



dott. Paolo Bianco - Geologo (3356700428)
dott. Roberto Furlan - Geologo (3493728956)
piazza Statuto,7 - 15033 Casale Monferrato (AL)
www.studiogeologiageo3.it info@studiogeologiageo3.it

<i>Regione Piemonte</i>	<i>Provincia di Alessandria</i>
<i>Comune di CASALE MONFERRATO</i>	

**INDAGINE GEOLOGICO, IDROGEOLOGICA E
GEOTECNICA RELATIVA AL PROGETTO DI
MANUTENZIONE E RISTRUTTURAZIONE DI UNA
TRATTA DELLA SEZIONE IDRAULICA DEL CANALE
"LANZA"**

D.M. 14/01/2008

Committente	<i>Ing. Paolo Demagistris</i>
Data	<i>CASALE MONFERRATO, 18.07.2017</i>

<i>TECNICI INCARICATI</i>	
<i>Dott. Geol. Paolo Bianco</i>	<i>Dott. Geol. Roberto Furlan</i>

SOMMARIO

1. PREMESSA

pag 01

2. MODELLO GEOLOGICO

2.1 ASSETTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

pag 02

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

pag 04

2.2.1 Inquadramento geologico di dettaglio

pag 06

2.3 ASSETTO IDROGEOLOGICO GENERALE

pag 08

2.3.1 Assetto idrogeologico di dettaglio

pag 09

2.3.2 Idrologia locale

pag 10

2.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE REALIZZATE IN SITU

pag 11

2.4.1 Procedure utilizzate nel corso delle prove penetrometriche dinamiche

pag 12

2.4.2 Caratteristiche tecniche dell'attrezzatura utilizzata

pag 13

2.4.3 Analisi ed interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche

pag 13

3. MODELLO GEOFISICO

3.1 METODOLOGIA

pag 14

3.2 SEZIONI GEOELETTRICHE 2D

pag 15

3.2.1 Descrizione attrezzatura utilizzata

pag 15

3.2.2 Descrizione dispositivo elettrodico

pag 16

3.3 DESCRIZIONE DELLE TAVOLE ALLEGATE

pag 17

4. **MODELLO GEOTECNICO**

4.1. PARAMETRI GEOTECNICI

pag 18

4.1.1 *Calcolo modello geotecnico del sottosuolo per fondazioni superficiali*

pag 20

4.2 PARAMETRI SISMICI

pag 21

4.2.1 *Determinazione della categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione*

pag 24

4.2.2 *Calcolo degli stati limite sismici probabilistici*

pag 25

4.2.3 *Valutazione della suscettibilità ai fenomeni di liquefazione dei depositi presenti nel sottosuolo dell'area oggetto d'intervento*

pag 30

5. **CONCLUSIONI**

pag 30

ALLEGATI:

- SEZIONE GEOELETTRICA 2D N°1
- SEZIONE GEOELETTRICA 2D N°2
- CERTIFICATO DI TARATURA STRUMENTALE
- ISTOGRAMMA PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SP1 SP2 SP3 (PPD DL030)
- REPORT DI CALCOLO PARAMETRI GEOTECNICI DEL SOTTOSUOLO
- TABELLA DI SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DEL SOTTOSUOLO FONDAZIONI SUPERFICIALI

1. PREMESSA

La presente relazione geologico-geotecnica e idrogeologica viene redatta in ottemperanza alle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", approvate con *D.M. 14 gennaio 2008 alla Circ. Min. Infrastrutture 02/02/2009 n.617 ed alla D.G.R. n.11-13058 del 19/01/2010 – Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n.3274/2003 e O.P.C.M. n.3519/2006)*, si propone di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente il sito e fornire, i dati e i parametri necessari per la progettazione della manutenzione ristrutturazione di una tratta della sezione idraulica del canale "Lanza", sita in Strada alla Diga, nel territorio comunale di Casale Monferrato (AL).

Il canale alimentato dalle acque del fiume Po mediante un sistema di chiuse e di una diga, costruita nel 1847, viene utilizzato a servizio dell'irrigazione per le colture agricole.



Al fine di valutare le caratteristiche del deposito litologico è stato svolto un rilievo geomorfologico, geologico ed idrogeologico del contorno significativo ed una successiva contestualizzazione antropica, per definire i possibili interventi tecnici. Per l'indagine ci si è avvalsi dell'esecuzione di tre prove penetrometriche dinamiche DL030 e della realizzazione di due stendimenti geoelettrici multipolari. E' stato quindi valutato il locale andamento dell'idrografia superficiale e la eventuale presenza di una falda acquifera freatica nei pressi dell'area.

L'indagine geotecnica e geofisica è finalizzata alla verifica della compatibilità dell'intervento con l'assetto geologico ed idrogeologico dell'area. In particolare è rivolta all'analisi dei litotipi presenti nel sottosuolo ed al loro comportamento in relazione alle sollecitazioni indotte dalle opere in progetto.

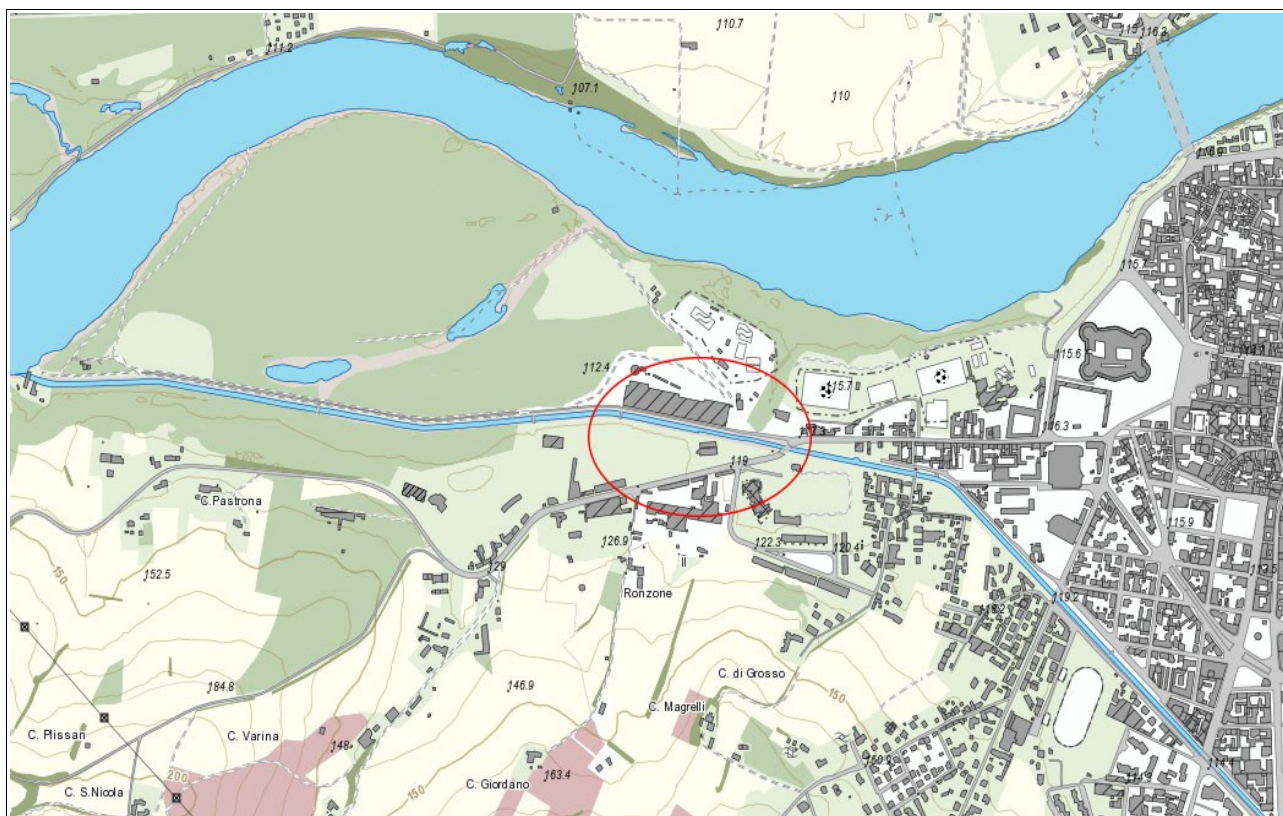
Tale studio geologico, geotecnico e idrogeologico integrerà il lavoro dell'Ing. Paolo Demagistris con studio in Casale Monferrato.

Il progetto di ristrutturazione prevede la realizzazione per una tratta di lunghezza nota pari a circa 395,00m a partire dal ponte di via XX Settembre sino ad una soglia in c.a. in direzione della diga del fiume Po.(c.f.r. Sezioni e Pianta):

- fondo alveo canale artificiale in c.a.;
- sponde alveo canale artificiale in c.a.

2. MODELLO GEOLOGICO

2.1 ASSETTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

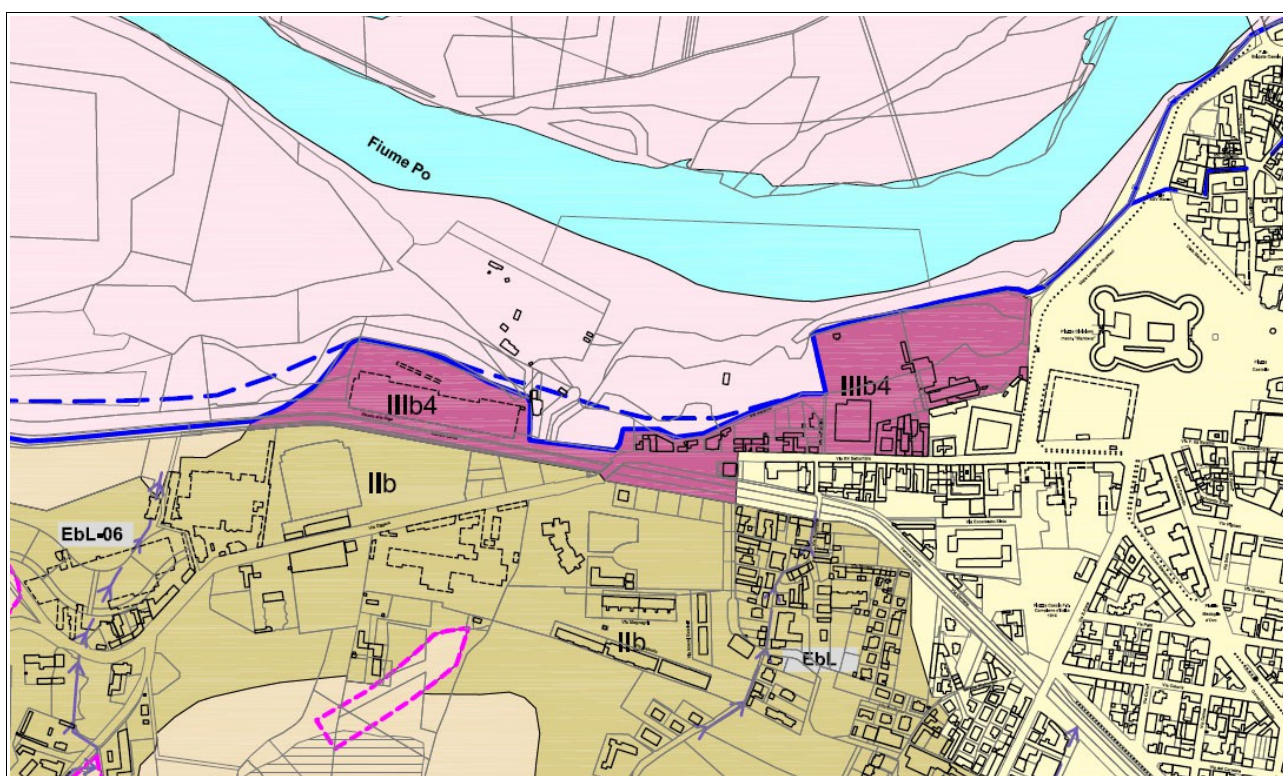


Stralcio C.T.R. (geoportale Regione Piemonte)

Il territorio oggetto d'indagine occupa un settore di pianura con una morfologia livellata, caratterizzata da modesti terrazzamenti, spesso antropici, che corrispondono al più recente ordine dei terrazzi fluviali: questi sono caratterizzati da depositi limosi,

sabbiosi e ghiaiosi recenti, la cui genesi è attribuibile ai processi di dinamica fluviale ed alla normale attività deposizionale del fiume Po nel corso del Quaternario. In particolare l'area risulta di transizione con il margine collinare, rappresentato da alture poco elevate e morfologie particolarmente arrotondate, posto alla destra idrografica del fiume Po e noto in letteratura come "Monferrato".

Le modeste ondulazioni del territorio risultano in gran parte mascherate dall'utilizzo agricolo e dalla sua recente antropizzazione. Il territorio oggetto d'indagine si colloca ad una quota di circa 112,00 metri sul livello del mare medio; in particolare appena al di fuori del nucleo principale della città di Casale Monferrato all'interno dell'area golenare del fiume Po.



Stralcio Tavola di sintesi P.R.G.C.

L'opera di riassetto territoriale in progetto prevede il rifacimento delle sponde e del fondo dell'alveo artificiale del canale "Lanza", senza risagomature, lungo una tratta di circa 395,00 m. Allo stato attuale il canale risulta in stato di carente manutenzione dovuta alla vetustà del manufatto; infatti sia le sponde che il fondo risultano irregolari e con evidenti disomogeneità nella forma e nella pendenza (sponde). Mediante tale opera si intende regolarizzare l'alveo artificiale eliminando anche problemi di sifonamento attualmente presenti. È stato inoltre rilevata l'assenza, nell'intorno significativo, di segni di movimenti gravitativi in atto. Si esclude inoltre, la presenza nelle sezioni indagate di gallerie e/o cavità sotterranee derivanti da attività estrattive.

La consultazione della documentazione geologica di P.R.G. comunale, ha permesso di verificare l'inserimento di tale area in una **Classe di utilizzazione urbanistica IIb4**, la quale risulta dalle N.T.A. come: aree edificate potenzialmente esposte ai fenomeni di dissesto connessi alla dinamica fluviale torrentizia e/o alla dinamica di versante la cui utilizzazione urbanistica deve essere limitata al solo patrimonio esistente, a tutela del quale è necessario prevedere opere di riassetto territoriale.

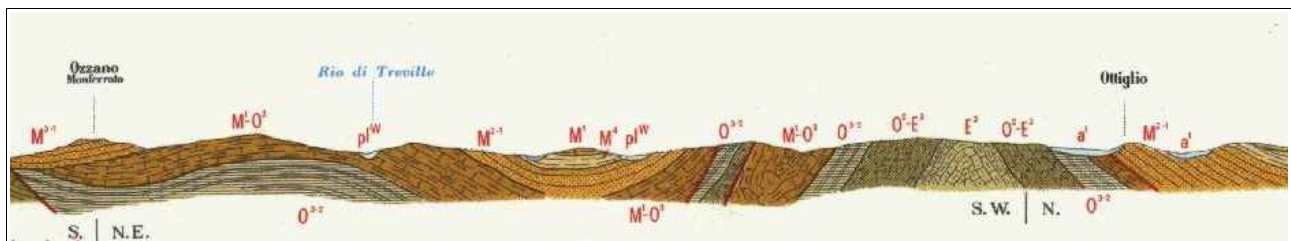
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area indicata con il termine, in senso geologico, di Monferrato risulta essere un insieme di strutture, nettamente più recenti di quelle alpine, costituite da una serie postorogena terziaria e da formazioni cretaceo-eoceniche a facies ligure, che appartengono al sub strato di tale serie.

Al Monferrato ed alla Pianura padana corrispondono parti dell'edificio strutturale alpino-appenninico scomparse quasi totalmente sotto alla coltre postorogena.

Il fenomeno, verosimilmente legato a sprofondamenti e sollevamenti differenziali nello spazio e nel tempo e riferibili alle fasi insubriche della tetto-genesi alpina, si è prodotto con modalità diverse nel Monferrato ed in corrispondenza della Pianura Padana.

Nel Monferrato i primi depositi marini postorogeni trasgressivi sono riferibili all'Eocene superiore ed all'Oligocene; essi sono pertanto immediatamente posteriori e in parte anche contemporanei al parossismo orogenetico della tetto-genesi alpina ed alla fase ligure di quella appenninica.



Stralcio sezione Geologica del territorio del Monferrato Carta Geologica d'Italia foglio 57"VERCELLI"

In corrispondenza della Pianura Padana invece l'ingressione marina si è prodotta con un ritardo che è tanto maggiore quanto più grandi erano la distanza dal Monferrato o la vicinanza alla catena alpina attuale. Le parti della catena alpina che hanno alimentato i conglomerati dell'Oligocene superiore e del Miocene affioranti nel Monferrato erano, all'epoca della formazione di queste facies, assai vicine al luogo di deposito e comunque più vicine di quanto non lo sia l'attuale limite Alpi/pianura, mentre la presenza di lembi di Pliocene marino direttamente trasgressivo sul cristallino, in prossimità o nelle parti marginali della catena alpina dimostra che l'ingressione marina ha raggiunto il piede della catena soltanto nel Pliocene.

La sedimentazione postorogena inizia pertanto prima nel Monferrato, in compenso essa si protrae più a lungo in corrispondenza della Pianura padana. Infatti mentre questa sedimentazione termina praticamente nel Monferrato con le deformazioni tettoniche che provocano, a partire dalla fine del Miocene, la formazione del sistema di strutture che caratterizza questa regione, la Pianura padana diventa sede, per lo meno a Nord del Monferrato, di una subsidenza attiva con forte accumulo di sedimenti quaternari in parte marini, in seguito ad uno sprofondamento realizzato essenzialmente lungo le faglie dirette che delimitano a Nord il Monferrato.

Ne deriva che Alpi, Monferrato e Pianura Padana non possono essere considerati come tre insiemi totalmente indipendenti tra loro, ma solo differenziati da una diversa evoluzione nel periodo tardo postorogenetico che ha seguito le fasi principali dell'orogenesi alpina.

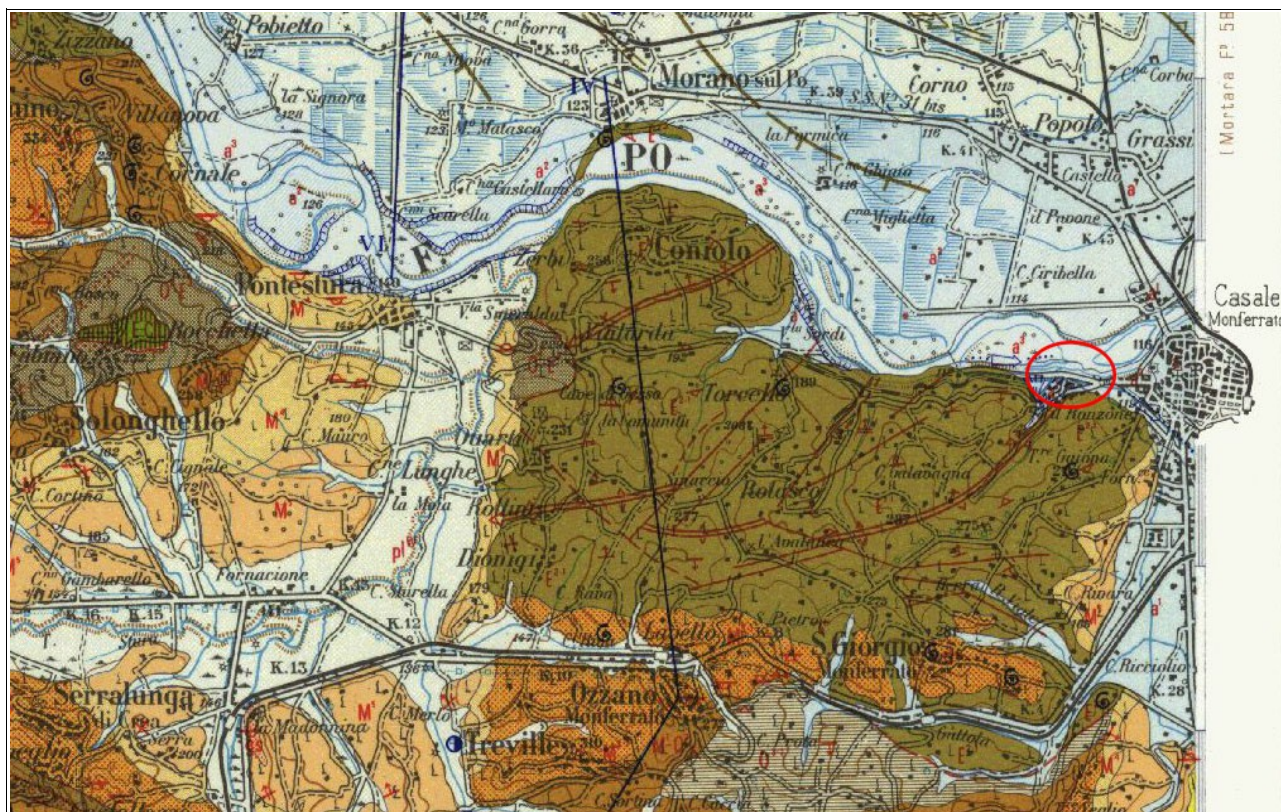
Il Monferrato è uno dei domini tettonico-sedimentari in cui si articola il BTP (Bacino Terziario Piemontese) ed è stato oggetto di recenti studi di carattere stratigrafico e strutturale. In precedenza era considerato come un unico dominio corrispondente all'intero sistema collinare Torino-Valenza, viene attualmente distinto dalla Collina di Torino da cui differisce sia per quanto riguarda la successione stratigrafica sia per l'assetto strutturale. I due domini sono separati da una zona di taglio transpessiva di orientazione NNW-SSE di estensione plurichilometrica (che ha fortemente controllato la sedimentazione delle successioni oligo-mioceniche).

Il Monferrato è contraddistinto da un assetto stratigrafico e strutturale che riflette un'evoluzione avvenuta in un contesto caratterizzato da una notevole mobilità tettonica esplicitasi in maniera continua durante la sedimentazione.

Il principale sistema di faglie del Monferrato ha direzione compresa tra WNW-ESE e NNW-SSE ed è costituito da superfici plurichilometriche, in genere molto inclinate e ad andamento anastomosato. Il cinematismo di queste strutture è principalmente trascorrente e subordinatamente inverso. Esse sono spesso associate a sub-parallele antiformali asimmetriche che costituiscono l'elemento strutturale più indicativo del Monferrato. Queste strutture sono spesso costituite da due fianchi asimmetrici, caratterizzati da strati da molto inclinati a subverticali, giustapposti al centro dell'antiforme da faglie individuali o interessate da pieghe di trascinamento. L'insieme delle caratteristiche geometriche e cinematiche di queste strutture inducono ad interpretarle come "*flower structures*" connesse a zone di faglia trascorrente. Le faglie hanno geometria relativamente semplice, poco evoluta, essendo rappresentate da superfici individuali ad andamento rettilineo. I rapporti di antecedenza con gli altri

sistemi ne suggeriscono un'età di attivazione relativamente recente.

2.2.1 Inquadramento geologico di dettaglio

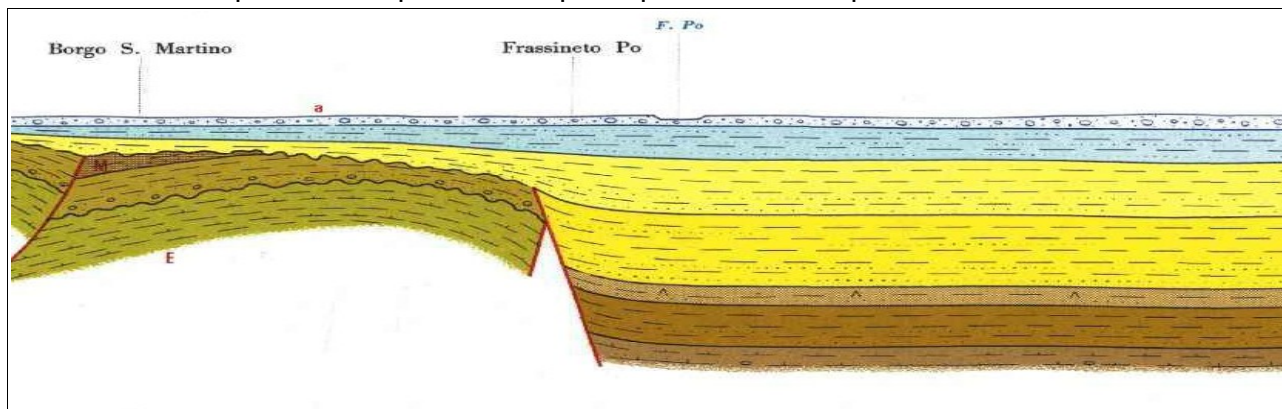


Stralcio Carta Geologica d'Italia foglio 57"VERCELLI"

L'assetto geologico nel territorio del comune di Casale Monferrato può essere suddiviso, sostanzialmente, in due zone distinte:

- 1. settore collinare:** sono presenti terreni affioranti ascrivibili alle formazioni del Bacino Terziario Ligure-Piemontese rappresentato da una potente ed estesa successione sedimentaria marina, formata da depositi essenzialmente derivanti dallo smantellamento della catena alpina. Il Monferrato è costituito da anticlinali, a cui la presenza di faglie ed il carattere diapirico estrusivo dei costituenti più antichi conferiscono caratteristiche particolari e variabili da una struttura all'altra e dalle zone sinclinali che le delimitano o si interpongono tra esse. In corrispondenza delle sinclinali i terreni sono meno intensamente deformati e spesso caratterizzati da inclinazioni deboli o sub-orizzontali. Le formazioni del Monferrato appartengono ad una serie di tipo molassico ed al suo substrato preorogeno. I costituenti del substrato sono, nella maggior parte dei casi, indistinguibili. La copertura postorogena è invece costituita da unità agevolmente delimitabili, per lo meno in senso verticale. I loro limiti risultano tuttavia frequentemente obliqui rispetto a quelli biozonali e cronologici;

2. settore pianeggiante: caratterizzato dalla sovrapposizione di una coltre alluvionale, di varia potenza di età Quaternaria, su di un substrato marino Terziario, piegato e fagliato. I depositi, affioranti nell'area d'esame, sono tutti quaternari, di origine fluviale e caratterizzati da litologie per lo più sabbioso ghiaiose con lenti sabbioso-argillose ascrivibili alle "Alluvioni Medio-Recenti e Antiche". Tali depositi sfumano, a valle, nelle alluvioni prevalentemente medio-recenti tipicamente prossime i principali corsi d'acqua.



Stralcio sezione Carta Geologica d'Italia settore pianeggiante

L'area di Casale Monferrato è rappresentata nei Fg. n. 57 "VERCELLI" e 58 "MORTARA" della Carta Geologica D'Italia, scala 1:100.000 ed è caratterizzata dalla presenza delle seguenti formazioni:

- **(a³) ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI:** alluvioni prevalentemente ghiaiose e ghiaioso-sabbiose degli alvei dei fiumi principali. (OLOCENE RECENTE).
- **(a²) ALLUVIONI MEDIO RECENTI:** alluvioni ghiaiose con lenti sabbioso-argillose fiancheggianti i principali corsi d'acqua, anche attualmente inondabili. (OLOCENE MEDIO-RECENTE).
- **(a¹) ALLUVIONI ANTICHE:** alluvioni sabbioso-ghiaiose post-glaciali, talora debolmente terrazzate ed in parte ricoprenti i precedenti depositi Wurmiani. (OLOCENE ANTICO).
- **(M⁵) FORMAZIONE GESSOSO SOLFIFERA:** argille e marne grigio- brunastre e biancastre localmente gessifere, a concrezioni calcaree, con subordinate intercalazioni di calcari marnosi vacuolari e di sabbie o arenarie. (MESSINIANO).
- **(M⁴) FORMAZIONE DI S.AGATA FOSSILI:** sono riferibili a questa formazione una serie di argille e marne-argillose grigio azzurre. (TORTONIANO).
- **(E²⁻¹) FORMAZIONE DI CASALE MONFERRATO:** costituita da una successione di argille grigio-brune, più raramente nere o verdastre, di arenarie

giallastre o bluastre spesso compatte, di calcari più o meno marnosi di colore grigio-azzurgnolo o bianco-giallastro e di calcari a furoidi chiari. (*EOCENE MEDIO-INFERIORE*).

In particolare, l'indagine si localizza nell'ambito di affioramento della ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI (*a*³) la vicinanza al limite collinare della formazione di Casale Monferrato fa sì che si possano rinvenire aree in cui è presente la commistione fra i diversi elementi litologici. Per tanto lungo la tratta saranno possibili rinvenimenti anche di carattere argilloso di tipo marino.

2.3 ASSETTO IDROGEOLOGICO GENERALE

Dal punto di vista idrogeologico il settore di pianura di Casale Monferrato è costituito da litotipi a tessitura variabile da molto fine a grossolana, sede di un acquifero superficiale molto sviluppato, collegato idraulicamente al reticolo idrografico superficiale ed in possesso di una locale ma limitata protezione ai fenomeni di inquinamento diretto, dovuta alla presenza in superficie, di limi argillosi derivanti dal sovralluvionamento recente.

Si possono individuare due unità idrogeologiche differenti:

- un sistema acquifero superficiale;
- un sistema acquifero profondo;

solo il primo interagisce con la scala dello studio attuale.

L'acquifero superficiale si presenta a pelo libero ed è contenuto nelle alluvioni grossolane di età olocenica, costituite prevalentemente da un potente accumulo differenziato di ghiaie eterometriche miste a sabbie con presenza, nei termini inferiori, di locali lenti limoso-argillose.

Tali strati argillosi definiscono il limite inferiore dell'acquifero superficiale che risulterebbe essere isolato, a scala locale, dall'acquifero più profondo.

La potenza della coltre alluvionale varia approfondendosi verso Nord-Ovest, ed è nella zona dei depositi villafranchiani che viene localizzato il limite con gli acquiferi profondi, i quali costituiscono buone rocce serbatoio per la raccolta di acque sotterranee.

L'acquifero profondo è un sistema, confinato o semiconfinato, contenuto nelle sequenze sabbiose e ghiaiose, intervallate da limi ed argille del Villafranchiano. La caratteristica che è necessario sottolineare, nonostante le correlazioni non siano agevoli, è la potenziale continuità idraulica del sistema "acquifero profondo" il quale risulta costituito da un unico complesso multistrato idraulicamente continuo.

Sulla base di tali nozioni è nata la necessità della Regione Piemonte di adempiere in modo adeguato alle funzioni relative alla protezione delle risorse idriche nel rispetto della normativa vigente ed in modo particolare della legge regionale 30 aprile 1996, n. 22, così come modificata dalla legge regionale 7 aprile 2003, n. 6. Questa riserva, salvo casi particolari, la ricerca, l'estrazione e l'utilizzazione delle acque sotterranee e da falde profonde all'uso potabile. Lo strumento tecnico realizzato a tal fine è una cartografia regionale della base dell'acquifero superficiale alla scala 1:50.000 per la zona di pianura, mentre per le altre aree della Regione sono stati stabiliti dei criteri indicativi per identificare, nelle aree montane, collinari e di fondovalle alpino, la profondità massima della superficie di delimitazione tra i sistemi di flusso superficiali e quelli profondi.

2.3.1 Assetto idrogeologico di dettaglio



Stralcio isopiezometriche Geoportale Regione Piemonte

Localmente possono essere presenti corpi lentiformi prevalentemente costituiti da argille e limi, sufficientemente estesi, da creare piccole anomalie del gradiente idraulico e della direzione prevalente di flusso, unitamente a falde sospese o ad acquitardi. Normalmente il flusso della falda freatica avviene verso Nord-Est, caratterizzato dall'azione drenante dell'alveo del fiume Po.

Sulla base dei dati ricavati dai metadati forniti dal Geoportale Regione Piemonte "Arpa

Piemonte Idrogeologia WMS” ed elaborati mediante “Terraexplorer” la falda si dovrebbe assestare mediamente intorno ai -9,00 m di profondità soggetta tuttavia ad ampia escursione stagionale. Mediante l'ausilio dei metadati è stato anche verificato lo spessore dei litotipi impermeabili (0,00/2,50m) e il tempo di arrivo in falda (1sett/1mese). **In particolare nel corso dell'indagine geognostica e geofisica non è stata riscontrata una superficie di falda.**

Stralcio spessore litotipi impermeabili Geoportale Regione Piemonte

Le indicazioni raccolte tra le differenti quote e i riscontri sui dati desunti negli anni, forniscono nell'area, informazioni sulla presenza di un ragionevole margine di protezione e separazione tra la falda superficiale e quella profonda.

2.3.2 Idrologia locale

Il reticolo idrografico superficiale considerato è chiaramente dominato dalla presenza del fiume Po, che costituisce l'agente morfologico principale e caratterizza il territorio con le sue ampie anse, con la presenza di numerose aree golenali e con estesi tratti di alveo abbandonato.

Il resto del reticolo, alla scala dell'indagine, è rappresentato dai torrenti Gattola, Rotaldo. Una considerazione a parte meritano alcuni canali di irrigazione di differente dimensione e portata, la cui realizzazione risale già alla prima metà dell'ottocento. Essi assumono un ruolo importante non solo per la distribuzione delle acque

superficiali sul territorio, ma anche per i sensibili scambi con le acque sotterranee. Tale fatto si traduce con l'elevato grado di "bibacità" dei terreni e quindi con sensibili "perdite" idriche, cui non risulta estraneo anche il fitto ordito di rogge e canali artificiali per lo sfruttamento agrario il cui fondo non è rivestito.

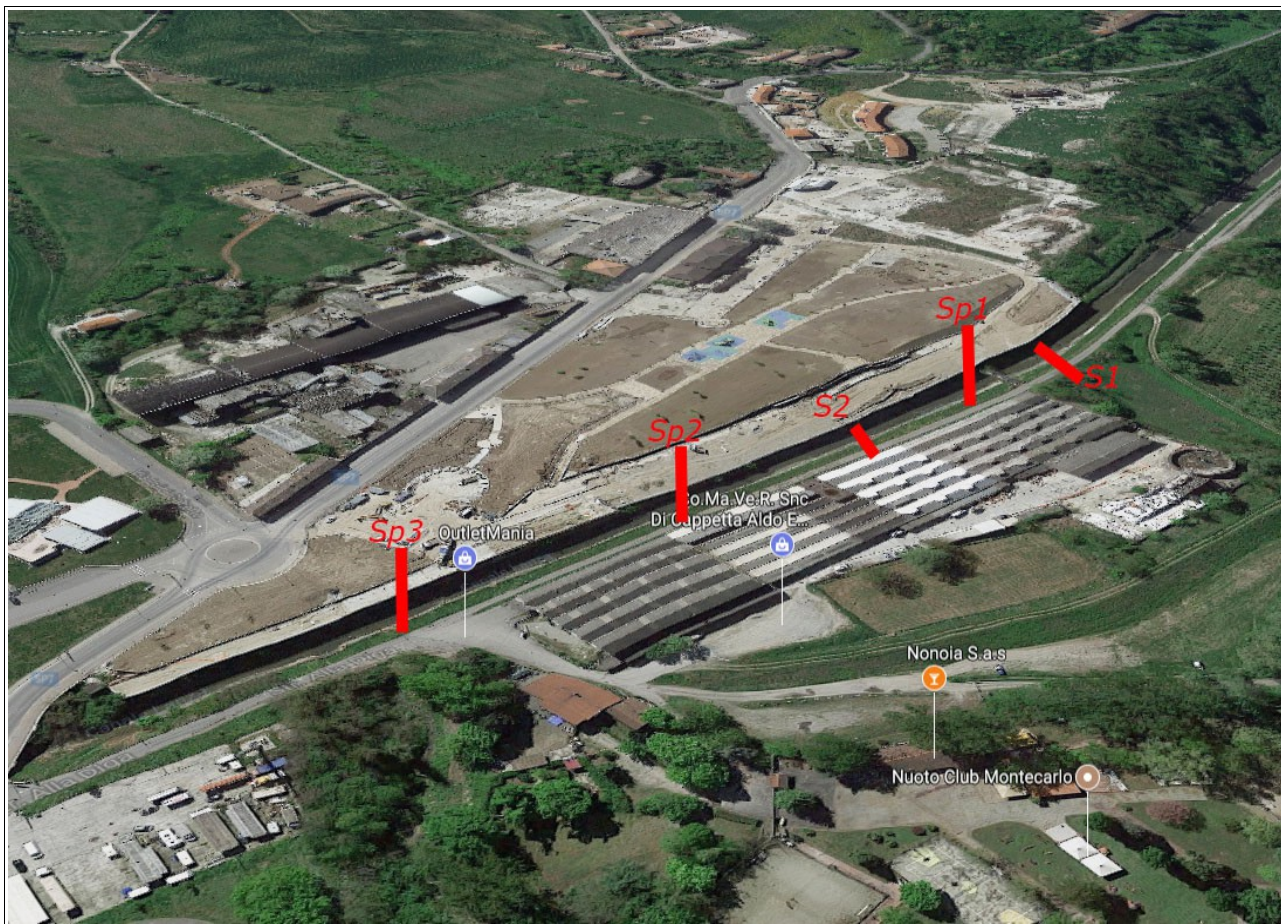
In base a studi effettuati (Carraro et al. 1970) una delle conseguenze di tale fitta rete di canali ad uso irriguo, è rappresentata dalla riduzione dei tempi di corrivazione unitamente ad una inferiore possibilità di smaltimento delle precipitazioni eccezionali, essendo implicito che tale evidenza si riflette nella facilità con la quale questi terreni assorbono acqua dalle attività connesse alla irrigazione.

E' infatti importante sottolineare che l'intera rete di drenaggio artificiale può avere una funzione sia ricettiva drenante che adduttiva, in rapporto all'evoluzione di un possibile evento esondativo e dell'altimetria del piano campagna circostante.

In generale la rete idrografica minore descritta, può sicuramente interagire con eventuali fenomeni esondativi. La sua incidenza sul territorio resta di difficile valutazione e previsione in quanto i canali artificiali costituiscono una fitta trama pressoché uniforme e, in un contesto esondativo, il loro apporto è spesso da ricondurre ad una pregressa cattiva manutenzione e gestione antropica delle stesse opere di derivazioni dai corsi d'acqua naturali.

2.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE REALIZZATE IN SITU

L'indagine geognostica, realizzata nel mese di Marzo 2017, ha comportato l'esecuzione nell'area d'intervento di n° 3 prove penetrometriche dinamiche DL 030 localizzata in corrispondenza degli interventi in progetto. Sulla base delle caratteristiche geologiche dell'area e del tipo di intervento in progetto, al fine della caratterizzazione geotecnica globale del sito, si è ritenuta adeguata l'esecuzione di due prove penetrometriche. La ricostruzione della successione litostratigrafica deriva, dall'osservazione diretta del rilievo geologico di dettaglio delle sezioni naturali ed artificiali rilevate nell'area e dall'analisi meccanica del comportamento di infissione delle aste.



Stralcio mappa satellitare 3d con localizzazione dell'area dove sono state realizzate le ppd DL030 e stendimenti geoelettrici S1 ed S2

2.4.1 Procedure utilizzate nel corso delle prove penetrometriche dinamiche

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infissione nel terreno, secondo la direzione verticale, di una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste.

L'infissione avviene per battitura, mediante la caduta di un maglio, avente una massa di dimensioni normalizzate, da un'altezza costante.

Durante la prova viene contato il numero dei colpi necessario per la penetrazione nel terreno di un tratto di asta di lunghezza definita ($L = 10 \text{ cm}$).

La resistenza offerta dal terreno risulta funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, viceversa, funzione diretta del numero di colpi per una data penetrazione.

I dati così ottenuti, forniscono quindi le indicazioni per una successiva definizione del possibile profilo stratigrafico.

2.4.2 Caratteristiche tecniche dell'attrezzatura utilizzata

L'indagine in situ delle caratteristiche di resistenza alla penetrazione del penetrometro dinamico DPM (DL030 SUNDA) autocarrellato, consente una correlazione diretta con i risultati delle prove penetrometriche standard SPT:

$$0.85 N_{SPT(30)} < N_{DL030(10)} < 1.15 N_{SPT(30)}$$

In generale, la penetrazione dinamica di punte coniche a perdere permette l'individuazione di massima delle caratteristiche di resistenza degli spessori di terreno attraversati, rappresentati dal parametro R_d (resistenza di rottura dinamica alla punta), direttamente desumibile dall'applicazione della formula degli autori olandesi:

$$R_d = M^2 \times h / A \times e (M + P)$$

dove:

- M = Peso Massa Battente (30 kg)
- h = altezza di caduta (20 cm)
- A = sezione della punta conica (10 cm²)
- $e = 10/N$
- N = n. colpi/ 10 cm di approfondimento
- P = peso delle aste (2,4 Kg/ml).

I dati geotecnici ottenuti, attraverso l'uso dei software, Dynamic Probing e Loadcap, consentono di ricostruire il modello geotecnico del sottosuolo ed inoltre di ricondursi ai fattori di capacità portante (N) e ai cedimenti del terreno sottoposto al carico delle nuove strutture riferiti allo SLU ed allo SLE come previsto dal **D.M.14/01/2008**.

2.4.3 Analisi ed interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche

I rapporti giacitureali tra i litotipi rinvenuti vengono descritti dettagliatamente nelle singole schede relative al sondaggio (c.f.r. Certificati in allegato) e qui di seguito riassunti.

Prova penetrometrica Sp1 (falda assente):

- 0,00 – 3,40 m, Sabbia e limo;
- 3,40 – 3,80 m, Limo;
- 3,80 – 4,00 m, Ghiaia sabbiosa.

Prova penetrometrica Sp2 (falda assente):

- 0,00 – 3,20 m, Limo;
- 3,20 – 3,60 m, Sabbia e limo;
- 3,60 – 4,10 m, Limo;

- 4,10 – 4,40 m, Ghiaia sabbiosa.

Prova penetrometrica Sp3 (falda assente):

- 0,00 – 2,50 m, Limo;
- 2,50 – 3,40 m, Sabbia e limo;
- 3,40 – 3,80 m, Ghiaia sabbiosa.



prova penetrometrica dinamica DL030 Sp2, Marzo 2017

3. MODELLO GEOFISICO

3.1 METODOLOGIA

I metodi di prospezione geofisica permettono la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo utilizzando alcuni parametri fisici che caratterizzano gli strati del terreno. Nella prospezione geoelettrica si determina il parametro fisico resistività elettrica (r), caratteristico delle formazioni che costituiscono il sottosuolo.

La resistività è un parametro indipendente dalle caratteristiche geometriche della formazione litologica cui si riferisce ed è definito come la resistenza elettrica per unità di volume.

Ogni corpo roccioso presenta un ampio campo di variabilità dei propri valori di resistività; essi dipendono dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e, per rocce litoidi dal grado di fratturazione. Nel caso di terreni sciolti, quali i depositi alluvionali recenti, la resistività dipende dalla granulometria, dai fluidi in essi contenuti e dal quantitativo in sali disciolti. A questa regola fanno eccezione le argille che, anche se compatte, hanno sempre valori di resistività estremamente bassi; questo è dovuto principalmente alle caratteristiche del reticolo cristallino dei minerali che le compongono ed al loro grado di saturazione.

3.2 SEZIONI GEOLETTRICHE 2D

Le sezioni geoelettriche multipolari vengono realizzate misurando i valori della derivata del campo elettrico in corrispondenza di un allineamento di elettrodi di misura equispaziati. Il campo elettrico viene generato da un polo di corrente posto all'interno della linea di misura, il quale viene spostato all'interno della stessa, dal primo all'ultimo elettrodo.

Le sezioni geoelettriche forniscono una sezione del terreno mediante una molteplicità di valori di resistività apparente riportabili su una maglia regolare. La resistività apparente è definita come rapporto fra differenza di potenziale al dipolo di misura e corrente immessa al polo di corrente, rapporto che viene moltiplicato per un opportuno fattore geometrico dipendente dalla posizione reciproca degli elettrodi.

Ipotizzando di eseguire le misure su un semispazio a resistività omogenea, il fattore geometrico K è quel valore che servirebbe a fare in modo che il rapporto $dV/I \cdot K$ fosse esattamente uguale al valore di resistività del semispazio. Variando dV/I per i diversi dipoli, K è un valore che dipende solo dalla posizione degli elettrodi.

3.2.1. Descrizione attrezzatura utilizzata

L'acquisizione dei dati, molto complessa, viene gestita completamente da una apposita strumentazione in grado di acquisire i necessari canali simultaneamente e di comandare automaticamente l'inversione della corrente.

Lo strumento di misura che utilizziamo è estremamente veloce e dotato di una dinamica molto ampia. Per alcuni aspetti è oggettivamente unico. Questi aspetti sono :

- sottrazione analogica del potenziale di contatto e di quello naturale, prima dell'amplificazione e del campionamento e per tutti i canali simultanei che vengono acquisiti. Ciò consente di ottimizzare l'utilizzo degli amplificatori

analogici;

- acquisizione simultanea di un quantitativo teoricamente illimitato di dipoli di potenziale. Ciò consente di misurare in un solo ciclo di corrente tutte le coppie di elettrodi di misura programmate. Una sezione standard a 48 elettrodi viene acquisita in pochi minuti ed è costituita da più di 800 misure di resistività valide e non equivalenti;
- immissione automatica nel terreno di corrente controllata. Ciò consente di energizzare il suolo con cicli simmetrici e aumenta la stabilità delle misure in condizioni di instabilità dei contatti.

Altre caratteristiche più standard e facili da trovare in altri apparati di misura sono le seguenti:

- Potenza di 300 W;
- Massima corrente 1.5 A;
- Massima differenza di potenziale misurabile = 10.000 mV;
- Minimo potenziale misurabile 0,005 mV;
- Dinamica equivalente 22 bit.

3.2.2 Descrizione del dispositivo elettrodico

Il dispositivo elettrodico che più si adatta e meglio sfrutta le potenzialità dello strumento di misura e quello polo-dipolo.

Questo dispositivo prevede l'immissione di corrente in un solo polo interno alla stesa e l'acquisizione di tutto il campo che si crea lungo l'allineamento elettrodico. Verrà quindi misurato il campo sugli elettrodi disposti prima del polo di corrente e anche quello sugli elettrodi disposti dopo. Da queste misure si ricavano due sezioni di resistività apparente diverse, ciascuna costituita da circa 400 misure, ma relative allo stesso terreno indagato. Il programma di elaborazione quindi tratterà questi dati come un tutt'uno. Tutti questi dati vengono acquisiti con sole 48 diverse energizzazioni.

I vantaggi del dispositivo polo-dipolo sono:

- il segnale è più forte di quello misurato nell'equivalente dipolo-dipolo (ove il campo elettrico a distanza decresce come $1/R^3$) ed è solo la metà dell'equivalente Schlumberger;
- è un sistema asimmetrico più sensibile alle variazioni laterali rispetto ai sistemi simmetrici (Wenner o Schlumberger);
- consente di ricostruire facilmente l'equivalente sistema simmetrico ove questo

fosse richiesto;

- a differenza dei sistemi simmetrici consente di misurare simultaneamente i canali MN e di sfruttare appieno la velocità dello strumento;
- consente di avere sempre un elettrodo a bassa resistenza comune a tutte le misure. Questo elettrodo di corrente detto "polo all'infinito" può essere posizionato a distanza nel posto più adatto.

La sezione ottenuta consente quindi il miglior dettaglio possibile nella definizione di una sezione elettrica del sottosuolo ed è validamente utilizzabile per ubicare cavità, cunicoli, anomalie laterali e presenza di inquinanti nonché ogni genere di anomalia elettrica del terreno sia verticale che orizzontale.

I dati di resistività apparente vengono quindi elaborati con un apposito programma in grado di ricostruire i valori reali di resistività per inversione numerica 2D. (Res2Dinv).

Nel caso specifico di questa indagine è stato utilizzato il dispositivo elettrodico polo-dipolo. In particolare, per ogni posizione del picchetto di corrente (in tutto 48) sono stati acquisiti non meno di 13 valori di resistività apparente su 13 dipoli MN di misura. Lo schema di acquisizione viene applicato sia per i dipoli a progressive maggiori del polo di corrente sia per i dipoli a progressive minori, per un totale massimo di 20 misure per polo di corrente.

3.2.3 Descrizione degli allegati

Le tavole grafiche allegate, relative alle sezioni 2D, illustrano i risultati delle indagini nel rispetto della seguente modalità rappresentativa:

- la prima sezione in alto a sinistra rappresenta le resistività apparenti calcolate dal modello di resistività reali posto in centro tavola. Il modello delle resistività reali è il risultato dell'inversione numerica dei dati sperimentali;
- la seconda sezione in alto a destra illustra i valori di tutte le resistività apparenti effettivamente misurate, quindi i dati sperimentali di cui si è detto. In corrispondenza di ciascuna di queste misure è anche graficata una piccola croce bianca. Si notano parecchi livelli di dati a profondità diverse e logaritmicamente crescenti.
- La più o meno perfetta coincidenza della prima e della seconda sezione corrisponde graficamente all'errore rms di inversione.
- La terza sezione, centrale nell'allegato, costituisce il risultato finale della procedura di inversione che, a partire dalle resistività apparenti misurate

produce una sezione di resistività reali.

- La quarta ed ultima sezione in basso riporta l'interpretazione stratigrafica della sezione di resistività reali. In questo caso l'interpretazione più opportuna corrisponde alla semplificazione del modello numerico continuo tramite superfici delimitate con retini di diverso colore.



Stendimenti geoelettrici multipolari Canale Lanza marzo 2017

Nello specifico per la ristrutturazione del canale "Lanza" sono stati realizzati due stendimenti geoelettrici multipolari, i quali hanno fornito i dati necessari all'interpretazione di due sezioni tipo dell'area oggetto di indagine (c.f.r. Tavole allegate). I risultati ottenuti, mediati e verificati anche sulla base del confronto con le stratigrafie derivanti dalle prove penetrometriche dinamiche DI030 e di sondaggi geognostici (forniti dall'archivio dell'Ing. Paolo Demagistris), hanno fornito un quadro di generale uniformità litologica in senso areale evidenziando un complesso alluvionale lentiforme poggato su di un substrato marino piegato e fagliato.

4. MODELLO GEOTECNICO

4.1. PARAMETRI GEOTECNICI

Ai sensi delle N.T.C. per valore caratteristico di un parametro geotecnico si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato, mentre, per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo

delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico- meccanica dei terreni nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico.

Nell'analisi tradizionale della precedente normativa, il fattore di sicurezza è inteso come una riduzione del valore di resistenza ultima o inteso come rapporto tra momenti resistenti e momenti agenti, ovvero, rappresenta, un fattore che include implicitamente tutte le fonti di variabilità e incertezza inerenti all'analisi geotecnica, senza una quantificazione di dette variabilità e incertezze.

Ai sensi della normativa vigente, le variabili di progetto sono adottate con la loro variabilità, ovvero, non esiste più un valore unico, ma un insieme di valori per ogni variabile. Il valore caratteristico è una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite, ossia di una determinata superficie di rottura o di un cedimento maggiore di una certa soglia. La stima cautelativa consiste nel 5° percentile del valore in oggetto (in genere il valore medio della proprietà), ovvero, il valore caratteristico è ricavato con metodi statistici in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%.

Le caratteristiche geotecniche dei materiali presenti nel sottosuolo dell'area d'intervento sono state definite avvalendosi dell'interpretazione dei risultati ricavati nel corso dell'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche (ppd) Sp1, Sp2 e Sp3.

Attraverso l'indagine in situ è stato quindi possibile risalire, in modo diretto e/o indiretto:

- al valore di **N_{SPT}** equivalente ($0.85 N_{SPT}(30) < NDL030(10) < 1.15 N_{SPT}(30)$);
- ai parametri di deformabilità dei terreni non coesivi;
- ai parametri di resistenza al taglio;
- ai parametri fisici indicativi, caratteristici dei materiali attraversati quali, il peso specifico ($\gamma = t/m^3$) e l'angolo di attrito interno ($\phi = ^\circ$);
- all'eventuale presenza della falda freatica e alla determinazione del suo livello statico.

Dall'analisi dei dati delle prove sono stati individuati tre trend, i quali caratterizzano variazioni litologiche della stratigrafia.

4.1.2 Calcolo modello geotecnico del sottosuolo per fondazioni superficiali

Il modello geotecnico per il dimensionamento di fondazioni superficiali continue è stato calcolato per la realizzazione di tutte le strutture in progetto (fondo alveo e sponde). Tale scelta, è finalizzata alla minimizzazione del rischio strutturale, a causa delle caratteristiche architettoniche in correlazione ai terreni indagati ed alle caratteristiche sismiche del sito. Il numero dei colpi DL 030 ottenuto per ogni singolo livello litologico, è stato trattato attraverso una analisi statistica pari a una riduzione del 5° percentile della distribuzione della media, valore caratteristico da utilizzare quando si ipotizza una superficie di rottura che interessa un grande volume di terreno.

Correzione statistica pari al 5° percentile della distribuzione della media

Strato	N°dati	Media dati	Deviazione standard	N_{DL030} caratteristico	N_{STP} caratteristico	Litologia
1	69	2,91	1,09	2,70	2	Limo
2	47	8,94	2,08	8,40	6	Sabbia e limo
3	11	75,00	16,43	65,60	50	Ghiaia sabbiosa

Basandosi sull'interpretazione dei dati ricavati si è proceduto alla realizzazione della sequenza caratteristica di progetto.

Sequenza stratigrafica caratteristica (SP di Progetto media)

Profondità in metri da p.c. (valori medi tra le ppd realizzate)	Stratigrafia
Da 0.00 m a 3,20 m	Limo sciolto
Da 3,20 m a 3,60 m	Sabbia e limo poco addensati
Da 3,60 m a 4,10 m	Limo sciolto
Da 4,10 m a 4,40 m	Ghiaia sabbiosa addensata

Al fine di determinare i principali parametri geotecnici del terreno naturale, a partire dal dato penetrometrico si è ricavato il valore **N_{SPT}**, più frequentemente utilizzato per la parametrizzazione dei terreni: si è utilizzata in favore di sicurezza un valore del rapporto **N_{SPT} (30)/ N_{SPT}** pari a 0,78. Utilizzando i valori di **N_{SPT} caratteristico** ottenuti dalla sequenza stratigrafica caratteristica (prova di progetto) sono stati calcolati i parametri geotecnici relativi agli strati indagati (c.f.r. Modello Geotecnico del

Sottosuolo in allegato).

Il modello geotecnico calcolato potrà essere esclusivamente utilizzato al fine del calcolo della verifica della portanza e dei cedimenti dei litotipi interessati dalla realizzazione di una fondazione superficiale continua (platea trave rovescia).

4.2 PARAMETRI SISMICI

Il territorio piemontese è circondato lungo i confini settentrionali, occidentali e meridionali dai rilievi montuosi del sistema alpino occidentale. La storia geologica del Piemonte è dominata dalla storia della catena alpina, la cui evoluzione può essere ricostruita in relazione ai movimenti relativi delle placche litosferiche dell'Eurasia e dell'Africa. Il contesto tettonico e i regimi geodinamici attivi portano la regione ad essere sede di attività sismica, generalmente modesta dal punto di vista energetico, ma notevole come frequenza. Gli epicentri si concentrano lungo due direttrici, note storicamente come arco sismico piemontese e arco sismico brianzone: la prima segue la direzione dell'arco alpino occidentale nella sua parte interna, in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità, lungo il limite fra le unità penniniche e la pianura padana; la seconda, più dispersa, segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni, in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi occidentali francesi, lungo il Fronte Penninico. Le due direttrici si estendono a nord fino al Vallese, caratterizzato da una diffusa sismicità, e convergono a sud nel Cuneese, con una maggiore dispersione verso la costa del Mar Ligure, interessando il Nizzardo e l'Imperiese. Una diffusa sismicità è inoltre presente lungo i rilievi a sud del Piemonte e in particolare nell'Appennino settentrionale, nelle zone sud-orientali della regione. I terremoti che interessano il territorio piemontese avvengono generalmente a profondità superficiali, prevalentemente entro 20 km dalla superficie, sebbene si rilevino alcuni eventi con maggiori profondità ipocentrali, in relazione a porzioni litosferiche in subduzione. La banca dati sismica parte dal 1982, quando la geometria della rete iniziò a coprire tutta l'attuale area, ed è costantemente aggiornata. Allo stato attuale la soglia di magnitudo per la detezione e la localizzazione dei terremoti locali nell'intera area della rete è pari a $1.0 M_L$ e può scendere a $0.5 M_L$ nelle zone alpine e nord-appenniniche, dove sono dislocate le stazioni e dove è maggiore la sismicità.

La rete sismica regionale rileva ogni anno diverse centinaia di terremoti locali o regionali, con epicentri quindi localizzati in Piemonte o nelle aree circostanti,

generalmente non percepiti dalla popolazione. Tenendo presente che gli effetti locali dipendono dalla risposta sismica dei suoli, oltre che dalle caratteristiche energetiche della sorgente e dal percorso effettuato dalle onde (e quindi dalla profondità e dalla distanza della sorgente e dalle caratteristiche delle rocce attraversate), il numero di terremoti tali da poter essere percepiti limitatamente nei pressi delle zone epicentrali è dell'ordine della decina all'anno, mentre si verifica mediamente un evento all'anno tale da poter essere percepito anche a distanze maggiori e da causare eventualmente qualche effetto significativo, generalmente leggero.

Per le caratteristiche della strumentazione utilizzata dalla rete sismica vengono anche osservati segnali relativi sia ai terremoti lontani (telesismi) più energetici, sia a fenomeni locali di origine naturale (come crolli) o antropica (esplosioni di cava).

Si riportano di seguito gli eventi recenti con più elevata magnitudo rilevati in Piemonte successivamente all'ammodernamento della rete sismica: il sisma del 3 ottobre 2012 in Val Varaita ($3.9 M_L$, 10 km), quello del 25 luglio 2011 tra Val Sangone e Val Chisola ($4.4 M_L$, 20 km), quello profondo del 19 aprile 2009 nel Roero ($4.2 M_L$, 50 km), il sisma del 24 ottobre 2008 in Valle Stura di Demonte ($4.1 M_L$, 10 km).

Gli eventi strumentali con più elevata magnitudo rilevati in Piemonte dalla rete sismica sono quelli che hanno interessato le zone sud-orientali della regione tra il 2000 e il 2003, di cui si riportano di seguito le stime di magnitudo determinate dalla rete sismica regionale (esprese in termini di magnitudo di durata M_d) e quelle indicate nel catalogo parametrico dei terremoti italiani del 2011 (esprese in termini di magnitudo momento M_w): 11 aprile 2003 nel Tortonese ($5.1 M_d$, $4.9 M_w$, 5-10 km), 19 luglio 2001 ($4.6 M_d$, $4.2 M_w$, 15-20 km) e 21 agosto 2000 ($4.9 M_d$, $4.9 M_w$, 5-25 km) nel Monferrato.

Oltre a quelli rilevati negli ultimi decenni dalla rete sismica, si ricordano nell'area più di un centinaio di terremoti storici nell'arco di un millennio, con magnitudo momento stimata generalmente tra 4.5 e 6 (CPTI 2011, Rovida et al., 2011): in particolare i due massimi eventi sono quello del 9 ottobre 1828 tra Val Curone e Valle Staffora e quello del 2 aprile 1808 nel Pinerolese, con magnitudo stimata pari a circa 5.8 e 5.7 M_w . Sismi di magnitudo maggiore sono avvenuti a relativamente breve distanza dai confini regionali, tali da produrre effetti apprezzabili anche in Piemonte: si ricorda in particolare l'evento del 23 febbraio del 1887 nei pressi della costa ligure occidentale, a

meno di 50 km dai confini piemontesi, di magnitudo stimata pari a $7.0 M_w$.

Allo stato attuale delle conoscenze scientifiche, singoli terremoti non possono essere predetti deterministicamente in modo affidabile ed efficace. La migliore pratica per la difesa dal rischio sismico è la prevenzione.

Le mappe di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale sono prodotte dall'INGV. La pericolosità sismica esprime la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi un valore di soglia di intensità, di magnitudo o di un parametro di scuotimento al suolo (ad esempio l'accelerazione di picco, PGA) di interesse ai fini ingegneristici e strutturali.

Le mappe di pericolosità sismica si basano su modelli indipendenti dal tempo per la previsione probabilistica a lungo termine: guidano le regole delle normative per la sicurezza sismica, per il progetto sismico basato sulle prestazioni e per altre pratiche ingegneristiche per la riduzione del rischio, quali l'adeguamento sismico degli edifici più vecchi e per le scelte relative alla gestione del territorio. Sulle mappe di pericolosità viene infatti basata la classificazione sismica del territorio.



Con la *Classificazione sismica dei comuni italiani* - Allegato A. Con D.G.R. n.11-13058 del 19.01.2010, la Regione Piemonte ha provveduto alla riclassificazione sismica del territorio regionale stabilendo per il comune di **Casale Monferrato** l'assegnazione

della **Zona 4**; valore di pericolosità sismica del territorio espresso in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi risulta essere compreso tra 0,025 e 0,050 a_g/g , come riportato nella mappa delle zone sismiche dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Tuttavia, nello specifico, secondo latitudine e longitudine del sito, il valore di accelerazione massima si stima essere di 0,0427 a_g/g (valore puntuale ricavato da "calcolo degli stati limite sismici probabilistici" vedi tabella paragrafo 1.0.2).

I principali effetti dei sismi riconducibili alla natura dei siti e dei terreni sono:

- l'amplificazione (o l'attenuazione) del moto sismico di superficie;
- la liquefazione dei pendii, specie in presenza di movimenti gravitativi;
- la liquefazione di terreni incoerenti finì saturi;
- il costipamento dei terreni granulari sciolti;
- la possibile rottura dei terreni con conseguenti dislocazioni, rigetti o subsidenze;
- il crollo di cavità sotterranee.

4.2.1 Determinazione della categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei suoli, la categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione è stata definita secondo la procedura specificata al punto 3.2.1. del D.M. Infrastrutture e Trasporti del 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni", che prevede che *la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio V_s ovvero sul numero medio di colpi N_{SPT} ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media c_u* . Le categorie indicate al punto 3.2.2 (Categorie di sottosuolo) delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni", approvate con D.M. 14 gennaio 2008 risultano le seguenti:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiori a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per definire l'azione sismica di progetto, si valuta l'effetto della risposta sismica locale (RSL) (C7.11.3.1 NTC 2008) determinando la categoria di sottosuolo specifica del sito. L'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III) è stata valutata secondo la stima dei valori medi della **$V_{s,30}$** , nel caso in esame si è ritenuto opportuno classificare il profilo stratigrafico del suolo di fondazione come appartenente alla **Categoria C** di cui al D.M. 14.01.2008.

4.2.2 Calcolo degli stati limite sismici probabilistici

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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.

Per ciascun nodo del *reticolo di riferimento* e per ciascuno dei periodi di ritorno T_r considerati dalla *pericolosità sismica*, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- a_g il valore previsto dalla *pericolosità sismica*;
- F_0 e T_c^* i valori ottenuti, imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC, scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla *pericolosità sismica* (la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

La risposta sismica locale di un sito, oltre che dalle caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo, dipende anche dalla conformazione morfologica dei luoghi. Pertanto, vengono individuate quattro diverse categorie topografiche, rappresentative di altrettante configurazioni superficiali, riportate nella successiva tabella (Tabella 3.2.IV).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Sulla base dell'azione sismica prevista è stato effettuato il calcolo degli stati limite sismici probabilistici, adottando i seguenti parametri:

- coordinate geografiche del sito: **LAT 44,13731 e LON 8,43403**
- vita nominale della struttura: **75 anni**
- coefficiente c_u : **1,5**
- classe d'uso: **III**
- topografia: **T1** (*superficie pianeggiante*)
- categoria del suolo: **C**

Siti di riferimento:

- Sito 1 ID: 13581 Lat: 45,1267 Lon: 8,3906 Distanza: 3609,357
- Sito 2 ID: 13582 Lat: 45,1297 Lon: 8,4612 Distanza: 2293,743
- Sito 3 ID: 13360 Lat: 45,1796 Lon: 8,4569 Distanza: 5030,492
- Sito 4 ID: 13359 Lat: 45,1766 Lon: 8,3862 Distanza: 5755,430

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81%

Tr: 45 [anni]
 a_g/g : 0,018 g
 Fo: 2,521
 Tc*: 0,167 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63%

Tr: 75 [anni]
 a_g/g : 0,023 g
 Fo: 2,520
 Tc*: 0,193 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10%

Tr:	712	[anni]
a_g/g :	0,043	g
Fo:	2,692	
Tc*:	0,296	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5%

Tr:	1462	[anni]
a_g/g :	0,050	g
Fo:	2,758	
Tc*:	0,315	[s]

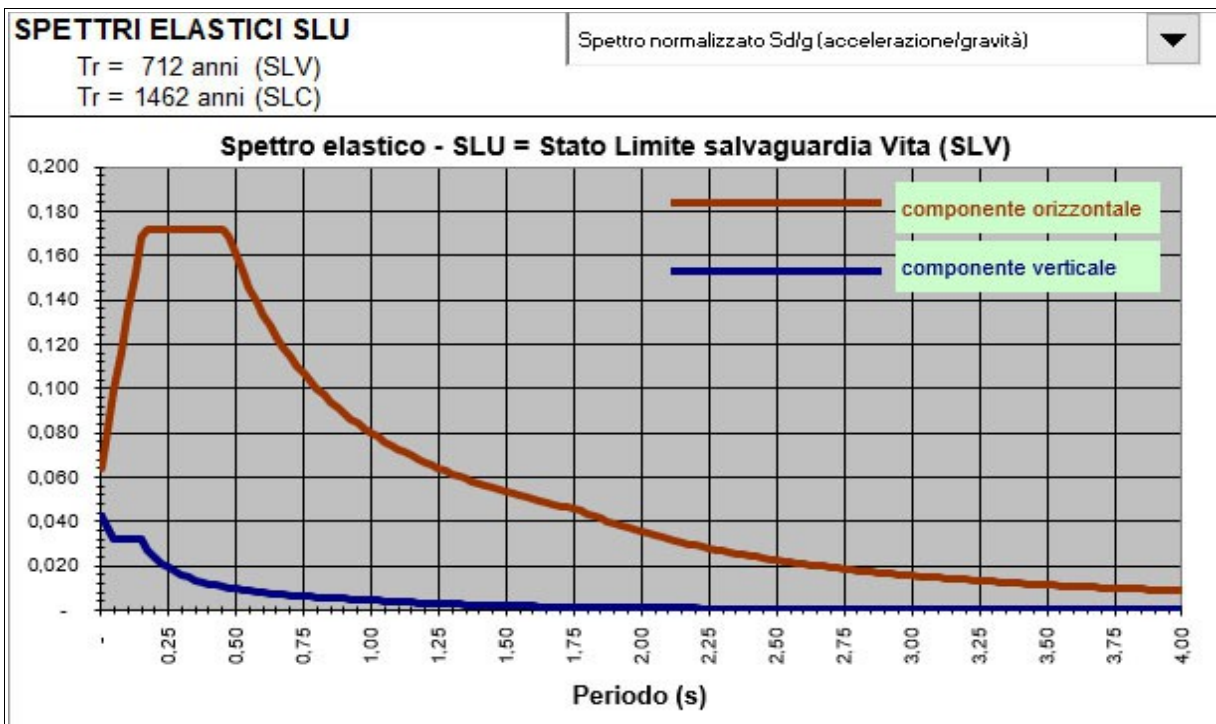
La tabella della pericolosità sismica di base viene completata con i parametri di S (spettro di risposta elastico) Tb (periodo inizio tratto spettro accelerazione costante), Tc (periodo inizio tratto spettro velocità costante), TD (periodo inizio tratto spettro spostamento costante) e Fv (fattore amplificazione verticale) di seguito riportati:

	SL	P_{VR}	T_R	a_g	F_o	T_C^*	S	Tb	T_C	T_D	F_v
sle	Operatività	81%	45	0,182	2,52	0,17	1,50	0,11	0,32	1,67	0,46
sle	Danno	63%	75	0,226	2,52	0,19	1,50	0,12	0,35	1,69	0,51
slu	Salv. Vita	10%	712	0,427	2,69	0,30	1,50	0,16	0,47	1,77	0,75
slu	Collasso	5%	1462	0,502	2,76	0,31	1,50	0,16	0,48	1,80	0,83

Sulla base delle accelerazioni del terreno allo **Stato Limite di salvaguardia Vita (SLV)**, di seguito vengono calcolati i parametri correttivi necessari alla determinazione dei valori dello spostamento orizzontale (d_g) e della velocità orizzontale (v_g) massimi del terreno:

$$d_g = 0,025 * a_g * S * T_C * T_D = 0,1065$$

$$v_g = 0,16 * a_g * S * T_C = 0,3031$$



Spettro terreno SLV

Coefficienti Sismici:

SLV (Stato Limite di salvaguardia Vita):

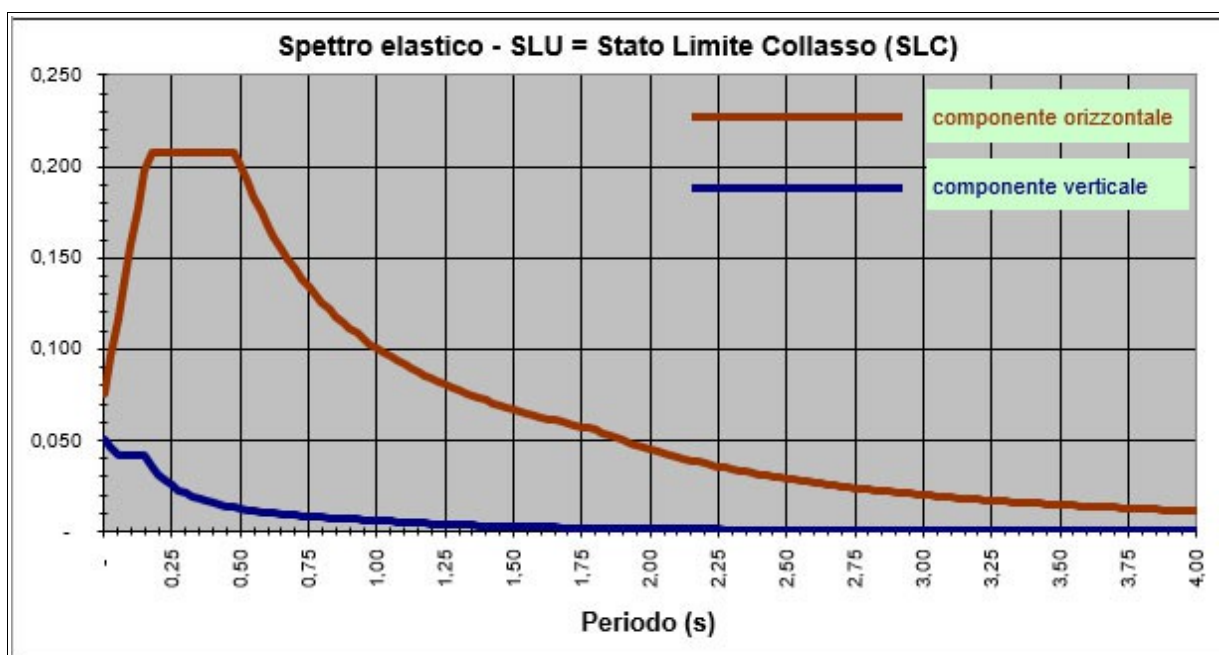
Kh: 0,287

Kv: 0,161

SLC (Stato Limite collasso):

Kh: 0,339

Kv: 0,213



Spettro terreno SLC

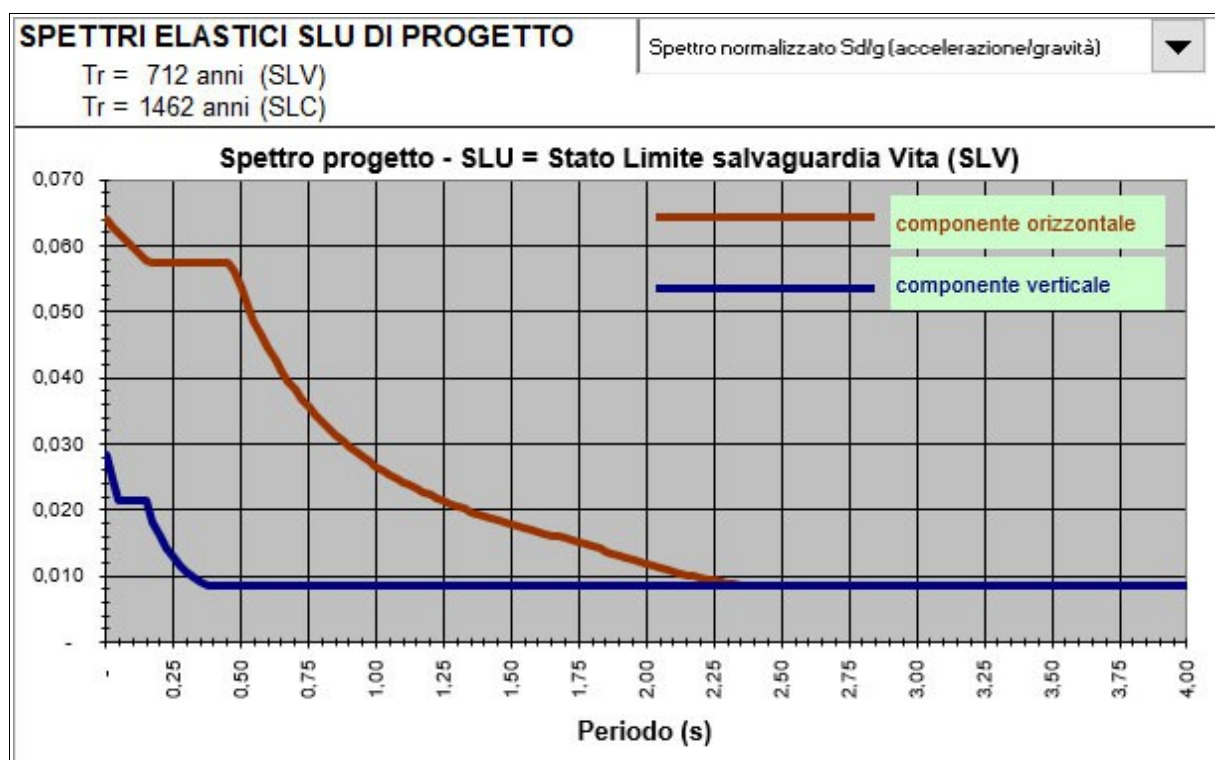
Considerando le strutture in progetto in una classe di duttilità B e regolari in altezza, si ipotizzano i seguenti fattori di struttura:

Smorzamento e fattore di Struttura	
Smorzamento viscoso equivalente	5
Behavior factor	Q sisma orizzontale 3,00
Behavior factor	Q sisma verticale 1,50

Sullo spettro sismico di progetto allo **Stato Limite di salvaguardia Vita (SLV)** si identificano i valori di accelerazione sismica relativa alle strutture (K_h di progetto e K_v di progetto) corrispondenti al valore della funzione in corrispondenza del periodo fondamentale delle stesse.

Tale periodo è funzione della tipologia di struttura e dell'altezza fuori terra dell'opera secondo la seguente relazione: $T = C_I \times H^{3/4}$ (considerando un'altezza indicativa di entrambe le strutture in progetto pari a 6,00 m ed una struttura a telaio in calcestruzzo armato $C_I = 0,075$).

Sponda: $T=0,28\text{ s}$ / $K_h=0,057\text{ Sd/g}$ / $K_v=0,011\text{ Sd/g}$



Spettro di progetto terreno SLV

4.2.3 Valutazione della suscettibilità ai fenomeni di liquefazione dei depositi presenti nel sottosuolo dell'area oggetto d'intervento

Al fenomeno della liquefazione sono di solito interessati quei depositi sabbiosi, saturi, che nel corso di una sollecitazione di tipo ciclico (evento sismico) subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio raggiungendo una condizione di fluidità, con conseguente instabilità, per cui il terreno tende a modificare la sua configurazione fino a raggiungere quella compatibile con la nuova situazione tensionale. In teoria la perdita della resistenza si verifica quando la pressione totale dell'acqua che riempie i pori interstiziali del materiale arriva ad eguagliare la pressione totale di sconfinamento, ovvero quando gli sforzi che si esercitano attraverso lo scheletro solido divengono nulli. Secondo il testo unico "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008, il rischio di liquefazione deve essere valutato per tutti i terreni suscettibili di tale comportamento. La verifica delle stratigrafie potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze riportate nel *paragrafo 7.11.3.4.2 della Gazzetta Ufficiale* **Esclusione della verifica a liquefazione** (dando come presupposto che tali livelli siano direttamente interessati dal carico delle strutture in progetto).

Tenendo conto di quanto sopra esposto si ritiene ragionevole, nell'area in esame, la probabilità che si verifichi il fenomeno della liquefazione del terreno in quanto sussistono i presupposti sismici, litostratigrafici e idrogeologici pertanto risulta necessario eseguire tale verifica.

5. CONCLUSIONI

La presente relazione geologico-geotecnica viene redatta in ottemperanza alle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", approvate con *D.M. 14 gennaio 2008 alla Circ. Min. Infrastrutture 02/02/2009 n.617 ed alla D.G.R. n.11-13058 del 19/01/2010 - Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n.3274/2003 e O.P.C.M. n.3519/2006)*, le indagini eseguite sono state finalizzate alla definizione delle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito e a fornire una stima di massima delle caratteristiche geotecniche dei materiali ricadenti nel volume significativo dei manufatti, verificando i possibili scenari di rischio e le problematiche esecutive. Tutto ciò, con il preciso intento di definire le potenzialità di fruizione dell'area in relazione al proprio assetto territoriale, verificando le condizioni di stabilità e l'eventuale presenza di elementi morfogenici dissestivi. E' stato quindi possibile

trarre le opportune valutazioni sulla compatibilità degli interventi con la situazione idrogeologica, geomorfologica e litologica locale. Sono stati forniti i dati e i parametri necessari per la progettazione della manutenzione ristrutturazione di una tratta della sezione idraulica del canale "Lanza", sita in Strada alla Diga, nel territorio comunale di Casale Monferrato (AL).

Il progetto di ristrutturazione prevede la realizzazione per una tratta di lunghezza nota pari a circa 395,00m a partire dal ponte di via XX Settembre sino ad una soglia in c.a. in direzione della diga del fiume Po.(c.f.r. Sezioni e Pianta):

- fondo alveo canale artificiale in c.a.;
- sponde alveo canale artificiale in c.a.

Il territorio oggetto d'indagine occupa un settore di pianura con una morfologia livellata, caratterizzata da modesti terrazzamenti, spesso antropici, che corrispondono al più recente ordine dei terrazzi fluviali: questi sono caratterizzati da depositi limosi, sabbiosi e ghiaiosi recenti, la cui genesi è attribuibile ai processi di dinamica fluviale ed alla normale attività deposizionale del fiume Po nel corso del Quaternario. In particolare l'area risulta di transizione con il margine collinare, rappresentato da alture poco elevate e morfologie particolarmente arrotondate, posto alla destra idrografica del fiume Po. La consultazione della documentazione geologica di P.R.G. comunale, ha permesso di verificare l'inserimento di tale area in una ***Classe di utilizzazione urbanistica IIIb4***.

Dal punto di vista litostratigrafico, l'area indagata di **Casale Monferrato** è rappresentata sulla Carta Geologica d'Italia al Fg 57 e 58, e risulta essere un insieme di strutture, nettamente più recenti di quelle alpine, costituite da una serie postorogena terziaria e da formazioni cretaceo-eoceniche a facies ligure, che appartengono al sub strato di tale serie. Il fenomeno, verosimilmente legato a sprofondamenti e sollevamenti differenziali nello spazio e nel tempo e riferibili alle fasi insubriche della tettonogenesi alpina, si è prodotto con modalità diverse nel Monferrato ed in corrispondenza della Pianura Padana. In particolare, l'indagine si localizza nell'ambito di affioramento della **ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI (a³)** la vicinanza al limite collinare della formazione di Casale Monferrato fa sì che si possano rinvenire aree in cui è presente la commistione fra i diversi elementi litologici. Per tanto lungo la tratta saranno possibili rinvenimenti anche di carattere argilloso di tipo marino.

Dal punto di vista idrogeologico locale, normalmente il flusso della falda freatica avviene verso Nord-Est, caratterizzato dall'azione drenante dell'alveo del fiume Po. Tuttavia possono essere presenti corpi lentiformi prevalentemente costituiti da argille

e limi, sufficientemente estesi, da creare piccole anomalie del gradiente idraulico e della direzione prevalente di flusso, unitamente a falde sospese o ad acquitardi.

Sulla base dei dati ricavati dai metadati forniti dal Geoportale Regione Piemonte "Arpa Piemonte Idrogeologia WMS" ed elaborati mediante "Terraexplorer" la falda si dovrebbe assestare mediamente intorno ai -9,00 m di profondità soggetta tuttavia ad ampia escursione stagionale. **In particolare nel corso dell'indagine geognostica e geofisica non è stata riscontrata una superficie di falda negli intervalli deposizionali indagati.**

Con la *Classificazione sismica dei comuni italiani - Allegato A. Con D.G.R. n.11-13058 del 19.01.2010*, la Regione Piemonte ha provveduto alla riclassificazione sismica del territorio regionale stabilendo per il comune di *Casale Monferrato* l'assegnazione della **Zona 4**. Nel caso in esame si è ritenuto opportuno classificare il profilo stratigrafico del suolo di fondazione come appartenente alla **Categoria C** di cui al *D.M. 14.01.2008*.

Le caratteristiche geotecniche dei materiali presenti nel sottosuolo sono state definite avvalendosi dei risultati ricavati da tre prova penetrometrica dinamica (DL 030) Sp1, Sp2 ed Sp3. Inoltre sono state realizzate due sezioni geoelettriche multipolari (S1 ed S2), realizzate misurando i valori della derivata del campo elettrico in corrispondenza di un allineamento di elettrodi di misura equispaziati.

Dall'analisi del modello geotecnico del sottosuolo e dai parametri sismici del terreno, il progetto di manutenzione e ristrutturazione della sezione idraulica del canale "Lanza", che non comporterà un aumento del carico antropico, risulta compatibile con il contesto geologico ed idrogeologico naturale, purchè tenga conto dei dati e delle indicazioni emerse dalla presente indagine. Trattandosi di interventi all'interno di un contesto già antropizzato, si ritiene che gli effetti indotti sull'ambiente circostante saranno nel complesso contenuti.

In tale fase, non sono ancora disponibili i valori dei carichi delle strutture applicati al terreno di fondazione; tuttavia, da quanto emerso nella presente indagine, per ciascuna tipologia di intervento (fondo canale e sponde), potranno essere realizzate strutture di fondazione di tipo superficiale (c.f.r. Paragrafo 3.1.1 e tabelle di sintesi parametri geotecnici). Le fondazioni di tipo superficiale continuo (fondazione a trave rovescia o platea) dovranno essere impostate obbligatoriamente, ad una profondità tale da poter intercettare come base di appoggio la litologia denominata "Sabbia e limo poco

addensati" (c.f.r. Paragrafo 3.1.2 e tabella di sintesi parametri geotecnici).

Come viene evidenziato dalle sezioni geoelettriche e dalle prove pentrometriche dinamiche, il carattere alluvionale di tipo lentiforme risulta essere il fattore dominante della condizione stratigrafica (non esiste una vera continuità stratigrafica in senso verticale ma solo litologica spaziale), indi per cui dovrà essere valutato in fase di scavo l'effettivo rinvenimento della litologia denominata "sabbia e limo".

In generale dalle condizioni emerse dall'interpretazione delle sezioni geoelettriche (c.f.r. Sezioni geofisiche S1/S2) sarà necessario asportare uno spessore variabile di circa 0,50 m di detrito inconsistente dal fondo dell'alveo per uniformare le condizioni di appoggio e produrre la sostanziale uniformità del medesimo. Analogo accorgimento, potrà essere adottato per le sponde, ma limitatamente alla loro regolarizzazione. Tutto il materiale asportato dovrà essere campionato e analizzato in modo da essere smaltito nelle apposite discariche. Tale operazione potrà eventualmente modificare le indicazioni di scavo che dovranno essere subordinate anche al referto qualitativo delle litologie asportate.

In ogni caso, il tecnico progettista dovrà, sulla base dei carichi della struttura applicati al terreno di fondazione ed al variare, con la profondità, delle caratteristiche geotecniche, trovare il necessario equilibrio al fine di evitare l'instaurarsi di eccessivi cedimenti in modo tale da renderli compatibili con il sistema fondazioni-terreno, tenendo anche conto dell'esigenza che la struttura in progetto non subisca cedimenti differenziali tali per cui i corpi di fabbrica possano inclinarsi e lesionarsi ed inoltre dovranno essere utilizzati tutti gli accorgimenti tecnici, tali da impedire, fenomeni di sifonamento delle acque.

Il Progettista delle strutture, dovrà eseguire tutte le verifiche nei confronti dei diversi Stati Limite strutturali e geotecnici utilizzando gli approcci previsti dalla vigente normativa in materia (D.M. 14.01.2008 e s.m.i.).

Il Tecnico incaricato, dovrà dimensionare e verificare, in modo cautelativo, tutte le opere controterra, sia di tipo provvisoria che definitiva affinché le stesse siano in grado di opporsi e contrastare adeguatamente la spinta del terreno; andrà quindi verificata la buona stabilità di tali opere, sia in fase esecutiva che a lavori ultimati, anche valutando l'effetto di possibili apporti idrici (superficiali e/o sub – superficiali, puntuali e/o diffusi) e, se necessario, in prospettiva sismica.

Dovrà inoltre essere realizzato un opportuno corpo drenante in corrispondenza di tutte le strutture contro-terra, che dovranno essere impermeabilizzate con materiale

apposito in grado di resistere all'azione dell'acqua (guaine con mescole elastoplastomeriche addizionate di promotori di adesione costituite da tessuto non tessuto di poliestere a filo continuo ad elevata grammatura), che contribuirà ad interrompere l'umidità trasmessa all'interfaccia fondazioni-terreno ed a non trasmettere l'eventuale umidità residua alle strutture in progetto.

In fase esecutiva, si dovranno rispettare le seguenti prescrizioni:

- gli scavi dovranno essere realizzati a campioni di ridotte dimensioni. Ogni fronte dovrà essere, qualora ne sia necessario, adeguatamente sostenuto al fine di garantire la sicurezza dell'area d'intervento e di un suo congruo intorno. Inoltre andranno evitate lunghe esposizioni dei fronti di scavo agli agenti atmosferici;
- i riporti, temporanei e/o definitivi, andranno depositati in aree la cui stabilità, sia stata verificata in fase esecutiva, al fine di garantire la sicurezza dei luoghi nel tempo;
- **i lavori dovranno essere eseguiti, inconfutabilmente, nei periodi a minor rischio piogge ed esondabilità;**
- i terreni di scavo prodotti, dovranno essere, previa campionamento (da parte di un Geologo) ed analisi chimica (da parte di un laboratorio accreditato), trasportati e depositati presso una discarica autorizzata.

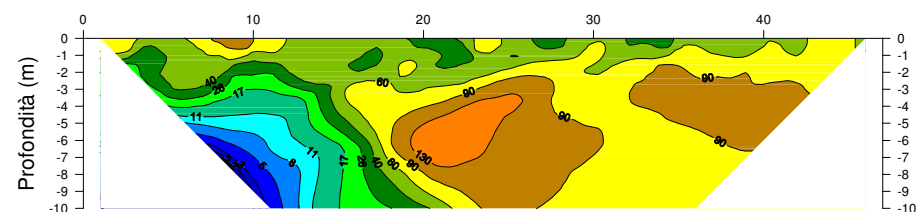
La validità delle ipotesi di progetto dovrà essere controllata durante la fase esecutiva considerando, oltre ai dati raccolti, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni effettuate nel corso dei lavori, per adeguare eventualmente l'opera alle situazioni riscontrate.

CASALE MONFERRATO, 18.07.2017

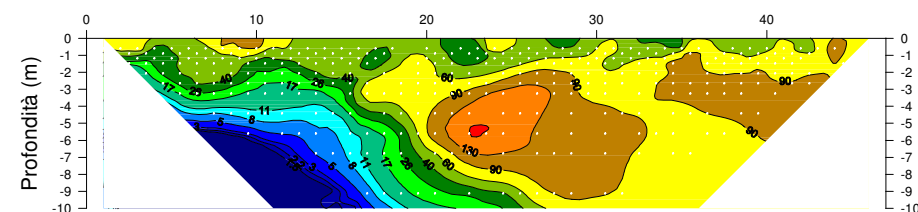
TECNICI INCARICATI

Dott. Geol. Paolo Bianco

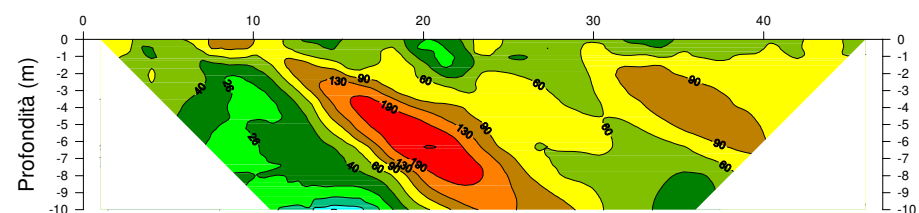
Dott. Geol. Roberto Furlan



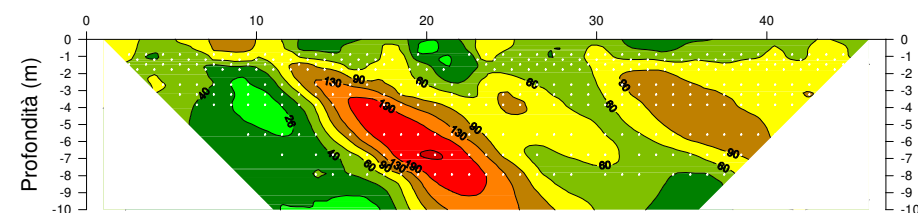
Resistività apparenti calcolate - dipoli diretti



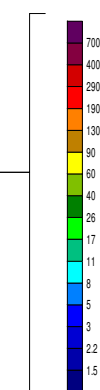
Resistività apparenti misurate - dipoli diretti



Resistività apparenti calcolate - dipoli inversi



Resistività apparenti misurate - dipoli inversi



Resistività (ohm*m)



Misure di resistività apparente e valori di resistività reale

Strumento: EEG AL48b

Elettrodi: 48

Energizzazione: 200W

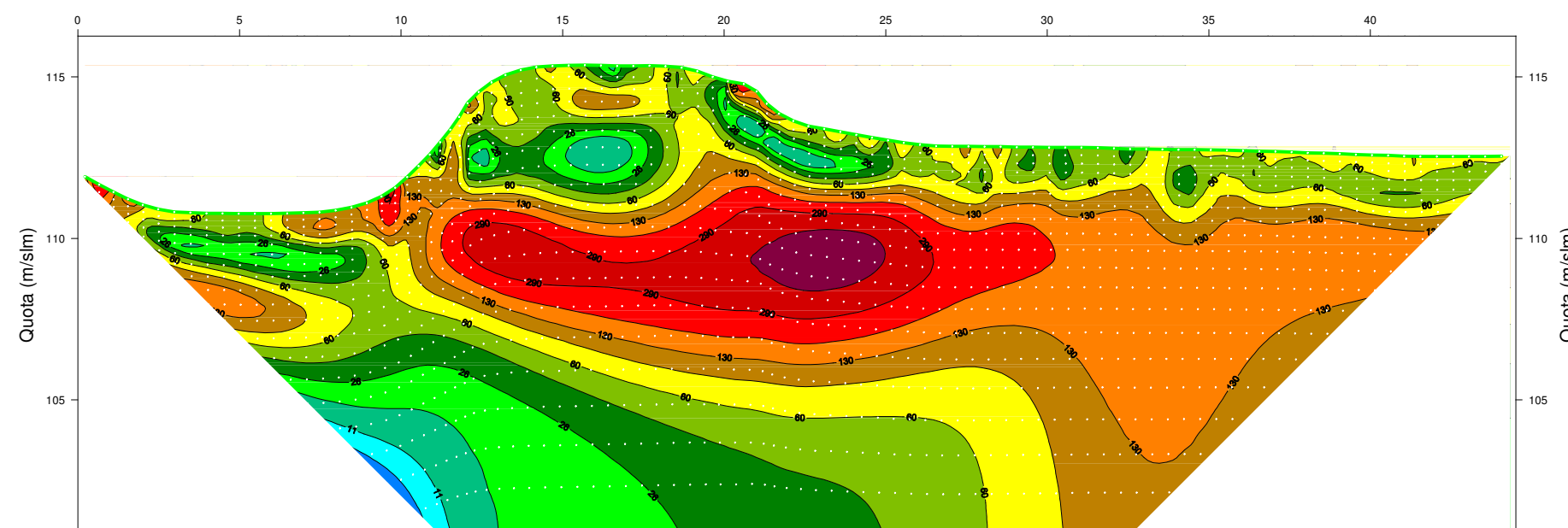
Elaborazione 2D: Res2dInv

Valori di resistività validi = 719

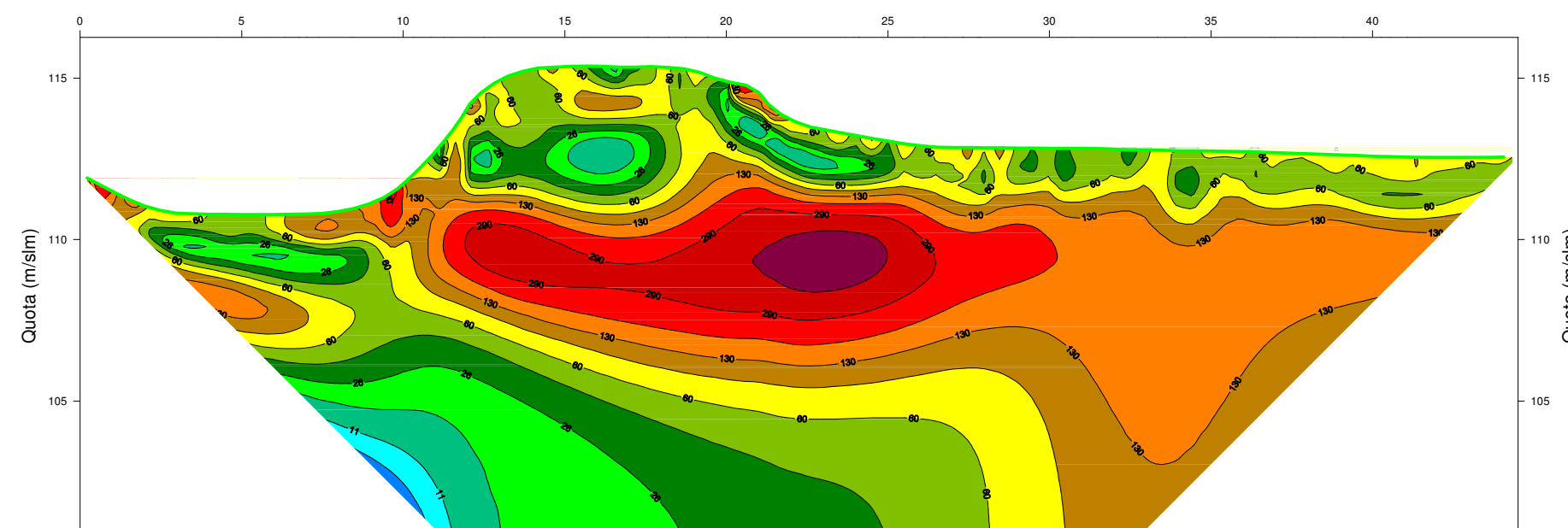
Errore di inversione (res.) = 7,5%

LEGENDA

- Terreni debolmente conduttivi associati a litotipi aerati eterogenei, prevalentemente fini, di superficie
- Terreni conduttivi associati a litotipi quali limi e sabbie limose
- Terreni resistivi associati a lenti di ghiaia e ghiaia sabbiaosa
- Terreni molto conduttivi associati ad Argille verdi



Modello di resistività reali del terreno



Interpretazione del modello di resistività

INDAGINE GEOELETTRICA

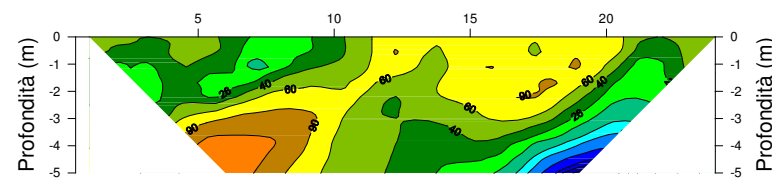
CANALE LANZA Casale Monferrato

Dott. Roberto Furlan Geologo

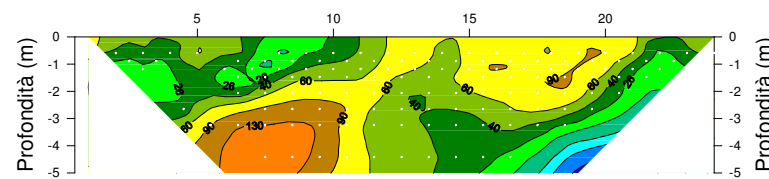
Studio della Resistività

SEZIONI GEOELETTRICHE 2D
SEZIONE 1

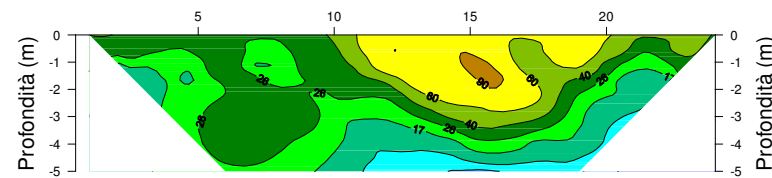
Luglio 2017



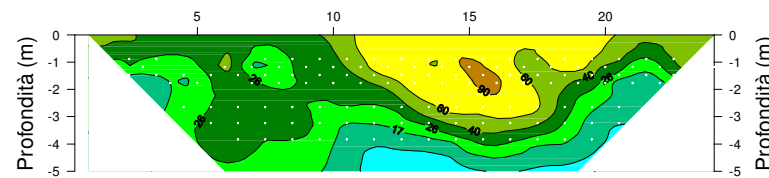
Resistività apparenti calcolate - dipoli diretti



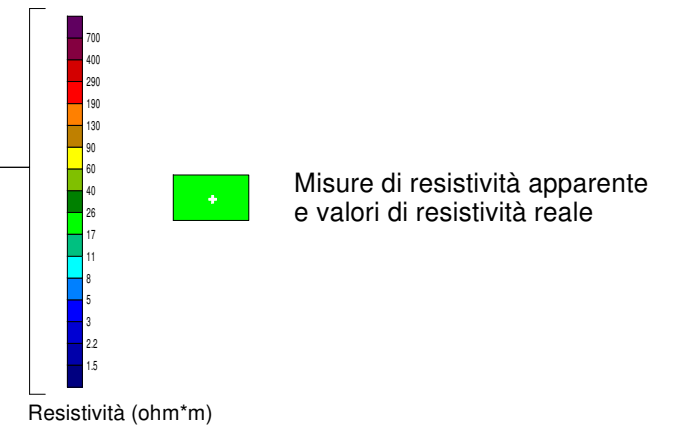
Resistività apparenti misurate - dipoli diretti



Resistività apparenti calcolate - dipoli inversi



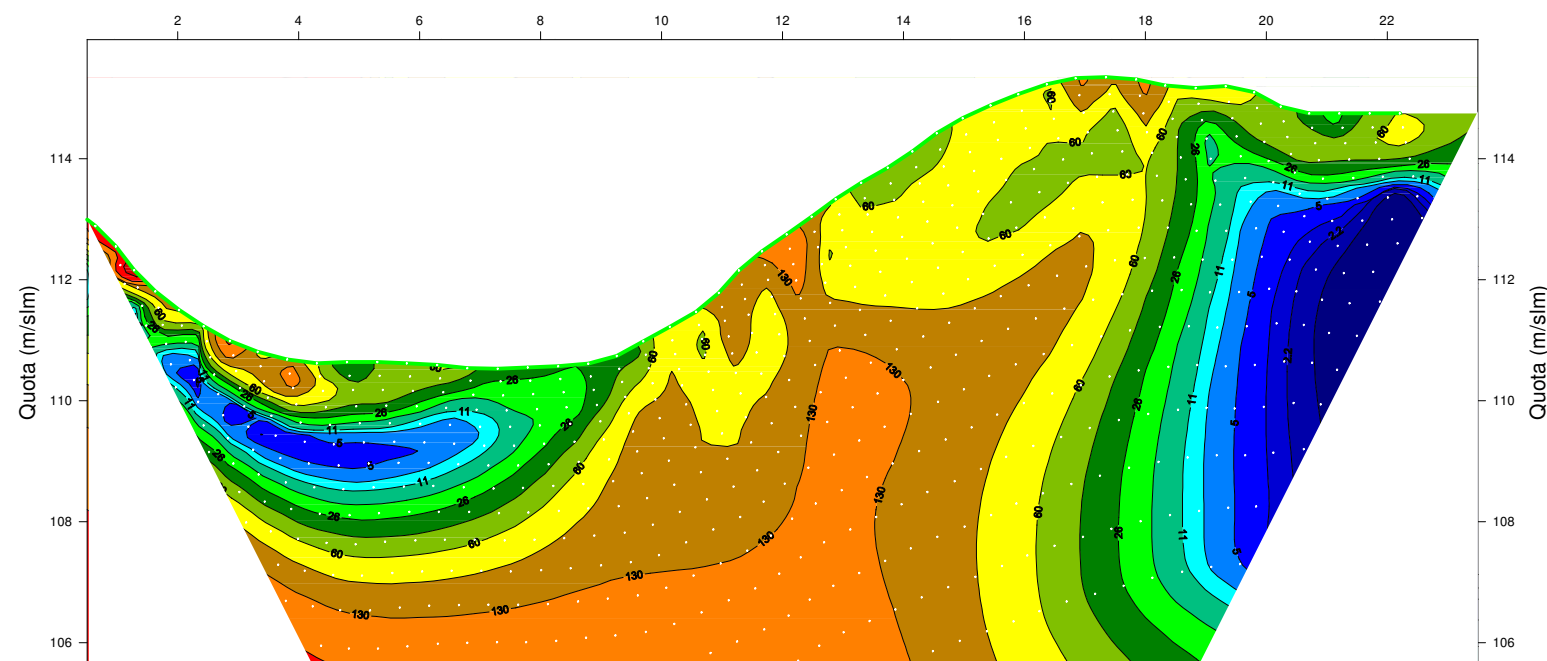
Resistività apparenti misurate - dipoli inversi



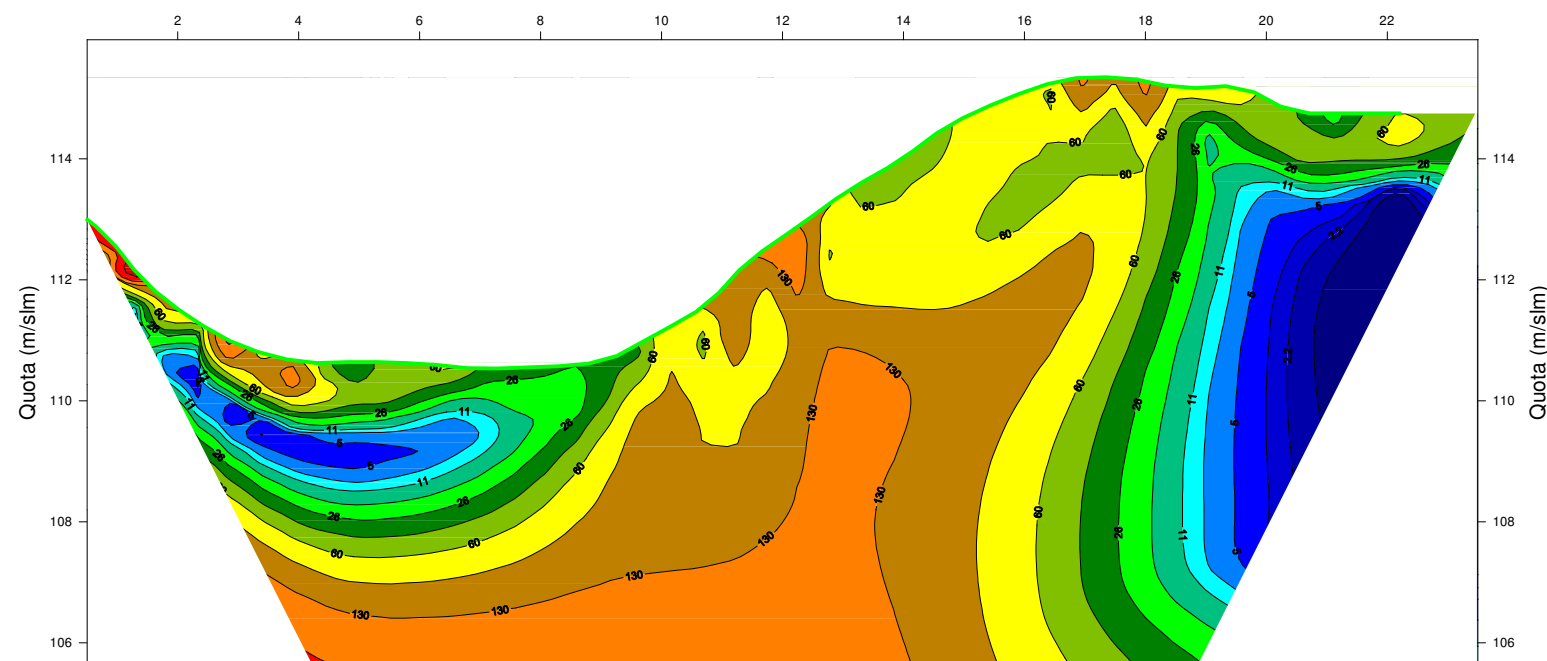
Strumento: EEG AL48b
Elettrodi: 48
Energizzazione: 200W
Elaborazione 2D: Res2dInv
Valori di resistività validi = 276
Errore di inversione (res.) = 6,5%

LEGENDA

- Terreni debolmente conduttivi associati a litotipi aerati eterogenei, prevalentemente fini, di superficie
- Terreni conduttivi associati a litotipi quali limi e sabbie limose
- Terreni resistivi associati a lenti di ghiaia e ghiaia sabbiosa
- Terreni molto conduttivi associati ad Argille verdi



Modello di resistività reali del terreno



Interpretazione del modello di resistività

INDAGINE GEOELETTRICA

CANALE LANZA Casale Monferrato

Dott. Roberto Furlan Geologo

Studio della Resistività

SEZIONI GEOELETTRICHE 2D
SEZIONE 2

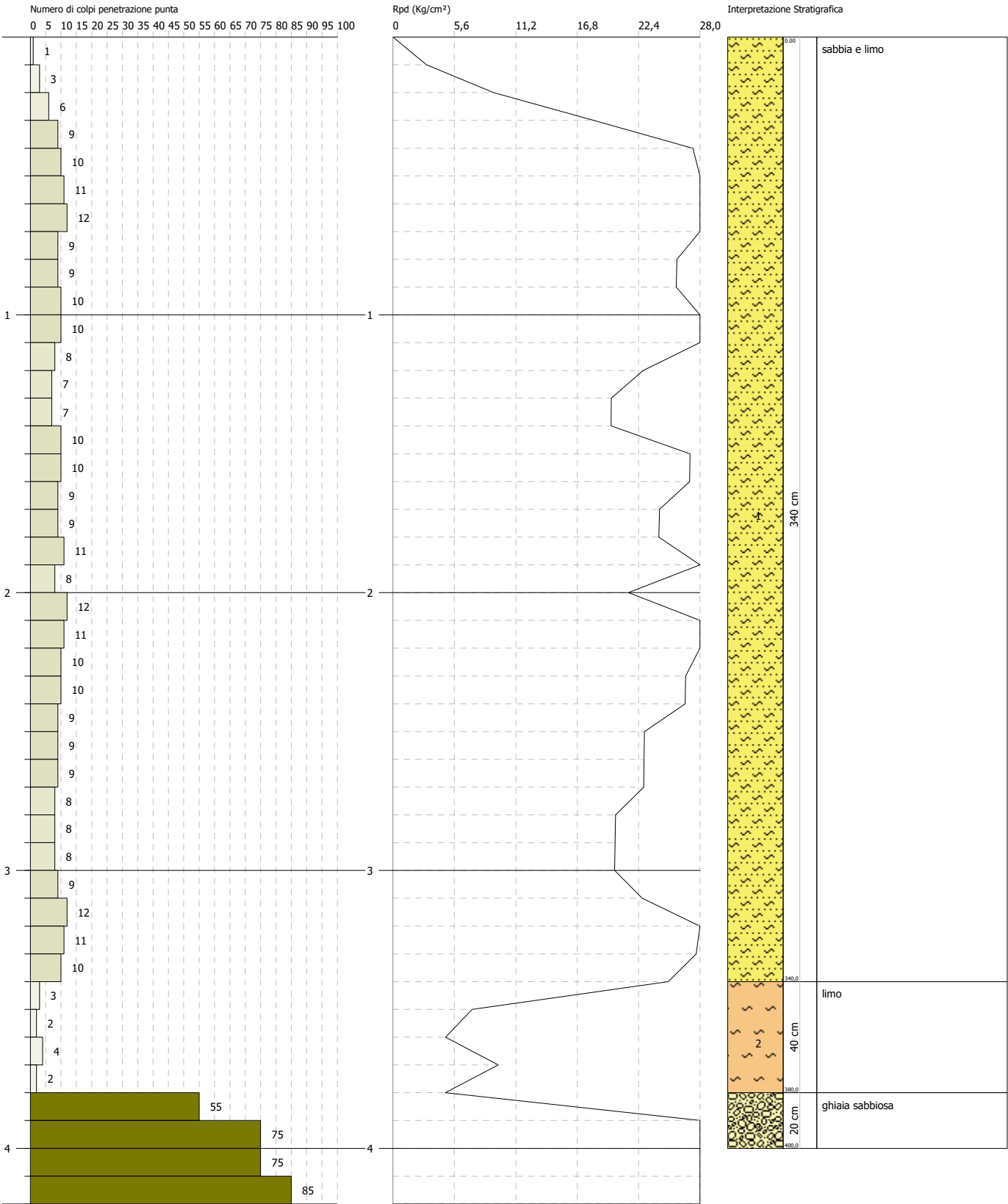
Luglio 2017

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Sp1
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente: Ing. Paolo Demagistris
Cantiere: Canale Lanza
Località: Casale Monferrato (AL)

Data: 11/07/2017

Scala 1:20

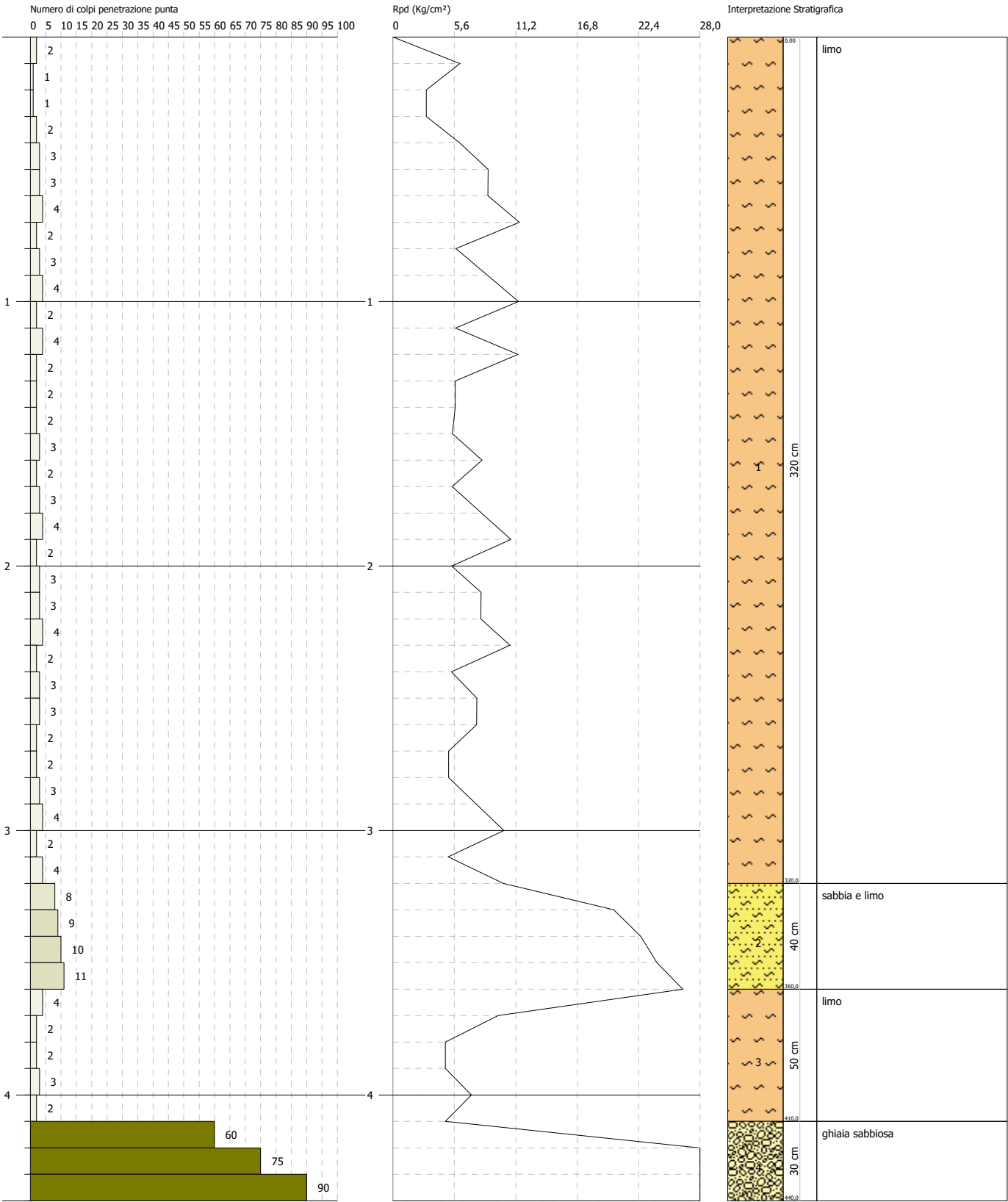


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Sp2
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente: Ing. Paolo Demagistris
Cantiere: Canale Lanza
Località: Casale Monferrato (AL)

Data: 11/07/2017

Scala 1:21

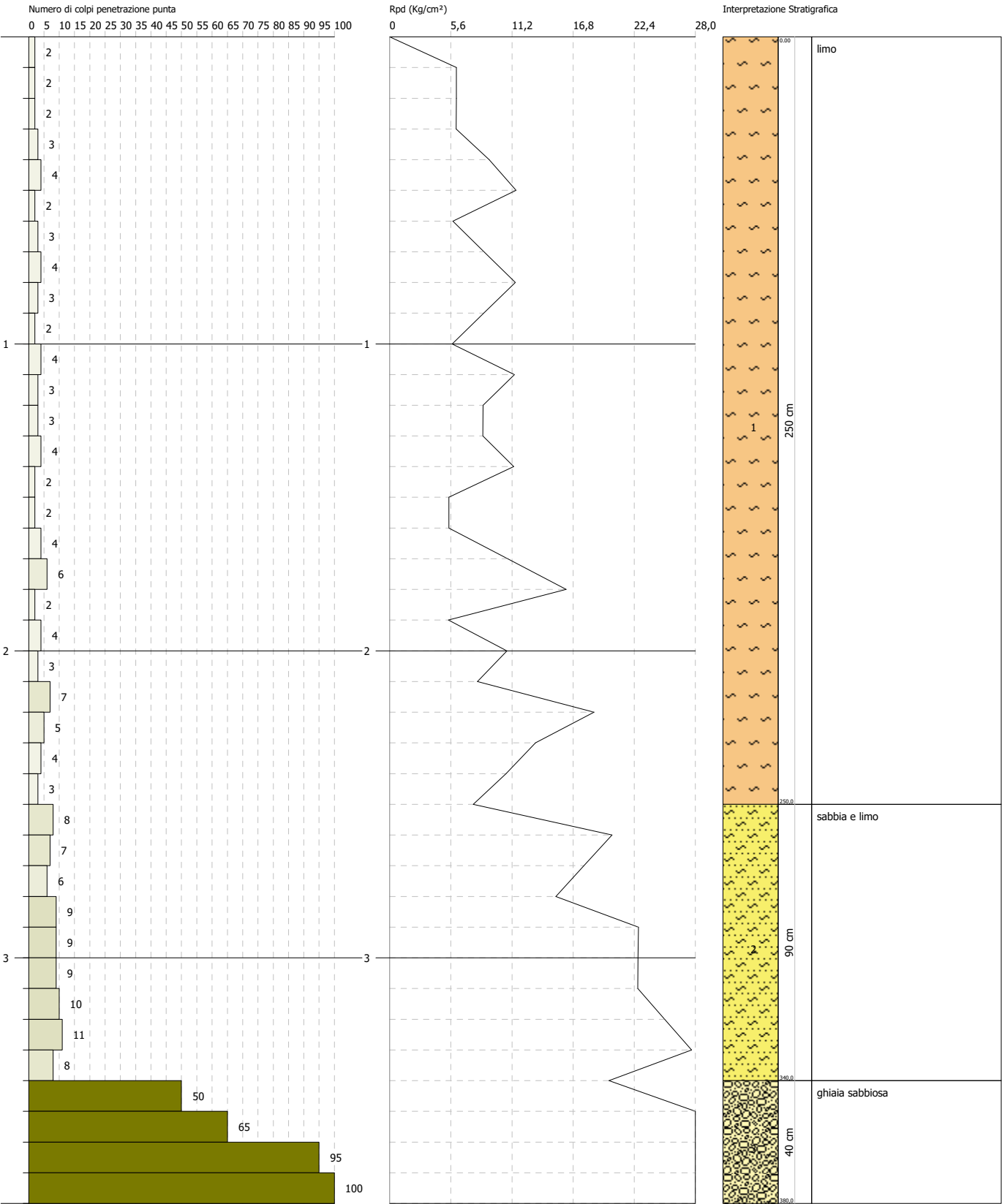


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Sp3
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente: Ing. Paolo Demagistris
Cantiere: Canale Lanza
Località: Casale Monferrato (AL)

Data: 11/07/2017

Scala 1:18



REPORT DI CALCOLO

PARAMETRI GEOTECNICI DEL SOTTOSUOLO

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL 030 SUNDA)

<i>Rif. Norme</i>	<i>DIN 4094</i>
<i>Peso Massa battente</i>	<i>30 Kg</i>
<i>Altezza di caduta libera</i>	<i>0,20 m</i>
<i>Peso sistema di battuta</i>	<i>18 Kg</i>
<i>Diametro punta conica</i>	<i>35,68 mm</i>
<i>Area di base punta</i>	<i>10 cm²</i>
<i>Lunghezza delle aste</i>	<i>1 m</i>
<i>Peso aste a metro</i>	<i>2,4 Kg/m</i>
<i>Profondità giunzione prima asta</i>	<i>0,40 m</i>
<i>Avanzamento punta</i>	<i>0,10 m</i>
<i>Numero colpi per punta</i>	<i>N(10)</i>
<i>Coeff. Correlazione</i>	<i>0,78</i>
<i>Rivestimento/fanghi</i>	<i>No</i>
<i>Angolo di apertura punta</i>	<i>90 °</i>

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di riportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M peso massa battente.

M' peso aste.

Haltezza di caduta.

Aarea base punta conica.

δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- R_{pd} resistenza dinamica punta (area A).
e infissione media per colpo (δ / N).
M peso massa battente (altezza caduta H).
P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N₁)₆₀

(N₁)₆₀ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa^n \sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (Liao \text{ e } Whitman \text{ 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

- ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,

- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5 \text{ t/mq}$.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15 \text{ t/mq}$.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15 \text{ t/mq}$.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.

Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio Vs (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.

- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cm^2)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con $I.P. > 15$.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI
Sequenza stratigrafica di progetto ridotta del 5° percentile
della distribuzione della media
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio parametri geotecnici utilizzabili esclusivamente
al fine della progettazione e verifica di fondazioni superficiali

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
3,2	2,69	8,85	Incoerente	0	1,4	1,87	0,22	0,78	2	limo
3,6	8,5	26	Incoerente	0	1,58	1,89	0,48	0,78	6	sabbia e limo
4,1	2,6	7,8	Incoerente	0	1,4	1,87	0,55	0,78	2	limo
4,4	65,33	196	Incoerente	0	2,24	2,17	0,61	0,78	50	ghiaia sabbiosa

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - limo	2	3,20	7,35	30,9	35,28	12,38
[2] - sabbia e limo	6	3,60	21,83	47,36	48,86	23,45
[3] - limo	2	4,10	3,4	26,6	27,93	12,38
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	68,11	100	100	80,36

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertman (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasa ki & Iwasaki
[1] - limo	2	3,20	2	27,57	20,57	28,56	29,37	30,37	0	<30	20,48	27,6	24,2	21,32
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	28,71	21,71	29,68	29,5	32,09	0	<30	24,49	28,8	32,82	25,95

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertman (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owaski & Iwaski
[3] - limo	2	4,10	2	27,57	20,57	28,56	27,44	30,37	0	<30	20,48	27,6	22,98	21,32
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	41,29	34,29	42	32,39	42,47	42	35-38	42,39	42	50,82	46,62

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni a ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - limo	2	3,20	2	---	16,00	---	---	---
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	---	48,00	---	---	---
[3] - limo	2	4,10	2	---	16,00	---	---	---
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	504,73	400,00	590,70	555,00	325,00

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - limo	2	3,20	2	---	31,57	14,20	46,92
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	---	39,79	42,60	64,76
[3] - limo	2	4,10	2	---	31,57	14,20	46,92
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	300,00	130,17	355,00	261,00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - limo	2	3,20	2	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - limo	2	4,10	2	Classificazione A.G.I	SCIOLTO

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - limo	2	3,20	2	Meyerhof ed altri	1,40
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	Meyerhof ed altri	1,58
[3] - limo	2	4,10	2	Meyerhof ed altri	1,40
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	Meyerhof ed altri	2,24

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - limo	2	3,20	2	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
[3] - limo	2	4,10	2	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,17

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - limo	2	3,20	2	(A.G.I.)	0,35
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	(A.G.I.)	0,34
[3] - limo	2	4,10	2	(A.G.I.)	0,35
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	(A.G.I.)	0,25

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - limo	2	3,20	2	124,70	190,91
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	350,25	373,56
[3] - limo	2	4,10	2	124,70	190,91
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	2570,07	1364,52

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - limo	2	3,20	2	Ohta & Goto (1978) Limi	84,45
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	Ohta & Goto (1978) Limi	118,12
[3] - limo	2	4,10	2	Ohta & Goto (1978) Limi	100,04
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	Ohta & Goto (1978) Limi	177,96

Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - limo	2	3,20	2	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - limo	2	4,10	2	Seed e Idriss (1971)	--
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - limo	2	3,20	2	Navfac 1971- 1982	0,27
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	Navfac 1971- 1982	1,22
[3] - limo	2	4,10	2	Navfac 1971-	0,27

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
				1982	
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	Navfac 1971- 1982	8,18

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - limo	2	3,20	2	Robertson 1983	4,00
[2] - sabbia e limo	6	3,60	6	Robertson 1983	12,00
[3] - limo	2	4,10	2	Robertson 1983	4,00
[4] - ghiaia sabbiosa	50	4,40	50	Robertson 1983	100,00



dott. Paolo Bianco - Geologo (3356700428)
dott. Roberto Furlan - Geologo (3493728956)
piazza Statuto,7 - 15033 Casale Monferrato (AL)
www.studiogeologiageo3.it info@studiogeologiageo3.it

Committente: Ing. Paolo Demagistris
Località: CANALE LANZA / Strada alla Diga – Casale Monferrato (AL)
Note: Luglio 2017

MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

SINTESI PARAMETRI fondazioni superficiali

VALORI CARATTERISTICI 5° PERCENTILE DISTRIBUZIONE DELLA MEDIA *

Profondità in metri da p.c. (valori medi tra le ppd realizzate)**	Nspt	Descrizione litologica degli strati	Gamma (t/m³)	Gamma Saturo (t/m³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm²)	Modulo Edometrico (Kg/cm²)	Modulo Elastico (Kg/cm²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm²)	velocità onde di taglio (m/s)
Da 0,00 a 3,20 e da 3,60 a 4,10	2	<i>Limo sciolto</i>	1,4	1,87	21,32	0	31,57	0	0,35	124,7	84,45
Da 3,60 a 4,10	6	<i>Sabbia e limo poco addensati</i>	1,58	1,89	29,68	0	39,79	0	0,34	350,25	118,12
Da 4,10 a 4,40	50	<i>Ghiaia sabbiosa addensata</i>	2,24	2,17	42	0	130,17	325	0,25	2570,07	177,96

Soggiacenza Falda: Assente

* i valori caratteristici possono essere utilizzati esclusivamente al fine del dimensionamento e verifica di fondazioni superficiali

** le profondità in metri dal p.c. sono indicative e relative al sondaggio Sp2 non esiste una vera continuità stratigrafica in senso verticale ma solo litologica spaziale