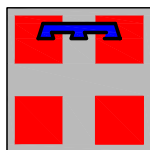


Autostrada Asti-Cuneo



PROVINCIA DI ASTI



REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI CUNEO

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE ASTI - CUNEO

TRONCO II A21 (ASTI EST) - A6 (MARENE)
LOTTO 6 RODDI - DIGA ENEL

PROGETTO ESECUTIVO

INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO E AMBIENTALE

OPERE A VERDE COMPLEMENTARI E D'INSERIMENTO PAESAGGISTICO

BAT BRIDGE 1

RELAZIONE GEOTECNICA DELLE FONDAZIONI

Aggiornato: 00	Data : Aprile 2013	Descrizione: EMISSIONE	Redatto: Ing. Schibuola	Controllato: Ing. Spoglianti	Approvato: Ing. Ghislandi	Codifica: 2.6 E - r F.2.1.45 Lotto Prog. Tipo Elaborato
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data: Marzo 2015
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Scala: -



PROGETTISTA e RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Enrico Ghislandi
Albo di Milano
N° A 16993

CONCESSIONARIA:





INDICE

1. INTRODUZIONE.....	2
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	2
3. MATERIALI STRUTTURALI.....	3
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO.....	4
5. INDAGINI ESEGUITE.....	10
5.1. INDAGINI IN SITO.....	11
5.2. INDAGINI IN LABORATORIO.....	11
6. PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	12
7. VERIFICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	13
8. ARMATURA PLINTO.....	17

1. INTRODUZIONE

La presente relazione redatta sulla base della relazione geologica identificata con il n. 2.6 rE-rB.1.1.01-00, è stata emessa al fine di inquadrare dal punto di vista geotecnico il sito in cui sarà realizzata l'opera e di conseguenza, le necessarie verifiche di portanza del terreno e di resistenza degli elementi strutturali in conformità alle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M. 14.01.2008).

Le sollecitazioni delle strutture verranno trasmesse al terreno sottostante per mezzo di fondazioni di tipo diretto a plinto.

Per la valutazione delle sollecitazioni, per il calcolo delle tensioni, delle armature e per le verifiche di resistenza è stato applicato il METODO AGLI STATI LIMITE. [par.4.1.2 (verifiche agli stati limite) D.M. 14/01/2008].

Le azioni trasmesse in fondazione derivano dall'analisi del comportamento dell'intera opera, in genere condotta esaminando la sola struttura in elevazione alla quale sono applicate le azioni statiche e sismiche.

Il dimensionamento delle strutture di fondazione e la verifica di sicurezza del complesso fondazione – terreno devono essere eseguiti assumendo come azioni in fondazione le resistenze degli elementi strutturali sovrastanti. Più precisamente, la forza assiale negli elementi strutturali verticali derivanti dall'involuppo delle combinazioni di carico deve essere associata al concomitante valore resistente del momento flettente e del taglio; si richiede tuttavia che tali azioni risultino non maggiori di quelle trasferite dagli elementi sovrastanti, amplificate con γ_{Rd} pari a 1.1 in CD "B" e comunque non maggiori di quelle derivanti da un'analisi elastica della struttura in elevazione eseguita con un fattore di struttura q pari a 1.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, si è fatto riferimento al fatto che il territorio in cui sorgerà l'opera è sito nel Comune di Verduno che, con riferimento alla zonizzazione sismica nazionale, è stato classificato come zona 4.

Le coordinate geografiche del sito sono:

latitudine = 44.66561190

longitudine = 7.92953960

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I calcoli sono stati eseguiti con i normali metodi della scienza delle costruzioni e le verifiche condotte con il metodo degli stati limite facendo riferimento alla seguente normativa:

- **D.M. 14.01.2008**, Norme Tecniche per le Costruzioni.
- **Circ. Min. 617 del 02.2.2009**, Ministero Infrastrutture e Trasporti.

3. MATERIALI STRUTTURALI

Sono riportate le caratteristiche meccaniche e le proprietà dei materiali strutturali che verranno impiegati:

- **Calcestruzzo per fondazioni**

C25/30

Caratteristiche:

Classe di resistenza del calcestruzzo N/mm ²	Rck = 30.00
Resistenza cilindrica caratteristica	fck = 24.90 N/mm ²
Resistenza cilindrica di calcolo	fcd = 14,11 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	fctk = 1.79 N/mm ²
Resistenza car. a trazione per flessione (frattile 5%) N/mm ²	fcdk = 2.15

- **Acciaio per armature di c.a.**

B450C

Caratteristiche:

Tensione di rottura caratteristica	ftk = 540 N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica	fyk = 450 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo	fyd = 391.3 N/mm ²

- **Acciaio per strutture metalliche :**

TIPO S 355

Caratteristiche:

Spessore nominale dell'elemento t < 40mm	
Tensione di rottura caratteristica	ftk = 510 N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica	fyk = 355 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo	fyd = 338 N/mm ²
Spessore nominale dell'elemento 40 < t < 80mm	
Tensione di rottura caratteristica	ftk = 470 N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica	fyk = 335 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo	fyd = 319 N/mm ²

Le resistenze di calcolo saranno valutate mediante la seguente espressione:

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

dove

$$\gamma_c = 1.5$$

$$\gamma_s = 1.15 \text{ (per acciaio da c.a.)}$$

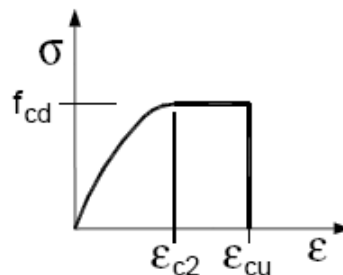
$$\gamma_s = 1.05 \text{ (per acciaio da carpenteria metallica)}$$

In sede di progettazione verranno assunti i seguenti moduli elastici:

$$E_c = 22000 * [(f_{ck} + 8) / 10]^{0.3}$$

$$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Per il diagramma tensione - deformazione del calcestruzzo verrà adottato un modello parabola - rettangolo rappresentativo del reale comportamento del materiale, modello definito in base alla resistenza di calcolo f_{cd} ed alla deformazione ultima ϵ_{cu} .



Modello $\sigma - \epsilon$ del calcestruzzo

In particolare si pone:

$$\epsilon_{c2} = 0.20\% ; \epsilon_{cu} = 0.35$$

Per il diagramma tensione - deformazione dell'acciaio verrà adottato un modello elastico - perfettamente plastico indefinito, rappresentativo del reale comportamento del materiale, modello definito in base al valore di calcolo $\epsilon_{ud} = 0,9\epsilon_{uk}$ ($\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$) della deformazione uniforme ultima, al valore di calcolo della tensione di snervamento f_{yd} ed al rapporto di sovrarresistenza $k = (\epsilon_{ft} / f_y)_k$.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO

In questo capitolo viene delineato l'assetto geologico-geomorfologico del territorio interessato direttamente dal tracciato del tronco 2 – Lotto 6. Il tratto di interesse della Valle Tanaro risulta impostato nella parte superiore della sequenza di ambiente marino o transizionale riferibile al Bacino Terziario Ligure-Piemontese, su cui si sovrappongono direttamente, in corrispondenza dell'incisione valliva, sottili coperture di depositi alluvionali e di versante del Quaternario recente. La sequenza complessiva comprende, procedendo dal basso verso l'alto, le seguenti unità:

- Marne di Sant'Agata Fossili (Età: Tortoniano-Miocene sup.);
- Formazione Gessoso-Solfifera (Età: Messiniano);
- Argille di Lugagnano (Età: Pliocene inferiore-medio)

- Depositi alluvionali medio-recenti, recenti ed attuali (Età: Pleistocene superiore - Attuale).
- Depositi colluviali (Età: Olocene-attuale)
- Depositi di frana (Età: Olocene-attuale)

Le unità di diretto interesse per la realizzazione dell'opera, in quanto costituenti il rilievo collinare di La Morra - Verduno, ed il fondovalle tra Verduno e Roddi sono trattati di seguito. Procedendo da Cuneo verso Asti, il tracciato interessa in galleria, la Formazione Gessoso-Solfifera, le Argille di Lugagnano e le Marne di S. Agata Fossili. Il tratto in superficie si svolge, sino a fine Lotto, nell'ambito dei depositi alluvionali medio-recenti e recenti che mascherano, con una sottile copertura, le Marne di S. Agata nella zona di fondovalle del F. Tanaro.

Si riportano di seguito le descrizioni delle successioni stratigrafiche così come riportate nella relazione geologica a partire dalle unità più antiche, strati graficamente inferiori, sono presenti i seguenti termini:

- **Marne di Sant'Agata Fossili (M4)** Età: Tortoniano-Miocene sup..

Secondo il nome formazionale, questa unità comprenderebbe peliti con rilevante contenuto in carbonati (di regola compresi tra 35÷65%), che conferiscono all'ammasso un comportamento lapideo, sia pure tipico delle rocce sedimentarie tenere. In realtà, anche nella sezione tipo presso S. Agata Fossili (Alessandria) i contenuti in carbonato di calcio sono prossimi al 35%, corrispondente al limite composizionale tra le marne propriamente dette e le marne argillose. Una serie di campioni (n. 48), prelevati nell'ambito di questo studio nel tratto di Valle Tanaro interessato dal Lotto 2.6, ha riscontrato nel 65% dei casi tenori in carbonati relativi al campo delle argille marnose (5÷25%). La variabilità composizionale è molto ampia (dal 7.0% al 50.8%), ma il valore medio non risulta elevato (23.1%). Le marne argillose costituiscono il 31% dei campioni, mentre valori tipici delle marne (carbonati > 35 %) costituiscono delle eccezioni (2 casi). In definitiva, la limitata presenza dei carbonati conferisce all'unità caratteristiche composizionali e, di conseguenza, un comportamento geotecnico influenzato in modo significativo dalla componente argillosa.

Lungo la dorsale Roddi - Verduno, in particolare, l'unità comprende limi-argillosi da molto a estremamente consistenti e argille marnoso-siltose coerenti o semilitoidi, con frattura irregolarmente concoide. Molto frequente (spaziatura da decimetrica a metrica) è la presenza di sottili livelli, con spessori variabili da meno di 1 mm a alcuni decimetri, di sabbie medio-fini limose da circa o più raramente medio-grossolane. Le Marne di S. Agata rappresentano una fase di sedimentazione di mare aperto, come indicato anche dalle associazioni fossili presenti. Le superfici di stratificazione sono di norma indistinte e mal definite. L'assetto giaciturale è a monoclinale debolmente inclinata (5°÷10°) con immersioni variabili da NO a ONO. Lo spessore complessivo raggiunge i 250 ÷300 m.

In funzione di questo assetto strutturale, la Formazione affiora con notevole estensione in corrispondenza dei rilievi che bordano il fianco destro della valle del Tanaro, da Costigliole d'Asti ad Alba, costituisce la dorsale su cui sorge l'abitato di Roddi, giungendo sino alla zona industriale di Verduno. Il suo limite

occidentale, in affioramento, corrisponde circa alla strada comunale che a partire dalla zona del previsto imbocco galleria (Lato Asti) risale verso Verduno. In questo settore le Marne di S. Agata si rinvenivano anche nel fondovalle, alla base della ridotta copertura alluvionale, e affiorano localmente nell'alveo del Tanaro. Tramite i sondaggi la loro presenza è stata accertata sino a profondità dell'ordine dei 50 m al di sotto dell'alveo attuale. Spostandosi più a sud, le Marne compaiono soltanto sul versante est del crinale di Verduno-La Morra, alla base dei terreni prevalentemente sabbioso-ghiaiosi costituenti in questo settore la base della Formazione Gessoso-Solfifera.

In sinistra orografica, dove la Formazione compare con disposizione a reggipoggio, è presente con estensioni minori ed immerge al di sotto delle unità marine più recenti. L'approfondimento recente dell'alveo del Tanaro e l'estrazione di ingenti volumi di depositi alluvionali determina attualmente la presenza delle Marne di S. Agata in affioramento, o a profondità di pochi metri, per un ampio tratto del corso fluviale dalla città di Alba a circa 1 km a valle del ponte di Pollenzo.

La porzione sommitale delle Marne di S. Agata è in parte riferibile, cronologicamente, al Messiniano, come hanno evidenziato le analisi micropaleontologiche condotte sulla sezione di affioramento dello strato-tipo (Cita, 1967). Il passaggio Tortoniano-Messiniano si realizza all'interno di una successione argilloso-marnosa omogenea, probabilmente caratterizzata da continuità di sedimentazione, dato che non risulta possibile individuare, almeno macroscopicamente, superfici di discontinuità. Occorre sottolineare questo aspetto, in quanto la distinzione dei terreni ai fini geologici e geotecnici è basata sulla presenza riconoscibile macroscopicamente dei gessi. L'unità geotecnica 7 (si veda la Relazione Caratterizzazione geologico-tecnica dell'area di progetto), relativa alle marne del substrato locale può comprendere, quindi, sia le Marne di S. Agata propriamente dette, sia le marne con analogo aspetto e comportamento geotecnico appartenenti al Messiniano inferiore.

- **Formazione Gessoso-Solfifera (M5) Età: Messiniano**

In sinistra della valle Tanaro, questa formazione è presente tra Magliano e S. Vittoria d'Alba lungo una fascia limitata disposta nel settore inferiore del versante. In sponda destra, invece, compare soltanto ad ovest di Verduno, dove affiora estesamente e costituisce la quasi totalità della parte superiore del rilievo collinare compreso tra Verduno, La Morra ed il corso del Tanaro. Nell'insieme poggia, tramite una superficie di tipo erosivo con andamento particolarmente irregolare, sulle sottostanti Marne di S. Agata Fossili.

I terreni compresi in questa unità, riferibili ad ambienti deposizionali molto diversi, sono caratterizzati da una notevole eterogeneità compositiva e giacitura, che si traduce in una estrema variabilità areale e verticale dei vari corpi distinguibili su base litologica.

- **Litotipi di origine clastica**, relativi a vari ambienti deposizionali, di tipo molto diverso fra loro.

Comprendono dalle marne di ambiente marino profondo, sia pure con possibili apporti di materiali di provenienza continentale (corpi ghiaioso-sabbiosi risedimentati da correnti di torbida), alle alternanze argilloso-marnose di laguna

ricche in sostanza organica, alle argille sottilmente laminate con resti vegetali di piana alluvionale, alle ghiaie e sabbie depostesi in acque basse continentali o marine. Nell'insieme la composizione granulometrica è prevalentemente fine, comprendendo argille e limi. I tenori in carbonati evidenziano una forte variabilità (1.9÷48.1%). La maggior parte dei valori ricade però nel campo delle argille marnose (carbonati = 5÷25 %) o addirittura delle argille (15 % dei casi con carbonati < 5 %). Le marne argillose costituiscono solo il 20% dei campioni, mentre valori tipici delle marne (carbonati > 35 %) sono stati riscontrati in soli 2 casi. In definitiva la presenza dei carbonati, molto variabile, ma generalmente limitata, conferisce agli intervalli argilloso-marnosi caratteristiche composizionali e, di conseguenza, un comportamento geotecnico influenzato in modo significativo dalla componente argillosa. I corpi a granulometria grossolana assumono nell'ambito dell'area di progetto una importanza nettamente subordinata, costituendo solo livelli e orizzonti di ghiaie e sabbie con spessore sino ad una decina di metri intercalati nelle unità argilloso-marnose. Le indagini geognostiche non hanno rilevato la presenza di orizzonti cementati (arenarie, conglomerati) con spessori elevati superiori ai 0.2÷0.3 m e rilevante continuità spaziale. I depositi grossolani diventano prevalenti, raggiungendo potenze molto maggiori (varie decine di metri) più a sud, nel settore della Morra, dove compaiono anche orizzonti conglomeratici a consistenza lapidea.

- **Sedimenti di origine chimica (evaporiti)**, depostisi nel corso della "crisi di salinità" verificatasi durante il Messiniano, quando l'evoluzione dei movimenti tra le placche africana ed europea determinò l'interruzione degli scambi idrici tra il Mar Mediterraneo e l'Oceano Atlantico, con disseccamento pressochè totale del Mediterraneo. L'ambiente deposizionale delle evaporiti presenti nel Bacino Piemontese, in particolare, sembra riferibile ad una serie di bacini di estensione limitata formati al margine della catena alpina, in cui si verificava un passaggio più o meno graduale tra aree continentali emerse (piana alluvionale), zone di transizione (aree deltizie e lagunari), bacini evaporiti di mare basso, soglie e mare profondo (Selli, 1973). La posizione delle varie aree di sedimentazione condizionava gli scambi idrici con il Mediterraneo e, di conseguenza, la salinità delle acque, favorendo o inibendo la formazione di brine sovrassature dalla cui evaporazione si sono originati i depositi chimici. Questi diversi ambienti potevano coesistere contemporaneamente in aree adiacenti o individuarsi nella stessa regione in periodi successivi, determinando nella successione stratigrafica di un sito la sovrapposizione tra le varie facies. La situazione riscontrata al margine delle Langhe sembra riferibile soprattutto a quest'ultimo caso. I sedimenti derivanti da processi di deposizione chimica sono composti in misura prevalente da gessi, la presenza di blocchi calcarei assume rilevanza in sponda sinistra del Tanaro. I litotipi con gesso possono assumere due diverse tipologie tessiturali: gessi prevalentemente in cristalli a grana minuta alternati a peliti varvate e gessi in grossi cristalli inglobati in lenti o alternanze di peliti grigie, violacee o brune ed arenarie fini in strati sottili.

- **Argille di Lugagnano (Pa)** Età: Pliocene inferiore-medio.

La successione miocenica descritta è ricoperta dai depositi trasgressivi delle Argille di Lugagnano, costituiti essenzialmente da argille marnose e siltose grigio-azzurre, con locali intercalazioni arenacee giallastre più frequenti verso la base della formazione. L'aspetto litologico è molto simile a quello delle Marne di S. Agata Fossili, mentre risulta inferiore il tenore in carbonato di calcio. La

giacitura dei banchi risulta da suborizzontale a debolmente inclinato verso N-NO ($3^{\circ}\div 5^{\circ}$). Lo spessore della Formazione raggiunge i 150 m.

In sponda sinistra l'unità affiora con continuità tra S. Vittoria e Bra, alla base del versante costituente la ripida scarpata che separa il fondovalle del Tanaro dalla pianura di Bra-Roreto. Sul lato destro della valle, costituisce solo limitate aree alla sommità del rilievo compreso tra Verduno e la borgata S. Michele (Cherasco). La loro giacitura risulta leggermente discordante rispetto ai terreni della sottostante Formazione Gessoso-Solfifera. Altri piccoli lembi, con spessori modesti (metri poche decine di metri), si rinvencono sulle elevazioni minori nella zona della Cascina dello Spia.

- **Depositi alluvionali medio-recenti, recenti ed attuali:**

Questi depositi sono caratterizzati da brusche variazioni laterali di facies e dall'associazione laterale di terreni a granulometria sostanzialmente diversa, come evidenziano le sezioni in affioramento, le stratigrafie dei sondaggi e le prospezioni geoelettriche. I depositi ghiaiosi e sabbiosi possono essere interpretati come il prodotto di barre fluviali formatesi in corsi d'acqua a canali incrociati (fiume tipo braided). I depositi argillosi corrispondono a fasi di disattivazione dell'asta fluviale con deposizione di sedimenti fini, principalmente per decantazione.

L'unità con spessore piuttosto costante e compreso in genere tra 6÷8 m, sulla base dei dati acquisiti con i sondaggi e più a valle con la prospezione geoelettrica, può essere suddivisa in due orizzonti principali riconoscibili nell'intero tratto del fondovalle. La parte basale è caratterizzata dall'associazione di ghiaie e sabbie organizzate in corpi discontinui con giacitura marcatamente lenticolare. La parte superiore, con spessore prossimo ai 3 m, comprende principalmente terreni a granulometria fine (limi sabbiosi, localmente limi argillosi).

Al loro interno sono presenti varie superfici di erosione, ascrivibili a fenomeni di inondazione. Queste superfici hanno estensione e sono poste a profondità ridotte (alcuni metri al massimo), e delimitano inferiormente corpi sedimentari caratterizzati da ghiaie basali, sedimentate durante le fasi di piena, a cui succedono sedimenti più fini, come le sabbie e le argille, depostesi durante le fasi terminali della piena, con correnti a bassa energia.

La distribuzione dei depositi alluvionali segue l'andamento del fiume, costituendo una fascia che occupa l'intero fondovalle, con una larghezza generalmente compresa tra 1.5÷2.0 km, ma che in corrispondenza di Pollenzo si amplia considerevolmente giungendo a superare i 3.5 km. Alla loro composizione si associano localmente alla base dei versanti collinari, in proporzione nettamente subordinata, i sedimenti relativi al reticolo minore, la cui attività deposizionale attualmente appare limitata o caratterizzata da episodi sporadici.

All'interno dell'unità considerata nel suo complesso è stata operata una suddivisione utilizzando principalmente criteri morfologici e, per la parte più recente prossima al corso attuale del Tanaro, i dati cartografici e storici. In forma schematica si può osservare che le alluvioni medio-recenti costituiscono le superfici terrazzate e generalmente stabilizzate distribuite a quote diverse all'interno delle incisioni dei corsi d'acqua. Le alluvioni recenti, sebbene solo in parte a contatto con i canali di deflusso attivi attualmente, possono essere

ancora potenzialmente interessate da processi di erosione e deposizione legati alla dinamica fluviale.

- **Depositi colluviali (Cl)** Età: Olocene - attuale.

Comprendono terreni sciolti a granulometria prevalentemente fine provenienti dal rimaneggiamento e da un limitato trasporto ad opera delle acque di scorrimento superficiale non incanalate dei prodotti di alterazione in posto del substrato e dei materiali dei corpi di frana.

Limi sabbiosi fini non addensati, limi argillosi poco consistenti inglobanti a tratti sabbie e ghiaie. Sono presenti localmente frammenti di cristalli di gessi e, raramente, ciottoli ($d_{max} = 10-20$ cm) e clasti di marna alterata. La distribuzione degli accumuli relativi a questa unità è controllata dal comportamento nei confronti dell'erosione areale dei terreni affioranti (granulometria, presenza di coesione, posizione morfologica favorevole all'erosione,...). I depositi maggiori, a granulometria limoso-argillosa (spessori anche dell'ordine della decina di metri), si rinvengono alla base dei versanti impostati nelle sequenze marnose profondamente modellate dai fenomeni fluviali, come la dorsale di Roddi e le incisioni minori confluenti nella Valle del Talloria. Sul versante ovest della collina di Verduno, nell'ambito degli affioramenti della Gessoso-Solfifera, accumuli rilevanti di sabbie fini limose, limi sabbioso-argillosi con rare ghiaie medio fini (spessori complessivi da alcuni metri a oltre 10 m) si rinvengono nei settori di versante configurati a bacini pressoché chiusi, come in particolare nella zona tra la C. Roggeri e la C. Dabbene.

- **Depositi di frana (Fr)** Età: Olocene - attuale.

Si tratta di accumuli a struttura caotica comprendenti terreni incoerenti a granulometria fine, frammenti di marne alterate, blocchi di substrato anche non alterato con potenza da metrica a decametrica. La delimitazione in profondità dei principali corpi di frana è spesso resa problematica dalle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni del substrato che non consentono campionamenti adeguatamente rappresentativi con le usuali tecniche di perforazione.

Nell'ambito dell'area di progetto, i depositi di maggiore rilevanza si rinvengono:

- alla base del versante nel tratto compreso tra il Mulino di Verduno e l'abitato di Toetto. In questa zona particolare rilevanza assume l'accumulo al margine della zona industriale, relativo alla estesa frana con zona di distacco a monte di C. Pradonio, che interessa la zona dell'imbocco galleria lato Asti. Il movimento, la cui attivazione è riferibile in misura determinante all'azione di scalzamento svolta da un antico alveo del Tanaro defluente al piede del versante (a monte della strada provinciale), coinvolge il substrato marnoso. Al piede del versante lo spessore complessivo dei terreni rimaneggiati e della coltre di alterazione del substrato varia tra 10÷20 m, mentre la superficie di scorrimento è stata rinvenuta a circa 30 m dal p.c..

- Al margine ovest dell'area compresa nella Carta Geologica, al di fuori della zona interessata dall'opera, un'ampia frana periodicamente attivata dall'azione



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione geotecnica e sulle fondazioni

erosiva del Tanaro coinvolge il versante sottostante la borgata San Michele, giungendo sino alla sponda destra del Fiume.

- Accumuli con dimensioni minori sono presenti nel settore inferiore del versante compreso tra le C. Roggeri e Nuova e il pendio degradante sul fondovalle.

La configurazione del versante collinare assume importanza fondamentale per la prima parte del Lotto, dove è prevista la realizzazione di una galleria lunga circa 3500 m. L'analisi geomorfologica evidenzia una struttura complessa riferibile a diversi assetti del substrato, che hanno condizionato l'azione dei successivi processi di modellamento gravitativi e connessi all'azione delle acque.

In condizioni non disturbate la giacitura d'insieme delle unità del substrato (M4, M5 e Pa) è riferibile ad una struttura a monoclinale, con inclinazione limitata ($8\div 10^\circ$) e immersione variabile da NO a ONO, che impronta l'aspetto del rilievo collinare caratterizzato da uno spartiacque principale ed un profilo nettamente asimmetrico (versante a reggipoggio ripido verso SE e con pendenza blanda sul lato a franapoggio verso NO). Elementi relativi all'originario spartiacque si rilevano alla sommità del rilievo, attualmente posta tra le quote di 350 e 550 m slm, in prossimità di Verduno e La Morra-Bric del Dente. Alla base del versante la piana alluvionale del Tanaro si sviluppa tra i 190÷200 m slm.

Per facilitare la comprensione della trattazione, di seguito si fa riferimento a vari toponimi di uso comune nell'area, relativi a insediamenti ormai consolidati o a strutture facilmente riconoscibili (quali ad esempio il nuovo cimitero di Verduno). Procedendo da Est verso Ovest, la configurazione complessiva del versante, rilevata sul terreno e tramite l'analisi aerofotogeologica, evidenzia settori, anche adiacenti, con assetti completamente diversi; i principali sono:

- la dorsale Roddi - Cascina Fava (posta circa 1 km a est di Verduno);
- il settore a ovest dalla Cascina Fava, comprendente la Cascina Pradonio, sin quasi all'abitato di Verduno;
- il tratto di versante che si estende a nord dell'abitato di Verduno, e verso ovest sino in corrispondenza del cimitero;
- il settore compreso tra il cimitero di Verduno, la borgata S. Michele (Cherasco) ed il fondovalle del Tanaro;
- il pendio ad ovest di S. Michele, rapidamente degradante verso l'alveo del Tanaro.

5. INDAGINI ESEGUITE

L'indagine geognostica si è articolata in varie fasi, in sito ed in laboratorio, ed è stata mirata all'affinamento del modello geologico e geotecnico dell'area oggetto di intervento. Lo studio è stato rivolto, in particolare, alla comprensione della successione stratigrafica, alla definizione dei litotipi presenti, delle loro caratteristiche mineralogiche, geologiche e geotecniche, dei loro spessori e dei rapporti stratigrafici. In relazione alle variazioni della morfologia dell'area nell'ultimo secolo, connesse agli

interventi antropici relativi all'attività estrattiva ed alla dinamica fluviale del F. Tanaro, è stata anche svolta un'analisi dettagliata dell'evoluzione recente dell'area, tramite rilievi sul terreno, acquisizione di informazioni in sito, consultazione della cartografia e della bibliografia.

5.1. INDAGINI IN SITO

Nell'area interessata dall'opera sono state eseguite diverse campagne d'indagine comprendenti sondaggi a carotaggio continuo con prelievo, nel corso delle perforazioni, di campioni indisturbati e di campioni rimaneggiati, pozzetti esplorativi, prove penetrometriche dinamiche, prove pressiometriche, prove di permeabilità, prove di carico su piastra in pozzetto, prove di laboratorio sui campioni indisturbati e su quelli rimaneggiati. La maggioranza dei fori è stata attrezzata con piezometro.

5.2. INDAGINI IN LABORATORIO

Sui campioni prelevati a diverse profondità, significative ai fini della progettazione dell'opera, sono state eseguite una serie di prove di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione mineralogica, fisica e meccanica dei terreni presenti.

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati hanno consentito di ottenere informazioni circa:

- natura e caratteristiche fisiche dei terreni;
- parametri di resistenza al taglio in condizioni non drenate (c_u);
- parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate (Φ e c');
- parametri di compressibilità e deformabilità;
- parametri di permeabilità.

In particolare, dopo avere provveduto alla descrizione geotecnica dei campioni indisturbati (D_c), sono state eseguite in modo sistematico:

- - prove per la determinazione del peso dell'unità di volume totale (γ);
- - prove per la determinazione del peso specifico dei grani (G_s);
- - prove per la determinazione del contenuto d'acqua (w_N);
- - prove per la determinazione dei limiti di Atterberg (w_L , w_P);
- - analisi granulometriche ed aerometriche (G_r);
- - classificazione U.S.C.S.;
- - prove per la determinazione del contenuto di carbonati ($CaCO_3$);
- - prove edometriche ad incrementi di carico (E_{d0L});
- - prove triassiali non consolidate non drenate (T_xUU);
- - prove triassiali consolidate drenate (T_xCID);
- - prove di compressione ad espansione laterale libera;
- - prove di taglio diretto (TD).



6. PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici relativi all'area di progetto.

Litologia	γ kN/m ³	c' kPa	c_u kPa	ϕ' °	E' MPa	Unità Geotecnica
Limo sabbioso	18	15	50	25	10	3b
Ghiaia sabbiosa	18	0	0	33	35	3a
Marna argillosa	21	50	700	30	30/50-100crescente con la profondità	7
Gessi	19.5	20	>150	28	30-50	6

Tab. 7.1 – Tabella dei parametri geotecnici

7. VERIFICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Le fondazioni sono di tipo diretto a plinto al di sotto di ogni coppia di colonne, delle dimensioni 2x3x0.60m. Anche le funi sono ancorate a fondazioni che fungono da zavorra al fine di bilanciare la tensione indotta dal cavo ed hanno dimensioni 8x2x2m.

Interazione muro-terreno (SLU approccio 2: A1+M1+R3)			
N	563.10	kN	carico verticale alla base del plinto di fondazione
M _B	27.48	kN·m	momento flettente attorno al lato corto della fondazione
M _L	57.80	kN·m	momento flettente attorno al lato lungo della fondazione
T _B	25.60	kN	azione tagliante lungo il lato corto della fondazione
T _L	58.00	kN	azione tagliante lungo il lato lungo della fondazione
H	63.40	kN	azione orizzontale risultante
s _{max}	1.08	daN/cm ²	tensione massima sul terreno

Geometria plinto di fondazione			
h	60.00	cm	altezza plinto di fondazione
B	200.00	cm	larghezza del plinto di fondazione
L	300.00	cm	lunghezza del plinto di fondazione
A	60'000.00	cm ²	area della superficie di appoggio del plinto di fondazione
B/6	33.33	cm	nocciolo d'inerzia
L/6	50.00	cm	nocciolo d'inerzia
G	90.00	kN	peso del plinto di fondazione
e _B	10.27	cm	eccentricità dei carichi in fondazione in direzione B
e _L	4.88	cm	eccentricità dei carichi in fondazione in direzione L
B'	179.47	cm	larghezza di calcolo della fondazione
L'	290.24	cm	lunghezza di calcolo della fondazione

Coefficienti parziali per le azioni (Tab.6.2.I)					
Carichi	Effetto	g	EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	g_{G1}	0.90	1.00	1.00
	Sfavorevole		1.10	1.30	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevole	g_{G2}	0.00	0.00	0.00
	Sfavorevole		1.50	1.50	1.30
Variabili	Favorevole	g_{Qi}	0.00	0.00	0.00
	Sfavorevole		1.50	1.50	1.30



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione geotecnica e sulle fondazioni

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

Parametro		g_M	M1	M2
Angolo d'attrito	$tg f'_k$	g_r	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	$g_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	g_{cu}	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	g	g_g	1.00	1.00

Coefficienti parziali per le verifiche agli SLU di fondazioni superficiali (Tab. 6.4.I)

Verifica	g_{R1}	g_{R2}	g_{R3}
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione geotecnica e sulle fondazioni

VALUTAZIONE DELLA PORTANZA DEL TERRENO SOTTO LA FONDAZIONE (TENSIONI EFFICACI)

f'	25.00 °	angolo d'attrito interno del terreno
c'	0.15 daN/cm ²	coesione
g	1800.00 daN/m ³	peso specifico apparente
Dr	0.53	densità relativa (Terzaghi-Peck)
tgf'	0.47	tang dell'angolo d'attrito interno del terreno
tgf'_R	0.46	tang dell'angolo d'attrito ridotto che tiene in conto un'eventuale rottura del terreno a punzonamento
f'_R	24.77 °	angolo d'attrito ridotto che tiene in conto un'eventuale rottura del terreno a punzonamento
D	60.00 cm	profondità del piano di posa del plinto rispetto al terreno circostante la fondazione
g_w	1000.00 daN/m ³	densità acqua
g'	800.00 daN/m ³	peso di volume del terreno saturo
q'	1080.00 daN/m ²	peso terreno sopra il piano di posa della fondazione
B'	179.47 cm	spessore di calcolo della fondazione
L'	290.24 cm	lunghezza di calcolo della fondazione
N_c	20.38	coefficienti presenti nella formula di Terzaghi
N_q	10.40	
N_g	10.52	
z_q	1.29	coeff. di forma per una sezione rettangolare
z_c	1.32	
z_g	0.75	
tgδ=(TB/TL)	0.44	inclinazione del carico
m_b	1.62	
m_l	1.38	
m	1.42	
x_q	0.99	Coeff. di inclinazione del carico
x_c	0.99	
x_g	0.99	
d_q	1.10	fattori di profondità del piano d'appoggio
d_c	1.12	
d_g	1.00	
Q_{lim,v}	7.31 daN/cm ²	$Q_{lim,v} = (x_c \times z_c \times d_c \times c' \times N_c) + (q' \times x_q \times z_q \times d_q \times N_q) + \square \times (B/2) \times x_g \times z_g \times d_g \times N_g$
Q_{es,v}	3.18 daN/cm ²	fattore di riduzione 2.3 (Tab. 6.4.I)
Q_{lim,h}	133.59 KN	$Q_{lim,h} = N_{min} \times tgf$
Q_{es,h}	121.44 KN	fattore di riduzione 1.1 (Tab. 6.4.I)
s_{max} < Q_{es,v}	VERO	verifica collasso per carico limite (SLU approccio 2: A1+M1+R3)
H < Q_{es,h}	VERO	verifica a scorrimento (SLU approccio 2: A1+M1+R3)



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione geotecnica e sulle fondazioni

Verifica a ribaltamento del plinto comb EQU, attorno al lato lungo L

$V_{(f.s.)} \times 0.9$	39.21 kN	carico verticale minimo
$G \times 0.9$	81.00 kN	peso plinto (permanente strutturale)
$N = V + G$	120.21 kN	carico verticale minimo alla base del plinto
$M_L \times 1.5$	24.98 kN*m	momento massimo attorno all'asse lungo orizzontale
$H_B \times 1.5$	23.28 kN	azione orizzontale massima esercitata
$M_{ribaltante} = 1.5M_L + 1.5H_B \times h$	38.95 kN*m	momento ribaltante
$M_{stabilizzante} = (0.9V_{(f.s.)} + 0.9G) \times B/2$	120.21 kN*m	momento stabilizzante
$M_{stabilizzante}/M_{ribaltante}$	3.09	

Verifica

$M_{stabilizzante} / M_{ribaltante} \geq 1$ **VERO**

Verifica a ribaltamento del plinto comb EQU, attorno al lato corto B

$V_{(f.s.)} \times 0.9$	39.21 kN	carico verticale della Gru (permanente strutturale)
$G \times 0.9$	81.00 kN	peso plinto (permanente strutturale)
$N = V + G$	120.21 kN	carico verticale alla base del plinto
$M_B \times 1.5$	52.55 kN*m	momento attorno all'asse orizzontale esercitato dalla Gru
$H_L \times 1.5$	50.42 kN	azione orizzontale esercitata dalla Gru
$M_{ribaltante} = 1.5M_B + 1.5H_L \times h$	82.80 kN*m	momento ribaltante
$M_{stabilizzante} = (0.9V_{(f.s.)} + 0.9G) \times L/2$	180.31 kN*m	momento stabilizzante
$M_{stabilizzante}/M_{ribaltante}$	2.18	

Verifica

$M_{stabilizzante} / M_{ribaltante} \geq 1$ **VERO**

8. ARMATURA PLINTO

MATERIALI		
Acciaio per c.a. B450C	E_s	210'000.00 N/mm ²
	n	0.30
	G	80'769.23 N/mm ²
	r	7'850.00 kg/m ³
	f_{yk}	450.00 N/mm ²
	g_s	1.15
	f_{yd}	391.30 N/mm ²
	e_{se}	0.19%
	e_{su}	1.00%

C.i.s. per classi ≤ C50/60	R_{ck}	30.00 N/mm²
	f_{ck}	24.90 N/mm ²
	g_c	1.50
	b	0.85
	f_{cd}	14.11 N/mm ²
	f_{ctm}	2.56 N/mm ²
	E_c	31'447.16 N/mm ²
	f_{ctk}	1.79 N/mm ²
	f_{ctd}	1.19 N/mm ²
	f_{bk}	4.03 N/mm ²
	f_{bd}	2.69 N/mm ²
	e_{c0}	0.20%
	e_{cu}	0.35%



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione geotecnica e sulle fondazioni

GEOMETRIA SEZIONE			
H	600 mm	altezza sezione	
B	1000 mm	larghezza sezione	
c	50 mm	copriferro	
d	550 mm	altezza utile	
A_{sX}	804 mm ²	armatura inferiore (tesa per $M > 0$)	$\Phi 16/25$
A_{sX}'	804 mm ²	armatura superiore (tesa per $M < 0$)	$\Phi 16/25$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO		
N_{Ed}	0.00 N	compressione (>0)
$M_{d,y}$	54'051'585.37 N*mm	momento sollecitante
$V_{Ed,Z}$	108'103.17 N	taglio sollecitante

MOMENTO RESISTENTE POSITIVO (armatura tesa inferiore)		
r_s	0.0015	rapporto geometrico d'armatura inferiore tesa (A_s)
s_s	391.30	tensione a rottura dell'armatura inferiore tesa (A_s)
s'_s	-39.68	tensione a rottura dell'armatura superiore compressa (A'_s)
e_s	1.00%	deformazione a rottura dell'armatura inferiore tesa (A_s)
e'_s	-0.02%	deformazione a rottura dell'armatura superiore compressa (A'_s)
w_s	0.04	rapporto meccanico d'armatura inferiore tesa (A_s)
x	0.06	percentuale sezione compressa a rottura
X	30.71 mm	posizione asse neutro, a rottura, dal bordo superiore
C	314'705.63 N	risultante di compressione su A'_s e sul cls
F	314'705.63 N	risultante di trazione su A_s
z	541.54 mm	braccio risultanti interne C-F
$M_{r,y}$	170'426'298.29 N*mm	momento resistente
$M_{r,y} \geq M_{d,y}$	VERO	COEFF. SIC. 3.15



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione geotecnica e sulle fondazioni

CAMPI DI ROTTURA per flessione positiva (armatura tesa inferiore)		
Rottura limite	x_{lim}	0.259 Percentuale sezione compressa
	X_{lim}	142.59 mm
Rottura bilanciata	x_{bil}	0.653 Percentuale sezione compressa
	X_{bil}	358.92 mm
Campo di rottura 2 tension failure	$0 < X < X_{lim}$	VERO Posizione asse neutro
	$0 < x < x_{lim}$	VERO Percentuale sezione compressa
Campo di rottura 3 tension failure	$X_{lim} < X < X_{bil}$	FALSO Posizione asse neutro
	$x_{lim} < x < x_{bil}$	FALSO Percentuale sezione compressa
Campo di rottura 4 compression failure	$X_{bil} < X < d$	FALSO Posizione asse neutro
	$x_{bil} < x < 1$	FALSO Percentuale sezione compressa
Limiti di normativa	$x < 0,450$	VERO Per cls Rck ≤ 30 N/mm ²
	$x < 0,350$	VERO Per cls Rck > 35 N/mm ²



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione geotecnica e sulle fondazioni

