STUDIO DI GEOLOGIA
Dott. Geol. Miliana Pieroni

PROVINCIA DI LUCCA
BORGO A MOZZANO

INDAGINE GEOLOGICA SUI TERRENI INTERESSATI DAL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA ROTATORIA LUNGO LA S.S. N°12 DEL BRENNERO IN PROSSIMITÀ DELLA FRAZIONE DI ANCHIANO

Committente:
COMUNE DI BORGO A MOZZANO

Gennaio 2014

Esecutore:
Dott. Geol. Miliana Pieroni

Indice generale

1. PREMESSA....2
2. VINCOLISTICA....2
2.1 Quadro normativo di riferimento....2
2.2 Descrizione del sito d'intervento (vincolistica)....3
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO....4
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROLOGICO DELL'AREA....5
5. VINCOLI ESISTENTI SUL TERRITORIO 10
5.1 Analisi delle Pericolosità e Fattibilità da strumento Urbanistico Vigente....10
5.1.1 Pericolosità e Fattibilità geomorfologica/geotecnica....10
5.1.2 Pericolosità e Fattibilità idraulica....11
6.1.3 Pericolosità e Fattibilità Sismica....13
5.2 Compatibilità dell'intervento con le norme di Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Serchio....14
5.2.1 Rischio di frana....14
5.2.2 Rischio idraulico....16
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOFISICA DEL SITO....17
6.1 Indagini geognostiche....18
6.2 Indagini geofisiche....19
6.2.1 Sismica a rifrazione in onde P....19
6.2.2 Analisi multicanale delle onde superficiali (MASW)....20
6.2.2.1 Calcolo della Vs30 per la definizione della categoria del suolo di fondazione....21
7. ANALISI DI STABILITA' 22
7.1 RELAZIONE DI CALCOLO – Slope - Geostru....23
7.1.1 Premessa....23
7.1.2 Introduzione all'analisi di stabilità....23
7.1.3 Metodo dell'equilibrio limite....23
7.1.4 Valutazione Dell'azione Sismica....24
7.1.5 Dati generali....26
7.1.6 Parametri sismici su sito di riferimento....26
7.1.7 Ricerca della superficie di scorrimento critica....27
7.1.8 Esito della verifica....28
8 . CONCLUSIONI....36

Allegato

Relazione tecnica – indagini geognostiche e geofisiche

1. PREMESSA

Su incarico del comune di Borgo a Mozzano è stata redatta la presente relazione geologica di supporto al progetto di una nuova rotatoria che sarà realizzata lungo la strada statale dell'Abetone e del Brennero n°12, in prossimità dell'abitato di Anchiano.

In particolare tale studio è stato necessario per l'interessamento di un'area che ricade tra le zone cartografate dal PAI in pericolosità di frana elevata, per la presenza di un bordo di terrazzo morfologico, soggette ad alcune prescrizioni specifiche. L'intervento infatti prevede un livellamento morfologico e quindi una modifica del terrazzo per la quale è risultato necessario verificare che non siano aggravate le condizioni di stabilità rispetto alla situazione attuale.

La piccola scarpata, con un dislivello medio di circa 3 m, costeggia tutta la strada nel tratto interessato; il progetto prevede che la scarpata venga realizzata perimetralmente alla rotatoria, mantenendo comunque un'inclinazione uguale o leggermente inferiore rispetto a quella attuale, che si ricollega lateralmente in continuità col terrazzo esistente ai margini dell'area impegnata dal progetto.

Allo scopo di ricostruire la successione stratigrafica e valutare i parametri fisici e geotecnici dei terreni presenti sono state svolte le seguenti indagini:
- esecuzione di n. 1 *prospezione sismica a rifrazione* con onde P, tramite stendimento di lunghezza pari a 46,0 metri (24 canali; interasse: 2,0 m);
- esecuzione di n. 1 *prova MASW* (2), tramite stendimento di lunghezza pari a 46,0 metri (24 canali; interasse: 2,0 m) ; quest'ultima allo scopo di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali (VS), dalla quale ricavare il parametro Vs30 (velocità media delle onde sismiche trasversali nei primi trenta metri sotto la superficie del terreno).

A completamento delle suddette indagini vengono riportati i risultati di n. 1 *prova penetrometrica dinamica* superpesante (DPSH) eseguita in prossimità dell'area d'interesse e spinta fino alla profondità di 5,6 m dal p.c. .

Il comune di Borgo a Mozzano risulta inserito in "zona 2" come zona sismica di riferimento, caratterizzata da un valore della massima accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ag/g = 0,25 (con g = accelerazione di gravità).

2. VINCOLISTICA

2.1 Quadro normativo di riferimento

✗ "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica". O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e successive modifiche.

✗ Decreto Ministeriale 14.01.2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

✗ Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

✗ "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988

✗ Piano Territoriale di coordinamento della provincia di Lucca approvato con delibera di CP n°189 13/01/2000.

✗ Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico (P.A.I)

✗ Piano Strutturale del Comune di Borgo a Mozzano approvato con deliberazione di Consiglio Comunale n. 25 del 4 maggio 2007.

✗ Regolamento Urbanistico del comune di Borgo a Mozzano approvato con deliberazione di Consiglio Comunale n.46 del 25 ottobre 2008.

✗ Vincolo Idrogeologico, ai sensi dell'art 38 della LR n°39/2000.

2.2 Descrizione del sito d'intervento (vincolistica)

Sull'area oggetto del presente studio, come si evince dalla cartografia allegata al Piano strutturale del comune di Borgo a Mozzano Tav.8 (di cui si riporta un estratto), insiste il vincolo paesaggistico per la vicinanza al Fiume Serchio; non esistono altri vincoli ostativi.

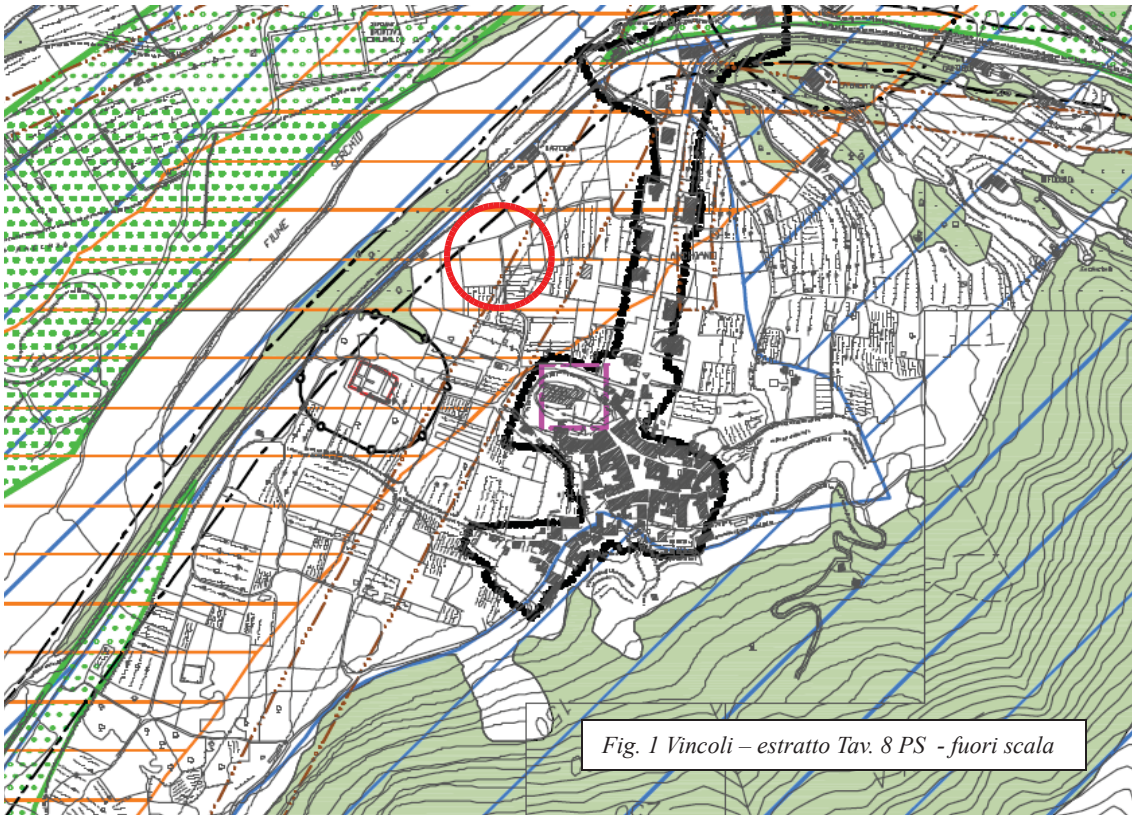


Fig. 1 Vincoli – estratto Tav. 8 PS - fuori scala

corsi d'acqua e laghi di interesse paesaggistico, ai sensi dell'art. 142, comma 1, lettera "c" del D. Lgs. 42/2004, ex zone B e C della D.C.R. 296/1988

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dal progetto della rotatoria si trova sulla sinistra idrografica del fiume Serchio, a circa 80m s.l.m.; dai sopralluoghi effettuati, non risultano esservi problemi di alcun genere; ad eccezione della scarpata morfologica che costeggia tutta la strada statale sul lato opposto al fiume serchio di circa 3 m, l'area è pianeggiante, con leggera pendenza verso il corso d'acqua in direzione n/e-s/o. L'area è individuata alle coordinate geografiche Gauss - Boaga x:1622176 e y:4869668.

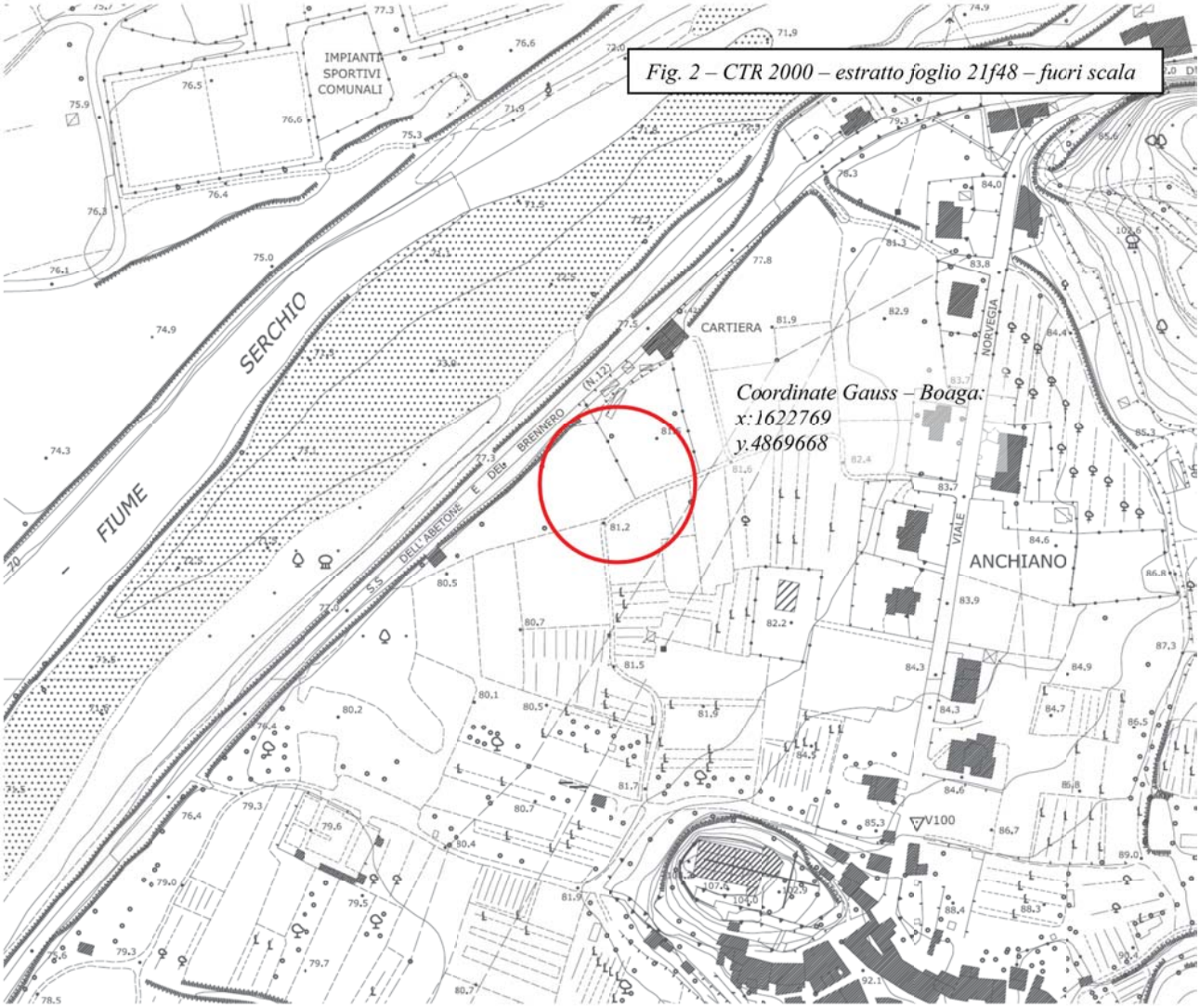


Fig. 2 – CTR 2000 – estratto foglio 21f48 – fuori scala

Per le cartografie di complemento si è fatto riferimento allo strumento urbanistico comunale, alle cartografie di Piano del PAI del Serchio; sono stati inoltre ricavati gli estratti dalle cartografie tecniche regionali disponibile in scala a 10.000 e 2.000:

- Carta Tecnica della Regione Toscana in scala 1:10.000 (sez. 261030)
- Carta Tecnica della Regione Toscana in scala 1:2.000 (21f48)

- Autorità di Bacino del Fiume Serchio – Piano di Bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)
- Piano Strutturale del Comune di Borgo a Mozzano: Indagini geologiche di supporto.
- Regolamento Urbanistico e cartografie allegate del Comune di Borgo a Mozzano.

Sull'area è stato eseguito un rilievo planoaltrimetrico di dettaglio riportato nelle planimetrie di progetto, del quale è riportato un sovrapposto con la cartografia tecnica regionale in scala 1:2000. La zona ha una pendeza inferiore ai 2 gradi e la stessa sarà mantenuta per il tratto previsto per l'ingombro del manufatto.

Il progetto della rotonda interessa un area di circa 50 m di diametro, vviamente verso sud-est , sul lato opposto del Fiume Serchio, sarà realizzata anche una nuova strada che permetterà di collegare la statale alla strada comunale di Anchiano.

Le caratteristiche costruttive della rotonda sono le seguenti:

Diametro cerchio inscritto = 47,00 m
Raggio aiola centrale a verde = 14,75 m
Fascia retroriflettente NON sormontabile = 1,25 m
Banchina interna in cbm colorato = 1,50 m
Larghezza corsia anello = 6,00 m

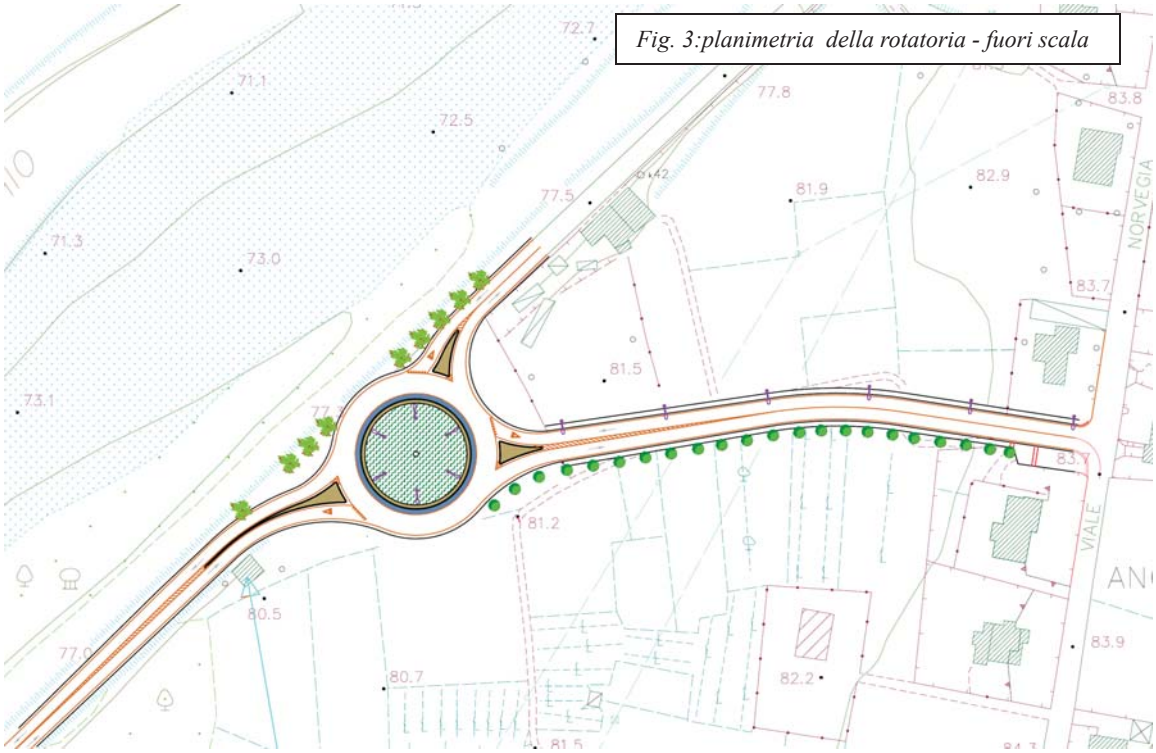


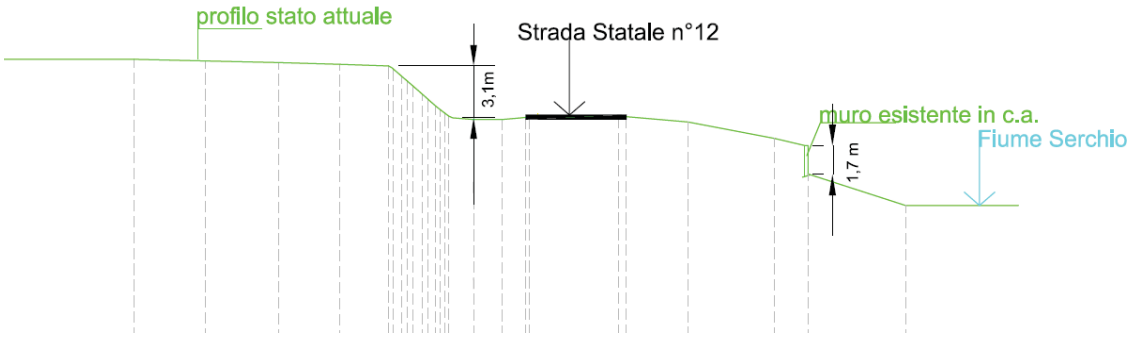
Fig. 3:planimetria della rotatoria - fuori scala

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROLOGICO DELL'AREA.

L'area interessata dall'intervento si trova in corrispondenza di un terrazzo alluvionale di origine fluviale formatosi per l'attività erosiva-deposizionale del Fiume Serchio. La morfologia è sub-pianeggiante con debole pendenza verso il corso d'acqua. La spianata si trova a valle di un promontorio roccioso, in cui

si hanno vasti affioramenti di Maiolica, che ha favorito lo sviluppo dell'area di deposito. Morfologicamente, la zona presenta una debole pendenza verso ovest-sudovest, intervallata da due piccole scarpate, dall'area pianeggiante (quota 82m s.l.m.) alla quota a cui si trova attualmente il Fiume Serchio (77/78 m s.l.m). I due piccoli salti sono uno a valle e l'altro subito a monte della strada statale, come illustrato nella sezione riportata di seguito ottenuta da rilievo topografico di dettaglio (fig. 4). La scarpata maggiore è quella a monte della strada e ha massimi dislivelli intorno ai 3 m circa: dai sopralluoghi effettuati non risulta coinvolta in fenomeni di dissesto. Al momento, ad eccezione di un piccolo lo scavo in prossimità di un fabbricato in ristrutturazione, la zona è completamente vegetata, come mostrato nella foto 1 riportata di seguito.

Fig. 4 – Sezione dell'area interessata dall'intervento ottenuta da rilievo topografico di dettaglio



Il quadro geologico dell'area presenta, in corrispondenza della zona su cui la rotatoria sarà impostata, un'antica spianata morfologica di origine fluviale (at), caratterizzata dalla presenza di materiale alluvionale formato prevalentemente da sabbie e limi con ciottoli di composizione arenacea. I ciottoli sono arrotondati, granulometricamente assortiti (da cm fino a dimensioni notevoli) non classati. Il deposito risulta da mediamente a ben addensato (foto 4).

È stata eseguita una prova penetrometrica con penetrometro dinamico pesante per determinare i parametri fisico-meccanici del deposito. Con la prova sono stati attraversati terreni prevalentemente incoerenti, appartenenti ai depositi alluvionali terrazzati di fondovalle *(at)* fino alla profondità di 5,6 m dal piano di campagna, dove si è verificato il rifiuto; tali depositi sono costituiti in prevalenza da sabbie sciolte o poco addensate nei livelli più superficiali e da ghiaie e ciottoli embricati in matrice sabbioso-limosa più in profondità. Durante l'esecuzione della prova non è stata rinvenuta la presenza di falda. I parametri ottenuti sono riportati nel capitolo 6 e in dettaglio nell'allegato.

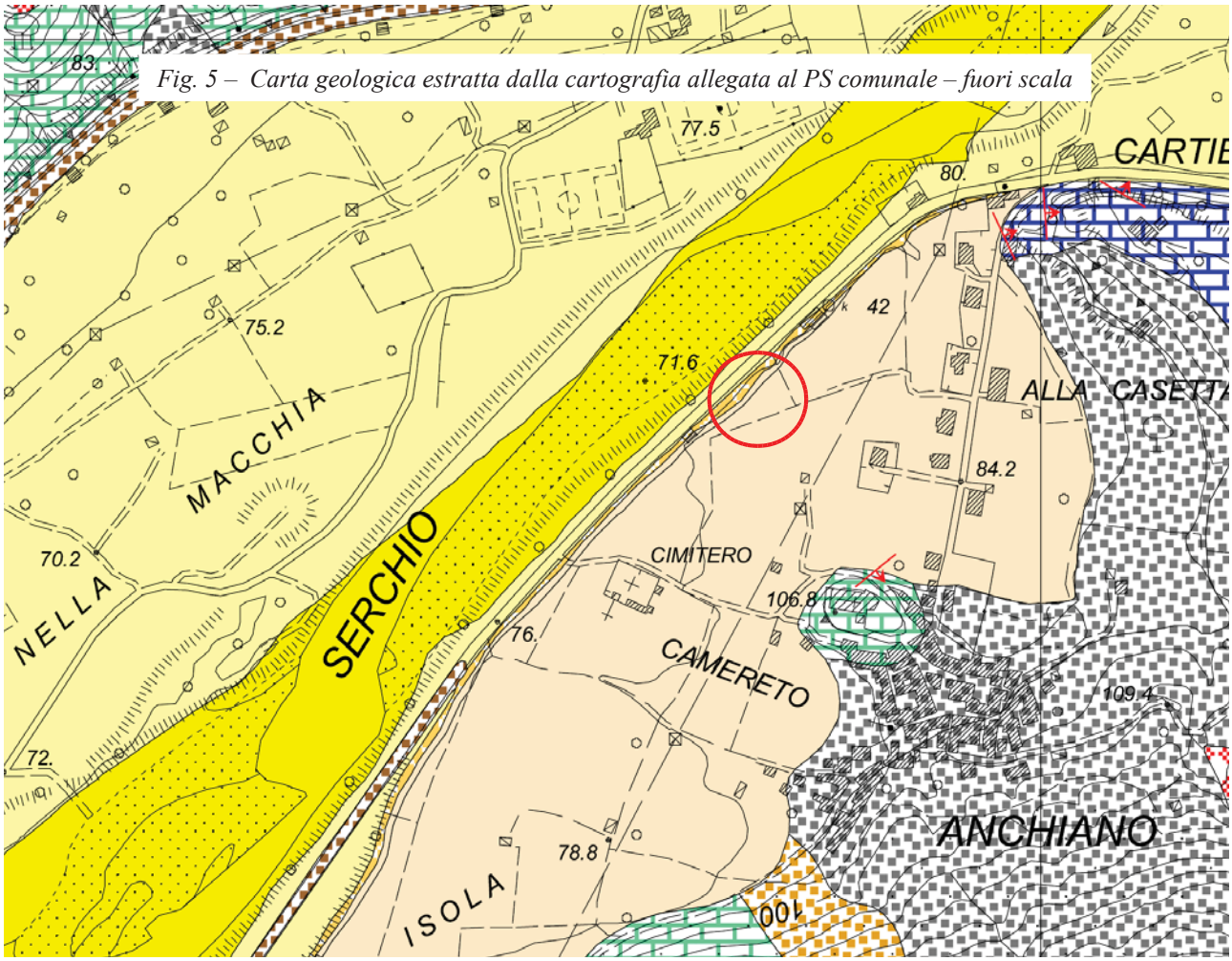


Fig. 5 – Carta geologica estratta dalla cartografia allegata al PS comunale – fuori scala

DEPOSITI QUATERNARI

Forme e depositi dovuti all'azione delle acque superficiali

all Depositi alluvionali indistinti

all1 Depositi alluvionali o colluviali recenti

all2 Depositi alluvionali o colluviali attuali

at Spianate di origine fluviale, con o senza deposito, in diversi ordini

pall Depositi alluvionali o colluviali di paleovalli

ct Alluvioni antiche terrazzate

ct/mg Ciottoli a prevalenti elementi di arenaria Macigno

dt Depositi detritici di versante

SUCCESSIONE TOSCANA NON METAMORFICA

mac Maiolica: calcari a grana fine bianchi e grigi e calcareniti grigie gradate a liste e noduli di selce. (Titonico sup.-Barremiano)

di Diaspri: radiolariti e argilliti silicee sottilmente stratificate, prevalentemente rosse. (Malm p.p.)

cs2 Calcare selcifero superiore: calcari e calcareniti gradate grigio scure a liste e noduli di selci nere. (Dogger sup.-Malm p.p.)

Foto 1 – panoramica sull'area vista da sud-ovest, lato valle strada – dicembre 2013

Foto 2 – panoramica sull'area vista da sud-ovest, monte strada – dicembre 2013

Foto 3 – panoramica sull'area interessata dallo scavo a qupta superiore – dicembre 2013

Foto 4 – particolari sul deposito alluvionale visibile da uno scavo eseguito nell'area– dicembre 2013

Foto 5: Particolare del terrazzo ad oggi a coltivazione di ulivi e viti

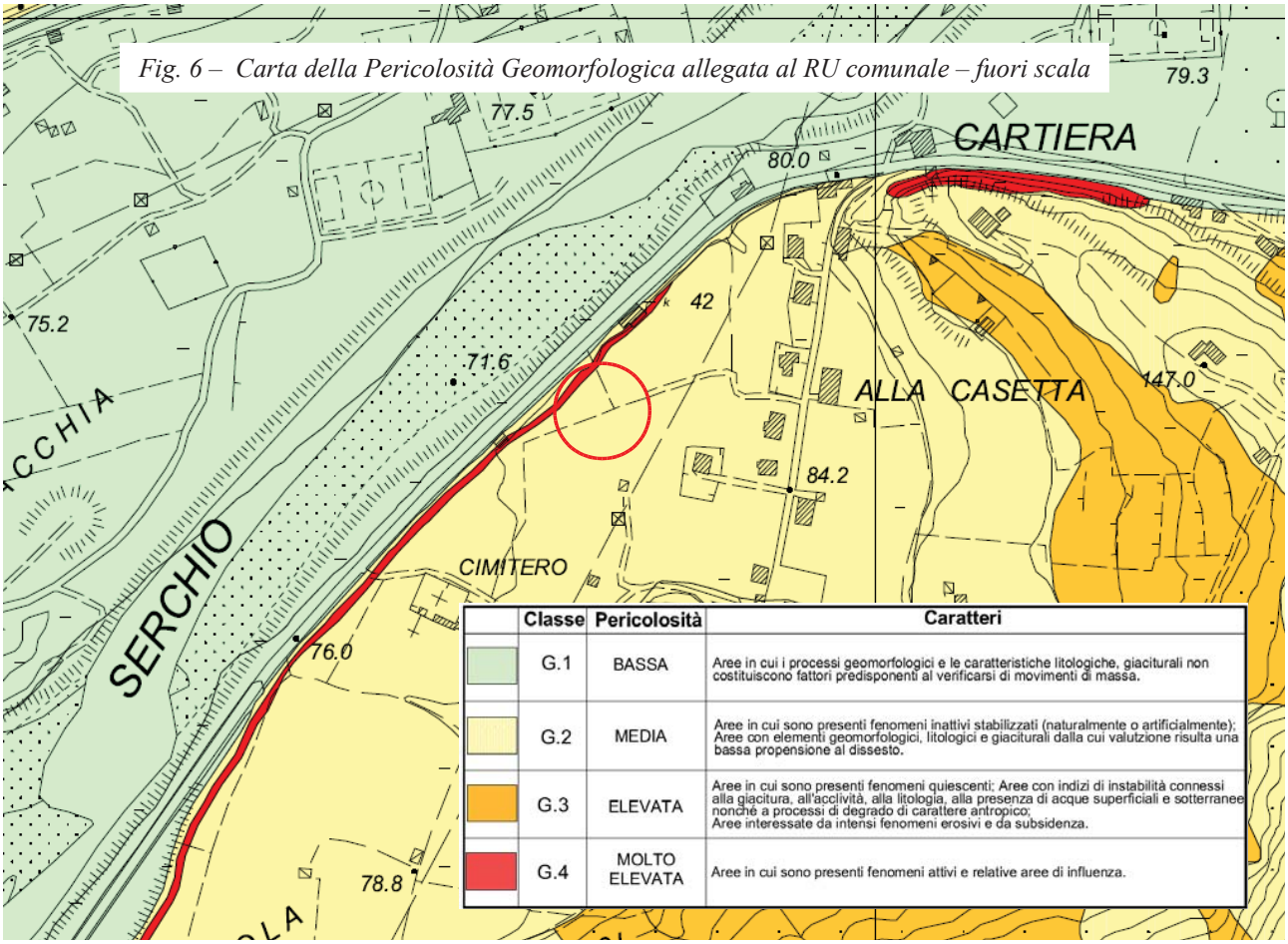
5. VINCOLI ESISTENTI SUL TERRITORIO

5.1 Analisi delle Pericolosità e Fattibilità da strumento Urbanistico Vigente

5.1.1 Pericolosità e Fattibilità geomorfologica/geotecnica

Dall'estratto della carta di pericolosità geomorfologica, allegate all'RU del comune di Borgo a Mozzano, si evince che l'area su cui sarà realizzata la struttura si trova prevalentemente in classe di pericolosità G2 (media) ed in minima parte in G4 (per una fascia ristretta lungo la statale corrispondente al tratto di scarpata che congiunge la piana alluvionale vera e propria con il fondovalle).

Fig. 6 – Carta della Pericolosità Geomorfologica allegata al RU comunale – fuori scala



I gradi di fattibilità, come sopra definiti, nascono dalla sovrapposizione con le Carte della Pericolosità geomorfologica, idraulica e sismica redatte ai sensi del D.P.G.R. 26/04/07 n. 26/R con le destinazioni d'uso del Territorio valutate in base alle condizioni di esposizione:

tab. 6.2. La Fattibilità in relazione agli aspetti geomorfologici/geotecnici

		GRADO DI PERICOLOSITA'			
		G1	G2	G3	G4
2	*Interventi di ampliamento, adeguamento e di ristrutturazione delle infrastrutture e attrezzature pubbliche o di interesse pubblico, riqualificazione stradale (ampliamenti, rettifiche tracciato ecc.)*	**II**	**II**	**III**	**IV**

Nella precedente tabella sono evidenziati i campi che emergono in considerazione della pericolosità dell'area pertanto abbiamo:

Fattibilità geomorfologica/geotecnica 2

Per gli interventi che ricadono in questa classe "*sono prescritte indagini di approfondimento, condotte a norma delle vigenti normative, richieste sia nel caso di intervento diretto, sia di Piano Complesso di Intervento, sia di Piano Attuativo. In particolare le indagini di supporto alla progettazione edilizia dovranno essere finalizzate alle consuete valutazioni delle tensioni ammissibili, dei cedimenti assoluti e differenziali, dei possibili fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni per variazione delle condizioni di umidità del suolo nonché, nei casi di costruzione su pendio, alla valutazione della stabilità del pendio medesimo. Per le aree già classificate in classe di pericolosità geomorfologica "3ag" ai sensi del P.T.C, ed inserite in classe di pericolosità geomorfologica G.2. ai sensi del 26/R, la fattibilità degli interventi è inoltre subordinata alla esecuzione di specifiche indagini geologico-tecniche da condursi a livello di area complessiva comprovanti l'esistenza di adeguati coefficienti di sicurezza, e finalizzate alla valutazione della necessità di un eventuale progetto per la mitigazione del rischio da frana".*

Fattibilità geomorfologica/geotecnica 4

Per questa classe di fattibilità "*sono prescritte indagini di approfondimento, condotte a norma delle vigenti normative, richieste sia nel caso di intervento diretto, sia di Piano Complesso di Intervento, sia di Piano Attuativo.*
Nelle aree in classe di fattibilità IV si prescrive il rispetto dei seguenti criteri:
a) la realizzazione di interventi di nuova edificazione o di nuove infrastrutture e/o attrezzature non diversamente localizzabili è subordinata alla preventiva esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione;
b) gli interventi di messa in sicurezza devono essere definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici, condotti secondo gli standard indicati nelle normative vigenti, devono comunque essere tali da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza;
c) in presenza di interventi di messa in sicurezza si prescrive l'attivazione di opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto;
d) l'avvenuta messa in sicurezza conseguente alla realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esisti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza devono essere certificati;
e) relativamente agli interventi per i quali sia dimostrato il non aggravio delle condizioni di instabilità dell'area, purché siano previsti, ove necessario, interventi mirati a tutelare la pubblica incolumità, a ridurre la vulnerabilità delle opere esposte mediante consolidamento o misure di protezione delle strutture per ridurre l'entità di danneggiamento, nonché l'installazione di sistemi di monitoraggio per tenere sotto controllo l'evoluzione del fenomeno; della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia."

5.1.2 Pericolosità e Fattibilità idraulica

Dal punto di vista della pericolosità idraulica nelle cartografie di riferimento dell'RU comunale l'area risulta in zona priva di rischi di inondazioni:

Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

a) non vi sono notizie storiche di inondazioni.

b) sono in situazioni di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2,00 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

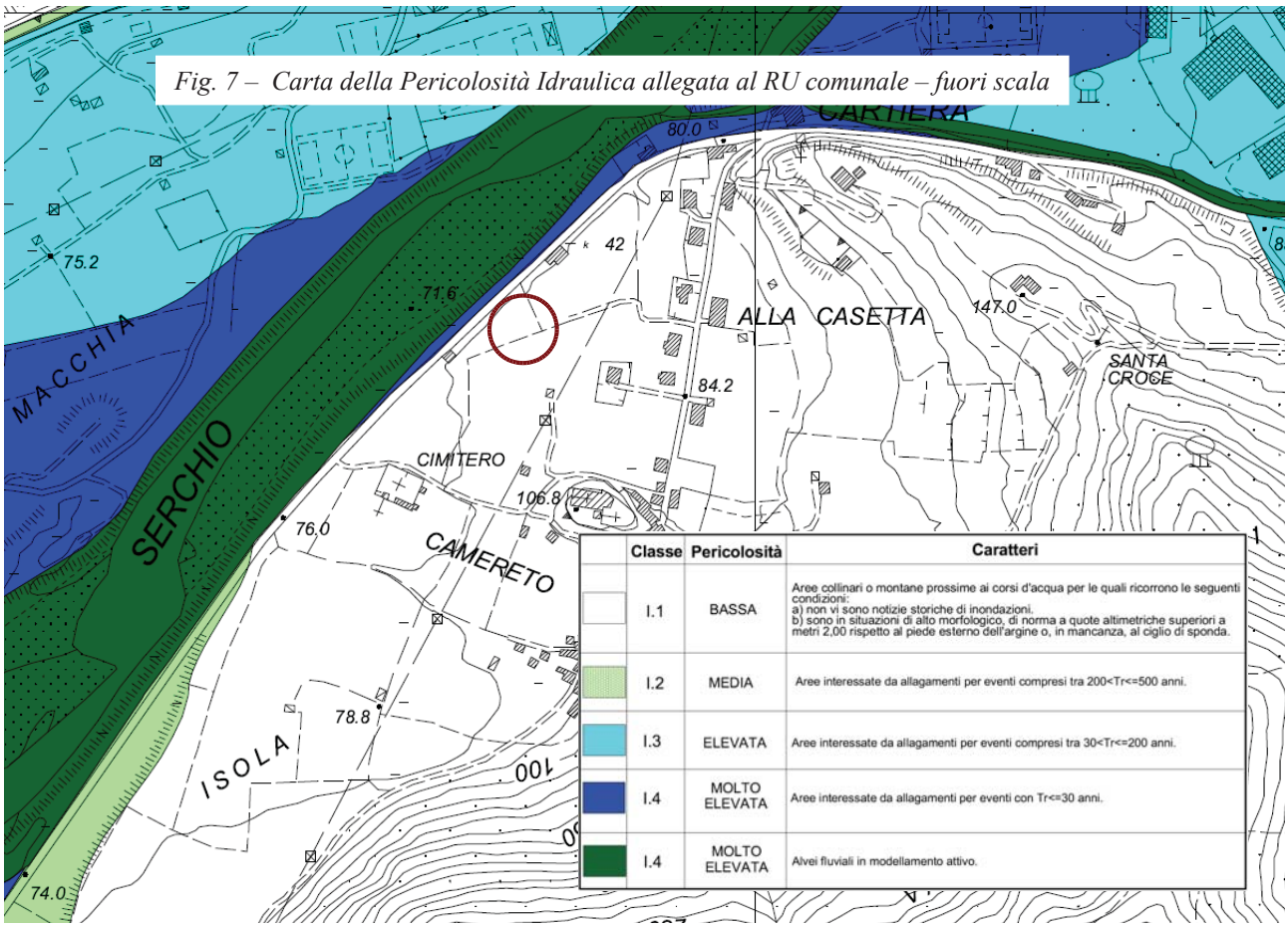


Fig. 7 – Carta della Pericolosità Idraulica allegata al RU comunale – fuori scala

In queste zone, come si evince dalla tabella 6.3 e successiva, non si hanno prescrizioni di alcun tipo.

Tab. 6.3. La Fattibilità in relazione agli aspetti idraulici

		GRADO DI PERICOLOSITA'			
		I1	I2	I3	I4
2	*Interventi di ampliamento, adeguamento e di ristrutturazione delle infrastrutture e attrezzature pubbliche o di interesse pubblico, riqualificazione stradale (ampliamenti, rettifiche tracciato ecc.)*	I	II	IV	IV

Fattibilità Idraulica	PRESCRIZIONI
I	Nessuna prescrizione specifica

6.1.3 Pericolosità e Fattibilità Sismica

Le cartografie dello strumento Urbanistico non sono state ad oggi adeguate alla 53/R e al momento l'unica cartografia di riferimento comunale è la ZMPSL, redatta secondo i parametri imposti dalla 26/R.

Dal punto di vista sismico l'area, nella carta delle ZMPSL, risulta in classe di pericolosità S3 trovandosi in area caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali di spessori spesso elevati su substrato sismico.

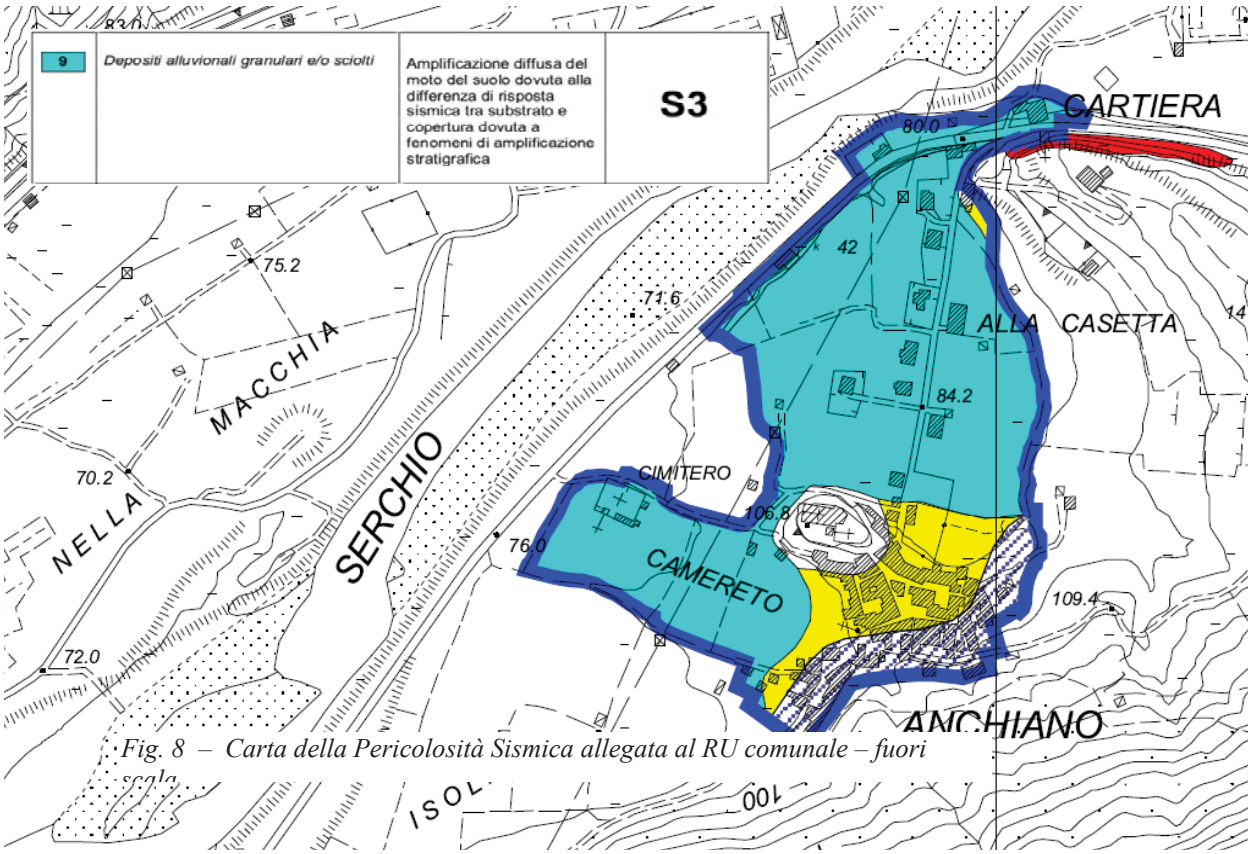


Fig. 8 – Carta della Pericolosità Sismica allegata al RU comunale – fuori scala

tab. 6.3. La Fattibilità in relazione agli aspetti sismici

		GRADO DI PERICOLOSITA'			
		S1	**S2**	**S3**	**S4**
2	*Interventi di ampliamento, adeguamento e di ristrutturazione delle infrastrutture e attrezzature pubbliche o di interesse pubblico, riqualificazione stradale (ampliamenti, rettifiche tracciato ecc.)*	**I**	**II**	**III**	**IV**

In questo caso sono *"prescritte, sia nel caso di intervento diretto, sia di Piano Complessivo di intervento, sia di Piano Attuativo, indagini geofisiche sismiche, condotte secondo i criteri stabiliti dalle Istruzioni Tecniche del Progetto V.E.L. della Regione Toscana, che definisca spessori, geometrie, e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica tra terreni tra alluvioni e bedrock sismico, ovvero alla definizione della "Categoria del suolo di fondazione" secondo le vigenti normative in materia. Nel caso di interventi su strutture portanti devono essere verificati e garantiti adeguati gradi di sicurezza in relazione all'entità degli eventi sismici attesi".*

5.2 Compatibilità dell'intervento con le norme di Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Serchio.

Gli estratti delle cartografie relative al PAI del Bacino del F. Serchio (carta della Franosità e Carta delle Norme di Piano nel settore del Rischio Idraulico) di cui tener conto ai fini del presente studio e che permettono di valutare la compatibilità dell'intervento con le misure di salvaguardia dettate dalle norme di Piano sono riportati di seguito.

5.2.1 Rischio di frana

Dalla carta della franosità del Fiume Serchio l'area interessata dalla realizzazione della rotonda si trova in una zona pianeggiante caratterizzata dalla presenza, lungo il lato monte della strada statale, di un bordo di terrazzo morfologico, di altezza media intorno ai 3m.

La realizzazione dell'intervento comporterà l'arretramento verso sud-est di questo terrazzo, al bordo esterno della rotonda, e una parziale modifica nel tratto iniziale e finale dove su collega alla morfologia che rimane invariata. L'area subirà quindi una modifica morfologica che consisterà essenzialmente in un livellamento dell'area (con una penenza minima confrontabile con quella attuale 1/2%) per tutto il tratto interessato e la creazione di una nuova scarpata (vedi sezione di confronto) al bordo esterno della rotatoria.

Secondo tale cartografia, riportata in Fig. 9, l'area di variante è classificata in parte in pericolosità bassa P1, in corrispondenza delle zone pianeggianti, mentre per una fascia ristretta l'intervento ricade in pericolosità elevata 4: tale fascia corrisponde al bordo di terrazzo che costeggia tutta la strada statale.

Le norme di Piano riportano che per le aree a pericolosità elevata l'attività di pianificazione deve essere condotta nel rispetto delle disposizioni dell'articolo 12 e cioè finalizzate alla conservazione del suolo, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione contro presumibili effetti dannosi di interventi antropici.

Articolo 12 – Aree a pericolosità di frana molto elevata (P4) (I.V.) *1. Le aree del Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico, rappresentate nella "Carta della franosità del Bacino del Fiume Serchio" in scala 1:10.000 come "Aree al bordo di terrazzi fluviali e/o di terrazzi morfologici in genere soggette a possibili collassi o frane;.....e due fasce di rispetto individuate a partire dall'orlo e dal piede del terrazzo e di ampiezza pari almeno all'altezza della scarpata del terrazzo stesso*".

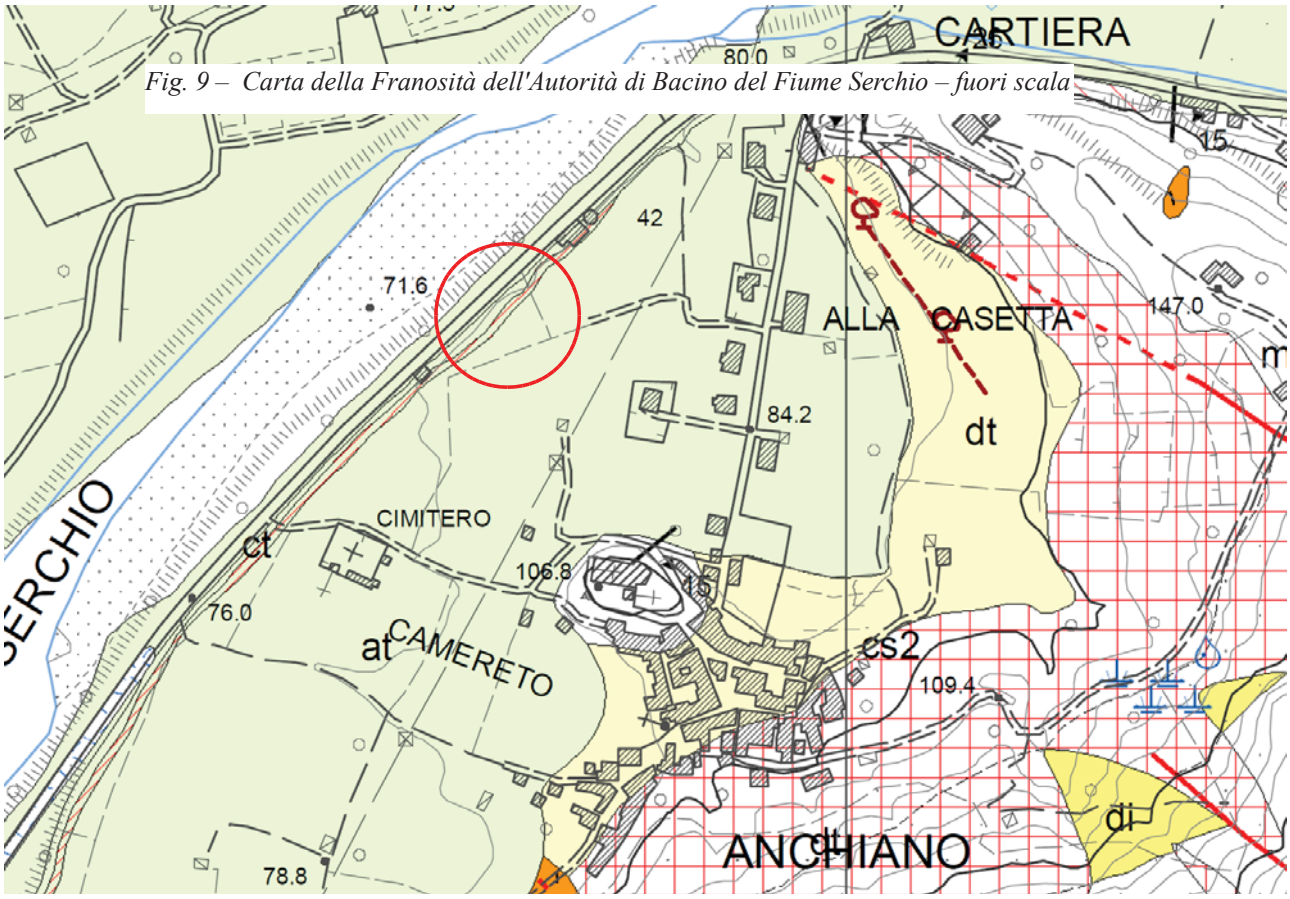


Fig. 9 – Carta della Franosità dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio – fuori scala

AREE DI FONDOVALLE E/O PIANEGGIANTI, con eventuali problemi relativi alla capacità portante dei terreni ed ai cedimenti

Aree al bordo di terrazzi fluviali e\o di terrazzi morfologici in genere soggette a possibili collassi o frane (Norma: art. 12)

Secondo le norme PAI, comma 9 articolo 12, " *Sono ammessi interventi di adeguamento o restauro delle infrastrutture pubbliche, o di interesse pubblico, a sviluppo lineare, nonché nuove infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico a sviluppo lineare (compresi parcheggi a raso), non delocabilizzabili e ritenuti essenziali da parte dell'amministrazione interessata, previo parere favorevole vincolante dell'Autorità di bacino, sulla base di adeguata indagine geologica, geotecnica e/o idraulica e previa realizzazione di interventi di mitigazione locale del rischio da frana.*

Tali interventi devono essere realizzati senza aggravare le condizioni di instabilità del versante, senza compromettere la possibilità di realizzare più ampie e ulteriori opere strutturali di bonifica e devono essere coerenti con la pianificazione degli interventi di protezione civile.

È stata pertanto eseguita un'analisi della stabilità della scarpata che si viene a creare a seguito del livellamento morfologico dell'area (come illustrato nella sezione schematica in fig.10 - nella figura in verde è riportato il profilo attuale dell'area ed in blu il profilo modificato) per valutare se la morfologia, così modificata, si trova in condizioni di stabilità e se eventualmente devono essere realizzati interventi di mitigazione del rischio frana. Da sottolineare che al momento attuale non vi sono situazioni di instabilità in atto o potenziali.

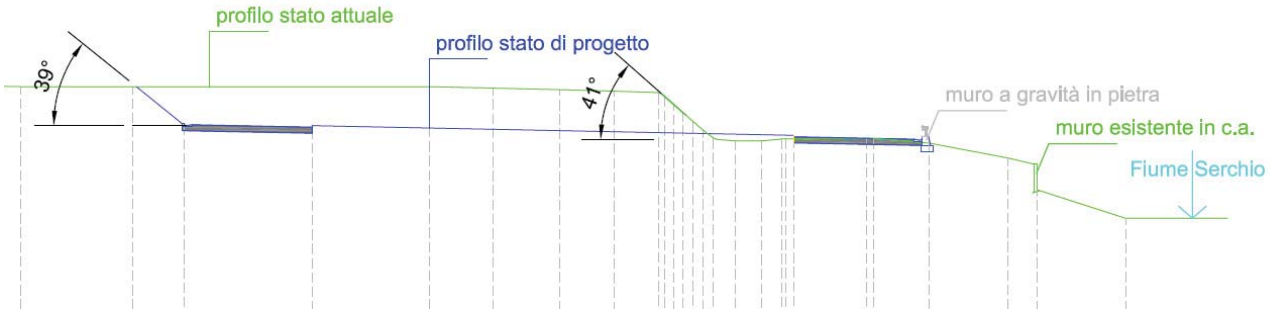


Fig. 10 – sezione schematica della morfologia prima e dopo l'intervento – fuori scala

5.2.2 Rischio idraulico

Dal punto di vista idraulico l'area non risulta cartografata tra le aree soggette alle disposizioni di salvaguardia.

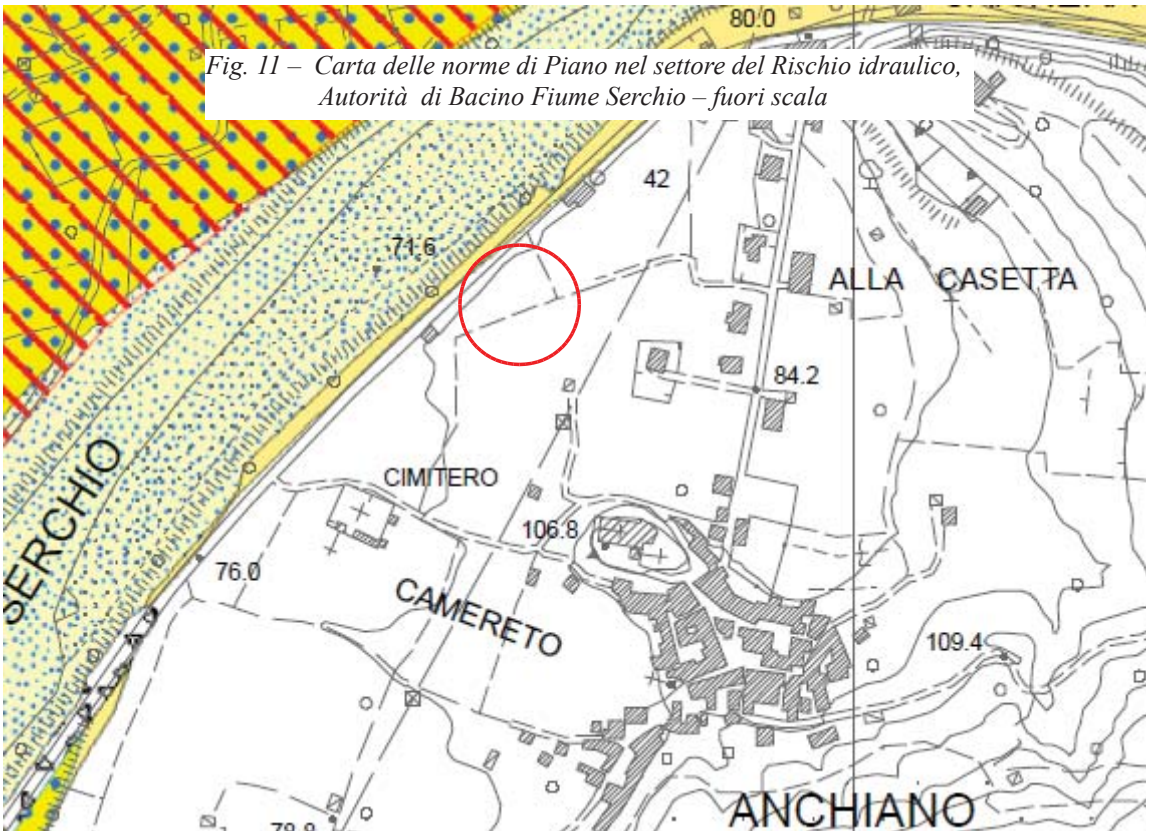


Fig. 11 – Carta delle norme di Piano nel settore del Rischio idraulico, Autorità di Bacino Fiume Serchio – fuori scala

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOFISICA DEL SITO

Per lo studio della stabilità della scarpata parte integrante del progetto per la realizzazione della rotatoria sono state eseguite delle indagini geognostiche e geofisiche: le prima per la parametrizzazione fisico meccanica interessati dall'intervento, le seconde per l'inquadramento, dal punto di vista sismico, dell'area e l'ottenimento dei dati necessari di cui necessita il programma di elaborazione, per le analisi di stabilità in condizioni sismiche. In figura 12 è riportata l'ubicazione delle indagini.

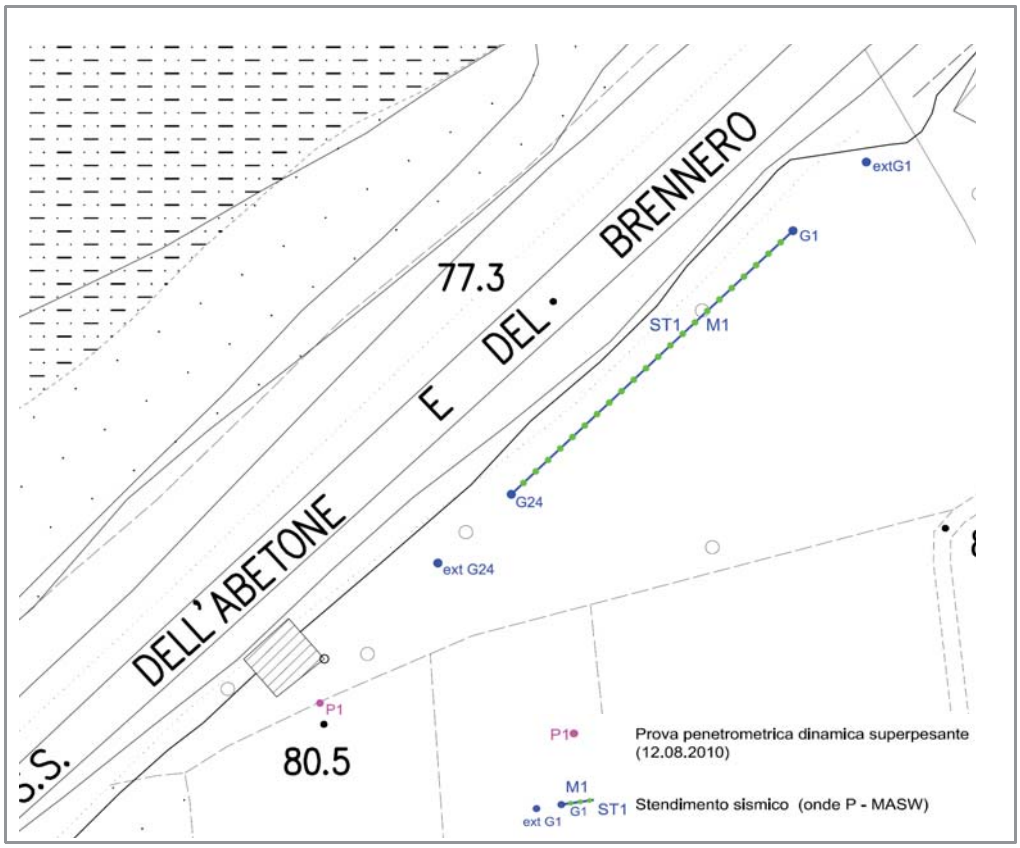


Fig. 12 – Ubicazione delle indagini

6.1 Indagini geognostiche

Con la prova penetrometrica dinamica, i cui risultati sono esposti in dettaglio nei tabulati in *allegato,* sono stati attraversati terreni prevalentemente incoerenti, appartenenti ai depositi alluvionali terrazzati di fondovalle *(at)* fino alla profondità di 5,6 m dal piano di campagna, dove si è verificato il rifiuto; tali depositi sono costituiti in prevalenza da sabbie sciolte o poco addensate nei livelli più superficiali e da ghiaie e ciottoli embricati in matrice sabbioso-limosa più profondità.

Prova P1

prof. dal p.c. (m):	*litotipo:*
0,00 – 1,20:	*Sabbie da sciolte a poco addensate con rari ciottoli (suolo e depositi alluvionali superficiali più fini).*
1,20 – 5,00:	*Sabbie poco addensate con livelli di ghiaie e ciottoli diffusi.*
5,00 – 5,60:	*Ghiaie e ciottoli embricati in matrice sabbiosa addensata.*

Assenza di Falda

Di seguito viene riassunta la successione stratigrafica:

Livello A	**Litologia:**	**parametri geotecnici**	
Da p.c. a circa 1.2m	*Suolo e deposito formato da sabbie sciolte a poco addensate con rari ciottoli*	Numero di colpi medio Peso di Volume Peso di Volume saturo Coesione non drenata Angolo di attrito Modulo edometrico	N= 6.62 γ= 1.6 t/mq γs= 1.9 t/mq Cu= 0 Φ = 29.85° E_{ed}= 41.06 Kg/cmq
Livello B	**Litologia:**	**parametri geotecnici**	
1.2 m –5 m	*sabbie poco addensate con livelli di ghiaie e ciottoli diffusi*	Numero di colpi medio Peso di Volume Peso di Volume saturo Coesione non drenata Angolo di attrito Modulo edometrico	N= 10.98 γ= 1.8 t/mq γs= 2.1 t/mq Cu= 0 Φ =31.07° E_{ed}= 50.02 Kg/cmq
Livello C	**Litologia:**	**parametri geotecnici**	
5 m – 5.6 m	*Ghiaiee ciottoli embricati in matrice sabbiosa addensata*	Numero di colpi medio Peso di Volume Peso di Volume saturo Coesione non drenata Angolo di attrito Modulo edometrico	N= 29.4 γ= 2.1 t/mq γs= 2.5 t/mq Cu= 0 Φ =36.23° E_{ed}=69.8 Kg/cmq

L'elaborazione della prova penetrometrica viene eseguita considerando una litologia incoerente e cautelativamnete viene posta una coesione nulla. In realtà questi depositi hanno una coesione talvolta anche notevole. Le analisi di stabilità sono state eseguite attribuendo a queste litologie un minimo di coesione, altrimenti impossibili da verificare, e comunque inferiore rispetto al valore che questi terreni effettivamente hanno.

Trattandosi di dislivelli di circa tre metri lo scavo che si andrà a realizzare per livellare l'area interesserà solo i primi due strati rinvenuti dalla prova.

6.2 Indagini geofisiche

Sinteticamente forniamo una descrizione della stesa sismica a rifrazione in onde p e della MASW eseguite nell'area, per i cui dettagli si rimanda all'allegato.

6.2.1 Sismica a rifrazione in onde P

Lo scopo dell'indagine geofisica di sismica a rifrazione in onde P è stato quello di definire gli spessori dei litotipi più superficiali presenti nell'area oggetto di studio. Per la prospezione sismica in questione, è stato effettuato un unico stendimento, denominato ST1, ubicato lungo il ciglio di monte della Strada Statale 12, così come riportato in planimetria ; per lo stendimento è stato scelto un interasse tra i geofoni pari a 2,0 m, per una lunghezza complessiva di 46,0 metri (analogo a quello della prova MASW).Sono state effettuate 7 registrazioni in onde P, con 7 punti di scoppio posizionati come segue:

- due tiri esterni, ubicati rispettivamente alla distanza di – 12,0 m dal geofono G1 e + 12,0 m dal geofono G24;
- due tiri in corrispondenza dei geofoni estremi G1 e G24;
- tre tiri intermedi, ubicati rispettivamente fra i geofoni G6 e G7, a metà dello stendimento (tra G12 e G13) e tra i geofoni G18 e G19.

Dall'indagine eseguita attraverso lo stendimento sismico, sono stati riconosciuti n. 3 sismostrati a velocità Vp delle onde sismiche di compressione P crescenti con la profondità (vedi Allegato per dettagli):

- *strato 1*: dalla superficie fino a profondità variabili da 2,0÷2,2 m dal p.c. verso l'estremo G24, a massimi di 3,0÷3,5 m sulla maggior parte della stesa, compresa tra i geofoni G1 e G16, è presente uno strato caratterizzato da velocità basse (Vp = 350÷600 m/sec), correlabili con l'orizzonte più superficiale di *suolo e depositi alluvionali più fini*, costituiti in prevalenza da *sabbie sciolte/poco addensate con rari ciottoli*. Tali terreni sono stati attraversati con la vicina prova penetrometrica P1, eseguita all'esterno dell'estremo G24, fino alla profondità di 1,2 m dal p.c. *(all. 3)*;
- *strato 2*: caratterizzato da velocità (Vp) comprese tra 600 e 1.200 m/sec e correlabile con *depositi alluvionali da poco a mediamente addensati* costituiti da *sabbie con livelli di ghiaie e ciottoli eterometrici diffusi*; la base di tale orizzonte, attraversato con la vicina prova penetrometrica P1 fino alla profondità di circa 5,0 m dal p.c., si rinviene a profondità variabili da circa 5,5 m dal p.c. verso l'estremo G1 ad un massimo di 7,0 m verso l'opposto G24;
- *strato 3*: caratterizzato da velocità (Vp) maggiori di 1.200 m/sec, correlabili con la presenza di *depositi alluvionali grossolani ben addensati (ghiaie e ciottoli eterometrici embricati in matrice sabbioso-limosa)* o, più in profondità, con un *substrato litoide* (bedrock sismico); tali terreni, in corrispondenza dei quali si è verificato il rifiuto della prova penetrometrica P1 *(all. 3)*, si riscontrano a profondità superiori a 5,5 m dal p.c. verso l'estremo G1 e a 7,0 m verso l'opposto G24, in buon accordo con quanto ricavato dalla prova sismica MASW M1.

La massima profondità indagata con la prospezione sismica è stata di circa 16÷17 metri.

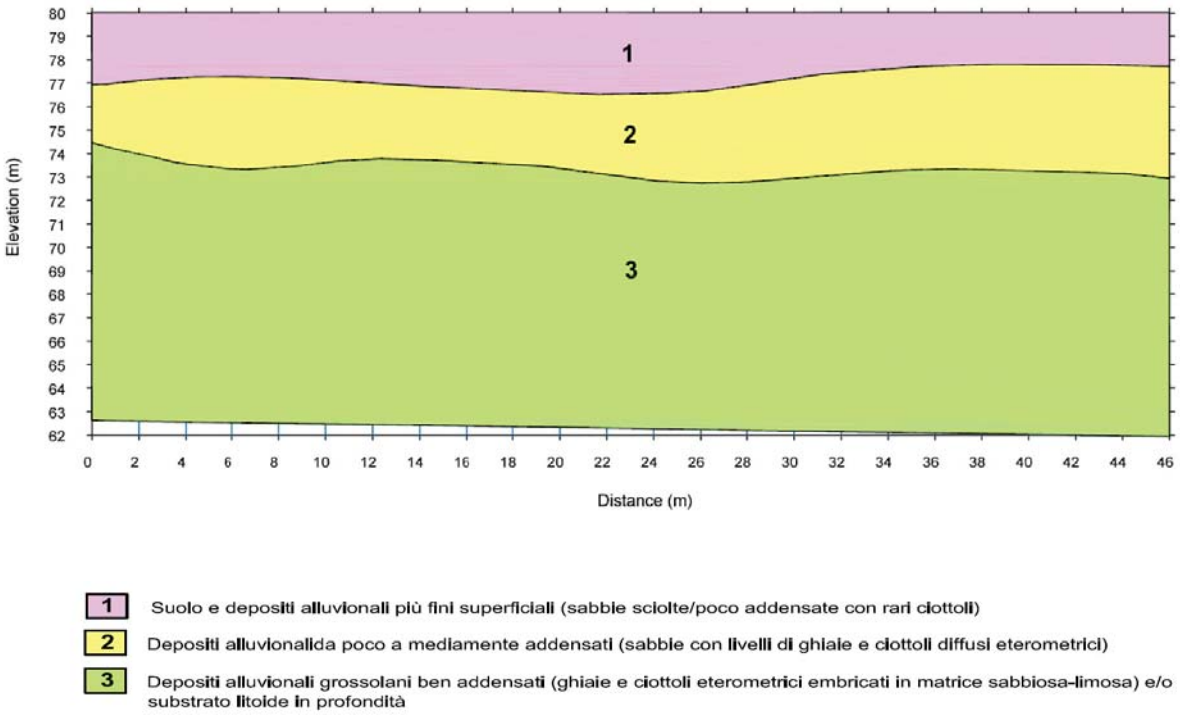


Fig. 13– Sezione sismostratigrafica

Si possono ipotizzare pertanto strati sub-orizzontali con caratteristiche via via migliori con la profondità. Lo strato più profondo, rinvenuto intorno ai 7 m di profondità, ha velocità sismiche confrontabili con quelle di un substrato litoide.

6.2.2 Analisi multicanale delle onde superficiali (MASW)

Per la prova MASW in questione è stato effettuato uno stendimento (M1), ubicato lungo il ciglio di monte della Strada Statale 12, come riportato in planimetria allegata *(all. 2)*; per tale stendimento è stato scelto un interasse tra i geofoni pari a 2,0 m, per una lunghezza complessiva di 46,0 metri, analogo a quello eseguito per la rifrazione con onde P.
Sono state effettuate 4 registrazioni, con 4 punti di energizzazione posizionati secondo il seguente schema:
- due tiri esterni, ubicati rispettivamente alla distanza di – 10,0 m e – 5,0 m dal geofono G1;
- due tiri esterni, ubicati rispettivamente alla distanza di + 10,0 m e + 5,0 m dal geofono G24.

La qualità delle registrazioni ottenute è stata generalmente buona.

In *figura 14* è riportato il profilo verticale delle velocità,mentre a destra, in *figura 15* sono riportati, in colonna stratigrafica, per ogni orizzonte definito, i valori di velocità delle onde trasversali (Vs) e di densità dei materiali, nonché lo spessore dell'orizzonte stesso.

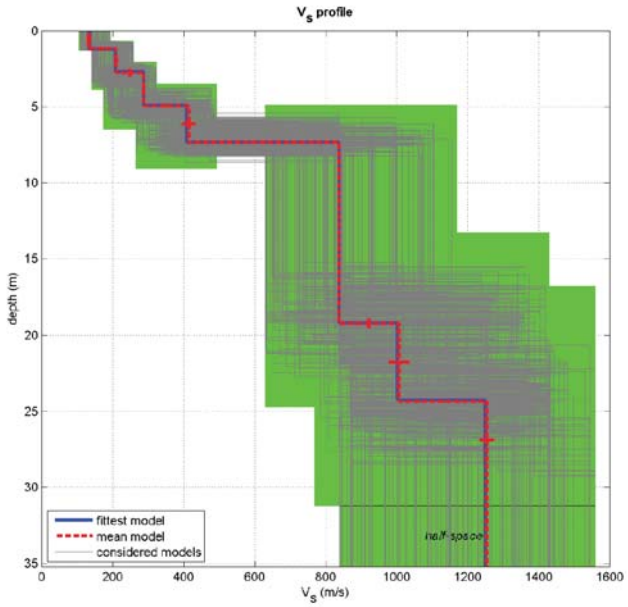


Fig. 14 – profilo verticale delle Velocità

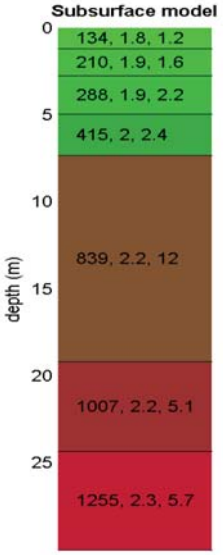


Fig. 15 – Colonna stratigrafica

Lo stendimento sismico MASW ha permesso di individuare, in buona corrispondenza con i risultati della sismica a rifrazione in onde P, orizzonti sismici sovrapposti, caratterizzati, nell'ambito dei 38 metri sotto il piano campagna, dalla seguente successione:

spessore orizzonte	velocità onde S	profondità progressiva dal piano di campagna
1,2 m	→ Vs = 134 m/sec	1,2 m
1,6 m	→ Vs = 210 m/sec	2,8 m
2,2 m	→ Vs = 288 m/sec	5,0 m
2,4 m	→ Vs = 415 m/sec	7,4 m
11,9 m	→ Vs = 839 m/sec	19,3 m
5,1 m	→ Vs = 1007 m/sec	24,4 m
10,6 m	→ Vs = 1255 m/sec	35,0 m

a circa 7 m dal piano campagna le velocità delle onde S raggiunge gli 800m/s, corrispondente alle velocità di riferimento del substrato sismico, come indicato nel paragrafo precedente.

6.2.2.1 Calcolo della Vs30 per la definizione della categoria del suolo di fondazione

I parametri da considerare nella determinazione delle Vs30 sono riferiti alla velocità delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri al di sotto della fondazione (VS30), ottenuta attraverso la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\Sigma_{i=1,N} \; h_i / V_i}$$

dove hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i–esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il caso in esame vede la presenza di orizzonti di copertura di spessore complessivo pari a circa 7,4 m, caratterizzati da un valore di VS7,4 dell'ordine di 247 m/sec (sottosuolo di tipo C), al di sopra di orizzonti nettamente più addensati e compatti caratterizzati da velocità (VS) > 800 m/s (substrato sismico di riferimento).

Sulla base di tali considerazioni, secondo quanto definito nelle NTC 2008, si assegna al sito d'interesse una *categoria di sottosuolo* di tipo E, corrispondente a: *terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore ai 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).*

7. ANALISI DI STABILITA'

L'area, come già sottolineato nel capitolo 5, ricade nella carta della franosità del Fiume Serchio, anche se per una fascia ristretta, in classe di pericolosità elevata 4: tale fascia corrisponde al bordo di un terrazzo morfologico che costeggia tutta la strada statale nel tratto interessato dall'intervento.

Le norme di Piano stabiliscono che nelle aree a pericolosità elevata l'attività di pianificazione deve essere condotta nel rispetto delle disposizioni dell'articolo 12 e cioè finalizzate alla conservazione del suolo, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione contro presumibili effetti dannosi di interventi antropici.

Secondo le norme PAI " *Sono ammessi interventi di adeguamento o restauro delle infrastrutture pubbliche, o di interesse pubblico, a sviluppo lineare, nonché nuove infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico a sviluppo lineare (compresi parcheggi a raso), non delocabilizzabili e ritenuti essenziali da parte dell'amministrazione interessata, previo parere favorevole vincolante dell'Autorità di bacino, sulla base di adeguata indagine geologica, geotecnica e/o idraulica e previa realizzazione di interventi di mitigazione locale del rischio da frana.*

Tali interventi devono essere realizzati senza aggravare le condizioni di instabilità del versante, senza compromettere la possibilità di realizzare più ampie e ulteriori opere strutturali di bonifica e devono essere coerenti con la pianificazione degli interventi di protezione civile.

Attualmente l'area non presenta forme di movimenti in atto né indizi di instabilità potenziale; la scarpata è modesta e la zona sarà livellata alla quota attuale della strada (71/72 m s.l.m. attualmente 80-82m): il progetto prevede di abbassare l'area di circa 3 metri, traslando in pratica la scarpata qualche metro più ad sud-ovest, verso monte, della distanza massima necessaria alla realizzazione dell'opera, (circa 50 m). Sarà pertanto ricreata una scarpata che costeggerà la rotatoria sul lato monte, con un'inclinazione mediamente uguale od inferiore a quella esistente.

È stata quindi eseguita una verifica di stabilità su una sezione tipo del nuovo profilo che si andrà a realizzare, le cui caratteristiche morfologiche saranno mantenute praticamente per tutto il tratto interessato. Le verifiche sono state eseguite nell'ipotesi che la ricostruzione stratigrafica effettuata con le indagini sismiche e geognostiche sia valida per l'intera area interessata dal progetto.

Di seguito viene riportata la relazione di calcolo del programma Slope della Geostru. La verifica è stata eseguita con i vari metodi di calcolo che il programma fornisce. Tutti i vari metodi hanno fornito valori del fattore di sicurezza a favore della stabilità per la nuova configurazione della scarpata.

7.1 RELAZIONE DI CALCOLO – Slope - Geostru

7.1.1 Premessa

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

7.1.2 Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.
Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:
(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (*c*) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

7.1.3 Metodo dell'equilibrio limite

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τf), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau f / \tau$.
Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido, altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).
Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

Metodo dei conci
La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a *n*, il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i
(n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
(n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;

n valori della coordinata *a* che individua il punto di applicazione delle Ei;
(n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle Xi;
una incognita costituita dal fattore di sicurezza *F*.

Complessivamente le incognite sono *(6n-2)*.
mentre le equazioni a disposizione sono:
Equazioni di equilibrio dei momenti *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale *n*
Equazioni relative al criterio di rottura *n*
Totale numero di equazioni *4n*

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a *(n-2)* in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le *(n-2)* indeterminazioni.
Si omettono le descrizioni dei vari metodi, per le quali si rimanda ala bibliografia e, dopo un quadro generale che è valido per tutti i metodi utilizzati si forniscono i casi in cui sono emersi i fattori di sicurezza più bassi, prossimi a quello limite (1.3) per essere considerati in equilibrio.

7.1.4 Valutazione Dell'azione Sismica

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.
Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$
$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:
F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
W: peso concio
Ko: Coefficiente sismico orizzontale
Kv: Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti Ko e Kv in dipendenza di vari fattori:

$K_O = \beta s \times (amax/g)$

$K_V = \pm 0{,}5 \times K_O$

Con

βs coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
amax accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

amax = SS ST ag

SS (effetto di amplificazione stratigrafica): 0.90 ≤Ss≤ 1.80; è funzione di F0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). ST (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di ST varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

T1*(ST = 1.0)* ***T2****(ST = 1.20)* ***T3****(ST =1.20)* ***T4****(ST = 1.40).*

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

TR=-VR/ln(1-PVR)

Con VR vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso VR dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale Ko e verticale Kv che interessano tutte le masse vengono calcolatati come:

$K_O = S \cdot (ag/g)$ $K_V = 0.5 \cdot K_O$

S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A – S=1;
tipo B – S=1.25;
tipo C – S=1.25;
tipo E – S=1.25;
tipo D - S=1.35.

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica ST:

ST ≥ 1,2 per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;
ST ≥ 1,4 per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media > 30°; ST ≥ 1,2 per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale Ko in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat. Ko=0.1; II Cat. Ko=0.07; III Cat. Ko=0.04

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$Ko = agR \cdot \gamma I \cdot S / (g)$

agR : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,
γI: fattore di importanza,
S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$ag = agR \cdot \gamma I$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale Kv è definito in funzione di Ko, e vale:

$Kv = \pm 0.5 \cdot Ko$

7.1.5 Dati generali

Descrizione:	Anchiano
Latitudine:	43,97
Longitudine:	10,53
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

7.1.6 Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,51	2,47	0,24
S.L.D.	50,0	0,65	2,47	0,26
S.L.V.	475,0	1,64	2,4	0,29
S.L.C.	975,0	2,1	2,4	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,816	0,2	0,0166	0,0083
S.L.D.	1,04	0,2	0,0212	0,0106
S.L.V.	2,5559	0,24	0,0626	0,0313
S.L.C.	3,0127	0,28	0,086	0,043

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,017
Coefficiente azione sismica verticale 0,008

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	5,28	0,01
3	9,67	-0,03
4	13,1	2,6
5	20,08	2,52
6	25,59	2,6
7	27,14	2,88
8	31,09	2,88

Vertici strato 1

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	4,48	0,01
3	9,67	-0,03
4	9,67	-0,03
5	11,79	1,59
6	17,61	1,53
7	20,62	1,58
8	25,99	1,66
9	31,09	1,96

Vertici strato 2

N	X m	y m
1	0,0	-1,86
2	12,92	-1,75
3	26,34	-1,69
4	28,44	-1,46
5	31,09	-1,4

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	Litologia	
1	0,01	29,85	1600	1900		sabbie da sciolte a poco addensate
2	0,02	31,07	1760	1920		sabbie poco addensate con livelli di ciottoli
3	0,05	36,26	2130	2500		ghiaie e ciottoli embricati in matrice sabbiosa addensata

7.1.7 Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.
Vengono pertanto ipotizzate superfici di forma circolare, semplificando la ricerca, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

7.1.8 Esito della verifica

Le elaborazioni eseguite hanno fornito fattori di sicurezza a favore della stabilità. Senza riportare tutti i casi esaminati si forniscono di seguito solo le verifiche effettuate che hanno fornito i valori di Fs più bassi (1.3-1.4) tra tutte quelle eseguite con i vari metodi di analisi disponibili nel programma di calcolo.

Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	7,68 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	4,91 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,51 m
Ordinata vertice destro superiore ys	7,13 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

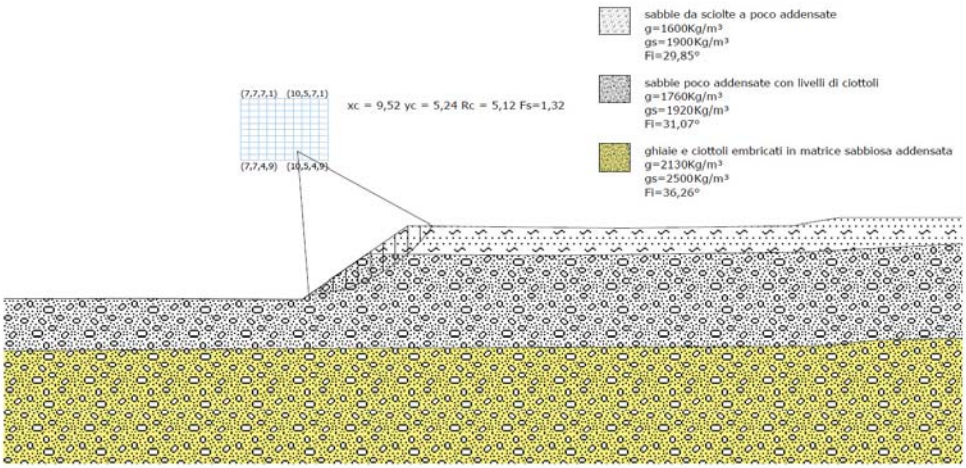
Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,32
Ascissa centro superficie	9,52 m
Ordinata centro superficie	5,24 m
Raggio superficie	5,12 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Analisi dei conci. Superficie...xc = 9,523 yc = 5,244 Rc = 5,117 Fs=1,3168

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,4	6,4	0,4	93,27	1,59	0,75	0,02	31,1	0,0	93,3	12,0
2	0,4	10,9	0,41	267,34	4,54	2,14	0,02	31,1	0,0	263,7	55,2
3	0,4	15,6	0,42	417,99	7,11	3,34	0,02	31,1	0,0	404,0	118,9
4	0,4	20,3	0,43	543,86	9,25	4,35	0,02	31,1	0,0	511,1	197,1
5	0,4	25,1	0,44	642,88	10,93	5,14	0,02	31,1	0,0	582,0	283,0
6	0,4	30,2	0,46	696,16	11,83	5,57	0,02	31,1	0,0	600,4	360,6
7	0,4	35,6	0,49	710,4	12,08	5,68	0,02	31,1	0,0	575,4	423,1
8	0,4	41,3	0,54	687,01	11,68	5,5	0,02	31,1	0,0	512,3	462,5
9	0,4	47,7	0,59	514,53	8,75	4,12	0,01	29,9	0,0	342,9	386,2
10	0,4	54,9	0,7	197,08	3,35	1,58	0,01	29,9	0,0	111,6	163,1



Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

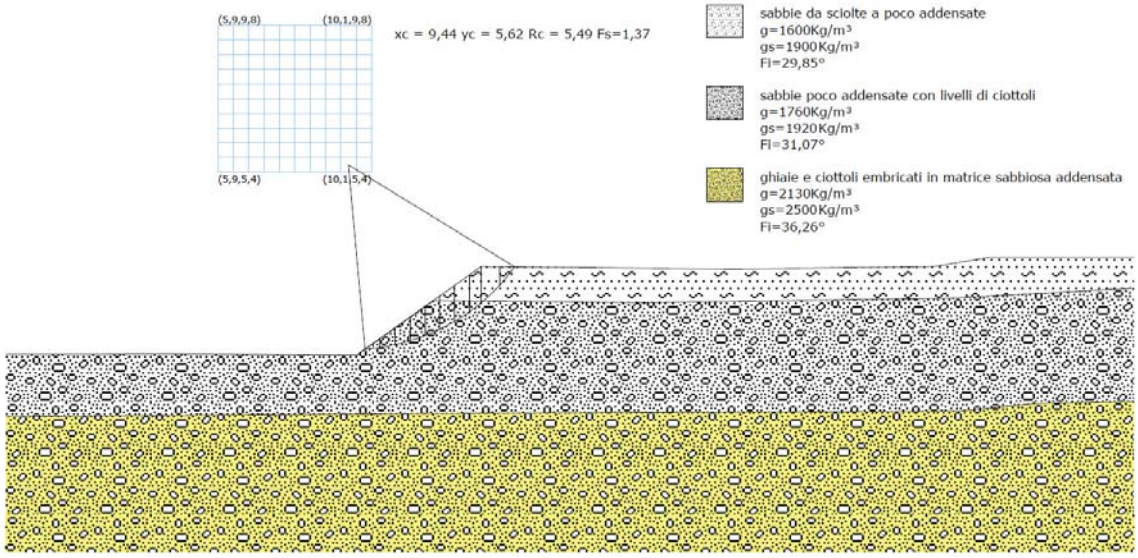
Ascissa vertice sinistro inferiore xi	5,85 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5,4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,08 m
Ordinata vertice destro superiore ys	9,77 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,37
Ascissa centro superficie	9,44 m
Ordinata centro superficie	5,62 m
Raggio superficie	5,49 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 9,443 yc = 5,618 Rc = 5,49 Fs=1,3722

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,41	6,9	0,42	97,28	1,65	0,78	0,02	31,1	0,0	86,0	98,3
2	0,41	11,3	0,42	279,13	4,75	2,23	0,02	31,1	0,0	250,4	171,2
3	0,41	15,7	0,43	437,12	7,43	3,5	0,02	31,1	0,0	388,5	233,0
4	0,41	20,3	0,44	569,88	9,69	4,56	0,02	31,1	0,0	502,4	284,6
5	0,41	24,9	0,45	675,38	11,48	5,4	0,02	31,1	0,0	592,9	326,6
6	0,41	29,8	0,47	730,63	12,42	5,85	0,02	31,1	0,0	641,1	350,7
7	0,41	34,9	0,5	749,77	12,75	6,0	0,02	31,1	0,0	660,7	363,4
8	0,31	39,6	0,41	558,34	9,49	4,47	0,02	31,1	0,0	495,6	277,0
9	0,51	45,6	0,73	679,13	11,55	5,43	0,01	29,9	0,0	642,0	321,7
10	0,41	53,0	0,68	193,34	3,29	1,55	0,01	29,9	0,0	164,0	118,5



Analisi di stabilità dei pendii con JANBU

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

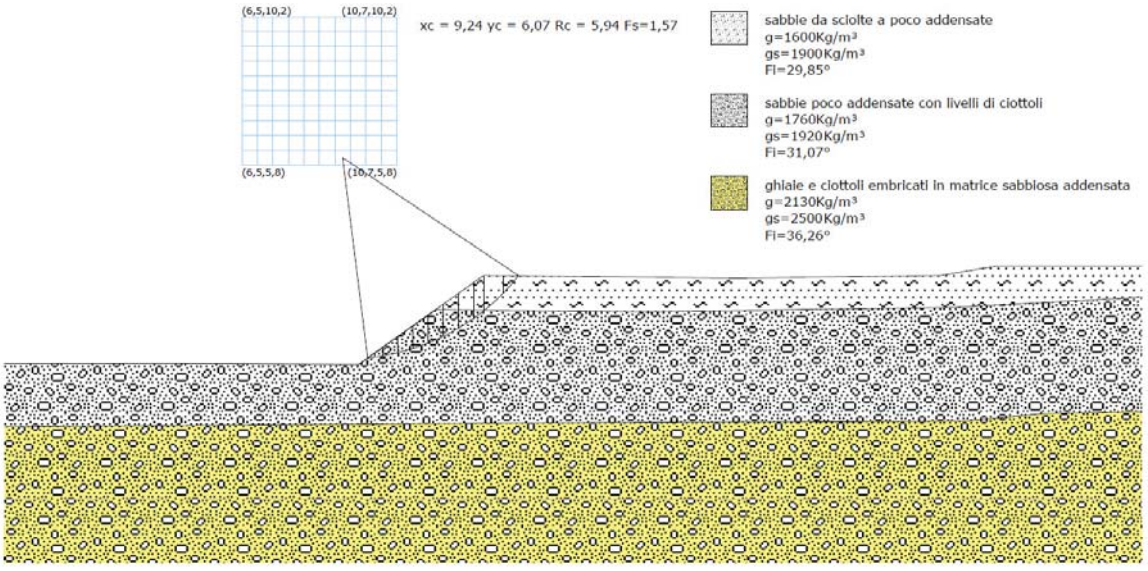
Ascissa vertice sinistro inferiore xi	6,5 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5,85 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,72 m
Ordinata vertice destro superiore ys	10,22 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,57
Ascissa centro superficie	9,24 m
Ordinata centro superficie	6,07 m
Raggio superficie	5,94 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 9,244 yc = 6,065 Rc = 5,937 Fs=1,5748

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,41	8,6	0,42	93,09	1,58	0,74	0,02	31,1	0,0	79,0	101,1
2	0,41	12,7	0,42	267,5	4,55	2,14	0,02	31,1	0,0	235,4	176,9
3	0,41	16,8	0,43	419,37	7,13	3,35	0,02	31,1	0,0	367,3	244,8
4	0,41	21,0	0,44	547,38	9,31	4,38	0,02	31,1	0,0	476,5	306,5
5	0,41	25,4	0,46	649,64	11,04	5,2	0,02	31,1	0,0	563,3	363,2
6	0,41	29,9	0,48	701,76	11,93	5,61	0,02	31,1	0,0	607,5	405,2
7	0,41	34,6	0,5	721,71	12,27	5,77	0,02	31,1	0,0	625,9	441,8
8	0,28	38,8	0,36	483,2	8,21	3,87	0,02	31,1	0,0	420,6	318,0
9	0,54	44,2	0,76	697,17	11,85	5,58	0,01	29,9	0,0	642,8	472,4
10	0,41	51,0	0,66	179,7	3,05	1,44	0,01	29,9	0,0	145,3	180,4



Analisi di stabilità dei pendii con BELL

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

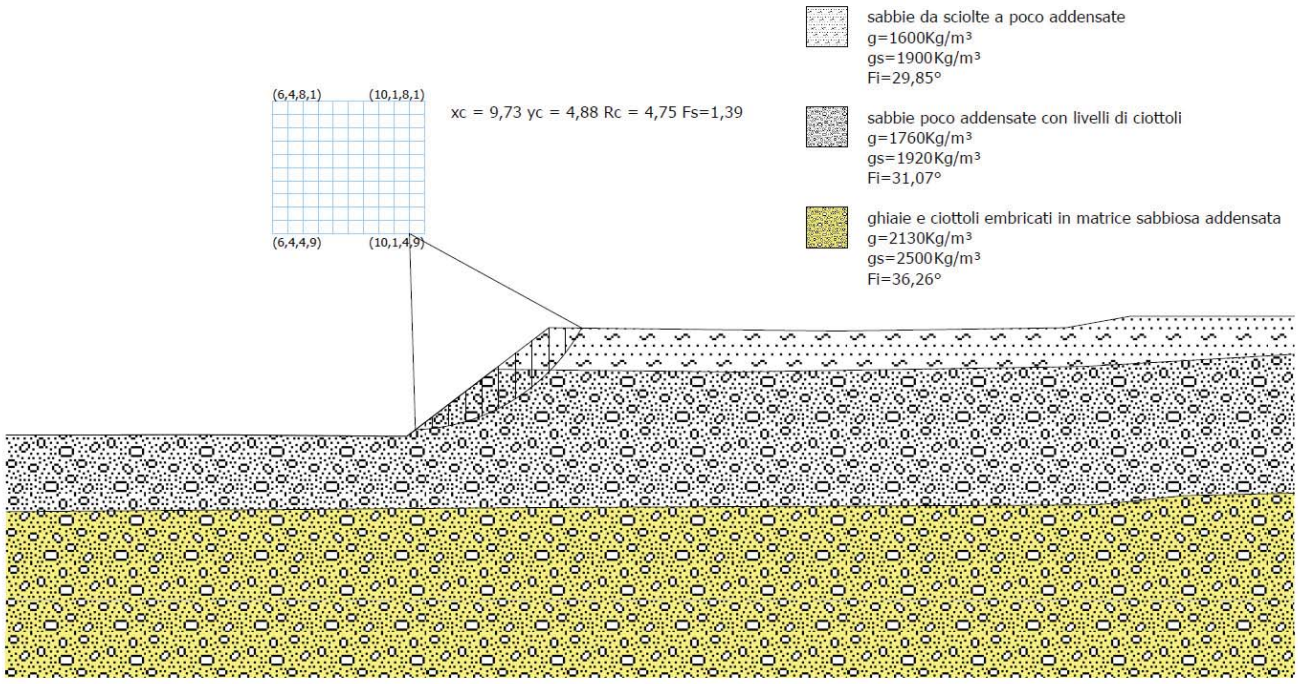
Ascissa vertice sinistro inferiore xi	6,43 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	4,88 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,1 m
Ordinata vertice destro superiore ys	8,07 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,39
Ascissa centro superficie	9,73 m
Ordinata centro superficie	4,88 m
Raggio superficie	4,75 m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 9,733 yc = 4,876 Rc = 4,748 Fs=1,3876

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,4	4,2	0,4	99,54	1,69	0,8	0,02	31,1	0,0	15,7	64,7
2	0,4	9,1	0,41	284,92	4,84	2,28	0,02	31,1	0,0	30,4	71,1
3	0,4	14,0	0,41	445,29	7,57	3,56	0,02	31,1	0,0	56,7	82,5
4	0,4	19,1	0,43	579,28	9,85	4,63	0,02	31,1	0,0	92,9	98,2
5	0,4	24,3	0,44	684,7	11,64	5,48	0,02	31,1	0,0	137,2	117,5
6	0,4	29,8	0,46	742,8	12,63	5,94	0,02	31,1	0,0	184,3	137,9
7	0,4	35,5	0,49	758,84	12,9	6,07	0,02	31,1	0,0	232,1	158,7
8	0,41	41,8	0,55	743,07	12,63	5,94	0,02	31,1	0,0	287,6	183,9
9	0,39	48,8	0,6	542,57	9,22	4,34	0,01	29,9	0,0	256,7	134,6
10	0,4	56,8	0,73	215,49	3,66	1,72	0,01	29,9	0,0	138,8	86,4



Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

Numero di strati	3,0	
Numero dei conci	10,0	
Superficie di forma circolare		

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	6,19	m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2,74	m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,42	m
Ordinata vertice destro superiore ys	7,12	m
Passo di ricerca	10,0	
Numero di celle lungo x	10,0	
Numero di celle lungo y	10,0	

Risultati analisi pendio

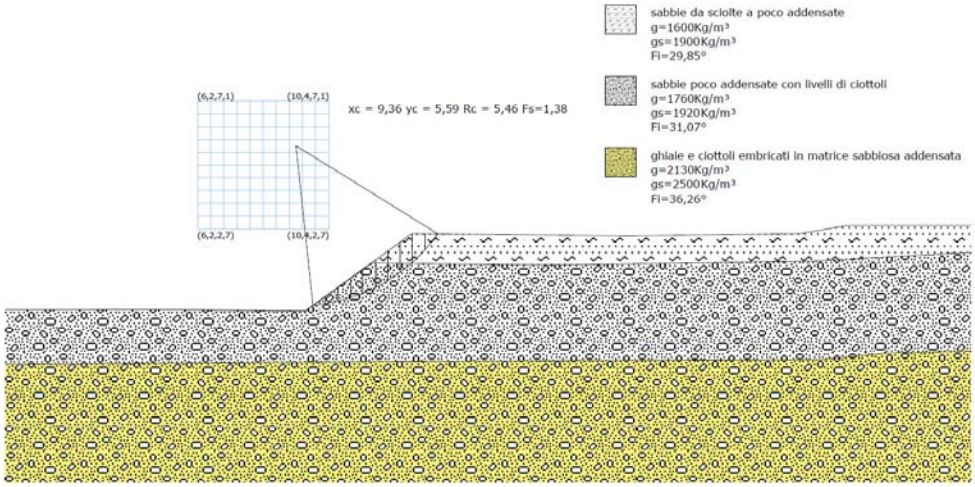
Fs minimo individuato	1,38	
Ascissa centro superficie	9,36	m
Ordinata centro superficie	5,59	m
Raggio superficie	5,46	m

Analisi dei conci. Superficie...xc = 9,363 yc = 5,589 Rc = 5,461 Fs=1,3772 Lambda = 0,586

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi(Kg)
1	0,4	7,89	0,41	89,9
2	0,4	12,17	0,41	257,94
3	0,4	16,53	0,42	403,59
4	0,4	20,98	0,43	525,5
5	0,4	25,58	0,45	621,68
6	0,4	30,35	0,47	672,21
7	0,4	35,38	0,49	686,67
8	0,38	40,57	0,5	622,81
9	0,43	46,42	0,62	532,53
10	0,4	53,19	0,67	184,94

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui(Kg)
1	56,15	95,89	0,0	0,0	47,09	79,49	0,0
2	125,31	214,0	56,15	95,89	210,53	151,78	0,0
3	188,48	321,88	125,31	214,0	358,19	217,55	0,0
4	232,33	396,76	188,48	321,88	477,25	271,27	0,0
5	248,07	423,64	232,33	396,76	558,1	308,83	0,0
6	232,2	396,54	248,07	423,64	578,93	320,88	0,0
7	185,88	317,44	232,2	396,54	549,52	311,96	0,0
8	122,13	208,57	185,88	317,44	447,6	267,87	0,0
9	27,6	47,13	122,13	208,57	311,69	174,8	0,0
10	1,03	1,76	27,6	47,13	88,78	85,67	0,0



Analisi di stabilità dei pendii con SARMA

==========

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,81 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5,85 m
Ascissa vertice destro superiore xs	9,03 m
Ordinata vertice destro superiore ys	10,22 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

==========

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato	1,4
Ascissa centro superficie	8,82 m
Ordinata centro superficie	6,94 m
Raggio superficie	6,81 m

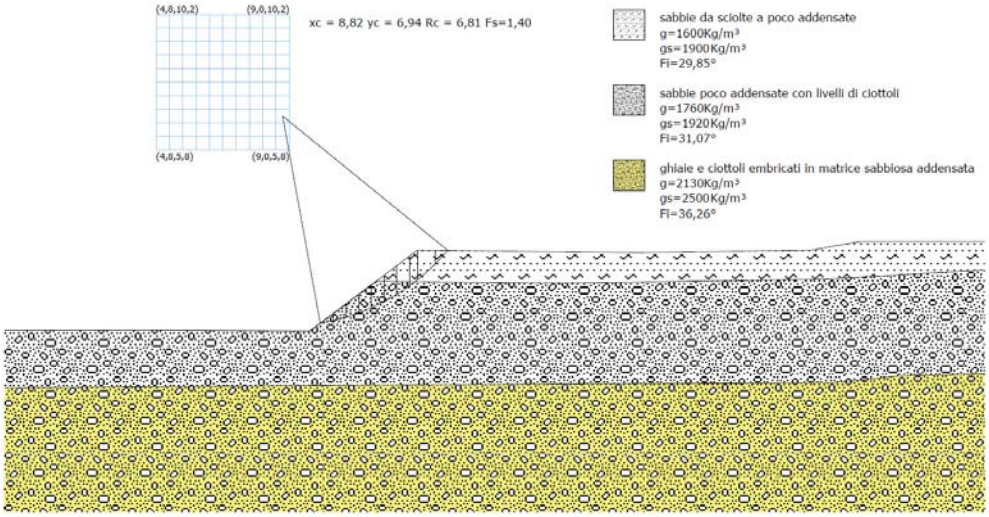
==========

Analisi dei conci. Superficie...xc = 8,821 yc = 6,94 Rc = 6,813 Fs=1,40

Nr.	Bm	Alfa(°)	Lim	Wi(Kg)
1	0,41	11,81	0,41	80,98
2	0,41	15,32	0,42	233,36
3	0,41	18,88	0,43	366,57
4	0,41	22,53	0,44	479,48
5	0,41	26,27	0,45	568,0
6	0,41	30,14	0,47	614,27
7	0,41	34,17	0,49	633,91
8	0,25	37,57	0,32	389,9
9	0,56	42,07	0,75	643,86
10	0,41	47,77	0,6	152,62

Sforzi sui conci

Nr.	Xi(Kg)	Ei(Kg)	Xi-1(Kg)	Ei-1(Kg)	N'i(Kg)	Ti(Kg)	Ui(Kg)
1	-10,99	72,96	0,0	0,0	74,86	91,35	0,0
2	-38,14	161,82	-10,99	72,96	226,92	157,67	0,0
3	-65,59	243,38	-38,14	161,82	344,77	209,55	0,0
4	-88,23	300,86	-65,59	243,38	439,2	251,68	0,0
5	-103,04	321,85	-88,23	300,86	509,79	283,95	0,0
6	-107,35	300,76	-103,04	321,85	541,2	299,85	0,0
7	-103,64	236,08	-107,35	300,76	552,72	307,84	0,0
8	-95,59	176,39	-103,64	236,08	335,72	189,85	0,0
9	-66,05	-0,73	-95,59	176,39	568,65	286,84	0,0
10	0,0	0,0	-66,05	-0,73	56,05	66,04	0,0



Analisi di stabilità dei pendii con SPENCER

==========

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,81 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5,85 m
Ascissa vertice destro superiore xs	9,03 m
Ordinata vertice destro superiore ys	10,22 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

==========

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato	1,41
Ascissa centro superficie	8,82 m
Ordinata centro superficie	6,94 m
Raggio superficie	6,81 m

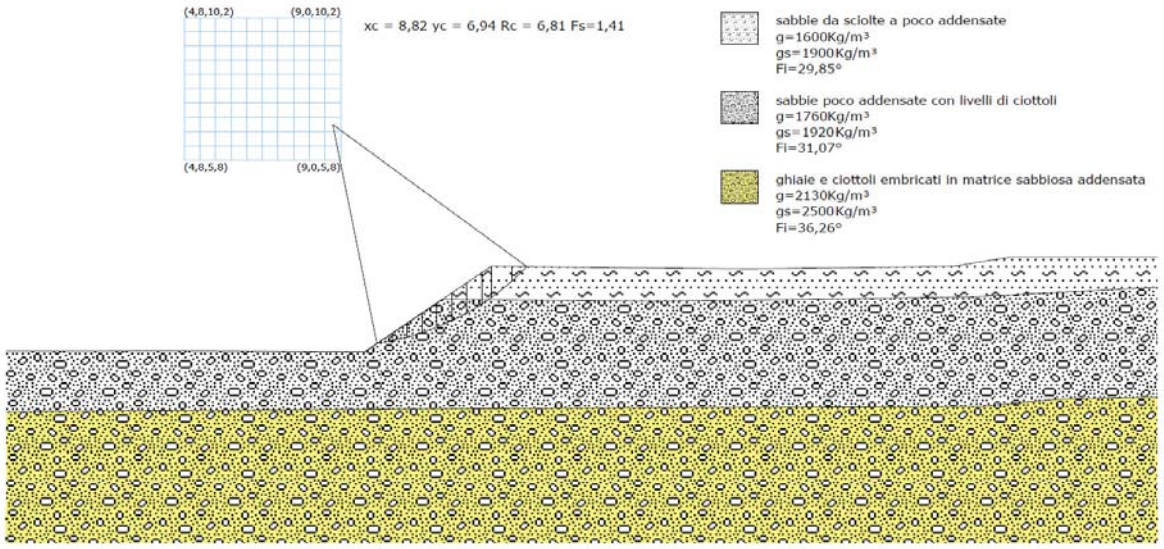
==========

Analisi dei conci. Superficie...xc = 8,821 yc = 6,94 Rc = 6,813 Fs=1,4063 Lambda = 0,584

Nr.	Bm	Alfa(°)	Lim	Wi(Kg)
1	0,41	11,81	0,41	80,98
2	0,41	15,32	0,42	233,36
3	0,41	18,88	0,43	366,57
4	0,41	22,53	0,44	479,48
5	0,41	26,27	0,45	568,0
6	0,41	30,14	0,47	614,27
7	0,41	34,17	0,49	633,91
8	0,25	37,57	0,32	389,9
9	0,56	42,07	0,75	643,86
10	0,41	47,77	0,6	152,62

Sforzi sui conci

Nr.	Xi(Kg)	Ei(Kg)	Xi-1(Kg)	Ei-1(Kg)	N'i(Kg)	Ti(Kg)	Ui(Kg)
1	46,53	79,62	0,0	0,0	50,37	80,44	0,0
2	99,94	171,03	46,53	79,62	198,45	144,77	0,0
3	147,47	252,36	99,94	171,03	328,96	201,84	0,0
4	179,7	307,52	147,47	252,36	434,67	248,61	0,0
5	190,28	325,63	179,7	307,52	507,65	281,76	0,0
6	177,06	303,0	190,28	325,63	530,27	293,82	0,0
7	140,55	240,52	177,06	303,0	517,7	291,45	0,0
8	121,03	207,12	140,55	240,52	302,58	174,79	0,0
9	21,01	35,95	121,03	207,12	433,99	230,61	0,0
10	6,3	10,78	21,01	35,95	92,71	80,7	0,0



8 . CONCLUSIONI

L'area interessata dal progetto per la realizzazione della rotatoria in oggetto, non presenta problematiche dal punto di vista geologico, geomorfologico e idraulico. Si tratta di una zona pianeggiante la cui unica peculiarità morfologica è rappresentata dal terrazzo alluvionale che forma, in corrispondenza della strada statale, una piccola scarpata di 3 metri circa di altezza. Attualmente questa zona non presenta indizi di instabilità in atto o potenziale, tuttavia l'Autorità di Bacino del Fiume Serchio inserisce queste aree tra le aree soggette a rischio frana per la presenza di un bordo di terrazzo morfologico nelle quali "*Sono ammessi interventi di adeguamento o restauro delle infrastrutture pubbliche, o di interesse pubblico, a sviluppo lineare, nonché nuove infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico a sviluppo lineare (compresi parcheggi a raso), non delocabilizzabili e ritenuti essenziali da parte dell'amministrazione interessata, previo parere favorevole vincolante dell'Autorità di bacino, sulla base di adeguata indagine geologica, geotecnica e/o idraulica e previa realizzazione di interventi di mitigazione locale del rischio da frana…"* e ancora "*…Tali interventi devono essere realizzati senza aggravare le condizioni di instabilità del versante, senza compromettere la possibilità di realizzare più ampie e ulteriori opere strutturali di bonifica e devono essere coerenti con la pianificazione degli interventi di protezione civile"(cfr. comma 9 art. 12).*

L'area subirà essenzialmente una modifica morfologica, un abbassamento generale alla quota attuale della strada (da 80 m s.l.m del terrazzo a circa 77/78m s.l.m. con pendenza graduale minima verso SE) e quindi un arretramento del bordo del terrazzo di circa 50 m nella parte più distale. La nuova scarpata manterrà un'angolazione della pendenza uguale o al più inferiore a quella che presenta attualmente (circa 40°).

E' stata eseguita un'analisi di stabilità della scarpata nell'ipotesi che il modello stratigrafico ottenuto con la sismica a rifrazione e con le indagini geognostiche (andamenti lineari sub-orizzontali dei depositi alluvionali con miglioramento delle caratteristiche fisico meccaniche con la profondità) sia valido per tutta l'area interessata dal progetto. I risultati delle verifiche sono tutti a favore della stabilità.

Non è da sottovalutare l'esecuzione dell'intervento ad opera d'arte ed in modo particolare la regimazione delle acque meteoriche ed il rapido rinverdimento (anche con l'aiuto di geostuie e/o idrosemina): una corretta esecuzione delle operazioni scongiurerà la formazione di linee di deflusso preferenziale delle acque meteoriche e la possibilità che si inneschino piccoli smottamenti superficiali.