COMMITTENTE

TIMBRO

AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.p.A.

VIA BERLINO N°10 38100 TRENTO
PART. IVA 00210880225

PROGETTO

PROGETTO ESECUTIVO

RIFACIMENTO DEL SOVRAPPASSO AUTOSTRADALE N° 27 "S.C. EGNA" (PR. km 104+170) E DEL PONTE SUL FIUME ADIGE NEL COMUNE DI EGNA (BZ)

num.	data	aggiornamento	redatto	approvato
d				
c				
b				

CONTENUTO

RELAZIONI

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

PROGETTISTA:

STUDIO DI INGEGNERIA
BAUINGENIEURBÜRO
DOTT. ING. MARIO VALDEMARIN
Bressanone, via Mercato Vecchio 21 Altenmarktgasse, Brixen (BZ)
tel. 0472-835576; fax 0472-836748; studio.valdemarin@rolmail.net

TIMBRO

Progetto: dott.ing. Mario Valdemarin
Verifica strutturale: dott.ing. Vittorio Gavoni
Carpenteria costruttiva: dott.ing. Dieter Schölzhorn

data	file	redatto	approvato	scala	cod. progetto	documento
14/03/2014	03/03/E00/	DS	MV1	–	0303	1.2.1

Azienda Speciale per la Regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo- Rip.30
Sonderbetrieb für Bodenschutz, Wildbach-, und Lawinenverbauung-Abt.30

Demolizione e ricostruzione del ponte sull'Adige a Egna (km 118,193) Adige-Estch
Abbruch und Wiederaufbau der Etschbrücke in Neumarkt

Oggetto: **RELAZIONE GEOTECNICA**
INDAGINE SUI TERRENI
Betreff: **GEOTECHNISCHER BERICHT**
BODENUNTERSUCHUNGEN

Gemeinde: Neumarkt
Comune: Egna

Techniker:
Tecnico : dr. ing. Fabio De Polo

Datum: 30. August 2005
Data: 30 agosto 2005

BIBLIOGRAFIA

- Calavera J., Lancellotta R., (1999), Fondazioni, *McGraw-Hill.*
- Lancellotta R., (1991), Geotecnica, *Zanichelli Ed.*
- Tanzini M., (2002), L'indagine Geotecnica, *Dario Flaccovio Ed.*
- Viggiani C., (2003), Fondazioni, *Hevelius Ed.*
- Grundbautaschenbuch, Teil 1-3, (2001), *Ernst & Sohn Verlag*

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI ENV 1997-1:1997- EC7, Progettazione geotecnica. Parte1: Regole generali
- UNI ENV 1997-2:2002- EC 7, Progettazione assistita da prove di laboratorio
- UNI ENV 1997-3:2002- EC7, Progettazione assistita con prove in sito
- UNI EN 1536:2003, Esecuzione di lavori speciali – Pali trivellati
- D.M. 11.03.1998, nr.47: 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
- Circ. Mim LL.PP, 24.09.1988. nr. 30483: Istruzioni per l'applicazione al D.M. 11.03.1998
- A.G.I.-Raccomandazioni sui pali di fondazione 1985
- Norme tecniche per le costruzioni (2005), Versione approvata dal Consiglio Superiore dei LL.PP. con il recepimento degli emendamenti proposti dal Dipartimento della Protezione Civile.

ALLEGATI

A) Sondaggi: relazione Stratigrafica-Imprefond (Tn)
B) Prove geotecniche di laboratorio-Geomisure (Tn)
C) Prove geotecniche di laboratorio-Geo-Labor (Tn)
D) Indagini geofisiche con metodi sonici – misure CROSS-HOLE-Solgeo (Mi
E) Elaborazione dati granulometrie

INDICE

1. PREMESSA
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE
   2.1. Geologia
   2.2. Assetto strutturale generale
   2.3. Inquadramento geomorfologico generale
   2.4. Inquadramento idrogeologico generale
3. INDAGINI GEOTECNICHE
4. DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI
5. LA ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI E LA CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE
   5.1. Materiali di copertura AT
   5.2. Alluvioni grosse, medie e fini del fiume Adige (ALG)
      5.2.1. Terreni GS
      5.2.2. Torbe
      5.2.3. Terreni SG
   5.3. Terreni fini UTS e UST
6. PARAMETRI DI RIGIDEZZA PER PICCOLE DEFORMAZIONI
7. CONCLUSIONI ED INDICAZIONI TECNICHE

1. PREMESSA

La presente relazione riguarda gli aspetti geotecnici inerenti la realizzazione di un nuovo ponte sul fiume Adige nei pressi dell'abitato di Egna –Bz (fig.0).

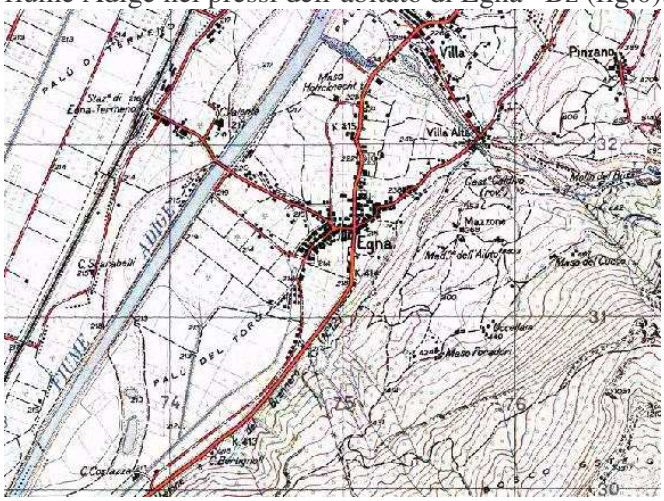


Fig.0 - Stralcio carta topografica dell'IGM in scala 1:25.000

Il ponte attuale collega il centro storico di Egna alla stazione ferroviaria ed è posto a EST rispetto all'asse dell'autostrada del Brennero A22. L'attuale ponte è stato costruito negli anni 50' e come si può notare dalla figure 1, 2 e 3 è sostenuto da 5 pile connesse a loro volta al terreno mediante una palificata (nr. 8 pali tipo SCAC).

Il nuovo ponte carrabile, ciclabile e pedonale verrà realizzato previa demolizione del ponte esistente.

Fig.1 – Foto aerea – area in esame

Fig.2 – Particolare ponte – vista Nord→Sud

Fig.3 – Fondazione ponte esistente

Al fine di una caratterizzazione stratigrafica dell'area in esame sono stati presi in considerazione gli studi eseguiti nelle immediate vicinanze al ponte stesso e di seguito riportati (archivio Rip.30).
Per tali studi sono disponibili i dati dei sondaggi, prove in sito e di laboratorio.

AdB Autorità di Bacino Nazionale Fiume Adige
Rilievi topografici e geognostici del sistema arginale del fiume Adige
Fase C3- Indagini geognostiche e geofisiche (ago.-ott. 1995)
Imprese esecutrici: A.T.I: C.S.R.-PRESSPALI S.p.A.(0865-55321)
Tratto: da ponte Adige fino a Salorno

Met SNAMPROGETTI Sondaggi eseguiti in occasione costruzione matanodotto
Roverè della Luna-Bolzano DN600(24")-70 bar
Relazione geotecnica Prof.Ing. Francesco Colleselli-Aprile 1996
Sondaggi eseguiti nel marzo 1996 dalla SOTECA s.r.l. di Padova
e dalla Sacchetto Padana Perforazioni s.r.l. di Adria (RO)
Tratto da: Salorno a Bolzano

GeoM Geostudio Marini Bz
Committente: Bacini Montani
Sondaggi eseguiti da ECOGEOS (ago.-set.2000)
Tratto: argine dx Egna

WBV Azienda Speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e difesa del suolo
-Progetto riguardante la sistemazione dell'argine in sinistra orografica immediatamente a monte del ponte di Egna
Attualmente in elaborazione (Ing. Fabio De Polo)
-Progetto e DL argine in sinitra orografica nel Comune di Salorno-parte geotecnica 2004

GC Genio Civile
Progetto per la realizzazione del diaframma posto a partire dal coronamento dell'argine a valle del ponte in sponda orografica destra.

UNITN Azienda Speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e difesa del suolo
Collaborazione per l'analisi di stabilità dei rilevati arginali
Attualmente in fase di realizzazione

Sono altresí analizzati i report dei Pozzi/Brunnen per i quali esiste una stratigrafia presso l'ufficio 37.1- Gestione risorse idriche della PAB.

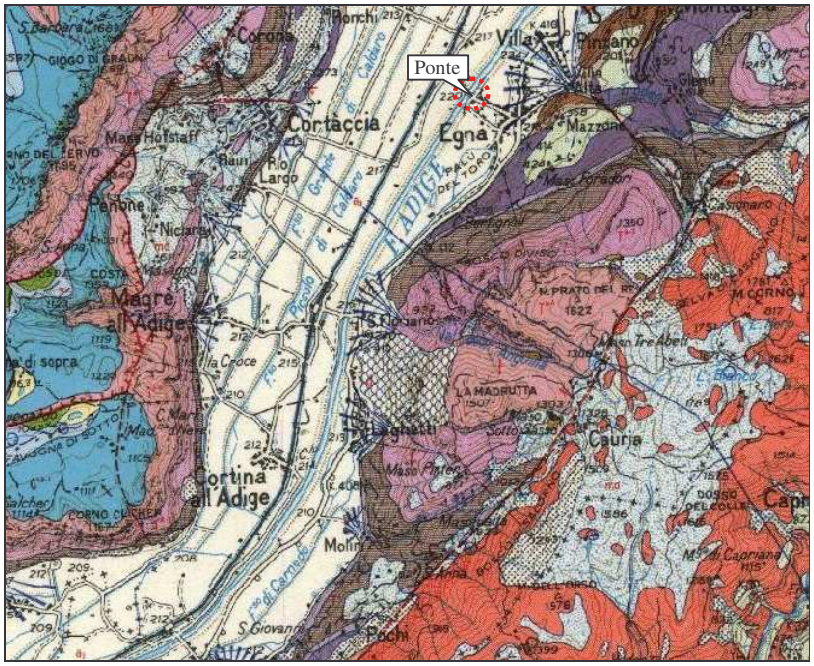
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

2.1. Geologia

L'area in esame rientra nell'ambito del bacino atesino, che rappresenta il sistema vallivo più esteso delle Alpi Meridionali. Il substrato roccioso del bacino atesino è costituito in prevalenza da formazioni rocciose del Complesso Vulcanico Atesino e da quelle calcareo-dolomitiche triassiche.
Nell'ambito delle Alpi Meridionali, si distinguono tre complessi sovrapposti:

- il basamento scistoso-cristallino, che occupa un'area a forma di lente tra Merano e Dobbiaco, con Bressanone al centro. Questo basamento scistoso cristallino, a Bressanone è formato da parascisti, tra i quali predominano le filladi quarzifere di età pre-ercinica;
- la piattaforma porfirica atesina che si estende dalla Linea delle Giudicarie fino in Carinzia e dalla congiungente Merano-Val Gardena fino alla catena di Lagorai. Affiora su una superficie più vasta attorno a Bolzano e poggia in discordanza angolare sul basamento scistoso-cristallino. Si tratta di una successione di colate di lava, ignimbriti e da coltri di materiali piroclastici, assai variabili, sia in senso verticale, sia orizzontale per composizione petrografia, proprietà fisiche, estensione, spessore e genesi. Entro il complesso si possono distinguere un sistema basale a chimismo basico ed un sistema superiore a chimismo acido. Il complesso dei porfidi a sua volta è parzialmente ricoperto da conglomerati ed arenarie provenienti dallo smantellamento della piattaforma eruttiva e da evaporiti poco potenti appartenenti al Permiano;
- le Dolomiti si sovrappongono alla piattaforma porfirica. Esse affiorano nella parte sud-orientale della provincia ed i loro equivalenti stratigrafici ad E dell'Adige. La serie inizia con termini arenaceo - marnosi per poi passare a quelli a carattere marino con calcari, calcari dolomitici e dolomie.Nel Triassico Medio, alla sedimentazione carbonatica organogena, nei bacini interposti alle scogliere e sede di depositi marnosi, si accompagna un'intensa attività vulcanica sottomarina, con formazione di rocce effusive basiche e tufi.In provincia di Bolzano la serie stratigrafica delle Dolomiti termina col Cretaceo inferiore, a differenza di quanto avviene nel Trentino, dove la sedimentazione si è protratta anche se con qualche interruzione, fino al Miocene, intervallata da temporanei fenomeni eruttivi.

Alle rocce solide che costituiscono l'ossatura della provincia, è sovrapposta la copertura quaternaria. Questa copertura è costituita da depositi morenici di fondo del ghiacciaio atesino, dai sedimenti fluvio-glaciali e alluvionali dell'Adige e dai detriti legati all'ingente apporto dei principali affluenti che hanno dato origine, al loro sbocco in fondovalle, a imponenti coni di deiezione, ora parzialmente sepolti.
I depositi dei coni di deiezione caratterizzati dalla tipica selezione, granulometria decrescente dalla zona d'apice alla zona distale, hanno contribuito in gran parte al sovralluvionamento della valle. La fase di accrescimento rapido dei coni di deiezione è riferibile alla fine del Pleistocene ed alla prima parte dell'Oligocene. Nel Postglaciale i versanti sono stati ricoperti di estese coperture boschive ed i processi erosivi hanno subito un forte rallentamento. Nell'Olocene non attuale, inoltre, il sovralluvionamento del fondovalle per l'abbondante apporto detritico proveniente dalle valli tributarie, ha dato luogo alla formazione di estese aree acquitrinose e palustri con deposito di sedimenti spesso organici, talora associati a torba e prevalentemente coesivi.
Morfologicamente la superficie dell'area in esame si presenta sub-pianeggiante, caratterizzata dal fondovalle dell'Adige e dal conoide del torrente Trodena (fig. 1 e 2).
Il materiale di riempimento del solco vallivo, a partire dalla base, è costituito dai depositi morenici di fondo e dai sedimenti fluvioglaciali della fase di ritiro würmiana, ricoperti da una potente successione di sedimenti alluvionali con granulometria eterometrica, lasciati dalle esondazioni del fiume Adige. Inoltre, sono possibili le interdigitazioni sia con i depositi di conoide, provenienti dal conoide del torrente Trodena e sia con i materiali detritici colluviale di versante, derivanti da frane del postglaciale.
I terreni che invece affiorano nei dintorni del paese di Egna sono per la maggior parte formati da arenarie quarzose feldspatiche di colore rosso-grigiastro con intercalazioni di gesso, marne, argilliti e livelli carboniosi con resti di piante e calcarenite e dolomia varicolori (fig. 4).


Ponte
Corona
Cortaccia
Egna
Mazzon
Cenone
Magrè all'Adige
Cortina all'Adige
Cauria
Pochi
Molin
S. Giovanni
LA MADRUTTA
M. PRATO DEL RE
M. CORNO
Masso Tre Abeti
Masso Foresta
Masso Foradori
Mazzon Hofstaff
Rio Largo
Nicianer
Fiume Adige
Rio di Cornale
Rio di Cortaccia
Rio di Caldaro
Rio Gorghe di Caldaro
Rio Pozzo
Rio di Sopra
Rio Croce
Rio Pozzo
Rio di Cornale
Rio di Caldaro
Rio Gorghe di Caldaro

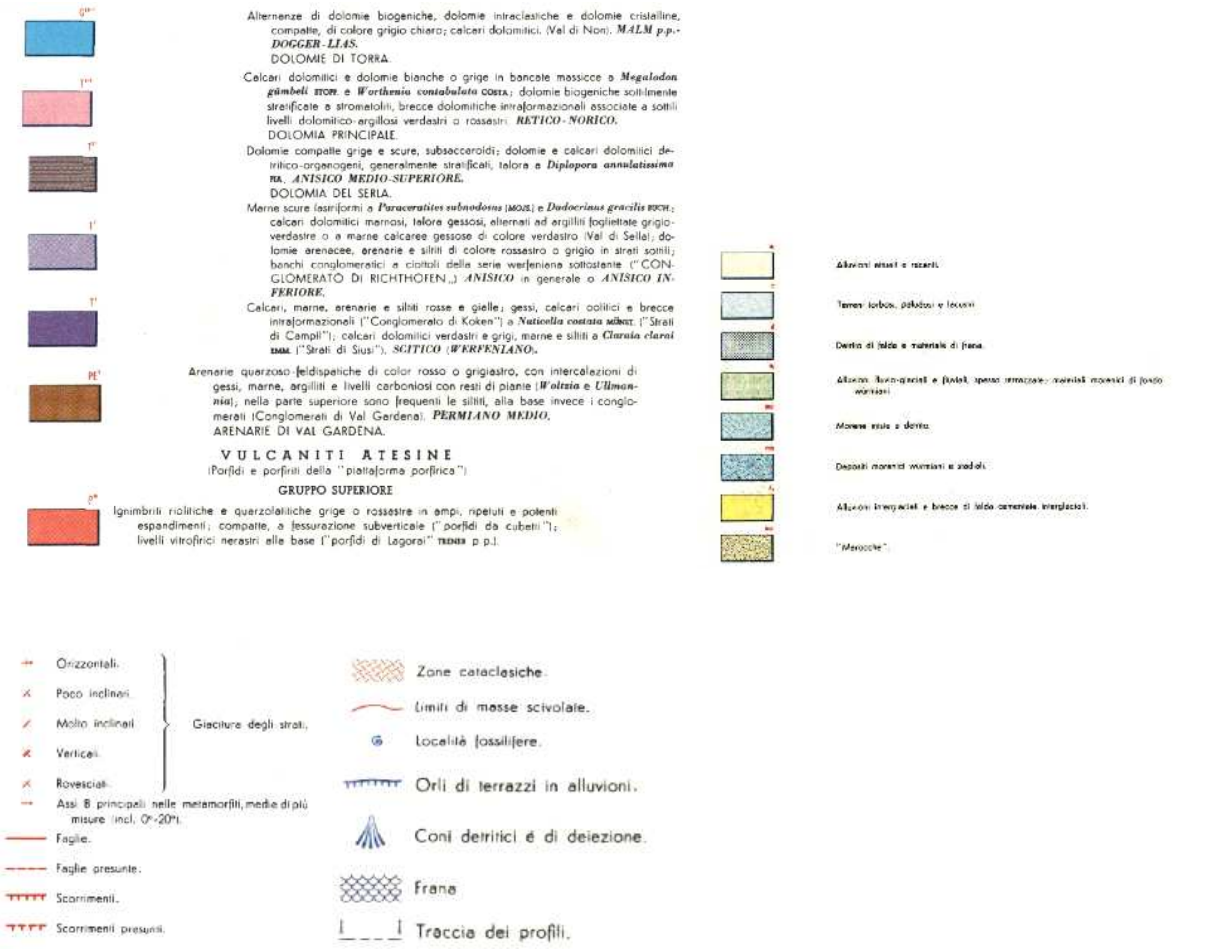


Fig.5 - Legenda carata geologica

2.2. Assetto strutturale generale

L'assetto strutturale del bacino atesino è condizionato dalla presenza di almeno quattro sistemi tettonici di importanza regionale:

- linea delle Giuducarie che dall'omonima valle, raggiunge Mules in Val d'Isarco e passa per Merano, con direzione NNE-SSW. Influenza soprattutto la parte meridionale del bacino atesino e la vicina regione del Garda;
- linea della Pusteria – Gailtal, che da Mules va oltre il confine di Stato, con direzione NW-SE, di cui si nota l'influenza nell'area più settentrionale;
- linea Schio – Vicenza, di direzione NW – SE, che trova la massima espressione nei gruppi del Carena e del Pasubio e nelle valli laterali del Leno e dei Ronchi;
- linea della Valsugana, con direzione WSW – ENE, ben riconoscibile nel settore atesino intermedio (fig.6).

Tutti questi sistemi derivano da più fasi tettoniche, che hanno dato luogo a nuove strutture ed in parte ne hanno riattivato delle vecchie.

Nella regione è stata riconosciuta una fase deformativa mesoalpina, di età eocenico-oligocenica, durante la quale i fenomeni compressivi di direzione E-W hanno prodotto accavallamenti e faglie vergenti verso WSW; una fase neoalpina di età miocenica che ha determinato una compressione secondo la direzione SSE-NNW con formazione di accavallamenti sia nord-vergenti sia sud–vergenti ed individuazione dell'ampio sinclinorico dolomitico.

La neotettonica post-miocenica interessa principalmente l'area prealpina, quella della Val d'Adige meridionale e del Garda, come mostrato anche dagli epicentri dei numerosi terremoti storici.

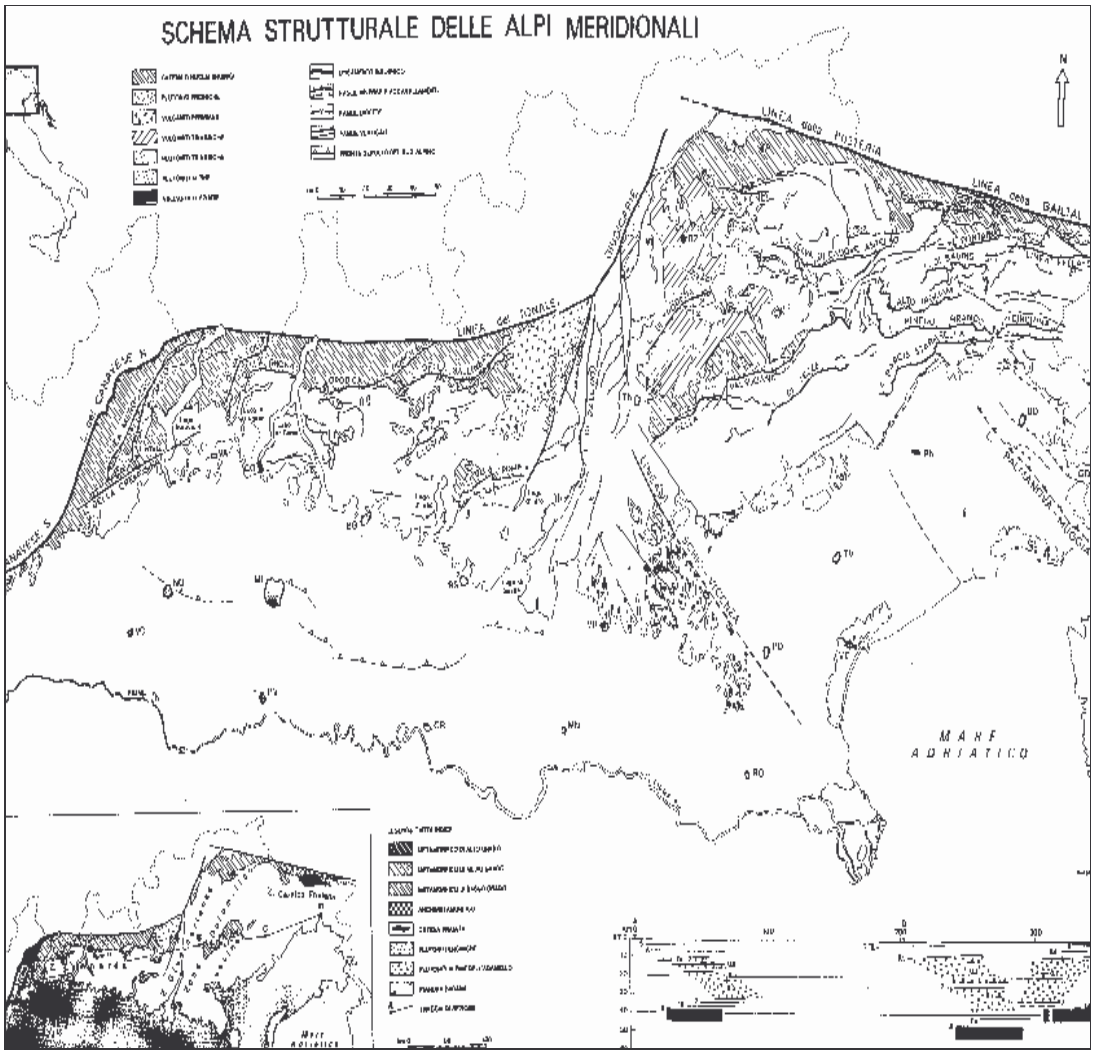


Fig.6- Schema strutturale delle Alpi Meridionali.

I terreni della provincia di Bolzano differiscono tra loro non solo per la gran varietà dei litotipi, ma anche per il diverso stile tettonico dato dai movimenti orogenetici ercinici ed alpini, nei quali sono stati coinvolti e che hanno giocato un ruolo fondamentale per il modellamento di questa regione.
La tettonica verificatasi nelle Alpi Centrali con un numero non ben precisato di fasi tettoniche ha trasformato completamente le rocce in scisti cristallini, cancellandone la sequenza e le strutture originarie. Esse si presentano contorte, compresse e dislocate, inoltre sono percorse da piani di scorrimento lungo i quali, i lembi di terreno si sono accavallati, formando delle falde di ricoprimento.
Ben differente la situazione nelle Alpi Meridionali, dove la tettonica è stata più semplice.
Solo il basamento scistoso-cristallino ha subito vari corrugamenti risultando metamorfosato e ripiegato. La piattaforma porfirica e le Dolomiti, che hanno subito l'orogenesi alpina, hanno reagito in modo differente alle sollecitazioni in base alle caratteristiche fisiche delle rocce. I porfidi e le scogliere, a comportamento rigido, si presentano fratturati e fagliati, mentre i terreni stratificati e relativamente plastici delle Dolomiti mostrano pieghe e pieghe-faglie, passanti a volte a sovrascorrimenti locali.
Sovrascorrimenti sono riscontrati anche nei dintorni dell'abitato di Egna.
Uno di questi ha andamento NE-SW, quindi circa parallelo alle Linee delle Giudicarie che parte dal Latemar ed arriva fino a S. Michele all'Adige.Un secondo sovrascorrimento che taglia il primo, ha andamento quasi E-W, ed è localizzato verso la valle del torrente Trodena, un altro è verso S. Michele all'Adige, con andamento NW-SE e taglia il primo.

2.3. Inquadramento geomorfologico generale

La morfologia della valle dell'Adige e del territorio atesino deriva da tutta una serie di cicli di modellamento che si sono verificati a partire dal Terziario.
La larghezza della valle e la forma dei fianchi dei rilievi sono attribuibili all'escavazione glaciale quaternaria ed in stretta relazione con l'ultima glaciazione würmiana, quando estesi sistemi di ghiaccio hanno colmato le valli contribuendo, con l'azione erosiva ad approfondire il solco vallivo (che in seguito è stato riempito dai depositi alluvionali dell'Adige e dei corsi d'acqua laterali), ad abbassare le soglie e selle montuose e ad aprire nuove vie di deflusso verso la pianura. Le ultime sostanziali modifiche dell'assetto morfologico, quindi, si sono avute con l'ultimo ciclo erosivo glaciale. Alla scomparsa dei ghiacciai würmiani, la morfologia attuale era così delineata: le attuali direttrici del rilievo e dell'idrografia, seguono solo in parte linee preesistenti alle glaciazioni quaternarie.
La fisionomia del territorio si è evoluta attraverso la duplice azione glaciale e fluviale. Molte valli, pur essendo state modellate dall'azione erosiva dei ghiacciai mostrano, soprattutto nella parte terminale, un profilo trasversale a V, indice di un recente approfondimento per erosione torrentizia, con fondo della valle alluvionato e/o sovralluvionato. In queste condizioni le divagazioni del fiume Adige nell'ambito della piana, hanno favorito lo sviluppo planimetrico ad anse, condizionato dalla presenza di ampi coni di deiezione sul fondovalle.
Sul fianco N-W del versante M.te Prato del Re, alle spalle del comune di Egna, al di sotto della piana alluvionale si innesta il conoide del torrente Trodena.
L'aspetto del territorio è stato modellato grazie anche all'enorme contribuito dell'azione antropica.
Nel secolo scorso, prima della sistemazione con gli argini attuali, il fiume Adige divagava sul fondovalle con andamento meandriforme e nella prima metà dell'800 si è provveduto alla rettifica del corso dell'Adige a Villa ed Egna, di conseguenza, a valle del ponte di Egna si era formata un'isola denominata "*Untere Insel - Isola di sotto*", compresa tra due bracci di fiume. I lavori di regolazione continuarono fino al 1896 ed oggi il vecchio corso abbandonato costituisce l'attuale paleoalveo (si veda Tavola grafica nr.2)

2.4. Inquadramento idrogeologico generale

Le caratteristiche idrogeologiche sono legate alla natura dei depositi ed ai loro rapporti di sedimentazione. Come detto, nei paragrafi precedenti, la Valle dell'Adige è una valle glaciale alpina, il cui alveo roccioso è stato obliterato dai depositi quaternari. L'alluvionamento della valle è imputabile alla morena di fondo del ghiacciaio atesino e ai depositi fluvioglaciali e fluviali del corso d'acqua principale e di quelli tributari.
Le alluvioni sono costituite da materiali a granulometria medio-grossolana (sabbie ghiaiose e ghiaie) ai quali s'intercalano lenti limose-argillose.
Di conseguenza, tali depositi sono costituiti da un'alternanza di orizzonti granulari eterometrici a buona permeabilità e di livelli o lenti da poco permeabili ad impermeabili.
La struttura idrogeologica principale è rappresentata dalla valle dell'Adige, dove il materasso alluvionale ghiaioso e sabbioso - ghiaioso risulta sede di un'unica falda a superficie libera. Le alluvioni atesine, associate ai depositi detritici ed ai cono di deiezione, localmente sovrapposti alle alluvioni, sono caratterizzate da buona permeabilità (*aquifer*). In questi depositi sono intercalati livelli semipermeabili con caratteri di *aquitar* e lenti locali impermeabili (*aquiclude*).
I depositi alluvionali quaternari possono essere considerati un acquifero monostrato, localmente compartimentato, sede di una falda libera che, solo laddove sono presenti lenti o livelli a permeabilità scarsa o nulla (*aquiclude*), assume il carattere di semiconfinata. Nell'ambito dei coni di deiezione (sepolti o parzialmente sepolti) si rileva una successione di livelli a diversa permeabilità (da elevata a buona) che dà luogo a sistemi monofalda. In corrispondenza dei settori distali dei conoidi, compaiono orizzonti e lenti con carattere di *aquitar* e/o *aquiclude* che portano una differenziazione dell'acquifero in un sistema multifalda, con possibili lenti freatiche sospese e falde semiconfinate. Il limite inferiore dell'acquifero alluvionale non è noto, potrebbe essere rappresentato da livelli argilloso–limosi o dai depositi morenici di fondo o dal substrato roccioso.

Le strutture idrogeologiche quaternarie sono alimentate prevalentemente per infiltrazione diretta ad opera delle acque meteoriche e da perdite di subalveo del fiume Adige e affluenti.

3. INDAGINI GEOTECNICHE

Le informazioni ed i dati, attualmente disponibili, sulle successioni stratigrafiche e sulle caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area interessata, sono stati raccolti a conclusione di una indagine geotecnica in sito e di laboratorio svolta nei mesi di giugno e luglio 2005. È stata inoltre eseguita una campagna di misure dinamiche in sito (CROSS_HOLE) per la valutazione dei parametri elastici dinamici dei terreni nel campo delle piccole deformazioni. I dati ottenuti sono infine stati integrati sulla base delle conoscenze acquisite dallo scrivente in merito alle analisi geotecniche effettuate (2002-2003-2004) lungo gli argini del fiume Adige in particolare nei comuni di Salorno, Laghetti e Egna.

Nel corso della campagna di indagini svolta, sono stati eseguiti nr. 4 sondaggi, identificati mediante le sigle B97(BS1), B98(BS2), B99(BS3), B100(BS4). In particolare, in considerazione dell'importanza dell'opera in progetto e delle finalità delle indagini, i sondaggi B98(BS2) e B100(BS4) posti rispettivamente a valle ed a monte dell'impalcato esistente, sono stati eseguiti a rotazione con carotaggio continuo. I sondaggi B97(BS1) e B99(BS3) posti anch'essi rispettivamente a monte ed a valle dell'impalcato, sono invece stati eseguiti a distruzione di nucleo; questi ultimi due sondaggi, eseguiti onde poter effettuare la prova sismica Cross-Hole, hanno in ogni caso fornito utili informazioni stratigrafiche (l'interpretazione si è basata sulla resistenza offerta dal terreno alla perforazione).

In ciascun foro di sondaggio è stato installato un tubo in PVC (Φ_{int}=80 mm), con la relativa cementazione dello spazio anulare compreso fra le pareti del tubo e la colonna di perforazione, da utilizzarsi per l'esecuzione di prove Cross-Hole.

All'interno dei fori di sondaggio, sono state eseguite, inoltre, prove di sondaggio dinamico (penetrometriche dinamiche SPT) e sono stati prelevati alcuni campioni a differenti profondità per la determinazione, mediante prove di laboratorio delle caratteristiche fisiche e meccaniche.

Come indicato nelle Tab. I e II, nelle quali sono elencati, per ciascuna verticale esplorata, le prove in sito e laboratorio, tutti e 4 i sondaggi sono stati spinti sino alla profondità di 40 m dal piano campagna nel nostro caso coincidente con la golena del fiume. Lungo i fori B98(BS2) e B100(BS4) sono stati prelevati nr. 30 campioni, di cui nr. 4 indisturbati. Lungo le verticali B98(BS2) e B100(BS4) sono state eseguite rispettivamente nr. 9 e nr. 10 prove penetrometriche del tipo SPT, con impiego del campionatore Raymond, a punta aperta. A conclusione di queste prove è stato recuperato il materiale raccolto nel corso della infissione. Sempre nei fori di sondaggio B98(BS2) e B100(BS4) sono state eseguite delle prove penetrometriche, rispettivamente nr. 3 e nr. 2, infiggendo, con le medesime modalità che si adottano per le prove standard, un campionatore avente la punta chiusa, di forma conica.

Nelle tabelle che seguono si riportano inoltre le informazioni riguardanti il sondaggio B77 e la prova di sondaggio dinamico BS20 eseguiti nel 2002-03 nel corso di una campagna di indagini lungo il coronamento dell'argine a monte del ponte in oggetto ad una distanza di ca. 30 m dal ponte stesso (per la posizione si veda Tavola grafica nr.0).

Sondaggio	Tipo	Ubicazione Ponte Egna km 118,193	Progressiva fiume [km]	Data esecuzione	Quota p.c. [m s.l.m.]	Lunghezza [m]
B97(BS1)	distruzione	Orog. sx	118,188	17-19/5/2005	216,33	40
B98(BS2)	continuo	Orog. sx	118,198	26-30/5/2005	216,70	40
B99(BS3)	distruzione	Orog. dx	118,198	13-16/5/2005	216,30	40
B100(BS4)	continuo	Orog. dx	118,188	09-11/5/2005	215,94	40
B77	continuo	Orog. sx	118,156	2002	221,14	13
BS20	dinamico	Orog.sx	118,156	2003	221,13	20

Tab.I-Elenco dei sondaggi

Sondaggio	Camp. in foro	Prove SPT	Recupero materiale da SPT	Profondità di prelievo o di prova (m dal pc.)	Prove di laboratorio
B98(BS2)		1*		3,0-3,45	
B98(BS2)	1			4,0-4,5	ST
B98(BS2)		1*		6,0-6,45	
B98(BS2)	1			7,0-7,5	ST
B98(BS2)	1	1*		9,0-9,45	ST
B98(BS2)	1	1		12,0-12,45(12,5)	ST, SD
B98(BS2)	1			14,0-14,5	ST
B98(BS2)		1		15,0-15,45	
B98(BS2)	1**			16,3-17,0	Y,CSO,W
B98(BS2)		1		18,0-18,45	
B98(BS2)	1	1		21,0-21,45(21,5)	ST
B98(BS2)	1	1		24,0-24,45(24,5)	ST
B98(BS2)	1			25,5-26,0	ST, SD
B98(BS2)	1	1		27,0-27,45(27,5)	ST, SD
B98(BS2)		1		30,0-30,45(30,5)	ST, SD
B98(BS2)	1**			31,45-32,0	TA,ED,ST,SD,GS,W,L,Y
B98(BS2)	1			32,0-32,5	ST, SD
B98(BS2)		1		33,0-33,45	
B98(BS2)	1	1		36,0-36,45(36,5)	ST, SD
B98(BS2)	1			39,0-39,5	ST, SD
B100(BS4)	1			1,5-2,0	ST, SD
B100(BS4)	1		1	2,6-3,0	ST, SD
B100(BS4)		1		3,0-3,45	
B100(BS4)	1			5,0-5,5	ST
B100(BS4)		1		6,0-6,45	
B100(BS4)	1			7,0-7,5	ST
B100(BS4)		1*		9,0-9,45(9,50)	ST
B100(BS4)		1*		12,0-12,45(12,5)	ST
B100(BS4)	1**	1		13,5-14,1	Y,CSO,W
B100(BS4)	1	1		19,5-19,95(19,50)	ST
B100(BS4)		1	1	22,5-22,95(23,0)	ST
B100(BS4)		1		25,5-25,95	
B100(BS4)		1		28,5-28,95	
B100(BS4)	1			29,5-30,0	ST, SD
B100(BS4)		1	1	31,5-31,95(32,0)	ST, SD
B100(BS4)	1**	1		33,0-33,7	TA,ED,ST,SD,GS,W,L,Y
B100(BS4)	1			36,5-37,0	ST, SD
B100(BS4)		1		39,0-39,45(39,5)	ST
B77		1*		3,0-3,45	
B77		1*		9,00-9,45	
B77	1			10,5-11,0	ST

(*) prova SPT eseguita con punta conica, (**) campione indist. Shelby
ST = stacciatura; SD = sedimentazione;TA = taglio diretto; ED = prova edometrica;
Gs = peso specifico dei grani; W = contenuto d'acqua naturale; L = limiti Atterberg
CSO = contenuto sostanze organiche;Y = peso unità di volume

Tab.II-Elenco delle prove in sito e/o di laboratorio

4. DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Muovendo dalle informazioni riportate nella letteratura tecnica disponibile e sulla base dei dati raccolti mediante i precedenti studi lungo l'asta del fiume Adige e, in particolare, di quelli acquisiti nel corso della più recente campagna d'indagini in sito e di laboratorio, è stato possibile riconoscere la successione stratigrafica che caratterizza il sottosuolo dell'area in esame.
Quindi, tenendo conto della tipologia e finalità delle opere in progetto, dei procedimenti e delle fasi costruttive, delle questioni che si presentano con riferimento allo studio dell'interazione fra i singoli manufatti ed i terreni, è stato ricostruito il sistema geotecnico ed è stata sviluppata una classificazione geotecnica dei materiali rinvenuti lungo i sondaggi. Così mediante un attento processo di sintesi, sono state definite le classi di terreni, raggruppando termini della stessa serie deposizionale anche distinti. A tali materiali della medesima classe si associa, infatti, la medesima risposta geotecnica con riferimento agli specifici problemi di meccanica dei terreni che qui interessano. Applicando tale impostazione metodologica, i terreni presenti nell'area in esame sono stati classificati come indicato in tabella III. Ed analogamente le colonne stratigrafiche delle verticali esplorate sono state sintetizzate come indicato nella tabella IV. Pertanto, per la descrizione dei terreni, che si riporta di seguito, per la ricostruzione dei rapporti fra questi e le opere in progetto, illustrati mediante la sezione geotecnica (Tavola grafica nr.3), ed anche per sviluppare la caratterizzazione meccanica dei materiali presenti nel sottosuolo, si è fatto riferimento, ovviamente a tale classificazione geotecnica ed a queste stratigrafie di sintesi dei sondaggi.
Come si osserva dalla tabella IV, i diversi termini delle successioni stratigrafiche che possono rinvenirsi lungo la sezione indagata, sono stati raggruppati in quattro classi.
La prima classe comprende, in particolare i terreni superficiali depositatisi nella golena del fiume a seguito di alluvioni recenti; all'interno di tale strato si sono rinvenuti blocchi di porfido, quest'ultimo presumibilmente dovuto alla presenza di un rivestimento della golena stessa eseguito o in occasione della realizzazione del ponte attuale o ipotesi più certa durante le rettifiche al fiume avvenute nel corso del 1800 (rivestimento in golena).
Con la seconda classe sono stati raggruppati unitariamente i diversi termini, stratificati ed interdigitati, che si rinvengono all'interno della serie alluvionale(ALG). Questa serie comprende materiali a grana grossa (GS), media, fina (SG), tutti originati dalla deposizione in ambiente fluviale. Tra queste due classi viene evidenziata la terza classe caratterizzata dalla presenza di torba formatasi in ambiente fluvio-palustre (TO).
La quarta classe di terreni individua, infine la più profonda formazione essenzialmente composta da materiali più fini (TF) che si differenzia sostanzialmente nella frazione secondaria per i due sondaggi; UTS per il sondaggio in orografica sinistra caratterizzato dalla presenza di una frazione secondaria anche se debolmente argillosa e UST per il sondaggio in orografica destra, caratterizzato da una frazione secondaria maggiormente sabbiosa.
Al di sotto della quarta classe, come si osserva dalla stratigrafia del sondaggio in orografica destra BS100, a partire da una profondità di 39,0 m (176,9 m s.l.m.) compaiono nuovamente le ghiaie sabbiose (GS) fino a raggiungere la quota del fondo foro posta a quota 175,9 m s.l.m.. In orografica sinistra il fondo foro ha raggiunto la quota pari a 176,7 m s.l.m. senza incontrare nuovamente i materiali più grossolani.

- Materiali di copertura (AT)

AT - Terreno di riporto e alluvioni attuali di origine fluviale e composizione omogenea: hanno colore variabile dal bruno rossiccio al grigio e composizione granulometrica di una sabbia ("Flins"); localmente sono presenti dei blocchi di porfido (vecchia difesa di bassa sponda).

- Alluvioni grosse, medie e fini del fiume Adige (ALG)

GS – Ghiaie sabbiose; hanno colorazione variabile dal grigio nocciola al grigio; gli elementi lapidei, di forma rotonda e con superfici subarrotondate o arrotondate, hanno dimensioni massime generalmente comprese tra quelle di una ghiaia e quelle dei ciottoli (ϕmax=6-7 cm); la frazione fina (d<0,06mm) risulta praticamente assente; la composizione granulometrica può essere descritta mediante il fuso granulometrico rappresentato in fig.4.

SG - Sabbie ghiaiose; hanno colore grigio; gli elementi lapidei, di forma rotonda e con superfici subarrotondate o arrotondate, hanno dimensioni massime generalmente comprese tra quelle di una sabbia e di una ghiaia; la frazione fina (d<0,06mm) risulta praticamente assente; la composizione granulometrica può essere descritta mediante un fuso rappresentato in Fig.8.

- Torba (TO)

TO- Torba di colore marrone-nerastro; presenza di residui vegetali. Mentre per il sondaggio in orografica sinistra la torba risulta "pura" nel sondaggio in orografica destra la torba risulta contaminata da della ghiai poligenica arrotondata.

- Terreni fini (TF)

UTS – orografica sinistra.
UST – orografica destra.
Limi argillosi sabbiosi o limi sabbiosi argillosi; hanno colore grigio scuro; localmente presentano intercanalazioni millimetriche di resti vegetali parzialmente decomposti torbosi; la composizione granulometrica descrive un fuso alquanto ristretto che può essere delimitato fra le curve granulometriche di un limo sabbioso e di un limo argilloso (si veda Fig.7).

Tabella III - Classificazione geotecnica dei terreni

BS98 (BS2)	
Profondità [m] da p.c.	Terreno
0,0-5,0	AT
5,0-15,0	GS
15,0-18,0	TO
18,0-25,4	SG
25,4-40,0	UTS

BS100 (BS4)	
Profondità [m] da p.c.	Terreno
0,0-4,0	AT
4,0-13,10	GS
13,1-16,2	TO
16,2-28,8	SG
28,8-39,0	UST
39,0-40,0	GS

Tabella IV – Stratigrafie sintetiche dei sondaggi

5. LA ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI E LA CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Per la caratterizzazione meccanica dei terreni si è proceduto sulla base dei risultati delle prove in sito e delle prove di laboratorio eseguite nel corso della recente campagna di indagini geotecniche; inoltre si è tenuto conto dei dati raccolti mediante precedenti studi e riportati nella letteratura tecnica specialistica per terreni simili a quelli in esame.

Per quanto riguarda l'identificazione dei diversi materiali, si dispone, come esposto precedentemente (Tab.II), dei risultati ottenuti mediante l'analisi granulometrica, del contenuto d'acqua, delle determinazioni dei limiti di Atterberg e del peso dell'unità di volume. Le figure 7 e 8 rappresentano i fusi granulometrici dei materiali indagati, in allegato si riportano i singoli certificati di prova elaborati dallo scrivente.

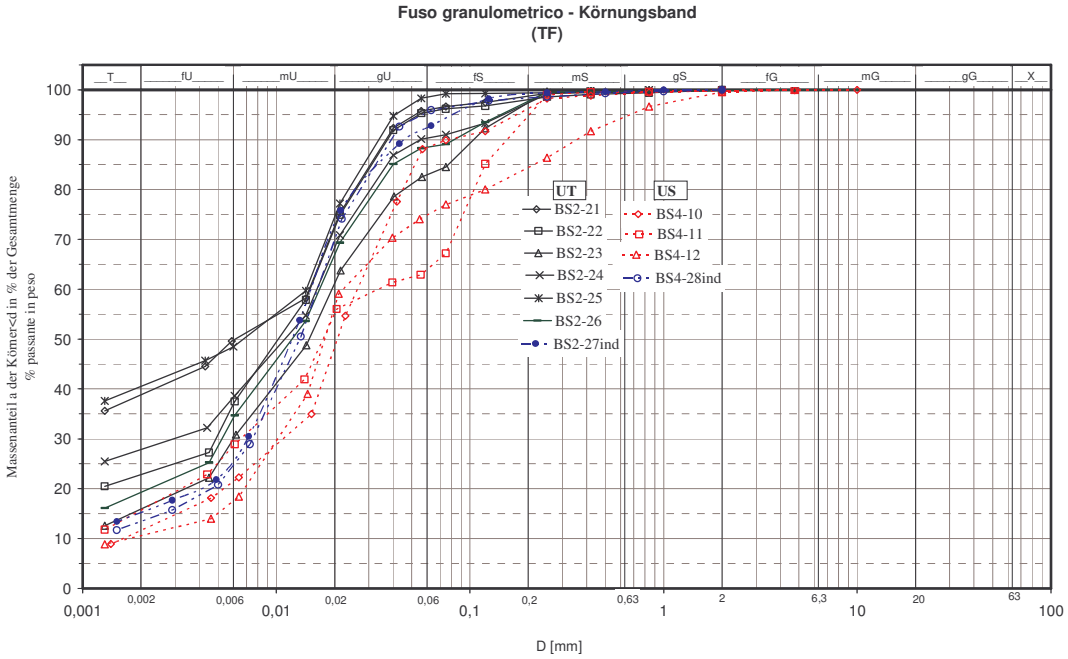


Fig.7- Fuso granulometrico terreno fine(UTS,UST)

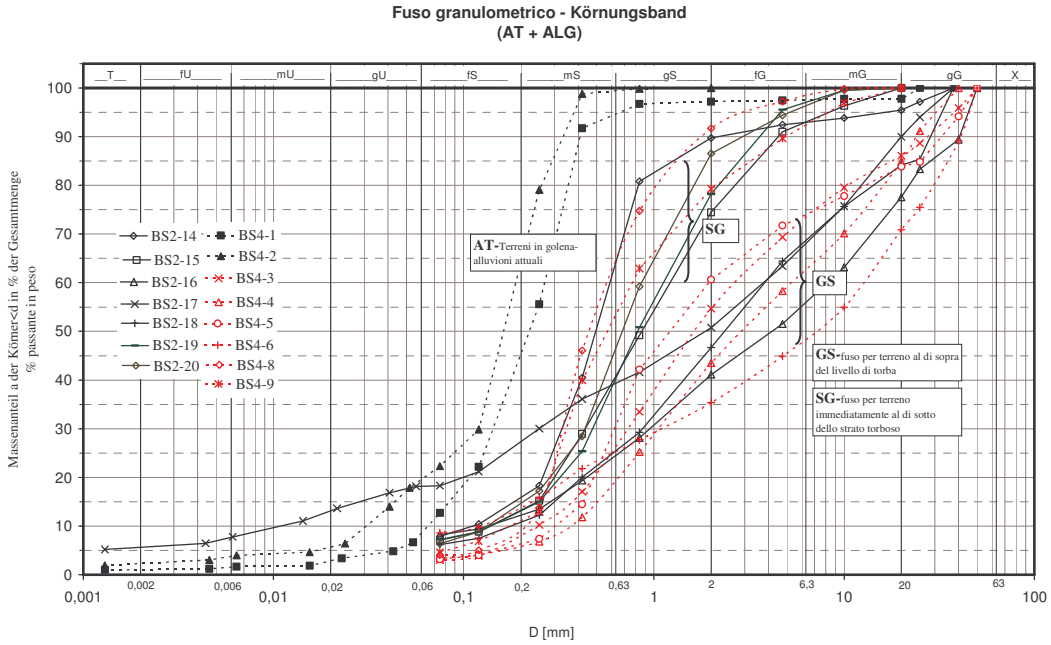


Fig.8- Fuso granulometrico alluvioni grosse, medie e fini del fiume Adige (ALG) e terreni superficiali

I terreni sono stati classificati secondo:

- *DIN 4022-1:Baugrund und Grundwasser – Benennen und beschreiben von Boden und Fels..*
  (Subsoil and ground water; designation and description of soil and rock;..).
- *DIN 18196- Erd- und Grundbau- Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.*
  Earthworks and fundation; soil classification for civil engineering purposes).

Per completezza si fa presente che i certificati emessi dal laboratorio GEOMISURE (cert. Nr.39/05), riferiti alla granulometrie, riportano per i campioni da 1 a 13 la classificazione secondo MIT, mentre per i campioni da 14 a 26 la classificazione secondo ASTM (copia del certificato è allegata alla presente relazione).
La tabella V riporta infine i dati ottenuti dalle prove di classificazione.

B98(BS2)

Camp.	Prof.	G	S	U	T	DIN18196	DIN4022
14	4,0-4,5	10	83	7		SU	S,g',u'
15	7,0-7,5	26	69	6		SU	S,g,u'
16	9,0-9,5	59	34	7		GU	G,s*,u'
17	12,0-12,5	49	33	13	5	GU*	G,s*,u',t'
18	14,0-14,5	53	42	5		GW	G,s*,u'
-	16,3-17,0	Torba				H	
19	21,0-21,5	22	73	6		SU	S,g,u'
20	24,0-24,5	14	80	6		SU	S,g',u'
21	25,5-26,0		4	58	38	-	U,t*,s'
22	27,0-27,5		5	73	22	-	U,t,s'
23	30,0-30,5		17	68	15	-	U,s,t'
24	32,0-32,5		10	63	27	-	U,t,s'
25	36,0-36,5		1	59	40	-	U,t*
26	39,0-39,5		12	70	18	-	U,t,s'

B100(BS4)

Camp.	Prof.	G	S	U	T	DIN18196	DIN4022
1	1,5-2,0	3	89	7	1	SU	S,u'
2	2,6-3,0		81	17	2	SU*	S,u
3	5,0-5,5	45	52	3		GI	S,g*
4	7,0-7,5	56	41	3		GI	G,s*
5	9,0-9,5	39	58	3		SI	S,g*
6	12,0-12,5	65	28	8		GU	G,s,u
7	13,5-14,1	Torba				H	
8	19,5-20,0	8	88	4		SE	S,g'
9	22,5-23,0	21	75	4		SE	S,g
10	29,5-30,0		10	79	11	-	U,s',t'
11	31,5-32,0		36	50	14	-	U,s*,u'
12	36,5-37,0		25	65	10	-	U,s,u'
13	39,0-39,5	50	46	4		GW	G,s*

B98(BS2)-indisturbato

Camp.	Prof.	G	S	U	T	DIN4022
27	31,45-32,0		8	77	15	U,t',s'

w	w_l	w_p	I_p	DIN18196
33,8%	35,3	27,4	7,9	UM

B100(BS4)-indisturbato

Camp.	Prof.	G	S	U	T	DIN4022
28	33,0-33,7		5	82	13	U,t',s'

w	w_l	w_p	I_p	DIN18196
41,4%	44,1	31,8	12,2	UM

Tabella V – Classificazione dei terreni nei due fori di sondaggio secondo DIN18196 e DIN4022

Riassumendo i dati per ogni singola classe di terreno così come definita secondo la tabella IV, si ottiene la seguente distribuzione di classi granulometriche (Tab.VI).

BS98 (BS2)					
Profondità [m] da p.c.	Terreno	G [%] da….a	S[%] da….a	U[%] da….a	T[%] da….a
0,0-5,0	AT		80-90	0-10	
5,0-15,0	GS	42-59	33-42	5-18	
15,0-18,0	TO				
18,0-25,4	SG	14-22	78-80	4-6	
25,4-40,0	UTS		1-17	58-77	15-40

BS100 (BS4)					
Profondità [m] da p.c.	Terreno	G [%] da….a	S[%] da….a	U[%] da….a	T[%] da….a
0,0-4,0	AT		80-90	0-10	
4,0-13,10	GS	39-65	28-58	3-8	
13,1-16,2	TO				
16,2-28,8	SG	8-21	75-88	2-4	
28,8-39,0	UST		10-36	50-82	10-14
39,0-40,0	GS	50	46	4	

Tabella VI – Ampiezza classi granulometriche d'ogni singola classe di terreno
G=ghiaia, S=sabbia, U=limo, T=argilla

Per la stima delle caratteristiche meccaniche, si è proceduto sulla base dei dati acquisiti mediante le prove di sondaggio dinamico SPT, eseguite lungo le verticali dei sondaggi. In tal caso i valori misurati di N_{30} sono stati elaborati utilizzando note correlazioni riportate nella letteratura geotecnica e che tengono conto di numerosi fattori correttivi quali ad esempio la profondità della falda e lo stato tensionale in sito.
In tal modo sono stati stimati, per i diversi terreni attraversati nel corso della prova, i valori della densità relativa e dell'angolo d'attrito efficace che, come noto, esprime la resistenza al taglio che può essere mobilitata.
Nella tabella VII si riportano i risultati ottenuti per ogni prova eseguita.

Sondaggio	Prove SPT	Terreno	Profondità di prova (m. dal pc.)	Profondità falda (m dal p.c.)	N30
B98(BS2)	pc	AT	3,0-3,45	3,00	-
B98(BS2)	pc	GS	6,0-6,45	3,00	29
B98(BS2)	pc	GS	9,0-9,45	3,00	33

B98(BS2)	pa	GS	12,0-12,45	3,00	70
B98(BS2)	pa	TO	15,0-15,45	3,00	21
B98(BS2)	pa	SG	18,0-18,45	3,00	36
B98(BS2)	pa	SG	21,0-21,45	3,00	19
B98(BS2)	pa	SG	24,0-24,45	3,00	19
B98(BS2)	pa	UTS	27,0-27,45	3,00	17
B98(BS2)	pa	UTS	30,0-30,45	3,00	15
B98(BS2)	pa	UTS	33,0-33,45	3,00	22
B98(BS2)	pa	UTS	36,0-36,45	3,00	12
B100(BS4)	pa	AT	3,0-3,45	3,00	3
B100(BS4)	pa	GS	6,0-6,45	3,00	18
B100(BS4)	pc	GS	9,0-9,45	3,00	14
B100(BS4)	pc	GS	12,0-12,45	3,00	43
B100(BS4)	pa	TO-SG	16,5-16,95	3,00	16
B100(BS4)	pa	SG	19,5-19,95	3,00	39
B100(BS4)	pa	SG	22,5-22,95	3,00	38
B100(BS4)	pa	SG	25,5-25,95	3,00	41
B100(BS4)	pa	SG	28,5-28,95	3,00	27
B100(BS4)	pa	UST	31,5-31,95	3,00	18
B100(BS4)	pa	UST	36,0-36,45	3,00	18
B100(BS4)	pa	GS	39,0-39,45	3,00	36
B77	pc	CA	3,0-3,45	7,38	21
B77	pc	GS	9,00-9,45	7,38	10

pc= punta chiusa, pa=punta aperta, CA= corpo argine

Tab. VII - Risultati prove di sondaggio dinamico in sito

Infine, nella Tab. VIII sono sintetizzati i risultati delle elaborazioni relative alle prove meccaniche di laboratorio, finalizzate alla determinazione delle caratteristiche di resistenza al taglio e di deformabilità.

Campione	Profondità [m] da p.c.	Terreno	c' [kPa]	Φ' [°]
BS2-27	31,45-32,00	UTS	18,2	34,4
BS4-28	33,00-33,70	UST	9,6	33,5

Campione	Profondità [m] da p.c.	Terreno	Cc	k_{ed} [m/s]
BS2-27	31,45-32,00	UTS	0,29	2E-06
BS4-28	33,00-33,70	UST	0,45	5E-07

Tabella IX- Sintesi dei risultati delle prove meccaniche di laboratorio

Prendendo le mosse dai risultati di queste sperimentazioni, si è proceduto quindi, ad una elaborazione di sintesi di tutti i dati diponibili, in modo da sviluppare una stima cautelativa delle caratteristiche fisiche e meccaniche da associare a ciascuna classe dei terreni individuata nella Tab.IV. Con riferimento a tale classificazione, nel seguito si riportano i valori di queste caratteristiche geoteniche, da adottare ai fini dei calcoli di supporto alla progettazione delle opere qui di interesse.

5.1. Materiali di copertura AT

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei materiali di copertura AT, rinvenuti in prossimità del piano golenale, si osserva, preliminarmente, che possono essere assilimilati al medesimo mezzo incoerente. Il grado di addensamento definito attraverso la densità relativa Dr risulta minimo ed è stato stimato nell'intervallo compreso tra il 15 e 25%.
Questi materiali sono stati caratterizzati unitariamente ponendo:
γ=18 kN/m³, γ_{sat}=19 kN/m³, c'=0, ϕ'=30-32°.
Riguardo le caratteristiche di deformabilità è stato adottato il seguente valore del modulo di elasticità longitudinale espresso in termini di tensioni efficaci E':
E'=5-10 MPa.

5.2. Alluvioni grosse, medie e fini del fiume Adige (ALG)

5.2.1. Terreni GS

Con riferimento alla modellazione del comportamento dei materiali più grossolani GS caratterizzati da una elevata percentuale della frazione grossolana, sulla base delle prove SPT, elaborando i dati sulle due verticali esplorate, sono stati stimati valori di Dr compresi tra il 60 e 70%.
Sulla base dei risultati sperimentali si è ritenuto giustificato caratterizzare i materiali alluvionali GS mediante i seguenti valori carattaresitici:
γ=19 kN/m³, c'=0, ϕ'_p = 36-38°
avendo indicato con ϕ'_p, il valore caratteristico dell'angolo d'attrito di picco.
Infine, tenuto conto della rilevante frazione grossolana capace di conferire elevata rigidezza si è posto:
E'=80-130 MPa

5.2.2. Torbe

I campioni indisturbati sono stati sottoposti a prove per la determinazione del contenuto d'acqua naturale, del peso dell'unità di volume e del contenuto di sostanze organiche; i valori ottenuti sono stati i seguenti:
γ=11-12 kN/m³, w=130-171%, CSO=21-23%
Sulla base di alcune prove edometriche eseguite su torbe prelevate da campioni confrontabili con i campioni prelevati in prossimità al ponte di Egna è emerso come tale strato sia fortemente comprimibile con deformazioni dell'ordine anche del 50% (ε_v).
Dalle prove edometriche si evince inoltre come il modulo edometrico assuma valori:
E'= 1 MPa.

5.2.3. Terreni SG

La classe più fine della serie alluvionale inidicata come SG è invece caratterizzata da una densità relativa, stimata anch'essa dalle prove di sondaggio dinamico, compresa tra il 55 e 65%. Come per la classe GS è caratterizzata da una elevata percentuale della frazione grossolana però sabbiosa.
Sulla base dei risultati sperimentali si è ritenuto giustificato caratterizzare i materiali alluvionali SG mediante i seguenti valori caratteristici delle caratteristiche meccaniche:
γ=19 kN/m³, c'=0, ϕ'_p = 34-36°
Infine, tenuto conto della rilevante frazione grossolana sabbiosa capace di conferire elevata rigiedezza si è posto:
E'=60-110 MPa

5.3. Terreni fini UST, UTS

Riguardo la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni fini, che come esposto, sono costituiti, prevalentemente da limi debolmente argillosi e limi debolmente sabbiosi, si segnala che si dispone di due prove di idenficazione , di due prove di compressione edometrica, di due prove di taglio e di 6 prove di sondaggio dinamico. In considerazione della naturale eterogeneità di questi materiali, si è

ritenuto opportuno interpretare con cautela i risultati sperimentali, anche penalizzando i valori dei parametri che esprimono la resistenza al taglio e la deformabilità.
A questo proposito si segnala che interpretando i risultati delle prove si perviene ad un valore della coesione efficace c' compreso tra 9-18 kPa ed a valori dell'angolo d'attrito pari a 34° (Tab.IX).
In definitiva, tenuto conto della dispersione dei pochi dati, si è ritenuto opportuno adottare i seguenti valori caratteristici cautelativi dei parametri di resistenza al taglio espressin termini di tensioni efficaci e totali:
γ=18 kN/m³, c'=10 kPa, ϕ' = 24-26°, c_u = 40-50 kPa
In pratica si è scelto un valore del peso dell'unità di volume γ prossimo a quello ricavato dalle misure di laboratorio ed un valore dell'angolo d'attrito ϕ' ridotto rispetto a quello ottenuto sperimentalmente. Tale valore ridotto di ϕ', pari a ϕ'=24-26°, è prossimo, invece, a quello che si ricava da note correlazioni con l'indice di plasticità, che per tali terreni è all'incirca pari a 10%.
Analogamente, per la stima della resistenza al taglio in condizioni non drenate, si è ritenuto prudente ipotizzare un valore modesto della coesione totale, sulla base delle misure ottenute mediante pocket penetrometro (ad es. mediante la relazione empirica c_u=p_p*0,5) e scissometro torvane.
Riguardo la risposta del materiale ai carichi, si osserva che elaborando i risultati delle uniche due prove a disposizione si è ottenuto un valore del grado di sovraconsolidazione compreso tra 1,2 e 1,8 ed i valori dell'indice di compressione Cc pari a 0,28-0,45.
I valori del modulo edometrico, variabili in funzione della tensione verticale efficace, sono risultati mediamente dell'ordine di 3-10 Mpa.
In definitiva, tenuto conto di questi dati e delle caratteristiche fisiche, in particolare della composizione granulometrica, si è ritenuto opportuno adottare valori ridotti, alquanto cautelativi, per i parametri di deformabilità.
Cosi si è posto
E_u= 10 Mpa E'=5-8 MPa
Avendo indicato con Eu il modulo di elasticità longitudinale in condizione non drenate ottenuto attraverso note correlazioni riportate in letteratura.

Per una rappresentazione grafica dei dati qui ottenuti si rimanda alla tavola nr.3-Sezione geotecnica.

6. PARAMETRI DI RIGIDEZZA PER PICCOLE DEFORMAZIONI

Le misure dinamiche in sito sono state impiegate per valutare i parametri elastici dei terreni nel campo delle piccole deformazioni(γ<0,1%).
Le misure cross-hole sono state eseguite nelle coppie di sondaggi B97(BS1)-B98(BS2) e B99(BS3)-B100(BS4), chiamate da ora in poi rispettivamente VERT1 e VERT2.
Al fine di una corretta valutazione dei tempi di propagazione delle onde dalla sorgente al ricevitore, è stata preventivamente controllata la verticalità dei fori tramite rilievo inclinometrico di tutti e 4 i fori ed è stata eseguito un carotaggio sonico per il controllo dell'avvenuta cementazione tra tubo in PVC e terreno circostante.
Il controllo inclinometrico ha evidenziato come i fori non siano "perfettamente" verticali (lo scostamento massimo assoluto è risultato pari a ca. 1,4 m nel sondaggio B97(BS1)) ed ha permesso di ricostruire le coordinate assolute del foro ogni metro di profondità e quindi le esatte distanze fra i punti di misura cross-hole.
La diagrafia sonica ha evidenziato una discreta continuità del contatto tra rivestimento e terreno per tutti i fori investigati, sufficiente per l'esecuzione delle misure cross-hole.
La prova ha permesso la determinazione delle velocità delle onde di compressione V_p e delle onde di taglio V_s, calcolate a partire dalla determinazione del tempo t necessario alle onde per percorrere la distanza r fra sorgente e ricevitore: $V_p = \frac{r}{t_p}$; $V_s = \frac{r}{t_s}$.

Dalla conoscenza di queste due grandezze si possono ricavare i seguenti parametri elastici:

coeff. di Poisson dello scheletro solido $\nu = \dfrac{0{,}5\frac{V_P^2}{V_s^2} - 1}{\frac{V_P^2}{V_s^2} - 1}$

modulo di Young $E = 2\rho V_s^2(1+\nu)$

modulo di taglio $G = \rho V_s^2$

modulo di compressibiltà volumetrica $E_b = \rho(V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2)$

modulo edometrico $E_{ed} = \rho V_p^2$

L'elaborazione proposta dalla SOLGEO (Impresa incaricata all'esecuzione delle prove cross-hole) si è basata sulla ipotesi di un valore di densità del terreno pari a ρ=1,7 g/cm³; in realtà nelle due verticali esplorate le densità variano a seconda della litologia del terreno presente.
Si è ritenuto pertanto di far variare le densità a seconda del tipo di litologia presente lungo la verticale sulla base di una caratterizzazione ottenuta da campioni simili a quelli presenti nell'area e/o in base a prove di laboratorio.
Le tabelle X e XI riportano la stima dei parametri dinamici (E,G) ottenuti facendo variare la densità all'interno di ogni singolo strato su entrambe le verticali esplorate, facendo infine la media su ogni singolo strato. Poiché alcuni valori di velocità sono stati ottenuti proprio all'interfaccia tra due diversi tipi di terreno, nella scelta di E e G se ne è tenuto conto. Ad es. per la verticale VERT1 alla profondità di 14 m da p.c. per lo strato GS si ottengono valori inferiori a quanto ottenuto direttamente nello strato GS. Il tempo d'arrivo del fronte d'onde risulta influenzato dalla natura dei due terreni che si sovrappongo ossia TO e GS.

BS1_BS2							Interpretazione SOLGEO				Interpretazione De Polo											
Quote	**Prof.**	**Distanza**	**Tp**	**Ts**	**Vp**	**Vs**	**ρ**	**ν**	**E**	**G**	**ρ**		**ν**	**E**		**G**		media E	media strato	media G	media strato	terreno
(m slmm)	*[m]*	*[m]*	*[ms]*	*[ms]*	*[m/s]*	*[m/s]*	[g/cm3]		*(Mpa)*	*(Mpa)*	[g/cm3]			*(Mpa)*		*(Mpa)*						
											da	a		da	a	da	a					
216,5	**0**	9,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
214,5	**2**	9,71	7,52	51,80	**1292**	**188**	1,7	0,489	178,7	60,1	1,8	2	0,489	189	211	64	71	200		67		
212,5	**4**	9,74	5,36	50,07	**1817**	**195**	1,7	0,494	192,3	64,6	1,8	2	0,494	205	227	68	76	216	208	72	70	TA
210,5	**6**	9,77	5,19	50,85	**1882**	**192**	1,7	0,495	188,8	62,7	1,8	2	0,495	198	220	66	74	209		70		
208,5	**8**	9,80	4,66	33,71	**2103**	**291**	1,7	(0.490)	(430.8)	(144.0)	1,9	2,1	0,490	480	530	161	178	505		169		
206,5	**10**	9,83	4,67	27,67	**2105**	**355**	1,7	0,485	634,9	214,2	1,9	2,1	0,485	711	786	239	265	749	686	252	231	GS
204,5	**12**	9,86	4,55	26,80	**2168**	**368**	1,7	0,485	682,3	230,2	1,9	2,1	0,485	764	845	257	284	805		271		
202,5	**14**	9,93	5,62	47,30	**1766**	**210**	1,7	0,493	224,7	75,0	1,9	2,1	0,493	250	277	84	93	263	42*	88	14*	
200,5	**16**	9,98	8,25	92,21	**1210**	**108**	1,7	0,496	59,1	19,8	1,1	1,3	0,496	38	45	13	15	42		14		TO
198,5	**18**	10,02	5,96	40,78	**1682**	**246**	1,7	0,489	305,6	102,9	1,7	1,9	0,489	306	342	103	115	324		109		
196,5	**20**	10,07	5,87	41,33	**1716**	**244**	1,7	0,490	301,0	101,2	1,7	1,9	0,490	302	337	101	113	319	319	107	107	SG
194,5	**22**	10,13	5,86	42,23	**1728**	**240**	1,7	0,490	290,8	97,9	1,7	1,9	0,490	292	326	98	109	309		104		
192,5	**24**	10,19	5,91	41,43	**1724**	**246**	1,7	0,490	306,7	102,9	1,7	1,9	0,490	306	343	103	115	325		109		
190,5	**26**	10,23	6,60	46,23	**1550**	**221**	1,7	0,490	247,9	83,0	1,6	1,8	0,490	233	262	78	88	247		83		
188,5	**28**	10,28	6,63	45,85	**1550**	**224**	1,7	0,489	254,9	85,3	1,6	1,8	0,489	239	269	80	90	254		85		
186,5	**30**	10,34	6,65	46,00	**1555**	**225**	1,7	0,489	256,5	86,1	1,6	1,8	0,489	241	271	81	91	256		86		UTS
184,5	**32**	10,41	6,62	46,18	**1572**	**225**	1,7	0,490	257,4	86,1	1,6	1,8	0,490	241	271	81	91	256	254	86	85	
182,5	**34**	10,48	6,83	45,93	**1534**	**228**	1,7	0,489	263,2	88,4	1,6	1,8	0,489	248	279	83	94	263		88		
180,5	**36**	10,54	6,82	48,48	**1545**	**217**	1,7	0,490	239,4	80,1	1,6	1,8	0,490	225	253	75	85	239		80		
178,5	**38**	10,61	6,87	46,55	**1545**	**228**	1,7	0,489	262,4	88,4	1,6	1,8	0,489	248	279	83	94	263		88		
177,0	**40**	10,65	6,27	43,70	**1699**	**244**	1,7	0,490	300,7	101,2	1,6	1,8	0,489	284	319	95	107	302		101		GS?

Tab.IX-Dati e risultati elaborazione B98(BS1)_B990(BS2)

BS3_BS4							Interpretazione SOLGEO				Interpretazione De Polo											
Quote	**Prof.**	**Distanza**	**Tp**	**Ts**	**Vp**	**Vs**	**ρ**	**ν**	**E**	**G**	**ρ**		**ν**	**E**		**G**		media E	media strato	media G	media strato	terreno
(m slmm)	*[m]*	*[m]*	*[ms]*	*[ms]*	*[m/s]*	*[m/s]*	[g/cm3]		*(Mpa)*	*(Mpa)*	[g/cm3]			*(Mpa)*		*(Mpa)*						
											da	a		da	a	da	a					
216,1	**0**	9,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
214,1	**2**	9,25	6,91	(54.14)	**1339**	**(171)**	1,7	(0.492)	(148.5)	(49.7)	1,8	2	0,492	157	174	53	58	166	185	56	62	
212,1	**4**	9,24	5,05	48,69	**1830**	**190**	1,7	0,495	181,8	61,4	1,8	2	0,495	194	216	65	72	205		69		TA
210,1	**6**	9,22	5,10	(41.09)	**1809**	**(225)**	1,7	(0.492)	(258.2)	(86.1)	1,9	2,1	0,492	287	317	96	106	302		101		
208,1	**8**	9,23	4,97	44,29	**1858**	**208**	1,7	0,494	218,2	73,5	1,9	2,1	0,494	246	271	82	91	258	366	87	123	
206,1	**10**	9,23	4,39	31,94	**2103**	**289**	1,7	0,490	422,2	142,0	1,9	2,1	0,490	473	523	159	175	498		167		GS
204,1	**12**	9,23	4,56	35,30	**2023**	**261**	1,7	0,492	346,9	115,8	1,9	2,1	0,492	386	427	129	143	406		136		
202,1	**14**	9,22	7,07	79,21	**1303**	**116**	1,7	0,496	68,5	22,9	1,1	1,3	0,496	44	52	15	17	48	48*	16	16*	
200,1	**16**	9,21	6,56	43,55	**1404**	**211**	1,7	0,488	226,2	75,7	1,1	1,3	0,488	146	172	49	58	159		53		TO
198,1	**18**	9,20	5,55	39,05	**1658**	**236**	1,7	0,490	281,0	94,7	1,7	1,9	0,490	282	315	95	106	299		100		
196,1	**20**	9,19	5,41	36,00	**1698**	**255**	1,7	0,489	328,1	110,5	1,7	1,9	0,488	329	368	111	124	348		117		SG
194,1	**22**	9,18	5,17	34,80	**1775**	**264**	1,7	0,489	352,4	118,5	1,7	1,9	0,489	353	394	118	132	374	361	125	121	
192,1	**24**	9,18	5,38	35,35	**1706**	**260**	1,7	0,488	342,3	114,9	1,7	1,9	0,488	342	382	115	128	362		122		
190,1	**26**	9,17	5,36	35,25	**1710**	**260**	1,7	0,488	341,1	114,9	1,7	1,9	0,488	342	382	115	128	362		122		
188,1	**28**	9,16	4,99	32,55	**1836**	**281**	1,7	0,488	399,7	134,2	1,7	1,9	0,488	399	446	134	150	423		142		
186,1	**30**	9,17	5,83	37,80	**1572**	**242**	1,7	0,488	295,4	99,6	1,6	1,8	0,488	279	314	94	105	296		100		UST
184,1	**32**	9,14	5,91	37,90	**1546**	**241**	1,7	0,488	294,8	98,7	1,6	1,8	0,488	276	311	93	105	294		99		
182,1	**34**	9,12	5,85	38,60	**1559**	**236**	1,7	0,488	281,2	94,7	1,6	1,8	0,488	265	298	89	100	282	327	95	110	
180,1	**36**	9,12	5,91	39,70	**1542**	**230**	1,7	0,489	268,3	89,9	1,6	1,8	0,489	252	283	85	95	268		90		
178,1	**38**	9,10	5,33	29,04	**1707**	**313**	1,7	0,483	494,0	166,5	1,6	1,8	0,483	465	523	157	176	494		167		
176,6	**39,5**	9,09	4,79	22,59	**1898**	**402**	1,7	0,477	811,8	274,7	1,9	2,1	0,477	907	1002	307	339	954	954	323	323	GS

Tab.X-Dati e risultati elaborazione B99(BS3)_B100(BS4)

L'elaborazione dei risultati è riportata in forma grafica così come di seguito:

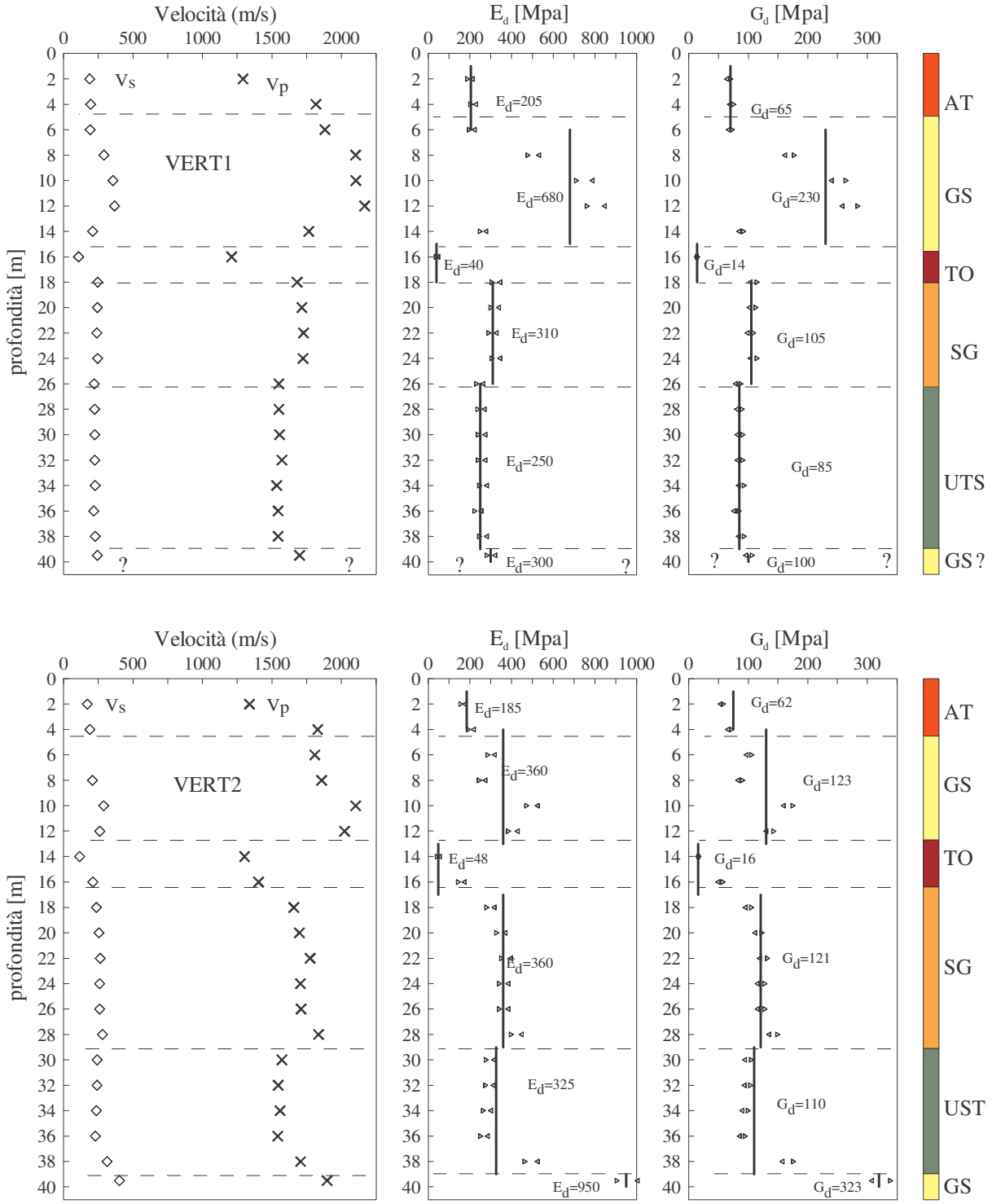


Fig.9- Risultati della prova cross-hole. Velocità delle onde di taglio e di compressione (V_s,V_p) e variazione dei moduli dinamici (E, G).

7. CONCLUSIONI ED INDICAZIONI TECNICHE

Il presente studio ha avuto come scopo principale la ricostruzione del profilo stratigrafico dell'area in esame, descrivendone il sottosuolo sia in termini litologici che di proprietà meccaniche e fisiche, in modo tale da definire il modello geotecnico del sito.
L'analisi ha evidenziato come sostanzialmente lungo le due verticali indagate in orografica sinistra e destra il terreno abbia caratteristiche simili; solo lo strato più profondo posto ad una profondità di ca. 20-22 m dalla quota media dell'alveo pari a 212,0 m s.l.m. risulta leggermente differenziato nelle due verticali (UST,UTS). Per la verticale in orografica destra (VERT2) è emerso come a quote inferiori a 177,00 m s.l.m.(ca. 39 m da p.c.) compaiono nuovamente le ghiaie (GS), mentre in orografica sinistra il sondaggio non ha portato alla luce questo tipo di terreno. Dalla interpretazione delle prove cross-hole sembrerebbe però, che anche lungo la VERT1 a profondità maggiori di 40 m siano presenti le ghiaie (si veda Fig.9). Questa osservazione risulterebbe confermata dalla presenza nella zona di pozzi ad uso agricolo con presa a quote anche maggiori di 40 metri dal piano campagna, quindi in un acquifero a maggiore permeabilità.
La posizione dei sondaggi è stata scelta nell'ipotesi che il ponte venga fondato su due pile posizionate all'interno dell'alveo del fiume. Se, compatibilmente con le verifiche idrauliche, ciò è possibile, si ritiene che questa sia la soluzione tecnicamente ed economicamente più vantaggiosa.
Qualora si riterrà di realizzare un ponte a campata unica (ad es. tramite una struttura ad arco), le analisi geotecniche fino qui svolte andranno approfondite in particolare in corrispondenza agli argini stessi (capacità del terreno di sviluppare reazioni alla spinta orizzontale, ecc.). Allo stato attuale delle conoscenze si ritiene che il terreno non sia in grado di assorbire tali azioni orizzontali, che nell'ipotesi di un ponte ad arco andranno quindi assorbite dall'impalcato che avrà funzione statica di catena.
Ipotizzando la realizzazione di un ponte su due pile poste in alveo, da questo studio possono essere tratte le seguenti conclusioni utili alla redazione del progetto esecutivo:

- le due pile potranno essere fondate su pali di grande diametro ($0,8 \leq \Phi \leq 1,2$ m);
- i pali andranno fondati oltreppasando lo strato di torba (TO) il cui limite inferiore si trova a quota 198,50 m s.l.m.;
- i pali potranno essere convenientemente ammorsati nelle sabbie-ghiaiose (GS);
- l'ammorsamento in questo strato dovrà essere valutato tenendo presente la presenza dello strato torboso posto direttamente sopra (rottura per "sollevamento") e la presenza dei terreni più fini (UTS) in profondità (effetto della palificata nei confronti dei cedimenti).

<u>In merito alla realizzazione dei pali:</u>
non è da escludersi che in profondità si abbiano delle correnti di subalveo; in fase di progettazione esecutiva dovrà essere valutato il metodo di sostentamento del foro (fanghi bentonitici, rivestimento tramite lamierino, ecc.).
Durante i sondaggi non sono state condotte prove di permeabilità in foro; la stima della permeabilità è stata condotta sulla base della distribuzione granulometrica ed alla luce di prove eseguite su altri sondaggi nelle immediate vicinanze all'area in studio. Sono state inoltre considerate le permeabilità ottenute dalle prove edometriche. La tabella che segue riporta i valori di permeabilità per i terreni interessati alla realizzazione dell'opera:

Camp.	Sond.	Profondità di prelievo:	D_{10} (mm)	D_{25} (mm)	D_{60} (mm)	U	k_{Beyer} [m/s] 1<U<20	k_{Seiler} [m/s] 5<U<=17	k_{Seiler} [m/s] 17<=U<=100	Terreno
14	BS2	4,0-4,5	0,1121	0,3010	0,6240	6	1,01E-04	2,49E-04	-	SG
15	BS2	7,0-7,5	0,1434	0,3710	1,3370	9	1,65E-04	2,66E-04	-	SG
5	BS4	9,0-9,5	0,3121	0,5800	1,9620	6	7,79E-04	1,78E-03	-	GS
16	BS2	9,0-9,5	0,1375	0,6900	8,5630	62	-	-	1,28E-03	GS
10	BS4	29,5-30,0	0,0018	0,0080	0,0270	15	2,27E-08	2,21E-08	-	UTS,UST

27	BS2	31,45-32,0	da prova edometrica k = 2E-06 m/s
28	BS4	33,00-33,70	da prova edometrica k = 2E-07 m/s

Tab.XI-Stima della permeabilità in base alla distribuzione granulometrica e risultati prove edometriche

I singoli fogli esplicativi del calcolo della permeabilità sono allegati alla presente relazione.
In definitiva per i terreni potranno assumersi le seguenti permeabilità caratteristiche:

k_{scelto} [m/s]	Terreno
1,0E-04	SG
1,0E-03	GS
1,0E-07	UTS,UST

<u>In merito ai controlli e prove di carico:</u>

- è buona norma la realizzazione di prove di progetto sui pali; la prova viene normalmente spinta fino a rottura o ad un carico massimo di prova pari ad almeno tre volte il carico d'esercizio. Essendo la prova a carattere distruttivo esse deve essere eseguita su di un palo appositamente realizzato, non appartenente alla palificata in progetto; in considerazione della geotecnica del sito si consiglia, qualora il progettista lo ritenga indispensabilei, di eseguire la prova in orografica sinistra dove le condizioni del terreno sono più sfavorevoli.
- Il numero di prove di collaudo del palo deve essere almeno di due e deve essere specificato nel contratto d'appalto. In questo caso le prove andranno eseguite in orografica sinistra e destra.
- Prove non distruttive: al fine di permettere il controllo della integrità del palo ad es. mediante rilievi di tipo cross-hole o diagrafia sonica, tutti i pali della palificata dovranno essere dotati di nr. 3 tubi in PVC del diametro minimo interno di 5 cm che andranno installati fissandoli alla gabbia di armatura. In tale modo si potrà evitare che alcuni pali vengano realizzati con cura particolare inducendo l'esecutore a esplicare per tutti i pali la massima cura.

In merito alla sismicità del sito:

in seguito all'Ordinanza nr.3274 del 20.03.2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica- e succ. int. , il rischio sismico assegnato al Comune di Egna risulta trascurabile (zona 4: $a_g \leq 0{,}05g$).

Bolzano, 30 agsoto 2005 Dr. Ing. Fabio De Polo