.

Per far fronte ad alcuni fenomeni di smottamento di terra da monte, si prevede a contenimento, in tratti saltuari, la realizzazione di gabbionate di pietrame di altezza pari a ml 1,00 sopra la spalletta (h= 30/50 cm) della cunetta esistente.

## Caratterizzazione sismica del sito

Si fa riferimento alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

Per la caratterizzazione sismica del sito si sono considerati le seguenti grandezze.

## Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento

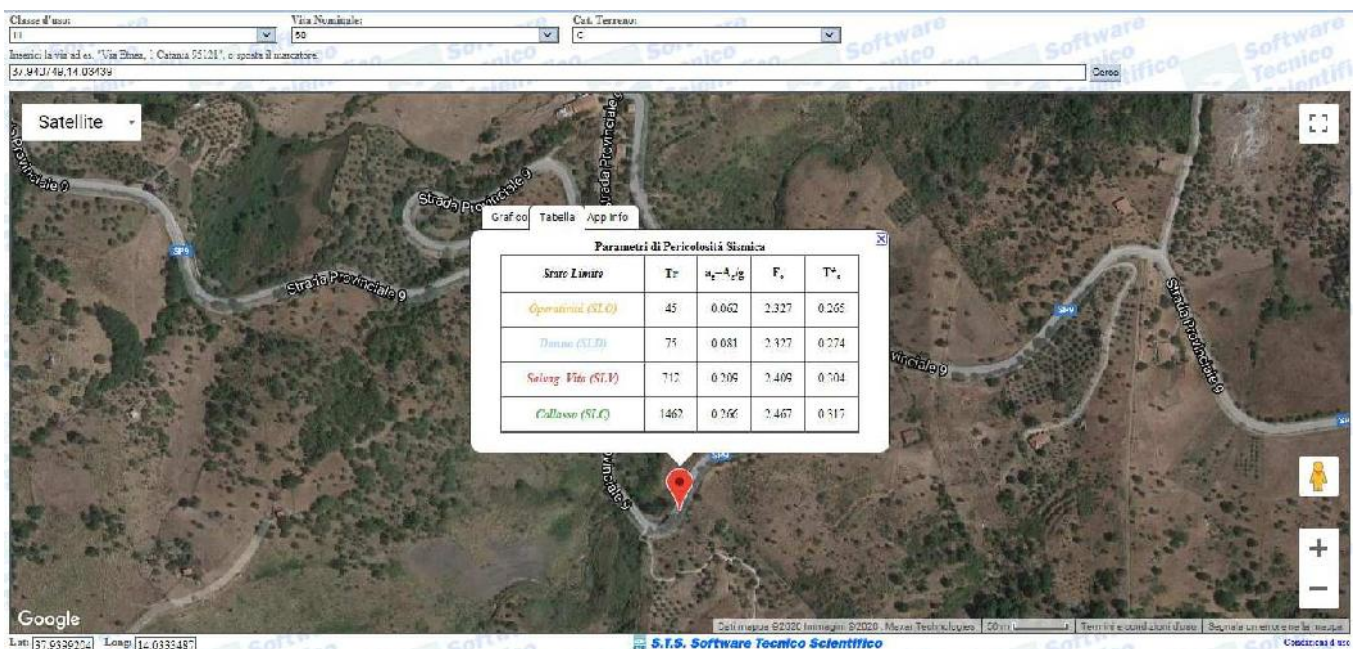
4. Vita nominale dell'opera:  $V_N=50$  anni;
5. Classe d'uso: III (coefficiente d'uso  $C_U=1.5$ );
6. Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75$  anni.

## Modellazione sismica

### Localizzazione geografica e classificazione sismica.

La S.P. n. 9 risulta appartenente alla Zona sismica 2.

L'areale oggetto del predetto intervento è stato individuato all'interno della carta di pericolosità sismica vigente e nella sotto riportata immagine e di seguito vengono indicati i parametri di pericolosità sismica del sito.



Per lo stato limite di salvaguardia della vita (stato limite ultimo, SLV;  $T_R=712$  anni) si hanno i seguenti valori dei parametri sismici:

$$a_g = 2.050 \text{ m/s}^2 \quad (a_g/g=0.209);$$

$$T_c^* = 0.304;$$

$$F_0 = 2.409.$$

essendo :

$a_g$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

$T_c^*$  il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

$F_0$  il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

### Amplificazione locale (stratigrafica e topografica)

**Categoria di sottosuolo.** Non avendo a disposizione dati per la caratterizzazione sismica, i terreni del sito in esame cautelativamente si possono classificati come terreni di categoria di sottosuolo di tipo C.

**Categoria topografica.** La categoria topografica assunta pertinente al sito in esame è la categoria T2.

I parametri di pericolosità sismica del sito assunti sono risultati:

Sisma: Parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$

Stato limite	$P_{vr}$ (%)	$T_R$	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$ (sec)
SLO	81				
SLD	63				
SLV	10	712	0,209	2,409	0,304
SLC	5				

Categoria Sottosuolo: C - Categoria Topografica: T2

Amplificazione stratigrafica e topografica

Stato limite	$P_{vr}$ (%)	S	$S_T$	$S_s$	$C_c$	$T_c$ (sec)
SLO	81					
SLD	63					
SLV	10	1,677	1,2	1,4	1,56	
SLC	5					

### Carichi sismici

#### Muri di sostegno.

Per la determinazione dell'azione sismica è stato fatto riferimento al paragrafo 7.11.6.2 delle NTC "Muri di sostegno", utilizzando un'analisi pseudo statica, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente, pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  sono pari a:

$$K_h = \beta_m \cdot a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0,5 \cdot K_h$$

essendo :

$\beta_m$  il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, il coefficiente di accelerazione orizzontale massima attesa

al sito è dato dalla seguente espressione:

$(a_{max}/g) = S(ag/g) = SS ST(ag/g) = 1.4 * 1.2 * 0.209 = 0.351$ , dalla quale si ottiene:

$$a_{max} = 0.351 * 9.81 = 3.439 \text{ m/s}^2$$

essendo

$ST = 1.2$  per inclinazione del pendio  $> 15^\circ$  l'amplificazione stratigrafica e

$$S_s = 1.7 - 0.6 F_0(ag/g) = 1.7 - 0.6 * 2.409 * 0.209 = 1.398$$

Essendo  $S_s$  calcolato minore di 1.5; si assume pertanto  $S_s = 1.4$ .

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  per il calcolo delle opere di sostegno in terra rinforzata valgono quindi:

$$K_h = \beta_m * (a_{max} / g) = 0.38 * 0.351 = 0.133$$

$$K_v = \pm 0.5 * K_h = 0.5 * 0.133 = 0.067$$

Essendo  $\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV).

### Stabilità dei pendii.

Per la determinazione dell'azione sismica è stato fatto riferimento al paragrafo 7.11.3.5 delle NTC "Stabilità dei pendii", utilizzando un'analisi pseudo statica, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticali di tale forza possono esprimersi come  $F_h = K_h * W$  ed  $F_v = K_v * W$ , con  $K_h$  e  $K_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontali e verticali. Nelle verifiche i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  sono pari a:

$$K_h = \beta_s * a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0.5 * K_h$$

essendo :

$\beta_s$  il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, il coefficiente di accelerazione orizzontale massima attesa al sito è dato dalla seguente espressione:

$(a_{max}/g) = S(ag/g) = SS ST(ag/g) = 1.4 * 1.2 * 0.209 = 0.351$ , dalla quale si ottiene:

$$a_{max} = 0.351 * 9.81 = 3.439 \text{ m/s}^2$$

essendo

$ST = 1.2$  per inclinazione del pendio  $> 15^\circ$  l'amplificazione stratigrafica e

$$S_s = 1.7 - 0.6 F_0(ag/g) = 1.7 - 0.6 * 2.409 * 0.209 = 1.398$$

Essendo  $S_s$  calcolato minore di 1.5; si assume pertanto  $S_s = 1.4$ .

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  per il calcolo delle opere di sostegno in terra rinforzata valgono quindi:

$$K_h = \beta_s * (a_{max} / g) = 0.28 * 0.351 = 0.098$$

$$K_v = \pm 0.5 * K_h = 0.5 * 0.098 = 0.049$$

Essendo  $\beta_m = 0.28$

### **Costituzione del sottosuolo e valori caratteristici dei parametri geotecnici.**

La caratterizzazione meccanica dei terreni costituenti il sottosuolo (e quindi i valori caratteristici dei parametri geotecnici) è stata effettuata unitariamente sulla base delle risultanze del sondaggio S10 eseguito in questa zona, delle osservazioni in situ e delle prove di laboratorio.

Ai fini delle calcolazioni il modello geotecnico di sottosuolo dall'alto verso il basso è così costituito:

#### *Strato A - Materiale di riporto (rilevato stradale) R*

Considerata la granulometria e la costituzione mineralogica di questi terreni si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_d=16 \text{ kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{sat}=19 \text{ kN/m}^3$ ;
- $c'=0$ ;
- $\phi' = 30-32^\circ$ .

Essendo

- $\gamma_d$  =Peso dell'unità di volume asciutto
- $\gamma_{sat}$  =Peso dell'unità di volume saturo d'acqua
- $c'$ =Coesione intercetta
- $\phi'$ =Angolo di resistenza a taglio

#### *Strato B – Limo sabbioso LS*

Per questi terreni, per quanto sopra considerato, si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_d=16 \text{ kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{sat}=20 \text{ kN/m}^3$ ;
- $c'=31 \text{ kPa}$ ;
- $\phi' = 21^\circ$ .

#### *Strato C – Argille limose AL*

Per questi terreni, per quanto sopra considerato, si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_d=18 \text{ kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{sat}=20,3 \text{ kN/m}^3$ ;
- $c'=35 \text{ kPa}$ ;
- $\phi' = 25^\circ$ .

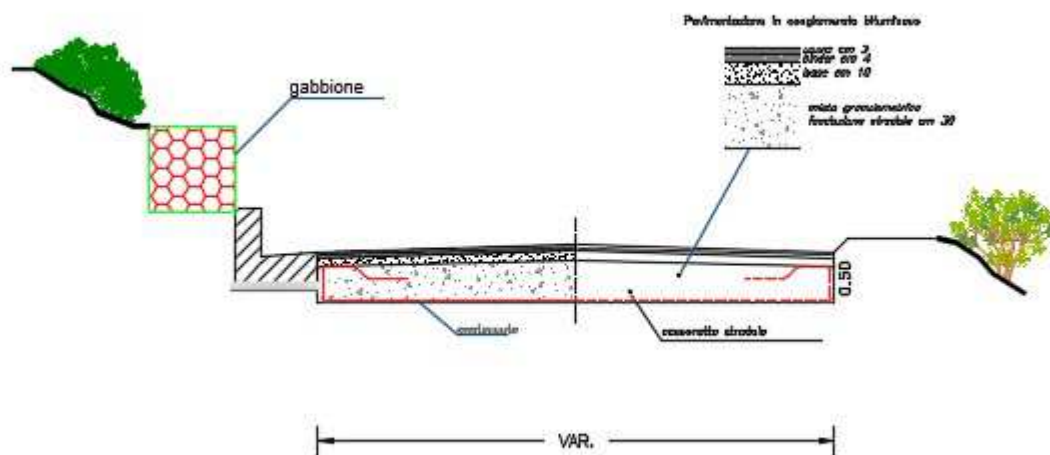
I gabbioni son realizzati in pietrame. Per il materiale di riempimento si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_d=17.5 \text{ kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{sat}=17.5 \text{ kN/m}^3$ ;
- $c'=17 \text{ kPa}$ ;
- $\phi' = 40^\circ$ .

## Calcoli geotecnici

I calcoli sono stati eseguiti considerando un sovraccarico accidentale di 4 kPa applicato a monte della gabbionata.

I risultati dei calcoli geotecnici sono riportati nella relazione di calcolo dei gabbioni.



### **Messa in opera di gabbioni metallici lato valle in tratti saltuari.**

Al Km 25+800, al Km 28+550, al Km 30+200, al Km 32+600 e al Km 33+100, un tratto della strada presenta considerevoli cedimenti di parte della carreggiata stradale dovuti all'infiltrazione di acqua in terreni argillosi. Il progetto prevede la ricostruzione del cassonetto stradale mediante l'utilizzo di gabbioni metallici 2,00x1,00x1,00 riempiti da conci di pietra locale, posti al di sotto della quota stradale con il compito sia di sostegno che di drenare le acque infiltrate, la messa in opera della nuova fondazione stradale con soprastante pavimentazione bituminosa (strato di base, binder e strato di usura), l'intervento inoltre prevede a valle delle gabbionate il rifacimento della a banchina in terra e la risagomatura delle scarpate.

In tutto il tratto della strada oggetto dell'intervento verrà messa in opera la segnaletica orizzontale longitudinale in mezzzeria ed ai bordi della sede viaria, la sostituzione delle barriere di protezione divelte e nella posa in opera delle nuove barriere stradali di sicurezza conformi alla nuova normativa e verrà sostituita la segnaletica verticale esistente con nuovi cartelli conformi al nuovo codice della strada.

L'area oggetto del predetto intervento è stato individuato all'interno della carta della pericolosità sismica vigente.

### **Caratterizzazione sismica del sito**

Si fa riferimento alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

Per la caratterizzazione sismica del sito si sono considerati le seguenti grandezze.

### **Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento**

7. Vita nominale dell'opera:  $V_N=50$  anni;
8. Classe d'uso: III (coefficiente d'uso  $C_U=1.5$ );
9. Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75$  anni.

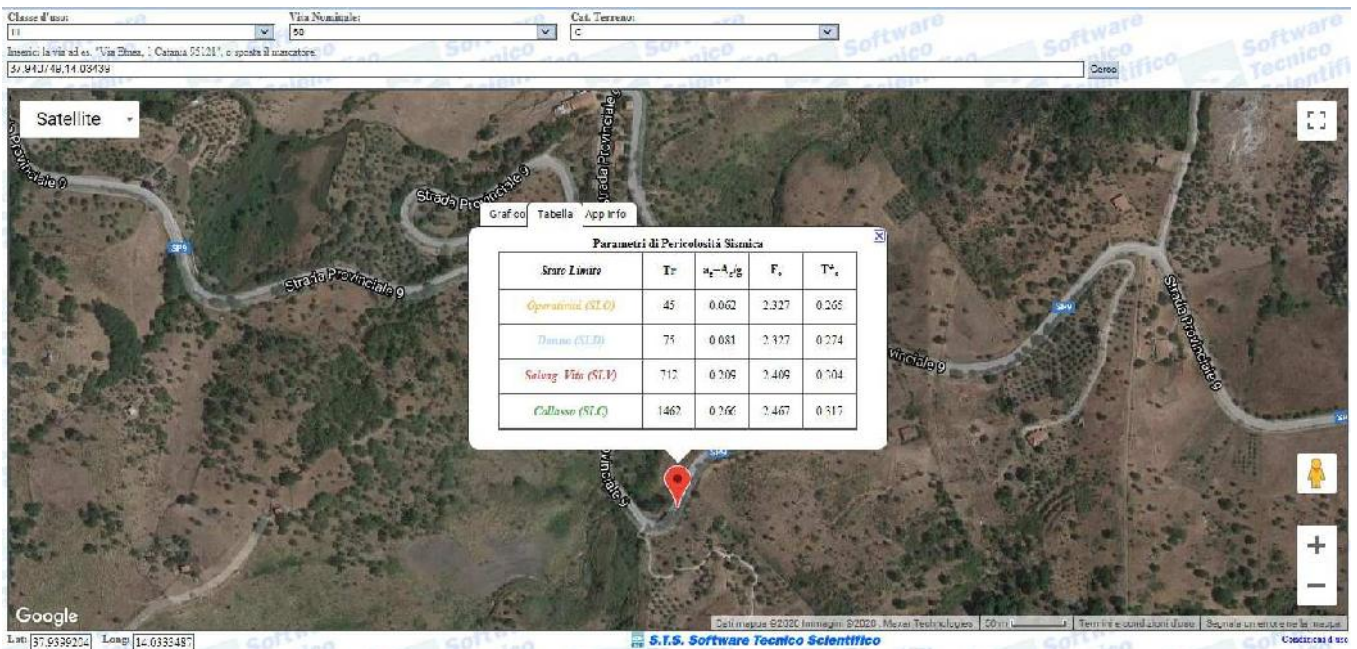
### **Modellazione sismica**

#### **Localizzazione geografica e classificazione sismica.**

La S.P. n. 9 risulta appartenente alla Zona sismica 2.

L'areale oggetto del predetto intervento è stato individuato all'interno della carta di pericolosità sismica vigente e nella sotto riportata immagine e di seguito vengono indicati i parametri di pericolosità sismica del sito.





Per lo stato limite di salvaguardia della vita (stato limite ultimo, SLV; TR=712 anni) si hanno i seguenti valori dei parametri sismici:

$$a_g = 2.050 \text{ m/s}^2 \quad (a_g/g = 0.209);$$

$$T_c^* = 0.304;$$

$$F_0 = 2.409.$$

essendo :

$a_g$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

$T_c^*$  il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

$F_0$  il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

### Amplificazione locale (stratigrafica e topografica)

**Categoria di sottosuolo.** Non avendo a disposizione dati per la caratterizzazione sismica, i terreni del sito in esame cautelativamente si possono classificati come terreni di categoria di sottosuolo di tipo C.

**Categoria topografica.** La categoria topografica assunta pertinente al sito in esame è la categoria T2.

I parametri di pericolosità sismica del sito assunti sono risultati:

Sisma: Parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$

Stato limite	$P_{vr}$ (%)	$T_R$	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$ (sec)
SLO	81				
SLD	63				
SLV	10	712	0,209	2,409	0,304
SLC	5				

Categoria Sottosuolo: C - Categoria Topografica: T2

Amplificazione stratigrafica e topografica

Stato limite	$P_{vr}$ (%)	S	$S_T$	$S_s$	$C_c$	$T_c$ (sec)
SLO	81					
SLD	63					
SLV	10	1,677	1,2	1,4	1,56	
SLC	5					

**Carichi sismici**

Muri di sostegno.

Per la determinazione dell'azione sismica è stato fatto riferimento al paragrafo 7.11.6.2 delle NTC "Muri di sostegno", utilizzando un'analisi pseudo statica, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente, pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  sono pari a:

$$K_h = \beta_m * a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0,5 * K_h$$

essendo :

$\beta_m$  il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, il coefficiente di accelerazione orizzontale massima attesa al sito è dato dalla seguente espressione:

$$(a_{max}/g) = S (a_g/g) = S S_T (a_g/g) = 1,4 * 1,2 * 0,209 = 0,351, \text{ dalla quale si ottiene:}$$

$$a_{max} = 0,351 * 9,81 = 3,439 \text{ m/s}^2$$

essendo

$S_T = 1,2$  per inclinazione del pendio  $> 15^\circ$  l'amplificazione stratigrafica e

$$S_s = 1,7 - 0,6 F_0(a_g/g) = 1,7 - 0,6 * 2,409 * 0,209 = 1,398$$

Essendo  $S_s$  calcolato minore di 1,5; si assume pertanto  $S_s = 1,4$ .

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  per il calcolo delle opere di sostegno in terra rinforzata valgono quindi:

$$K_h = \beta_m * (a_{max} / g) = 0,38 * 0,351 = 0,133$$

$$K_v = \pm 0,5 * K_h = 0,5 * 0,133 = 0,067$$

Essendo  $\beta_m = 0,38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV).

### Stabilità dei pendii.

Per la determinazione dell'azione sismica è stato fatto riferimento al paragrafo 7.11.3.5 delle NTC "Stabilità dei pendii", utilizzando un'analisi pseudo statica, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticali di tale forza possono esprimersi come  $F_h = K_h * W$  ed  $F_v = K_v * W$ , con  $K_h$  e  $K_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontali e verticali. Nelle verifiche i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  sono pari a:

$$K_h = \beta_s * a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0,5 * K_h$$

essendo :

$\beta_s$  il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  l'accelerazione di gravità;

Nelle verifiche allo stato limite ultimo SLV, il coefficiente di accelerazione orizzontale massima attesa al sito è dato dalla seguente espressione:

$$(a_{max}/g) = S(ag/g) = S S T (ag/g) = 1.4 * 1.2 * 0.209 = 0.351, \text{ dalla quale si ottiene:}$$

$$a_{max} = 0.351 * 9.81 = 3.439 \text{ m/s}^2$$

essendo

$ST = 1.2$  per inclinazione del pendio  $> 15^\circ$  l'amplificazione stratigrafica e

$$S_s = 1.7 - 0.6 F_0(ag/g) = 1.7 - 0.6 * 2.409 * 0.209 = 1.398$$

Essendo  $S_s$  calcolato minore di 1.5; si assume pertanto  $S_s = 1.4$ .

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  per il calcolo delle opere di sostegno in terra rinforzata valgono quindi:

$$K_h = \beta_s * (a_{max} / g) = 0,28 * 0,351 = 0,098$$

$$K_v = \pm 0,5 * K_h = 0,5 * 0,098 = 0,049$$

Essendo  $\beta_m = 0.28$

### **Costituzione del sottosuolo e valori caratteristici dei parametri geotecnici.**

La caratterizzazione meccanica dei terreni costituenti il sottosuolo (e quindi i valori caratteristici dei parametri geotecnici) è stata effettuata unitariamente sulla base delle risultanze del sondaggio S10 eseguito in questa zona, delle osservazioni in situ e delle prove di laboratorio.

Ai fini delle calcolazioni il modello geotecnico di sottosuolo dall'alto verso il basso è così costituito:

*Strato A - Materiale di riporto (rilevato stradale) R*

Considerata la granulometria e la costituzione mineralogica di questi terreni si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_d = 16 \text{ kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$ ;
- $c' = 0$ ;
- $\phi' = 30-32^\circ$ .

Essendo

- $\gamma_d$  = Peso dell'unità di volume asciutto
- $\gamma_{sat}$  = Peso dell'unità di volume saturo d'acqua
- $c'$  = Coesione intercetta

- $\phi' =$  Angolo di resistenza a taglio

#### Strato B – Limo sabbioso LS

Per questi terreni, per quanto sopra considerato, si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_a = 16 \text{ kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{sat} = 20 \text{ kN/m}^3$ ;
- $c' = 31 \text{ kPa}$ ;
- $\phi' = 21^\circ$ .

#### Strato C – Argille limose AL

Per questi terreni, per quanto sopra considerato, si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_a = 18 \text{ kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{sat} = 20,3 \text{ kN/m}^3$ ;
- $c' = 35 \text{ kPa}$ ;
- $\phi' = 25^\circ$ .

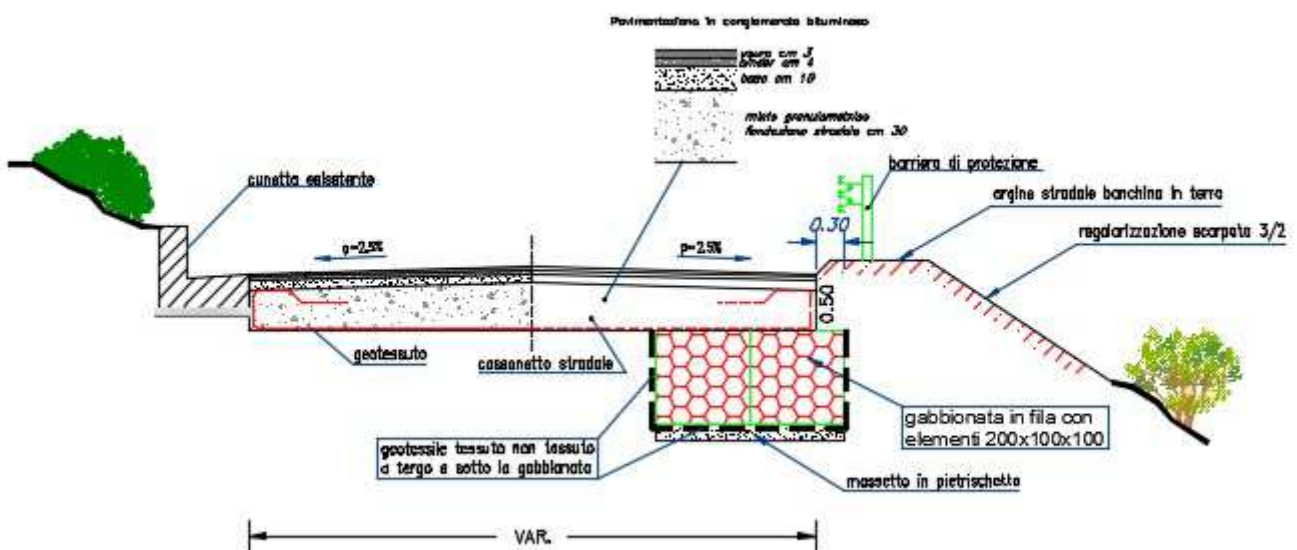
I gabbioni sono realizzati in pietrame. Per il materiale di riempimento si possono utilizzare i seguenti valori prudenziali dei parametri geotecnici.

- $\gamma_a = 17.5 \text{ kN/m}^3$ ;
- $\gamma_{sat} = 17.5 \text{ kN/m}^3$ ;
- $c' = 17 \text{ kPa}$ ;
- $\phi' = 40^\circ$ .

### Calcoli geotecnici

I calcoli sono stati eseguiti considerando un sovraccarico accidentale di 20 kPa applicato su tutta la superficie della strada.

I risultati dei calcoli geotecnici sono riportati nella relazione di calcolo dei gabbioni.



Palermo li,

**Il Progettista**  
(Ing. Elio Venturella)