



PROVINCIA DI RAVENNA

Presidente della Provincia
Claudio Casadio

Assessore ai LL.PP. - Viabilità
Secondo Valgimigli

SETTORE LAVORI PUBBLICI

UNITA' ORGANIZZATIVA PROGETTAZIONE STRADE

RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. 306 CASOLANA 1° LOTTO 2° STRALCIO

PROGETTO ESECUTIVO

Tavola/Elaborato

GER_003

RELAZIONE GEOTECNICA

Scala

-

Data

05 dicembre 2011

Dirigente del Settore Lavori Pubblici:

Dott. Ing. Valentino Natali

Responsabile Unico del Procedimento:

Dott. Ing. Valentino Natali

Progettista:



Prof. Ing. Claudio Comastri

Studio Tecnico di Ingegneria
40037 Sasso Marconi (BO) - via Castello n.7
tel. +39.51.6750312 fax. +39.51.6750370
E-mail: thesis@studiothesis.it

COMUNE DI RIOLO TERME

PROVINCIA DI RAVENNA

**SETTORE LAVORI PUBBLICI - UNITA ORGANIZZATIVA PROGETTAZIONE
STRADE**

**INTERVENTO DI RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON
ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. 306 "CASOLANA" – 1°
LOTTO 2° STRALCIO**

RELAZIONE GEOTECNICA



A	05/12/2011	Nota tecnica	Comastri	Barbieri	Comastri
Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione



1 PROGETTO

1.1 Codici

Codice Commessa: 02.2011
Committente: Provincia di Ravenna
Anno costruzione opera previsto: //

Intervento di progetto Thesis: Opere Civili e Geotecnica

Progettista: prof. Ing. Claudio Comastri
Collaborazioni specialistiche: Ing. Barbara Barbieri
Ing. Elisa Maniezzo
Arch. Cinzia Fontanelli
Geom. Simone Lamma
Geom. Cristiano Lamma

1.2 Struttura Documento

Pagine numerate: N. 15
Fogli A4: N. 15
Foglia A3: N.0
Tavole allegate: N.0

1.3 Redazione Documento

Redazione documento: Ing. Elia Comastri
Controllo documento: Ing. Barbara Barbieri
Approvazione documento: Ing. Claudio Comastri
Revisione: A
Data ultima revisione:
Autorizzazione alla trasmissione: Ing. Claudio Comastri

1.4 Indirizzo di trasmissione

Provincia di Ravenna
Trasmissione: Direttamente a mano e Email
Data di trasmissione: 05/12/2011



2 INDICE

1	PROGETTO.....	2
1.1	Codici	2
1.2	Struttura Documento	2
1.3	Redazione Documento.....	2
1.4	Indirizzo di trasmissione.....	2
2	INDICE	3
3	PREMESSA.....	4
4	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	4
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	5
5.1	Inquadramento idrogeologico.....	5
5.2	Indagini geotecniche.....	6
5.3	Modello geotecnico di terreno.....	7
6	Dimensionamento del pacchetto stradale	9
7	ANALISI E DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE MINORI IN PROGETTO	9
7.1	Muri di sostegno	9
7.2	RILEVATI.....	11
7.2.1	<i>VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE</i>	11
7.2.2	<i>CEDIMENTI DEI RILEVATI</i>	13
8	Conclusioni	15



3 PREMESSA

La presente relazione illustra le principali tematiche affrontate nella progettazione dei lavori di razionalizzazione e messa in sicurezza con eliminazione dei punti critici lungo la ex SS n°306 Casolana – Rioloese -.del 1°lotto, da realizzarsi con più stralci, ricadente nel comune di Riolo terme, in provincia di Ravenna.

Nel seguito, dopo una breve descrizione delle opere in progetto e un inquadramento geologico dell'area, viene illustrata la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dal tracciato sulla base delle indagini geotecniche eseguite nel 2004.

Il versante destro tra le progressive 0+755 e 0+830 è interessato da un dissesto avvenuto nel marzo 2006. Particolare attenzione è stata dedicata alla risoluzione di tale criticità e maggior dettagli sono desumibili dalla “Relazione Geotecnica – Dissesto tra la Km 0+755 e Km 0+830”.

Si passa quindi ad individuare le principali problematiche geotecniche ed allo svolgimento dei calcoli di dimensionamento e delle verifiche geotecniche delle opere.

Per quanto riguarda gli approfondimenti di carattere generale trattati in questa relazione, vanno presi in considerazione solo i tratti e le opere appartenenti al 2° stralcio come di seguito illustrato.

4 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Il tracciato in progetto del 1° lotto, è localizzato in prossimità dell'abitato di Isola, tra la chilometrica 11+070 e la chilometrica 12+483 della viabilità esistente, per uno sviluppo complessivo del nuovo tracciato di 958.821 m ed è suddiviso in due stralci.

Gli interventi previsti nel 2° stralcio consistono, essenzialmente, nell'allargamento del tratto realizzato in affiancamento (deviazione) eseguito nello stralcio uno del primo lotto e la realizzazione del corpo stradale, che procederà sempre in trincea fino alla progressiva 0+600.00, in cui avrà inizio il rilevato di appoggio al nuovo ponte di luce 35 m (progressive 0+617.00 - 0+652.00). Dopo il ponte, il tracciato, proseguirà a mezza costa con una sezione che prevede una paratia di pali in destra ed una scarpata in rilevato in sinistra.



Infine, l'asse rientra progressivamente verso l'asse esistente ricucendosi ad esso dopo l'ultima curva.

La ex SS n°306 "Casolana – Riolese" risulta il principale collegamento viario tra i centri della vallata del fiume Senio e la SS n°9 "Via Emilia" e quindi con la Pianura Padana, intesa come il più grande sistema intermodale di viabilità dell'Emilia Romagna; il suddetto adeguamento risulta di conseguenza indispensabile per garantire un livello di servizio idoneo alla sua funzione.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1 Inquadramento idrogeologico

Il carattere morfologico principale dell'area è dato dall'ampia valle e dal corso del Torrente Senio. Il tracciato in progetto interessa la base dei rilievi collinari che bordano la sponda idrografica sinistra della valle.

In riva sinistra è presente quindi un motivo morfologico costituito da una serie di rilievi collinari con dei versanti da poco a mediamente acclivi che raccordano una quota media di pianura di circa 80-85 m slm ad una quota di sommità collinare superiore ai 130-140 m slm.

Il tracciato parte dalla quota della pianura alluvionale per poi cominciare a salire a mezza costa fino ad una quota massima di circa 110 m slm, e ridiscendere verso la parte finale sino ad una quota di circa 95 m slm.

Da un punto di vista idrologico il drenaggio di tutta la zona è garantito dalla ampia valle del Torrente Senio, mediante una serie di piccole incisioni a carattere torrentizio che in esso confluiscono.

Geologicamente il tracciato interessa una coltre di terreni di copertura e di riporto di spessore compreso fra 1m e 5m, che nasconde una formazione terrazzata alluvionale sabbioso ghiaiosa di spessore massimo di circa 2m, e che poggia a sua volta su una formazione argilloso marnosa pliocenica. La parte bassa della valle del Senio è interessata dalla presenza di una coltre di depositi alluvionali recenti.

Idrogeologicamente si rinviene una falda principale nei depositi alluvionali recenti del Senio, ed una serie di sporadiche circolazioni idriche secondarie che interessano i depositi alluvionali terrazzati e le coltri detritiche.



Tutta l'area risulta essere globalmente stabile con l'eccezione di piccoli fenomeni di creeping superficiale che interessano le coltri di copertura e la parte affiorante alterata della formazione argillosa pliocenica.

5.2 Indagini geotecniche

Nell'ambito dell'indagine condotta nel marzo del 2004 sono stati eseguiti 5 sondaggi a carotaggio continuo, la cui ubicazione, riportata nella planimetria riportata nella figura seguente, è in corrispondenza delle opere di maggior impegno. I sondaggi sono stati spinti fino alla quota compresa tra i 15 e i 25 m (S1 e S5 fino a 20 m, S2 e S4 fino a 15 m e S3 fino a 25 m).

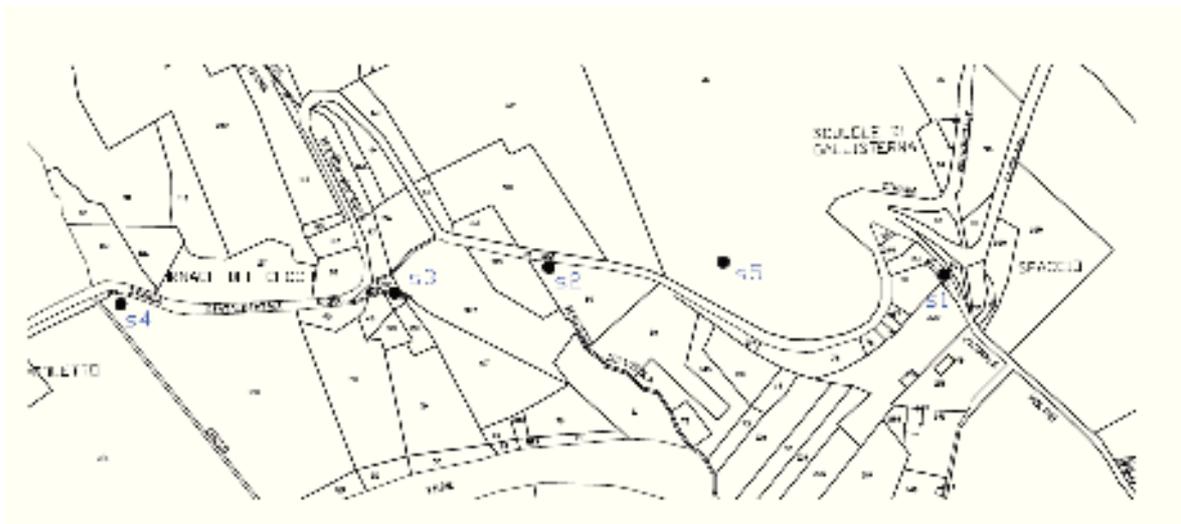


Figura 1: Planimetria area di progetto ed ubicazione dei sondaggi

Lungo le verticali di sondaggio sono state eseguite complessivamente 25 prove penetrometriche dinamiche SPT, di cui gran parte in corrispondenza di terreni a grana fine, una ogni circa 3 m, e sono stati prelevati 5 campioni indisturbati. Sulle carote prelevate, in corrispondenza dei terreni a grana fine, sono state eseguite prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza non drenata, quali *pocket penetrometer* e *vane test*. I risultati delle prove eseguite sulle carote in sito permettono di definire la resistenza non drenata dei terreni argillosi, con valori del *pocket* compresi tra 1 e 3 kg/cmq per il terreno argilloso alterato e di circa 6 kg/cmq per la formazione argillosa di base.



Per la ricostruzione del regime delle pressioni interstiziali presenti nel sottosuolo sono stati installati due piezometri Casagrande, posti a 15 m di profondità nel sondaggio S1 ed a fondo foro (25 m) nel sondaggio S3.

I risultati delle letture piezometriche effettuate in data 26/03/2004 e 31/03/2004 riportano, per entrambi i giorni, una quota di falda di -1.5 m e -4.3 m dal p.c., rispettivamente per il sondaggio S1 e per il sondaggio S3.

Sono stati sottoposti a prove di laboratorio 3 campioni indisturbati: S2C1, S4C1 e S5C1. Su tutti i campioni sono state eseguite, oltre alle usuali prove di classificazione ed identificazione (analisi granulometrica, limiti di consistenza), prove di taglio diretto (consolidate drenate) e, su due di essi (S2C1 e S5C1), prove di compressione triassiale ad espansione laterale libera. Nella Tab. 1 sono riassunti i principali risultati delle prove di classificazione e di resistenza eseguite.

Tab. 1 - Risultati ottenuti dalle prove di laboratorio.

Campione	γ (kN/mc)	W (%)	WL (%)	WP (%)	c' kPa	Φ' -	Cu kPa
S2C1	22.6	13.2	52.7	32.5	90	18	90
S4C1	22.5	12.2	46.6	38.2	74	25.6	-
S5C1	23.0	10.1	56.5	32.8	110	15.5	100

5.3 Modello geotecnico di terreno

I sondaggi distribuiti lungo l'intero tracciato hanno permesso di definire una stratigrafia piuttosto omogenea in cui è presente uno strato più superficiale di spessore variabile di ghiaia, al di sotto del quale emerge la formazione argillosa del pliocene, molto sovraconsolidata e consistente. Il tetto di tale formazione, tuttavia, presenta uno spessore variabile (2-4 m) di terreno alterato, con caratteristiche meccaniche più modeste rispetto al materiale intatto.

La stratigrafia assume caratteristiche diverse in corrispondenza del sondaggio S4, dove il terreno ghiaioso è assente; al di sopra della formazione argillosa di base, è invece presente terreno di natura alluvionale recente, di matrice prevalentemente argillosa, e di spessore variabile.



Dalle prove di laboratorio si evincono caratteristiche meccaniche poco rappresentative dei litotipi incontrati. Le prove di identificazione e classificazione condotte sui campioni prelevati rilevano, infatti, valori dell'indice dei vuoti, e , del contenuto d'acqua, w , e del peso specifico, γ , che non sono congruenti con i dati di letteratura disponibili, con l'esame visivo effettuato nel corso dei sopralluoghi, e con le caratteristiche meccaniche ottenute dalle prove in sito, evidenziando quindi un probabile effetto di disturbo nella fase di campionamento. Il modello geotecnico di riferimento è stato quindi basato essenzialmente sull'interpretazione delle prove condotte in sito (*pocket*, *vane test* e prove penetrometriche SPT).

Per il terreno ghiaioso, il risultato dell'unica prova penetrometrica SPT eseguita in tale formazione, che ha fornito un valore del numero di colpi NSPT = 57, e la natura del terreno consentono di adottare, cautelativamente, un angolo di attrito, ϕ' , pari a 35° ed un valore del modulo di Young E' , pari a 60 MPa.

Le caratteristiche di deformabilità dei terreni coesivi sono state determinate ipotizzando un rapporto tra il modulo E_u e la coesione non drenata c_u , $E_u/c_u=100$, per il terreno argilloso più superficiale alterato e $E_u/c_u=150$ per la formazione di base.

In Tab. 2 sono riportati i valori dei parametri fisici e meccanici dei terreni che, con riferimento ad un modello elasto-plastico con criterio di resistenza alla Mohr- Coulomb, saranno adottati nelle verifiche geotecniche. Le caratteristiche di resistenza dei litotipi considerati nel modello geotecnico sono state opportunamente ridotte per tenere conto dell'incertezza delle prove eseguite.

Tab. 2 – Modello geotecnico di riferimento.

Campione	γ (kN/mc)	c' kPa	ϕ' ($^\circ$)	c_u kPa	E' (MPa)	E_u (MPa)
Ghiaia	20	0	35	-	60	-
Argilla alterata	20	5	26	75	6.5	7.5
Argilla di base	20	20	26	200	26	30



6 DIMENSIONAMENTO DEL PACCHETTO STRADALE

Il dimensionamento del pacchetto di fondazione è stato eseguito per i tratti in cui il tracciato si sviluppa in trincea, in cui il terreno di fondazione è costituito dal litotipo argilloso di base.

Per il dimensionamento dell'opera in oggetto, assume rilevanza la caratterizzazione meccanica del solo strato superficiale. A tal fine è necessaria la conoscenza della costante di sottofondo K (o del modulo resiliente del sottofondo Mr); il dimensionamento delle fondazioni stradali, infatti, è generalmente correlato al valore numerico di questi parametri. Sulla base delle indagini eseguite è stato definito un modulo elastico non drenato del terreno di base $Eu=30\text{MPa}$ da cui è stato determinato l'indice di portanza, $CBR=Eu/3=10\%$ (con K espresso in MPa e CBR in %).

L'indice CBR così determinato, può essere collegato direttamente al modulo resiliente Mr , espresso in MPa, tramite la seguente relazione:

$$Mr = 10 \cdot CBR = 100 \text{MPa}$$

7 ANALISI E DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE MINORI IN PROGETTO

7.1 Muri di sostegno

Il progetto prevede la realizzazione lungo il tracciato di zone in trincea e rilevato.

È prevista, per tale scopo, la posa di strutture di sostegno prefabbricate di altezza variabile da un minimo di 1.50 m ad un massimo di 5.00 m.

Tenendo conto della variabilità della altezza si considerano 4 tipologie di muri:

Tipologia	H (m)	i ghiaia (°)	i argilla (°)
Tipo 1	1.5<H<2.5	27	20
Tipo 2	2.5<H<3.5	27	20
Tipo 3	3.5<H<4.0	27	20
Tipo 4	4.0<H<5.0	27	20



Oltre a queste tipologie sono previsti muri classificati come Muri Tipo A con altezza fissa pari a 1.60 m, previsti a valle dei versanti su cui verranno eseguiti interventi di stabilizzazione mediante chiodatura.

Per la realizzazione dei muri in trincea è previsto preliminarmente uno sbancamento del terreno superficiale, mantenendo un'inclinazione di circa 60° a partire dal piede interno della fondazione del muro. Il rinterro a tergo della struttura di sostegno verrà eseguito con materiale a grana grossa, di buone capacità meccaniche, e comunque in grado di garantire un angolo di attrito almeno pari a 36° , al fine di limitare le spinte sulla struttura.

La pendenza del terreno di rinterro, i , prevista in progetto, è dettata dalla tipologia del muro, dall'altezza H e dalla natura del terreno di fondazione. Per i muri poggianti su terreno ghiaioso è prevista una pendenza massima di 27° . Per i muri in trincea, poggianti sul terreno argilloso, la pendenza massima prevista per il rinterro è invece di 20° .

Le verifiche di stabilità del muro sono state eseguite con il metodo dell'equilibrio limite di un cuneo di terreno soggetto, oltre che alle forze di natura statica, alle azioni addizionali indotte dal sisma (forze di inerzia orizzontali, $kh W$, e verticali, kvW).

In tale modello si ipotizza che il terreno si comporti come un corpo rigido, per cui le componenti orizzontali e verticali dell'accelerazione sismica sono considerati costanti in tutti i punti della massa

I calcoli sono stati eseguiti nelle condizioni di Stato Limite Ultimo e Stato Limite di Esercizio, tenendo conto delle diverse combinazioni di carico previste da normativa vigente (NTC 14/01/2008).

Calcolata la spinta diviene possibile verificare la stabilità del muro alla traslazione e al ribaltamento.

Con l'intento di determinare le condizioni più gravose, le sollecitazioni dinamiche relative all'accelerazione sismica sulla struttura e sul terreno sono state considerate di segno tale da favorire la rotazione e la traslazione del muro di sostegno.

Nella verifica alla traslazione, il coefficiente di sicurezza F_s è definito come rapporto tra le forze resistenti (date dalla componente attritativa esercitata dal muro sulla superficie di posa)



e le componenti orizzontali delle forze agenti (date dalla spinta statica del terreno a monte dell'opera e dalle forze di inerzia innescate dal sisma).

7.2 RILEVATI

7.2.1 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche di stabilità globale sono state eseguite attraverso il programma Geo-Slope del gruppo Geo-Studio. Il programma fa riferimento a diversi approcci di analisi (in particolare metodo di Morgenstern-Price, Janbu e Bishop); il comportamento del terreno è schematizzato come rigido-plastico perfetto ed il criterio di rottura assunto è quello di Mohr-Coulomb.

Le analisi di stabilità globale sono state condotte in corrispondenza delle sezioni:

sez 29	progressiva 0+700.00
sez 30	progressiva 0+725.00.
sez 31	progressiva 0+750.00
sez 32	progressiva 0+775.00
sez 33	progressiva 0+800.00

Le sezioni in questione sono dislocate a valle di un rilevato di altezza massima 7.2 m. Il sondaggio eseguito in prossimità della sezione, alla quota strada, nei primi 6 metri evidenzia la presenza di terreno alluvionale sovraconsolidato a matrice prevalentemente argillosa (*Arg.1*), al di sotto del quale è presente uno strato di terreno sabbioso di circa 3 metri, che sovrasta la formazione di argilla di base (*Arg.base*).

La stratigrafia di progetto e le caratteristiche meccaniche assunte per ciascun litotipo, nell'analisi di stabilità, sono riportate nella tabella sottostante. Il sovraccarico stradale è stato schematizzato con un carico uniformemente distribuito di 5 kPa.

Tab. 4 – Stratigrafia di riferimento.

Litotipo	z (m)	cu (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	γ (KN/mc)
Rilevato	-	-	0	35	20
Arg. 1	0-6	75	5	26	20
Sabbia	6-9	-	-	35	20



Arg. base	>9	200	15	26	20
-----------	----	-----	----	----	----

Le profondità z sono state assunte a partire dalla quota di strada attuale che coincide con la quota di boccaforo del sondaggio S4.

Per l'analisi di stabilità del versante in esame si rimanda allo specifico elaborato (IST_102_PE_GER_020_Analisi di stabilità versante), all'interno del quale è stata eseguita una back analysis al fine di determinare i parametri geotecnici operativi a cui fare riferimento per i calcoli dei successivi elaborati.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei valori ottenuti.

SEZIONE	Parametri geotecnici		Parametri operativi	
	c'	φ	c'	φ
SEZIONE 29	5	26	5	26
SEZIONE 30	5	26	5	26
SEZIONE 31	5	26	5	26
SEZIONE 32	5	26	15	26
SEZIONE 33	5	26	15	26



7.2.2 CEDIMENTI DEI RILEVATI

La sezione 30, alla progressiva 0+725.00, è stata assunta come caratteristica per la stima dei cedimenti in quanto, in prossimità di questa sezione, la geometria del rilevato presenta l'altezza e la larghezza massima, e la stratigrafia caratteristica dell'area presenta uno spessore ingente di terreno alluvionale di proprietà meccaniche relativamente scadenti. La sezione è caratterizzata da una geometria irregolare, da una larghezza complessiva $L=36$ m ed una altezza massima di 7.2 m, in asse al rilevato.

Lo schema di calcolo adottato nell'analisi per la valutazione dei cedimenti, prevede una geometria di carico rettangolare su un'impronta nastriforme di larghezza $L=10$ m. Lo schema adottato, pertanto, prevede un incremento di carico complessivo equivalente a quello reale; tuttavia, è prevedibile che i cedimenti così calcolati siano sovrastimati, poiché il carico è applicato su di una impronta più piccola, e trasmette un maggiore incremento di tensione nei terreni più superficiali, che, nel caso specifico, sono anche quelli più deformabili.

Come stratigrafia di riferimento è stata adottata quella riscontrata nel sondaggio S4 che presenta i primi 6 metri di terreno argilloso più deformabile e i tre metri successivi di terreno sabbioso, al di sopra della formazione argillosa di base.

I cedimenti attesi in asse sono stati stimati con il metodo edometrico, discretizzando lo spessore di terreno deformabile in strati di altezza 1m e calcolando con la teoria dell'elasticità per ogni strato l'incremento di tensione (Dsx' , Dsy' , Dsz') lungo le tre direzioni principali.

Per le condizioni a breve termine, il valore del modulo elastico non drenato EU è stato determinato ipotizzando un rapporto tra il modulo EU e la coesione non drenata cu : $EU/cu=100$, per il terreno argilloso alluvionale (*Arg.1*) e $EU/cu=150$ per la formazione di base (*Arg.base*); per le condizioni di lungo termine i valori delle rigidezze operative sono stati ottenuti a partire dai del coefficiente di compressibilità CC e del coefficiente di rigonfiamento CS stimati mediante correlazioni empiriche con le proprietà indice.

La stratigrafia di riferimento ed i principali parametri meccanici utilizzati nell'analisi è riportata in Tab. 6.

Tab. 6 – Stratigrafia di riferimento.



Litotipo	z (m)	cu (kPa)	Eu' (MPa)	E' (MPa)
Arg. 1	0-6	60	6	5.2
Sabbia	6-9	-	-	20
Arg. base	>9	200	30	26

I risultati delle analisi evidenziano un cedimento complessivo, in asse al rilevato, di circa 23 cm di cui più della metà si sviluppa durante i tempi di costruzione; i valori si ritengono compatibili con la funzionalità dell'opera.



8 CONCLUSIONI

Nella presente relazione, dopo una descrizione delle opere in progetto e dei caratteri idrogeologici dell'area, è stata effettuata la caratterizzazione geotecnica dei terreni sulla base delle indagini in sito e di laboratorio eseguite.

Successivamente sono state descritte le diverse problematiche geotecniche connesse alle opere principali, e riportati nel dettaglio i calcoli di verifica relativi a tali problematiche, effettuati in riferimento alle condizioni più gravose ed alle situazioni più rappresentative.

I profili stratigrafici ottenuti dai sondaggi hanno evidenziato la presenza di una formazione di base costituita da argille limose molto consistenti e sovraconsolidate, alterate nella parte più superficiale. Al di sopra di questa formazione sono stati rinvenuti depositi ghiaiosi e, solo localmente, depositi limosi e argillosi poco consistenti.

Per le opere di maggior impegno (viadotti) si sono quindi previste fondazioni su pali di grande diametro, mentre le geometrie dei muri di sostegno, degli scavi di sbancamento e dei rilevati sono state opportunamente studiate in modo da assicurare valori dei coefficienti di sicurezza superiori a quelli richiesti dalla normativa vigente.