

**REGIONE PIEMONTE  
COMUNE DI ALESSANDRIA**

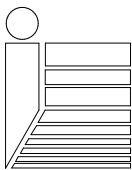
**PIANO ESECUTIVO CONVENZIONATO  
"NUOVA AREA COMMERCIALE ASTUTI"  
IN STRADA STATALE 10  
ALESSANDRIA-ASTI KM 1**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

Committente: Biasotti Group s.r.l.

Tecnici incaricati: ing. geol. Giuseppe Massone – ing. Rita Di Cosmo

Data: 16 luglio 2014



*Studio Associato Ing. geol. Giuseppe Massone Ing. Rita Di Cosmo  
Via Martiri della Libertà 20 - 15040 Castelletto Monferrato (AL)  
tel. 0131 239460 fax 0131 233320 e-mail: geomassone@libero.it*



## **SOMMARIO**

|  |                  |
|--|------------------|
| <b><u>§ 1.   PREMESSA</u></b>  | <b><u>3</u></b>  |
| <b><u>§ 2.   INQUADRAMENTO TERRITORIALE</u></b>  | <b><u>4</u></b>  |
| § 2.1.   UBICAZIONE  | 4                |
| § 2.2.   ESAME DEGLI ELABORATI GEOLOGICI DI PRGC   | 5                |
| § 2.3.   INTERVENTI DI MINIMIZZAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO  | 13               |
| <b><u>§ 3.   CLASSIFICAZIONE SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DEI<br/>TERRENI AI SENSI DELLE NTC 2008</u></b> | <b><u>17</u></b> |
| <b><u>§ 4.   INQUADRAMENTO GEOLOGICO</u></b>   | <b><u>20</u></b> |
| § 4.1.   INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE  | 20               |
| § 4.2.   SITUAZIONE GEOLOGICA E STRATIGRAFICA LOCALE   | 21               |
| <b><u>§ 5.   CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA</u></b>   | <b><u>24</u></b> |
| § 5.1.   INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE  | 24               |
| § 5.2.   SITUAZIONE IDROGEOLOGICA LOCALE   | 27               |
| <b><u>§ 6.   CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</u></b>  | <b><u>30</u></b> |
| § 6.1.   PROVE PENETROMETRICHE: DESCRIZIONE DELLA<br>METODOLOGIA ADOTTATA                                | 30               |
| § 6.2.   INTERPRETAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE   | 31               |
| § 6.3.   DESCRIZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE   | 36               |
| § 6.4.   ASSEGNAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI   | 36               |
| <b><u>§ 7.   CONCLUSIONI</u></b>   | <b><u>38</u></b> |



## § 1. PREMESSA

La presente relazione costituisce lo studio geologico tecnico di supporto al progetto di PEC, per la formazione di Nuova Area Commerciale Astuti, in Strada Statale n. 10 Alessandria – Asti, km 1, in Comune di Alessandria.

Lo studio si articola nello sviluppo dei seguenti punti:

- esame dell'area sotto l'aspetto geomorfologico ed idrogeologico;
- rilievo geomorfologico e geologico - applicato di dettaglio;
- indagine geognostica finalizzata alla definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni ed alla eventuale presenza di acque sotterranee;

Al fine di caratterizzare i terreni in sito dal punto di vista litostratigrafico, geotecnico e sismico, è stata eseguita una campagna di indagini in sito, così composta:

- n.10 prove penetrometriche dinamiche continue DPSH;
- n.1 stendimento geosismico tipo MASW

La presente relazione è stata redatta ai sensi della seguente normativa:

- D.G.R. Piemonte n.64-11402 del 23/12/2003;
- D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni".
- Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008



## § 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### § 2.1. Ubicazione

L'area in esame ricade a Nord-Ovest del concentrico del comune di Alessandria in Località Astuti.

Si tratta di un ampio e regolare appezzamento delimitato a nord dalla S.S. n. 10 Alessandria - Asti e a sud dalla linea ferroviaria Torino-Alessandria, che corre su di un alto rilevato rispetto alla quota media del sito. La quota media del piano campagna è di circa 91.40 m s.l.m. come desumibile da un estratto dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (sezione n. 176080 "Alessandria") riportata in allegato con legenda geologica.

La morfologia del sito è pressoché pianeggiante: il terreno si presenta piuttosto depresso rispetto alla quota del tracciato stradale sopraccitato ed ha una modesta inclinazione verso Sud, ossia verso l'asta del Tanaro.

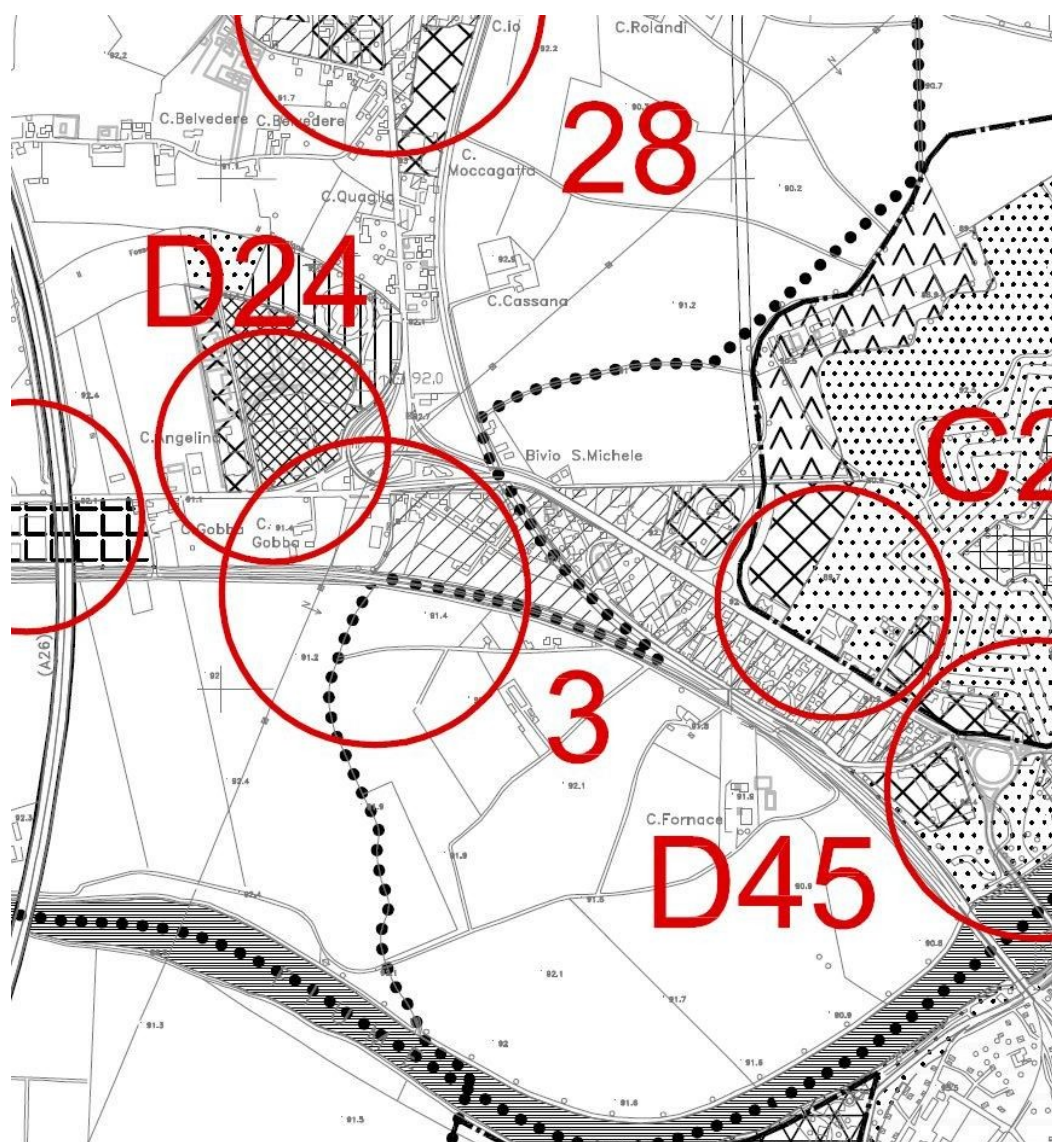


Figura 1: Vista aerea del sito (fonte Bing Maps)



## § 2.2. Esame degli elaborati geologici di PRGC

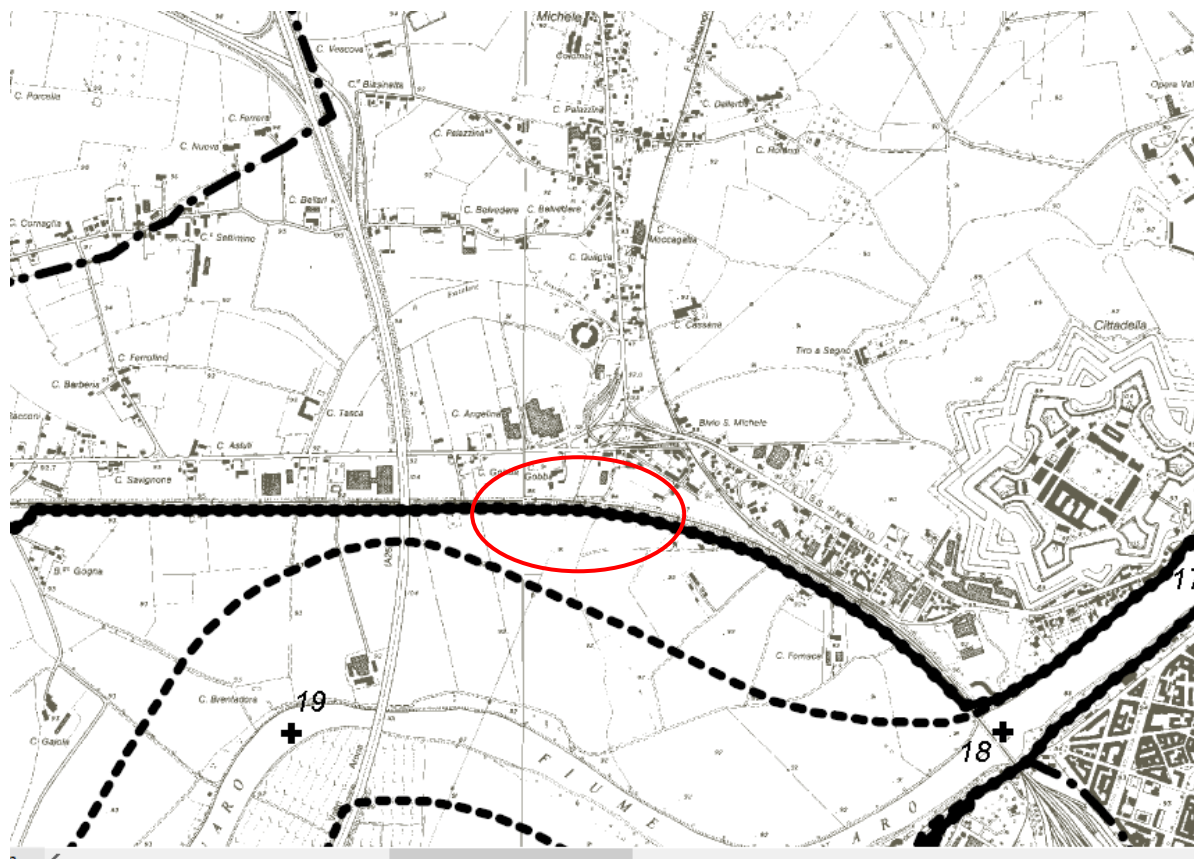
La nuova area a PEC qui in esame è stata oggetto, unitamente ad una serie di altri siti ad uso produttivo, della Variante Parziale al PRG, il cui progetto definitivo è stato adottato con Deliberazione C.C. n.71 del 21/05/2014. Nella Figura sottostante l'area in esame oggetto di variante è identificata con il numero 3.



*Figura 2: estratto tavola con indicazione aree oggetto di variante*

L'area ricade all'interno della Fascia C del Fiume Tanaro, come visibile nell'estratto della tavola di delimitazione delle fasce fluviali del PAI, di cui alla Figura seguente.

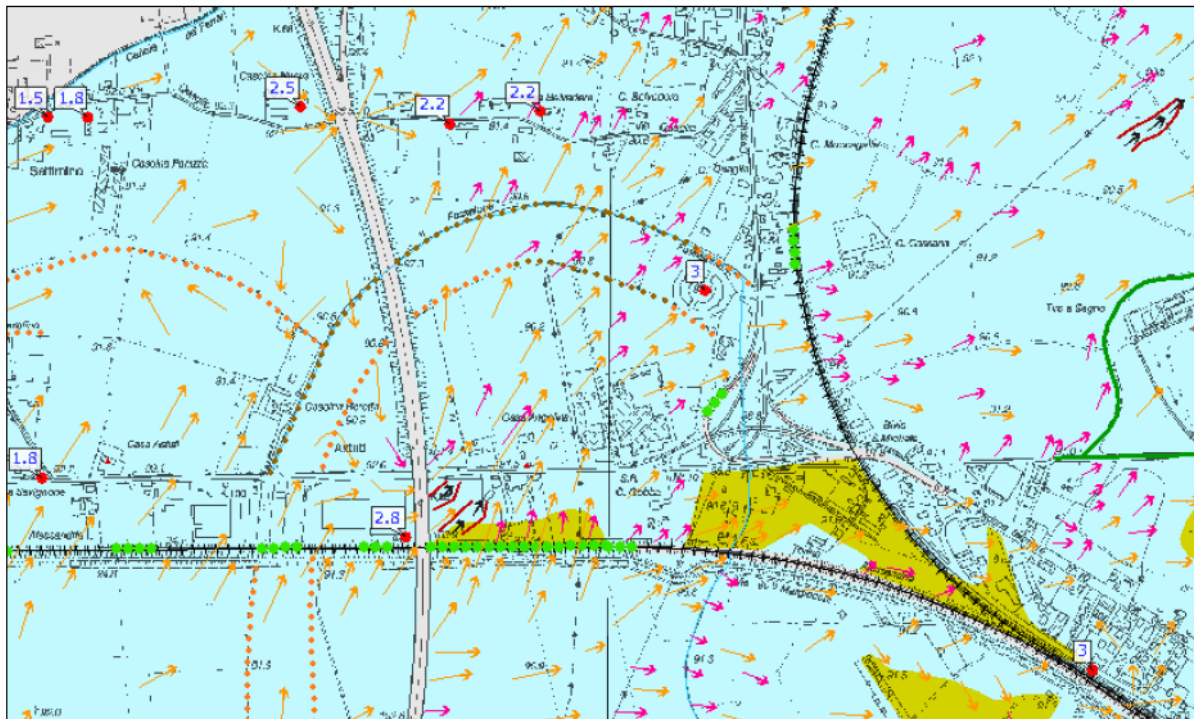




|  |  |
|--|--|
|  | limite (*) tra la Fascia A e la Fascia B             |
|  | limite (*) tra la Fascia B e la Fascia C             |
|  | limite (*) esterno della Fascia C                    |
|  | limite (*) di progetto tra la Fascia B e la Fascia C |

Figura 3: Estratto della tavola di delimitazione delle fasce fluviali del PAI - Foglio 176 Sezione I - Alessandria- Tanaro 03 Bormida 02

Il sito è stato interessato dall'alluvione del 1994 e come osservabile nella Figura 4 è stato interessato da battenti d'acqua piuttosto importanti a seguito del cedimento del rilevato ferroviario, in località Astuti, a cui è seguita un'ondata di piena, che si è riversata fino al bivio per San Michele ed al casello autostradale.



*Figura 4: Estratto carta aree inondate dal Tanaro nel 1994 (fonte Webgis Arpa Piemonte)*

Nella carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'ideoneità all'utilizzazione urbanistica del PRGC vigente, l'area viene classificata in Classe *IIIb $\alpha$*  come mostra la figura n.5.



b Aree edificate



**IIIb $\alpha$**  Aree ubicate all'interno della Fascia C e/o a retro della Fascia B di Progetto e nelle Frazioni di Spinetta Marengo e Litta (N.d.A. art. 51).

Figura 5: Estratto carta di sintesi studio geologico allegato alla III Variante Strutturale al PRGC - dicembre 2010

Per la Classe *IIIb $\alpha$*  all'art. 51 delle Norme di Attuazione del PRG così come modificate dalla Variante Parziale maggio 2014, si legge quanto segue:

*“Aree ubicate all'interno della Fascia C e/o a retro della Fascia B di Progetto e nelle Frazioni di Spinetta Marengo e Litta. Alle aree in Fascia C si intendono estese le norme della fascia B fino al completamento delle opere di difesa idraulica e/o riassetto territoriale. In tali ambiti la fruibilità urbanistica avverrà in conformità ai disposti dell'art. 28, secondo le modalità precisate dal relativo “Regolamento di Attuazione” (adottato con D.C.I. n. 11 del 5/04/2006), e del comma 5 dell'art. 31 delle Norme di Attuazione del PAI, nonché, per quanto concerne il Ponte*





*Cittadella, alla verifica della “Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce A e B (adottata con D.C.I. n. 2 dell’11/05/1999, aggiornata con D.C.I. n. 10 del 5/04/2006. In seguito all’avvenuta realizzazione delle opere di difesa e/o di riassetto territoriale che l’Amministrazione Comunale riterrà sufficienti alla minimizzazione del rischio esistente, potranno essere consentite nuove edificazioni alle seguenti condizioni:*

- 1. accertamento geotecnico nel rispetto del D.M.L.P. 11/3/1988 e del D.M. 14/01/2008 e s.m.i., volto a determinare la quota di imposta delle fondazioni;*
- 2. esecuzione preventiva di una corretta regimazione delle acque superficiali e di falda, previa relazione geologica;*
- 3. l’edificazione finalizzata a destinazioni d’uso che comportano la presenza continuativa di persone dovranno essere realizzate in ambienti aventi il piano di calpestio ad una quota di sicurezza come riportato indicativamente nell’allegata Tabella A e/o da valutazioni idrauliche puntuali. Tale valutazione può essere redatta a cura del soggetto attuatore dell’opera o, tramite iniziativa pubblica;*
- 4. è consentita la realizzazione di locali al piano terra, purché adibiti esclusivamente ad autorimessa, cantine o depositi, che non si approfondiscano oltre 0,30 m dal piano strada;*
- 5. le sistemazioni esterne relative alle recinzioni di proprietà ad eccezione del centro storico, sia su fronte stradale (pubblica o privata) sia sui confini laterali, devono essere formate con siepi vive di altezza non superiore a m. 2 con interposta eventuale rete metallica plastificata oppure con cancellata a giorno, con zoccolatura (minore o uguale a cm 20) provvista di idonei scoli per le acque;*
- 6. in queste aree è ammessa la costruzione di piani seminterrati o interrati, (il cui accesso avvenga comunque attraverso vie d’ingresso che si sviluppino a partire da quote superiori o uguali a*



*quelle indicate in tabella A) a una quota più bassa di quella di riferimento (Tabella A) o a quella della massima escursione della falda, purché adibiti esclusivamente ad autorimessa, cantine, depositi senza presenza continuativa di persone, previa esecuzione delle specifiche indagini di cui alla lettera H del D.M. 11 marzo 1988, il cui accesso avvenga comunque attraverso vie d'ingresso che si sviluppino a partire da quote superiori o uguali alla quota di riferimento (Tabella A); la realizzazione di piani seminterrati o interrati non dovrà interferire con il regime della falda idrica e sarà pertanto subordinata ai risultati di preventive indagini volte alla verifica della soggiacenza della falda e della relativa escursione massima annuale e storica, dalla quale dovrà essere garantito un franco di almeno 50 cm. I locali seminterrati o interrati dovranno essere realizzati adottando gli accorgimenti tecnici atti a impedirne l'allagamento e a garantirne la fruizione in condizioni di sicurezza. Il ricorso all'innalzamento artificiale del piano campagna è permesso qualora sia accertato che tale intervento non provochi innalzamenti anomali del livello idrico, nel corso di fenomeni di allagamento, tali da provocare maggiori danni nelle aree adiacenti. Gli interventi devono assicurare il mantenimento e il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area, l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti e con la sicurezza delle opere di difesa esistenti. Come previsto dal comma 7 dell'art. 18 delle NTA del PAI, all'interno delle aree comprese in Fascia C il soggetto attuatore è tenuto a sottoscrivere un atto liberatorio che escluda ogni responsabilità dell'amministrazione pubblica in ordine a eventuali futuri danni a cose e a persone comunque derivanti da fenomeni di allagamento dei locali interrati.*

7. *Come previsto dal comma 7 dell'art. 18 delle NTA del PAI il soggetto attuatore è tenuto a sottoscrivere un atto liberatorio che escluda ogni responsabilità dell'amministrazione pubblica in ordine*



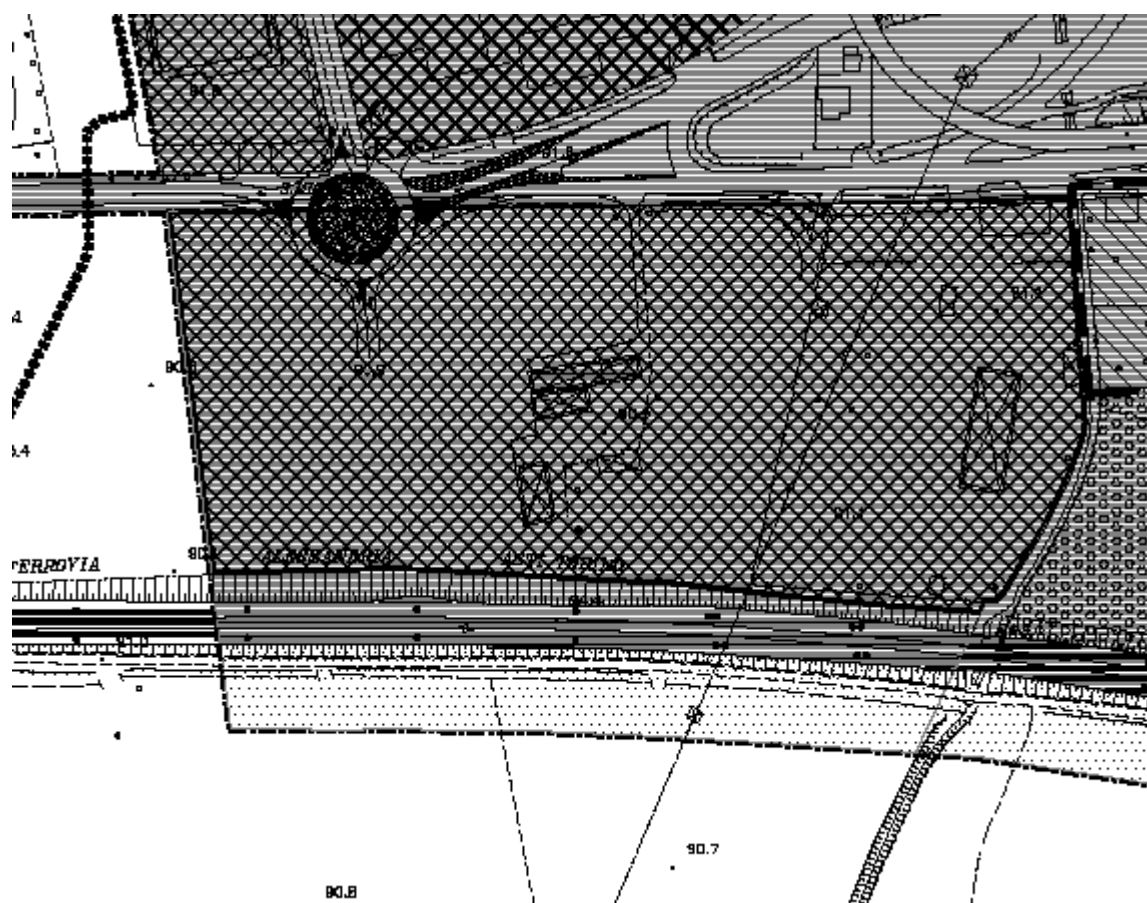
*a eventuali futuri danni a cose e a persone comunque derivanti da fenomeni di allagamento dei locali interrati.*

8. *in queste aree sono vietati lo stoccaggio e la realizzazione di discariche di ogni tipo di rifiuti.*

*Per le aree ascritte alle classi II a, IIIba, IIIb $\beta$ , IIIby, IIIa (con problematiche di allagamento imputabili ai Fiumi Tanaro e Bormida) negli allegati alle richieste di intervento dovranno essere presenti i seguenti elaborati:*

- A. *Relazione geologica redatta ai sensi del D.M. 11.03.88 n. 47 e s.m.i e del D. M. 14/01/2008 e s.m.i., comprensiva di una valutazione del rischio idraulico.*
- B. *Relazione geotecnica redatta ai sensi del D.M. 11.03.88 n. 47 e del D. M. 14/01/2008 e s.m.i.*

Facendo riferimento alla dichiarazione del 15 giugno 1999 dell'arch. Milanese, estensore del PRGC datato 1990, i locali commerciali quale quello in esame non sono classificabili tra quelli che prevedono la presenza continuativa di persone e pertanto non sono soggetti al rispetto delle quote di cui alla Tabella A sopra citata.



Aree per attività produttive:



aree per insediamenti industriali;

N d A, art. 40



aree per insediamenti artigianali e di deposito;

N d A, art. 41



aree per attività produttive e depositi a destinazione temporanea;

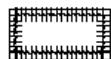
N d A, art. 42

Aree ad edificabilità controllata:



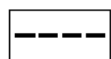
aree ed edifici soggetti ad inondazione per piena catastrofica;

N d A, art. 51 bis



aree soggette a tutela per presenza di elementi archeologici (v. 1:5000);

N d A, art. 49 quater



delimitazione delle aree di salvaguardia ambientale;

N d A, art. 49 bis



edifici di pregio ambientale, architettonico e documentario;

N d A, art. 49 ter

*Figura 6: Estratto tavola 4-19 "Destinazione d'uso del suolo"*

*Variante Parziale PRGC Maggio 2014*



### **§ 2.3. Interventi di minimizzazione del rischio idraulico**

Con il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali dell’Autorità di Bacino del Fiume Po, adottato con deliberazione n.26/97 dal Comitato Istituzionale in data 11.12.97, si sono previsti una serie di interventi volti al ripristino dell’assetto idraulico, alla eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici, nonché al ripristino delle aree di esondazione nelle regioni colpite dagli eventi alluvionali del ’94, di cui all’art. 4 comma 5 della Legge 22/95. Tutti gli interventi considerati sono stati programmati successivamente all’evento alluvionale del novembre 1994. L’elaborazione dei dati idrologici riferiti a tale evento, preso come riferimento, la cui ripetibilità è stata stimata superiore ai 200 anni, ha permesso una modellizzazione di questa piena. Questa modellizzazione, effettuata dall’Hydrodata di Torino, ha determinato le quote idriche massime del fiume cui riferirsi per contrapporre un’adeguata difesa spondale al ripetersi di un evento analogo.

L’edificabilità, nell’area in oggetto, risulta condizionata dal completamento delle opere di difesa idraulica e riassetto territoriale, in conformità ai disposti dell’art.28, secondo le modalità precisate dal relativo “Regolamento di Attuazione” (adottato con D.C.I. n. 11 del 5/04/2006), e del comma 5 dell’art. 31 delle Norme di Attuazione del PAI.

Sui due corsi d’acqua principali (Tanaro e Bormida) alcuni interventi sono stati già eseguiti ed altri sono in corso di esecuzione da parte di AIPO. A tale proposito, come rilevato da pubblicazione dell’AIPO risalente ad ottobre 2013, si riepilogano i principali interventi in corso di completamento, a seguito dell’evento alluvionale, che ha colpito vaste aree della Regione Piemonte nei giorni del 28-29/04/2009 e che ha portato all’emissione del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri “Interventi urgenti di protezione civile, diretti a fronteggiare i danni conseguenti alle intense ed eccezionali avversità atmosferiche, verificatesi nel mese di aprile 2009 nel territorio della Regione Piemonte e delle province di Piacenza e Pavia e nei giorni dal 26 al 30 aprile 2009 delle



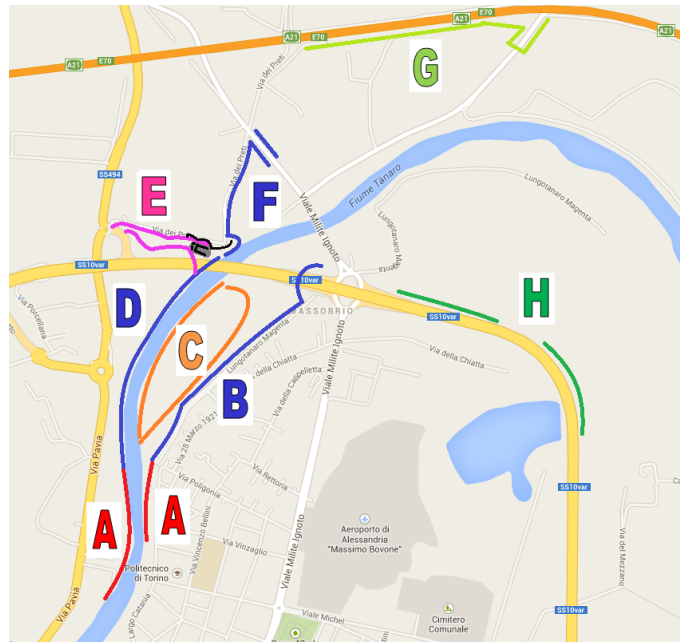


province di Lodi e Parma, nonché alla violenta mareggiata che nei giorni 26 e 27 aprile 2009 ha interessato le province di Ferrara, Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini” (Ordinanza n. 3835 del 29/12/2009). In attuazione dell’ordinanza 3835/2009, il Commissario delegato per la Regione Piemonte con ordinanza n. 1/DB14.00/1.2.6/3835 ha individuato il Comune di Alessandria quale comune danneggiato dagli eventi dell’aprile 2009 e ha approvato il primo programma stralcio ai sensi dell’art. 1, comma 3 dell’O.P.C.M. 3835/2009 per gli interventi da realizzare.

AIPO stessa è stata individuata quale soggetto attuatore per gli interventi, così suddivisi:

1. Realizzazione della chiavica in corrispondenza della confluenza del Rio Loreto;
2. Adeguamento in quota e completamento argine dx e sx F. Tanaro dall'ex ponte della Cittadella alla confluenza Bormida in comune di Alessandria e completamento sistema arginale in corrispondenza dell'immissione del Rio Loreto;
3. Completamento del sistema arginale in sx Bormida a monte confluenza dal rilevato ferroviario della linea TO-GE allo svincolo della ex SS 10.(lavori ultimati a maggio 2013).

Nella figura seguente con relativa legenda sono riportati schematicamente gli interventi sopra citati



**A - Adeguamento in quota mediante rialzo del muro arginale in sponda destra (106 cm) e sinistra (62 cm).**

**B - Adeguamento arginatura in sponda destra, massicciata in sommità argine e raccordo con tangenziale. Il paramento lato fiume sarà protetto con materassini tipo «Reno».**

**C - Area di prelievo di terra per la formazione e il rialzo degli argini**

**D - Adeguamento arginatura in sponda sinistra e rialzo con muro in cemento armato rivestito con lastre effetto graniglia. Il paramento arginale lato fiume verrà impermeabilizzato con lastroni in calcestruzzo.**

**E - Costruzione argini di rigurgito per il Rio Loreto, chiavica ed edificio servizi, muri di sponda (300 cm circa) e diaframmi.**

**F - Adeguamento in quota argine esistente tra lo sbocco del Rio Loreto e il rilevato autostrada A21. In prossimità dell'attraversamento dell'argine con Viale Forlanini è prevista la realizzazione di una chiavica per lo scolo del fosso esistente.**

**G - Realizzazione di un nuovo rilevato di circa 1,1 km a lato del tracciato dell'Autostrada A21. È prevista la costruzione di cinque nuove chiaviche minori per garantire la continuità dei fossi esistenti.**

**H - Chiusura di due varchi:**

- Localizzato accanto al rilevato della tangenziale a valle della rotatoria del Viale Milite Ignoto, la chiusura verrà realizzata mediante 3 chiaviche inserite nel corpo arginale esistente.
- Localizzato accanto al rilevato della tangenziale a livello di Canale Carlo Alberto. Realizzazione di un nuovo corpo arginale di circa 200 metri, in corrispondenza dell'attraversamento del Canale Carlo Alberto è previsto l'inserimento, all'interno del corpo arginale, di una chiavica munita di paratoia.

Per quanto riguarda più direttamente il sito in esame, le principali problematiche sono legate allo smaltimento delle acque bianche in concomitanza di eventi meteorici straordinari. A tale proposito nel 2011 AIPO ha provveduto con lavori di somma urgenza alla sistemazione della tubazione sottostante il rilevato arginale in corrispondenza della chiavica sponda sinistra del Fiume Tanaro in località Astuti.



Presso i nuovi insediamenti, posti sul lato opposto della S.P., è presente un fossato di raccolta acque con recapito finale nel Fossalone. A tale fossato verranno inviate anche le acque dell'area in esame, a seguito della raccolta in vasche di laminazione e trattamento di prima pioggia, per quanto proveniente dai piazzali. Nell'area non è infatti possibile la realizzazione di sistemi disperdenti nel sottosuolo, vista la modesta soggiacenza della falda da piano campagna (poco più di -2 m da rilevamento prove penetrometriche giugno c.a.).

La quota finale della nuova area sarà prossima a quella della S.P. (si effettuerà un sovrizzo di circa 1 m): la realizzazione di questo sovrizzo artificiale non verrà a costituire ostacolo al deflusso delle acque di ruscellamento in quanto ad oggi le aree prossime a quella di intervento e già urbanizzate risultano prossime a quella del piano stradale, favorendone il deflusso all'interno del sistema di raccolta con recapito finale nel Fossalone. Le acque di precipitazione diretta ed indiretta verranno come sopra specificato inviate ad opportuna sistema di raccolta.



### § 3. CLASSIFICAZIONE SISMICA E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI AI SENSI DELLE NTC 2008

Il Comune di Alessandria ricade in zona sismica 3.

Ai fini della classificazione dell'azione sismica di progetto, ai sensi delle NTC 2008, il comportamento sismico dei terreni di fondazione viene distinto in categorie, sulla base della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, ricavata per via diretta oppure desunta da prove penetrometriche.

Si veda a questo proposito la tabella 3.2.II delle N.T.C. 2008.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

| 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 fina 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>Depositati 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>Depositati 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 superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).  |

Sulla base dei risultati dell'indagine geosismica eseguita nell'area in esame (vedi dettagli in allegato), i terreni in esame possono essere classificati in categoria "C" ovvero "*Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < Cu30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina)*".



Con riferimento alla tabella 2.4.1. delle N.C.T. 2008 l'opera in progetto è dotata delle seguenti caratteristiche:

Vita nominale  $V_N$  [anni]  $\geq 50$

Classe d'uso *II* (affollamento normale, assenza di funzioni pubbliche importanti)

Ne consegue che il periodo di riferimento per l'azione sismica è:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per cui essendo dalla tabella 2.4.2 delle N.C.T. 2008 (per classe *II*)

$C_U = 1$  si ha  $V_R \geq 50$  anni.

Le coordinate medie del sito (espresse in ED50) sono:

latitudine: 44,922252

longitudine: 8,584226

I parametri geografici e sismici sono stati ricavati con l'ausilio del programma Geostru PS - *Parametri sismici v. 1.4*, come di seguito riportato.





### Cerca Posizione

Via  n°

Comune  Cap

Provincia

---

Coordinate WGS84

Latitudine  °

Longitudine  °

Isole

### Determinazione dei parametri sismici

(1)\* Coordinate WGS84  
Lat.  ° Long.  °

(1)\* Coordinate ED50  
Lat.  ° Long.  °

Classe dell'edificio  
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e s

Vita nominale    
(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

Dati mappa Termini e condizioni d'uso Segnala un errore nella mappa  
44.921297, 8.5831630

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

| Stato Limite                                 | Tr [anni] | a <sub>c</sub> [g] | F <sub>o</sub> | T <sub>c</sub> ' [s] |
|--|-----------|--------------------|----------------|----------------------|
| Operatività (SLO)                            | 30        | 0,018              | 2,532          | 0,161                |
| Danno (SLD)                                  | 50        | 0,024              | 2,518          | 0,192                |
| Salvaguardia vita (SLV)                      | 475       | 0,055              | 2,568          | 0,279                |
| Prevenzione collasso (SLC)                   | 975       | 0,071              | 2,574          | 0,288                |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50        |                    |                |                      |

### Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno  Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

|                                      | SLO  | SLD  | SLV  | SLC  |
|--------------------------------------|------|------|------|------|
| Ss *<br>Amplificazione stratigrafica | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| Cc *<br>Coeff. funz categoria        | 1,92 | 1,81 | 1,60 | 1,58 |
| St *<br>Amplificazione topografica   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]

| Coefficienti                         | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                                   | 0,005 | 0,007 | 0,017 | 0,021 |
| kv                                   | 0,003 | 0,004 | 0,008 | 0,011 |
| Am <sub>ax</sub> [m/s <sup>2</sup> ] | 0,265 | 0,347 | 0,816 | 1,040 |
| Beta                                 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 |

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema



## **§ 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

### **§ 4.1. Inquadramento geologico generale**

L'area in esame, da un punto di vista geologico, appartiene alla piana fluviale alessandrina, formatasi a seguito di ripetuti fenomeni di sovralluvionamento ed erosione, succedutisi nel corso del Quaternario.

La sequenza litostratigrafica dell'area alessandrina è caratterizzata dalla presenza, in superficie, della Serie dei Depositi Fluviali costituita da ampie conoidi alluvionali di età pleistocenica inferiore - olocenica che, dallo sbocco delle rispettive valli, si aprono a ventaglio verso Nord, saldandosi lateralmente tra di loro; questi depositi, prevalentemente grossolani (Complesso dei Depositi Grossolani Fluviali), si interdigitano lungo il bordo del Monferrato con i materiali più fini del F. Tanaro.

I depositi più recenti si distinguono nettamente da quelli sottostanti più antichi lungo i corsi d'acqua principali, mentre altrove il passaggio è più sfumato; questi depositi, di natura ghiaiosa, sabbiosa e argillosa con modesto grado di alterazione superficiale, costituiscono la maggior parte della pianura tra Serravalle Scrivia, Tortona, Castelnuovo Scrivia, Sale e Alessandria.

La piana estesa da Novi Ligure a Pozzolo Formigaro - Fresonara è formata da depositi fluviali di età pleistocenica media.

La Serie dei Depositi Fluviali termina con i depositi fluviali più antichi, altimetricamente più elevati; questi formano i terrazzi a Sud di Novi Ligure e di Capriata d'Orba - San Cristoforo. Tali sedimenti corrispondono, nel F. 70 Alessandria della C.G.I. (Servizio Geologico d'Italia, 1969), ai depositi del Fluviale e Fluviale-lacustre Antichi di età pleistocenica inferiore, la cui natura è prevalentemente ghiaioso - sabbioso - argillosa, con un forte grado di alterazione superficiale.

In via generale, la parte occidentale del bacino risulta alluvionata dal Bormida e dall'Orba con deposizione di materiale ghiaioso e



ciottoloso, mentre il F. Tanaro, dato il suo lungo percorso, ha un apporto prevalentemente sabbioso.

La parte orientale del bacino, invece, comprendente l'area tra Novi-Alessandria-Sale, è essenzialmente il prodotto dell'alluvionamento dello Scrivia, come testimoniato dalla presenza di ciottoli calcarei provenienti dal bacino imbrifero dello Scrivia. Solo ad Ovest di Spinetta Marengo e di Castelceriolo compaiono oltre ai ciottoli calcarei anche ciottoli di serpentiniti e di gneiss provenienti dall'erosione del *Gruppo di Voltri* da parte di Bormida e Orba.

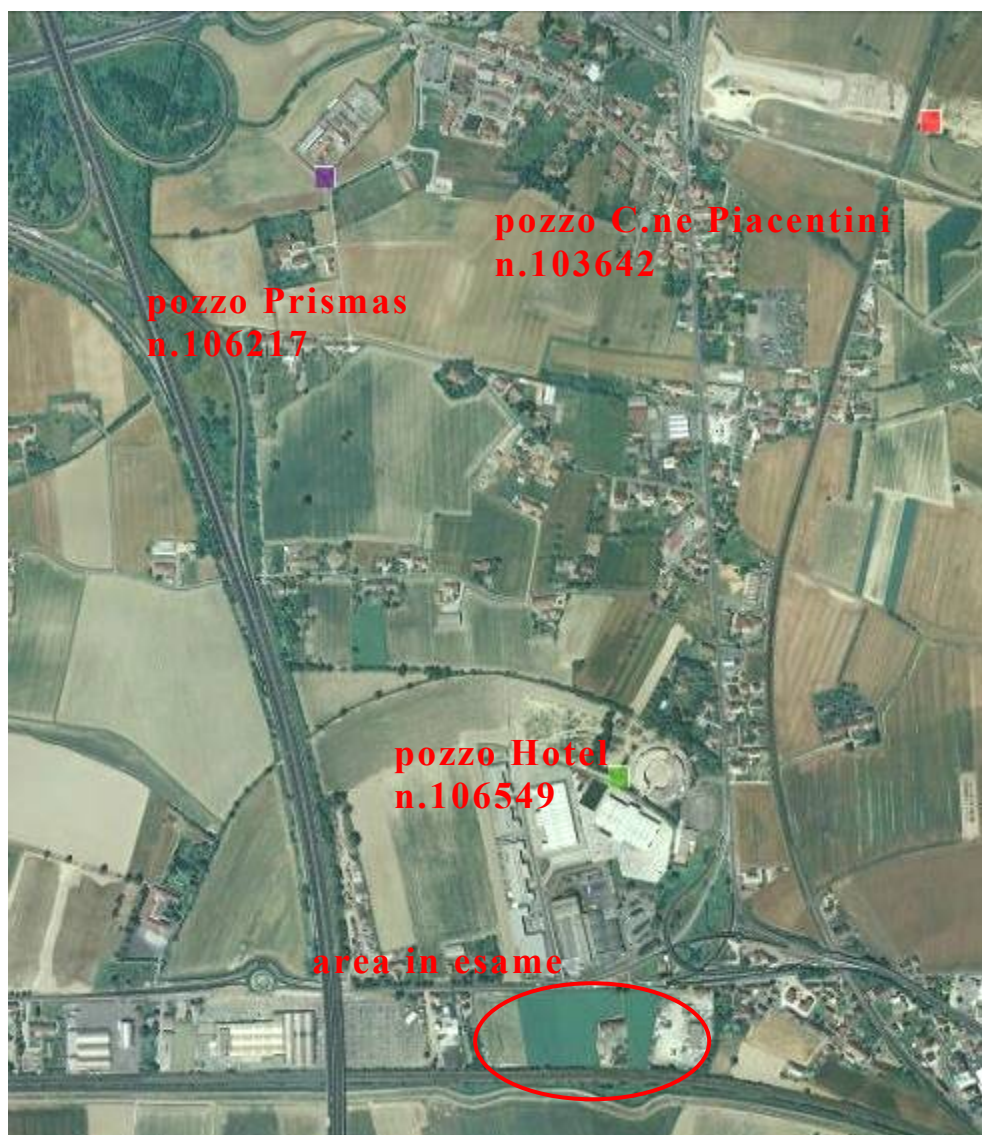
La confluenza in tale area di grosse correnti fluviali (soprattutto il Bormida e lo Scrivia) può in parte spiegare la grande potenza dei depositi alluvionali, 100 m nell'area poco a Nord di Pozzolo Formigaro, mentre spessori ridotti di alcuni metri si ritrovano nelle aree pedecollinari e in corrispondenza della dorsale sepolta Tortona-Montecastello.

#### **§ 4.2. Situazione geologica e stratigrafica locale**

La zona oggetto di indagine fa parte dei depositi alluvionali argillosi e limosi olocenici, attribuibili in parte alle alluvioni postglaciali ed in parte al fluviale recente. La delimitazione tra tale formazione e le alluvioni postglaciali scorre in corrispondenza del percorso del tracciato ferroviario per Torino. Tali alluvioni postglaciali sono costituite generalmente da orizzonti sabbiosi in cui sono inserite locali tasche limose sciolte e passate espressamente sabbiose. A maggiore profondità sono presenti lenti ghiaiose, come riscontrato nell'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche.

Il passaggio tra le due formazioni non è mai molto netto e non è marcato da elementi geomorfologici rilevanti, quali terrazzi morfologici e cambi di pendenza.

La stratigrafia locale può essere ricostruita facendo riferimento ai risultati di alcune stratigrafie disponibili per pozzi e/o sondaggi geognostici disponibili nell'intorno del sito, vedi Figura 7, e riportati sul sito Webgis Arpa Piemonte



*Figura 7: Vista aerea del sito ed indicazione dei pozzi e sondaggi di riferimento (fonte Webgis Arpa Piemonte)*

**Pozzo Hotel San Michele n.106549**

**quota falda -3.0 m**

| Codice perforazione | Profondità (m) | Descrizione        |
|---------------------|----------------|--------------------|
| 106549              | 2.00           | terreno vegetale   |
| 106549              | 12.00          | argilla sabbiosa   |
| 106549              | 15.00          | sabbia e ghiaietto |
| 106549              | 23.00          | argilla            |





### **Pozzo Prisma Cimitero di San Michele - n.106217**

| Codice perforazione | Profondità (m) | Descrizione   |
|---------------------|----------------|---|
| 106217              | 0.10           | asfalto   |
| 106217              | 0.80           | sabbia debolmente limosa inglobante ghiaia eterometrica                                     |
| 106217              | 2.00           | limo argilloso debolmente sabbioso  |
| 106217              | 5.30           | sabbia debolmente limosa localmente con presenza di sabbia limosa                           |
| 106217              | 7.00           | limo argilloso debolmente sabbioso localmente con presenza di interlivelli di sabbia limosa |
| 106217              | 11.80          | limo argilloso debolmente sabbioso localmente inglobante rari grumi calcarei                |
| 106217              | 13.00          | limo argilloso sabbioso   |
| 106217              | 15.00          | limo sabbioso argilloso localmente inglobante rari grumi calcarei                           |

### **Sondaggio C.ne Piacentini - n.103642**

**quota falda -4.0 m**

| Codice perforazione | Profondità (m) | Descrizione   |
|---------------------|----------------|---|
| 103642              | 5.00           | terreno vegetale argilloso limoso passante a limo argilloso sabbioso e a sabbia limosa                        |
| 103642              | 9.90           | sabbia media con rari ciottoli poligenici   |
| 103642              | 13.00          | ghiaietto con sabbia passante a sabbia medio grossolana con ciottoli poligenici                               |
| 103642              | 16.00          | sabbia media  |
| 103642              | 18.00          | argilla limosa sabbiosa passante a limo sabbioso  |
| 103642              | 25.00          | alternanze di livelli argillosi e argilloso marnosi compatti con livelli sabbiosi e sabbioso limosi cementati |

Come desumibile dalle stratigrafie sopra riportate e per quanto osservato durante l'esecuzione delle prove in sito, i terreni in esame sono costituiti da alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose passanti in sabbie e ghiaietto. Trattandosi di terreni alluvionali si notano, lungo le diverse verticali di indagine, forti variazioni laterali e verticali sia in termini di granulometria sia in termini di stato di addensamento.





## § 5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

### § 5.1. Inquadramento idrogeologico generale

Nell'area in esame con riferimento alla descrizione geologica di cui al paragrafo 4.2. e allo “*Studio Idrogeologico della Pianura Alessandrina*” a cura di De Luca et al. 2002, si possono individuare due complessi idrogeologici principali:

1. complesso idrogeologico caratterizzato da acquifero multistrato, con comportamento principalmente freatico e depositi alluvionali riconducibili alla successione dell'Olocene e Pleistocene superiore e medio e del Pleistocene inferiore e del Pliocene superiore.
2. complesso idrogeologico caratterizzato da acquiferi localmente discontinui, con comportamenti semi-artesiani e artesiani che si sviluppano negli orizzonti ghiaioso-sabbiosi dei depositi alluvionali riconducibili alla successione del Pliocene medio e inferiore; si hanno in particolare alternanze di materiali limo-argillosi poco permeabili e livelli ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da permeabilità medio elevata.

Nell'area in esame si può individuare una falda idrica a superficie libera con comportamento freatico caratterizzata da terreni a granulometria grossolana in una matrice fine generalmente abbondante. Questo acquifero superficiale si estende dalla superficie fino ad una quota di circa 30-35 m dal piano campagna; il regime della falda è strettamente connesso all'attività del Fiume Tanaro da cui è alimentata.

Al di sotto dell'acquifero superficiale, sopra descritto, si individua l'acquifero villafranchiano, lo strato argilloso di separazione ha spessore e permeabilità molto variabili. Si tratta di acquifero multistrato in pressione, con comportamenti artesiani o semiartesiani in relazione alla presenza, continuità laterale e grado di permeabilità dei livelli limoso-argillosi di separazione. I sistemi acquiferi profondi sono protetti da diversi orizzonti di terreni limo-argillosi, caratterizzati da bassa permeabilità, di origine



fluviale ed appartenenti alla formazione del *Fluviale e Fluvio lacustre antichi* (Villafranchiano Auct.) mentre il basamento impermeabile dei terreni pliocenici è posto ad una profondità di oltre 200 m, come indicato nello Studio “*I depositi alluvionali dello Scrivia*” dell’IRSA – CNR (1976).

La falda superficiale viene ricaricata sia per effetto delle precipitazioni meteoriche che per effetto delle irrigazioni mentre le falde profonde vengono principalmente alimentate in parte dalle ricariche meteoriche ed in parte dalle perdite dei corsi d’acqua nelle zone di affioramento. In merito al rapporto tra precipitazioni e variazioni dei livelli piezometrici, numerosi studi citati in bibliografia, evidenziano come gli innalzamenti locali del livello della falda, mediamente, precedano di qualche giorno gli eventi meteorici veri e propri a causa dell’effetto di ricarica dovuto ai corsi d’acqua ovvero le oscillazioni idrometriche dovute agli effetti di piena si ripercuotono per primi sulla falda e quindi con leggero ritardo si risente anche dell’effetto di ricarica delle precipitazioni dirette ed indirette locali.

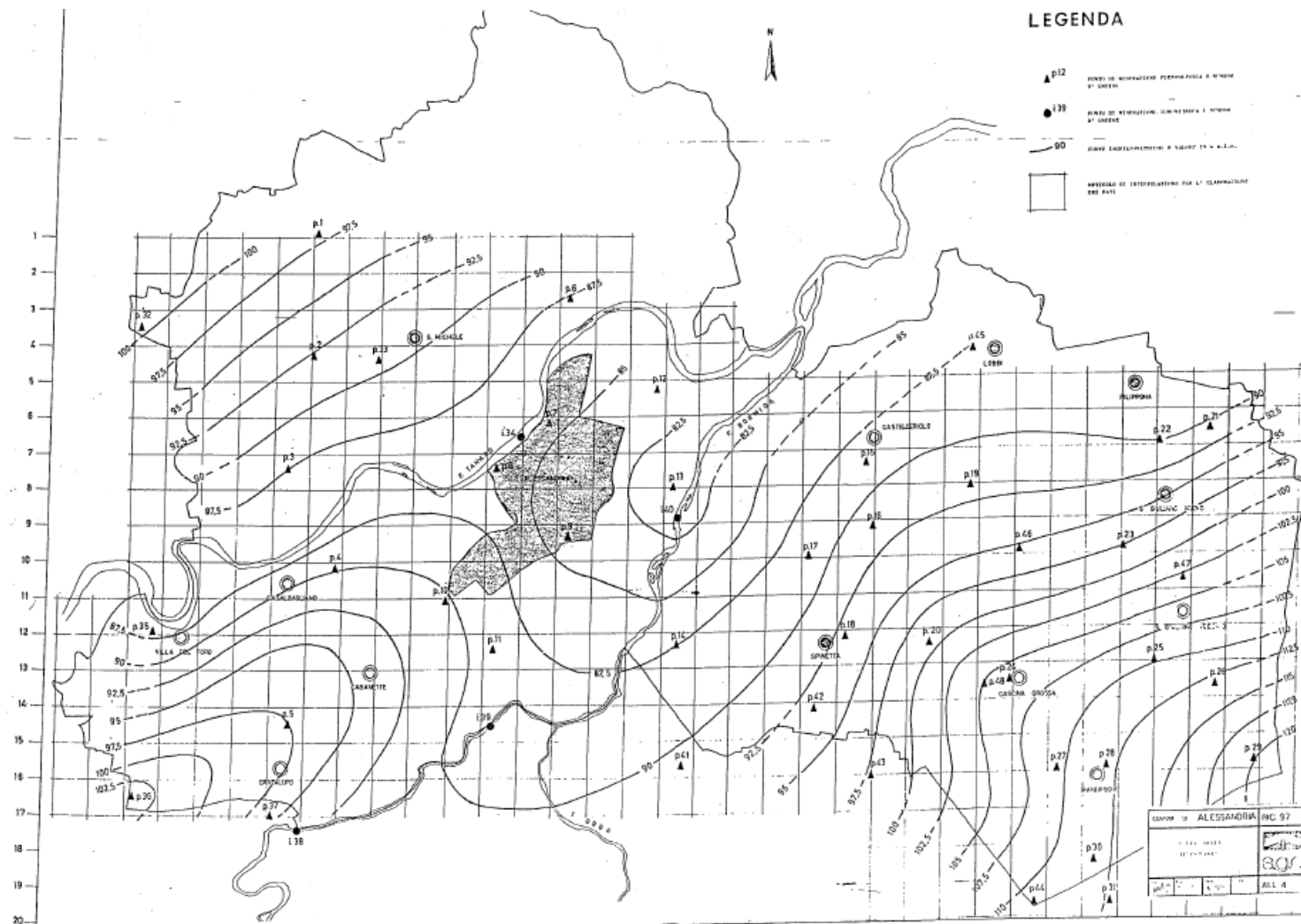


Figura 5: S.G.A. "Studio Idrogeologico del territorio comunale" - 1976

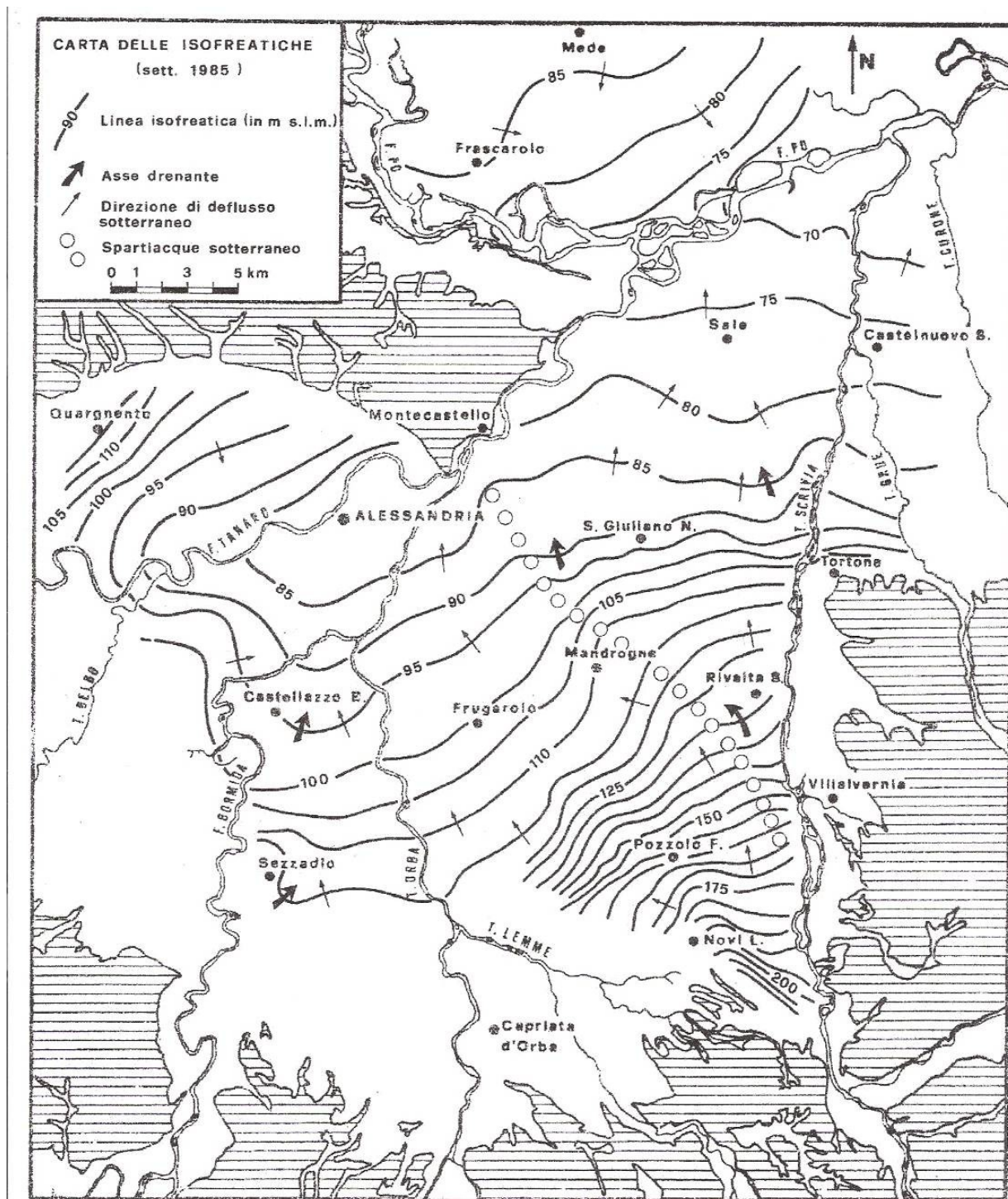


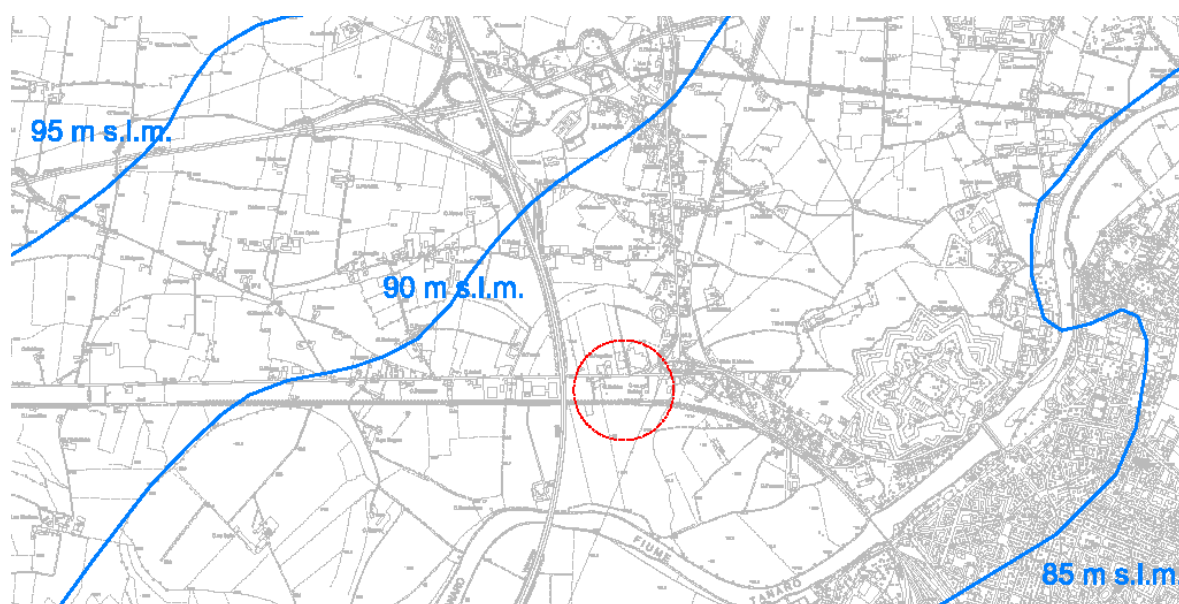
Figura 6: Studio Idrogeologico della pianura alessandrina, De Luca et al. 1988

### § 5.2. Situazione idrogeologica locale

Con riferimento alle indicazioni contenute nello "Studio sull'andamento della falda idrica a superficie libera nel territorio di pianura Piemontese" redatto dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino, eseguito per conto della Regione Piemonte nel

2002, nell'area in esame si ha una quota media della soggiacenza della falda pari a circa 2 m da p.c., tenuto conto di una soggiacenza in quote assolute di 89 m s.l.m. e una quota del sito pari a 91 m s.l.m.

Nel pozzo presso l'Hotel San Michele si ha un livello statico pari a 3 m da p.c. che ben si accorda con le indicazioni di cui allo studio sopra citato.



*Figura 7: Individuazione della soggiacenza dell'acquifero superficiale*

Tali informazioni sono confermate anche dai risultati di 3 prove penetrometriche, eseguite nel mese di luglio 2014, in cui si sono riscontrate le seguenti soggiacenze:

| <i>prova n.</i> | <i>soggiacenza [m]</i> |
|-----------------|------------------------|
| 7               | 3.40                   |
| 8               | 2.50                   |
| 9               | 2.50                   |
| 10              | n.r.                   |

Le modeste soggiacenze, misurate nel periodo estivo, inducono a ritenere che la falda, in condizioni di perduranti ed abbonanti precipitazioni, (mesi autunnali ed invernali) possa localmente raggiungere quote piuttosto prossime al piano campagna.



Sulla base delle indicazioni di cui alla Legge regionale 30 aprile 1996 n. 22, articolo 2, comma 7 “Criteri tecnici per l'identificazione della base dell'acquifero superficiale e aggiornamento della cartografia contenuta nelle "Monografie delle macroaree idrogeologiche di riferimento dell'acquifero superficiale"” del Piano di Tutela delle Acque, approvato con D.C.R. 117-10731 del 13/03/2007, nell'area in esame si individua una quota di base dell'acquifero superficiale (figura 8) pari a circa 59 m s.l.m. per cui considerando che la quota media del piano campagna è di circa 92.40 m s.l.m., si ha una profondità media della base dell'acquifero pari a 33 m da piano campagna.

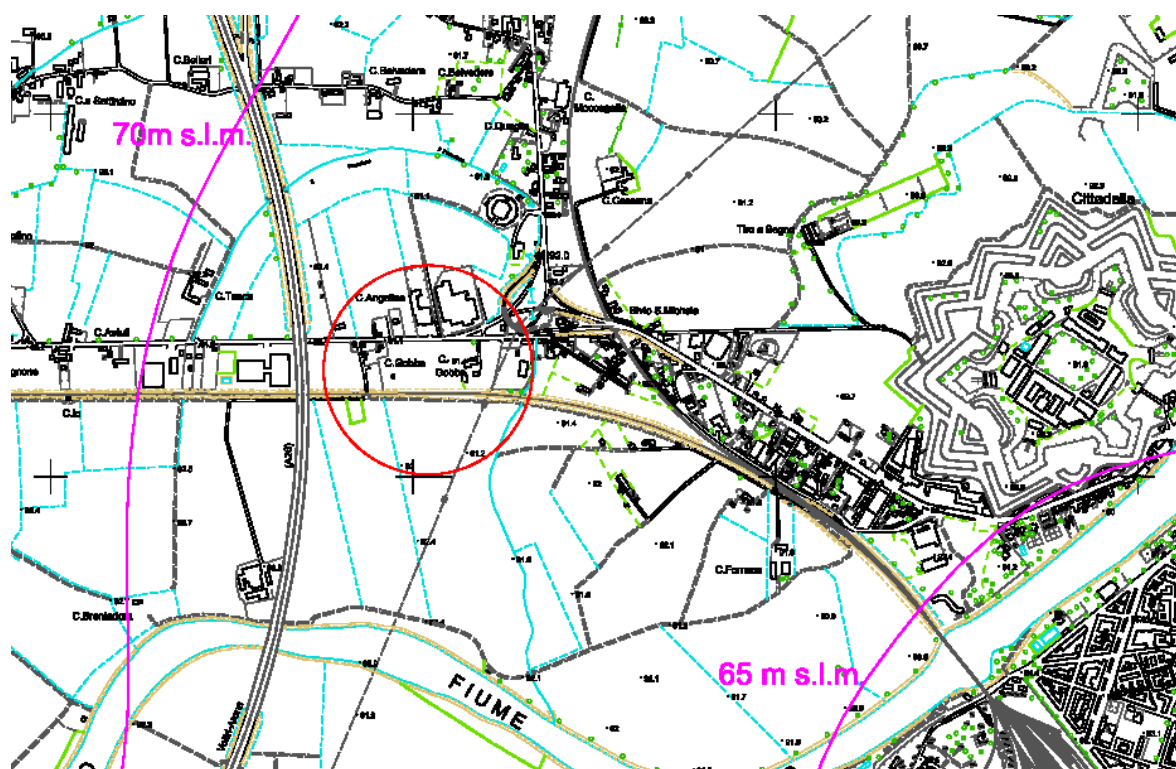


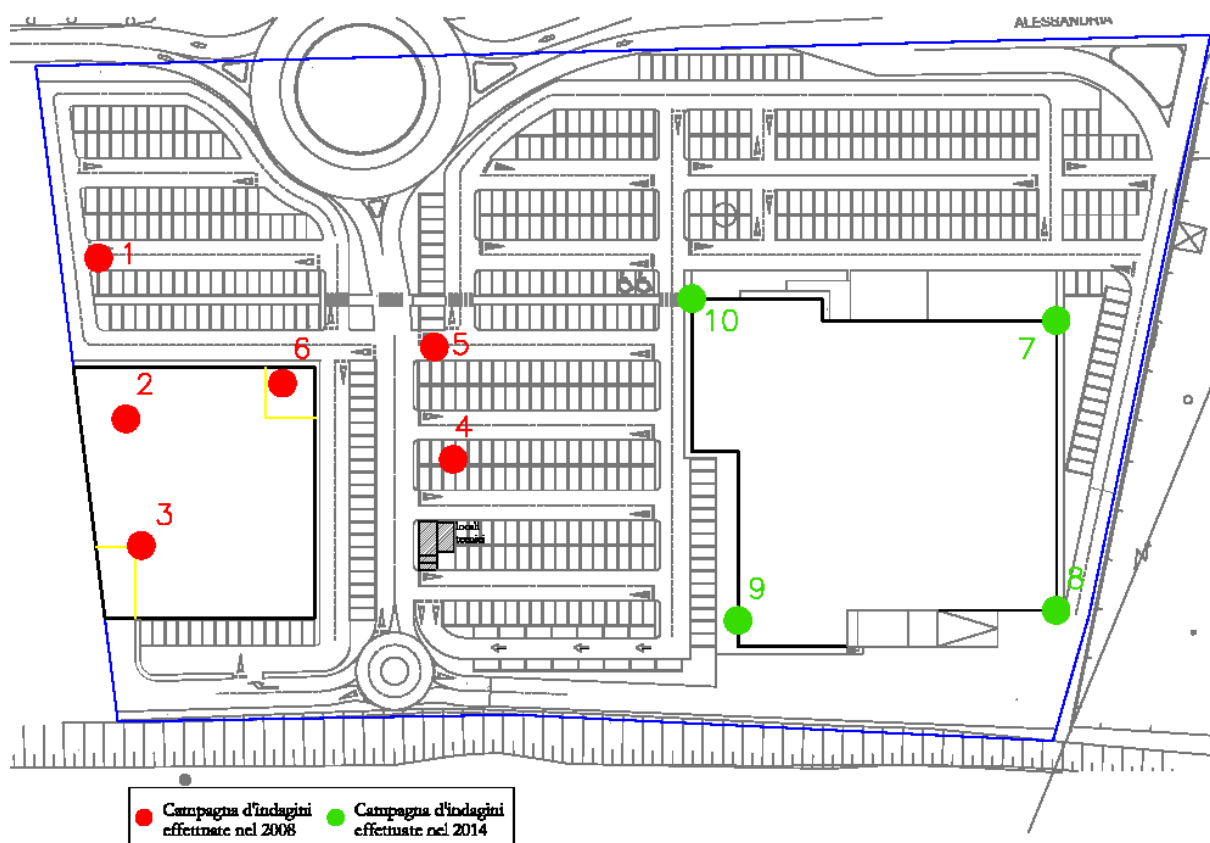
Figura 8: Individuazione della base dell'acquifero superficiale

## § 6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### § 6.1. Prove penetrometriche: descrizione della metodologia adottata

Nell'area oggetto di studio sono state realizzate dieci prove penetrometriche dinamiche (SCPT), eseguite con penetrometro superpesante, tipo Pagani ed ubicate come indicato nella figura 9 seguente.

Le prime 6 prove, indicate in rosso, sono state effettuate nel 2008, nell'ambito di un intervento non realizzato. mentre le restanti 4 prove (in verde) sono state effettuate contestualmente al presente studio.



*Figura 9: Ubicazione indagini geognostiche*

Attraverso l'esecuzione di prove penetrometriche è possibile ottenere i parametri di resistenza del terreno, parametri che permettono di caratterizzare, da un punto di vista quantitativo, le formazioni interessate dall'opera in progetto.

Nelle prove penetrometriche dinamiche, i parametri geomeccanici, caratterizzanti il terreno, vengono correlati alla resistenza che il terreno stesso oppone all'avanzamento di una punta conica infissa a percussione.

Nei successivi paragrafi verranno descritte dettagliatamente le attrezzature e le modalità di indagine adottate e quindi verranno riportati tutti i risultati ottenuti.

#### **Prove DP: modalità di esecuzione ed attrezzatura**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno, mediante battitura, una punta conica di dimensioni assegnate. La battitura viene effettuata lasciando cadere un maglio di dato peso da un'altezza costante. L'energia del maglio viene trasmessa alla punta attraverso una testa di battuta collegata alla punta da una batteria di aste. A differenza della prova SPT la prova penetrometrica dinamica può essere eseguita direttamente da piano campagna ed in modo continuo senza l'esecuzione di un foro. La resistenza del terreno viene valutata dal numero di colpi necessari alla penetrazione della punta per una data lunghezza.

Esistono diverse metodologie di indagine per le prove DP, nel caso in esame, in particolare, si è utilizzato un penetrometro superpesante (DPSH - "Meardi - AGI") tipo Pagani modello TG 73/100, semovente.

Le caratteristiche principali della prova, possono essere così sintetizzate:

- |   |             |
|---|-------------|
| - Peso del maglio                       | 73.0 Kg     |
| - Altezza di caduta                     | 75 cm       |
| - Diametro della punta conica           | 51.0 mm     |
| - Angolo di apertura della punta conica | 60°         |
| - Misurazione                           | ogni 30 cm. |

#### **§ 6.2. Interpretazione delle prove penetrometriche**

In considerazione del fatto che risulta impossibile o quanto meno particolarmente oneroso prelevare campioni indisturbati in terreni granulari, l'impiego di prove in sito, rappresenta il più delle volte l'unica



possibilità di pervenire alla caratterizzazione meccanica di tali depositi. Per tale ragione si sono ottenute correlazioni empiriche tra i risultati della prova penetrometriche ed alcuni parametri fisico - meccanici dei terreni granulari. Le correlazioni empiriche disponibili in letteratura consentono di stimare:

- la densità relativa;
- l'angolo di resistenza al taglio;
- la resistenza alla liquefazione;
- la deformabilità.

In particolare la maggior parte delle correlazioni fa riferimento al valore di  $N_{SPT}$ ; per questo motivo nel caso vengano effettuate prove DP si utilizzano prima formulazioni che permettono di risalire dai valori di  $N_{10}$ ,  $N_{30}$  al corrispondente valore di  $N_{SPT}$  e quindi si procede alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

Da un'indagine svolta nei depositi fluvioglaciali dell'area torinese confrontando i risultati di prove dinamiche con penetrometro "Meardi - AGI" e prove SPT, si è potuta ricavare la seguente relazione tra i risultati:

$$\frac{N_{30}}{N_{SPT}} \cong 1.57$$

Anche in un'altra esperienza fatta dallo Studio Geotecnico Italiano con lo stesso tipo di penetrometro dinamico nei depositi fluviolacustri della pianura di Sondrio si sono ottenuti risultati del tutto simili, in

particolare si è ricavato:

$$\frac{N_{30}}{N_{SPT}} \cong 1.50$$

Con riferimento anche ad altre prove eseguite in terreni a comportamento geotecnico simili a quelli in esame, si è visto che il rapporto tra il numero di colpi delle due prove penetrometriche, non supera mai il valore di 0.60, valore di riferimento assunto per l'interpretazione delle prove in esame.

### **Densità relativa**

La resistenza al taglio e la rigidità di un terreno granulare dipendono dallo stato di addensamento del deposito (Terzaghi e Peck

1948), che può essere convenientemente espresso attraverso il parametro della densità relativa ( $D_R$ ). La dipendenza  $N_{SPT} = f(D_R, \sigma'_{v0})$  è nota sin dai primi lavori di Gibbs e Holtz (1957), come pure la formulazione matematica di tale legame che è stata proposta da Meyerhof (1957) utilizzando i risultati sperimentali di Gibbs e Holtz (1957). Tale correlazione è stata rivista e corretta, nel corso del tempo, da diversi altri autori (tra gli ultimi studi Cubrinovski e Ishihara (1999)) per tenere conto di alcuni fattori trascurati nella prima formulazione e che portavano ad una sovrastima della densità relativa dei depositi con risultati, quindi, a sfavore di sicurezza.

Nel caso in esame si adottano le correlazioni di Skempton (1986) che ha riformulato l'espressione di Meyerhof tenendo conto dei seguenti aspetti:

- risulta conveniente normalizzare i valori  $N_{SPT}$  misurati rispetto alla tensione verticale efficace in modo da ottenere il valore  $N_1$  ovvero quello che corrisponde ad una  $\sigma'_{v0}$  di 1 bar = 98 kPa;
- è inoltre necessario normalizzare i valori  $N_{SPT}$  rispetto all'effettivo rendimento energetico del sistema di battitura determinando  $(N_1)_{60}$ .

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \frac{ER}{60}$$

Considerata la tipologia dell'attrezzatura usata per l'esecuzione delle prove in esame, come avviene nella maggior parte dei casi in Italia, si ha un rendimento energetico del 60% e quindi si pone  $N_{60} = N_{SPT}$ .

I valori di  $C_N$  possono essere valutati sulla base dei criteri formulati da Seed et al. (1983) e Liao e Withman (1986). In particolare Liao e Whitman (1986) propongono la seguente formula:

$$C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

dove  $p_a$  è la pressione atmosferica.

Il legame tra valore  $(N_1)_{60}$  e la densità relativa  $D_R$  diventa pertanto il seguente:

$$(N_1)_{60} / D_R = a + b$$

la costante  $A = (a+b)$  è stata tabellata da Skempton e dipende dalla storia tensionale, dalla granulometria e dall'età del deposito.

**Resistenza al taglio - terreni granulari**

La determinazione dell'angolo di resistenza al taglio di picco ( $\phi'_p$ ) in condizioni drenate può essere effettuata utilizzando due diversi tipi di correlazioni empiriche:

- le correlazioni empiriche tra  $N_{SPT}$  e  $\phi'_p$  (ad es. Peck et al. 1953, De Mello 1971);
- le correlazioni empiriche del tipo  $\phi'_p = f(D_R, \text{granulometria})$  con  $D_R = f(N_{SPT}, \sigma'_{v0})$  (ad es. Schmertmann 1978, Bolton 1986).

La correlazione empirica tra  $N_{SPT}$  e  $\phi'_p$ , proposta da De Mello (1971) sulla base dei risultati di laboratorio ottenuti da Gibbs e Holtz (1957), è riportata in Figura 9.

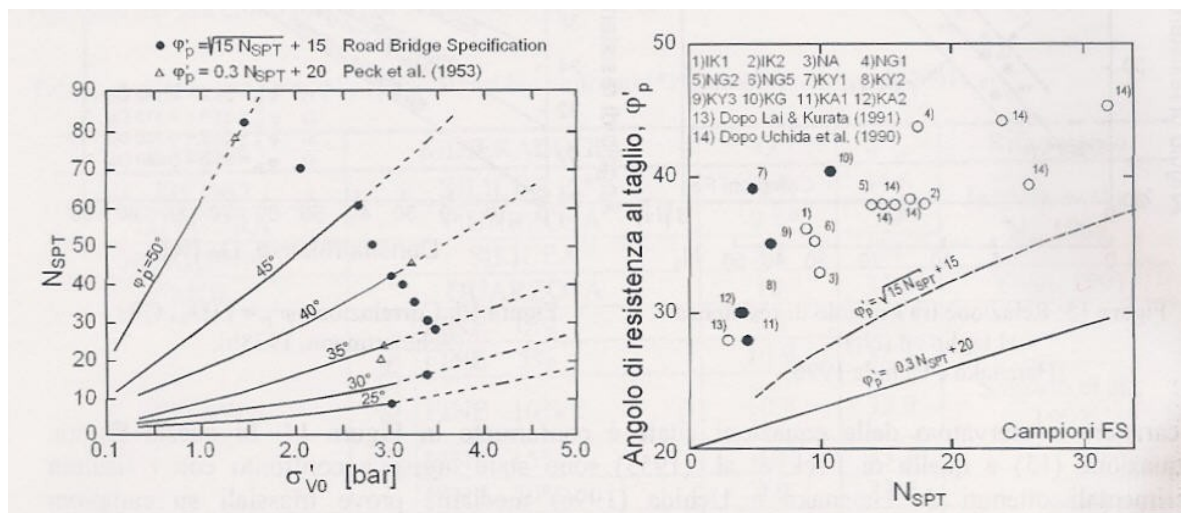
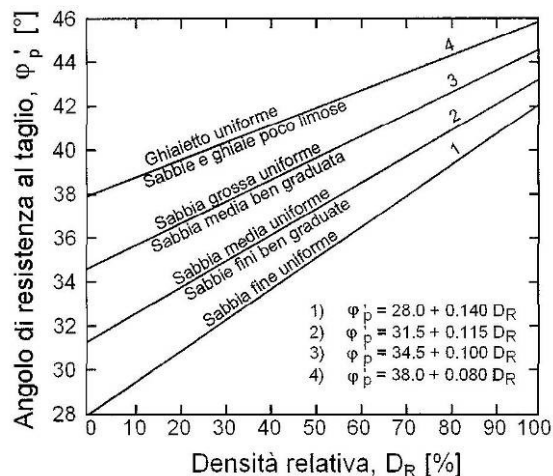


Figura 9: Correlazione tra  $N_{SPT}$  e  $\phi'_p$ , proposta da De Mello

Sono disponibili in letteratura altre correlazioni, più semplici di quella riportata in Figura 9. Tali correlazioni hanno un'espressione analitica simile a quella riportata di seguito:

$$\phi'_p = (15 \cdot N_{SPT})^{0.5} + 15 \text{ con } N_{SPT} > 5 \text{ (Japan Road Association, 1990)}$$

Tale relazione che non tiene conto in maniera esplicita di  $\sigma'_{v0}$  e risulta conservativa, verrà adottata per l'interpretazione delle prove in esame. In alternativa alle relazioni prima descritte si può determinare  $\phi'_p$  una volta nota la densità relativa ricorrendo, ad esempio, alla correlazione proposta da Schmertmann (1978) riportata nella figura 10.



*Figura 10: Correlazione di Schmertmann*

### Resistenza al taglio - terreni a grana fine

L'uso della prova SPT nei terreni a grana fine o nelle rocce tenere è meno frequente che nei terreni granulari. Nelle correlazioni empiriche tra  $N_{SPT}$  e i parametri di interesse, ad esempio la resistenza al taglio non drenata ( $c_u$ ), inoltre, presentano una notevole variabilità e spesso forniscono indicazioni contraddittorie, cosicché appare poco significativo ottenere un valore di  $c_u$  da tali correlazioni. I risultati delle prove penetrometriche sono per lo più utilizzati per ottenere una valutazione qualitativa della consistenza del terreno del tipo riportato nella tabella seguente.

| Consistenza    | $N_{SPT}$ |
|----------------|-----------|
| Molle          | 2         |
| Tenera         | 4         |
| Media          | 8         |
| Compatta       | 15        |
| Molto compatta | 30        |
| Dura           | > 30      |

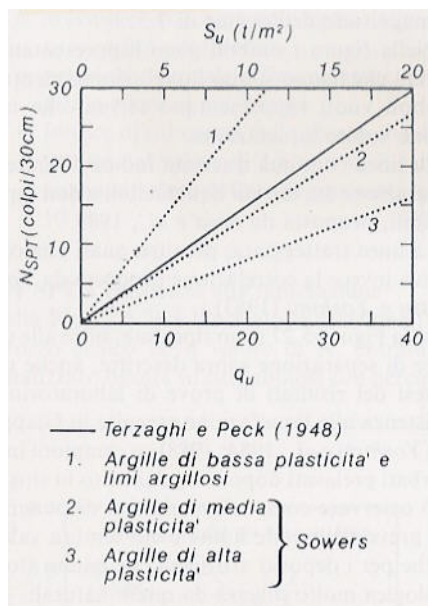
Tra le correlazioni presenti in letteratura tra  $c_u$  e  $N_{SPT}$  si riporta ad esempio quella di Stroud (1974), ricavata per argille sensitive:

$$C_u = f_1 \cdot N_{SPT}$$

con  $f_1 = 3.2 \div 7.6$  (i valori decrescono al crescere dell'indice di plasticità).

Una ulteriore stima della  $C_u$  si può ricavare dal grafico riportato di seguito ricavato dal NAV-FAC Design Manual (1982). Nei depositi di

elevata sensibilità la correlazione indicata può portare ad una sottostima di  $c_u$ , ma il risultato ottenibile, in fase di progettazione, risulta comunque cautelativo.



### § 6.3. Descrizione delle prove penetrometriche

Le prove penetrometriche hanno fornito risultati con buona correlazione tra di loro e hanno permesso il tracciamento di una sezione geotecnica interpretativa in cui sono stati individuati i principali livelli geotecnici con relativi parametri di resistenza.

I terreni sono di natura non coesiva e sono costituiti principalmente da un potente orizzonte a limi sciolti passanti in terreni sabbioso ghiaiosi.

### § 6.4. Assegnazione dei parametri geotecnici

Le N.T.C. 2008 hanno sostituito il concetto di separazione del sottosuolo in vari elementi stratigrafici a cui venivano assegnati i valori medi, perché la nuova normativa non considera i valori medi sufficientemente cautelativi. Le Norme richiedono di ricavare il valore caratteristico di resistenza per ogni intervallo omogeneo di resistenza ed individuato come “strato medio”, il frattile 5% della resistenza, ossia quel valore che ha il 5% di probabilità di venire minorato. Per il calcolo del 5° percentile si fa ricorso alla seguente formula:

$$R_k = R_m \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

dove

$R_k$  = valore caratteristico della resistenza considerata

$R_m$  = valore medio della resistenza considerata

$T$  = valore della distribuzione di Student a n-1 gradi di libertà con probabilità  $u = 95\%$  (ossia  $1-\alpha = 0.95$  o alternativamente  $\alpha = 0.05$ ).

$s$  = deviazione standard del campione di dati

$n$  = numero di dati

Sulla base di tali considerazioni (si veda a questo proposito la tabella di calcolo con l'elaborazione statistica dei risultati, riportata in allegato) è possibile ricostruire una successione geotecnica media per le varie unità.

Riassumendo, si hanno i seguenti valori caratteristici dei parametri di resistenza dei diversi livelli geotecnici individuati:

| <b>livello geotecnico</b>        | <b>Angolo d'attrito interno<br/><math>\varphi</math> [°]</b> | <b>Coesione non drenata<br/><math>C_u</math> [Kg/cm<sup>2</sup>]</b> | <b>Peso di volume naturale<br/><math>\gamma</math> [t/m<sup>3</sup>]</b> |
|----------------------------------|--|--|--|
| Limi sciolti                     | 24.692   | -  | 1.70   |
| Sabbie fini, limi e rare ghiaie, | 30.056   |  | 1.80   |
| Ghiaie con limi e sabbie         | 33.128   | -  | 2.00   |

Le prove penetrometriche P2, P6, P5, P10 e P7 sono state rispettivamente utilizzate per tracciare una sezione geotecnica, riportata in allegato, nella quale sono evidenziate le 3 unità geotecniche sopra indicate.

## § 7. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stata esaminata la situazione geologica e stratigrafica di un'area in Comune di Alessandria in cui verrà realizzato un Piano Esecutivo Convenzionato denominato “Nuova Area Commerciale Astuti” in Strada Statale n. 10 Alessandria – Asti, km 1, in Comune di Alessandria.

Il sito è caratterizzato da depositi alluvionali riconducibili da un punto di vista geologico, alle alluvioni postglaciali, consistenti in terreni a granulometria prevalentemente ridotta, ovvero limi sabbiosi e sabbie limose passanti, più in profondità, in ghiaie in matrice sabbiosa.

Nel sito è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche consistenti in n.10 prove penetrometriche dinamiche ed uno stendimento geosismico tipo MASW.

Dal punto di vista sismico i terreni in esame sono riconducibili alla categoria C ovvero “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT30 < 50$  nei terreni a grana grossa*”. Si evidenzia inoltre che ai sensi della normativa vigente il Comune di Alessandria ricade in classe sismica 3.

La soggiacenza minima della falda, da misura effettuata in data 9 luglio 2014, è pari a -2.50 m; la base dell'acquifero superficiale si attesta a circa 30 m da piano campagna. La ridotta soggiacenza di falda, misurata oltretutto in periodo estivo, lascia presupporre la possibile presenza di un corpo idrico molto prossimo alla superficie nelle stagioni autunnali ed invernali, quando le precipitazioni sono più abbondanti e perduranti. Di tale considerazione si dovrà tener conto per la realizzazione di qualsiasi manufatto o interrato o parzialmente interrato e per cui dovrà essere necessariamente tenuta in conto la presenza di una possibile sottospinta idraulica, soprattutto per le strutture scatoleari interrate.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni, le indagini geognostiche hanno permesso di rilevare un potente orizzonte a

limi sciolti con modeste caratteristiche di resistenza sino ad elevata profondità. Per tale motivo si consiglia il ricorso a fondazioni di tipo indiretto al fine di poter immorsare le strutture negli strati più profondi e resistenti.

L'area dal punto di vista della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica, nel PRGC vigente, risulta classificata in Classe *IIIb $\alpha$* ; per tale motivo, in ottemperanza all'art.51 delle NTA, l'Amministrazione Comunale preso atto della minimizzazione del rischio attraverso la realizzazione delle opere di difesa idraulica già eseguite e/o in corso di completamento sui corsi d'acqua principali (Tanaro e Bormida) oltre agli interventi locali sulla rete di drenaggio delle acque e richiamate al paragrafo 2.3 della presente relazione potrà consentire nuove edificazione se saranno soddisfatti i seguenti punti:

- comma 1 art. 51 NTA accertamento geotecnico soddisfatto - nella redazione del presente documento, che comprende i risultati di prove geotecniche in sito volte ad accertare la quota di imposta delle fondazioni (consigliato il ricorso ad opere fondazionali profonde);
- comma 2 art.51 NTA corretta regimazione delle acque: come specificato nel paragrafo 2.3 le acque di precipitazione diretta ed indiretta verranno raccolte in opportune vasche di laminazione e da queste inviate in tubazione al di là della S.P. per raccolta nel fossato presente presso l'insediamento commerciale già esistente e quindi recapitate a valle nel Fossalone;
- comma 3 art 51 NTA quota di sicurezza del piano di calpestio Tabella A: facendo riferimento alla dichiarazione del 15 giugno 1999 dell'arch. Milanese, estensore del PRGC datato 1990, i locali commerciali quale quello in esame non sono classificabili tra quelli che prevedono la presenza continuativa di persone e pertanto non sono soggetti al rispetto delle quote di cui alla Tabella A sopra citata;
- comma 4 art. 51 NTA realizzazione locali al piano terra non oltre 0.30 m da piano strada: soddisfatto - vedasi elaborati progettuali e quote di riferimento (locali uso commerciale);



- comma 5 art.51 NTA sistemazioni esterne (recinzioni) soddisfatto vedasi elaborati progettuali;
- comma 6 art. 51 NTA locali seminterrati e/o interrati e innalzamento artificiale del piano campagna soddisfatto in quanto non verranno realizzati locali seminterrati e/o interrati che prevedano la presenza continuativa di persone e che possano interferire con minima soggiacenza della falda inoltre l'innalzamento dell'area alla quota del piano della S.P.(sovralzo di circa 1 m) non comporta problematiche per il deflusso delle acque in quanto si andrà ad uniformare la situazione esistente portando l'area in esame alla quota dei siti confinanti, urbanizzati e già oggetto di sovralzo in cui è presente e funzionante rete di drenaggio.

Per tutto quanto sopra esposto ed in particolare sulla base delle caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche, rilevate per l'area in esame, non si riscontrano impedimenti di carattere geologico-tecnico alla realizzazione delle opere di progetto purché le stesse vengano realizzate nel rispetto delle citate prescrizioni geologiche previste dal PRGC, delle raccomandazioni inerenti la corretta regimazione delle acque superficiali e della realtà geolitologica, sopra dettagliatamente descritte.

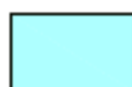
***ing. geol. Giuseppe Massone***

***ing. Rita Di Cosmo***

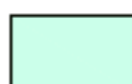
**ALLEGATO: Inquadramento geologico**



## LEGENDA



Alluvioni postglaciali.



Alluvioni prevalentemente argillose della superficie principale della pianura a Sud del Po, attribuibili in parte alle Alluvioni postglaciali e in parte al Fluviale recente.

**ALLEGATO: prove penetrometriche effettuate in data 26/02/2008**



**Committente: Studio Ass. Massone Di Cosmo**  
**Cantiere: Nuova sede concessionaria Novauto**

**Località: Alessandria**  
**Data: 26/02/2008**

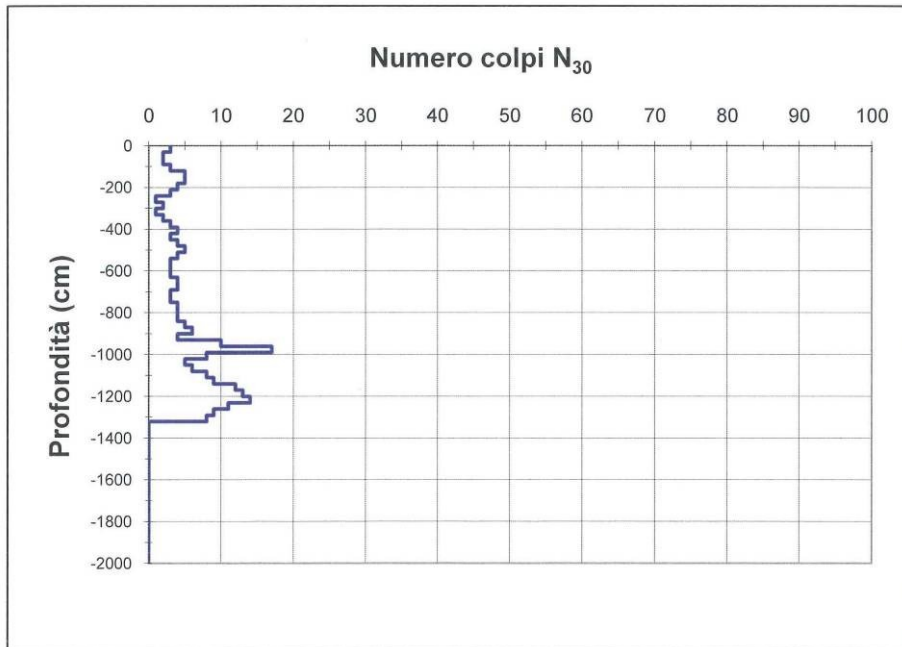
**Prova n° 1**

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|            |          | 510        | 5        | 1020       | 8        | 1530       |          |
| 30         | 3        | 540        | 4        | 1050       | 5        | 1560       |          |
| 60         | 2        | 570        | 3        | 1080       | 6        | 1590       |          |
| 90         | 2        | 600        | 3        | 1110       | 8        | 1620       |          |
| 120        | 3        | 630        | 3        | 1140       | 9        | 1650       |          |
| 150        | 5        | 660        | 4        | 1170       | 12       | 1680       |          |
| 180        | 5        | 690        | 4        | 1200       | 13       | 1710       |          |
| 210        | 4        | 720        | 3        | 1230       | 14       | 1740       |          |
| 240        | 3        | 750        | 3        | 1260       | 11       | 1770       |          |
| 270        | 1        | 780        | 4        | 1290       | 9        | 1800       |          |
| 300        | 2        | 810        | 4        | 1320       | 8        | 1830       |          |
| 330        | 1        | 840        | 4        | 1350       |          | 1860       |          |
| 360        | 2        | 870        | 5        | 1380       |          | 1890       |          |
| 390        | 3        | 900        | 6        | 1410       |          | 1920       |          |
| 420        | 4        | 930        | 4        | 1440       |          | 1950       |          |
| 450        | 3        | 960        | 10       | 1470       |          | 1980       |          |
| 480        | 4        | 990        | 17       | 1500       |          | 2010       |          |





**Committente: Studio Ass. Massone Di Cosmo**  
**Cantiere: Nuova sede concessionaria Novauto**

**Località: Alessandria**  
**Data: 26/02/2008**

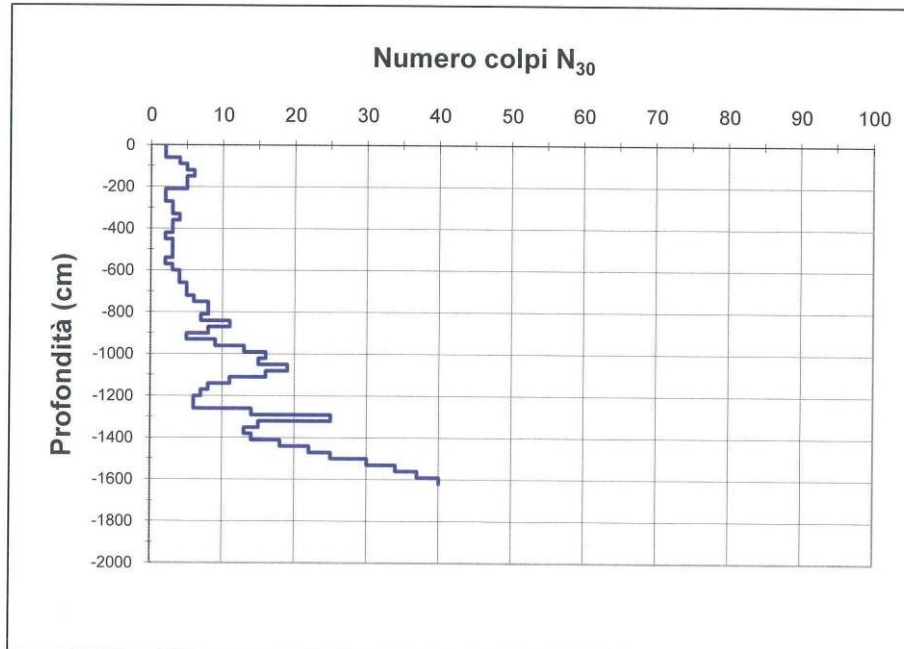
**Prova n° 2**

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|            |          | 510        | 3        | 1020       | 16       | 1530       | 30       |
| 30         | 2        | 540        | 3        | 1050       | 15       | 1560       | 34       |
| 60         | 2        | 570        | 2        | 1080       | 19       | 1590       | 37       |
| 90         | 4        | 600        | 3        | 1110       | 16       | 1620       | 40       |
| 120        | 5        | 630        | 4        | 1140       | 11       | 1650       |          |
| 150        | 6        | 660        | 4        | 1170       | 8        | 1680       |          |
| 180        | 5        | 690        | 5        | 1200       | 7        | 1710       |          |
| 210        | 5        | 720        | 5        | 1230       | 6        | 1740       |          |
| 240        | 2        | 750        | 6        | 1260       | 6        | 1770       |          |
| 270        | 2        | 780        | 8        | 1290       | 14       | 1800       |          |
| 300        | 3        | 810        | 8        | 1320       | 25       | 1830       |          |
| 330        | 3        | 840        | 7        | 1350       | 15       | 1860       |          |
| 360        | 4        | 870        | 11       | 1380       | 13       | 1890       |          |
| 390        | 3        | 900        | 8        | 1410       | 14       | 1920       |          |
| 420        | 3        | 930        | 5        | 1440       | 18       | 1950       |          |
| 450        | 2        | 960        | 9        | 1470       | 22       | 1980       |          |
| 480        | 3        | 990        | 13       | 1500       | 25       | 2010       |          |





**Committente: Studio Ass. Massone Di Cosmo**  
**Cantiere: Nuova sede concessionaria Novauto**

**Località: Alessandria**  
**Data: 26/02/2008**

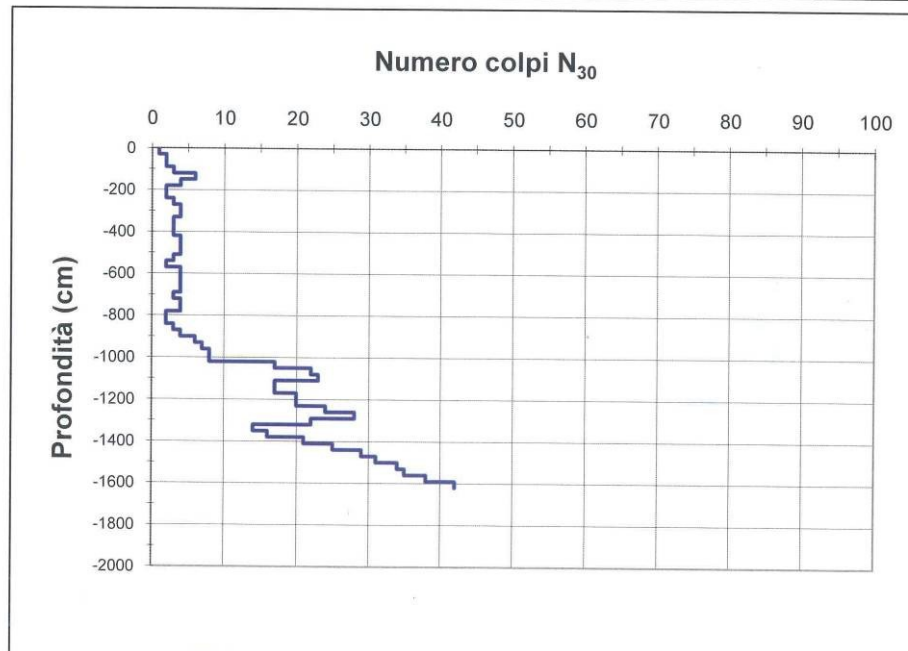
**Prova n° 3**

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|            |          | 510        | 4        | 1020       | 8        | 1530       | 34       |
| 30         | 1        | 540        | 3        | 1050       | 17       | 1560       | 35       |
| 60         | 2        | 570        | 2        | 1080       | 22       | 1590       | 38       |
| 90         | 2        | 600        | 4        | 1110       | 23       | 1620       | 42       |
| 120        | 3        | 630        | 4        | 1140       | 17       | 1650       |          |
| 150        | 6        | 660        | 4        | 1170       | 17       | 1680       |          |
| 180        | 4        | 690        | 4        | 1200       | 20       | 1710       |          |
| 210        | 2        | 720        | 3        | 1230       | 20       | 1740       |          |
| 240        | 2        | 750        | 4        | 1260       | 24       | 1770       |          |
| 270        | 3        | 780        | 4        | 1290       | 28       | 1800       |          |
| 300        | 4        | 810        | 2        | 1320       | 22       | 1830       |          |
| 330        | 4        | 840        | 2        | 1350       | 14       | 1860       |          |
| 360        | 3        | 870        | 3        | 1380       | 16       | 1890       |          |
| 390        | 3        | 900        | 4        | 1410       | 21       | 1920       |          |
| 420        | 3        | 930        | 6        | 1440       | 25       | 1950       |          |
| 450        | 4        | 960        | 7        | 1470       | 29       | 1980       |          |
| 480        | 4        | 990        | 8        | 1500       | 31       | 2010       |          |







**Committente: Studio Ass. Massone Di Cosmo**  
**Cantiere: Nuova sede concessionaria Novauto**

**Località: Alessandria**  
**Data: 26/02/2008**

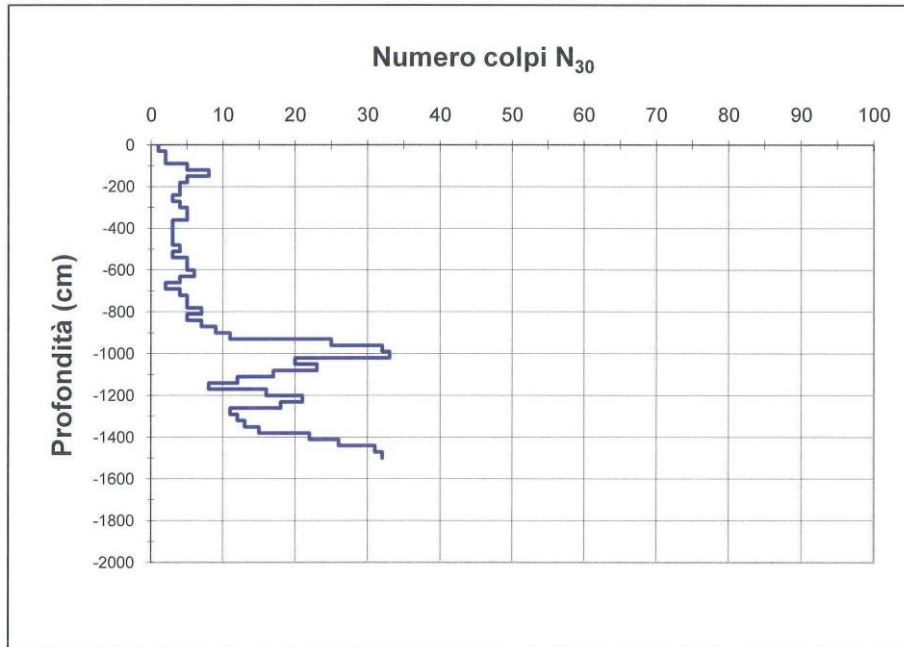
**Prova n° 4**

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|            |          | 510        | 4        | 1020       | 33       | 1530       |          |
| 30         | 1        | 540        | 3        | 1050       | 20       | 1560       |          |
| 60         | 2        | 570        | 5        | 1080       | 23       | 1590       |          |
| 90         | 2        | 600        | 5        | 1110       | 17       | 1620       |          |
| 120        | 5        | 630        | 6        | 1140       | 12       | 1650       |          |
| 150        | 8        | 660        | 4        | 1170       | 8        | 1680       |          |
| 180        | 5        | 690        | 2        | 1200       | 16       | 1710       |          |
| 210        | 4        | 720        | 4        | 1230       | 21       | 1740       |          |
| 240        | 4        | 750        | 5        | 1260       | 18       | 1770       |          |
| 270        | 3        | 780        | 5        | 1290       | 11       | 1800       |          |
| 300        | 4        | 810        | 7        | 1320       | 12       | 1830       |          |
| 330        | 5        | 840        | 5        | 1350       | 13       | 1860       |          |
| 360        | 5        | 870        | 7        | 1380       | 15       | 1890       |          |
| 390        | 3        | 900        | 9        | 1410       | 22       | 1920       |          |
| 420        | 3        | 930        | 11       | 1440       | 26       | 1950       |          |
| 450        | 3        | 960        | 25       | 1470       | 31       | 1980       |          |
| 480        | 3        | 990        | 32       | 1500       | 32       | 2010       |          |





**Committente: Studio Ass. Massone Di Cosmo**  
**Cantiere: Nuova sede concessionaria Novauto**

**Località: Alessandria**  
**Data: 27/02/2008**

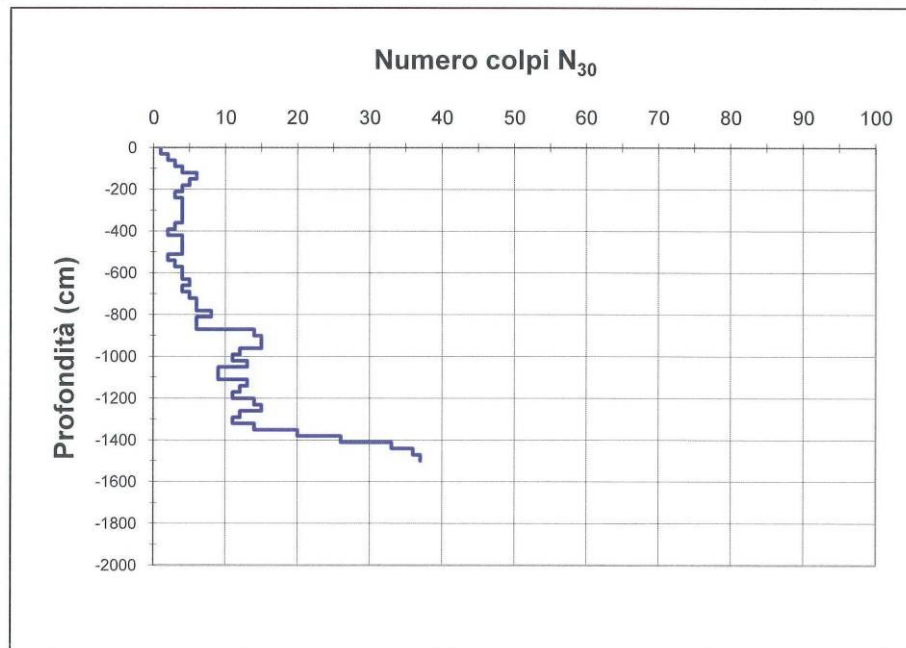
**Prova n° 5**

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|            |          | 510        | 4        | 1020       | 11       | 1530       |          |
| 30         | 1        | 540        | 2        | 1050       | 13       | 1560       |          |
| 60         | 2        | 570        | 3        | 1080       | 9        | 1590       |          |
| 90         | 3        | 600        | 4        | 1110       | 9        | 1620       |          |
| 120        | 4        | 630        | 4        | 1140       | 13       | 1650       |          |
| 150        | 6        | 660        | 5        | 1170       | 12       | 1680       |          |
| 180        | 5        | 690        | 4        | 1200       | 11       | 1710       |          |
| 210        | 4        | 720        | 5        | 1230       | 14       | 1740       |          |
| 240        | 3        | 750        | 6        | 1260       | 15       | 1770       |          |
| 270        | 4        | 780        | 6        | 1290       | 12       | 1800       |          |
| 300        | 4        | 810        | 8        | 1320       | 11       | 1830       |          |
| 330        | 4        | 840        | 6        | 1350       | 14       | 1860       |          |
| 360        | 4        | 870        | 6        | 1380       | 20       | 1890       |          |
| 390        | 3        | 900        | 14       | 1410       | 26       | 1920       |          |
| 420        | 2        | 930        | 15       | 1440       | 33       | 1950       |          |
| 450        | 4        | 960        | 15       | 1470       | 36       | 1980       |          |
| 480        | 4        | 990        | 12       | 1500       | 37       | 2010       |          |





**Committente: Studio Ass. Massone Di Cosmo**  
**Cantiere: Nuova sede concessionaria Novauto**

**Località: Alessandria**  
**Data: 26/02/2008**

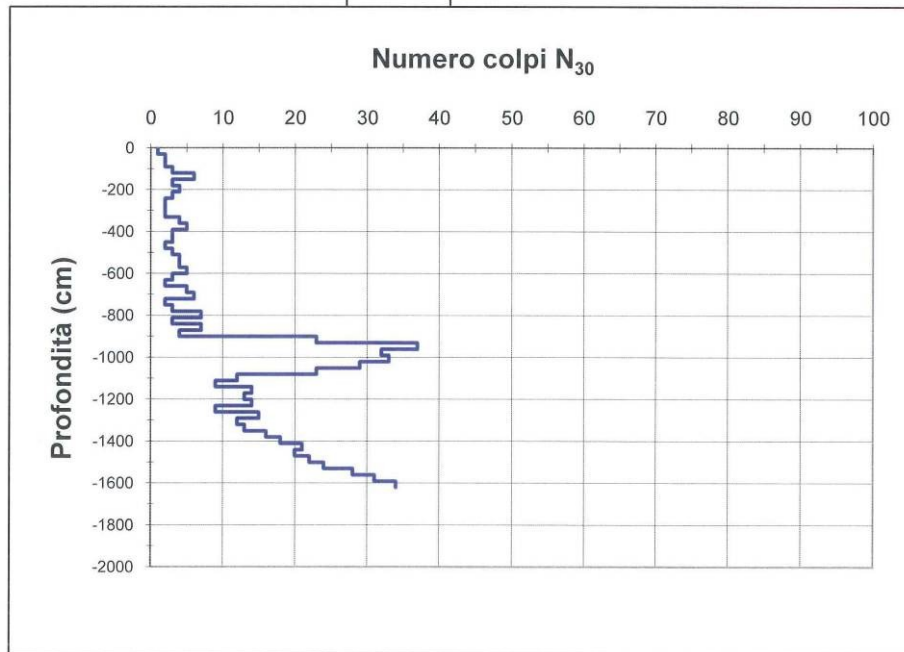
**Prova n° 6**

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|            |          | 510        | 3        | 1020       | 33       | 1530       | 24       |
| 30         | 1        | 540        | 4        | 1050       | 29       | 1560       | 28       |
| 60         | 2        | 570        | 4        | 1080       | 23       | 1590       | 31       |
| 90         | 2        | 600        | 5        | 1110       | 12       | 1620       | 34       |
| 120        | 3        | 630        | 3        | 1140       | 9        | 1650       |          |
| 150        | 6        | 660        | 2        | 1170       | 14       | 1680       |          |
| 180        | 3        | 690        | 5        | 1200       | 13       | 1710       |          |
| 210        | 4        | 720        | 6        | 1230       | 14       | 1740       |          |
| 240        | 3        | 750        | 2        | 1260       | 9        | 1770       |          |
| 270        | 2        | 780        | 3        | 1290       | 15       | 1800       |          |
| 300        | 2        | 810        | 7        | 1320       | 12       | 1830       |          |
| 330        | 2        | 840        | 3        | 1350       | 13       | 1860       |          |
| 360        | 4        | 870        | 7        | 1380       | 16       | 1890       |          |
| 390        | 5        | 900        | 4        | 1410       | 18       | 1920       |          |
| 420        | 3        | 930        | 23       | 1440       | 21       | 1950       |          |
| 450        | 3        | 960        | 37       | 1470       | 20       | 1980       |          |
| 480        | 2        | 990        | 32       | 1500       | 22       | 2010       |          |



**ALLEGATO: Certificato prove penetrometriche (2014)**






## Biasotti Group S.r.l.

CANTIERE: P.E.C. NUOVA AREA COMMERCIALE ASTUTI  
S.S. 10 AL/AT – KM 1  
ALESSANDRIA

### INDAGINE GEOGNOSTICA

Note tecnico – esecutive

| Rev. | Data       | Redazione  | Verifica  | Approvazione   | Descrizione        |
|------|------------|--|---|--|--------------------|
| 0    | 15/07/2014 | dott. Stellato S.<br> | dott. geol. Mosso E.<br> | dott. geol. Chiesa G.<br> | Prima<br>Emissione |

Sondeco S.r.l. – Strada della Commenda 11 – 10149 Torino – Tel/Fax 011.7393610  
sondeco@tiscali.it - sondeco@pec.it - www.sondeco.it  
C.F. e P. IVA 06855970015 – CCIAA TO 818733 – Cap. Soc. € 16.640,00 i.v.

**Certificato n° 355 del 15/07/2014**

## **Biasotti Group S.r.l.**

### **INDAGINE GEOGNOSTICA**

**S.S. 10 AL/AT km 1 – Loc. Astuti - Alessandria**

Su incarico della Società "Biasotti Group S.r.l." è stata eseguita nella giornata del 09 luglio 2014 una indagine geognostica costituita da n° 4 prove penetrometriche dinamiche (SCPT) ed una indagine geofisica superficiale di tipo MASW, presso un lotto di terreno oggetto di un PEC per la realizzazione di una nuova area commerciale in località Astuti, al km 1 della S.S. 10 AL/AT, nel territorio comunale di Alessandria.

L'indagine aveva lo scopo di verificare l'assetto litostratigrafico e le caratteristiche geotecniche dei materiali presenti in corrispondenza all'area di progetto di un nuovo capannone commerciale.

#### **PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE**

Per l'esecuzione dell'indagine si è utilizzato un penetrometro dinamico superpesante (DPSH - "Meardi - AGI") tipo Pagani modello TG 63/100, semovente, avente le seguenti caratteristiche standard:

Certificato n° 355 del 15/07/2014

| CARATTERISTICHE TECNICHE PENETROMETRO DINAMICO<br>"PAGANI 63/100" |                       |
|---|-----------------------|
| Peso massa battente   | 73 kg                 |
| Altezza di caduta libera  | 0,75 m                |
| Diametro punta conica   | 51,00 mm              |
| Area di base della punta  | 20,43 cm <sup>2</sup> |
| Angolo di apertura della punta                                    | 60°                   |
| Lunghezza delle aste  | 1,00 m                |
| Peso di 1 asta  | 6.31 Kg/m             |
| Avanzamento punta   | 0,30 m                |
| Numero colpi  | N <sub>(30)</sub>     |
| Norma di riferimento  | A.G.I. 1977           |

Tabella 1

Le verticali penetrometriche, denominate *P7*, *P8*, *P9* e *P10*, sono state spinte fino alla profondità di m 15.00 dal piano campagna.

#### INDAGINE GEOFISICA

L'esecuzione della prova geofisica di tipo MASW è stata affidata ad un laboratorio esterno di comprovata esperienza nel settore (CIS Geofisica S.r.l. – Busto Arsizio).

La descrizione della metodologia adottata ed i risultati dell'indagine sismica sono riportati in allegato.

Si trasmettono in allegato i risultati ed i diagrammi delle prove.



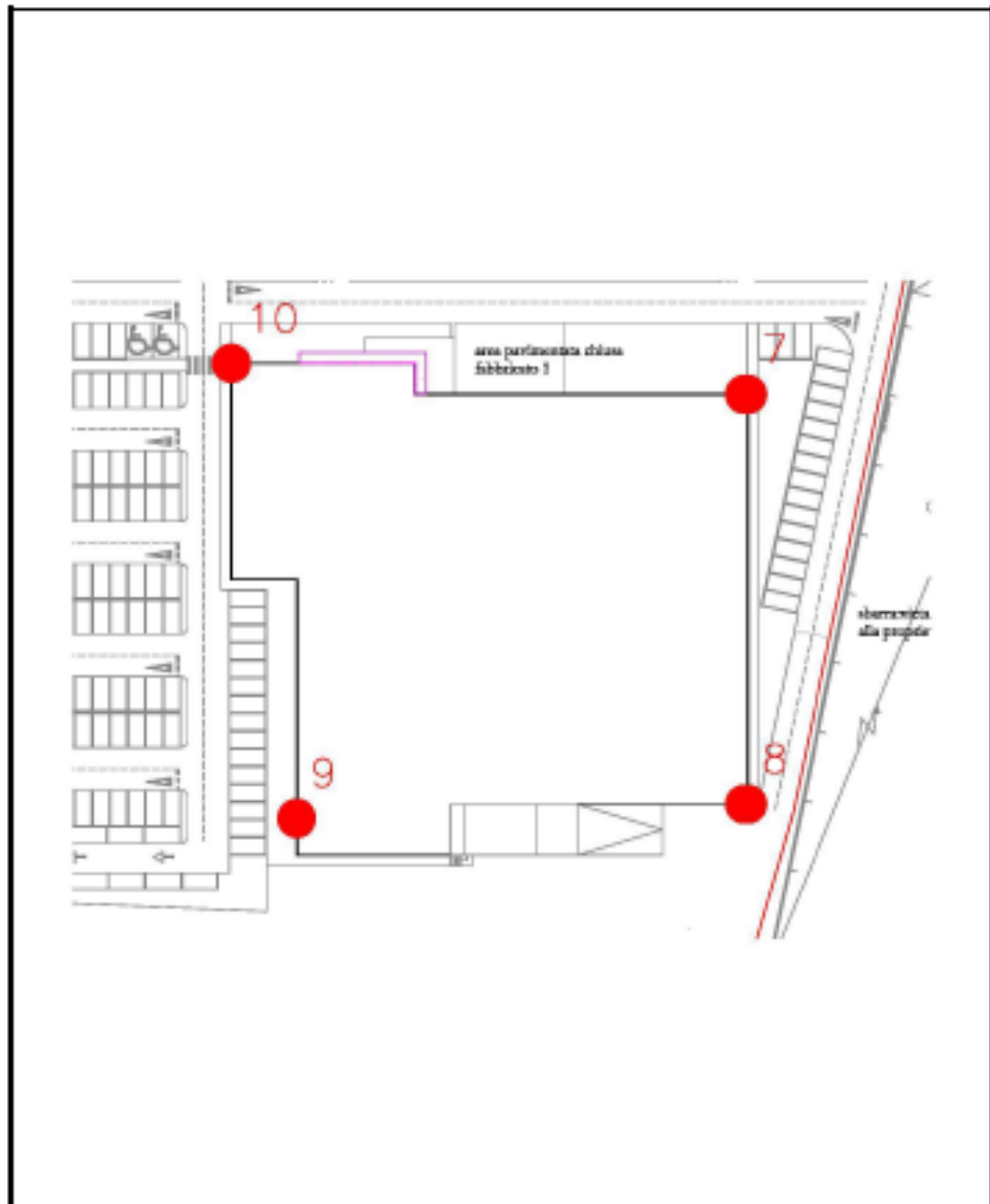
**Certificato n° 355 del 15/07/2014**

Fig. 1: Ubicazione delle indagini eseguite (in rosso).

**Certificato n° 355 del 15/07/2014**

**Allegato  
penetrometrico**

Certificato n° 355 del 15/07/2014



Committente: BIASOTTI GROUP S.r.l.

Località: Alessandria - Frazione Astuti

Cantiere: S.S. 10 ALJAT km 1 - PEC Nuova area commerciale Astuti

Data: 09/07/14

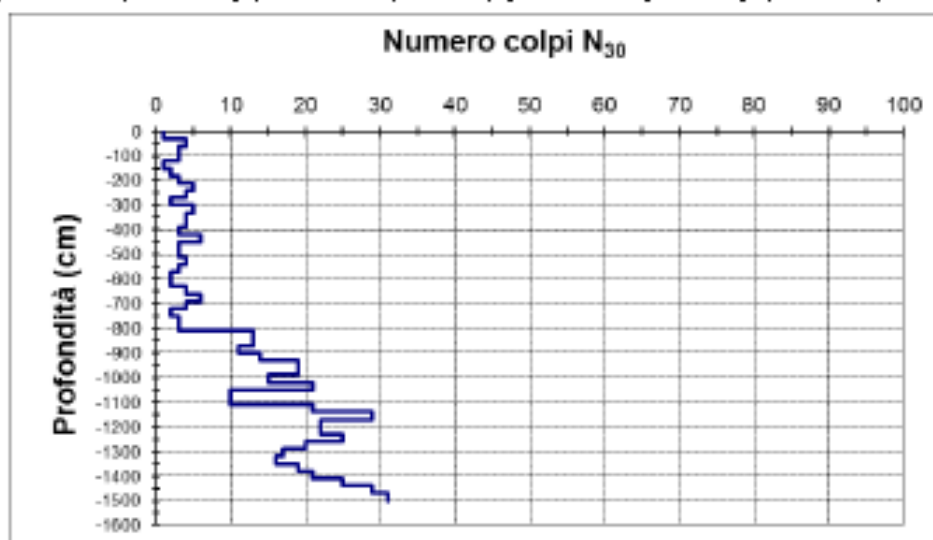
**Prova n° 7**

Penetrometro dinamico tipo Paqani Tq 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: m -3,40

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|            |          | 510        | 3        | 1020       | 15       | 1530       |          |
| 30         | 1        | 540        | 4        | 1050       | 21       | 1560       |          |
| 60         | 4        | 570        | 3        | 1080       | 10       | 1590       |          |
| 90         | 3        | 600        | 2        | 1110       | 10       | 1620       |          |
| 120        | 3        | 630        | 2        | 1140       | 21       | 1650       |          |
| 150        | 1        | 660        | 4        | 1170       | 29       | 1680       |          |
| 180        | 2        | 690        | 6        | 1200       | 22       | 1710       |          |
| 210        | 3        | 720        | 4        | 1230       | 22       | 1740       |          |
| 240        | 5        | 750        | 2        | 1260       | 25       | 1770       |          |
| 270        | 4        | 780        | 3        | 1290       | 20       | 1800       |          |
| 300        | 2        | 810        | 3        | 1320       | 17       | 1830       |          |
| 330        | 5        | 840        | 13       | 1350       | 16       | 1860       |          |
| 360        | 4        | 870        | 13       | 1380       | 19       | 1890       |          |
| 390        | 4        | 900        | 11       | 1410       | 21       | 1920       |          |
| 420        | 3        | 930        | 14       | 1440       | 25       | 1950       |          |
| 450        | 6        | 960        | 19       | 1470       | 29       | 1980       |          |
| 480        | 3        | 990        | 19       | 1500       | 31       | 2010       |          |



Certificato n° 355 del 15/07/2014



Committente: BIASOTTI GROUP S.r.l.

Località: Alessandria - Frazione Astuti

Cantiere: S.S. 10 AL/AT km 1 - PEC Nuova area commerciale Astuti

Data: 09/07/14

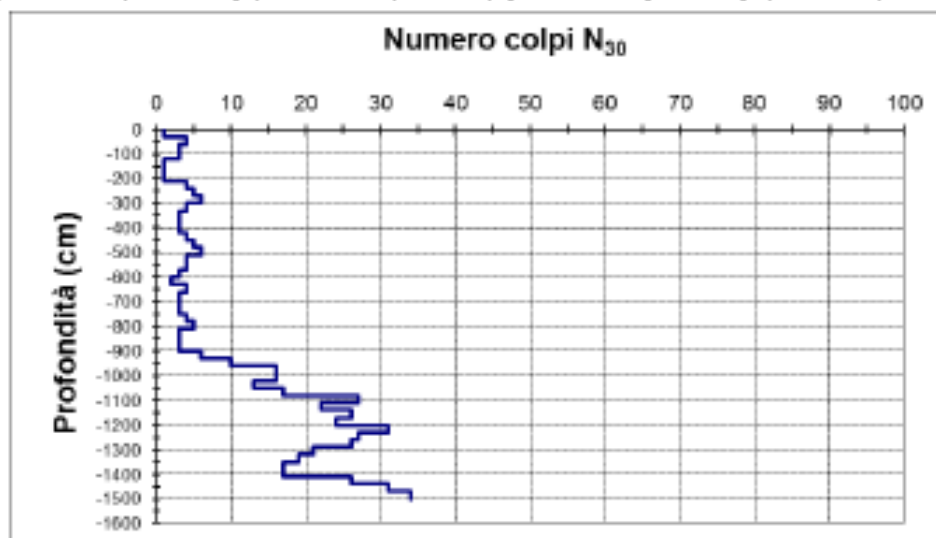
**Prova n° 8**

Penetrometro dinamico tipo Paganì Tq 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: m -2,50

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|            |          | 510        | 6        | 1020       | 16       | 1530       |          |
| 30         | 1        | 540        | 4        | 1050       | 13       | 1560       |          |
| 60         | 4        | 570        | 4        | 1080       | 17       | 1590       |          |
| 90         | 3        | 600        | 3        | 1110       | 27       | 1620       |          |
| 120        | 3        | 630        | 2        | 1140       | 22       | 1650       |          |
| 150        | 1        | 660        | 4        | 1170       | 26       | 1680       |          |
| 180        | 1        | 690        | 3        | 1200       | 24       | 1710       |          |
| 210        | 1        | 720        | 3        | 1230       | 31       | 1740       |          |
| 240        | 4        | 750        | 3        | 1260       | 27       | 1770       |          |
| 270        | 5        | 780        | 4        | 1290       | 26       | 1800       |          |
| 300        | 6        | 810        | 5        | 1320       | 21       | 1830       |          |
| 330        | 4        | 840        | 3        | 1350       | 19       | 1860       |          |
| 360        | 3        | 870        | 3        | 1380       | 17       | 1890       |          |
| 390        | 3        | 900        | 3        | 1410       | 17       | 1920       |          |
| 420        | 3        | 930        | 6        | 1440       | 26       | 1950       |          |
| 450        | 4        | 960        | 10       | 1470       | 31       | 1980       |          |
| 480        | 5        | 990        | 16       | 1500       | 34       | 2010       |          |



Certificato n° 355 del 15/07/2014



Committente: BIASOTTI GROUP S.r.l.

Località: Alessandria - Frazione Astuti

Cantiere: s.s. 10 ALJAT km 1 - PEC Nuova area commerciale Astuti

Data: 09/07/14

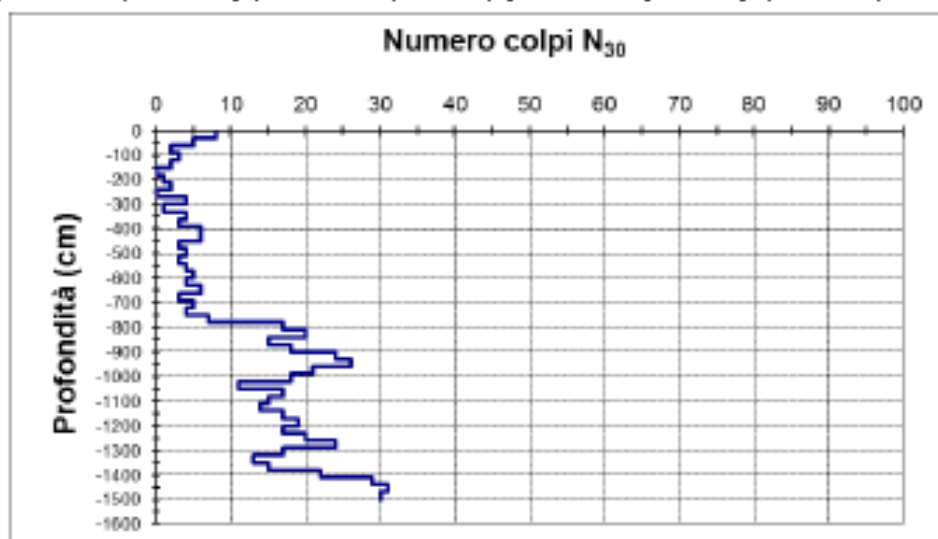
**Prova n° 9**

Penetrometro dinamico tipo Paqani Tq 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: m -2,50

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| 30         | 8        | 510        | 4        | 1020       | 18       | 1530       |          |
| 60         | 5        | 540        | 3        | 1050       | 11       | 1560       |          |
| 90         | 2        | 570        | 4        | 1080       | 17       | 1590       |          |
| 120        | 3        | 600        | 5        | 1110       | 15       | 1620       |          |
| 150        | 2        | 630        | 4        | 1140       | 14       | 1650       |          |
| 180        | 0        | 660        | 6        | 1170       | 17       | 1680       |          |
| 210        | 1        | 690        | 3        | 1200       | 19       | 1710       |          |
| 240        | 2        | 720        | 5        | 1230       | 17       | 1740       |          |
| 270        | 0        | 750        | 4        | 1260       | 20       | 1770       |          |
| 300        | 4        | 780        | 7        | 1290       | 24       | 1800       |          |
| 330        | 1        | 810        | 17       | 1320       | 17       | 1830       |          |
| 360        | 4        | 840        | 20       | 1350       | 13       | 1860       |          |
| 390        | 3        | 870        | 15       | 1380       | 15       | 1890       |          |
| 420        | 6        | 900        | 18       | 1410       | 22       | 1920       |          |
| 450        | 6        | 930        | 24       | 1440       | 29       | 1950       |          |
| 480        | 3        | 960        | 26       | 1470       | 31       | 1980       |          |
|            |          | 990        | 21       | 1500       | 30       | 2010       |          |



Certificato n° 355 del 15/07/2014



Committente: BIASOTTI GROUP S.r.l.

Località: Alessandria - Frazione Astuti

Cantiere: S.S. 10 ALJAT km 1 - PEC Nuova area commerciale Astuti

Data: 09/07/14

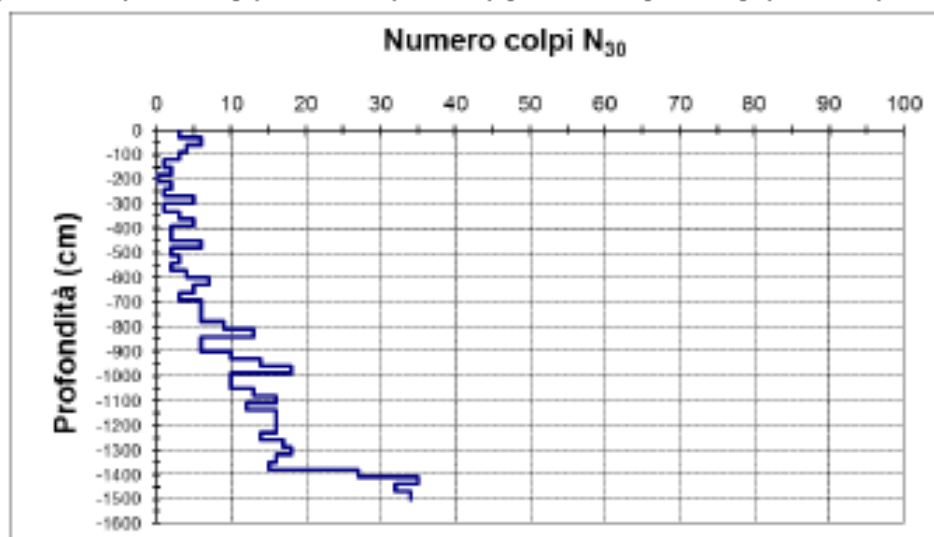
**Prova n° 10**

Penetrometro dinamico tipo Paqani Tq 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: non rilevata

Quota di riferimento: p.c.

| Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi | Quota (cm) | N° colpi |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| 30         | 3        | 510        | 2        | 1020       | 10       | 1530       |          |
| 60         | 6        | 540        | 3        | 1050       | 10       | 1560       |          |
| 90         | 4        | 570        | 2        | 1080       | 13       | 1590       |          |
| 120        | 3        | 600        | 4        | 1110       | 16       | 1620       |          |
| 150        | 1        | 630        | 7        | 1140       | 12       | 1650       |          |
| 180        | 2        | 660        | 5        | 1170       | 16       | 1680       |          |
| 210        | 0        | 690        | 3        | 1200       | 16       | 1710       |          |
| 240        | 2        | 720        | 6        | 1230       | 16       | 1740       |          |
| 270        | 1        | 750        | 6        | 1260       | 14       | 1770       |          |
| 300        | 5        | 780        | 6        | 1290       | 17       | 1800       |          |
| 330        | 1        | 810        | 9        | 1320       | 18       | 1830       |          |
| 360        | 3        | 840        | 13       | 1350       | 16       | 1860       |          |
| 390        | 5        | 870        | 6        | 1380       | 15       | 1890       |          |
| 420        | 2        | 900        | 6        | 1410       | 27       | 1920       |          |
| 450        | 2        | 930        | 10       | 1440       | 35       | 1950       |          |
| 480        | 2        | 960        | 14       | 1470       | 32       | 1980       |          |
|            | 6        | 990        | 18       | 1500       | 34       | 2010       |          |



**Certificato n° 355 del 15/07/2014**

**Allegato  
fotografico**



**Certificato n° 355 del 15/07/2014**



**Foto 1:** Posizionamento prova penetrometrica dinamica P7.



**Foto 2:** Posizionamento prova penetrometrica dinamica P8.

**Certificato n° 355 del 15/07/2014**



**Foto 3:** Posizionamento prova penetrometrica dinamica P9.



**Foto 4:** Posizionamento prova penetrometrica dinamica P10.

**Certificato n° 355 del 15/07/2014**



**Foto 5: Esecuzione prova geofisica di tipo MASW.**

**ALLEGATO: indagine sismica tipo MASW**



**Biasotti Group S.r.l.**

**COMUNE DI ALESSANDRIA**

**"PEC nuova area commerciale Astuti" - S.S. 10 AL/AT Km 1**

**ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE  
CON METODOLOGIA MASW**

**Data: 09-07-2014**

**CIS GEOFISICA s.r.l.**

Sede legale: Viale Cadorna 5, - 21052 Busto Arsizio (Va)  
Sede operativa di Luino (Va) Via Gorizia, 25/A Cap 21016, Cell.: +39 348-2531683 / +39 348-8949828  
Sede operativa di Casalpusterlengo (Lo) Via D. Galimberti 8/c - Cap 26841, Fax: 02-700520970  
Email: [info@cis-geofisica.it](mailto:info@cis-geofisica.it)  
Sito: [www.cis-geofisica.it](http://www.cis-geofisica.it)

## **INDICE**

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2</b>   | <b>CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA MASW .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>3</b>   | <b>ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....</b>     | <b>6</b>  |
| <b>3.1</b> | <b><i>Strumentazione utilizzata.....</i></b>      | <b>6</b>  |
| <b>3.2</b> | <b><i>Interpretazione dei dati.....</i></b>       | <b>7</b>  |
| <b>4</b>   | <b>RISULTATI .....</b>                            | <b>8</b>  |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI.....</b>          | <b>12</b> |

*La legge sui diritti d'autore (22/04/41 n°633) vieta la riproduzione ed utilizzazione anche parziale di questo documento senza la preventiva autorizzazione degli autori.*



## 1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo studio geofisico è finalizzato a definire la risposta sismica locale del sito in esame. Il sito è ubicato in adiacenza alla S.S. 10 AL/AT al km 1 nel territorio comunale di Alessandria.

In particolare gli scopi del presente lavoro sono:

- illustrare la sismicità dell'area sulla base della classificazione sismica nazionale ai sensi dell'OPCM n.3274 del 20 marzo 2003;
- definire il modello sismico del sottosuolo ovvero la categoria del suolo di fondazione attraverso i profili di velocità delle onde di taglio Vs ottenuti con le prove geofisiche in sito più adeguate, secondo quanto specificato al paragrafo 3.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008 -"Nuove norme tecniche per le costruzioni";

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005).

Si allega di seguito la foto e planimetria generale del sito:



*Inquadramento dell'area di indagine*

Le normative nazionali di riferimento sono:

D.M. 14 gennaio 2008 - "Nuove norme tecniche per le costruzioni"  
Circolare 2 febbraio 2009 n.617 C.S.LL.PP. - "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008"

OPCM n.3274 del 20 marzo 2003 -"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche"

OPCM n.3519 del 28 aprile 2006 -"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone"



In base all'analisi preventiva geologica e geomorfologica del sito è stata scelta come tecnica d'indagine più opportuna la **metodologia MASW**.

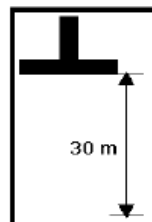
Nello specifico, sono state registrate diverse prove seguendo la pratica di tale tecnica (**M**ulti-channel **A**nalysis of **S**urface **W**aves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999).

Le prove sono utili a definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , ricavate analizzando il comportamento delle onde superficiali.

La scelta della **Categoria di Suolo**, Classificazione sismica dei terreni di progetto, si basa sul valore medio della velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità ( $V_{s30}$ ). Essa è definita dalla seguente relazione:

**CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE**

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$



**Tabella Categorie di sottosuolo NTC/2008**

| Categoria | Profilo stratigrafico   | Parametri       |       |         |
|-----------|---|-----------------|-------|---------|
|           |   | $V_{s30}$ (m/s) | Nspt  | Cu(KPa) |
| <b>A</b>  | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m  | > 800           | -     | -       |
| <b>B</b>  | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | 360÷800         | >50   | >250    |
| <b>C</b>  | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità   | 180÷360         | 15÷50 | 70÷250  |
| <b>D</b>  | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | <180            | <15   | <70     |
| <b>E</b>  | Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s   |                 |       |         |

## 2 CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

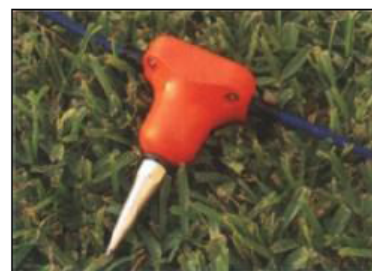
La metodologia MASW è una metodologia d'indagine che permette di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sul calcolo delle velocità delle onde superficiali.

La tecnica è veloce, affidabile ed economica in quanto non richiede l'esecuzione di scavi, perforazioni o altra tecnica invasiva.

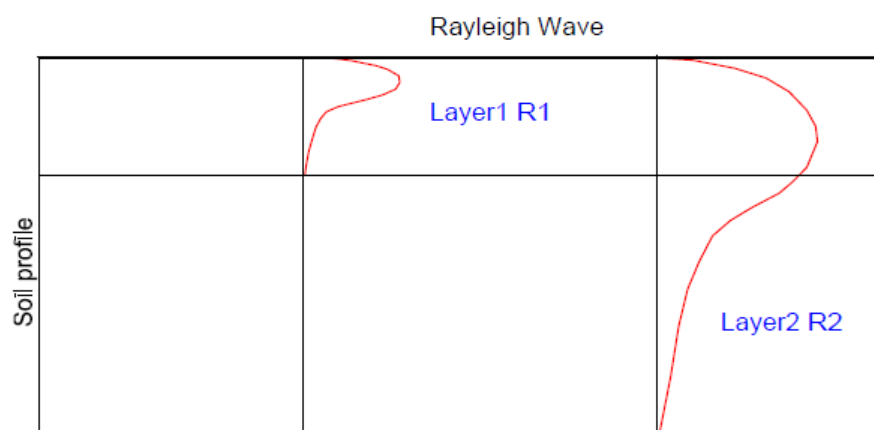
La determinazione delle velocità delle onde superficiali avviene anzitutto tramite la raccolta delle tracce sismiche sul terreno, grazie all'utilizzo di sensori posizionati con interdistanza regolare lungo un allineamento sulla superficie del suolo da indagare. Da queste velocità superficiali è poi possibile ricavare le velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ .

La componente che predomina nelle onde superficiali è dovuta alle onde di Rayleigh, la cui velocità è direttamente correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

È importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, vale a dire che le alte frequenze e quindi le corte lunghezze d'onda si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, mentre le onde aventi lunghezze d'onda maggiori tendono a coinvolgere anche gli strati più profondi, e quindi a contenere informazioni relative anche a tali strati, così come di seguito illustrato in figura:



*Geofono per indagini Masw*



La metodologia MASW può essere sia attiva che passiva o la combinazione di entrambe: nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate da una sorgente in un punto noto, in modo quindi non casuale, e registrate da stendimenti lineari di

sensori; nel metodo passivo lo stendimento di ricezione può essere sia lineare che circolare e ciò che si misura è il rumore di fondo ambientale esistente.

Il metodo attivo è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli perchè fornisce con un miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m dal piano campagna. Infatti si ottiene una curva di dispersione per un range di frequenze normalmente compreso tra 5 e 70Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo, in funzione soprattutto delle sue caratteristiche elastiche.

Utilizzando il metodo passivo si può ottenere una maggiore investigazione in termini di profondità ma una minore risoluzione nelle velocità degli strati, soprattutto per quelli più superficiali.

### 3 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

#### 3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione è stata effettuata tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit DAQlinkIII prodotto dalla Seismic Source Co. (USA) utilizzando in totale **24** canali di registrazione. Lo strumento viene collegato via cavo ai geofoni verticali che hanno una frequenza propria di **4.5 Hz**. L'interdistanza di tali sensori è stata fissata a **3m** per tutte le prove, mentre gli offset esterni di energizzazione considerati sono pari a **15m e 9m** per entrambi i lati.

*Caratteristiche tecniche del sismografo DaqLink III:*



*Acquisitore DaqLink III*

| <b>Caratteristiche tecniche DaqLink III</b> |   |
|---|---|
| <b>Channels</b>                             | 1-24 (multiple units can be used together)  |
| <b>A/D conversion</b>                       | 24 bit high speed sigma delta converters  |
| <b>Dynamic range</b>                        | 144 dB  |
| <b>Bandwidth</b>                            | DC to 15KHz<br>Analog filter flat response to 8000Hz<br>Digital filter bandwidth – 85% of sample rate |
| <b>Common mode rejection</b>                | Greater than 100dB  |
| <b>Crosstalk</b>                            | Better than 125dB   |
| <b>Noise floor</b>                          | 0.2µV RMS noise   |
| <b>Trigger accuracy</b>                     | +/- 1ms at all sample rates   |
| <b>Anti-alias filter</b>                    | 85% of Nyquist frequency  |
| <b>Digital Filters</b>                      | User selectable frequency   |
| <b>Sample intervals</b>                     | 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 ms   |

### 3.2 INTERPRETAZIONE DEI DATI

La procedura elaborativa prevede, sinteticamente, i seguenti passi:

- Trasformazione dei files acquisiti in un formato compatibile per l'elaborazione
- Immissione delle geometrie di acquisizione dei dati (sorgente e ricevitori)
- Generazione dell'immagine di dispersione di tutte le velocità di fase contenute nei segnali e filtraggio
- Analisi delle curve di dispersione e picking
- Verifica dei modi
- Modellazione e/o inversione delle curve di picking con algoritmo di calcolo genetico e metodi diretti
- Calcolo del parametro Vs30 dal profilo delle velocità di taglio Vs ottenuto

Il modello di suolo e il relativo profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati utilizzando una procedura manuale o automatica o una combinazione delle due.

Nella procedura manuale l'utente assegna, per tentativi, diversi valori delle velocità di taglio e degli spessori degli strati di modello, cercando di far corrispondere le curve di dispersione numeriche (teoriche) associate con i massimi dell'immagine di dispersione sperimentale.

Nella procedura automatica si utilizza invece, per la ricerca del profilo di velocità ottimale, un algoritmo globale o locale che minimizza i residui tra le curve sperimentali del picking effettuato dall'utente e quelle numeriche associate ad un grande numero di modelli, entro uno spazio di ricerca definito sempre dall'utente.

La riduzione progressiva della percentuale di errore durante il calcolo garantisce la validità della soluzione finale proposta e di conseguenza una corretta assegnazione della categoria di suolo sismico secondo la normativa.

Il software utilizzato per l'interpretazione è il **WinMASW 4.3 Pro** della EliaSoft.

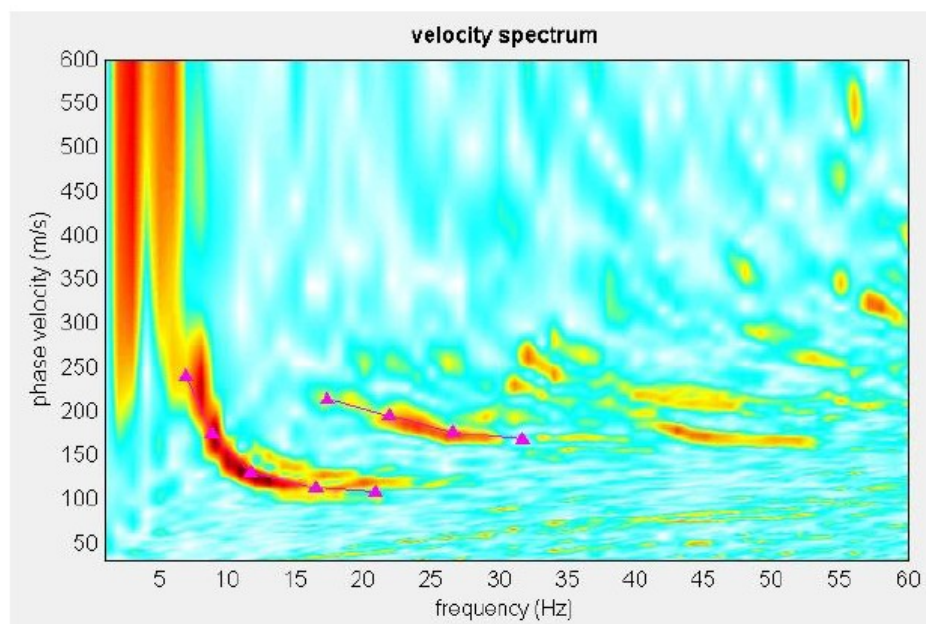


#### 4 RISULTATI

La figura di seguito riportata mostra l'immagine di dispersione di una delle sezioni MASW acquisite in campagna, ossia lo spettro delle velocità di fase calcolato sull'insieme di tutte le tracce registrate dai geofoni posizionati lungo lo stendimento.

Sovrapposto alla medesima immagine è presente anche il **picking** dei diversi modi che sono stati identificati (curve di dispersione dei modi).

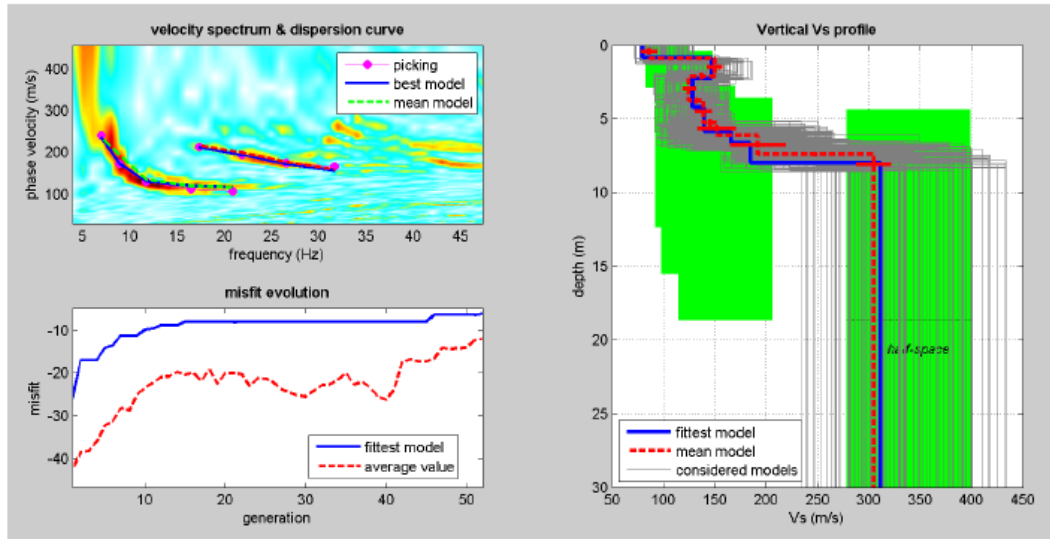
La modellazione diretta sulla base dello spettro di velocità e/o il processo di inversione di tali curve porta all'ottenimento delle curve di dispersione **interpretate** e da queste al più probabile profilo verticale delle onde di taglio  $V_s$ , da cui si ricava infine il parametro  $V_{s30}$ , come richiesto dalla normativa.



*Spettro delle velocità di fase e picking dei modi*

E' sempre bene tenere in considerazione che differenti modelli di velocità delle onde di taglio possono portare al medesimo risultato del parametro  $V_{s30}$ ; ciò significa che senza un'adeguata disponibilità di dati stratigrafici attendibili il parametro di legge calcolato risulta significativo, mentre l'esatta distribuzione delle velocità in funzione della profondità è da considerarsi in qualche modo indicativa.

Si mostra, nella figura che segue, la convergenza del 'Misfit' verso un valore minimo, al progredire del calcolo di inversione:

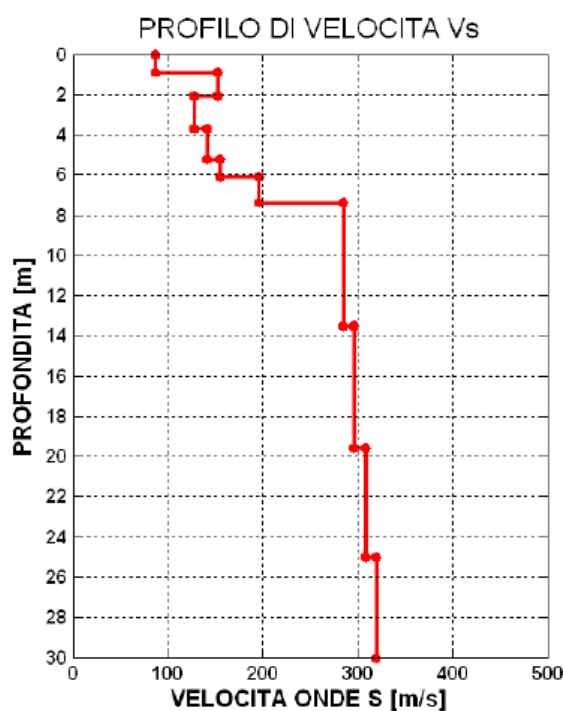


*Andamento del Misfit durante il processo di inversione delle curve di picking e risultati finali*



Nel grafico successivo viene presentato il profilo delle velocità di taglio  $V_s$  in funzione della profondità. Esso è prodotto al termine del calcolo di inversione delle curve di picking per il caso con sorgente esterna posizionata a **15m** dal geofono **24**. Il calcolo viene effettuato sfruttando un **algoritmo genetico**.

**Prova MASW - valore di  $V_{s30}$  calcolato pari a 233 m/s:**



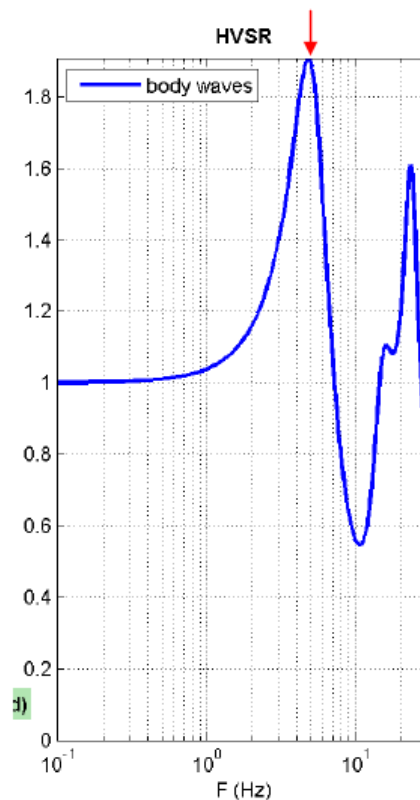
*Profilo finale delle velocità di taglio  $V_s$*

I valori numerici stimati per strato per il modello medio sono i seguenti:

| Strato        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $V_s$ (m/s)   | 88  | 153 | 128 | 142 | 155 | 196 | 285 | 297 | 309 | 320 |
| Spessore (m)  | 0.9 | 1.2 | 1.6 | 1.5 | 0.9 | 1.3 | 6.1 | 6.1 | 5.4 | 5.0 |
| MTaglio (MPa) | 12  | 40  | 27  | 34  | 42  | 67  | 151 | 166 | 175 | 184 |

Nell'immagine seguente si può osservare una curva dei rapporti H/V in funzione della frequenza, dedotta matematicamente a partire dal modello calcolato durante l'inversione, secondo una formulazione basata sulle onde di corpo ( $V_p$ ). Il picco fornisce una stima indiretta di un periodo proprio di sito (risonanza), corrispondente a circa  $1/5\text{Hz}=0.2\text{s}$ .

L'ampiezza del rapporto spettrale H/V che si osserva nel picco a **5Hz** è pari a circa **1.9** e tale picco è ben localizzato in frequenza. Tali picchi sono associabili alla presenza di contrasti nelle velocità  $V_s$  degli strati e indicano una possibile amplificazione in caso di sisma in un determinato range di frequenze. Tuttavia si fa notare che non è possibile mettere in diretta correlazione il valore del picco H/V stimato con il valore del fattore di amplificazione litologica, per il quale occorre riferirsi alle normative locali.



*Funzione rapporti H/V dedotti*

## 5 CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI

L'analisi delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale delle velocità  $V_s$  e, di conseguenza, del parametro **Vs30**, che risulta pari a circa **233 m/s** (considerando come riferimento il piano di campagna).

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008, ex DM 14 settembre 2005) il sito in esame rientra quindi nella **categoria C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero **Nspt30** compreso tra **15-50** nei terreni a grana grossa e **Cu30** compreso tra **70-250kPa** nei terreni a grana fina)".

## RIFERIMENTI

Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55

Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 3; 800 -808.

**ALLEGATO: interpretazione prove penetrometriche**

PARAMETRI CARATTERISTICI RICAIVATI CON LA FORMULA DI STUDENT: PRIMA UNITA' - VALORI DELL'ANGOLO D'ATTRITO $\phi$

| Profondità da piano campagna [m] | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | MEDIA | $\phi$ [°]<br>Road Bridge Specification | $\phi$ [°]<br>Japanese National Railway | $\sigma_{vo}$<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] | $\phi$ [°]<br>De Mello | $\phi$ [°]<br>medio |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-------|---|---|--|------------------------|---------------------|
| 0,00                             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |       |   |   |  |                        |                     |
| 0,30                             | 3  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 8  | 3   | 2,200 | 20,745                                  | 27,660                                  | 0,060                                  | 21,967                 | 23,457              |
| 0,60                             | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 4  | 4  | 5  | 6   | 3,100 | 21,819                                  | 27,930                                  | 0,120                                  | 23,244                 | 24,331              |
| 0,90                             | 2  | 4  | 2  | 2  | 3  | 2  | 3  | 3  | 2  | 4   | 2,700 | 21,364                                  | 27,810                                  | 0,180                                  | 22,697                 | 23,957              |
| 1,20                             | 3  | 5  | 3  | 5  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3,500 | 22,246                                  | 28,050                                  | 0,240                                  | 23,659                 | 24,651              |
| 1,50                             | 5  | 6  | 6  | 8  | 6  | 6  | 1  | 1  | 2  | 1   | 4,200 | 22,937                                  | 28,260                                  | 0,300                                  | 24,327                 | 25,175              |
| 1,80                             | 5  | 5  | 4  | 5  | 5  | 3  | 2  | 1  | 0  | 2   | 3,200 | 21,928                                  | 27,960                                  | 0,360                                  | 23,273                 | 24,387              |
| 2,10                             | 4  | 5  | 2  | 4  | 4  | 4  | 3  | 1  | 1  | 0   | 2,800 | 21,481                                  | 27,840                                  | 0,420                                  | 22,744                 | 24,022              |
| 2,40                             | 3  | 2  | 2  | 4  | 3  | 3  | 5  | 4  | 2  | 2   | 3,000 | 21,708                                  | 27,900                                  | 0,480                                  | 22,983                 | 24,197              |
| 2,70                             | 1  | 2  | 3  | 3  | 4  | 2  | 4  | 5  | 0  | 1   | 2,500 | 21,124                                  | 27,750                                  | 0,540                                  | 22,269                 | 23,714              |
| 3,00                             | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 2  | 2  | 6  | 4  | 5   | 3,600 | 22,348                                  | 28,080                                  | 0,600                                  | 23,629                 | 24,686              |
| 3,30                             | 1  | 3  | 4  | 5  | 4  | 2  | 5  | 4  | 1  | 1   | 3,000 | 21,708                                  | 27,900                                  | 0,660                                  | 22,914                 | 24,174              |
| 3,60                             | 2  | 4  | 3  | 5  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3   | 3,600 | 22,348                                  | 28,080                                  | 0,720                                  | 23,583                 | 24,670              |
| 3,90                             | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 5  | 4  | 3  | 3  | 5   | 3,500 | 22,246                                  | 28,050                                  | 0,780                                  | 23,453                 | 24,583              |
| 4,20                             | 4  | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 6  | 2   | 3,200 | 21,928                                  | 27,960                                  | 0,840                                  | 23,091                 | 24,326              |
| 4,50                             | 3  | 2  | 4  | 3  | 4  | 3  | 6  | 4  | 6  | 2   | 3,700 | 22,450                                  | 28,110                                  | 0,900                                  | 23,618                 | 24,726              |
| 4,80                             | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 2  | 3  | 5  | 3  | 6   | 3,700 | 22,450                                  | 28,110                                  | 0,960                                  | 23,596                 | 24,718              |
| 5,10                             | 5  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 6  | 4  | 2  | 2   | 3,800 | 22,550                                  | 28,140                                  | 1,020                                  | 23,674                 | 24,788              |
| 5,40                             | 4  | 3  | 3  | 3  | 2  | 4  | 4  | 4  | 3  | 3   | 3,300 | 22,036                                  | 27,990                                  | 1,080                                  | 23,116                 | 24,381              |
| 5,70                             | 3  | 2  | 2  | 5  | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 2   | 3,200 | 21,928                                  | 27,960                                  | 1,140                                  | 22,977                 | 24,288              |
| 6,00                             | 3  | 3  | 4  | 5  | 4  | 5  | 2  | 3  | 5  | 4   | 3,800 | 22,550                                  | 28,140                                  | 1,200                                  | 23,606                 | 24,765              |
| 6,30                             | 3  | 4  | 4  | 6  | 4  | 3  | 2  | 2  | 4  | 7   | 3,900 | 22,649                                  | 28,170                                  | 1,260                                  | 23,681                 | 24,833              |
| 6,60                             | 4  | 4  | 4  | 4  | 5  | 2  | 4  | 4  | 6  | 5   | 4,200 | 22,937                                  | 28,260                                  | 1,320                                  | 23,939                 | 25,046              |
| 6,90                             | 4  | 5  | 4  | 2  | 4  | 5  | 6  | 3  | 3  | 3   | 3,900 | 22,649                                  | 28,170                                  | 1,380                                  | 23,636                 | 24,818              |
| 7,20                             | 3  | 5  | 3  | 4  | 5  | 6  | 4  | 3  | 5  | 6   | 4,400 | 23,124                                  | 28,320                                  | 1,440                                  | 24,070                 | 25,171              |
| 7,50                             | 3  | 6  | 4  | 5  | 6  | 2  | 2  | 3  | 4  | 6   | 4,100 | 22,842                                  | 28,230                                  | 1,500                                  | 23,780                 | 24,951              |
| 7,80                             | 4  | 8  | 4  | 5  | 6  | 3  | 3  | 4  | 7  | 6   | 5,000 | 23,660                                  | 28,500                                  | 1,560                                  | 24,509                 | 25,556              |
| 8,10                             | 4  | 8  | 2  | 7  | 8  | 7  | 3  | 5  |    | 9   | 5,889 | 24,399                                  | 28,767                                  | 1,620                                  | 25,107                 | 26,091              |
| 8,40                             | 4  | 7  | 2  | 5  | 6  | 3  |    | 3  |    |     | 4,286 | 23,018                                  | 28,286                                  | 1,680                                  | 23,879                 | 25,061              |
| 8,70                             | 5  | 11 | 3  | 7  | 6  | 7  |    | 3  |    |     | 6,000 | 24,487                                  | 28,800                                  | 1,740                                  | 25,132                 | 26,140              |
| 9,00                             | 6  | 8  | 4  | 9  |    | 4  |    | 3  |    |     | 5,667 | 24,220                                  | 28,700                                  | 1,800                                  | 24,893                 | 25,937              |
| 9,30                             | 4  | 5  | 6  |    |    |    |    | 6  |    |     | 5,250 | 23,874                                  | 28,575                                  | 1,860                                  | 24,580                 | 25,676              |
| 9,60                             |    | 9  | 7  |    |    |    |    | 10 |    |     | 8,667 | 26,402                                  | 29,600                                  | 1,920                                  | 26,458                 | 27,487              |
| 9,90                             |    |    | 8  |    |    |    |    |    |    |     | 8,000 | 25,954                                  | 29,400                                  | 1,980                                  | 26,132                 | 27,162              |
| 10,20                            |    |    | 8  |    |    |    |    |    |    |     | 8,000 | 25,954                                  | 29,400                                  | 2,040                                  | 26,109                 | 27,154              |

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| valore medio          | deviaz. Standard |
| 24,973                | 0,955            |
| num. Dati             | Student          |
| 34                    | 1,692            |
| valore caratteristico |                  |
| 24,692                |                  |

PARAMETRI CARATTERISTICI RICAIVATI CON LA FORMULA DI STUDENT: SECONDA UNITA' - VALORI DELL'ANGOLO D'ATTRITO $\phi$

| Profondità da piano campagna [m] | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10    | MEDIA  | $\phi$ [°]<br>Road Bridge Specification | $\phi$ [°]<br>Japanese National Railway | $\sigma_{vo}$<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] | $\phi$ [°]<br>De Mello | $\phi$ [°]<br>medio |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|--------|---|---|--|------------------------|---------------------|
| 8,10                             |    |    |    |    |    |    |    |    | 17 |        | 17,000 | 30,969                                  | 32,100                                  | 1,620                                  | 29,126                 | 30,732              |
| 8,40                             |    |    |    |    |    |    |    | 13 | 20 | 13     | 15,333 | 30,166                                  | 31,600                                  | 1,680                                  | 28,712                 | 30,159              |
| 8,70                             |    |    |    |    |    |    | 13 | 15 | 6  | 11,333 | 28,038 | 30,400                                  | 1,740                                   | 27,543                                 | 28,661                 |                     |
| 9,00                             |    |    |    |    | 14 |    | 11 | 18 | 6  | 12,250 | 28,555 | 30,675                                  | 1,800                                   | 27,815                                 | 29,015                 |                     |
| 9,30                             |    |    |    | 11 | 15 | 23 | 14 | 24 | 10 | 16,167 | 30,572 | 31,850                                  | 1,860                                   | 28,844                                 | 30,422                 |                     |
| 9,60                             | 10 |    |    | 25 | 15 | 37 | 19 | 26 | 14 | 20,857 | 32,688 | 33,257                                  | 1,920                                   | 29,787                                 | 31,911                 |                     |
| 9,90                             | 17 | 13 |    | 32 | 12 | 32 | 19 | 16 | 21 | 18     | 20,000 | 32,321                                  | 33,000                                  | 1,980                                  | 29,606                 | 31,642              |
| 10,20                            | 8  | 16 |    | 33 | 11 | 33 | 15 | 16 | 18 | 10     | 17,778 | 31,330                                  | 32,333                                  | 2,040                                  | 29,136                 | 30,933              |
| 10,50                            | 5  | 15 | 17 | 20 | 13 | 29 | 21 | 13 | 11 | 10     | 15,400 | 30,199                                  | 31,620                                  | 2,100                                  | 28,569                 | 30,129              |
| 10,80                            | 6  | 19 | 22 | 23 | 9  | 23 | 10 | 17 | 17 | 13     | 15,900 | 30,443                                  | 31,770                                  | 2,160                                  | 28,667                 | 30,294              |
| 11,10                            | 8  | 16 | 23 | 17 | 9  | 12 | 10 | 27 | 15 | 16     | 15,300 | 30,149                                  | 31,590                                  | 2,220                                  | 28,499                 | 30,079              |
| 11,40                            | 9  | 11 | 17 | 12 | 13 | 9  | 21 | 22 | 14 | 12     | 14,000 | 29,491                                  | 31,200                                  | 2,280                                  | 28,139                 | 29,610              |
| 11,70                            | 12 | 8  | 17 | 8  | 12 | 14 | 29 | 26 | 17 | 16     | 15,900 | 30,443                                  | 31,770                                  | 2,340                                  | 28,599                 | 30,271              |
| 12,00                            | 13 | 7  | 20 | 16 | 11 | 13 | 22 | 24 | 19 | 16     | 16,100 | 30,540                                  | 31,830                                  | 2,400                                  | 28,624                 | 30,331              |
| 12,30                            | 14 | 6  | 20 | 21 | 14 | 14 | 22 | 31 | 17 | 16     | 17,500 | 31,202                                  | 32,250                                  | 2,460                                  | 28,917                 | 30,790              |
| 12,60                            | 11 | 6  | 24 | 18 | 15 | 9  | 25 | 27 | 20 | 14     | 16,900 | 30,922                                  | 32,070                                  | 2,520                                  | 28,762                 | 30,585              |
| 12,90                            | 9  | 14 | 28 | 11 | 12 | 15 | 20 | 26 | 24 | 17     | 17,600 | 31,248                                  | 32,280                                  | 2,580                                  | 28,893                 | 30,807              |
| 13,20                            | 8  | 25 | 22 | 12 | 11 | 12 | 17 | 21 | 17 | 18     | 16,300 | 30,636                                  | 31,890                                  | 2,640                                  | 28,579                 | 30,369              |
| 13,50                            |    | 15 | 14 | 13 | 14 | 13 | 16 | 19 | 13 | 16     | 14,778 | 29,888                                  | 31,433                                  | 2,700                                  | 28,185                 | 29,835              |
| 13,80                            |    | 13 | 16 | 15 |    | 16 | 19 | 17 | 15 | 15     | 15,750 | 30,370                                  | 31,725                                  | 2,760                                  | 28,403                 | 30,166              |
| 14,10                            |    | 14 |    |    |    | 18 |    | 17 |    |        | 16,333 | 30,652                                  | 31,900                                  | 2,820                                  | 28,519                 | 30,357              |

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| valore medio          | deviaz. Standard |
| 30,338                | 0,731            |
| num. Dati             | Student          |
| 21                    | 1,725            |
| valore caratteristico |                  |
| 30,056                |                  |

PARAMETRI CARATTERISTICI RICAIVATI CON LA FORMULA DI STUDENT: TERZA UNITA' - VALORI DELL'ANGOLO D'ATTRITO $\phi$

| Profondità da piano campagna [m] | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | MEDIA  | $\phi$ [°]<br>Road Bridge Specification | $\phi$ [°]<br>Japanese National Railway | $\sigma_{vo}$<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] | $\phi$ [°]<br>De Mello | $\phi$ [°]<br>medio |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|--------|---|---|--|------------------------|---------------------|
| 13,80                            |    |    |    |    | 20 |    |    |    |    |     | 20,000 | 32,321                                  | 33,000                                  | 2,760                                  | 29,309                 | 31,543              |
| 14,10                            |    |    | 21 | 22 | 26 |    | 21 |    | 22 | 27  | 23,167 | 33,641                                  | 33,950                                  | 2,820                                  | 29,844                 | 32,478              |
| 14,40                            |    | 18 | 25 | 26 | 33 | 21 | 25 | 26 | 29 | 35  | 26,444 | 34,916                                  | 34,933                                  | 2,880                                  | 30,323                 | 33,391              |
| 14,70                            |    | 22 | 29 | 31 | 36 | 20 | 29 | 31 | 31 | 32  | 29,000 | 35,857                                  | 35,700                                  | 2,940                                  | 30,650                 | 34,069              |
| 15,00                            |    | 25 | 31 | 32 | 37 | 22 | 31 | 34 | 30 | 34  | 30,667 | 36,448                                  | 36,200                                  | 3,000                                  | 30,839                 | 34,495              |
| 15,30                            |    | 30 | 34 |    | 24 |    |    |    |    |     | 29,333 | 35,976                                  | 35,800                                  | 3,060                                  | 30,647                 | 34,141              |
| 15,60                            |    | 34 | 35 |    | 28 |    |    |    |    |     | 32,333 | 37,023                                  | 36,700                                  | 3,120                                  | 30,994                 | 34,905              |
| 15,90                            |    | 37 | 38 |    | 31 |    |    |    |    |     | 35,333 | 38,022                                  | 37,600                                  | 3,180                                  | 31,307                 | 35,643              |
| 16,20                            |    | 40 | 42 |    | 34 |    |    |    |    |     | 38,667 | 39,083                                  | 38,600                                  | 3,240                                  | 31,626                 | 36,436              |

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| valore medio          | deviaz. Standard |
| 34,123                | 1,513            |
| num. Dati             | Student          |
| 9                     | 1,860            |
| valore caratteristico |                  |
| 33,128                |                  |

**ALLEGATO: sezione geotecnica (scomposta in due sezioni affiancate)**

