

SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO DI TIPO FILOVIARIO

GARA D'APPALTO PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA,
L'ESECUZIONE DEI LAVORI E LA FORNITURA DEI VEICOLI

OFFERTA TECNICA
B2 - PROGETTO DEFINITIVO



PROGETTO:

INQUADRAMENTO GENERALE
STUDI E INDAGINI

Geologia e geotecnica
Relazione geologica e geotecnica

CONCORRENTE
ATI:

SOVECO
COSTRUZIONI SPA

CONSORZIO COOPERATIVE COSTRUZIONI
CCC
Società cooperativa
(MANDATARIA/CAPOGRUPPO)

ALPIQ
Alpiq InTec Verona S.p.A.

MAZZI
Impresa Generale Costruzioni
S.p.A.

Balfour Beatty
Rail

APTS
Advanced Public
Transport Systems bv

SCALA	-
RIF. N°	PDA0202RS01A.doc
ALLEGATO N°	PD A0202 RS01A

PROGETTAZIONE
COSTITUENDO R.T.P.:



(MANDATARIA/CAPOGRUPPO)

DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Massimo Raccosta



DIRETTORE TECNICO

Dott. Arch. Valentina Butterini

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	REDATTO	VISTO	APPROVATO
A	Dic. 2010	Emissione	Technital	Fresia	Fresia	Renso

Il presente documento non potrà essere copiato, riprodotto o altrimenti pubblicato, in tutto o in parte, senza il consenso scritto. Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge.
This document may not be copied, reproduced or published, either in part or entirely, without the written permission. Unauthorized use will be prosecuted by law.

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	PREMESSA.....	3
1.2	OGGETTO E SCOPO	3
1.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	5
3	IDROGEOLOGIA.....	11
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	14
4.1	INDAGINI DISPONIBILI.....	14
4.2	INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA	16
5	INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E SISMICITÀ	18
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	22
6.1	ANALISI E PROVE DI LABORATORIO.....	22
6.2	PROVE SPT	23
6.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE	33
7	INTERAZIONE TRA LE OPERE ED IL TERRENO	37
8	MOVIMENTI MATERIA E BILANCIO TERRE	43
9	CONCLUSIONI.....	46
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	48

1 INTRODUZIONE

1.1 *PREMESSA*

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica e Geotecnica allegata al Progetto Definitivo del sistema di trasporto pubblico di tipo filotramviario per la città di Verona.

Il progetto consiste nell'adozione di un sistema di trasporto metropolitano di tipo filoviario, innovativo, costituito da veicoli gommati alimentati elettricamente da una linea aere bifilare ma in grado di marciare autonomamente anche in assenza di corrente, permettendo così di risolvere i problemi relativi all'impatto delle opere di elettrificazione in presenza di edifici, monumenti o zone di particolare pregio.

Il sistema è articolato su 4 linee (1A – 1B – 2° - 2B) poste lungo due direttrici principali (Nord – Sud ed Est – Ovest) come da schema riportato nelle seguenti figure 1 e 2.

La guida vincolata viene realizzata mediante una serie di magneti annegati nell'asfalto. Grazie ad essi, inoltre, il veicolo può avvicinarsi nel modo corretto alle banchine delle fermate posizionandosi negli spazi stabiliti con la massima precisione, garantendo un accesso agevole, autonomo e rapido agli utenti

Il sistema presenta caratteristiche compatibili con la tranvia tradizionale, rispetto alla quale mostra una serie di vantaggi come la minor incidenza delle infrastrutture necessarie al funzionamento (non servono i binari) la maggiore flessibilità ed il minore costo.

1.2 *OGGETTO E SCOPO*

La relazione identifica i terreni presenti nell'area di stretto interesse progettuale, definisce il modello geologico tecnico del sottosuolo, illustra gli aspetti relativi alla sismicità, litologia, struttura, idrogeologia, geomorfologia e geotecnica, fornisce infine una valutazione globale del livello di pericolosità geologica in relazione alle opere previste.

Particolare attenzione viene posta alle caratteristiche dei terreni in corrispondenza delle opere principali di nuova realizzazione: il sottopasso in via Città di Nimes ed il deposito di Verona Sud.

Il documento è stato realizzato sulla base di informazioni bibliografiche ed indagini geognostiche disponibili, opportunamente integrate da sopralluoghi/rilievi sul terreno e da una specifica campagna geognostica eseguita fra ottobre-novembre 2010.

Il lavoro ha permesso di:

- ricostruire dettagliatamente gli aspetti naturalistici del territorio ove sono collocate le opere;
- rappresentare analiticamente tutta la gamma di informazioni geologiche e geotecniche atte a consentire la corretta progettazione delle opere;
- individuare le principali forme di erosione, di accumulo e più in generale di pericolosità geologica nelle aree limitrofe e/o direttamente interessate dai lavori;
- definire la distribuzione e la caratterizzazione delle principali falde idriche presenti nel sottosuolo;
- individuare le possibili interferenze tra le risorse idriche e le opere in progetto.

1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alle seguenti normative:

- DM 11.03.1988 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circ. Min. LL.PP. 24.09.1988 n° 30483, istruzioni 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- Circ. Regione Veneto 30.01.90 n° 2, Osservanza della normativa vigente sull'uso del sottosuolo ai fini edificatori e, in particolare dell'obbligo, nei casi previsti, della Relazione geologica e della Relazione geotecnica;
- Decreto 14 gennaio 2008 del Ministero delle Infrastrutture; Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 2 febbraio 2009, n° 617 C.S.LL.PP.; Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area interessata dalle opere in progetto, sinteticamente riportata in **figura 1**, è interamente compresa nel Comune di Verona. Da Sud verso Nord si estende da poco oltre il Casello Autostradale di Verona sud sino a Via Cà di Cozzi; da Ovest verso Est dallo stadio Bentegodi fino a San Michele Extra.

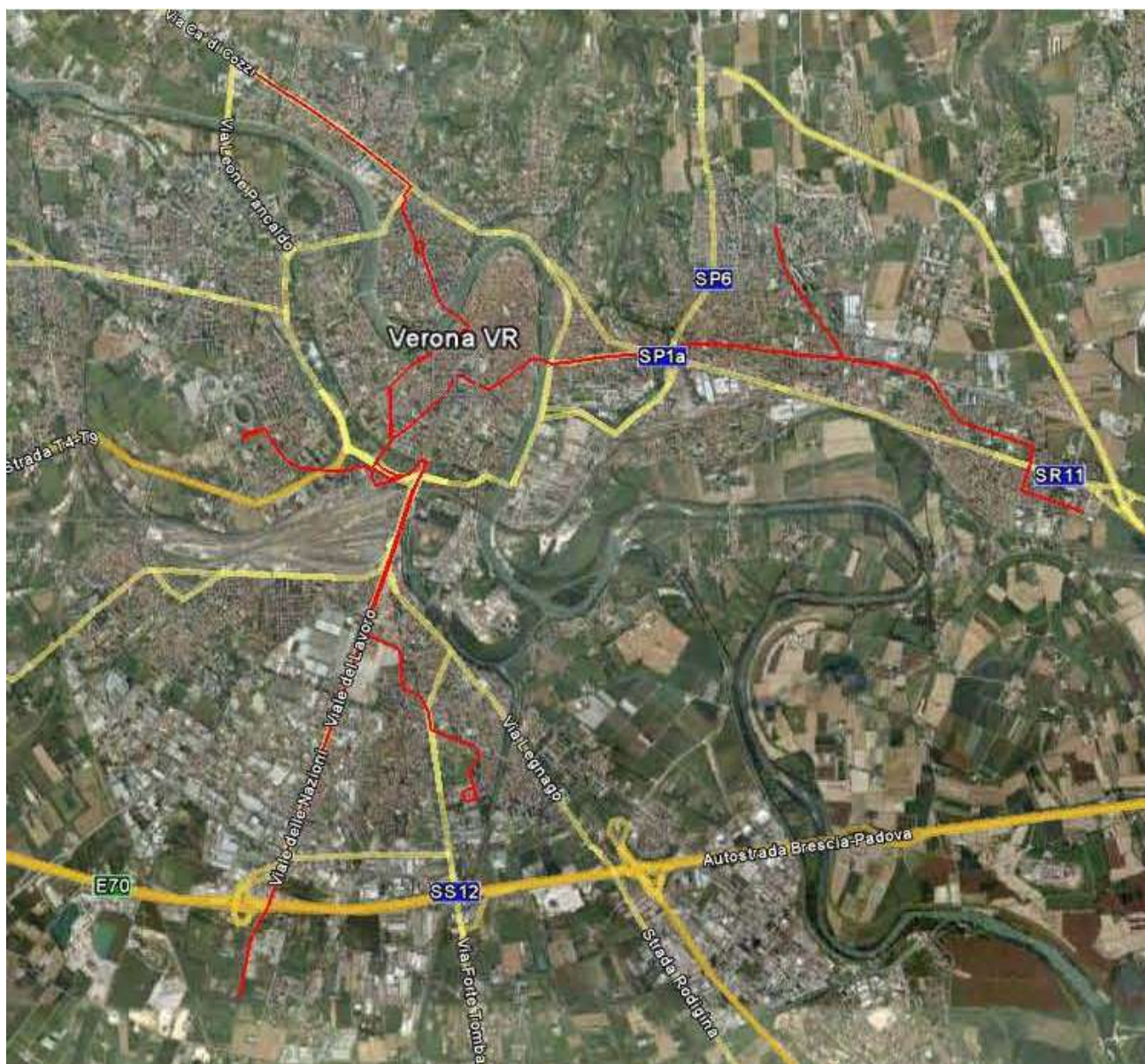


Figura 1. L'area in progetto si estende dal casello di Verona Sud fino a Via Cà di Cozzi, e dallo stadio Bentegodi a S- Michele Extra.

Uno schema del tracciato delle linee, con le principali direttrici, è rappresentato nella **figura 2** seguente.

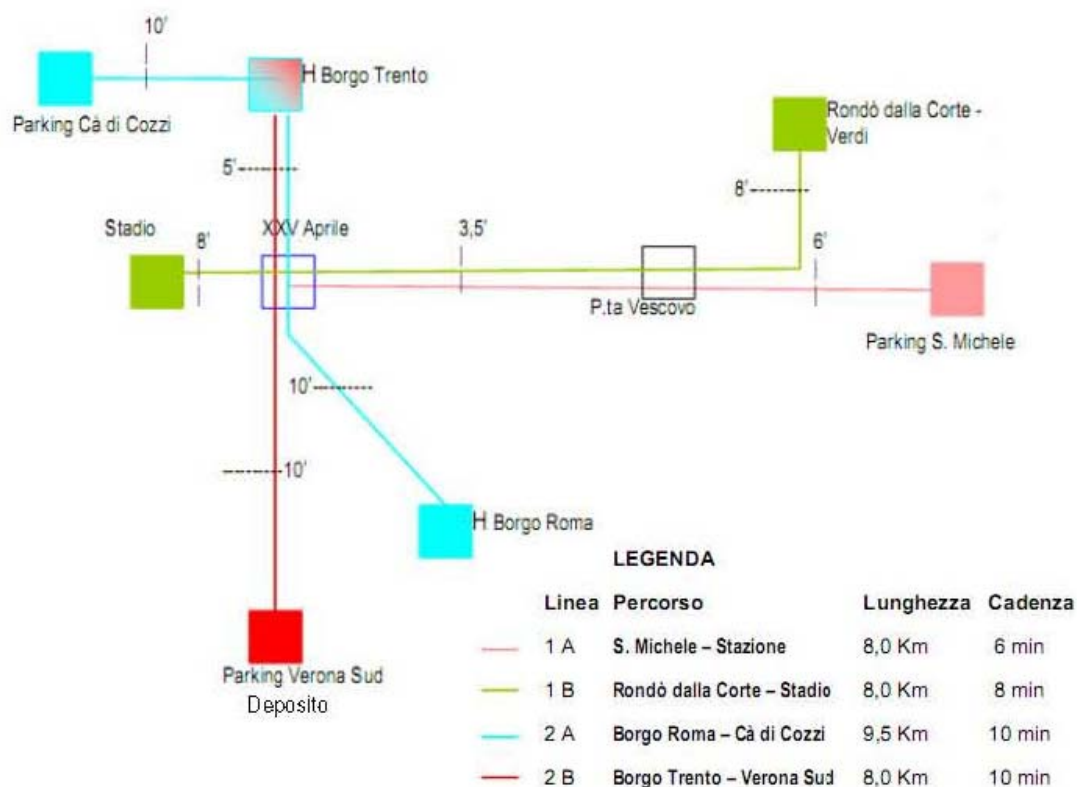


Figura 2. Schema delle linee e direttrici principali

Per la caratterizzazione geologica e geomorfologica si è fatto riferimento alla Carta Geologica d'Italia, Foglio 49 "Verona" in scala 1:100.000, alla *"Carta Geomorfologica di una porzione della pianura a Sud Est di Verona"* in scala 1:25.000 (Sorbini et al. 1984) ed alla *"Carta Geologica del Territorio del Comune di Verona"* in scala 1:20.000 (De Zanche e Sorbini 1977).

Dal punto di vista geomorfologico il territorio in studio ricade nell'alta pianura veronese compresa fra i rilievi morenici gardesani ad Ovest, i massicci carbonatici lessinei a Nord, la fascia delle risorgive a Sud. L'elemento fondamentale della sua genesi è rappresentato dalla grande conoide dell'Adige prodotta, in epoca quaternaria, dall'apporto detritico proveniente da Nord ad opera della acque di dilavamento dei grandi ghiacciai pleistocenici.

Uno stralcio della *"Carta Geomorfologica di una porzione della pianura a Sud Est di Verona"*, centrato sull'area in studio, è riportato in **allegato 1**.

A Sud della linea ferroviaria Venezia – Milano sono cartografati depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi della conoide dell'Adige passanti, a Nord, a depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi del piano di divagazione dell'Adige. Il limite fra il conoide ed il piano di divagazione dell'Adige è contrassegnato da un orlo di terrazzo spesso poco evidente a causa dell'elevata antropizzazione che ha mascherato i caratteri naturali del territorio.

Nel settore orientale (Borgo Venezia) è visibile il limite fra le alluvioni fini dei torrenti lessinei e le alluvioni ghiaiose dell'Adige, contrassegnato anch'esso da un terrazzo che si snoda con direzione circa WNW – WSE lungo Corso Venezia e Via Unità d'Italia.

Altri terrazzi, smantellati e resi irriconoscibili dall'opera dell'uomo, erano visibili presso Porta Palio e Porta Nuova.

Lungo via Cà di Cozzi, quindi al limite Nord occidentale dell'area in studio, sono presenti ancora alluvioni grossolane del conoide dell'Adige che, verso monte, passano lateralmente ad alluvioni limose dei torrenti lessinei provenienti dalle incisioni di Avesa e Quinzano.

Dal punto di vista geologico generale nel Pliocene, alla fine dell'Era Cenozoica (circa 5 milioni di anni fa) l'Italia era in buona parte sommersa dal mare, dal quale emergevano i sistemi montuosi Alpino e Appenninico. Il Mar Adriatico creava, nell'attuale Pianura Padana, un profondo golfo (**figura 3**).

Durante il Pliocene inferiore e medio la trasgressione marina porta il mare a lambire i rilievi prealpini del Veneto. L'estensione raggiunta dal bacino marino è testimoniata da depositi di sedimenti marini a Cornuda, a Bassano del Grappa e presso il margine orientale dei Colli Euganei, nella zona di Conselve e Monselice.



Figura 3 L'Italia durante il Pliocene (da LEONARDI P., 1967).

Durante il Pliocene superiore si assiste ad un generalizzato fenomeno di regressione. Durante il Quaternario (2 MA b.p.) il territorio raggiunge gradualmente l'attuale configurazione. Il lento sollevamento orogenetico dell'area montuosa viene parzialmente bilanciato dai processi erosivi; i detriti trasportati dai fiumi colmano gradualmente il grande bacino subsidente che separa gli Appennini dalle Alpi Meridionali formando in tal modo la Pianura Padana e Veneta.

Pertanto l'alternarsi di fasi glaciali ed interglaciali, con scioglimento dei ghiacciai e conseguente trasporto solido ad opera delle acque di fusione, determina un accumulo nel tempo di imponenti volumi di materiali laddove, allo sbocco in pianura, la massa d'acqua vedeva diminuita la propria forza di trasporto.

Per quanto sopra esposto, e come peraltro si evince in linea generale dalla *Carta Geologica d'Italia* in scala 1:100.000, Foglio 49 "Verona", di cui uno stralcio è rappresentato in **figura 4**, nell'area in studio sono presenti depositi alluvionali fluvioglaciali dell'antica conoide dell'Adige, prevalentemente ghiaioso sabbiosi, ferretizzati, terrazzati, sospesi, a tratti anche debolmente cementati. E' spesso presente uno strato superficiale di alterazione ghiaioso a matrice sabbioso limosa di colore bruno rossastro avente spessore modesto (mediamente 1,5 m). Essi ricoprono in discordanza formazioni conglomeratico-arenaceo mioceniche ed un substrato marino piegato e fagliato costituito da rocce carbonatiche e terrigene mesozoiche.

In un contesto di prevalenti depositi ghiaioso sabbiosi si segnalano locali intercalazioni di materiali fini (limi ed argille) la cui genesi è imputabile ad episodi di bassa energia, al colmamento di aree depresse interposte fra cordoni fluviali a seguito di fenomeni di rotta, o ancora al contributo dei torrenti lessinei spesso sovralluvionati per effetto dello sbarramento a valle dell'ampia conoide dell'Adige. Dall'insieme delle indagini geognostiche disponibili tali intercalazioni fini risultano rare e discontinue, almeno sino alla profondità di 20 – 40 m dal piano campagna locale.

Dalle informazioni dedotte dalle stratigrafie di pozzi per acqua è possibile affermare che il substrato lapideo non è riscontrabile prima di 90 - 100 m, con punte superiori ai 200 m di profondità dal p.c.

Nel complesso non sussistono, dal punto di vista geologico e geomorfologico, condizioni di reale o potenziale instabilità e/o situazioni tali da determinare impedimenti o vincoli particolari alla progettazione delle opere.

Per maggiori dettagli sulla geologia si rimanda alla carta geologica in scala 1:5.000 allegata al progetto, redatta sulla base della documentazione bibliografica disponibile, risultati di indagini geognostiche e rilievi sul terreno.

3 IDROGEOLOGIA

All'interno della pianura padana è possibile distinguere almeno due diverse fasce con caratteristiche litologiche ed idrogeologiche differenti:

1. **Alta Pianura.** A ridosso dei rilievi montuosi, per una larghezza da monte a valle di circa 10 chilometri, comprende una fascia di sedimenti prevalentemente ghiaiosi. Geneticamente è imputabile a conoidi alluvionali sovrapposte, interdigitate fra loro, depositate in corrispondenza dello sbocco in valle dei principali corsi d'acqua.
2. **Media e Bassa Pianura.** Procedendo verso Sud i depositi caratteristici della pianura mostrano una granulometria più fine e risultano costituiti da sabbie e ghiaie con intercalazioni limose ed argillose. Tali intercalazioni divengono progressivamente più frequenti da monte a valle. Nella Bassa Pianura prevalgono limi e argille entro cui si intercalano livelli sabbiosi; le ghiaie sono assenti, salvo qualche rara eccezione riscontrata a profondità elevate.

La situazione idrogeologica caratterizzante i depositi alluvionali è dunque differente all'interno delle tre fasce in relazione alle caratteristiche granulometriche e stratigrafiche presenti. Nell'Alta Pianura, dove i depositi alluvionali sono costituiti prevalentemente da ghiaie, è presente un'unica falda di tipo freatico che satura i materiali per spessori di varie decine di metri. La superficie freatica, profonda alcune decine di metri a ridosso dei rilievi montuosi, si avvicina progressivamente al piano campagna man mano che ci si allontana dal piede delle Prealpi, fino ad intersecare la superficie del suolo in corrispondenza della fascia delle risorgive. Qui la falda viene a giorno nei punti più depressi, creando una fitta serie di sorgenti di pianura dalle quali si originano importanti corsi d'acqua.

La fascia delle risorgive segna pressappoco il limite tra l'Alta e la Media Pianura Veneta, cioè tra depositi alluvionali ghiaiosi e depositi alluvionali differenziati in livelli ghiaiosi separati da livelli limoso-argillosi.

Nella Media Pianura, data la presenza di una struttura stratigrafica caratterizzata dall'alternanza di livelli permeabili e impermeabili, il sistema idrogeologico è costituito da più falde in pressione, sovrapposte e indipendenti tra loro, alimentate dalla falda freatica posta a monte.

Nella Bassa Pianura non sono presenti falde idriche abbondanti in quanto i livelli ghiaiosi sono scarsi o del tutto assenti.

L'area in progetto ricade all'interno dell'Alta Pianura dove i depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi o ghiaioso sabbiosi, costituiscono un enorme serbatoio nel quale trova sede una falda freatica indifferenziata.

In base agli elementi bibliografici consultati, fra cui la *"Carta idrogeologica dell'Alta pianura dell'Adige"* (Dal Prà e De Rossi, 1989), e la *"Carta idrogeologica in scala 1:10.000"* allegata al PRG di Verona, è stata redatta la Carta idrogeologica in scala 1:5000 allegata al progetto. In essa sono riportate le isofreatiche, ovvero le curve di egual profondità della falda rispetto al piano campagna. Dall'insieme dei dati disponibili le profondità cartografate sono riferibili a valori di morbida (piena di fine agosto 1986).

Le informazioni bibliografiche consultate sono concordi nell'evidenziare un'oscillazione stagionale della falda pari a circa 2,00/4,00 m, con una fase di magra primaverile (marzo - aprile) ed una morbida (piena) tardo estiva – autunnale (settembre - ottobre).

La direzione di deflusso della falda, ortogonale alle isofreatiche, è da Nord Ovest verso Sud Est.

La profondità della falda è mediamente variabile da un minimo di 8-9 m a valori nell'ordine di oltre 15 m da p.c.

La permeabilità dei depositi alluvionali ghiaioso sabbioso, decisamente prevalenti nell'area cartografata, desunta da informazioni bibliografiche, prove in sito (tipo Lefranc) effettuate in corrispondenza di sondaggi, e analisi granulometriche su campioni può essere ritenuta variabile attorno al valore di $K = 1,1 \cdot 10^{-4}$ m/sec.

I risultati delle analisi granulometriche e delle prove Lefranc, con le relative valutazioni sulla permeabilità del terreno, sono parte integrante della documentazione geognostica allegata al progetto.

Condizioni di falda libera in materiali a buona permeabilità determinano un'elevata vulnerabilità idrogeologica, mitigata comunque dalla profondità della falda e dalla possibile presenza di sottili intercalazioni di materiale fine. Tale contesto risulta peraltro evidente anche dalla *"Carta delle penali geologiche ed idrogeologiche"* (De Zanche – Sorbini – Spagna) allegata a: *"Geologia del territorio del Comune di Verona"* (Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona – Sezione Scienze della Terra n° 1, 1977) di cui uno stralcio con identificazione dell'area in studio è riportato in **figura 5**.



Figura 5. Stralcio della carta delle penalità geologiche ed idrogeologiche (DE ZANCHE – SORBINI – SPAGNA). In colore verde più chiaro sono aree in cui la falda si trova a profondità < 30 m da p.c, ed a cui corrisponde un pericolo di inquinamento.

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

4.1 INDAGINI DISPONIBILI

Per la stesura del progetto è stata condotta una ricerca bibliografica volta, fra le altre cose, a reperire indagini geognostiche pregresse ubicate in corrispondenza o nell'intorno dell'area di stretto interesse progettuale.

Dai seguenti elaborati, già segnalati in bibliografia, sono state estratte n° 34 stratigrafie provenienti da sondaggi o, più spesso, dalla perforazione di pozzi per acqua:

1. Geologia e Geomorfologia di una porzione a Sud Est della pianura di Verona, di L. Sorbini et al. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona – 1984;
2. Geologia del territorio del Comune di Verona, di V. De Zanche, L. Sorbini, V. Spagna. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona – 1977.

Sono inoltre state reperite le stratigrafie di sondaggi a carotaggio continuo, spesso con annesse prove in sito (SPT e Lefranc), più raramente prove di laboratorio su campioni rimaneggiati ed indisturbati, relative a lavori effettuati a Verona e ritenuti, per qualità, validità dei dati ed ubicazione, rappresentativi delle aree in studio. In particolare:

3. n° 1 sondaggio a carotaggio continuo con prove SPT e Lefranc, denominato S01, profondo 30,00 m, eseguito dal Dott. Leoncini e commissionato dalla R.P.A. Engineering Consulting nell'aprile 2003 nell'ambito del progetto di riqualificazione dello svincolo all'uscita del casello autostradale di Verona Sud;
4. n° 1 sondaggio a carotaggio continuo con prove SPT, denominato S, profondo 22 m, commissionato dallo studio SGS di Verona nell'ambito del progetto relativo alla realizzazione del nuovo Centro Direzionale Europa presso il Casello di Verona Sud;
5. n° 2 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT e Lefranc, denominati S1-S2 e profondi 30 m, oltre a n° 31 trincee esplorative, effettuati nell'area dell'Ex Mercato Ortofrutticolo nell'ambito del Prusst di Verona Sud – Programma di Riqualificazione Urbana, contenuti nella Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Geotecnica redatta dallo studio SGS di Verona;
6. n° 3 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT, denominati 1-2-3, profondi da 13 a 20 m, eseguiti nell'ambito della progettazione esecutiva per la realizzazione di un parcheggio interrato multipiano presso l'ex Gasometro di Verona, e

contenuti nella relazione geologica redatta dallo studio SGS di Verona. Nell'ambito di questa campagna d'indagine sono state eseguite anche indagini sismiche con tecnica REMi per la valutazione della categoria di suolo di fondazione ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni;

7. n° 2 sondaggi a carotaggio continuo profondi da 23 a 30 m, con prove SPT e prelievo di campioni, eseguiti dall'ATI Technital, GIRPA, Verona Infrastrutture, nell'ambito della Proposta di Project Financing del Traforo delle Torricelle

Inoltre nel mese di novembre 2010 l'Amministrazione Appaltante ha messo a disposizione la relazione geologica e la relazione geotecnica del progetto definitivo della Metrotranvia di superficie a guida vincolata di Verona. A tali elaborati sono allegate le seguenti indagini geognostiche:

8. Sondaggi S22-S23-S/A24-S/A25 di profondità compresa fra 8,00 e 30,00 m da p.c con prove SPT, prelievo di campioni ed analisi di laboratorio.

I dati disponibili sono nel complesso congruenti fra loro e con la cartografia geologica disponibile.

Direttamente a partire dal piano campagna, o al di sotto di una coltre costituita da materiale alterato o di riporto per uno spessore normalmente compreso fra 1 – 2 m, si rinvencono prevalenti ghiaie sabbiose con ciottoli. Sono evidenti anche intercalazioni argillose, normalmente poco pronunciate e di modesto spessore, nella maggior parte dei casi confinate a profondità non inferiori a 20 m da p.c. Localmente, e sempre in congruenza con la cartografia geologica, si riconoscono depositi limoso argillosi più frequenti e continui che in zona Borgo Venezia si spingono sino alla superficie.

In alcuni casi in corrispondenza dei sondaggi sono stati installati piezometri per il monitoraggio della falda. La profondità del livello idrico, segnalata nella colonna stratigrafica del sondaggio, è congruente con i dati riportati nella carta idrogeologica allegata al progetto.

Le ubicazione delle citate indagini geognostiche sono riportate nella Carta geologica e nella carta con ubicazioni indagini. Entrambi gli elaborati sono in scala 1.5.000.

Le stratigrafie, con annessi risultati delle prove SPT, le ubicazioni (dove presenti) delle prove di permeabilità e dei campioni prelevati, i grafici delle prove di permeabilità, le

fotografie delle cassette, le stratigrafie delle trincee esplorative, i risultati delle prove di laboratorio su campioni, i diagrammi dell'indagine sismica con tecnica ReMi, sono riportate nell'elaborato relativo alle risultanze delle indagini geognostiche.

4.2 INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Fra la fine di ottobre e l'inizio di novembre 2010 è stata effettuata, a mezzo del laboratorio Autorizzato Elletipi di Ferrara, una campagna geognostica specificamente finalizzata alla presente progettazione definitiva.

Un sondaggio profondo 23,00 m attrezzato con piezometro, denominato SD1 ed integrato da prove SPT in avanzamento e prove di laboratorio su campioni, è stato ubicato in corrispondenza del previsto sottopasso Via Città di Nimes, ovvero l'opera più importante in progetto. Il sondaggio, in particolare, è posizionato in corrispondenza del parcheggio Ovest di Via città di Nimes, in prossimità del sondaggio disponibile denominato S23 che però è profondo solo 8,00m. Lo scopo dell'indagine era quello di verificare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni in corrispondenza dell'opera d'arte, con particolare riferimento per i valori degli N_{spt} (in questa zona spesso a rifiuto nelle indagini precedenti), per lo spessore del materiale di riporto, per l'effettiva profondità della falda e per la granulometria dei terreni attraversati.

Contestualmente in data 7 novembre 2010 è stata condotta una campagna conoscitiva sulle pavimentazioni stradali allo scopo di determinarne le caratteristiche¹ e valutare gli interventi necessari per garantire l'ottenimento dei requisiti prestazionali richiesti. Tale campagna è stata preceduta da una dettagliata ricognizione sui luoghi che ha permesso da un lato di verificare lo "stato di salute" della pavimentazione attuale e le diverse tipologie presenti (pavimentazione in conglomerato bituminoso o in "pavè"), e dall'altro d'individuare le prove più opportune e la relativa ubicazione.

La campagna è consistita in n° 86 prove tipo FWD (Falling Weight Deflectometer) distribuite lungo il tracciato delle 4 linee, coadiuvate ed integrate dal prelievo di n° 36 campioni di conglomerato bituminoso. Tali dati hanno permesso una migliore taratura delle prove FWD.

¹ Le prove hanno permesso di determinare, lungo tutti gli assi di progetto, lo spessore del conglomerato bituminoso esistente ed i moduli elastici equivalenti dello stesso conglomerato bituminoso e del sottofondo. Per maggiori dettagli si rimanda alla specifica relazione.

Per l'ubicazione delle prove sui conglomerati bituminosi si rimanda alla carta con ubicazione indagini in scala 1:5.000. Nello stesso documento è riportato il giudizio, basato esclusivamente sulla ricognizione preliminare in sito, del tipo e stato della pavimentazione stradale esistente.

Per i risultati della prova FWD e per la descrizione dei metodi ed attrezzature impiegate si rimanda al relativo elaborato.

Per l'ubicazione del sondaggio geognostico si rimanda alla carta con ubicazione indagini ed alla carta geologica.

5 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E SISMICITÀ

Secondo il modello sismotettonico del C.N.R. del 1987 la città di Verona ed il suo hinterland si collocano all'interno dell' "Area Lessinea". In particolare suddividendo l'area in sottozone, il settore in studio si inserisce nella Fascia Pedemontana Veronese (M. PANIZZA, D. SLEJKO ET AL., Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa, 1981).

La zona a Nord della città di Verona, di passaggio fra la porzione meridionale dei Lessini e la pianura, corrisponde ad una faglia o ad un sistema di faglie (Linea di Verona), con abbassamento notevole della parte a Sud. L'abbassamento in epoca recente della zona in cui scorre l'Adige, tra S.Ambrogio di Valpolicella e San Bonifacio, è testimoniato da numerosi indizi. Lungo questa "Linea di Verona" si incontrano manifestazioni termali indicative di una neotettonica attiva, ovvero di un'evidente sismicità impostata lungo questa fascia di deformazione ed associata probabilmente alle direttrici ad andamento giudicariense (NE – SW) o scledense (NW – SE) che la intersecano.

L'assetto tettonico dei Monti Lessini è relativamente semplice, caratterizzato da deformazioni per faglia e, solo in subordine, da pieghe (CORSI & GATTO 1964). Gli strati rocciosi sono disposti con una giacitura suborizzontale e pendenza generale verso S o SW;. Tutto l'altipiano è solcato da faglie vicarianti della linea Schio – Vicenza con orientazione NW-SE, cui si aggiungono faglie con direzione variabile sino a NE-SW.

La **figura 6** mostra la distribuzione delle faglie attive, ovvero delle zone potenzialmente sismogenetiche presenti nella Pianura Padana. Va specificato che come zona sismogenetica s'intende una zona caratterizzata da persistente attività sismica con manifestazioni a carattere uniforme, localizzate all'interno di un settore strutturale lungo la superficie di discontinuità divisoria di differenti condizioni strutturali, cinematiche o meccaniche.

La storia sismica della città di Verona può essere schematicamente riassunta mediante la **figura 7**, ottenuta tramite la banca dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. La precisa localizzazione dei sismi, specie quelli di più antica data, è incerta ma nel complesso è possibile considerare quest'area, in accordo anche con i contenuti della figura 6, come attiva seppur caratterizzata da un livello di sismicità moderata.

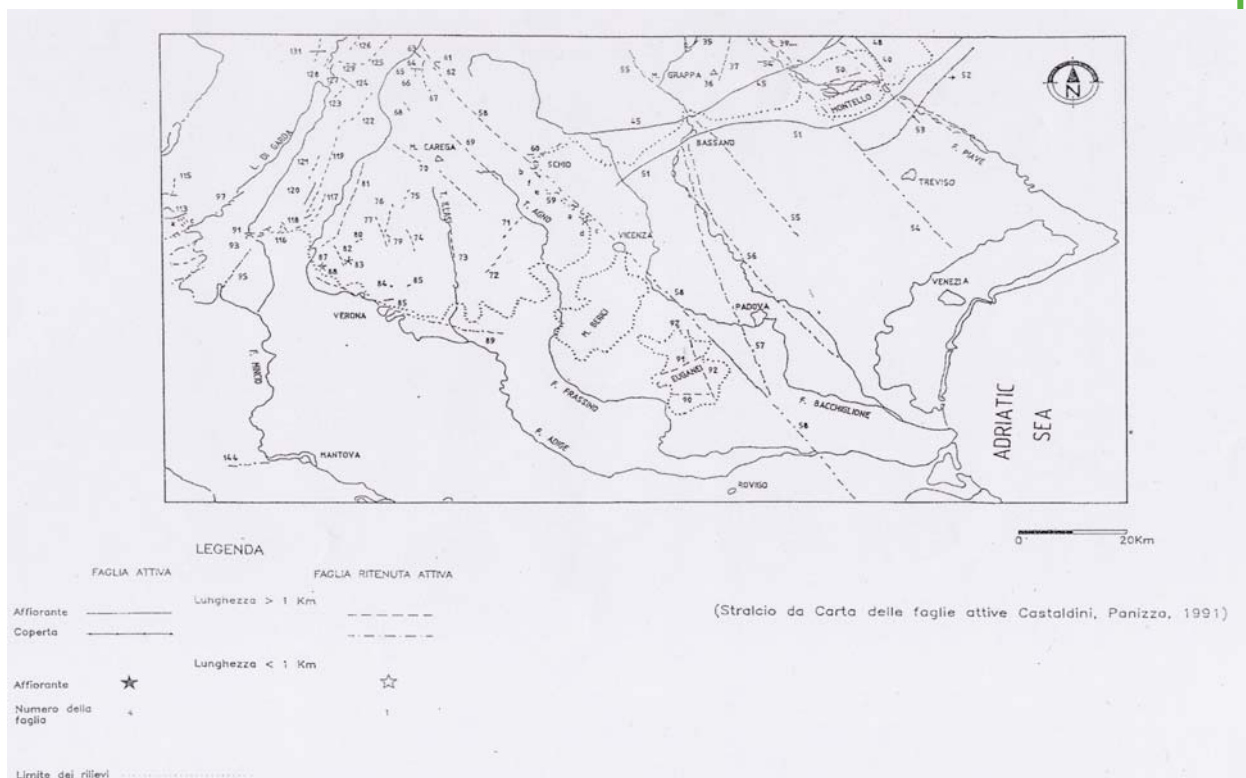


Figura 6 Carta delle faglie attive Castaldini, Panizza, 1991

In virtù di ciò le normative in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 - Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/09/2005) inseriscono la città di Verona in zona sismica 3.

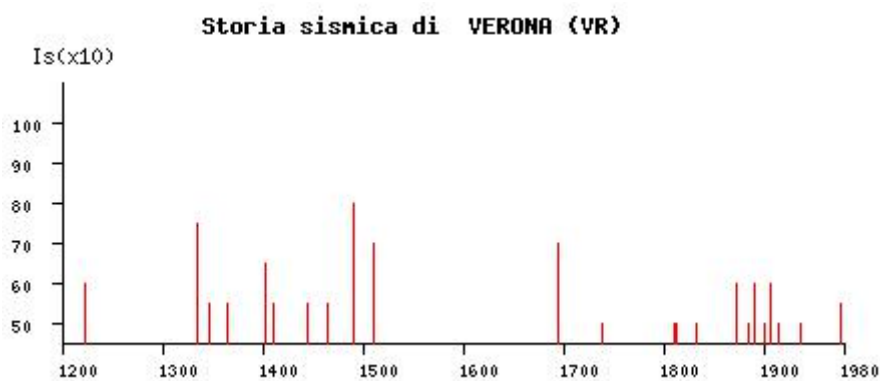


Figura 7

Secondo le più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al Decreto del 14/1/2008, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n° 29 del 04/02/2008, le azioni sismiche debbono essere determinate in relazione al periodo di riferimento VR, che si ricava

moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U , a sua volta funzione della classe d'uso come da tabella 2.4.II delle N.T.

Nel caso in argomento, considerando in questa fase l'opera come ordinaria, la **vita nominale " V_N "** ai sensi del par. 2.4.1 delle sopraccitate NTC risulta pari a 50 anni. La classe d'uso considerata, ai sensi del par. 2.4.2, è la II.

Si ha quindi:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1,0 = 50 \text{ anni}$$

Come si evince dal cap. 3.2. delle NTC le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base del sito", definita in termini di accelerazione massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $SC(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{Vr} come definite nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini della normativa le forme spettrali sono definite per ciascuna probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{Vr} a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g	accelerazione orizzontale massima
F_0	valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
T^*_C	periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori dei parametri di cui sopra sono allegati in calce alle NTC per diversi periodi di ritorno (TR), e distinti in base ad un codice di identificazione (ID) nonché delle relative coordinate geografiche (latitudine e longitudine). Possono pertanto essere determinati o sulla base del Comune in cui ricadono i lavori, o in base alle esatte coordinate geografiche in cui ricadono le singole opere.

Con riferimento al caso in studio, ed in generale alla città di Verona, considerando un periodo di riferimento V_R di 50 anni si ha:

a_g	0,157
F_o	2,431
T^*_C	0,276

L'accelerazione massima attesa in superficie deriva dalla:

$$a_{max} = S \times a_g = S_s \times S_T \times a_g$$

dove:

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica S_s e quella topografica S_T

a_g = accelerazione orizzontale massima sul sito di riferimento rigido.

Per quanto attiene la categoria di suolo di fondazione, di cui al capitolo 3.2.2 delle Norme Tecniche, sulla base dei valori medi di N_{spt} ottenuti si ritiene di poter cautelativamente assumere una categoria C, anche se non è possibile escludere l'appartenenza ad una categoria B come invece segnalano le prove ReMi eseguite in corrispondenza dell'Ex Gasometro. Considerando una categoria C si ha: $S_s = 1,471$

Per le condizioni topografiche con riferimento alle tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle N.T.C., considerando un territorio sostanzialmente pianeggiante, si assume una categoria T1 cui compete un fattore di amplificazione topografica S_T pari ad 1,00.

Le caratteristiche dei terreni sono tali da escludere il rischio di liquefazione.

6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

6.1 ANALISI E PROVE DI LABORATORIO

La maggior parte dei sondaggi disponibili ha interessato depositi alluvionali granulari riferibili alle alluvioni fluvioglaciali terrazzate dell'Adige. Più raramente si sono attraversati depositi correlabili alle alluvioni lessinee.

Per alcuni sondaggi sono disponibili i risultati di prove di laboratorio su campioni prelevati in fase di perforazione. Dato che i sondaggi hanno intercettato materiali prevalentemente granulari, la maggior parte dei campioni sono di tipo rimaneggiato. Su questi le prove eseguite sono analisi granulometriche e, dove possibile, limiti di Atterberg.

Sui campioni indisturbati, prelevati in corrispondenza di intercalazioni fini delle alluvioni dell'Adige, o di limi argillosi delle alluvioni lessinee, oltre ad analisi granulometriche e limiti sono state effettuate prove edometriche, prove di compressione semplice e prove di taglio diretto.

I campioni di cui si dispone di prove di laboratorio, la relativa tipologia (R = rimaneggiato; I = indisturbato) e le profondità di prelievo sono riassunte in **tabella 1**.

I risultati delle prove sono contenuti nella documentazione relativa alle indagini geognostiche.

Sondaggio	Ubicazione	Campione	Profondità	Sondaggio	Ubicazione	Campione	Profondità
S22	Via Nimes	R	5,00	SD1	Via Nimes	R	15,00
S22	Via Nimes	R	12,50	SD1	Via Nimes	R	21,00
S22	Via Nimes	R	19,00	S1	Torricelle	R	3,00
S22	Via Nimes	R	22,50	S1	Torricelle	R	3,90
S22	Via Nimes	R	27,50	S1	Torricelle	I	4,50
S23	Via Nimes	R	1,50	S1	Torricelle	R	6,00
S23	Via Nimes	R	7,50	S1	Torricelle	R	7,15
S/A 24	Via Nimes	R	6,20	S1	Torricelle	R	9,00
S/A 24	Via Nimes	R	10,30	S1	Torricelle	R	12,00
S/A 24	Via Nimes	R	26,00	S1	Torricelle	I	15,00
S22	Via Nimes	R	2,50	S1	Torricelle	R	18,00
SD1	Via Nimes	R	3,00	S2	Torricelle	I	4,60
SD1	Via Nimes	R	6,30	S2	Torricelle	R	6,50
SD1	Via Nimes	R	9,00	S2	Torricelle	R	9,50
SD1	Via Nimes	R	12,00				

Tabella 1. Elenco campioni di cui sono disponibili risultati di prove di laboratorio.

Per le alluvioni dell'Adige le analisi granulometriche, in congruenza con le stratigrafie, confermano la presenza di materiali sostanzialmente ghiaioso sabbiosi, con anche presenza di ciottoli. Il passante al vaglio 200 (0,075 mm), ovvero la frazione di limo ed

argilla, è modesto e compreso fra 5-15%. Tale materiale non è plastico. Classificazione CNR UNI 10006 A-1-a oppure A-1-b; classificazione USCS GW, GM o SW.

Le rare intercalazioni fini intercettate sono costituite da argille limose da consistenti a mediamente consistenti, con passante al vaglio 200 superiore al 90%. Limite di liquidità nell'ordine del 60% e limite di plasticità del 30%. Indice di plasticità 30. Classificazione CNR UNI 10006 A6 o A7, classificazione USCS prevalentemente CH.

Le alluvioni lesinee, riscontrabili a monte di Via Cà di Cozzi esternamente al tracciato, e in zona Borgo Venezia, possono essere rappresentate dai sondaggi S1 ed S2 eseguiti nell'ambito del progetto delle Torricelle. Sono costituite da limi sabbiosi alternati a limi argillosi ed argille limose. Il passante al vaglio 200 è spesso compreso fra 30 – 50% con punte dell'80%, limite di liquidità 55 – 75, limite di plasticità 20 – 35, indice di plasticità 25 – 40, contenuto naturale d'acqua 27 – 30%. Classificazione UNI 10006 prevalentemente A7 o A2-7, classificazione USCS prevalentemente CH.

6.2 PROVE SPT

In corrispondenza delle indagini disponibili elencate al paragrafo 4.1, punti 3-4-5-6-8 (sondaggio al casello di Verona Sud; sondaggio al Centro Direzionale Europa, sondaggi presso l'ex Mercato Ortofrutticolo, sondaggi presso l'ex Gasometro, sondaggi nell'intorno di Via Città di Nimes) ed in corrispondenza del nuovo sondaggio SD1 specificamente realizzato nell'ambito del presente progetto, sono state effettuate sistematiche prove SPT in avanzamento. Tale prova, valida per materiale granulari, prevede la misurazione del numero di colpi necessario per l'infissione di un penetrometro standard per 3 tratti di 15 cm l'uno, scartando il primo valore (N_1) ed ottenendo il valore N_{SPT} come somma dei valori corrispondenti ai restanti due tratti (N_2+N_3).

Per l'interpretazione dei dati si è fatto riferimento alle correlazioni esistenti in letteratura fra i risultati delle prove SPT ed i parametri caratteristici che concorrono a definire la resistenza al taglio e la deformabilità dei terreni. Per i depositi a grana grossa, come nel caso in studio, si fa ricorso alla parametrizzazione in termini drenati, con determinazione della densità relativa, coesione, angolo d'attrito (di picco), modulo elastico, modulo di taglio e velocità delle onde "s". Al fine di migliorare il grado di attendibilità dell'elaborazione si sono confrontati i risultati di diversi approcci analitici, scegliendo quelli ritenuti caso per caso più opportuni.

Per la densità relativa D_r si è utilizzata la correlazione di Skempton (1986) attraverso la formula:

$$Dr \cong \left(\frac{N'_{spt}}{60} \right)^{0.5}$$

valida per $Dr \geq 35\%$ e per la quale occorre disporre del valore di N'_{spt} .

Il valore di N'_{SPT} è il valore misurato e successivamente corretto in funzione della pressione verticale efficace del terreno e del rendimento energetico delle prove, posto pari al 60% secondo la seguente relazione:

$$N'_{SPT} = C_{ER} * C_n * N_{SPT}$$

In cui:

- N_{SPT} = numero di colpi misurati;
- N_{ER} = fattore correttivo per il rendimento energetico, che per l'attrezzatura impiegata e le profondità indagate è pari ad 1;
- C_n = fattore correttivo che normalizza il valore N_{SPT} rispetto alla tensione efficace verticale. Tale fattore è pari a:

$$C_n = \left(\frac{1}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

ove l'esponente n è pari a 0,5 e σ'_{v0} è espressa in Kg/cm^2 (Jamiołkowski et al. 1985).

Per la valutazione dell'angolo d'attrito (Φ) si è fatto riferimento alle correlazioni proposte dal Road and Bridge Specification (2002) e da Shioi e Fukuni (Japanese National Railway, 1982) nelle quali il valore di N_{SPT} risulta correlato alla resistenza di picco tramite le rispettive relazioni:

$$\begin{aligned} \Phi &= (15N'_{SPT})^{0.5} + 15 \\ \Phi &= 0,3N'_{SPT} + 27 \end{aligned}$$

Una stima del modulo di deformabilità (E) è stata fornita, in base alle litologie in esame, dalle correlazioni di D'Apollonia et al (1970) valida per sabbie e ghiaie normal consolidate, e da Schulze e Menzebach (1955) valida per sabbie o sabbie limose, nelle quali la resistenza alla penetrazione N_{SPT} risulta correlabile al modulo E tramite le seguenti e rispettive equazioni:

$$E = 0,756 N'_{SPT} + 18,75$$

$$E = 0,517 N'_{SPT} + 7,46$$

Per la valutazione del modulo di taglio (Gmax) si è utilizzata la correlazione di Crespellani & Vannucchi ove :

$$G_{\max} = a \cdot (N_{SPT})^b \quad \text{in Mpa}$$

con:

$$a = 31.3 \quad b = 0.526$$

Per la valutazione della velocità delle onde di taglio (Vs) si è utilizzata la correlazione di Yoshida & Motonori (1988):

$$Vs = f(N_{spt}, \text{litologia}) ;$$

Ove:

$$V_s = \beta \cdot (N_{SPT})^{0,25} \cdot \sigma'_{v0}{}^{0,14}$$

B = 55 per qualunque terreno e 49 in sabbie.

Con riferimento alle indagini disponibili di cui al paragrafo 4.1 la **tabella 2** seguente riassume i valori degli N_{SPT} in funzione delle diverse profondità e riportati nelle colonne stratigrafiche di sondaggio. Analogamente la **tabella 3** riporta i valori degli N_{SPT} per il sondaggio di progetto definitivo SD1 descritto nel paragrafo 4.2

Sondaggio	Profondità	Nspt	Sondaggio	Profondità	Nspt	Sondaggio	Profondità	Nspt
N°	m		N°	m		N°	m	
S01 Casello Vr Sud	4,50	59	1 Ex Gasometro	3,15	26	S/A 25 Via Cero	5,00	57
	10,50	40		6,15	7		10,00	49
	13,00	38		9,15	62		16,00	R
	15,00	41		12,15	40		21,00	R
	18,00	47		15,15	51		25,00	R
	21,00	42		18,15	71		3,00	58
S Centro Direz. Europa	11,50	44	2 Ex Gasometro	3,15	29	S22 Via Nimes	6,00	R
	13,50	32		6,15	32		9,00	R
	17,00	58		9,15	94		12,00	R
S1 Ex Mercato Ortofrutticolo	4,50	80		12,15	18		15,00	R
	7,50	56	3 Ex Gasometro	3,15	32		18,00	R
	10,50	82		6,15	19		21,00	R
	15,00	108		9,15	58		24,00	78
	21,00	72		10,65	59	SD1 Via Nimes	3,00	61
	25,50	90		12,15	15		6,30	R
	30,00	78	S/A24 Via Cero	5,00	R		9,00	R
S2 Ex Mercato ortofr.	6,00	37		10,00	R		12,00	R
	9,00	61		15,00	R		15,00	R
	18,00	59		25,50	23		21,00	R

Tabella 2. Valori degli Nspt nei sondaggi disponibili. R = rifiuto.

Sondaggio	Profondità	Nspt
N°	m	
SD1 Via Nimes	3,00	61
	6,30	R
	9,00	R
	12,00	R
	15,00	R
	21,00	R

Tabella 3 Valori degli Nspt nel sondaggio SD1 di definitivo. R = rifiuto

Sulla base delle correlazioni sopra esposte le **tabelle 4 – 5** riepilogano i risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove SPT relative ai sondaggi: casello di Verona sud, centro direzionale, mercato ortofrutticolo ed ex gasometro. Praticamente tutti i sondaggi disponibili con l'eccezione di quelli in via Città di Nimes.

La **tabella 6** estrapola i risultati relativi ai soli sondaggi del casello di Verona sud e centro direzionale, in vista della caratterizzazione dei terreni del deposito di Verona sud.

La massima profondità indagata con le SPT è 30,00 m.

Nel complesso, e considerato che le prove sono eseguite in zone fra loro anche relativamente distanti, possiamo osservare una buona omogeneità dei risultati in congruenza con una omogeneità litologica che deriva da una netta prevalenza di depositi granulari ghiaioso sabbiosi. I valori più elevati possono essere rappresentativi di orizzonti ghiaioso ciottolosi, e vanno trattati con cautela per effetto dell'elevato numero di colpi che potrebbero misurarsi nel momento in cui la punta del penetrometro incontra un ciottolo. I valori più modesti possono invece indicare un certo grado di disturbo

(materiale rimaneggiato a fondo foro?) oppure orizzonti a granulometria più fine (sabbioso limosi).

In ogni caso i valori di densità relativa sono compresi fra 60 – 95%, ad indicare depositi da addensati a molto addensati. Il valore medio è del 70% circa.

L'angolo d'attrito si può considerare a grandi linee compreso fra 34 – 40°, e più spesso nel range fra 36 – 38°.

Il modulo elastico compreso fra 40 – 60 MPa in funzione della profondità, mentre il modulo di taglio fra 70 – 200 MPa, crescente con la profondità.

La velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) cresce anch'essa con la profondità da un minimo di 180 – 200 m/sec ad valore massimo atteso di oltre 320 m/sec a circa 30 m da p.c. Si ritiene pertanto di poter assumere, cautelativamente, un valore di V_{s30} (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m da p.c.) compreso fra 180 – 360 m/sec, e quindi una categoria di fondazione tipo C come anticipato al capitolo 5.

CORRELAZIONE Nspt - Parametri geotecnici

Peso di volume $\gamma =$		1,85					
Sondaggio	Profondità	Nspt	Dr	γ	E	G	Vs
N°	m	%	(°)	Mpa	Mpa	m/sec	
S01 Casello Vr Sud	4,50	59	100	40	58	120	252
	10,50	40	70	36	45	125	258
	13,00	38	63	36	43	130	262
	15,00	41	63	36	45	139	271
	18,00	47	65	36	50	152	284
	21,00	42	60	35	46	148	280
S Centro Direz. Europa	11,50	44	74	38	50	135	267
	13,50	32	60	36	41	120	252
	17,00	58	75	39	61	169	300
S1 Ex Mercato Ortofrutticolo	4,50	80	100	42	75	140	175
	7,50	56	95	41	59	135	208
	10,50	82	100	42	79	179	210
	15,00	108	74	42	98	227	241
	21,00	72	80	39	71	195	321
	25,50	90	86	40	85	225	345
S2 Ex Mercato ortofr.	30,00	78	77	39	76	215	338
	6,00	37	83	40	45	103	234
	9,00	61	94	41	63	148	280
1 Ex Gasometro	18,00	59	69	38	54	159	290
	3,15	26	80	39	36	72	195
	6,15	7	36	33	22	45	155
	9,15	62	94	41	64	150	282
	12,15	40	60	38	47	131	263
	15,15	51	72	38	55	157	288
2 Ex Gasometro	18,15	71	82	40	70	189	315
	3,15	29	85	40	39	76	201
	6,15	32	76	39	41	97	226
	9,15	94	100	42	88	185	313
	12,15	18	46	34	30	88	216
	3,15	32	89	40	41	80	206
3 Ex Gasometro	6,15	19	59	36	31	74	199
	9,15	58	91	41	61	145	278
	10,65	59	88	40	61	152	284
	12,15	15	42	34	28	80	206
	Sondaggio	Profondità	Nspt	Dr	γ	E	G

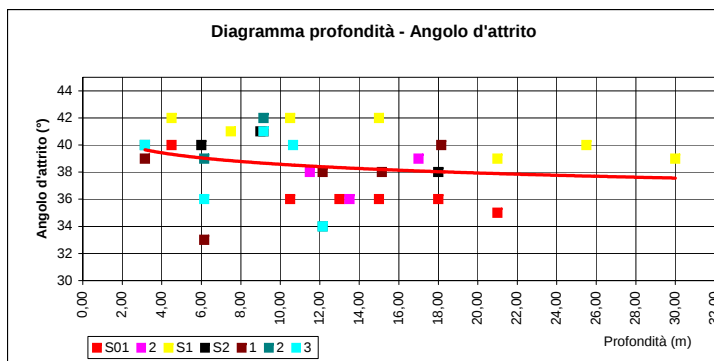
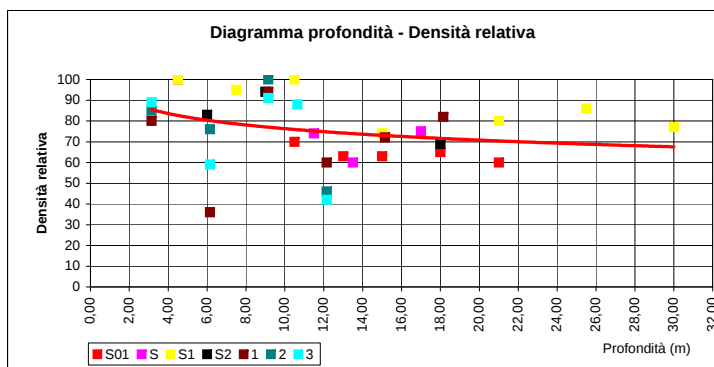
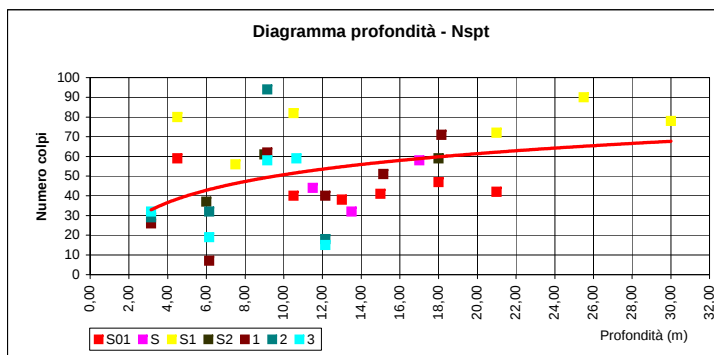


Tabella 4. Interpretazione delle prove SPT relative alle indagini geognostiche disponibili.

Sondaggi: casello di Verona sud, Centro Europa, Mercato ortofrutticolo ed Ex Gasometro.

Diagrammi di Nspt, Densità relativa ed angolo d'attrito.

CORRELAZIONE Nspt - Parametri geotecnici

Peso di volume = 1,85						
Sondaggio	Profondità	Nspt	Dr	E	G	Vs
N°	m		%	Mpa	Mpa	m/sec
S01 Casello Vr Sud	4,50	59	100	40	58	120
	10,50	40	70	36	45	125
	13,00	38	63	36	43	130
	15,00	41	63	36	45	139
	18,00	47	65	36	50	152
	21,00	42	60	35	46	148
S Centro Dir. Europa	11,50	44	74	38	50	135
	13,50	32	60	36	41	120
	17,00	58	75	39	61	169
S1 Ex Mercato Ortofrutticolo	4,50	80	100	42	75	140
	7,50	56	95	41	59	135
	10,50	82	100	42	79	179
	15,00	108	74	42	98	227
	21,00	72	80	39	71	195
	25,50	90	86	40	85	225
S2 Ex Mercato ortofr.	30,00	78	77	39	76	215
	6,00	37	83	40	45	103
	9,00	61	94	41	63	148
1 Ex Gasometro	18,00	59	69	38	54	159
	3,15	26	80	39	36	72
	6,15	7	36	33	22	45
	9,15	62	94	41	64	150
	12,15	40	60	38	47	131
	15,15	51	72	38	55	157
2 Ex Gasometro	18,15	71	82	40	70	189
	3,15	29	85	40	39	76
	6,15	32	76	39	41	97
	9,15	94	100	42	88	185
	12,15	18	46	34	30	88
	15,15	32	89	40	41	80
3 Ex Gasometro	6,15	19	59	36	31	74
	9,15	58	91	41	61	145
	10,65	59	88	40	61	152
	12,15	15	42	34	28	88
Sondaggio	Profondità	Nspt	Dr	E	G	Vs

Diagramma profondità - Modulo elastico E

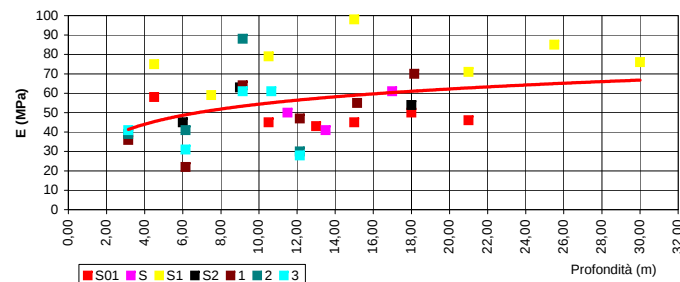


Diagramma profondità - Modulo di taglio G

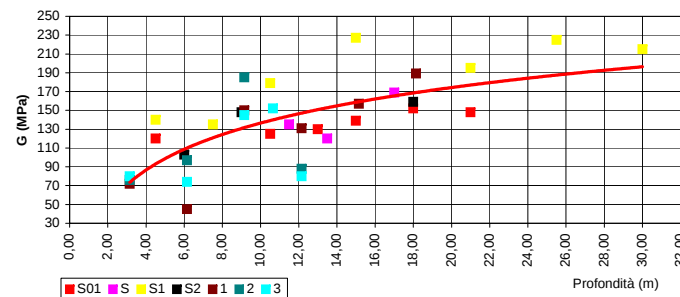


Diagramma profondità - Velocità onde di taglio Vs

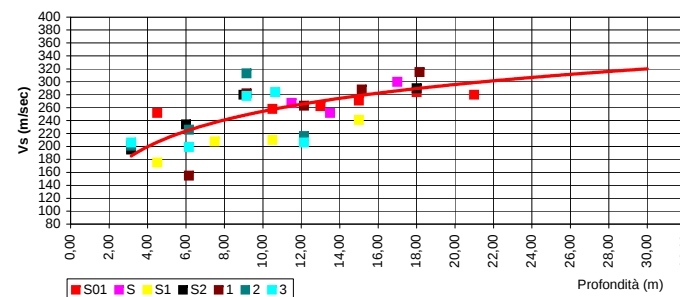
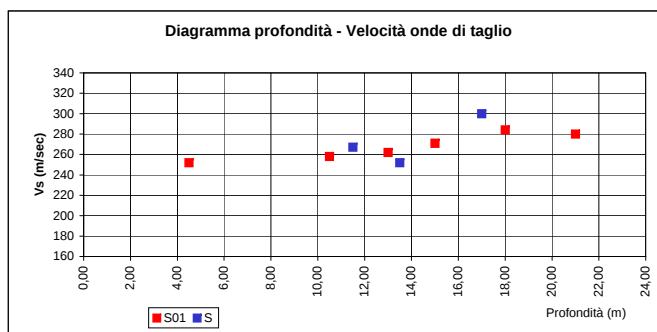
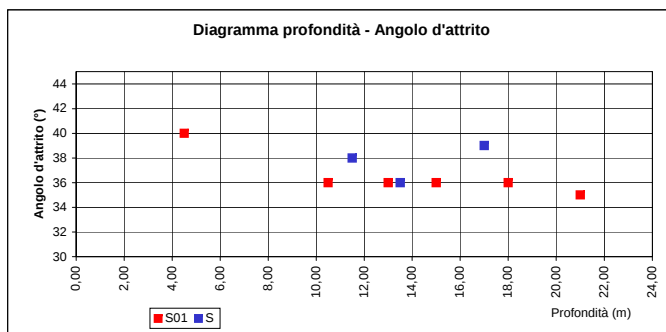
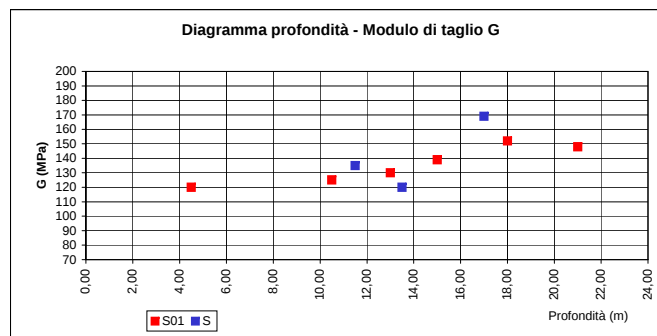
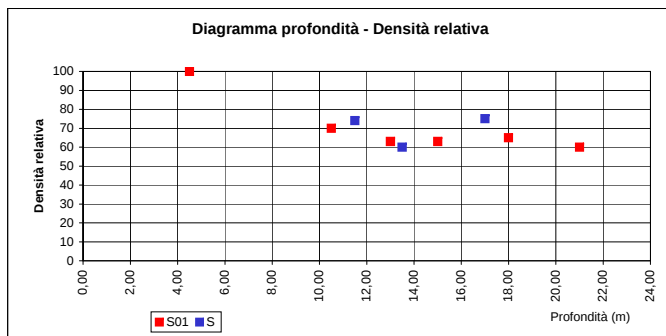
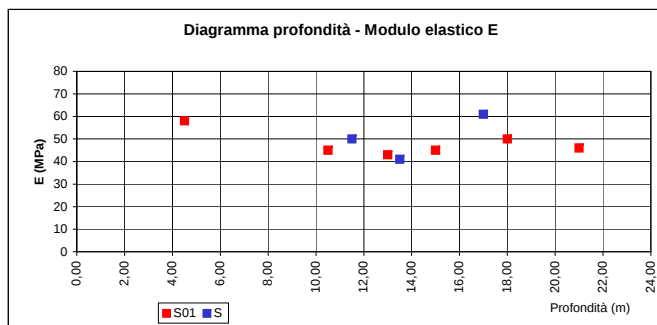
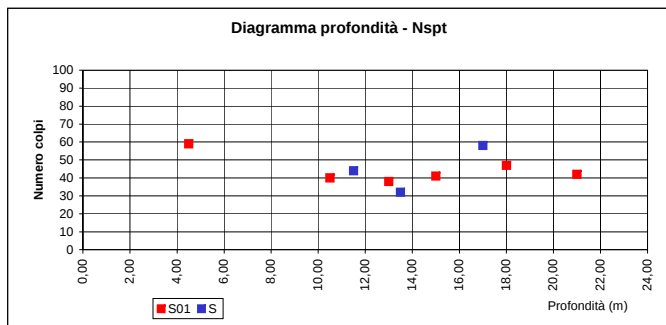


Tabella 5.

Interpretazione delle prove SPT relative alle indagini geognostiche disponibili.

Sondaggi: casello di Verona sud, Centro Europa, Mercato ortofrutticolo ed Ex Gasometro.

Diagrammi di Modulo elastico, Modulo di taglio, velocità onde sismiche di taglio.



**Tabella 6. Interpretazione delle
prove SPT dei soli sondaggi
S01 – S
ubicati a Verona Sud**

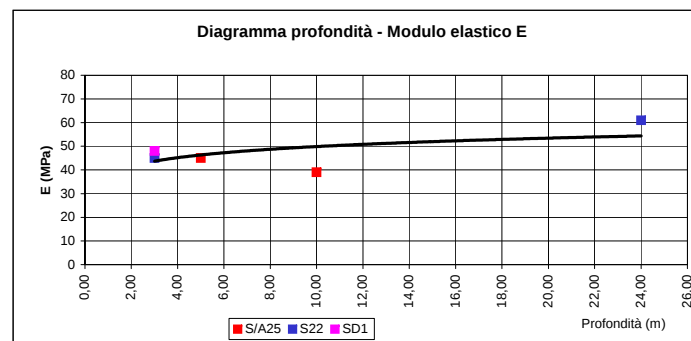
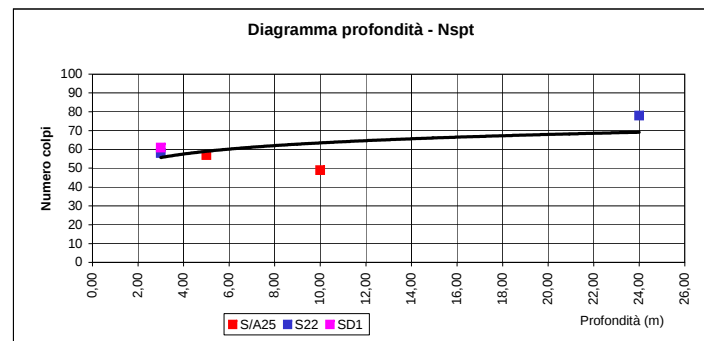
Per quanto attiene la zona di Via Città di Nimes, le prove SPT relative sia ai sondaggi disponibili che al sondaggio SD1 specificamente effettuato mostrano valori degli SPT mediamente più elevati rispetto quelli di tabella 4 e 5 tanto che, come si evince dalla tabella 2 e 3, la maggior parte delle prove fornisce il valore di rifiuto. Per tale motivo si è ritenuto opportuno rappresentare queste prove separatamente da tutte le altre.

La visione diretta delle cassette del sondaggio SD1 ha permesso di osservare una buona presenza di ciottoli aventi diametro compreso fra 5-10 cm, ai quali potrebbe essere imputata la condizione di rifiuto riscontrata nel corso della prova.

Chiaramente i risultati, riportati nella seguente **tabella 7**, sono relativi alle sole prove non giunte a rifiuto. La massima profondità indagata con le SPT è 25,50 m.

La densità relativa è compresa fra il 60 – 70% mentre l'angolo d'attrito varia fra 42-44°, il modulo elastico è compreso fra 40 – 60 MPa mentre il modulo di taglio fra 200 – 290 MPa. La velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) cresce con la profondità da un minimo di 180 m/sec ad valore massimo di 280 m/sec a circa 24 m da p.c., confermando l'appartenenza ad una categoria di fondazione tipo C.

Per la prova SPT eseguita in S/A 24 proprio alla profondità di 25,5m, e quindi al tetto di un'intercalazione argillosa, si è provveduto alla sola determinazione della densità relativa, modulo elastico, velocità delle onde sismiche e coesione non drenata.



Sondaggio	Profondità	Nspt	Dr	φ	E	G	Vs	Cu
N°	m		%	(°)	Mpa	Mpa	m/sec	Kg/cm ²
S/A24	25,50	23	44		15		228	
								1,4
S/A25	5,00	57	65	44	45	250	198	
	10,00	49	60	42	39	223	222	
S22	3,00	58	66	44	45	250	180	
	24,00	78	75	50	61	317	286	
SD1	3,00	61	70	45	48	263	184	

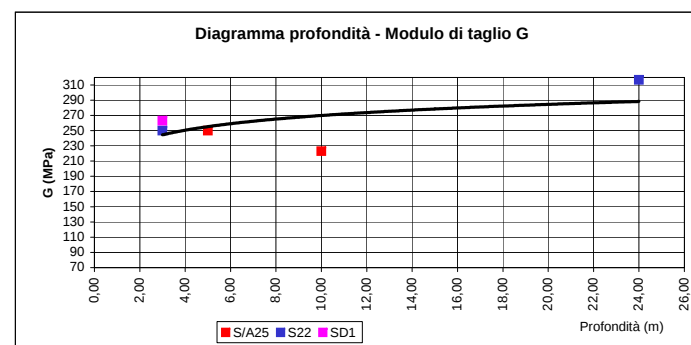
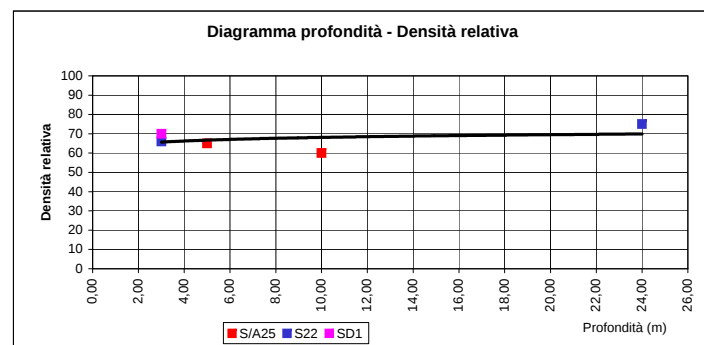
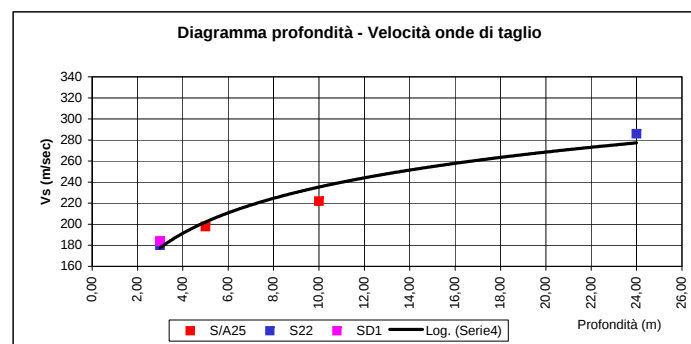
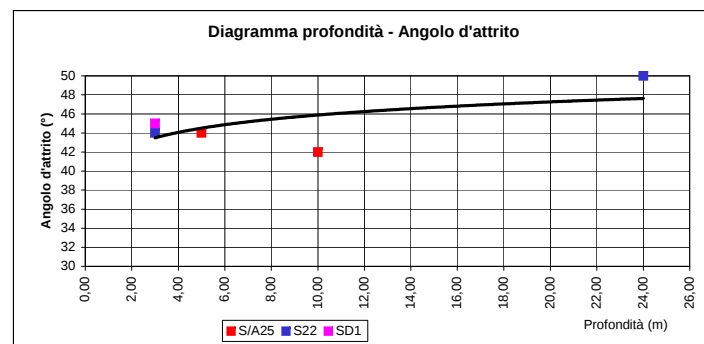


Tabella 7. Interpretazione delle prove SPT nei sondaggi di via Città di Nimes



6.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE

Per la caratterizzazione dei terreni in corrispondenza delle singole opere si è fatto riferimento ai sondaggi eseguiti in corrispondenza o nelle immediate vicinanze delle stesse.

Pertanto per il **Parking – deposito – di Verona sud** si considerano i sondaggi S01 ed S e l'interpretaizone delle prove SPT riportata in **tabella 6**.

Sulla base dei risultati di tali prove, delle stratigrafie dei sondaggi, dei rilievi piezometrici e delle prove Lefranc in sito la caratterizzazione dei terreni relativa all'area in cui sorgerà il futuro deposito è la seguente:

Litotipo: Alluvioni dell'Adige costituite da ghiaie poligeniche in matrice sabbiosa molto addensata.

- peso di volume γ (kN/m³) 18,5
- coesione $C' = 0$ kPa
- angolo di attrito $\Phi' = 34^\circ$
- modulo elastico $E = 40$ MPa
- densità relativa $D_r = 65-75\%$
- modulo di taglio $G = 130$ MPa
- categoria di suolo di fondazione: C
- falda alla profondità di 14 m da p.c.
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-1-a quindi di buona/ottima qualità.

Per il **sottopasso in Via Nimes** le interpretazioni delle prove SPT eseguite nei sondaggi vicini sono riepilogate in **tabella 7**. I risultati vanno comunque valutati in maniera cautelativa vista la frequente presenza di ciottoli che potrebbero falsare la prova. Si fa riferimento inoltre ai rilevamenti piezometrici ed alle analisi granulometriche.

La presenza di materiale di riporto è segnalata nelle stratigrafie dei sondaggi disponibili per spessori variabili fra 1,00 e 3,00 m da p.c. Non è stato invece riscontrato materiale di riporto nel corso del sondaggio SD1 visionato direttamente dagli scriventi. Tale materiale, da quanto ci risulta, è stato messo in opera per riempire il fossato davanti alle mura antiche.

Prudenzialmente in fase progettuale si fa comunque riferimento ad uno spessore di materiale di riporto, a composizione ghiaioso sabbiosa, per uno spessore di 3,00 m.

Litotipo 1: Riporto ghiaioso sabbioso.

- peso di volume γ (kN/m³) 18,0
- coesione $C' = 0$ kPa
- angolo di attrito $\Phi' = 28 - 30^\circ$
- modulo elastico $E = 20$ MPa
- densità relativa $D_r = 50\%$
- modulo di taglio $G = 100$ MPa
- categoria di suolo di fondazione: C
- permeabilità del terreno: $K = 5,0 \cdot 10^{-4}$ m/sec
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-1-a oppure A-1-b, quindi di buona/ottima qualità.

Litotipo 2: Alluvioni dell'Adige costituite da ghiaie poligeniche con ciottoli in matrice sabbiosa molto addensata.

- peso di volume γ (kN/m³) 18,5
- coesione $C' = 0$ kPa
- angolo di attrito $\Phi' = 35 - 38^\circ$
- modulo elastico $E = 40$ MPa
- densità relativa $D_r = 65-75\%$
- modulo di taglio $G = 130$ MPa
- categoria di suolo di fondazione: C
- falda alla profondità di 14 m da p.c.
- permeabilità del terreno: $K = 1,1 \cdot 10^{-4}$ m/sec
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-1-a quindi di buona/ottima qualità.

Per quanto attiene le **opere minori e le stazioni elettriche**, con riferimento alla carta geologica ed all'insieme dei dati disponibili si potrà fare riferimento a prevalenti depositi

alluvionali ghiaioso sabbiosi dell'Adige e, localmente, ad alternanze limoso argillose sabbiose delle alluvioni lessinee. In particolare:

Alluvioni ghiaioso sabbiose dell'Adige

- peso di volume γ (kN/m³) 18,5;
- coesione $C' = 0$ kPa
- angolo di attrito $\Phi' = 32^\circ$
- modulo elastico $E = 30$ Mpa
- falda a profondità non inferiore a 10 m da p.c.
- categoria di suolo di fondazione: C
- permeabilità del terreno: $K = 1,1 \cdot 10^{-4}$ m/sec
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-1-a quindi di buona/ottima qualità.

Per il tratto di Via Pisano, Via Zeviani, Via Del Capitel, Via Della Corte e più in generale laddove in carta geologica sono riportate le alluvioni lessinee si farà cautelativamente riferimento a depositi limoso argillosi con i seguenti parametri di riferimento:

- peso di volume γ (kN/m³) 19,0
- limite di liquidità 55 – 75
- limite di plasticità 20 – 35
- indice di plasticità 25 – 40
- contenuto naturale d'acqua 27 – 30%
- coesione $C' = 15$ kPa
- angolo di attrito $\Phi' = 25^\circ$
- modulo elastico $E = 10$ Mpa
- falda a profondità non inferiore a 10 m da p.c.
- categoria di suolo di fondazione: C
- permeabilità del terreno: $K = 1,1 \cdot 10^{-8}$ m/sec
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-7 oppure A-4, quindi di scadente qualità.

Per la verifica ed il dimensionamento delle **pavimentazioni stradali** il paragrafo 5.1 della relazione sui risultati della prova FWD elenca gli spessori di conglomerato bituminoso riscontrati in corrispondenza dei carotaggi, e i valori dei moduli elastici equivalenti degli stessi conglomerati bituminosi e del terreno di sottofondo.

Su questi parametri è stato effettuato il dimensionamento delle pavimentazioni riportato nella specifica relazione tecnica, cui si rimanda per ulteriori e maggiori dettagli.

7 INTERAZIONE TRA LE OPERE ED IL TERRENO

Come anticipato in premessa, il progetto del sistema di trasporto pubblico di tipo filoviario della città di Verona è articolato su 4 linee secondo due direttrici principali orientate rispettivamente Nord – Sud (linea 2) ed Est – Ovest (linea 1). Rispettivamente:

Linea 1A S Michele – Stazione lunghezza 8 Km;

Linea 1B Rondò della Corte – Stadio, lunghezza 8,0 km;

Linea 2A Borgo Roma – Cà di Cozzi, lunghezza 9,5 km;

Linea 2B Borgo Trento – Verona Sud, lunghezza 8,0 Km

Totale 33,5 Km di linea.

Ad eccezione di un tratto molto limitato in prossimità di Via Comacchio (linea A) e della parte prossima al deposito (linea 2B) i tracciati sono impostati in corrispondenza di una viabilità urbana o suburbana già esistente.

I valori di modulo elastico equivalente usati per la verifica e dimensionamento delle pavimentazioni derivano da una campagna di misure condotte nel novembre 2010 tramite tecnica FWD (Falling Weight Deflectometer) la cui interpretazione è stata affinata e tarata grazie ad una serie di carotaggi sulla pavimentazione stradale. I carotaggi hanno altresì permesso di determinare lo spessore del conglomerato bituminoso, mentre i campioni restano a disposizione per eventuali ulteriori prove sia tecniche che ambientali (ad esempio cessione del rifiuto).

Per maggiore dettaglio sulla prova FWD si rimanda alla relazione tecnica di analisi e commento della prova.

Le **opere principali** previste in progetto sono costituite da:

1. un deposito in prossimità del parcheggio scambiatore di Verona sud, con stalli di parcheggio, un'officina attrezzata per la manutenzione ed annessi uffici amministrativi e servizi per il personale, portineria e sottostazione elettrica;
2. sottopasso Via Città di Nimes, che collega i due sottopassi oggi esistenti e si compone di due corsie più una rampa di risalita per ogni senso di marcia.

Per il dimensionamento del deposito sulla base delle informazioni desunte dai sondaggi S01 – S e dalle stratigrafie di pozzi per acqua posti nelle immediate vicinanze, si farà

riferimento a depositi granulari ghiaioso sabbiosi che si spingono con continuità, sino a 30,00 m da p.c. A partire da questa profondità possono essere presenti intercalazioni argillose.

Il modello geologico – geotecnico è il seguente:

Alluvioni dell'Adige costituite da ghiaie poligeniche in matrice sabbiosa molto addensata.

- peso di volume γ (kN/m³) 18,5
- coesione $C' = 0$ kPa
- angolo di attrito $\Phi' = 34^\circ$
- modulo elastico $E = 40$ MPa
- densità relativa $D_r = 65-75\%$
- modulo di taglio $G = 130$ MPa
- categoria di suolo di fondazione: C
- falda alla profondità di 14 m da p.c.
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-1-a quindi di buona/ottima qualità.

Si escludono possibili fenomeni di consolidazione a lungo termine e di liquefazione dei terreni;

Prima della successiva progettazione esecutiva sarà necessario prevedere la realizzazione di uno specifico sondaggio al fine di verificare il modello geologico/geotecnico assunto in progetto e, mediante un'indagine sismica di superficie (con tecnica MASW o Remi) la categoria di suolo di fondazione.

Per la realizzazione del sottopasso di Via Città di Nimes la presenza di materiali sciolti impone l'utilizzo di diaframmi in c.a., spessore 1 m, caratterizzati da un'altezza fuori terra variabile che raggiunge al massimo i 7 m (**figura 8**). Dato che la nuova opera si trova interposta fra i due sottopassi esistenti, realizzati anch'essi con la medesima tecnica, alcuni diaframmi esistenti (interessati dall'abbassamento della livelletta) verranno stabilizzati mediante un ordine di tiranti posti a circa 1m dall'attuale piano stradale (**figura 9**). Per i diaframmi esistenti ubicati fra le rampe di uscita e la viabilità principale in sottopasso è prevista invece una parziale demolizione e la realizzazione di una nuova trave di coronamento ad una quota più bassa rispetto a quella esistente.

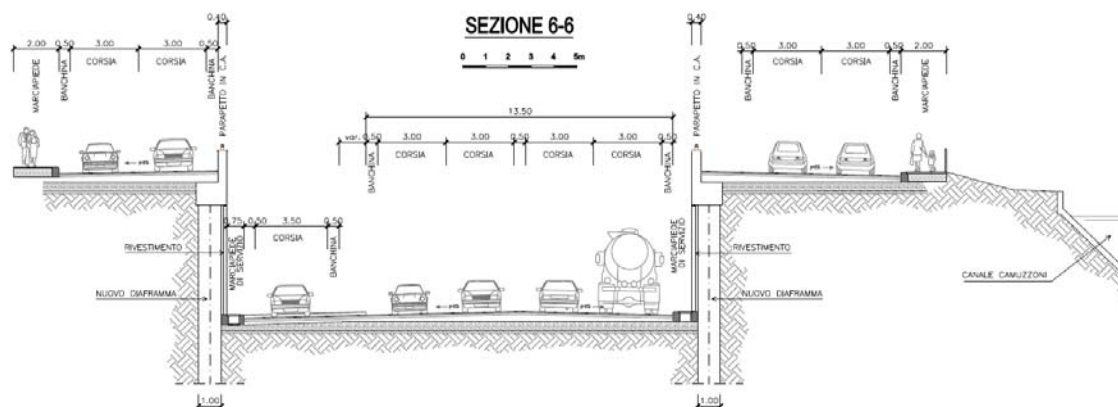


Figura 8. Sottopasso Via Città di Nimes. Nuovi diaframmi in c.a.

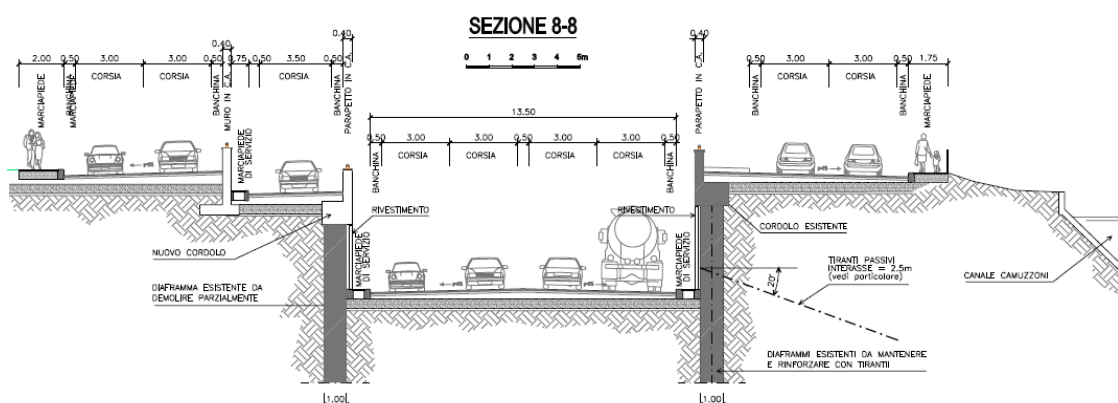


Figura 9. Sottopasso Via Città di Nimes. Stabilizzazione diaframmi esistenti mediante tiranti passivi.

A fianco dell'opera in progetto scorre il canale Camuzzoni. Il livello idrico staziona ad un metro dal bordo del canale, e le portate sono regolate da uno sbarramento a monte. L'acqua defluisce con buona velocità entro un alveo artificiale in muratura di pietrame cementato, localmente sconnesso per effetto dell'erosione. Non si possono quindi escludere infiltrazioni nel sottosuolo. Vista la buona permeabilità dei materiali esse in ogni caso non dovrebbero interferire con gli scavi in progetto.

Per il dimensionamento del sottopasso, sulla base delle informazioni desunte dal sondaggio SD1 specificamente eseguito e dei sondaggi S22 – S23 S/A24 – S/A25, si farà riferimento a materiale di riporto sino a 3,00 m poggiante su depositi granulari ghiaioso sabbiosi.

Il modello geologico – geotecnico di calcolo è il seguente:

Litotipo 1: Riporto ghiaioso sabbioso.

- peso di volume γ (kN/m³) 18,0
- coesione $C' = 0$ kPa

- angolo di attrito $\Phi' = 28 - 30^\circ$
- modulo elastico $E = 20 \text{ MPa}$
- densità relativa $D_r = 50\%$
- modulo di taglio $G = 100 \text{ MPa}$
- categoria di suolo di fondazione: C
- permeabilità del terreno: $K = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-1-a oppure A-1-b quindi di buona/ottima qualità.

Litotipo 2: Alluvioni dell'Adige costituite da ghiaie poligeniche con ciottoli in matrice sabbiosa molto addensata.

- peso di volume $\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)} 18,5$
- coesione $C' = 0 \text{ kPa}$
- angolo di attrito $\Phi' = 35 - 38^\circ$
- modulo elastico $E = 40 \text{ MPa}$
- densità relativa $D_r = 65-75\%$
- modulo di taglio $G = 130 \text{ MPa}$
- categoria di suolo di fondazione: C
- falda alla profondità di 14 m da p.c.
- permeabilità del terreno: $K = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-1-a quindi di buona/ottima qualità.

Anche in questo caso le caratteristiche del materiale permettono di escludere possibili fenomeni di consolidazione a lungo termine e di liquefazione dei terreni.

Per maggiori dettagli sull'argomento si rimanda alla specifica relazione di calcolo dei diaframmi allegata al progetto.

In vista della successiva fase progettuale si suggerisce l'esecuzione di un'indagine sismica (tipo MASW o ReMi) per la verifica della categoria di suolo di fondazione in osservanza di quanto previsto dalle NTC 2008, cap. 3.2.2.

Opere minori sono rappresentate da 11 sottostazioni elettriche, di cui una interrata e le altre fuori terra, oltre all'installazione dei pali per la linea di contatto aerea, per l'ottimizzazione architettonica e/o l'illuminazione.

La sottostazione interrata avrà murature portanti in calcestruzzo, mentre quelle fuori terra avranno una struttura a telaio composta da pilastri in calcestruzzo armato ed elementi prefabbricati di copertura. Sia per le sottostazioni che per i pali si potrà fare ricorso a fondazioni dirette.

Il modello geologico – geotecnico vede la presenza di prevalenti depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi dell'Adige, e solo localmente depositi alluvionali limoso sabbiosi argillosi delle alluvioni lessinee. La relativa distribuzione è riportata in carta geologica mentre i parametri sono i seguenti:

Alluvioni ghiaioso sabbiose dell'Adige

- peso di volume γ (kN/m³) 18,5;
- coesione $C' = 0$ kPa
- angolo di attrito $\Phi' = 32^\circ$
- modulo elastico $E = 30$ Mpa
- falda a profondità non inferiore a 10 m da p.c.
- categoria di suolo di fondazione: C
- permeabilità del terreno: $K = 1,1 \cdot 10^{-4}$ m/sec
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-1-a quindi di buona/ottima qualità.

Per il tratto di Via Pisano, Via Zeviani, Via Del Capitel, Via Della Corte e più in generale laddove in carta geologica sono riportate le alluvioni lessinee si farà cautelativamente riferimento a depositi limoso argillosi con i seguenti parametri di riferimento:

- peso di volume γ (kN/m³) 19,0
- limite di liquidità 55 – 75
- limite di plasticità 20 – 35
- indice di plasticità 25 – 40

- contenuto naturale d'acqua 27 – 30%
- coesione $C' = 15 \text{ kPa}$
- angolo di attrito $\Phi' = 25^\circ$
- modulo elastico $E = 10 \text{ Mpa}$
- falda a profondità non inferiore a 10 m da p.c.
- categoria di suolo di fondazione: C
- permeabilità del terreno: $K = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ m/sec}$
- tipologia terreno proveniente da scavi: A-7 oppure A-4, quindi di scadente qualità.

8 MOVIMENTI MATERIA E BILANCIO TERRE

La **tabella 8** seguente riepiloga i movimenti materie dell'intero lavoro.

Gli scavi derivano in massima parte dal sottopasso di Via Città di Nimes e dagli approfondimenti previsti al di sotto della pavimentazione esistente al fine di alloggiare il nuovo e più potente cassonetto stradale (stabilizzato – base – binde – usura) mantenendone inalterate le quote attuali. Quest'ultima quantità è inserita sotto la voce "demolizione sovrastruttura stradale".

Aliquote modeste provengono dalle opere minori, da lavori di demolizione di murature e dal vegetale ottenuto a seguito dei lavori di scotico in corrispondenza della nuova viabilità e del deposito di Verona sud.

Il volume necessario per i lavori è rappresentato da materiale arido da posizionare in corrispondenza di tratte dove è necessario realizzare alcuni rilevati stradali (ad esempio al parking San Michele) e dallo stabilizzato da porre al di sotto delle nuove pavimentazioni stradali.

MOVIMENTI MATERIA						
		CANALE STRADALE	SOTTOPASSO NIMES	OPERE MINORI (Verona Sud e Tombino)	DEPOSITO	TOTALI
SCAVO VEGETALE	m ³	2.210	0	0	5.350	7.560
SCAVO MATERIALE ARIDO	m ³	0	35.900	1.200	8.705	45.805
TOTALE SCAVI	m ³	2.210	35.900	1.200	14.055	53.365
MATERIALE ARIDO PER RILEVATI	m ³	6.300	0	0	0	6.300
VEGETALE PER COPERTURA SCARPATE	m ³	1.400	31	0	3.850	5.281
STABILIZZATO	m ³	22.500	2.200	0	6.420	31.120
TOTALE RIPORTI	m ³	30.200	2.231	0	10.270	42.701
DEMOLIZIONE MURATURA	m ³	2.000	0	0	9.000	11.000
DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA STRAD.	m ³	47.100	1.500	0	0	48.600
TOTALE DEMOLIZIONE	m ³	49.100	1.500	0	9.000	59.600
FRESATURA PAVIMENTAZIONE	m ³	18.000	1.100	0	0	19.100

Tabella 8. Filobus Verona. Tabella movimenti materia

Sulla base dei contenuti della tabella 8, in **tabella 9** si riporta il quadro finale del bilancio terre.

Il vegetale proveniente da scavi verrà usato per ricoprimento scarpate, nelle piazzole e più in generale per le opere a verde. Resta un esubero previsto in circa 2.279 mc.

Il materiale arido proveniente dai lavori, costituito da ghiaie e sabbie di ottima qualità (A1 della CNR UNI 10006) somma a complessivi 45.805 mc. Il bilancio terre è strutturato in maniera tale che questo volume non venga reimpiegato (vengono invece reimpiegati materiali meno "nobili"). Può quindi essere interamente recuperato in vista di un'immissione sul mercato.

I rilevati verranno interamente realizzati con materiale proveniente dalla demolizione, opportunamente e preventivamente lavorato e trasformato in siti opportuni ed autorizzati. Resta un esubero di 4.700 di materiale da demolizione che comunque rappresenta anch'esso un prodotto collocabile sul mercato.

Lo stabilizzato verrà ottenuto miscelando, sino all'ottenimento del fuso granulometrico di progetto, materiale proveniente dalla fresatura di pavimentazione e materiale arido proveniente dalla demolizione di sovrastruttura stradale. Resta un esubero di 28.940 mc di ghiaia e sabbia proveniente sempre dalla demolizione di sovrastruttura; un materiale classificabile ancora come A1 della CNR UNI 10006 che può essere appetibile sul mercato.

La fresatura pavimentazione verrà in parte riciclata per la produzione dei nuovi conglomerati bituminosi (40% del totale) mentre il rimanente, come sopra esposto, verrà destinato al confezionamento dello stabilizzato

BILANCIO TERRE					
		VOLUME NECESSARIO	VOLUME PROVENIENTE DAI LAVORI	MATERIALE IN ESUBERO	MATERIALE PROVENIENTE DA FORNITURA ESTERNA
TERRENO VEGETALE	m ³	5.281	7.560	2.279	0
RILEVATI	m ³	6.300	45.805	45.805	0
STABILIZZATO	m ³	31.120			0
DEMOLIZIONE MURATURA	m ³	0	11.000	4.700	0
DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA STRAD.	m ³	0	48.600	28.940	0
FRESATURA PAVIMENTAZIONE	m ³	0	19.100	0	0
(1) I rilevati sono eseguiti con materiale proveniente da demolizione di muratura					
(2) La fresatura pavimentazione per il 40% viene riciclata (7640 mc). Il rimanente(11.460 mc) viene impiegato nello stabilizzato					
(3) Lo stabilizzato viene realizzato con materiale proveniente da fresatura di pavimentazione esistente. La curva granulometrica viene corretta impiegando inerte proveniente da demolizione di sovrastruttura stradale					

Da quanto esposto ne consegue che per il lavoro in studio non è necessaria alcuna fornitura esterna di materiale. Al contrario si registra un esubero di terreni di qualità da ottima a buona, che potranno facilmente trovare una collocazione sul mercato.

Nell'ambito dei movimenti terra si prevede di portare tutto il materiale proveniente dai lavori, e non immediatamente reimpiegato/reimpiegabile sul posto, presso le strutture di proprietà delle ditte VIBERTO² ed ECO-DEM S.r.l.³ Situate entrambe a Verona sono poste nelle vicinanze dei lavori, così da minimizzare i trasporti, nonché i relativi costi e disagi.

² Via Bacilieri 6, Verona

³ Strada del Chiodo 50 frazione Alpo Comune di Villafranca (Vr).

Qui il prodotto verrà frantumato, trattato e lavorato per renderlo idoneo al riutilizzo. L'aliquota di materiale eccedente i fabbisogni verrà stoccata in attesa di commercializzazione. E' altresì possibile il semplice deposito di inerti non pericolosi.

Per quanto attiene la cava di prestito (seppur non prevista in base al bilancio terre) è possibile fare riferimento ancora a ECO-DEM o, in alternativa, a BIONDANI⁴, sempre in Verona. Biondani in particolare dispone anche di impianti per la produzione di conglomerati bituminosi dove, peraltro, è possibile riciclare il fresato proveniente dalla scarifica delle pavimentazioni esistenti.

⁴ Via Bacilieri 6 e Via Lugagnano 35, Verona

9 CONCLUSIONI

L'area in studio è ubicata in Comune di Verona ed in un contesto geologico relativamente semplice ed omogeneo, caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali fluviali e fluvioglaciali dell'antica conoide dell'Adige, prevalentemente ghiaiosi in matrice sabbiosa. Solo localmente (zona Borgo Venezia, Via Pisano, Via Zeviani, Via Del Capitel, Via Della Corte) la cartografia geologica segnala possibili depositi limoso argillosi imputabili ai corsi d'acqua provenienti dai Lessini (in questo caso il Progno di Valpantena) comunque alternati a ghiaie e sabbie.

Nel complesso non sussistono condizioni geologiche o geomorfologiche tali da determinare impedimenti o vincoli nella progettazione dell'opera.

Dal punto di vista idrogeologico ricade nell'Alta Pianura dove i depositi alluvionali, prevalentemente granulari, costituiscono un enorme serbatoio nel quale trova sede una falda freatica indifferenziata. In base agli elementi bibliografici consultati la direzione di deflusso della falda è da Nord-Ovest verso Sud-Est. In base ai rilievi piezometrici disponibili la falda si trova a profondità comprese fra oltre 15m e valori minimi di 8-9 m da p.c. Non è pertanto prevista alcuna interferenza fra lavori/opere e la falda stessa.

Dal punto di vista sismico alla città di Verona ed al suo hinterland viene attribuita una sismicità moderata inquadrabile, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 e delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/09/2005, in zona sismica 3.

Secondo le più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al Decreto del 14/1/2008, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n° 29 del 04/02/2008, le azioni sismiche debbono essere determinate in relazione al periodo di riferimento VR, che si ricava moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU, a sua volta funzione della classe d'uso come da tabella 2.4.II delle N.T. Nel caso in argomento, e considerando l'opera di importanza strategica, la **vita nominale "VN"** ai sensi del par. 2.4.1 delle sopracitate NTC risulta pari a 50 anni. La classe d'uso, ai sensi del par. 2.4.2, è la II.

Si assume quindi:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1 = 50 \text{ anni}$$

Con riferimento alla categoria di suolo di fondazione, di cui al capitolo 3.2.2 delle NTC, sulla base dei valori medi di N_{spt} ottenuti nel corso di alcuni sondaggi posti in corrispondenza e nelle vicinanze delle aree interessate dai lavori potrà essere assunta in questa fase la categoria C.

Per le condizioni topografiche con riferimento alle tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle N.T.C., considerando un territorio sostanzialmente pianeggiante, si assume una categoria T1.

Dal punto di vista geognostico la presente fase progettuale si è avvalsa di una ricerca bibliografica che ha permesso di riscontrare numerose informazioni utili per la presente fase progettuale, fra cui sondaggi geognostici con annesse prove in sito e di laboratorio, e stratigrafie di pozzi per acqua. Ad integrazione dei dati è stato effettuato un sondaggio geognostico in corrispondenza del previsto sottopasso di Via Città di Nimes.

Per lo studio delle pavimentazioni stradali è stata effettuata una specifica campagna incentrata sull'esecuzione di prove FWF (FallinG Weight Deflectometer) opportunamente tarata mediante campioni prelevati da carotaggi condotti sulle stesse pavimentazioni.

Le risultanze dei rilievi idrici sui piezometri confermano il modello idrogeologico desunto da informazioni bibliografiche. Le stratigrafie dei sondaggi confermano l'inquadramento geologico generale fornito dalla cartografia e dalla documentazione di base, mentre le risultanze delle prove SPT in sito e di prove di laboratorio su campioni indisturbati e rimaneggiati hanno consentito di definire la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni interessati dalle opere.

Il bilancio terre del lavoro è studiato in maniera tale da evitare il ricorso a forniture esterne e più specificamente a cave di prestito. Per i lavori vengono utilizzati materiali provenienti dagli scavi. Gli esuberanti sono rappresentati quasi interamente da materiale granulare ghiaioso sabbioso (classificazione UNI 10006: A1) di buona – ottima qualità facilmente collocabile sul mercato. Aliquote modeste saranno costituite da residui di demolizione e terreno vegetale, prodotti meno pregiati rispetto ai precedenti ma comunque anch'essi di interesse commerciale. I siti di stoccaggio dei materiali, di lavorazione, trasformazione e trattamento sono stati chiaramente individuati e si trovano nelle vicinanze dei lavori, minimizzando in tal modo disagi, costi e movimentazioni.

In vista delle fasi progettuali successive si consiglia l'esecuzione di una campagna integrativa incentrata su almeno un sondaggio a carotaggio continuo (o trincee mediante escavatore) ubicato in corrispondenza del deposito di Verona Sud, oltre ad indagini sismiche (con tecnica MASW – ReMI o altro) per la verifica della categoria di suolo di fondazione ai sensi del capitolo 3.2.2 delle Norme Tecniche per le costruzioni del 1/2008.

10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ANTONELLI R., BARBIERI G., DAL PRA' A., DE ZANCHE V., GRANDESSO P., MIETTO P., SEDEA R., ZANFERRARI A., *Carta geologica del Veneto in scala 1:250.000*, Regione del Veneto, Servizio Geologico d'Italia, Venezia 1997.

DE ZANCHE, SORBINI, SPAGNA. *Geologia del territorio del Comune di Verona*. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona (II° Serie). Sezione Scienze della Terra n° 1, 1977. Allegati: Carta geologica, carta di morfoconservazione ad indirizzo geotecnico, carta delle penalità geologiche ed idrogeologiche.

MINISTERO DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA, *Carta Geomorfologica della Pianura Padana alla scala 1:250.000*, a cura di AAVV, Firenze 1997.

PICCOLI G., *Rapporto tra gli allineamenti dei centri vulcanici paleogenici e le strutture tettoniche attuali nei Lessini*, boll. Soc. Geol. Ital., 84, pp. 141-157, 1 tav. f.t., Roma 1965.

SCHIAVON E., SPAGNA V., *Carta delle Unità Geomorfologiche in scala 1:250.00*, Regione del Veneto, Servizio Geologico d'Italia, Venezia 1990.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Foglio 49 Verona*, a cura di Bosellini A., Carraro F., Corsi M., De Vecchi G.P., Gatto G.O., Malaroda R., Sturani C., Ungano S., Zanettin B., Roma 1967.

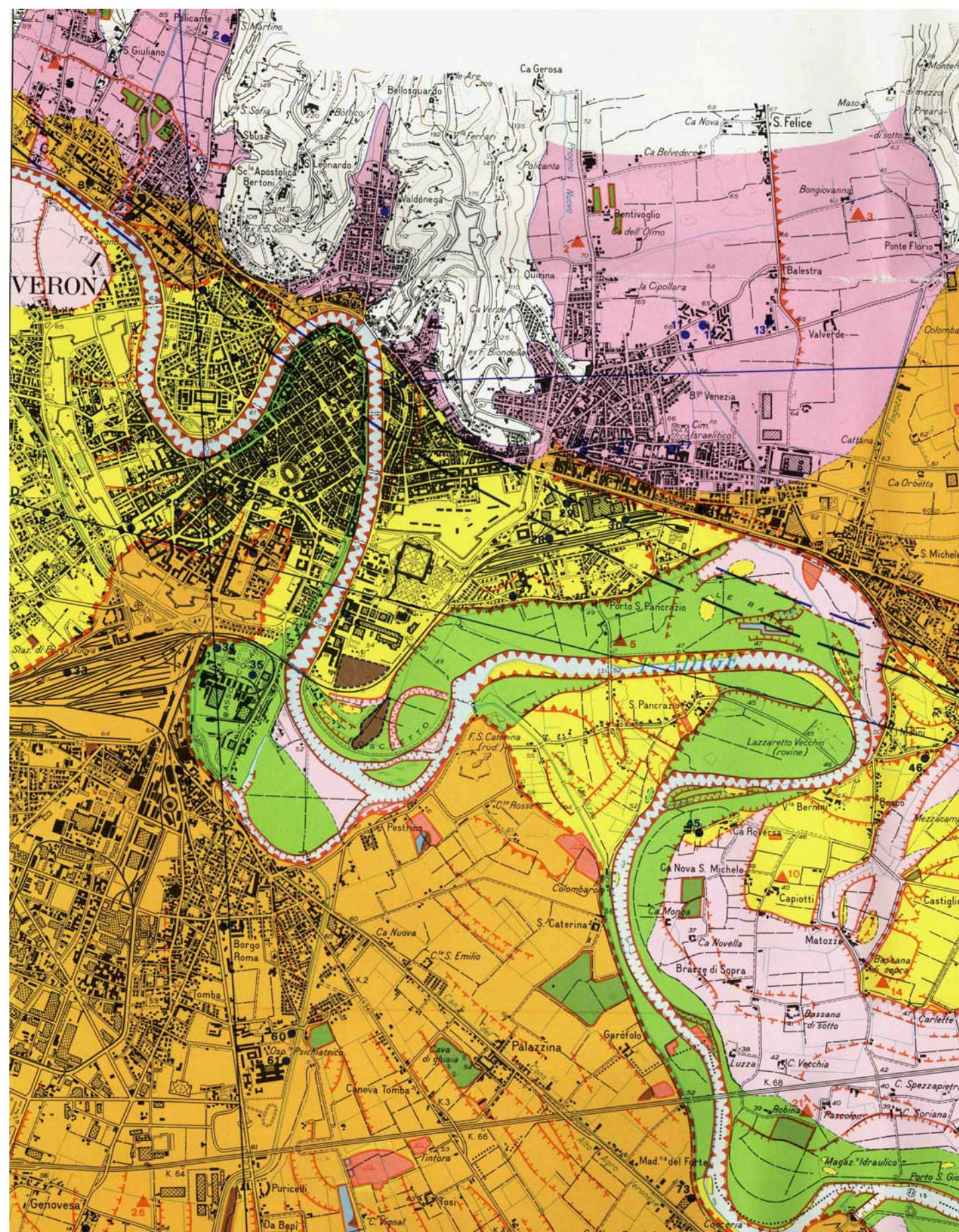
SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Foglio 48 Peschiera del Garda*, a cura di Carraro F., Malaroda R., Piccoli G., Sturani C., Venzo S., Napoli 1969.

SORBINI L. et alii, *Geologia e geomorfologia di una porzione della pianura a Sud-Est di Verona*, Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona (II serie) Sezione Scienze della Terra N. 2, Verona 1984. Allegati: carta geomorfologica e profili geologici.

SORBINI L. et alii, *Geologia idrogeologia e qualità dei principali acquiferi veronesi*. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona (II serie) Sezione Scienze della Terra N. 4, 1993.

VENZO S., *Rilevamento geologico dell'anfiteatro morenico frontale del Garda dal Chiese all'Adige*, in Memorie della Soc. Italiana di Scienze Naturali e del Museo civico di Storia Naturale di Milano, Vol XIV – Fasc.1, Milano 1965.

ALLEGATI



- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | Alluvioni prevalentemente ghiaiose appartenenti al Conoide dell'Adige |  | Alluvioni prevalentemente limose appartenenti al piano di divagazione dell'Adige |
|  | Alluvioni prevalentemente ghiaiose appartenenti al Piano di Divagazione dell'Adige |  | Orlo di terrazzo tra il conoide e il piano di divagazione dell'Adige. Maggiore di 3 m; minore di 3 m; poco evidente. |
|  | Alluvioni prevalentemente sabbiose |  | Orlo di terrazzo di altezza superiore a 3m |
| | |  | Orlo di terrazzo di altezza inferiore a 3m |

Allegato 1.

Stralcio della “Carta Geomorfologica di una porzione della pianura a Sud Est di Verona” in scala 1:25.000 (Sorbini et al. 1984)



Allegato 2.

Stralcio della Carta Geologica del Territorio del Comune di Verona” in scala 1:20.000 (De Zanche e Sorbini 1977).

In legenda i simboli corrispondenti sono:

Colore azzurro retinato orizzontale, simbolo (4): alluvioni di fondovalle (dei torrenti lessinei) limose (l) o ghiaioso ciottolose.

Colore verde chiaro, simbolo (6): alluvioni terrazzate fluvioglaciali e fluviali dell’antica conoide dell’Adige, ghiaiose e ciottolose (c), del Wurm (W).

Colore azzurro, simbolo (7): alluvioni terrazzate fluvioglaciali e fluviali dell’antica conoide dell’Adige, ghiaiose e ciottolose (c), del Riss (W).