

SOMMARIO

<i>1 PREMESSA E RIFERIMENTI LEGISLATIVI</i>	<i>2</i>
<i>2 ANALISI DEGLI ASPETTI GEOLOGICI DELL'AREA</i>	<i>5</i>
<i>2.1 Localizzazione geografica e Inquadramento geologico.....</i>	<i>5</i>
<i>2.2 Assetto geomorfologico e idrogeologico locale</i>	<i>8</i>
<i>2.3 Assetto litostratigrafico</i>	<i>8</i>
<i>2.3.1 Programma Indagini</i>	<i>8</i>
<i>2.3.2 Sondaggi e prove geotecniche in sito eseguite.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3.3 Prove di laboratorio</i>	<i>9</i>
<i>2.3.4 Modello geologico del terreno.....</i>	<i>10</i>
<i>3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....</i>	<i>11</i>
<i>3.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.....</i>	<i>11</i>
<i>3.2 Caratterizzazione geotecnica dei materiali da costruzione.....</i>	<i>12</i>
<i>4 VERIFICHE GEOTECNICHE</i>	<i>14</i>
<i>4.1 Calcolo dei cedimenti</i>	<i>14</i>
<i>4.2 Calcolo della capacità portante.....</i>	<i>15</i>
<i>4.3 Verifica di stabilità</i>	<i>16</i>
<i>5 CONCLUSIONI</i>	<i>17</i>

1 PREMESSA E RIFERIMENTI LEGISLATIVI

La presente relazione geologica e geotecnica, svolta in ossequio al disposto combinato D.M. 11/03/88-Circ. LL.PP. 24/09/88 n. 30483, alle “*Norme tecniche per le Costruzioni*” di cui al D.M. 14/01/08 e in ottemperanza a quanto stabilito dal “*Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni*” di cui al D.P.R. 554/00, fa parte integrante del progetto esecutivo “*Opere di completamento per la messa in sicurezza del nodo idraulico di Alessandria sul F. Tanaro*”.

Il progetto, come si evince dalla Tav. n. 1 “Corografia Interventi F. Tanaro” allegata al progetto, spostandoci da monte verso valle del corso d’acqua, prevede i seguenti interventi:

1. Adeguamento in quota dei muri arginali, sia in destra che in sinistra, subito a valle del P.te Cittadella;
2. Adeguamento in quota dell’argine denominato degli “Orti”, in destra idrografica, mediante ringrosso e nuovo raccordo con la tangenziale - tratto A -;
3. Ricalibratura, nella zona golenale antistante il quartiere degli Orti, dell’alveo inciso mediante scavo e allargamento della sezione idraulica;
4. Adeguamento in quota argine esistente in sinistra idrografica mediante ringrosso e muro a quota – tratto B -;
5. Chiusura sistema arginale in corrispondenza del Rio Loreto, ubicato in sinistra idrografica del Tanaro, mediante la realizzazione degli argini di rigurgito, con raccordo argine tratto B e contestuale realizzazione di una chiavica, la cui progettazione esecutiva è stata redatta dallo Studio Maione, allegata al progetto generale;
6. Adeguamento in quota argine esistente e nuovo raccordo con v.le Forlanini in sinistra idrografica – tratto C -;
7. Prolungamento del sistema arginale tratto C in sinistra Tanaro in fregio all’Autostrada A21, mediante la realizzazione di nuovo argine – tratto D -;
8. Realizzazione di n. 3 chiaviche in corrispondenza dell’argine esistente nel Varco 1 e adeguamento in quota mediante ringrosso dell’argine esistente nel Varco 2 con realizzazione di una nuova chiavica.

Per maggiori dettagli si rimanda ai rispettivi elaborati grafici.

Con la presente si intendono pertanto definire le condizioni litostratigrafiche, geomorfologiche, geoidrologiche e geotecniche dei luoghi su cui si svilupperanno gli interventi suddetti, in particolare:

1. si analizzeranno le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni che saranno utilizzati per i ringrossi e nuovi corpi arginali e degli strati di fondazione sui quali saranno realizzate le nuove strutture;
2. si calcoleranno i cedimenti, la capacità portante dei terreni di fondazione e la stabilità dei rilevati nella loro configurazione di progetto.

A tal fine, il quadro geologico-stratigrafico è stato ricostruito sulla base delle informazioni ricavate dalla campagna di indagini geognostiche realizzata per conto di AIPO dalla Ditta GEOTECNICA VENETA s.r.l. di Olmo di Martellago (VE), certificata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per prove di laboratorio sui terreni ed in sito (settori A e C) n. 54839 del 13/04/2006.

A completamento e verifica dei suddetti dati, sono state acquisite informazioni stratigrafiche dal sito dell'Arpa Piemonte e dallo stesso Studio che si occupa della progettazione della chiavica di rio Loreto, nonché si sono esaminate 1) la relazione geologica e geotecnica relativa al progetto esecutivo dei *“Lavori di realizzazione argine in corrispondenza del nuovo svincolo con la tangenziale di Alessandria”* del Comune di Alessandria (2003-2007), 2) la relazione geologica e geotecnica finale relativa al progetto esecutivo dei *“Lavori di adeguamento delle fondazioni del viadotto sul fiume Tanaro”* della S.A.T.A.P. S.p.a. (1999), 3) la relazione generale relativa al progetto esecutivo dei *“Lavori di sistemazione del nodo idraulico Tanaro-Bormida a difesa della città di Alessandria: tratto in destra e sinistra fiume Bormida dalla linea F.S. Torino-Genova al rilevato autostradale A21”* del Magistrato per il Po (1999), 4) l'All.2 *“Relazione Geologica, Idrogeologica e Geotecnica”* relativo a interventi estrattivi e di riqualificazione ambientale - cava di ghiaia e sabbia sotto falda loc.tà C.na Granara dello Studio Tecnico di Geoingegneria – Moncalieri (TO) (2006), 5) la relazione geologica e geotecnica relativa al progetto preliminare dei *“Lavori di completamento della variante in accesso ad Alessandria, in corrispondenza della ex S.S. n.10 – Padana Inferiore -, con realizzazione di nuovo ponte sul fiume Bormida”* della provincia di Alessandria (2004).

Per quanto riguarda le prove di laboratorio necessarie per la classificazione geotecnica delle terre da utilizzare per il rialzo e la progettazione dei nuovi argini e per la determinazione dei parametri meccanici dei terreni di fondazione, sono state eseguite apposite prove geotecniche di laboratorio dalla stessa Ditta GEOTECNICA VENETA s.r.l. con stesso disciplinare di affidamento (Rep. n. 90 del 17 giugno 2010 – sede AIPO di Alessandria).

Per quanto riguarda le prove in sito e di laboratorio si rimanda, per ogni esigenza di maggiore e specifico dettaglio, agli allegati fuori testo prodotti dalla Ditta GEOTECNICA VENETA s.r.l..

2 ANALISI DEGLI ASPETTI GEOLOGICI DELL'AREA

2.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA E INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area interessata dal presente progetto riguarda il tratto di fiume Tanaro in corrispondenza dell'abitato di Alessandria che si estende da monte verso valle dalla zona del rione Orti alla zona prospiciente l'abitato di Pavone (fig. 1).

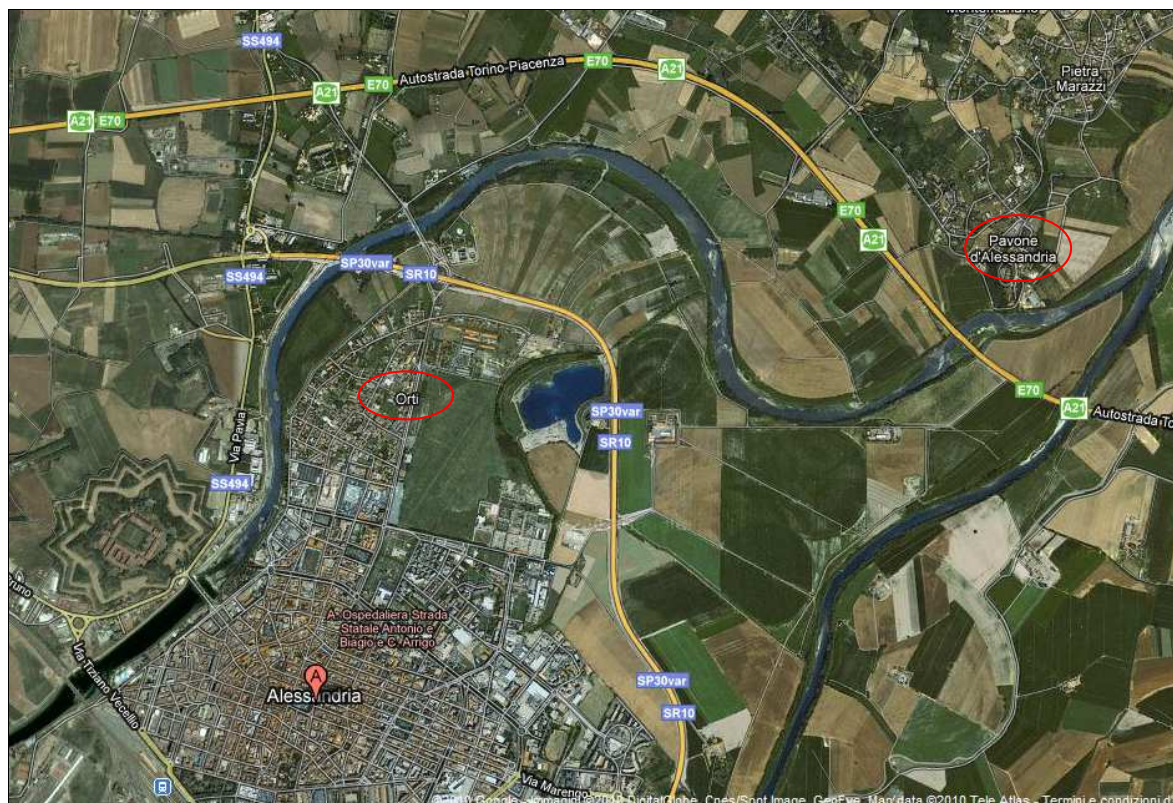


Fig. 1: Inquadramento dell'area di indagine. Immagine tratta da Google Maps.

Il rilievo di terreno e l'analisi della documentazione bibliografica esistente (Foglio 70 “Alessandria” della Carta Geologica d'Italia - scala 1:100.000) hanno consentito di accertare come il settore in esame, sia modellato interamente su formazioni superficiali continentali di età quaternaria, costituite da depositi alluvionali recenti ed attuali, medio-recenti ed antichi (tutte ascrivibili all'Olocene). Si tratta di depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, talora debolmente terrazzati con lenti sabbioso-argillose attribuibili all'azione morfogenetica dei fiumi Tanaro e Bormida e dei loro affluenti. In particolare nell'area, oggetto di più interventi progettuali, affiorano le seguenti formazioni dalla più antica alla

più recente (fig. 2):

a^{1f3} “alluvioni prevalentemente argillose della superficie della pianura a sud del Po, attribuibili in parte alle alluvioni postglaciali (a^{2-1}) in parte al fluviale recente (fl^3)”;

a^{2-1} “alluvioni postglaciali” costituite per lo più da ghiaie e sabbie non cementate;

a^3 “alluvioni attuali degli alvei attivi dei corsi d’acqua”. Si tratta di depositi molto eterogenei sia dal punto di vista granulometrico (sabbie, ciottoli e limi) che litologico in quanto derivano dall’erosione, trasporto e deposito del f. Tanaro.

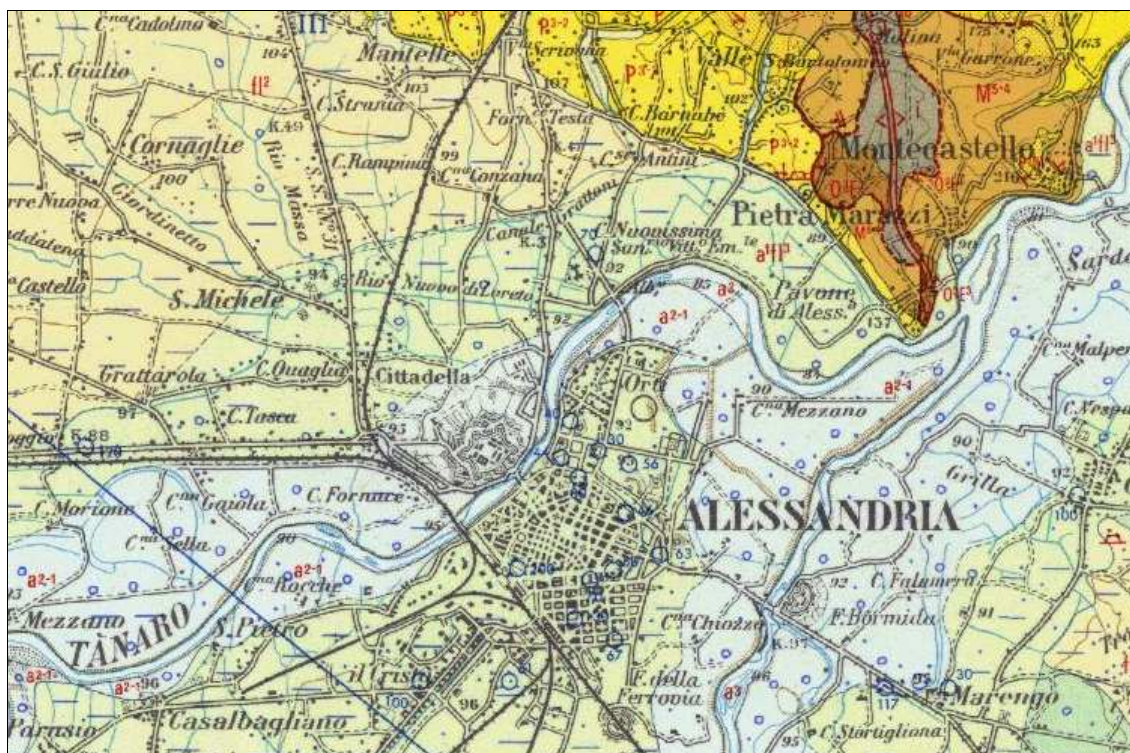


Fig. 2: Stralcio della Carta Geologica d’Italia – scala 1:100.000 – F. 70 “Alessandria”.

Anche la classificazione adottata dall’Arpa Piemonte – Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico – conferma la suddetta tipologia di terreni individuati nell’area oggetto degli interventi, suddividendo ulteriormente le formazioni, in funzione dei dati tematici raccolti presso i propri archivi e presso la provincia di Alessandria, nelle sottostanti 5 unità giacimentologiche (fig. 3):

Re c	Unità' giacimentologica - descrizione estesa	Unità' giacimentologica - descrizione sintetica
1	DEPOSITI ALLUVIONALI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI CON LENTI SABBIOSO-GHIAIOSE; LOESS ARGILLIFICATO; FERRETTO.	DEPOSITI ALLUVIONALI LIMOSO-

		ARGILLOSI
2	ALTERNANZE DI ALLUVIONI CIOTTOLOSE-GHIAIOSE RUGGINOSE E DI SABBIE GIALLASTRE PIU' O MENO ARGILLOSE TALORA CON LENTI DI ARGILLA, ARGILLE CAOLINICHE DA ALTERAZIONE.	ALLUVIONI CIOTTOLOSE-GHIAIOSE
3	ALLUVIONI GHIAIOSE TALORA SABBIOSE E LI MOSE, ANTICHE E TERRAZZATE.	ALLUVIONI GHIAIOSE SABBIOSE E LI MOSE
4	ALLUVIONI GHIAIOSE RECENTI ED ATTUALI DEGLI ALVEI FLUVIALI.	ALLUVIONI GHIAIOSE
5	ARGILLE SILTOSE CON INTERCALAZIONI SABBIOSE; MARNE ED ARGILLE CON SABBIE.	ARGILLE SILTOSE

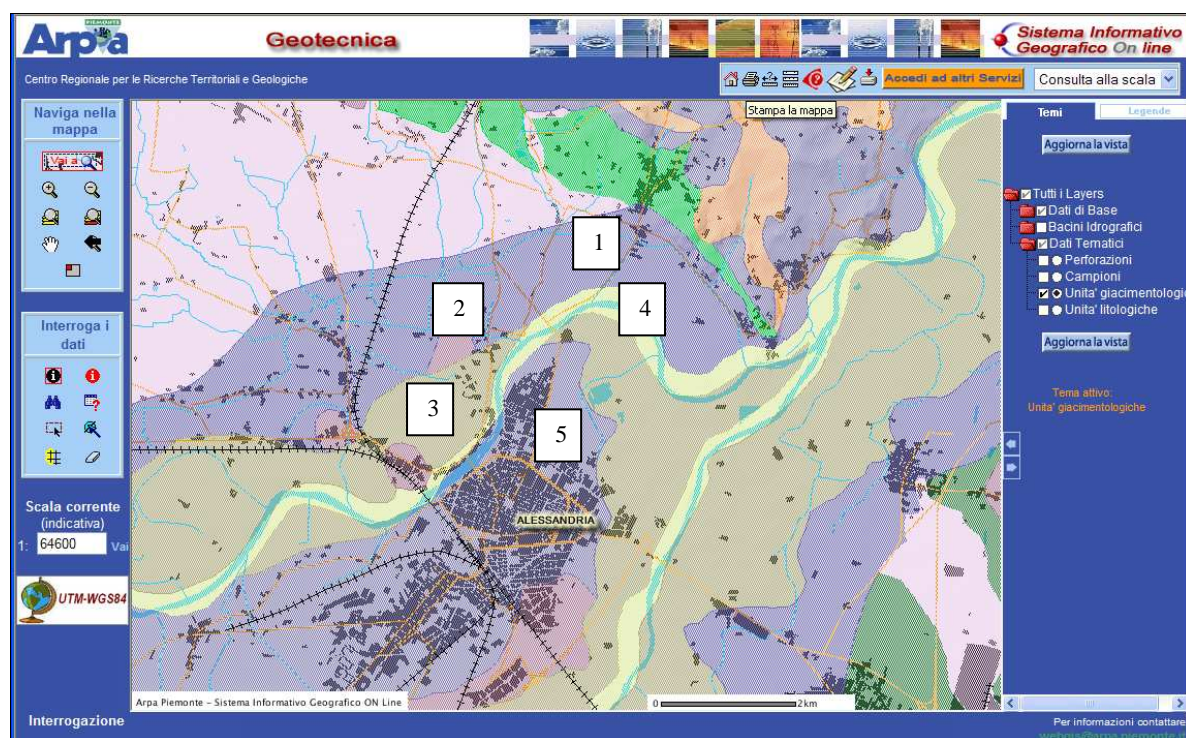


Fig. 3: Banca Dati Geologica – Arpa Piemonte.

2.2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO LOCALE

L'area in cui si inseriscono gli interventi in progetto è situata nella pianura alluvionale del f. Tanaro che attraversa la città di Alessandria con andamento SW-NE. Il fiume ha il tipico aspetto di alveo alluvionale a fondo mobile con tendenza generale all'erosione e rettificazione, funzione soprattutto delle variazioni del livello di base del sistema costituito dal fondo alveo del f. Po e del f. Bormida. L'alveo del f. Tanaro, in questo tratto di pianura, presenta una morfologia a canale singolo con tipico andamento variabile da meandriforme a sinuoso con isole e barre laterali sempre meno frequenti.

Dal punto di vista idrogeologico le risorse idriche sono sfruttate da una fitta rete di pozzi, la cui ubicazione è osservabile nella fig. 2 - Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, F. 70 "Alessandria". La falda idrica superficiale, generalmente di tipo libero, è impostata nelle alluvioni attuali e postglaciali del Quaternario superiore caratterizzate da sedimenti a granulometria mista (ghiaie medie, sabbie fini limose ed argillose) e a elevata permeabilità, in diretto collegamento con la rete idrografica principale. Localmente, la falda idrica superficiale risulta alimentata prevalentemente dalle acque di sub-alveo del Tanaro e in minor misura dalle acque di infiltrazione provenienti dai rilievi collinari (sponda sinistra del f. Tanaro) nonché dalla percolazione delle acque meteoriche attraverso il suolo agrario. Nell'area in studio, la situazione rilevata in occasione della campagna geognostica eseguita dalla Ditta Geotecnica Veneta, conferma quanto suddetto; il livello piezometrico è correlabile con il livello idrometrico del f. Tanaro.

2.3 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

2.3.1 PROGRAMMA INDAGINI

Per accertare le esatte condizioni litologiche dell'area in esame e caratterizzare i terreni d'imposta dei rilevati arginali in progetto e i materiali da costruzione, sulla base dei dati raccolti, è stata eseguita dalla Ditta "GEOTECNICA VENETA s.r.l." di Olmo di Martellago (VE), una specifica campagna di indagini geognostiche e prove di laboratorio.

La Ditta "GEOTECNICA VENETA s.r.l." di Olmo di Martellago (VE), ha operato in regime di certificazione Ministeriale e in conformità con le Specifiche Tecniche di Appalto.

2.3.2 SONDAGGI E PROVE GEOTECNICHE IN SITO ESEGUITE

Le attività di campagna sono state espletate nel mese di giugno 2010 e sono consistite nell'esecuzione di:

- n. 5 sondaggi a rotazione e carotaggi continuo spinti fino alla profondità di 30 m dal p.c., denominati Si (con i che va da 1 a 5);
- n. 6 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) che hanno raggiunto una profondità variabile dai 9,00 m (CPT1) ai 25,00 m (CPT3 e 4) dal p.c., denominati $CPTi$ (con i che va da 1 a 6);
- n. 20 prove Standard Penetration Test (SPT) eseguite negli strati incoerenti;
- n. 10 prelievi di campioni indisturbati negli strati coesivi mediante l'utilizzo di campionatori "Osterberg" e "Shelby";
- n. 10 sondaggi stratigrafici superficiali spinti fino alla profondità di 4 m dal p.c., denominati TRi (con i che va da 1 a 10);
- n. 20 prelievi di campioni rimaneggiati, due per ogni foro di sondaggio superficiale

Sia per l'ubicazione delle suddette prove in sito che per le stratigrafie ed i grafici con i risultati delle prove in sito si rimanda agli allegati fuori testo prodotti dalla Ditta GEOTECNICA VENETA s.r.l..

2.3.3 PROVE DI LABORATORIO

Le prove geotecniche di laboratorio sono state eseguite su tutti i campioni rimaneggiati, prelevati nella zona degli "Orti", e su tre significativi campioni indisturbati prelevati dal sondaggio S1, S2 e S3, al fine di caratterizzare il tipo di materiale da utilizzare per il ringrosso e la realizzazione dei nuovi rilevati e definire i principali parametri che caratterizzano il comportamento dei terreni interessati dalle nuove opere.

In particolare sono state eseguite le classiche prove di classificazione dei materiali secondo le Norme CNR-UNI 10006 (consistenti in determinazione della composizione granulometrica, del contenuto naturale d'acqua e dei limiti di Atterberg) e sono state eseguite prove atte a determinare i parametri che definiscono il criterio di rottura dei materiali in condizioni di breve e lungo termine, mediante prove di taglio diretto e triassiali non consolidate e non drenate (UU).

Per i risultati delle prove geotecniche ed i relativi certificati si rimanda agli allegati

fuori testo prodotti dalla Ditta GEOTECNICA VENETA s.r.l..

2.3.4 MODELLO GEOLOGICO DEL TERRENO

Una lettura attenta delle indagini eseguite permette di evidenziare una sequenza stratigrafia tipica dei depositi alluvionali, nonostante le variazioni laterali e le lenti di materiale a granulometria variabile siano molto frequenti e difficilmente schematizzabili. La sequenza litostratigrafia ricostruita per uno spessore massimo di 20 m (mediante l'utilizzo di S1, S2, S3 e CPT1 e CPT2, integrati con i dati relativi al sondaggio 1126, 1125 dell'ARPA Piemonte) partendo dall'alto risulta costituita:

R. terreni di riporto caratterizzati da materiale limoso argilloso grigio bruno con frammenti centimetrici di cotto, calcestruzzo e nylon mescolati a sabbia limosa-argillosa e ghiaia media ignea subarrotondata. Lo spessore di tale copertura arriva fino al valore massimo di 2,20 m.

A. depositi prevalentemente limosi argillosi con livelli centimetrici di sabbia fine limosa di colore nocciola e veli millimetrici di ghiaietto. Si tratta di depositi con grado di consistenza da compatta a molto compatta (valutato mediamente dai dati di campagna). Lo spessore di tale strato varia dai 2 m fino a circa 5,8 m. Tale deposito risulta assente nel foro di sondaggio S3.

B. depositi prevalentemente sabbiosi; si tratta di terreni prevalentemente sabbiosi a differente granulometria (fine – media – grossolana), talora limosi, talora con presenza di ghiaietto con l'aumentare della profondità, di colore nocciola. Si tratta di depositi che con l'aumentare della profondità passano da una consistenza media ad una consistenza densa. Lo spessore di tale strato varia dal metro (S2) fino ai 6 m (S1).

C. depositi prevalentemente ghiaiosi. Si tratta di terreni litologicamente costituiti da ghiaia eterometrica con presenza di clasti alterati, in matrice sabbiosa e presenza di livelli millimetrici di limi argillosi sabbiosi. Si tratta di depositi che passano con l'aumentare della profondità da molto densi a duri. Lo spessore di tale strato varia dai 5 m ai 13 m.

Oltre i 20 m di profondità sono spesso presenti orizzonti ed intercalazioni più propriamente limose e/o limose argillose, ad eccezione del foro di sondaggio S3 dove i depositi limoso argillosi compaiono già oltre gli 11 m di profondità. Si tratta di depositi il cui grado di consistenza passa da dura a compatta e/o molto compatta.

3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

3.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Per definire le caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta del rilevato arginale in progetto si fa esplicito riferimento all'interpolazione dei dati ricavati sia dalle prove dirette che indirette eseguite. Le informazioni geotecniche relative alla *formazione R* non sono state considerate in quanto si tratta di materiale che dovrà essere rimosso e pertanto di scarso interesse ai fini progettuali. Le informazioni geotecniche relative alle *formazioni B* e *C* sono desumibili dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT e dall'elaborazione mediante fogli elettronici dei dati di campagna delle prove penetrometriche statiche (CPT). In entrambe le formazioni si assiste ad un aumento di N con la profondità; si passa da valori di 16 a 32 N nella formazione B a valori di 101 a rifiuto nella formazione C. Sulla base delle usuali correlazioni (Terzaghi e Peck, Gibbs e Holtz, De Mello) è quindi possibile pervenire ad una stima dei parametri γ , ϕ' , D_r , c_u e M_O .

Si riporta in tabella una sintesi dei risultati geotecnica elaborati:

UNITA' LITOLOGICHE	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA
A. <u>depositi prevalentemente limosi argillosi</u>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coesione non drenata (c_u) = 50¹ kPa ▪ Peso specifico (γ) = 17 kN/m³ ▪ Modulo Edometrico (M_O) = 5² MPa
B. <u>depositi prevalentemente sabbiosi.</u>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Angolo di resistenza al taglio in termini di pressione effettiva (ϕ') = 28°³ ▪ D_r = 30% (in media)⁴ ▪ Peso specifico (γ) = 18 kN/m³ ▪ Modulo Edometrico (M_O) = 9⁵ MPa
C. <u>depositi prevalentemente ghiaiosi.</u>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Angolo di resistenza al taglio in termini di pressione effettiva (ϕ') = 34°⁶ ▪ Peso specifico (γ) = 20 kN/m³ ▪ Modulo Edometrico (M_O) = 20 MPa

¹ Il valore della coesione non drenata è stato ricavato seguendo le raccomandazioni AGI (1977); è il risultato di una media.

² Il valore del Modulo Edometrico è stato stimato utilizzando i dati delle prove CPT mediante la relazione di Mitchell e Gardner (1975) basandosi sui dati ottenuti da Snglerat et al. (1972).

³ Valore più cautelativo, mediato tra i valori di Meyerhof e ricavato dall'elaborazione delle prove CPT1 e CPT2 su foglio di calcolo realizzato per AIPO dall'Univ. di Ferrara, in quanto da valori di SPT risultava pari a 35°.

⁴ Il valore della densità relativa è stato calcolato in media dai dati CPT di campagna elaborati mediante foglio di calcolo realizzato dall'Univ. di Ferrara e di proprietà dell'AIPO.

⁵ Il valore del Modulo Edometrico è stato stimato utilizzando i dati delle prove CPT mediante la relazione di Lunne e Christophersen (1983).

⁶ Valore più cautelativo, mediato tra i valori di Meyerhof.

3.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Per la realizzazione dei nuovi rilevati, tratto D e Rio Loreto e per l'adeguamento in quota tratti arginali esistenti, indicati in corografia tratto A, B, C e varco 2 risulta necessario un volume di materiale paria a circa 92.000 m³.

Le esigenze progettuali di realizzare un intervento di *ricalibratura dell'alveo dal P.te Cittadella fino a valle del P.te "Forlanini-Orti"*, al fine di aumentare la sezione utile di deflusso tramite allargamento in sponda destra dell'alveo inciso mediante scavo a sezione composta in golenale antistante il quartiere degli Orti, hanno orientato i progettisti nel recuperare il suddetto volume dal materiale risultante dalle operazioni di scavo dell'area golenale oggetto di ricalibratura (Tav. 1 – Corografia Interventi F. Tanaro).

Per valutare le caratteristiche del materiale di scavo, secondo quanto richiesto dalle Norme tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto di AIPO, sono stati eseguiti nell'area golenale degli Orti, sempre dalla Ditta "Geotecnica Veneta", n° 10 sondaggi stratigrafici superficiali mediante trivella spinti fino alla profondità di 4 m dal piano campagna (fig. 4) e sono stati prelevati n° 20 campioni rimaneggiati a profondità variabile tra 0 – 0,50 m e tra 3,50 – 4,00 m dal piano campagna.

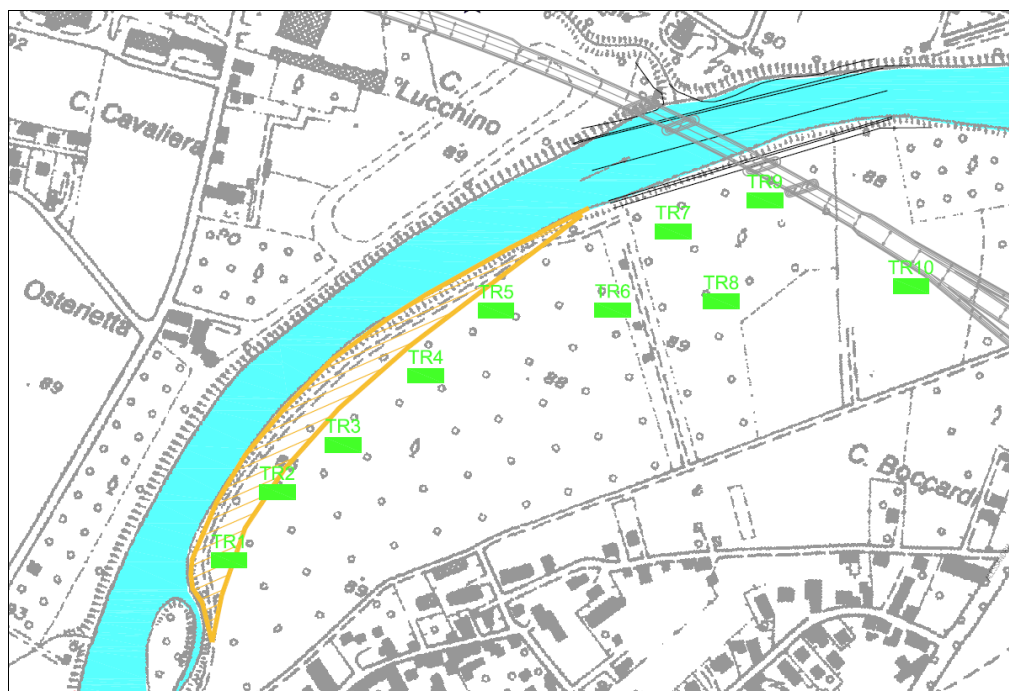


Fig. 4: ubicazione sondaggi superficiali zona golenale destra F. Tanaro rione Orti di Alessandria.

Su tutti i campioni prelevati sono state eseguite delle prove di classificazione in laboratorio, ai sensi della classificazione stradale H.R.B. – AASHTO/CNR-UNI 10006. Le esigenze progettuali hanno comunque orientato la scelta di utilizzare il materiale ricavabile dai primi cinque punti di sondaggio, in quanto ubicati all'interno e in prossimità dell'area di ricalibratura, così come riportato in fig. 4 – zona tratteggiata in giallo.

La classificazione geotecnica dei terreni si basa sulle seguenti prove di laboratorio.

GRANULOMETRIA

L'analisi delle curve granulometriche, ottenute su tutti i campioni prelevati dai primi cinque punti di sondaggio, in quanto ubicati all'interno dell'area di ricalibratura, ha evidenziato come la frazione sabbiosa è da considerarsi prevalente solo nei campioni B/TR2, B/TR4 e B/TR5 presentando valori variabili dal 37% al 78%, rispetto alla frazione fine, che presenta valori variabili dal 14% al 21% sul peso totale, mentre su tutti gli altri campioni la frazione fine è notevolmente prevalente, con valori variabili dal 68% al 43%.

CARATTERISTICHE PLASTICHE

Le caratteristiche plastiche dei terreni sono definite dai Limiti di Atterberg e costituiscono un elemento fondamentale nella valutazione del comportamento geotecnico dei materiali impiegati per la realizzazione dei rilevati. Viste le caratteristiche granulometriche dei campioni, si è riusciti a determinare i Limiti di Atterberg solo su quattro dei campioni prelevati nei n. 5 punti di sondaggio, che hanno presentato valori del Limite Liquido compresi tra il 24% e 37%, quindi minore del valore di 50% che rappresenta il limite tra i limi e le argille di bassa e alta plasticità. Anche i valori del Limite di Plasticità appaiono poco dispersi essendo compresi tra l'15% e il 24%.

Solo sul campione A/TR5 i limiti determinati hanno permesso di ascrivere il campione alla classe A6 (Argille poco compressibili).

CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Per la definizione dei vari tipi di terre si è fatto riferimento alla classificazione geotecnica dei terreni secondo la CNR – UNI 10006. In funzione della classificazione suddetta i campioni analizzati sono risultati appartenere ai seguenti materiali: **CLASSE A4** (limi poco compressibili). In quanto il passante al setaccio 0,075 mm è > del 35% e l'Indice di gruppo è ≠ dallo 0.

Nella tab. 1 si riporta una sintesi dei risultati delle prove di laboratorio eseguite.

COMMITTENTE: AIPO											CANTIERE: Fiume Tanaro (AL)										
PRATICA n°:		10/040		n° doc.: 10/040-Tab-1				rev. 0 del: 16/07/10				Valori interpretativi non determinati sperimentalmente									
Sond. n°	Camp. n°	Profondità: m	Ghiaia %	Sabbia %	Limo+Argilla %	Gs	γ_n kN/m ³	W _n %	W _L %	W _p %	I _p	Classificazione CNRUNI 10006		Cc	Cv m ² /s	U.U. Cu kPa	C.U. ϕ' °, c' kPa	C.D. ϕ' °, c' kPa	T.D. ϕ' °		
TR1	A	0.00 - 0.50	5	52	43			14.3			n.p.	A4									
	B	3.50 - 4.00	5	36	59			16.7	24	15	9	A4									
TR2	A	0.00 - 0.50		49	51			12.5			n.p.	A4									
	B	3.50 - 4.00	1	78	21			4.7			n.p.	A2 - 4									
TR4	A	0.00 - 0.50	1	37	62			12.5	28	16	12	A6									
	B	3.50 - 4.00	18	66	16			2.3			n.p.	A2 - 4									
TR5	A	0.00 - 0.50		32	68			14.1	37	24	13	A6									
	B	3.50 - 4.00	49	37	14			2.8	32	13	19	A2 - 4									
TR6	A	0.00 - 0.50		23	77			16.4	33	24	9	A2 - 4									
	B	3.50 - 4.00		43	57			7.8			n.p.	A4									
TR8	A	0.00 - 0.50		31	69			7.6	25	10	15	A6									
	B	3.80 - 4.00		50	50			13.4			n.p.	A4									
TR10	A	0.00 - 0.50		26	74			9.6	32	19	13	A6									
	B	3.50 - 4.00		54	45			11.7			n.p.	A4									
Sperimentatore											Direttore del Laboratorio										
Dott. Geol. Marco Zabao											Dott. Geol. Diego Mortillaro										

Tab. 1: tabella riassuntiva prove di classificazione geotecnica delle terre.

Per ogni esigenza di maggiore e specifico dettaglio relativamente ai certificati prodotti in laboratorio si rimanda agli allegati fuori testo prodotti dalla Ditta GEOTECNICA VENETA s.r.l. .

4 VERIFICHE GEOTECNICHE

4.1 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Il calcolo dei cedimenti prevedibili indotti dai rilevati arginali sui terreni di fondazione viene effettuato sulla base delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione così come richiamato al punto C.4.3. del D.M. 11/03/88 “...la previsione dei cedimenti sarà basata su calcoli svolti con i procedimenti e con i metodi della geotecnica tenuto conto delle caratteristiche meccaniche dei terreni...”.

Si ricorda che nel caso di terreni a grana media o grossa, come quelli del caso in

esame, i parametri che caratterizzano la deformabilità del terreno possono essere valutati sulla base dei risultati delle indagini in sito.

Per stimare i cedimenti è stato utilizzata il metodo di Schmertmann.

I cedimenti immediati sono risultati trascurabili mentre i cedimenti nel tempo sono stati stimati dell'ordine di grandezza dei centimetri.

4.2 CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE

La realizzazione dei nuovi rilevati arginali comporta l'applicazione sul terreno di fondazione di un carico, riconducibile al peso del manufatto stesso. La tensione verticale applicata al terreno di fondazione può essere stimata assumendo per il materiale che forma il rilevato un peso di volume (γ) pari a circa 17 kN/m³. Occorre pertanto verificare se l'entità del carico trasmesso sia compatibile con le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione e garantire un adeguato margine di sicurezza nei confronti della capacità portante limite a rottura del terreno.

Per determinare la capacità portante ammissibile dei terreni di fondazione è stata presa in considerazione la formula di Brinch Hanse (1970) semplificata:

$$Q_{lim} = \frac{1}{2} * \gamma_1 * B * N_\gamma * S_\gamma + \gamma_2 * D * N_q * S_q$$

con:

Q_{lim} = Capacità portante limite o carico ultimo

γ_1 = Peso specifico del terreno al di sotto della quota di imposta della fondazione = 1,8 t/m³

γ_2 = Peso specifico del terreno al di sopra della quota di imposta della fondazione = 1,7 t/m³

B = valore unitario = 1

N_γ e N_q = coefficienti di capacità portante in funzione dell'angolo di attrito ϕ , cautelativamente assunto pari a 28°, quindi $N_\gamma = 15$ e $N_q = 16$ ⁷

S_γ e S_q = fattori di forma della fondazione pari a 1

D = profondità di immorsamento del piano di posa della fondazione pari a 0,50 m.

$$Q_{lim} = \frac{1}{2} * 1.8 * 1 * 15 * 1 + 1.7 * 0.5 * 16 * 1 = 2.71 \text{ kg/cm}^2$$

Il carico gravante σ sul terreno di fondazione del rilevato arginale, avente sezione

⁷ Valori mediati secondo Terzaghi (tab. 9.1 – pag. 159 di Elementi di geotecnica di Colombo e Colleselli).

trapezoidale con base al piede media $b = 12$ m, con base fissa in sommità $a = 5$ m e altezza media $h = 2$ m, verificato sul peso massimo della colonna di terreno (γ) pari a 1700 kg/cm^2 , e del sovraccarico (P_s) eventuale pari a 2000 kg che si diffonde sulla sommità arginale risulta pari a:

$$\sigma = \{ \gamma * [(b + a) * h / 2] + P_s * a \} / b * a * P_s$$

e quindi uguale a

$$\sigma = \{ 1700 * [(12 + 5) * 2 / 2] + 2000 * 5 \} / 12 * 5 * 2000 = \mathbf{0.353 \text{ kg/cm}^2}$$

Per la determinazione del valore della capacità portante ammissibile Q_{amm} si deve applicare alla capacità portante limite o carico ammissibile Q_{lim} un coefficiente di sicurezza pari a 3. Da tale applicazione risulta che:

$$Q_{amm} = Q_{lim}/3 = 2.71/3 = \mathbf{0.90 \text{ kg/cm}^2}$$

e per la verifica si dovrà avere $Q_{amm} \geq \sigma$ consegue $\mathbf{0.90 \text{ kg/cm}^2 \geq 0.353 \text{ kg/cm}^2}$

4.3 VERIFICA DI STABILITÀ

Il calcolo della verifica di stabilità è stata eseguita considerando delle condizioni più svantaggiose: terreno limoso argilloso avente $c' = 50 \text{ kg/m}^2$, $\phi' = 34^\circ$ e $\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$.

E' stato eseguito il calcolo considerando il metodo di Felleniuns, trascurando l'effetto delle azioni tra i conci. Ipotizzando diverse superfici di scorrimento, quella più sfavorevole (vedi tabelle allegate), cioè quella per cui il coefficiente di sicurezza η è minore è risultata pari a 1.68 e quindi maggiore rispetto al fattore di sicurezza $F = 1.3$ minimo prescritto dalla normativa italiana.

5 CONCLUSIONI

Per quanto riguarda l'assetto litologico dell'area in esame sono state individuate a partire dal p.c. tre distinte Unità Litologiche:

UNITA' LITOLOGICHE	DESCRIZIONE
A. <u>depositi prevalentemente limosi argillosi</u>	Si tratta di terreni coesivi compatto, con presenza di livelli centimetrici di sabbia fine limosa di colore nocciola e veli millimetrici di ghiaietto.
B. <u>depositi prevalentemente sabbiosi.</u>	Si tratta di terreni prevalentemente sabbiosi a granulometria eterometrica, talora limosi talora con presenza di ghiaietto con l'aumentare della profondità. Sono terreni caratterizzati da un colore nocciola e con l'aumentare della profondità aumentano di consistenza.
C. <u>depositi prevalentemente ghiaiosi.</u>	Si tratta di terreni litologicamente costituiti da ghiaia eterometrica con presenza di clasti alterati e presenza di livelli millimetrici di limi argillosi sabbiosi, posti in matrice sabbiosa. Sono terreni molto densi.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico nell'area oggetto di studio la falda idrica superficiale è generalmente di tipo libero ed è alimentata prevalentemente dalle acque di sub-alveo del Tanaro. La situazione rilevata in occasione della campagna geognostica eseguita dalla Ditta Geotecnica Veneta indica che il livello piezometrico della falda è correlabile con il livello idrometrico del f. Tanaro, ed è impostata nello strato di sabbie e ghiaie localmente limose

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche, i terreni di imposta dei rilevati arginali sono caratterizzati dai seguenti parametri:

UNITA' LITOLOGICHE	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA
A. <u>depositi prevalentemente limosi argillosi</u>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coesione non drenata (c_u) = 50⁸ kPa ▪ Peso specifico (γ) = 17 kN/m³ ▪ Modulo Edometrico (M_O) = 5⁹ MPa
B. <u>depositi prevalentemente sabbiosi.</u>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Angolo di resistenza al taglio in termini di pressione effettiva (ϕ') = 28°¹⁰

⁸ Il valore della coesione non drenata è stato ricavato seguendo le raccomandazioni AGI (1977); è il risultato di una media.

⁹ Il valore del Modulo Edometrico è stato stimato utilizzando i dati delle prove CPT mediante la relazione di Mitchell e Gardner (1975) basandosi sui dati ottenuti da Snigler et al. (1972).

¹⁰ Valore più cautelativo, mediato tra i valori di Meyerhof e ricavato dall'elaborazione delle prove CPT1 e CPT2 su foglio di calcolo realizzato per AIPO dall'Univ. di Ferrara, in quanto da valori di SPT risultava pari a 35°.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ $D_r = 30\%$ (in media)¹¹ ▪ Peso specifico (γ) = 18 kN/m³ ▪ Modulo Edometrico (M_O) = 9¹² MPa
C. <u>depositi prevalentemente ghiaiosi.</u>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Angolo di resistenza al taglio in termini di pressione effettiva (ϕ') = 34°¹³ ▪ Peso specifico (γ) = 20 kN/m³ ▪ Modulo Edometrico (M_O) = 20 MPa

Per quanto riguarda la determinazione della qualità delle terre da utilizzare per il ringrosso e la realizzazione dei nuovi rilevati arginali in progetto, emerge quanto segue:

- i risultati delle indagini di tipo diretto, in particolare facendo riferimento ai primi 5 punti di indagine (ubicati proprio all'interno dell'area oggetto di ricalibratura), hanno evidenziato la coerenza con quanto previsto dalla carta geologica d'Italia, ossia la presenza di una potente successione di depositi alluvionali prevalentemente limoso-sabbiosi la cui frazione incoerente tende ad aumentare con la profondità.
- i risultati delle prove di laboratorio hanno confermato la successione stratigrafica suddetta, in particolare, sulla base delle analisi eseguite (composizione granulometrica, contenuto naturale d'acqua e limiti di Atterberg), i campioni prelevati nei primi cinque fori di sondaggio sono risultati appartenere **secondo le norme CNR-UNI 10006** al **Gruppo A4** (*limi poco compressibili*) e al **Gruppo A6** (*argille poco compressibili*) ad eccezione dei campioni B dei sondaggi TR2, TR4 e TR5 ascrivibili al Gruppo **A2-4** (*sabbia limosa o argillosa*).

Si fa presente inoltre che:

- l'appartenenza al gruppo **A2-4**, in cui la frazione fine non supera il 35%, secondo le Norme CNR-UNI 10006, dei campioni B di TR2, TR4 e TR5, prelevati nell'area di ricalibratura "Orti", trova riscontro dal fatto che sono stati prelevati, rispetto agli altri campioni della stessa area, a profondità maggiore (3,50 m dal p.c.). Pertanto, nell'area golenale "Orti", tale profondità può essere

¹¹ Il valore della densità relativa è stato calcolato in media dai dati CPT di campagna elaborati mediante foglio di calcolo realizzato dall'Univ. di Ferrara e di proprietà dell'AIPO.

¹² Il valore del Modulo Edometrico è stato stimato utilizzando i dati delle prove CPT mediante la relazione di Lunne e Christophersen (1983).

eventualmente un'indicazione per la definizione del limite dell'altezza di scavo per l'utilizzo del materiale.

- i campioni classificati come **A4** e **A6**, sono stati prelevati superficialmente (tra 0 e 0,50 m dal p.c); i primi presentano un valore di contenuto in sabbia variabile tra il 32% e il 52% (al limite della A2-4) i secondi un contenuto superiore al 15%. Pur essendo i primi al limite della propria classe di appartenenza, risultano assieme ai secondi idonei secondo quanto previsto dalle norme tecniche di costruzione del capitolato speciale d'appalto dell'AIPO.
- in fase esecutiva il prelievo dei suddetti materiali comporterà sicuramente un miscelamento delle diverse tipologie, pertanto si segnala di tenere conto degli eventuali effetti di tale circostanza (possibile aumento del contenuto in sabbia a discapito del fine) ed eventualmente di prevedere delle protezioni del paramento verso fiume al fine di garantire la sicurezza nei riguardi della filtrazione.
- alla luce delle prove in sito e di laboratorio effettuate, secondo i disposti del D.M. 11/03/88 “ ... *i materiali costituenti i manufatti devono essere posti in opera a strati e costipati per ottenere caratteristiche fisico-meccaniche in accordo con i requisiti progettuali ...*”, si segnala di procedere in fase esecutiva alla compattazione dei medesimi tramite rulli dentati. Si ricorda inoltre che, qualunque sia il tipo di attrezzatura impiegato per costipare il materiale, il costipamento deve essere eseguito sul materiale disteso a strati successivi di spessore variabile tra i 20-50 cm; ogni strato verrà adeguatamente costipato prima di passare alla messa in posto del successivo, al fine di raggiungere il range di densità previsto dalle norme tecniche di costruzione del capitolato speciale d'appalto dell'AIPO.
- in fase esecutiva dovranno essere eseguite specifiche prove di laboratorio (Prova Proctor Standard) e in sito (controllo del peso di volume in cantiere) per verificare che il materiale posato in opera risponda a quanto previsto dal capitolato.

¹³ Valore più cautelativo, mediato tra i valori di Meyerhof.

Per quanto riguarda le interazioni manufatto-terreno di fondazioni le verifiche geotecniche effettuate hanno evidenziato che:

l'entità del carico trasmesso al terreno di fondazione è compatibile con le caratteristiche meccaniche del terreno stesso: $Q_{amm} \geq \sigma \rightarrow 0.90 \text{ kg/cm}^2 \geq 0.353 \text{ kg/cm}^2$;

i cedimenti immediati stimati sono trascurabili e nel tempo sono dell'ordine di grandezza dei centimetri;

dalle verifiche di stabilità è emerso che la superficie di scorrimento più critica risulta maggiore rispetto al fattore di sicurezza minimo prescritto dalla normativa italiana.

Parma, lì

Dott. Geol. Annamaria Belardi