



**ALTO MILANESE GESTIONI AVANZATE S.p.A.**  
**Via per Busto Arsizio, 53 – 20025 Legnano (MI)**

**NUOVO IMPIANTO PER TRATTAMENTO RIFIUTI  
AREA DI VIA NOVARA - LEGNANO**

**INDAGINE GEOGNOSTICA  
ai sensi del DM 14/01/2008  
RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA**

***Sommario***

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI .....	3
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>4</b>
2.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	4
2.2. UNITÀ IDROGEOLOGICHE DI SOTTOSUOLO.....	4
2.3. PIEZOMETRIA DELL'ACQUIFERO SUPERIORE E RELATIVE ESCURSIONI .....	5
2.4. PRIME INDICAZIONI PER UN APPROVVIGIONAMENTO IDRICO AD USO TECNOLOGICO DELL'IMPIANTO DI TRATTAMENTO.....	7
<b>3. INDAGINI IN SITO .....</b>	<b>8</b>
3.1. METODOLOGIA DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI .....	8
3.1.1. <i>Sondaggi a carotaggio continuo.....</i>	<i>8</i>
3.1.2. <i>Prove penetrometriche dinamiche SPT.....</i>	<i>8</i>
3.1.3. <i>Prove di permeabilità Lefranc.....</i>	<i>9</i>
3.1.4. <i>Prime indicazioni sullo smaltimento delle acque meteoriche nel sottosuolo insaturo.....</i>	<i>9</i>
3.1.5. <i>Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT .....</i>	<i>10</i>
3.1.6. <i>Stendimenti geofisici MASW .....</i>	<i>11</i>
3.2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEI TERRENI.....	12
<b>4. PROGETTO .....</b>	<b>14</b>
4.1. CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO.....	15

4.2.	CALCOLO DEI CEDIMENTI .....	16
4.3.	COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO DI WINKLER.....	19
4.4.	ANALISI DELLE AZIONI SISMICHE.....	19

### Allegati

- 1 Stratigrafie dei sondaggi
- 2 Prove di permeabilità Lefranc
- 3 Prove penetrometriche dinamiche continue – Risultati e grafici
- 4 Risultati delle prove geofisiche MASW

### Tavole

- 1 Inquadramento idrogeologico – scala 1:10.000
- 2 Ubicazione delle indagini in sito e sezioni geologico-tecniche – scala 1:500

## 1. PREMESSA

AMGA Legnano S.p.A. ha affidato allo Studio Idrogeotecnico Applicato S.a.s. l'incarico per l'esecuzione di un'indagine geognostica, in supporto al progetto di realizzazione del nuovo impianto di trattamento rifiuti nell'area di Via Novara a Legnano.

Il programma delle indagini ha previsto l'esecuzione di 3 sondaggi a carotaggio continuo con prove penetrometriche dinamiche in foro SPT, prove di permeabilità, 12 prove penetrometriche dinamiche continue e 2 stendimenti geofisici MASW, svolti in data 30-31 marzo/1 aprile 2011.

L'indagine, svolta in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa del D.M. 14/01/2008, è stata finalizzata principalmente alla definizione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione; l'obiettivo è stato quello di verificare la relazione  $R_d > E_d$ , come indicato nelle NTC2008 2.3, allo scopo di ottenere la corretta scelta, impostazione e dimensionamento delle opere fondazionali.

### 1.1. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

#### Normative e raccomandazioni

- Norme Tecniche per le Costruzioni - 14 Gennaio 2008.
- Circolare LL.PP. 617 - 2009

#### Riferimenti bibliografici

- Skempton A.W. (1986). "*Standard Penetration Test Procedures and Effects in Situ Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation*" Géotechnique 36, n°2.
- Cestelli Guidi C. (1980). "*Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni*". Settima Edizione, Hoepli. Vol. 2, pp. 144-188.
- Cestari F. (1990). "*Prove Geotecniche in Sito*". Geo-Graph. Pp. 207-284.
- R. Lancellotta (1993). "*Geotecnica*". Zanichelli.

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO**

### **2.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA**

L'area di studio, caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante con quote digradanti verso S, è ubicata lungo Via Novara, entro l'ambito agricolo periurbano che si sviluppa nel settore sud-occidentale del territorio comunale di Legnano, in prossimità del confine comunale con Busto Arsizio; la quota altimetrica media si attesta a circa 206-207 m s.l.m.

Le unità geologiche presenti in affioramento sono costituite da depositi fluvioglaciali e fluviali di natura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa, con debole strato di alterazione superficiale, appartenenti all'Allogruppo di Besnate, espressione sedimentaria dell'espansione glaciale più recente (Pleistocene medio-superiore).

### **2.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE DI SOTTOSUOLO**

Sulla base delle caratteristiche litologiche dedotte dalle stratigrafie dei pozzi dell'area, si riconoscono 2 unità idrogeologiche, distinguibili per la loro omogeneità di costituzione e di continuità orizzontale e verticale.

La loro distribuzione è sintetizzata nella sezione idrogeologica di riferimento passante attraverso l'area di studio (**Tav. 1**), in cui tali unità si succedono, dalla più superficiale alla più profonda, secondo il seguente schema:

**2 - Unità dei depositi fluvioglaciali**, caratterizzata in prevalenza da depositi ghiaioso-sabbiosi ad elevata trasmissività, con locali intercalazioni conglomeratiche. All'interno di tale unità sono presenti orizzonti a bassa permeabilità rappresentati da sabbie limose, limi e argille, generalmente caratterizzati da una limitata continuità laterale. Nell'area di studio l'unità ha uno spessore medio di circa 110 m ed è sede dell'acquifero superiore di tipo libero, localmente semiconfinato, caratterizzato nell'area di progetto da soggiacenze medie di circa 36-38 m dal p.c.

**1 - Unità dei depositi marini di transizione**, costituita da una successione di materiali nel complesso più fini, con predominanza di argille grigie e gialle, talvolta fossilifere e torbose, caratterizzate da una discreta continuità laterale, cui si alternano strati di ghiaie-sabbiose acquifere e arenarie. Il limite superiore dell'unità, tendenzialmente parallelo alla superficie topografica, diviene più superficiale procedendo verso i settori meridionali dell'area. Nei livelli più grossolani e permeabili dell'unità, sono presenti falde idriche intermedie e profonde di tipo confinato, generalmente riservate all'utilizzo idropotabile e

captate dai pozzi più profondi dell'area (es: Legnano n. 6, 16, 17/1-2, 18/1-2). La migliore qualità delle acque è testimoniata dai dati idrochimici relativi ai pozzi profondi dell'area, indice della minor vulnerabilità delle falde profonde agli inquinamenti idroveicolati provenienti dalla superficie

### **2.3 PIEZOMETRIA DELL'ACQUIFERO SUPERIORE E RELATIVE ESCURSIONI**

In Tav. 1 è stata riportata la morfologia della superficie piezometrica dell'acquifero superiore della zona, ricostruita tramite i dati di soggiacenza relativi ad una campagna di misurazioni del livello eseguita in data maggio 2006 sui pozzi pubblici, pozzi privati e piezometri del territorio<sup>1</sup> (**Tav. 1**).

Nel territorio di Legnano, la morfologia della superficie piezometrica evidenzia direzioni generali del flusso idrico sotterraneo mediamente orientate NNW-SSE, con quote comprese tra 186 e 166 m s.l.m. ed un gradiente idraulico variabile dal 3 al 6÷7 ‰.

L'andamento delle quote piezometriche dell'acquifero superiore è ben rappresentato dalla serie storica delle misure di livello rilevate mensilmente dal 1980 da Amiacque s.r.l. sul pozzo Via Matteotti/Municipio di Rescaldina (cod. Cap 001), posto a circa 6 km a NE rispetto all'area di studio.

---

1 La ricostruzione piezometrica fa riferimento allo studio "AMGA S.p.A. - CONCESSIONE DI GRANDE DERIVAZIONE AD USO POTABILE DA POZZI IN COMUNE DI LEGNANO (MI) – STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE – Studio Idrogeotecnico Applicato – luglio 2006



**Figura 2.1** – Andamento delle quote piezometriche

Durante il periodo investigato (1980÷2010) si registra un massimo piezometrico relativo all'anno 1980 che ha interessato l'intera pianura milanese fin dal 1978 e causato dalle abbondanti precipitazioni del 1976-1977.

Dopo il 1980 si registra una generale tendenza all'abbassamento delle quote piezometriche che evidenzia l'instaurarsi di un periodo di magra che ha avuto il suo apice nel mese di maggio 1992, in cui la falda raggiunge i 43.5 m di profondità, con approfondimento piezometrico rispetto al 1980 pari a circa 11 m.

Dalla seconda metà del 1992, a seguito di un moderato aumento delle precipitazioni medie, si assiste ad un sensibile recupero delle quote piezometriche medie; l'andamento successivo evidenzia un moderato decremento delle quote piezometriche tra il 1997 e il giugno 2000 (circa 3 m), seguito dal picco piezometrico relativo del marzo 2001 e del febbraio 2003 (quota di 185.35 m s.l.m., soggiacenza di 35.4 m). La serie di misure successive evidenzia una nuova tendenza all'abbassamento dei livelli medi (-7 m), che si manifesta sino all'aprile 2008 (con 44.81 m di soggiacenza), dovuto alla scarsa piovosità registrata a livello regionale nel quinquennio 2003-2008. Il periodo più recente (2008-2010), caratterizzato da un aumento delle precipitazioni, rileva un generalizzato trend in risalita dei livelli (+7 m).

La dinamica della falda superiore nell'ultimo ventennio mostra pertanto il prevalere di fattori naturali di carica e ricarica legati all'andamento dei regimi meteorici, rispetto all'entità dei prelievi in atto sul territorio, generalmente stazionari o in lieve aumento.

Alla scala del sito, la soggiacenza della falda si collocava nel 2006 (ultima campagna sistematica di misure condotte per conto di AMGA – Tav.1) tra 37 m e 38 m circa dal piano campagna. In relazione all'innalzamento di falda dei tempi piu' recenti, si stima una soggiacenza attuale di circa 32 m, attestando quindi ancora condizioni di NON interferenza con le opere in progetto, sia in fase di scavo di fondazione che di esercizio.

#### **2.4 PRIME INDICAZIONI PER UN APPROVVIGIONAMENTO IDRICO AD USO TECNOLOGICO DELL'IMPIANTO DI TRATTAMENTO**

In base alle caratteristiche idrogeologiche sopra descritte, l'unità 2, prevalentemente ghiaioso-sabbiosa e permeabile, riveste interesse per l'approvvigionamento idrico dell'impianto, in modo da svincolare lo stesso dall'utilizzo di acque di acquedotto, di pregio e di disponibilità limitata.

La profondità della eventuale trivellazione dovrà raggiungere almeno i 60 m dal piano campagna, in ragione della elevata soggiacenza della falda in zona e delle significative escursioni di lungo periodo.

La tecnica di perforazione ed il relativo diametro dovranno essere tali da garantire l'installazione di un adeguata colonna di rivestimento definitiva (almeno 323 mm) e conseguentemente di una pompa sommersa del necessario diametro e potenza/portata. La tecnica di perforazione potrà essere scelta anche in relazione alla esigenza di minimizzare i costi di smaltimento dei materiali di risulta, privilegiando tecniche che escludono l'utilizzo di fanghi bentonitici.

L'area di progetto si presenta esente dai vincoli inderogabili per la costruzione di un pozzo ad uso non potabile ovvero quelli indotti dalle Zone di rispetto di pozzi a servizio di acquedotto (l'adiacente pozzo 13 ex AMGA fu cementato definitivamente; altri pozzi piu' prossimi ad oltre 1 Km a N e a S – Villa Cortese).

Le procedure autorizzative fanno riferimento al Regolamento regionale 2/06 ed alle indicazioni disponibili sul sito web della Provincia di Milano (contenuti minimi delle relazioni tecniche e format delle istanze).

Il procedimento amministrativo, a cura della Provincia di Milano, ha termine massimo di 18 mesi dall'Avvio del procedimento. Di norma le autorizzazioni alla trivellazione si ottengono entro 7-8 mesi dal protocollo dell'istanza completa di allegati.

A seguito di relazione di fine lavori, viene stipulato l'atto di concessione e solo in quel momento può essere attivata la derivazione. Di tale tempistica di dovrà tenere in conto nel cronoprogramma di progetto e di attivazione dell'impianto.

### **3. INDAGINI IN SITO**

Al fine di ottenere i parametri necessari per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere in progetto è stata condotta una specifica campagna di indagini in sito, consistenti in 3 sondaggi a carotaggio continuo con prove penetrometriche dinamiche SPT, 12 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT e 2 prove sismiche MASW.

#### **3.1. METODOLOGIA DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI**

##### ***3.1.1. Sondaggi a carotaggio continuo***

I sondaggi sono stati eseguiti dalla ditta Geoser di Pavia con sonda idraulica.

La perforazione è stata eseguita a rotazione, a carotaggio continuo, con l'impiego di carotiere semplice  $\phi_{int} = 101$  mm; dopo ogni manovra di perforazione si è provveduto al sostenimento del foro con l'impiego di tubi di rivestimento  $\phi_{est} = 127$  mm.

Come fluido di perforazione è stata usata acqua proveniente dal cantiere.

Per i campioni di terreno, prelevati senza soluzione di continuità durante l'esecuzione del sondaggio, si è provveduto:

- alla descrizione geotecnica dei terreni attraversati eseguita dal geologo abilitato;
- alla redazione dell'andamento stratigrafico su apposita scheda allegata, in cui si riportano tutti gli elementi ritenuti necessari per l'interpretazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati.

In **Al. 1** sono state riportate le colonnine stratigrafiche dei sondaggi effettuati e le relative prove penetrometriche in foro SPT.

##### ***3.1.2. Prove penetrometriche dinamiche SPT***

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite 12 prove penetrometriche dinamiche SPT in foro.

Lo scopo è stato quello di rilevare lo stato di addensamento dei terreni a partire da una profondità di 2 metri. In particolare sono stati rilevati i numeri di colpi necessari all'infissione di 45 cm di asta, suddivisi in tratti da 15 cm.



L'attrezzatura impiegata ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- testa di battuta in acciaio avvitata su aste  $\phi = 51$  mm;
- altezza di caduta del maglio = 75 cm;
- peso del maglio = 63,5 kg.

Le prove sono state eseguite con l'impiego di campionatore Raymond a punta chiusa a causa della presenza prevalente di materiale ghiaioso.

### **3.1.3. Prove di permeabilità Lefranc**

All'interno delle perforazioni di sondaggio a carotaggio continuo sono state eseguite complessivamente n° 3 prove di permeabilità Lefranc, due a carico costante e 1 a carico variabile, con immissione d'acqua all'interno di una tasca di prova cilindrica appositamente predisposta sollevando la tubazione di rivestimento.

I risultati delle prove condotte sono mostrati per esteso in allegato alla presente relazione (cfr. **Allegato 2**), mentre nella tabella che segue sono riassunti, per ogni prova condotta i risultati ottenuti.

Prova	Profondità fondo foro [m]	Lunghezza tasca [m]	carico idraulico	Coefficiente di permeabilità K [cm/s]
SD2-1	1.80	0.50	costante	$5.7 \cdot 10^{-4}$
SD2-2	3.00	0.15	variabile	$9.0 \cdot 10^{-4}$
SD2-3	7.00	0.50	costante	$4.6 \cdot 10^{-3}$

### **3.1.4. Prime indicazioni sullo smaltimento delle acque meteoriche nel sottosuolo insaturo**

La finalita' delle prove e' stata quella di fornire indicazione per il dimensionamento per eventuali pozzi di dispersione di acque meteoriche di seconda pioggia, eccedenti la portata smaltibile in fognatura ed eventualmente così contenere i volumi da volanizzare.

A causa della presenza di una frazione limosa e sabbiosa, i valori di permeabilita' non sono particolarmente elevati alle profondita' di prova. Tuttavia, al netto delle normali sottostime indotte da prove Lefranc rispetto a rilevazioni condotte tramite prove di pompaggio (anche 1 ordine di grandezza inferiori alla realta'), si riscontra un netto aumento della permeabilita' a profondita' superiori ai 4-5 m (dati disponibili solo per S2, in coerenza con la stratigrafia di sondaggio).

In generale, per ottimizzare le portate unitarie smaltibili per pozzo nel primo sottosuolo, si devono quindi raggiungere profondità fra i 5 e 10 m di profondità. Il metodo ottimale è rappresentato da pozzi trivellati da 10 m/cad, con diametro indicativo DN 1.200 mm tubati con colonne in acciaio catramato e filtri passanti luce 4\* 40 mm. Il drenaggio dell'intercapedine sarà da effettuarsi con ghiaietto lavato e selezionato di cava.

A monte della batteria di pozzi sarà da porre in opera un sedimentatore dei solidi sospesi (anelli di cemento), di volume sufficiente a garantire la sedimentazione stessa.

Un test sperimentale full scale su un primo pozzo approvvigionato con acqua da idrante potrebbe consentire una corretta definizione del numero ed interasse dei pozzi.

### **3.1.5. Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT**

Le prove penetrometriche standard (Standard Cone Penetration Test) consistono nel misurare il numero di colpi necessario ad infiggere per 30 cm nel terreno una punta conica collegata alla superficie da una batteria di aste.

Le misure vengono fatte senza soluzione di continuità a partire da piano campagna: ogni 30 cm di profondità si rileva perciò un valore del numero di colpi necessario all'infissione.

#### *Caratteristiche tecniche:*

- altezza di caduta della mazza: 75 cm;
- peso della mazza: 73 kg;
- punta conica: conicità 60°,  $\phi = 51$  mm;
- aste:  $\phi = 34$  mm.

Il risultato viene dato in forma di grafico, con una linea rappresentante la resistenza che il terreno ha opposto alla penetrazione alla punta (RP) (cfr. **All. 3** e Tav. 2). Le prove sono state spinte fino a rifiuto strumentale, raggiunto a profondità variabile tra 6 e 11.5 m di profondità.

**Le quote sui grafici di penetrazione sono riferite ai rispettivi piani campagna di inizio delle indagini e non allo "zero" di progetto.**



Il piano di inizio delle indagini coincide con il piano campagna, posto alla stessa quota del piano strada.

### **3.1.6. Stendimenti geofisici MASW**

Lo scopo dell'indagine è stata quella di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali Vs da cui ricavare il parametro Vs30.

Le caratteristiche di entrambe le prove sono:

<b>Stendimento geofonico (m)</b>	<b>Energizzazioni</b>	<b>Geofoni</b>
46	8	24

#### **3.1.6.1. Analisi multicanale delle onde superficiali**

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

L'intero processo comprende tre passi: l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente, come nelle indagini effettuate per il caso in esame.

In **All. 4** sono riportati i risultati della prova MASW. Nel riquadro principale si osserva la stratigrafia delle Vs ricavata dalla prova, nonché le curve di dispersione misurate e calcolate. A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro **Vs30** calcolato.

### **3.2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEI TERRENI**

L'area presenta alcune zone interessate da scavi ritombati; le prove effettuate non hanno rilevato una marcata differenza tra le zone ritombate ed il terreno naturale, segno che le operazioni di riempimento sono state effettuate correttamente, costipando adeguatamente il terreno riportato.

I sondaggi eseguiti hanno permesso di ricostruire la stratigrafia del terreno oggetto di indagine: a partire dal piano campagna le litologie presenti sono costituite principalmente da sabbia da fine a grossolana, con ghiaia e ciottoli, e percentuali variabili di limo e argilla.

Le stratigrafie riportate tra gli allegati descrivono con più precisione le variazioni granulometriche dei terreni attraversati lungo le verticali di sondaggio.

Le prove penetrometriche SPT mostrano che il terreno investigato è scarsamente addensato fino a circa 2 metri di profondità dal piano strada; si presenta invece ben addensato a partire dalla profondità di 5 m fino al termine delle prove.

Un andamento stratigrafico simile è stato riscontrato anche durante l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche SCPT:

- dal piano campagna fino a circa 2.5÷3.5 m di profondità, il terreno è costituito da sabbia limosa con ghiaia scarsamente addensate;
- da 2.5÷3.5 m sino al termine delle prove, il terreno è costituito da una successione di livelli ghiaioso sabbiosi, da mediamente a ben addensati (con grado di addensamento che aumenta con la profondità).

I parametri geotecnici indicati nel seguito sono stati ottenuti indirettamente, mediante correlazioni empiriche, a partire dai risultati delle prove penetrometriche.

I valori adottati come rappresentativi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati sono quelli consigliati da diversi Autori (Peck, Hanson e Thornburn, 1953; K. Terzaghi e R.B. Peck, 1976; G. Sanglerat, 1979; J.E. Bowles, 1982) e sono stati definiti in modo moderatamente cautelativo.

I valori di resistenza alla penetrazione dinamica ricavati dalle prove in sito sono stati normalizzati in funzione della profondità, del tipo di attrezzatura utilizzata e delle caratteristiche granulometriche generali dei terreni, secondo la seguente equazione:

$$\mathbf{N'(60)} = \mathbf{N_{SPT}} \times \mathbf{1.08} \times \mathbf{Cr} \times \mathbf{Cd} \times \mathbf{Cn}$$

dove: **N'(60)** = valore di resistenza normalizzato

**Cr** = fattore di correzione funzione della profondità

**Cd** = fattore di correzione funzione del diametro del foro

**Cn** = fattore di correzione funzione della granulometria del terreno

**1.08** = valore di correzione funzione delle caratteristiche di restituzione dell'energia sviluppata dall'attrezzatura

La stima del valore della densità relativa ( $D_r$ ) è stata eseguita secondo le equazioni proposte da Skempton (1986):

$$D_r \cong \sqrt{N_{60}/60}$$

La valutazione del valore dell'angolo d'attrito mobilizzabile, in termini di sforzi efficaci, è stata effettuata sulla base delle correlazioni proposte da Shmertmann, 1977.

Sono state quindi riconosciute **due unità geotecniche**, suddivise per spessore e aventi le seguenti caratteristiche meccaniche (cfr. Tav. 2):

**1 Da quota inizio prove a circa – 2,5÷3,5 metri**

$N_{SPT} = 5$

$\Phi = 28^\circ$

$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

$$D_r = 20 \%$$

## 2 Da circa – 2,5÷3,5 m al termine delle prove

$$N_{SPT} = 35$$

$$\Phi = 37^\circ$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$D_r = 70 \%$$

**N.B.:**  $N_{SPT}$  = numero colpi/30 cm  
 $\Phi$  = angolo di attrito del materiale  
 $\gamma$  = peso di volume  
 $D_r$  = densità relativa

Secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche, tali parametri meccanici devono essere trattati in maniera statistica, adottando valori a cui sia associata una probabilità di superamento non superiore a 5% (2.3 – NTC2008), ottenendo parametri definiti "caratteristici".

profondità	$\Phi$ nominale (da prove)	$\Phi_k$ (caratteristico)
0 m – 2,5÷3,5 m	28°	28°
2,5÷3,5 m – al termine delle prove	37°	37°

## 4. PROGETTO

L'intervento prevede la realizzazione di un nuovo impianto di trattamento rifiuti. Verranno realizzati edifici di varia natura e funzione, ovvero capannoni, vasche, digestori e depuratori.

Le tipologie di fondazione e la loro quota di imposta ed i carichi allo stato limite ultimo dipenderanno dal tipo di struttura; per i calcoli ipotizziamo quindi fondazioni posizionate a – 2 metri e a – 3 metri dalla quota di inizio delle prove penetrometriche e dei sondaggi, considerando i valori di carico indicati dai progettisti.

#### 4.1. CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO

Per il calcolo della resistenza di progetto  $R_d$ , la normativa impone l'utilizzo di coefficienti parziali riduttivi, da applicare ai valori caratteristici dei parametri meccanici del terreno, secondo due approcci (6.4.2.1 – NTC2008).

Le verifiche devono essere effettuate nei confronti dei seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
- SLU di tipo strutturale (STR)

accertando che sia verificata la condizione  $E_d \leq R_d$ , dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Si è scelto di utilizzare l'approccio 2, dove è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

#### **Approccio 2: (azioni A1 + materiali M1 + resistenze R3)**

**I coefficienti parziali dei parametri di resistenza del terreno (M) sono unitari e la resistenza globale del sistema (R) è ridotta tramite il coefficiente del gruppo R3, pari a 2,3.**

Una volta conosciuti ed elaborati i parametri geotecnici, calcoliamo la resistenza di progetto; la valutazione è eseguita sulla base dell'equazione proposta da Brinch-Hansen (1970); l'equazione adottata, nella sua forma più generale, è la seguente:

$$R_k = 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma + c N_c s_c d_c + q N_q s_q d_q$$

dove:

$R_k$	[kPa]	= resistenza allo stato limite ultimo;
$\gamma$	[kN/mc]	= peso di volume;

B	[m]	= larghezza della fondazione;
c	[kPa]	= coesione;
q	[kPa]	= $\gamma \times D$ = sovraccarico dovuto al rinterro;
D	[m]	= profondità di incasso della fondazione;
$N_\gamma, N_c, N_q$	[-]	= fattori di capacità portante;
$S_\gamma, s_c, s_q$	[-]	= fattori forma;
$d_\gamma, d_c, d_q$	[-]	= fattori profondità.

Alle quote di imposta considerate, i risultati ottenuti sono

- - **2 metri da piano strada** → **Approccio 2:  $R_k = 644$  kPa**
- - **3,5 metri da piano strada** → **Approccio 2:  $R_k = 837$  kPa**

Per il calcolo del valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, l'approccio impone il coefficiente parziale  $R_3 = 2,3$ .

Ne consegue che la resistenza di progetto  $R_d$  che non deve essere superata dalle azioni di progetto  $E_d$  è:

- - **2 metri da piano strada** → **Approccio 2:  $R_d = 280$  kPa ( $>E_d$ )**
- - **3,5 metri da piano strada** → **Approccio 2:  $R_d = 364$  kPa ( $>E_d$ )**

Per il calcolo dei cedimenti, prendiamo in considerazione il carico di esercizio (Stato Limite di Esercizio), ovvero considerando le azioni non amplificate dai coefficienti  $A_1$ . Dividiamo quindi il valore di progetto  $R_d$  per il valore medio dei coefficienti di amplificazione delle azioni ( $A_1$ ), che, nel caso dell'approccio considerato, possiamo quantificare in 1,4. Verificheremo quindi i cedimenti per una pressione sul terreno da parte delle fondazioni pari a circa

- - **2 metri da piano strada** → **200 kPa (=SLE)**
- - **3,5 metri da piano strada** → **260 kPa (=SLE)**

#### 4.2. CALCOLO DEI CEDIMENTI

Per il calcolo dei cedimenti viene utilizzato il metodo di Burland & Burbidge, basato su un'analisi statistica di oltre 200 casi reali, comprendenti fondazioni di



dimensioni variabili tra 0.8 e 135 m. L'espressione per il calcolo dei cedimenti è la seguente:

$$s = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[ \sigma'_{vo} \cdot B^{0.7} \cdot \frac{I_C}{3} + (q' - \sigma'_{vo}) \cdot B^{0.7} \cdot I_C \right],$$

dove:  $q'$  = pressione efficace lorda (kPa),  
 $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione (kPa),  
 $B$  = larghezza della fondazione (m),  
 $I_C$  = indice di compressibilità,  
 $f_s, f_H, f_t$  = fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, della spessore dello strato compressibile e della componente viscosa dei cedimenti.

I valori dei cedimenti forniti dall'equazione sopra esposta sono espressi in mm.

Il valore medio di  $I_C$  è dato da:

$$I_C = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}},$$

dove  $N_{AV}$  rappresenta la media dei valori  $N_{SPT}$  all'interno di una profondità significativa,  $z_i$ , deducibile da dati tabulati da Burland & Burbidge (1984) e reperibili in letteratura tecnica.

Se lo strato compressibile ha uno spessore  $H$  inferiore ai valori di  $z_i$ , nell'equazione per il calcolo del cedimento se ne tiene conto tramite il fattore  $f_H$  dalla seguente relazione:

$$f_H = \frac{H}{z_i} \cdot \left( 2 - \frac{H}{z_i} \right).$$

Il fattore di forma  $f_s$  è dato da:

$$f_s = \left( \frac{1.25 \cdot L/B}{L/B + 0.25} \right)^2.$$

Infine, il fattore correttivo  $f_t$ , è dato da:

$$f_t = \left( 1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right),$$

in cui  $t$  = tempo espresso in anni ( $\geq 3$ );  
 $R_3$  = costante pari a 0,3 nel caso di carichi statici.

- **Quota – 2 metri da piano strada**

<b>Calcolo dei cedimenti - Burland &amp; Burbidge (1984)</b>		
	<i>Tempo, 0 sec</i>	<i>Tempo, 10 anni</i>
Pressione: 200 kPa, Carico = 25 t/mq	$s_i = 15$ mm	$s_i = 20$ mm
Pressione: 200 kPa, Carico = 6 t/mq	$s_i = 6$ mm	$s_i = 9$ mm
Pressione: 200 kPa, Carico = 4 t/mq	$s_i = 4$ mm	$s_i = 6$ mm
Pressione: 200 kPa, Carico = 50 t	$s_i = 7$ mm	$s_i = 12$ mm
Pressione: 200 kPa, Carico = 100 t	$s_i = 10$ mm	$s_i = 15$ mm

- **Quota – 3,5 metri da piano strada**

<b>Calcolo dei cedimenti - Burland &amp; Burbidge (1984)</b>		
	<i>Tempo, 0 sec</i>	<i>Tempo, 10 anni</i>
Pressione: 260 kPa, Carico = 25 t/mq	$s_i = 10$ mm	$s_i = 15$ mm
Pressione: 260 kPa, Carico = 6 t/mq	$s_i = 4$ mm	$s_i = 7$ mm
Pressione: 260 kPa, Carico = 4 t/mq	$s_i = 3$ mm	$s_i = 5$ mm
Pressione: 260 kPa, Carico = 50 t	$s_i = 5$ mm	$s_i = 8$ mm
Pressione: 260 kPa, Carico = 100 t	$s_i = 8$ mm	$s_i = 12$ mm

### 4.3. COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO DI WINKLER

Il valore del coefficiente di Winkler è il parametro che permette di determinare la rigidità di una fondazione; viene calcolato con il metodo di Vesic che lega il coefficiente ai cedimenti (immediati) della fondazione ed al carico allo SLU.

L'espressione generale adottata per il calcolo è la seguente:

$$K_w = RD \times C$$

Dove C è un coefficiente adimensionale inversamente proporzionale al valore di cedimento.

Con le pressioni ammissibili ottenute, associate ai rispettivi cedimenti, otteniamo i seguenti valori:

- **Quota – 2 metri da piano strada**

	<i>K<sub>w</sub> (kN/mc)</i>
Pressione: 280 kPa, Carico = 25 t/mq	19600
Pressione: 280 kPa, Carico = 6 t/mq	44800
Pressione: 280 kPa, Carico = 4 t/mq	50400

- **Quota – 3,5 metri da piano strada**

	<i>K<sub>w</sub> (kN/mc)</i>
Pressione: 364 kPa, Carico = 25 t/mq	38220
Pressione: 364 kPa, Carico = 6 t/mq	65520
Pressione: 364 kPa, Carico = 4 t/mq	69160

### 4.4. ANALISI DELLE AZIONI SISMICHE

Il Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" impone la verifica delle azioni sismiche sulle nuove costruzioni.

Come prima fase vengono determinati i parametri delle azioni sismiche di progetto proprie del sito oggetto di intervento; il territorio comunale di Legnano è collocato in zona sismica 4, con parametri sismici per periodi di ritorno di riferimento  $T_r$ , riportati nella seguente tabella:

"Stato	$T_r$	$a_g$	$F_o$	$T^*_c$
--------	-------	-------	-------	---------

<b>Limite"</b>	[anni]	[g]	[-]	[s]
Operativitá	45	0.018	2.556	0.168
Danno	75	0.022	2.498	0.201
Salvaguardia Vita	712	0.043	2.644	0.295
Prevenzione Collasso	1462	0.051	2.678	0.3150

Dove:  $A_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito,  
 $F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,  
 $T_c$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la scelta dei parametri progettuali, vista l'importanza dell'opera, abbiamo assegnato al manufatto una vita nominale  $V_n$  (2.4.1 - NTC2008) maggiore di 50 anni e una classe d'uso "III" (2.4.2 - NTC2008). Ne consegue che il periodo di riferimento  $V_r$  per le azioni sismiche è pari a  $V_n \times C_u$  (coefficiente d'uso = 1,5 per classe d'uso III) = 75 anni.

L'azione sismica di progetto tiene inoltre conto della categoria di sottosuolo di riferimento (3.2.2 - NTC2008); sono previste cinque classi di terreni, identificabili sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi 30 metri, e definite dai seguenti parametri: velocità delle onde S, numero colpi SPT e/o coesione non drenata.

Le NTC2008 raccomandano fortemente la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio VS; a tale scopo sono state eseguite 2 prove geofisiche Masw, i cui risultati sono

<p><b><math>V_{s30} = 524 \text{ m/s}</math></b></p> <p><b><math>V_{s30} = 393 \text{ m/s}</math></b></p>
---

L'area oggetto di indagine presenta terreni rientranti nella **categoria B**, definiti nel decreto ministeriale come "*Depositi di terreni a grana grossa molto addensati...*" caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 e 800 m/s.

Come condizione topografica al contorno, dovrà essere considerata la categoria T1, propria dei terreni pianeggianti.

**Il tecnico incaricato**

**Dott. Geol. Efrem Ghezzi**



GEOSER S.r.l.  
 Via Basilicata 11  
 27100 Pavia  
 0382576081  
 info@geoser.com

Committente: Studio Idrogeotecnico Applicato

Località: Legnano (MI) - Via Novara 250

Data inizio/fine: 30.03.11-31.03.11

Attrezzatura: Nenzi Gelma I - Perf. a carotaggio continuo

Lunghezza perforazione (m): 20,0

Scala 1:150

Quota del p.c. s.l.m.(m): 0

Sigla: S1

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Campioni	DESCRIZIONE	Rivestim.to diam.mm/ prof.m	Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.	Falda
1	3,10			Sabbia fine, media e grossolana, limosa, grigio brunastra, con ghiaia da fine a grossa e ciottoli			2,0	
2							7,3,2	
3	3,10							
4							5,0	
5							34,30,41	
6								
7	8,70			Sabbia da fine a grossolana, debolmente limosa, grigia, con ghiaia da fine a grossa e ciottoli				
8								
9								
10							10,0	
11							33,50 (R 14 cm)	
12	11,80							
13								
14								
15								
16	8,20			Sabbia da fine a grossolana, da limosa a debolmente limosa, grigiastro nocciola, con ghiaia da fine a grossa				
17								
18								
19							15,0	
20	20,00						16,17,16	

GEOSER S.r.l.

Via Basilicata 11  
27100 Pavia  
0382576081  
info@geoser.com

Committente: Studio Idrogeotecnico Applicato

Località: Legnano (MI) - Via Novara 250

Data inizio/fine: 29.03.11-30.03.11

Attrezzatura: Nenzi Gelma I - Perf. a carotaggio continuo

Lunghezza perforazione (m): 20,0

Scala 1:150

Quota del p.c. s.l.m.(m): 0

Sigla: S2

Spessore (H)	Profondità (m)	Stratigrafia	Campioni	DESCRIZIONE	Rivestim.to diam.mm/ prof.m	Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.	Falda
1	2,00			Sabbia fine, media e grossolana, da limosa a debolmente limosa, grigio brunastra, con ghiaia da fine a grossa e resti lateritici			1,9 3,5,8	
2	2,50			Sabbia medio fine, limosa, debolmente argillosa, nocciola, con ghiaia medio fine				
3	4,50			Sabbia da fine a grossolana, debolmente limosa, grigiastra, con ghiaia da fine a grossa e rari ciottoli			5,0 12,27,34	
4	9,00			Sabbia da fine a grossolana, debolmente limosa, grigiastra, con ghiaia da fine a grossa e ciottoli			10,0 23,42,50 (R 8cm)	
5	11,50			Sabbia da fine a grossolana, limosa, grigiastro nocciola, con ghiaia da fine a grossa e rari ciottoli			15,0 13,11,15	
6	20,00				127/20,0	101/20,0		
				NOTA: eseguite prove di permeabilità Lefranc a -1,8 m, -3 m, -7 m				

GEOSER S.r.l.  
Via Basilicata 11  
27100 Pavia  
0382576081  
info@geoser.com

Committente: Studio Idrogeotecnico Applicato

Località: Legnano (MI) - Via Novara 250

Data inizio/fine: 28.03.11-29.03.11

Attrezzatura: Nenzi Gelma I - Perf. a carotaggio continuo

Lunghezza perforazione (m): 20,0

Scala 1:150

Quota del p.c. s.l.m.(m): 0

Sigla: S3

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Campioni	DESCRIZIONE	Rivestim.to diam.mm/ prof.m	Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.	Falda
0,70	0,80			Asfalto				
1,70	2,50			Sabbia medio fine, limosa, grigiastra, con ghiaia medio fine			2,0 15,14,13	
				Sabbia da fine a grossolana, debolmente limosa, grigiastra, con ghiaia da fine a grossa			5,0 50 (R 12 cm)	
7,50				Sabbia da fine a grossolana, debolmente limosa, grigia, con ghiaia da fine a grossa e ciottoli			10,0 48,50 (R 11 cm)	
11,80				Sabbia da fine a grossolana, debolmente limosa, grigiastra, con ghiaia da fine a grossa			15,0 25,24,14	
18,20				Sabbia da fine a grossolana, da limosa a debolmente limosa, grigiastro nocciola, con ghiaia da fine a grossa e rari ciottoli; locale presenza di legante argilloso e di livelli con ghiaia assente	127/20,0	101/20,0		
20,00								





## PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE

COMMESSA CG-032-11

COMMITTENTE STID

CANTIERE DI Legnano (MI) Via Novara 250

DATA 29.03.11

SONDAGGIO N° S2

PROVA N° 1

Diametro tubo rivestimento = 127 mm

Profondità foro da p.c. = 1,80 m

Profondità rivestimento da p.c. = 1,50 m

Sporgenza testa tubo rivestimento da p.c. = + 0,10 m

Livello statico di falda = ASSENTE

Lunghezza del tratto di foro lasciato scoperto dal rivestimento = 0,30 m

Diametro del tratto di foro in prova = 127 mm

Livello stabilizzato dell'acqua nel rivestimento all'inizio della prova rispetto a p.c. = - 0,5 m

Tempo	Lettura (l)	Differenza (l)	Tempo	Lettura (l)	Differenza (l)
0	104	-	8'	109	2
1'	104,5	0,5	9'	-	-
2'	105	0,5	10'	110	1
3'	-	-	12'	111	1
4'	106	1	15'	113	2
5'	-	-	20'	115	2
6'	107	1	25'	118	3
7'	-	-	30'	120	2

$$K = 5,7 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

**PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE**

COMMESSA CG-032-11

COMMITTENTE STID

CANTIERE DI Legnano (MI) Via Novara 250

DATA 29.03.11

SONDAGGIO N° S2

PROVA N°2

Profondità foro da p.c. = 3 m

Profondità rivestimento da p.c. = 2,85 m

Sporgenza testa tubo rivestimento da p.c. = 0,30 m

Livello statico di falda = ASSENTE

Diametro esterno del tubo di rivestimento = 127 mm

Diametro del tratto di foro in prova = 127 mm

Livello dell'acqua nel rivestimento all'inizio della prova rispetto a p.c. = -1,0 m

<b>Tempo</b>	<b>Abbassamento livello H<sub>2</sub>O (cm)</b>	<b>Differenza (cm)</b>	<b>Tempo</b>	<b>Abbassamento livello H<sub>2</sub>O (cm)</b>	<b>Differenza (cm)</b>
<b>30"</b>	<b>145</b>	<b>-</b>	<b>8'</b>	<b>261</b>	<b>2</b>
<b>1'</b>	<b>190</b>	<b>45</b>	<b>9'</b>	<b>262</b>	<b>1</b>
<b>2'</b>	<b>241</b>	<b>51</b>	<b>10'</b>	<b>264</b>	<b>2</b>
<b>3'</b>	<b>250</b>	<b>9</b>	<b>12'</b>	<b>267</b>	<b>3</b>
<b>4'</b>	<b>253</b>	<b>3</b>	<b>15'</b>	<b>271</b>	<b>4</b>
<b>5'</b>	<b>255</b>	<b>2</b>	<b>20'</b>	<b>276</b>	<b>5</b>
<b>6'</b>	<b>257</b>	<b>2</b>	<b>25'</b>	<b>281</b>	<b>5</b>
<b>7'</b>	<b>259</b>	<b>2</b>	<b>30'</b>		

**$K = 9 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$**

**PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE**

COMMESSA CG-032-11

COMMITTENTE STID

CANTIERE DI Legnano (MI) Via Novara 250

DATA 29.03.11

SONDAGGIO N° S2

PROVA N° 3

Diametro tubo rivestimento = 127 mm

Profondità foro da p.c. = 7,0 m

Profondità rivestimento da p.c. = 6,50 m

Sporgenza testa tubo rivestimento da p.c. = + 0,10 m

Livello statico di falda = ASSENTE

Lunghezza del tratto di foro lasciato scoperto dal rivestimento = 0,50 m

Diametro del tratto di foro in prova = 127 mm

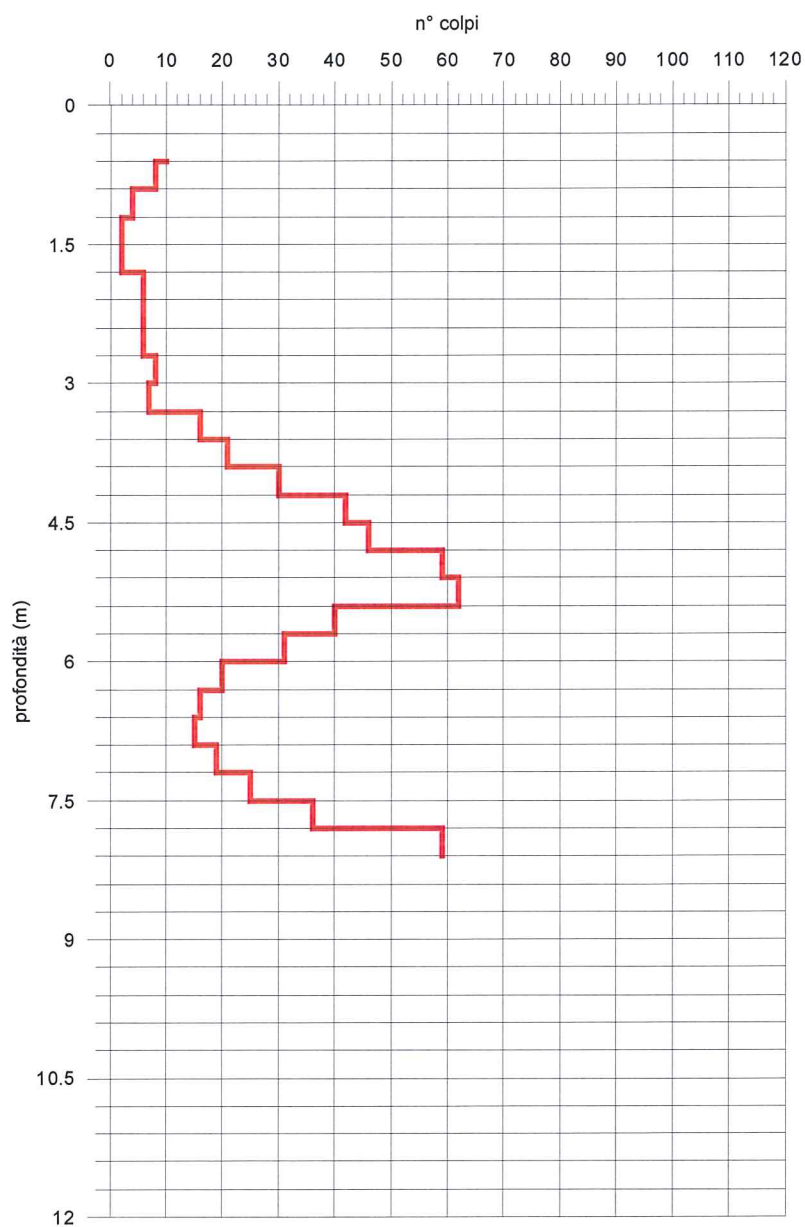
Livello stabilizzato dell'acqua nel rivestimento all'inizio della prova rispetto a p.c. = - 5,0 m

<b>Tempo</b>	<b>Lettura (l)</b>	<b>Differenza (l)</b>	<b>Tempo</b>	<b>Lettura (l)</b>	<b>Differenza (l)</b>
<b>0</b>	<b>130</b>	<b>-</b>	<b>8'</b>	<b>190</b>	<b>7</b>
<b>1'</b>	<b>138</b>	<b>8</b>	<b>9'</b>	<b>198</b>	<b>8</b>
<b>2'</b>	<b>146</b>	<b>8</b>	<b>10'</b>	<b>205</b>	<b>7</b>
<b>3'</b>	<b>153</b>	<b>7</b>	<b>12'</b>	<b>220</b>	<b>15</b>
<b>4'</b>	<b>160</b>	<b>7</b>	<b>15'</b>	<b>243</b>	<b>23</b>
<b>5'</b>	<b>168</b>	<b>8</b>	<b>20'</b>	<b>282</b>	<b>39</b>
<b>6'</b>	<b>176</b>	<b>8</b>	<b>25'</b>	<b>321</b>	<b>39</b>
<b>7'</b>	<b>183</b>	<b>7</b>	<b>30'</b>	<b>360</b>	<b>39</b>

**K = 4,6 x 10<sup>-3</sup> cm/s**

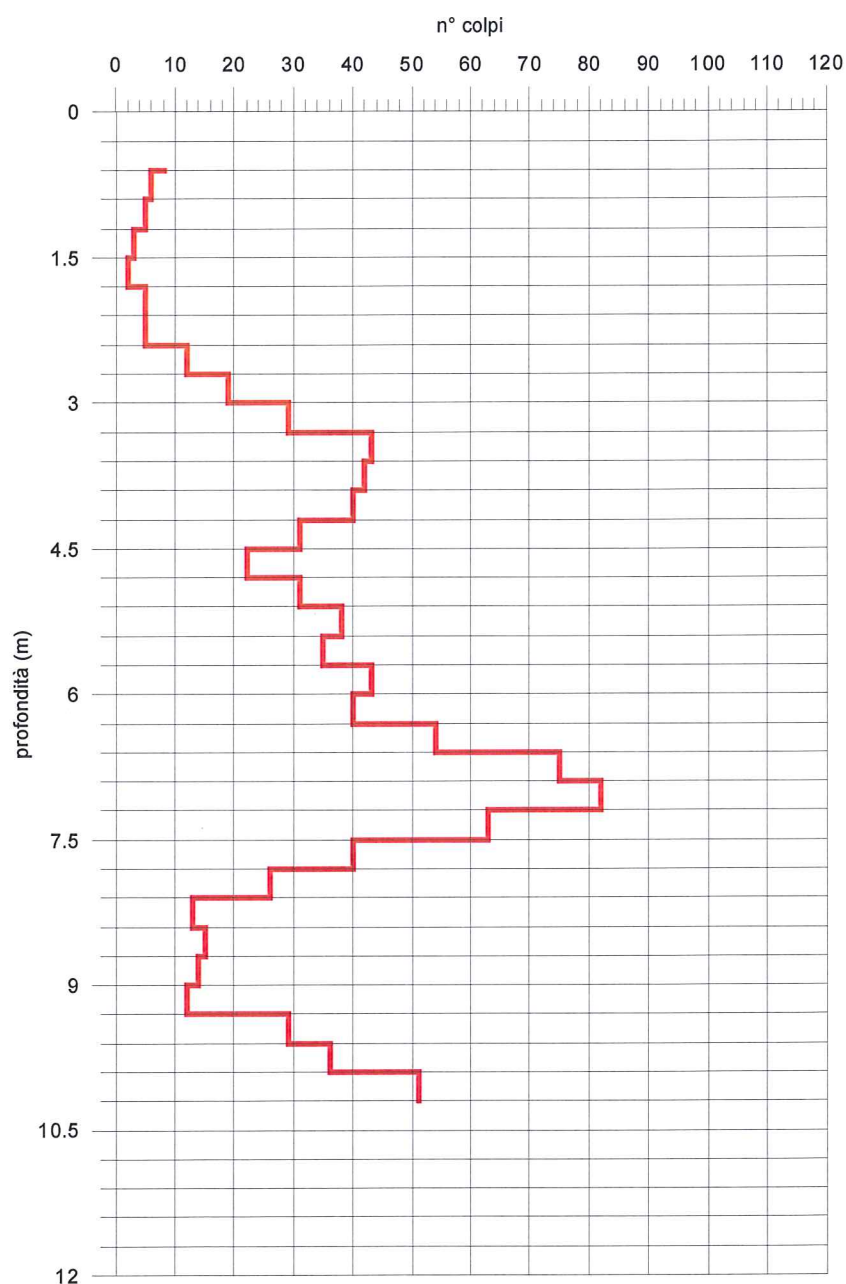
Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 1</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	10
0.60	10
0.90	8
1.20	4
1.50	2
1.80	2
2.10	6
2.40	6
2.70	6
3.00	8
3.30	7
3.60	16
3.90	21
4.20	30
4.50	42
4.80	46
5.10	59
5.40	62
5.70	40
6.00	31
6.30	20
6.60	16
6.90	15
7.20	19
7.50	25
7.80	36
8.10	59
8.40	R
8.70	
9.00	
9.30	



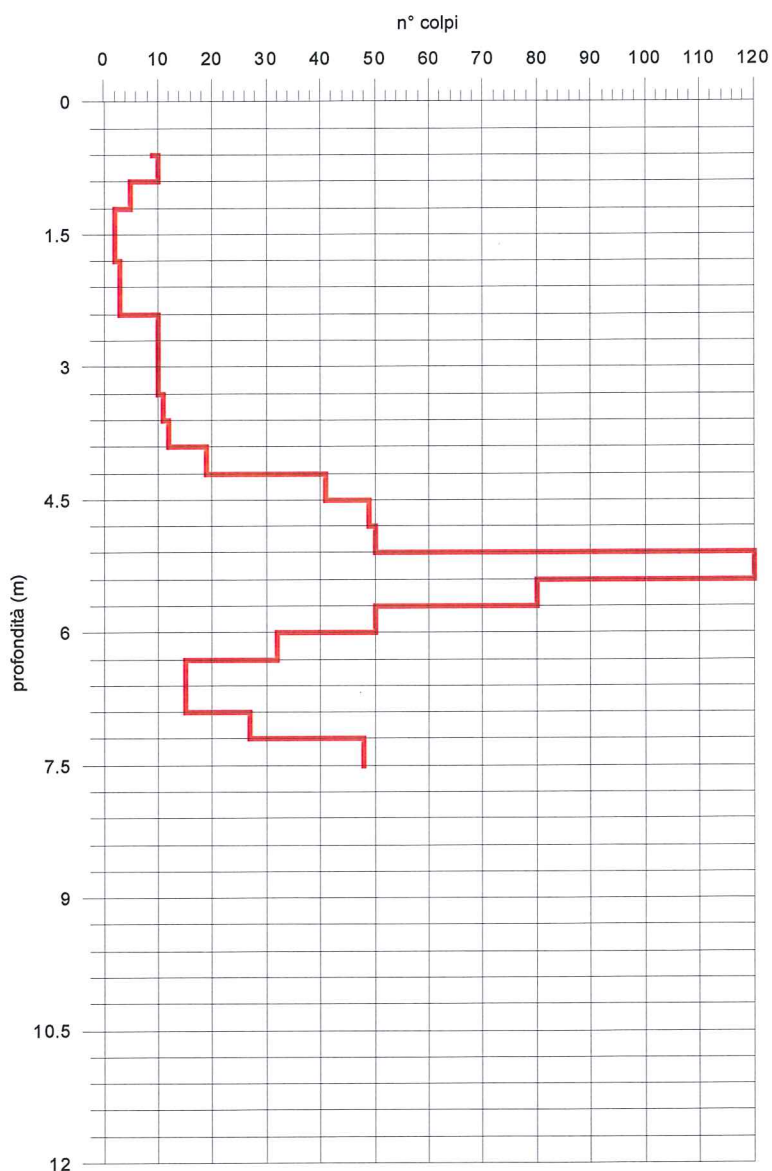
Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 2</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	8
0.60	8
0.90	6
1.20	5
1.50	3
1.80	2
2.10	5
2.40	5
2.70	12
3.00	19
3.30	29
3.60	43
3.90	42
4.20	40
4.50	31
4.80	22
5.10	31
5.40	38
5.70	35
6.00	43
6.30	40
6.60	54
6.90	75
7.20	82
7.50	63
7.80	40
8.10	26
8.40	13
8.70	15
9.00	14
9.30	12
9.60	29
9.90	36
10.2	51
10.5	R



Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 3</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	16
0.60	9
0.90	10
1.20	5
1.50	2
1.80	2
2.10	3
2.40	3
2.70	10
3.00	10
3.30	10
3.60	11
3.90	12
4.20	19
4.50	41
4.80	49
5.10	50
5.40	120
5.70	80
6.00	50
6.30	32
6.60	15
6.90	15
7.20	27
7.50	48
7.80	R
8.10	

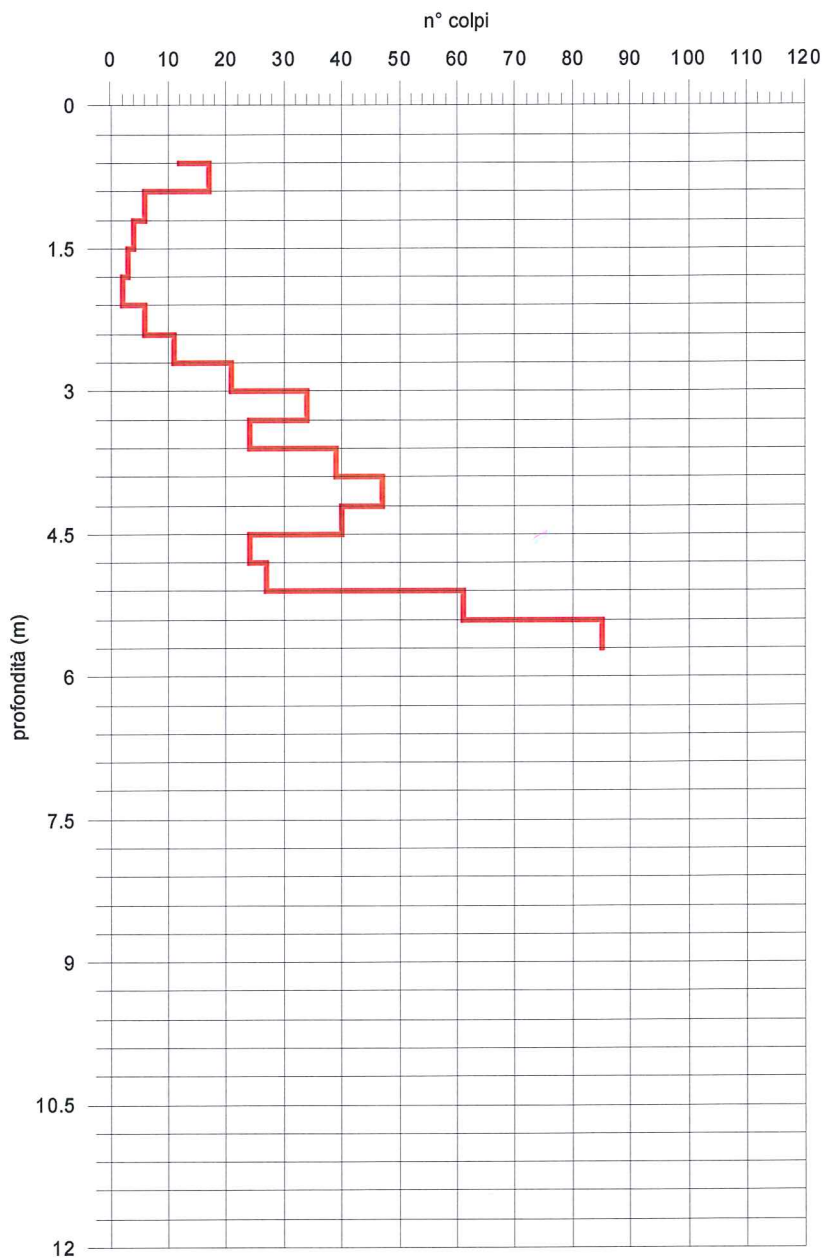


**STUDIO IDROGEOTECNICO  
APPLICATO S.a.s.**

*Adriano Ghezzi fondatore - 1964*  
dott. geol. Efrem Ghezzi & C.

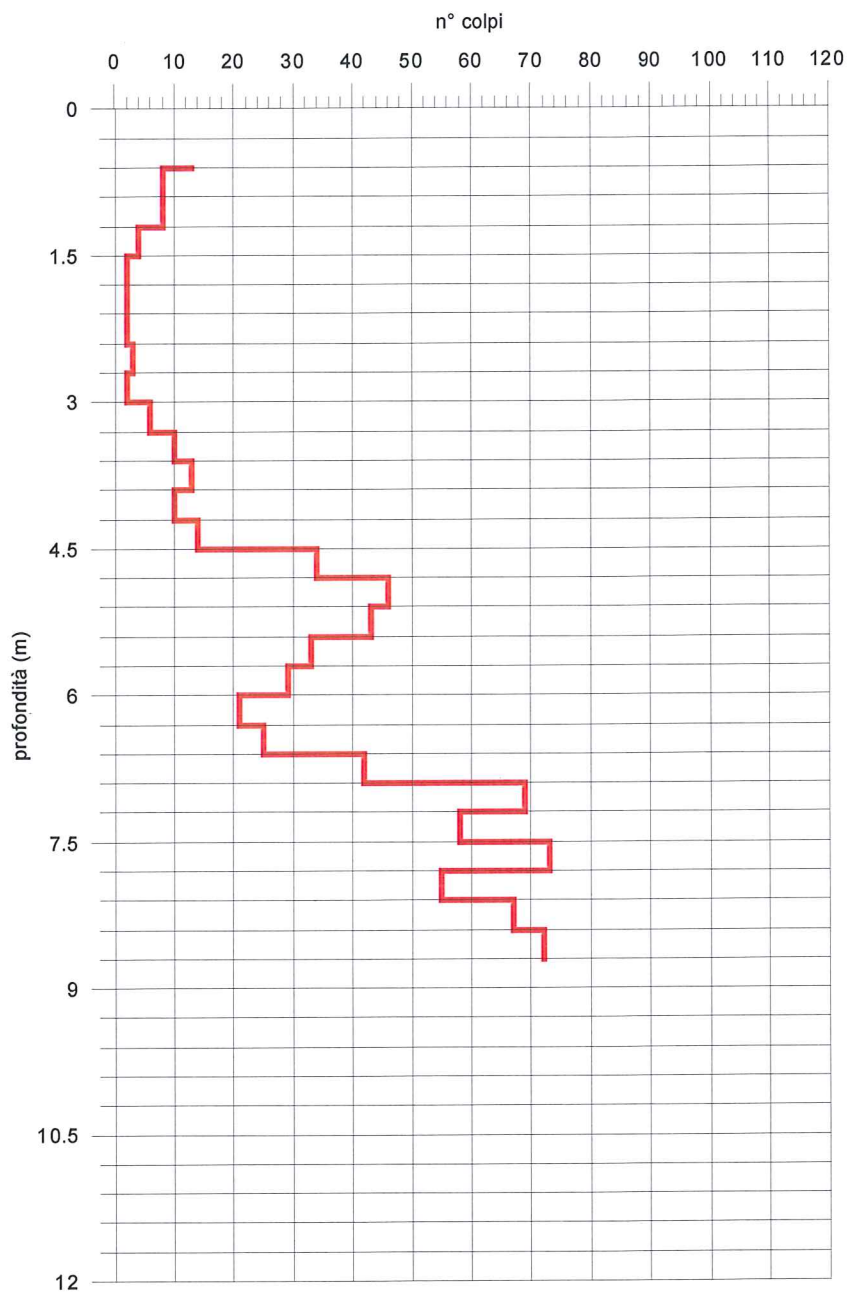
Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 4</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	14
0.60	12
0.90	17
1.20	6
1.50	4
1.80	3
2.10	2
2.40	6
2.70	11
3.00	21
3.30	34
3.60	24
3.90	39
4.20	47
4.50	40
4.80	24
5.10	27
5.40	61
5.70	85
6.00	R
6.30	



Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 5</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

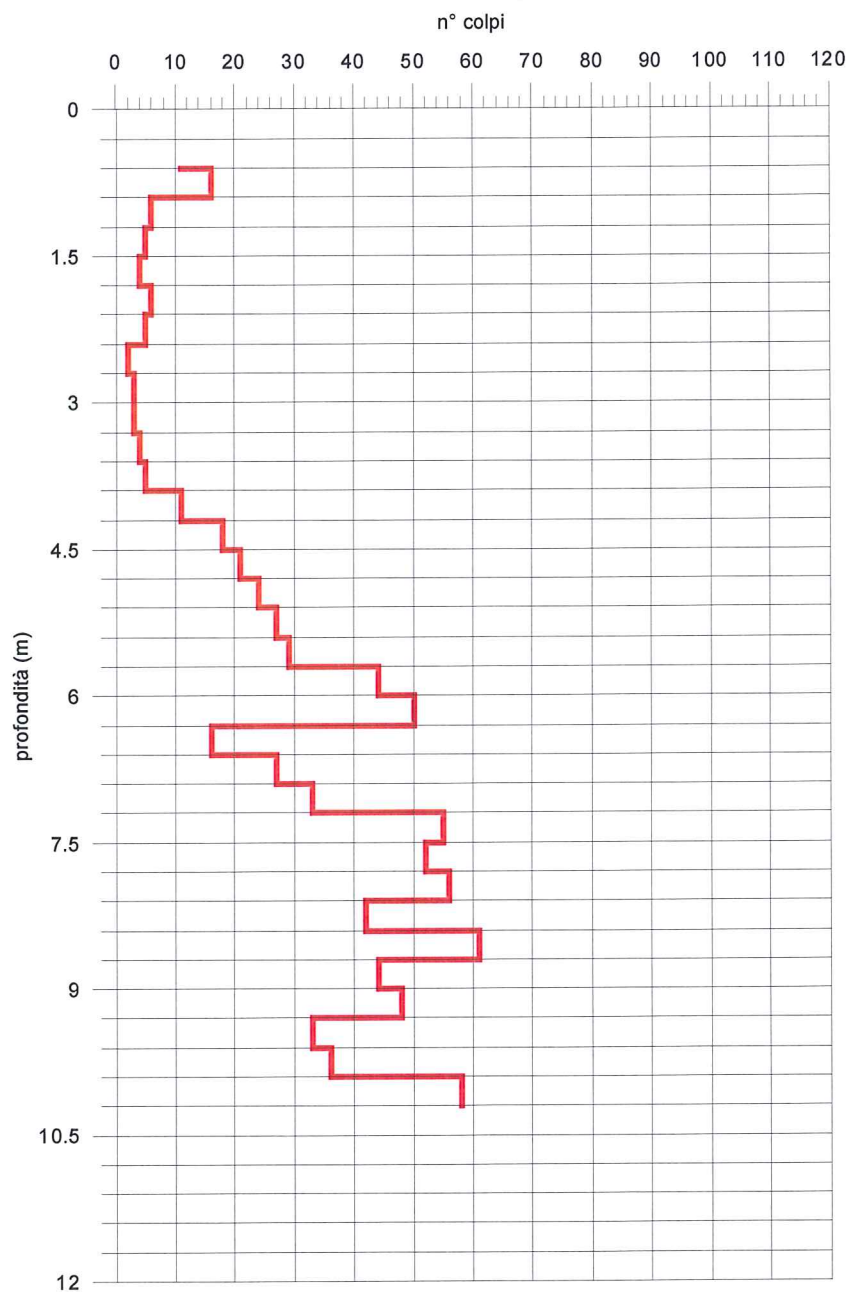
Profondità m	Nc aste
0.30	3
0.60	13
0.90	8
1.20	8
1.50	4
1.80	2
2.10	2
2.40	2
2.70	3
3.00	2
3.30	6
3.60	10
3.90	13
4.20	10
4.50	14
4.80	34
5.10	46
5.40	43
5.70	33
6.00	29
6.30	21
6.60	25
6.90	42
7.20	69
7.50	58
7.80	73
8.10	55
8.40	67
8.70	72
9.00	R





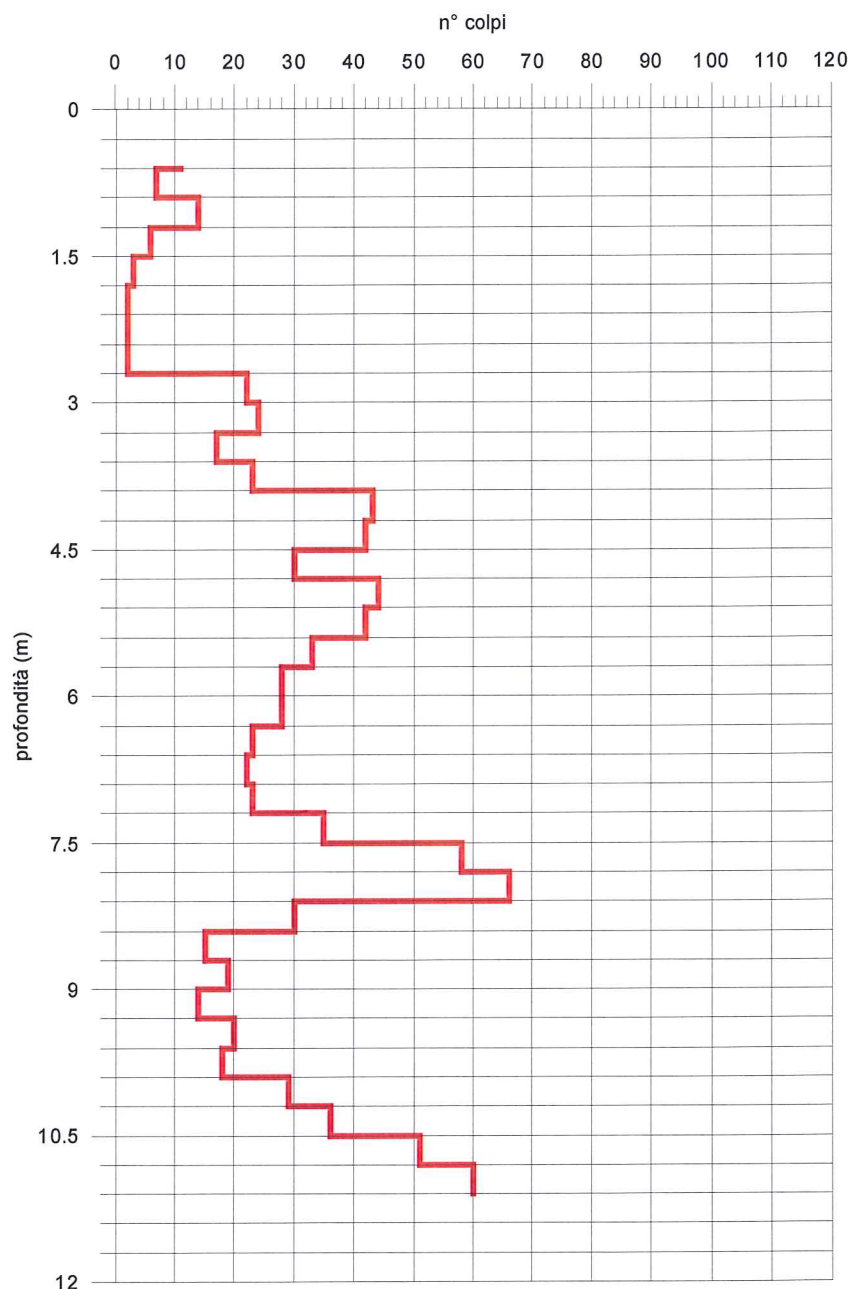
Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 6</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	5
0.60	11
0.90	16
1.20	6
1.50	5
1.80	4
2.10	6
2.40	5
2.70	2
3.00	3
3.30	3
3.60	4
3.90	5
4.20	11
4.50	18
4.80	21
5.10	24
5.40	27
5.70	29
6.00	44
6.30	50
6.60	16
6.90	27
7.20	33
7.50	55
7.80	52
8.10	56
8.40	42
8.70	61
9.00	44
9.30	48
9.60	33
9.90	36
10.2	58
10.5	R



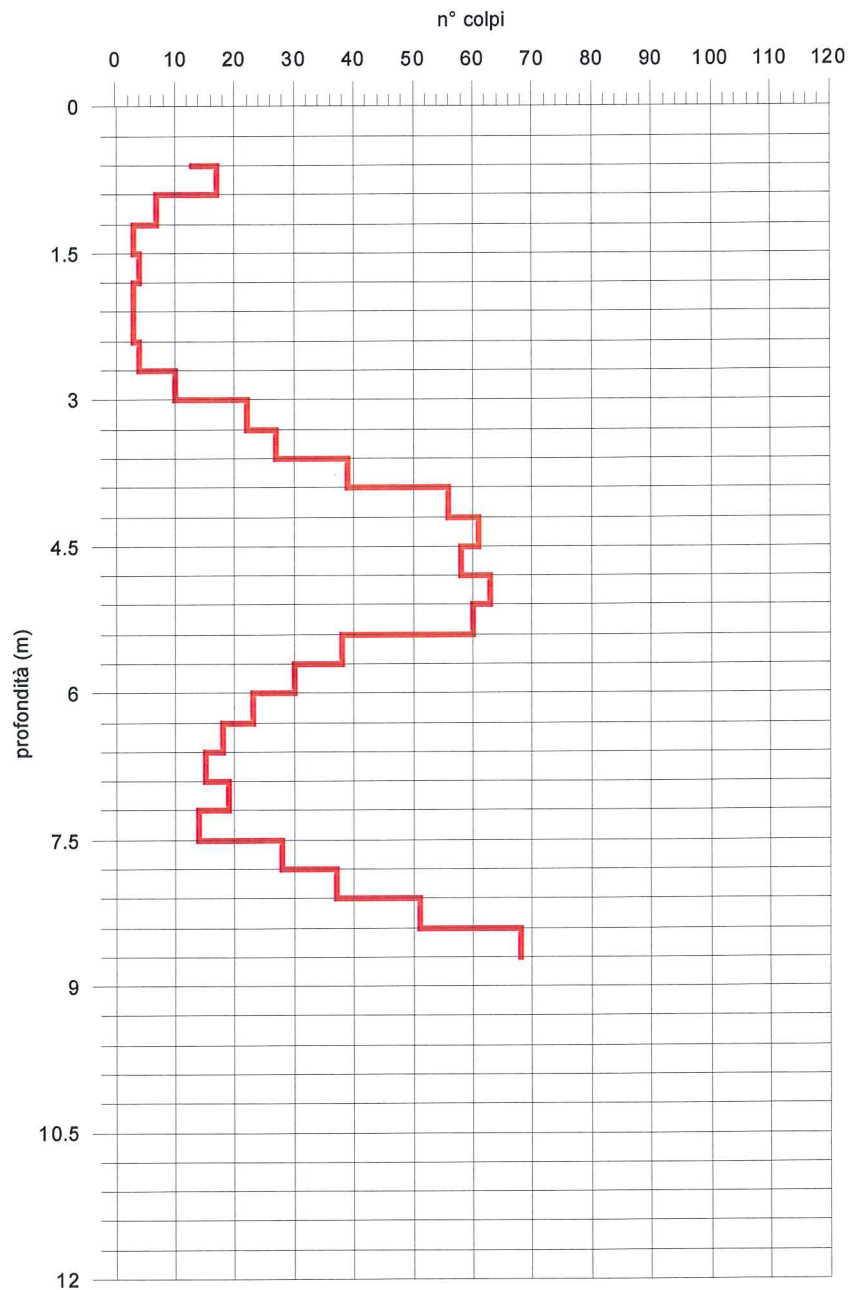
Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 7</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	14
0.60	11
0.90	7
1.20	14
1.50	6
1.80	3
2.10	2
2.40	2
2.70	2
3.00	22
3.30	24
3.60	17
3.90	23
4.20	43
4.50	42
4.80	30
5.10	44
5.40	42
5.70	33
6.00	28
6.30	28
6.60	23
6.90	22
7.20	23
7.50	35
7.80	58
8.10	66
8.40	30
8.70	15
9.00	19
9.30	14
9.60	20
9.90	18
10.2	29
10.5	36
10.8	51
11.1	60
11.4	R



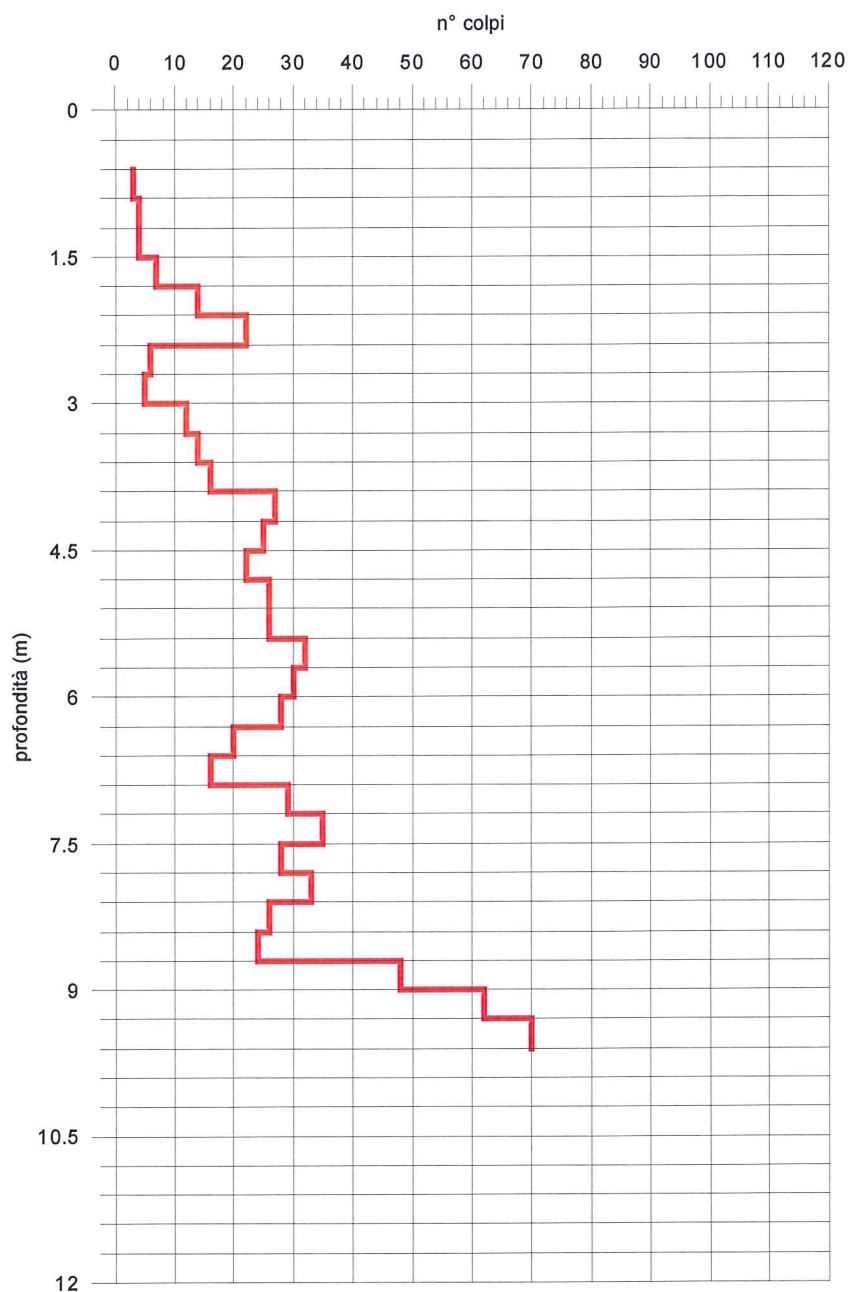
Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 8</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	12
0.60	13
0.90	17
1.20	7
1.50	3
1.80	4
2.10	3
2.40	3
2.70	4
3.00	10
3.30	22
3.60	27
3.90	39
4.20	56
4.50	61
4.80	58
5.10	63
5.40	60
5.70	38
6.00	30
6.30	23
6.60	18
6.90	15
7.20	19
7.50	14
7.80	28
8.10	37
8.40	51
8.70	68
9.00	R



Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 9</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	3
0.60	3
0.90	3
1.20	4
1.50	4
1.80	7
2.10	14
2.40	22
2.70	6
3.00	5
3.30	12
3.60	14
3.90	16
4.20	27
4.50	25
4.80	22
5.10	26
5.40	26
5.70	32
6.00	30
6.30	28
6.60	20
6.90	16
7.20	29
7.50	35
7.80	28
8.10	33
8.40	26
8.70	24
9.00	48
9.30	62
9.60	70
9.90	R

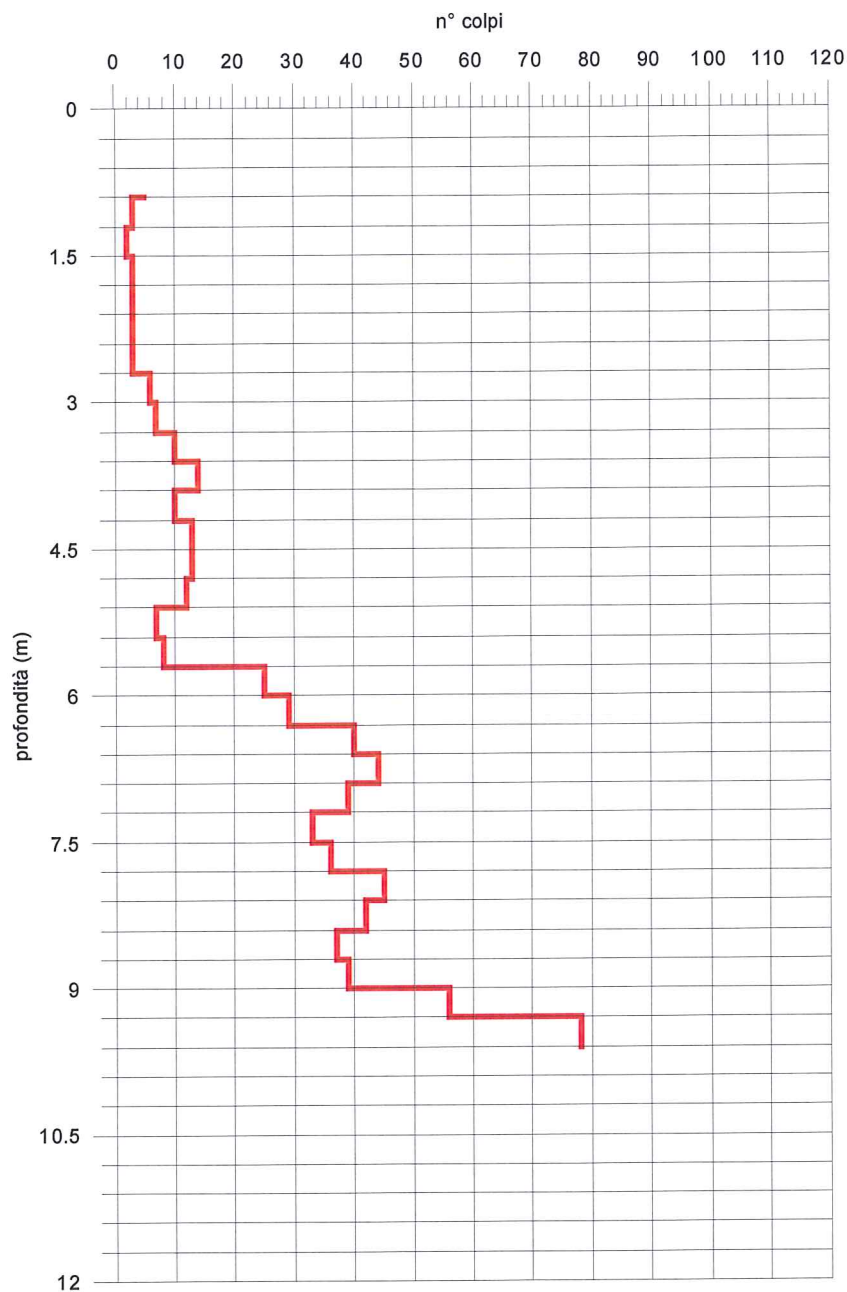


**STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.**

Adriano Ghezzi fondatore - 1964  
dott. geol. Efrem Ghezzi & C.

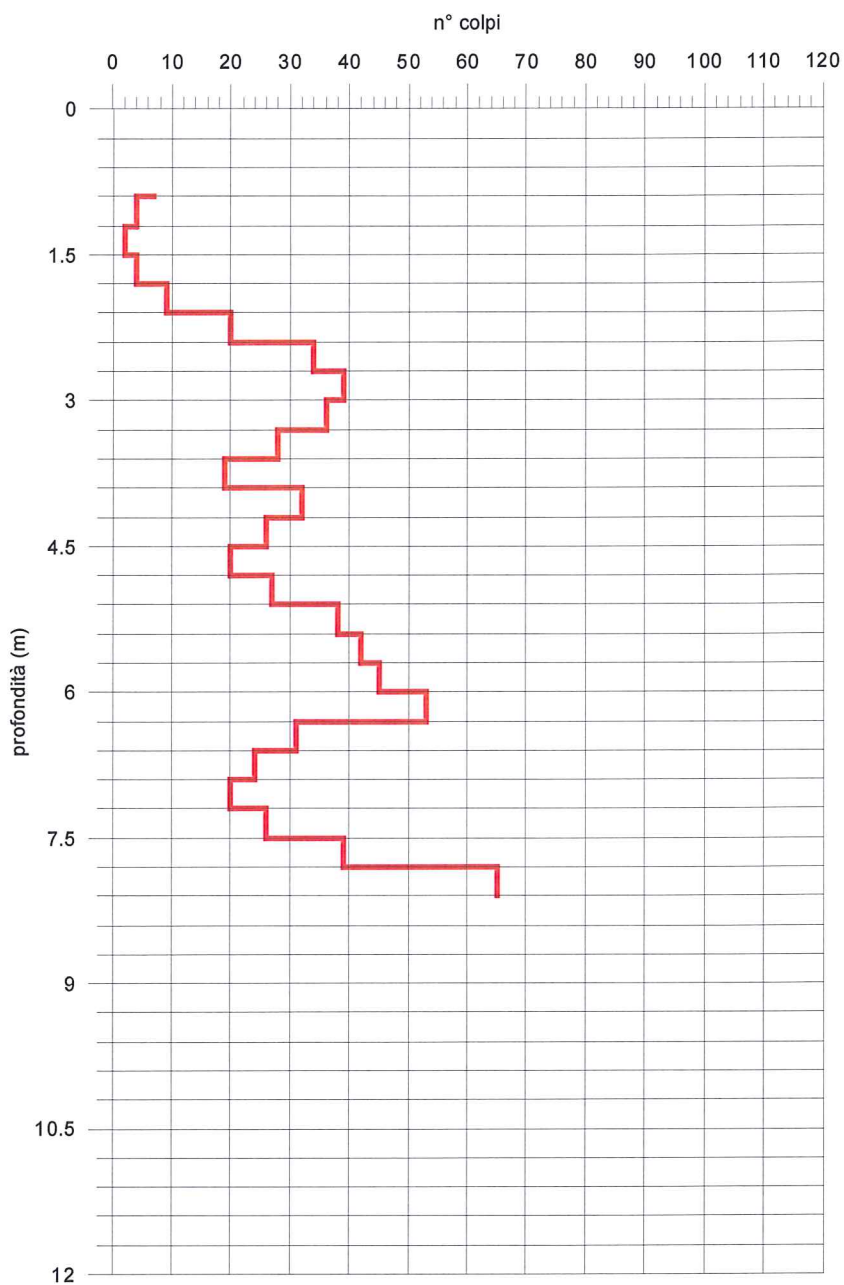
Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 10</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	7
0.60	8
0.90	5
1.20	3
1.50	2
1.80	3
2.10	3
2.40	3
2.70	3
3.00	6
3.30	7
3.60	10
3.90	14
4.20	10
4.50	13
4.80	13
5.10	12
5.40	7
5.70	8
6.00	25
6.30	29
6.60	40
6.90	44
7.20	39
7.50	33
7.80	36
8.10	45
8.40	42
8.70	37
9.00	39
9.30	56
9.60	78
9.90	R



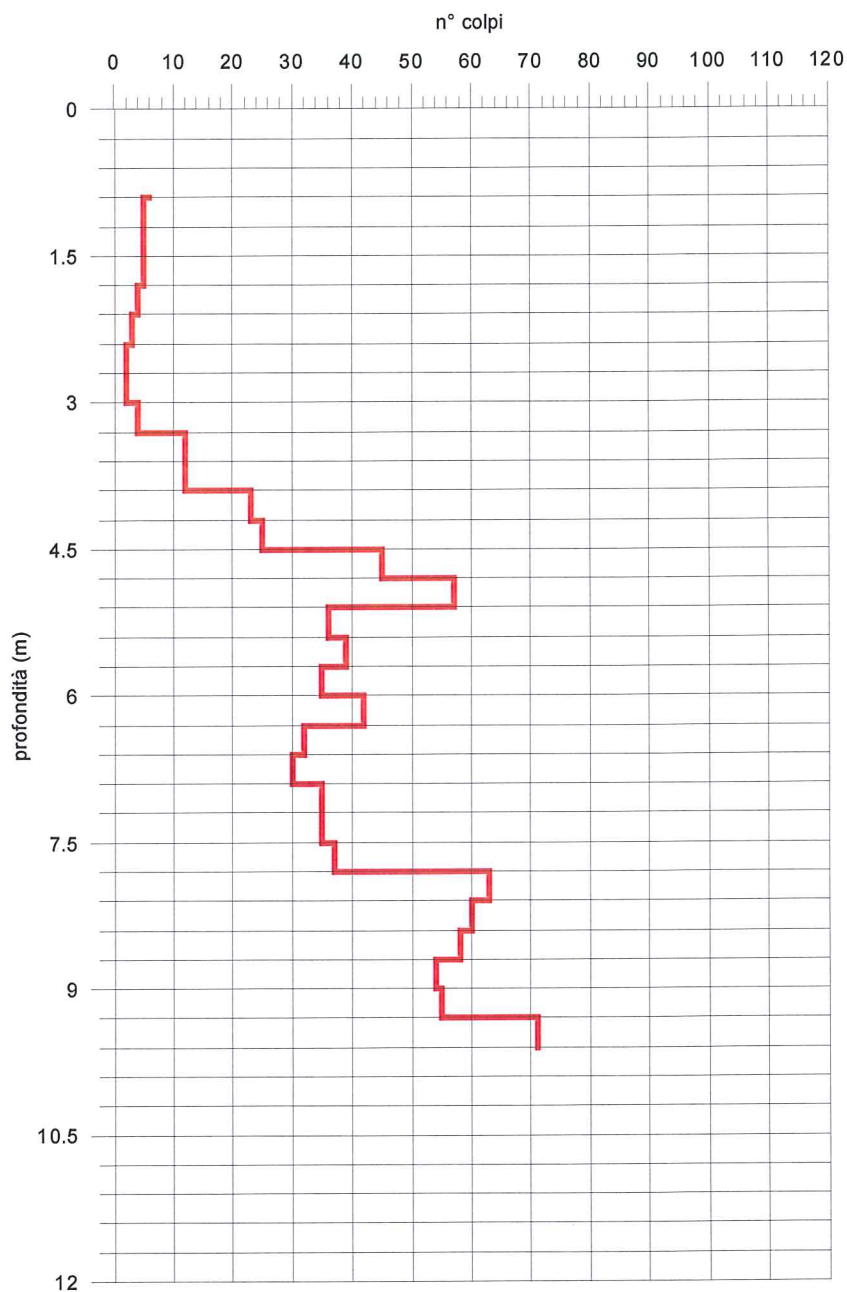
Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 11</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

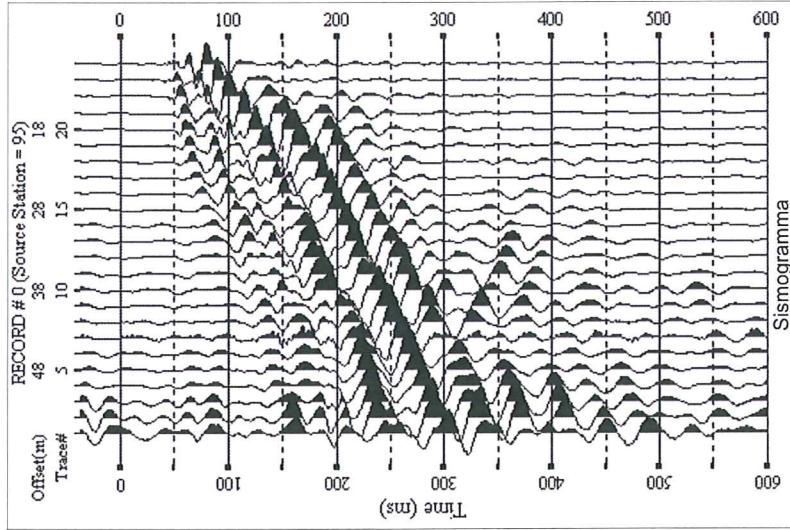
Profondità m	Nc aste
0.30	12
0.60	8
0.90	7
1.20	4
1.50	2
1.80	4
2.10	9
2.40	20
2.70	34
3.00	39
3.30	36
3.60	28
3.90	19
4.20	32
4.50	26
4.80	20
5.10	27
5.40	38
5.70	42
6.00	45
6.30	53
6.60	31
6.90	24
7.20	20
7.50	26
7.80	39
8.10	65
8.40	R



Commit:	AMGA Legnano S.p.A.		
Località	Legnano (MI) – Via Novara	Prova penetrometrica dinamica:	<b>P 12</b>
Data	01/04/11	Falda:	assente

Profondità m	Nc aste
0.30	7
0.60	5
0.90	6
1.20	5
1.50	5
1.80	5
2.10	4
2.40	3
2.70	2
3.00	2
3.30	4
3.60	12
3.90	12
4.20	23
4.50	25
4.80	45
5.10	57
5.40	36
5.70	39
6.00	35
6.30	42
6.60	32
6.90	30
7.20	35
7.50	35
7.80	37
8.10	63
8.40	60
8.70	58
9.00	54
9.30	55
9.60	71
9.90	R

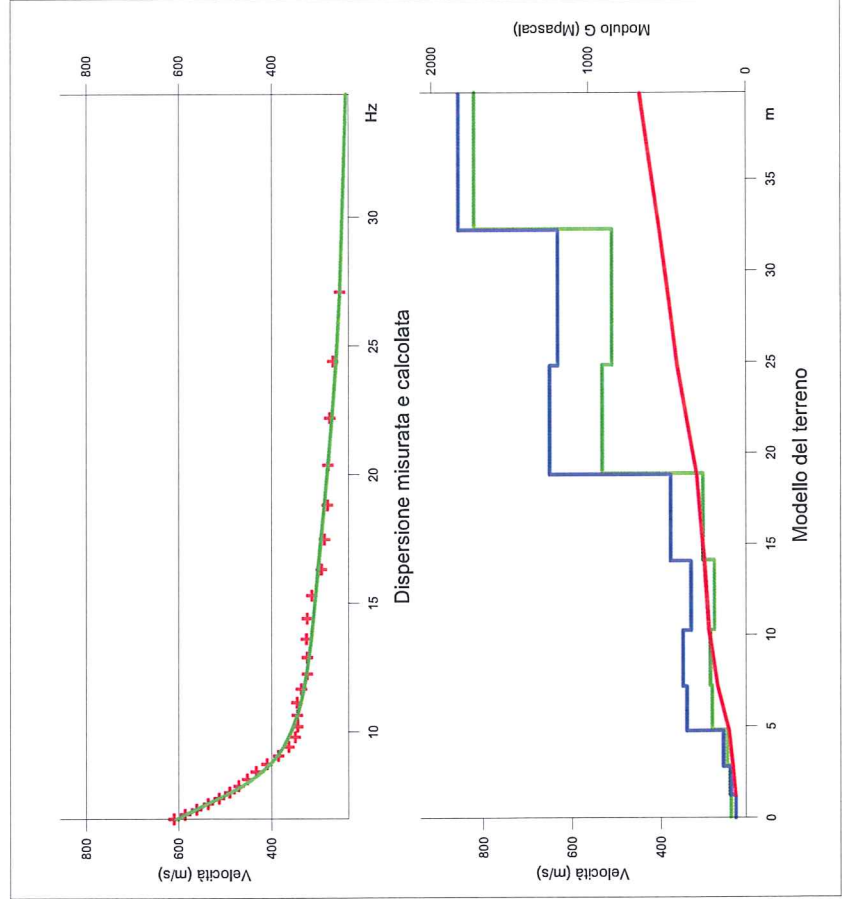
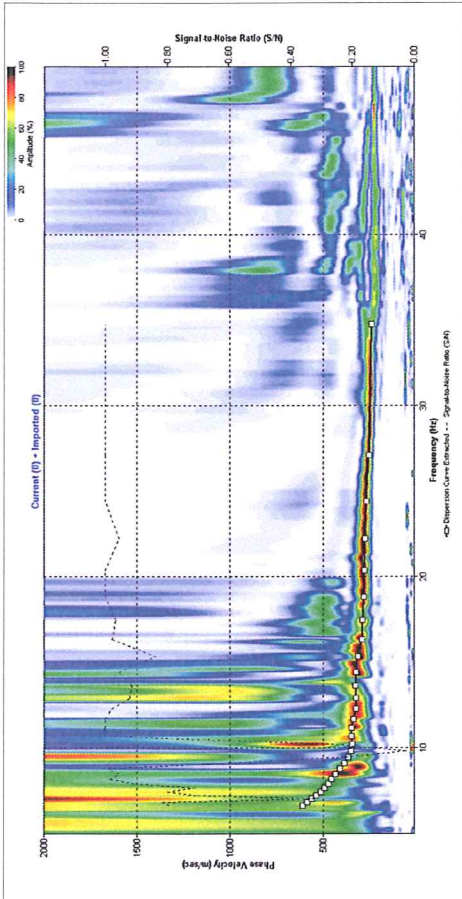




**LEGENDA**

- + Curva di dispersione misurata
- Curva di dispersione calcolata
- Velocità sismica delle onde S
- Modulo di taglio (Mpasca)
- VSX

Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula  $D=1.5 \cdot Vs/1000$



**TABELLA DI CALCOLO**

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	1.2	234	.0053	234	95
1.2	2.8	245	.0064	240	105
2.8	4.8	262	.0075	248	120
4.8	7.2	342	.0071	274	216
7.2	10.2	351	.0087	293	228
10.2	14.1	333	.0115	303	203
14.1	18.8	379	.0126	319	270
18.8	24.8	651	.0092	364	910
24.8	32.2	632	.0118	403	852
32.2	39.7	856	.0087	448	1728

**VALORE CALCOLATO VS30 = 393 m/s**

**PROVA SISMICA VS30**

Legnano - Via Novara

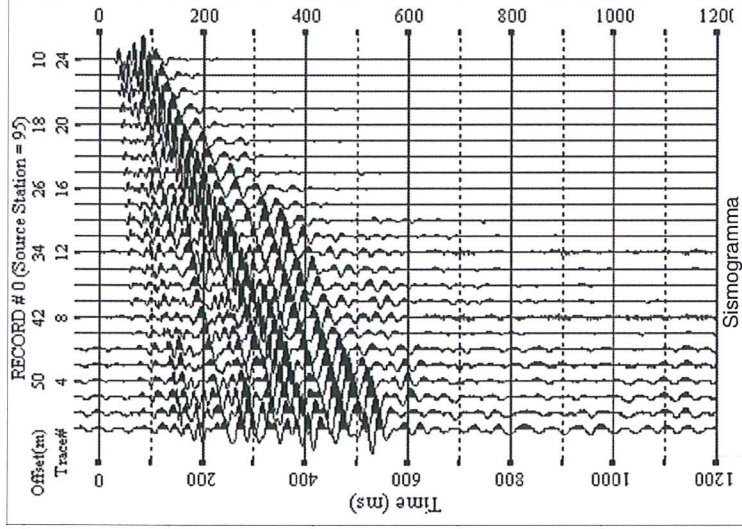
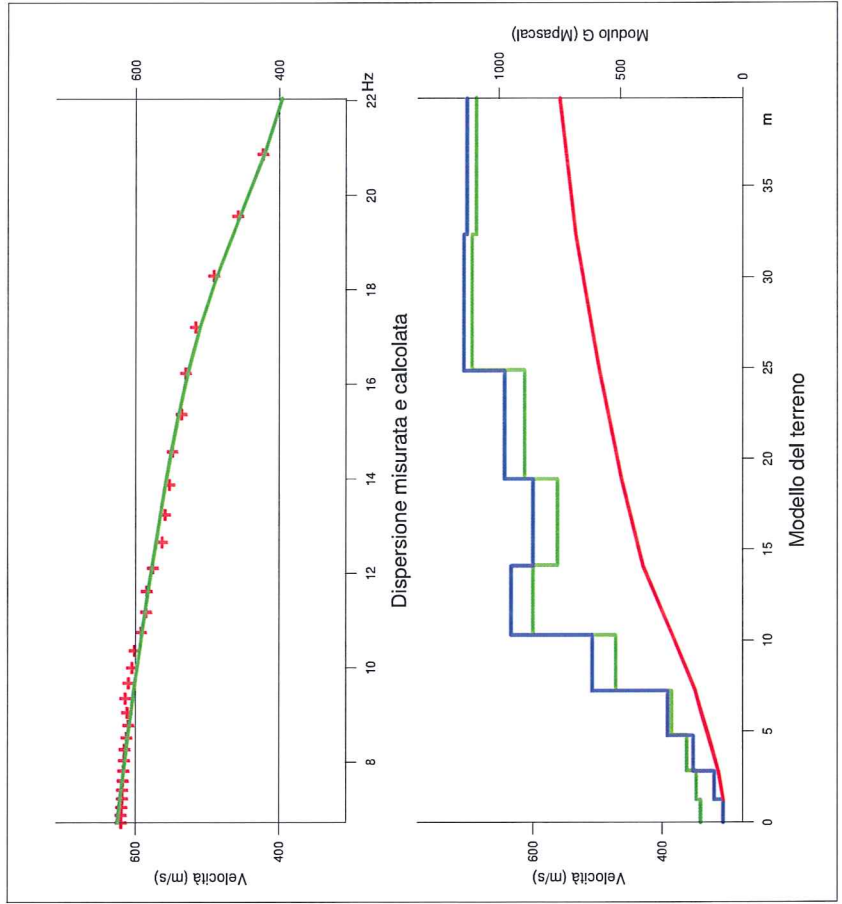
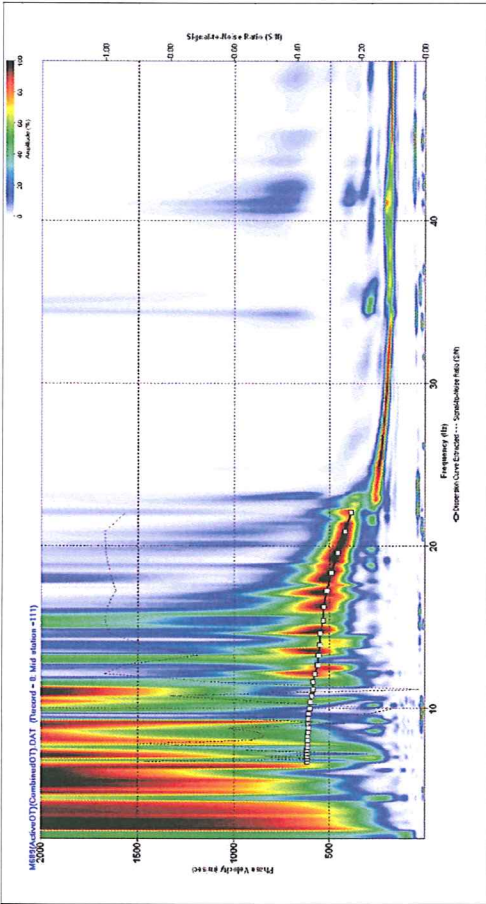
Studio Idrogeotecnico Associato - Milano  
Metodologia MASW

**VELOCITA' DELLE ONDE S  
PROVA M688**

Aprile 2011







**LEGENDA**

- + Curva di dispersione misurata
- Curva di dispersione calcolata
- Velocità sismica delle onde S
- Modulo di taglio (Mpascal)
- VsX

Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula  $D=1.5 + Vs/1000$

**TABELLA DI CALCOLO**

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Wi	VsX	G
0	1.2	307	.0041	307	171
1.2	2.8	322	.0049	315	188
2.8	4.8	352	.0056	329	230
4.8	7.2	392	.0062	348	292
7.2	10.3	509	.006	384	520
10.3	14.1	635	.006	430	860
14.1	18.9	601	.008	464	759
18.9	24.9	646	.0093	497	895
24.9	32.3	710	.0105	534	1113
32.3	39.8	705	.0106	560	1095

**VALORE CALCOLATO VS30 = 524 m/s**

**PROVA SISMICA VS30**

Legnano - Via Novara

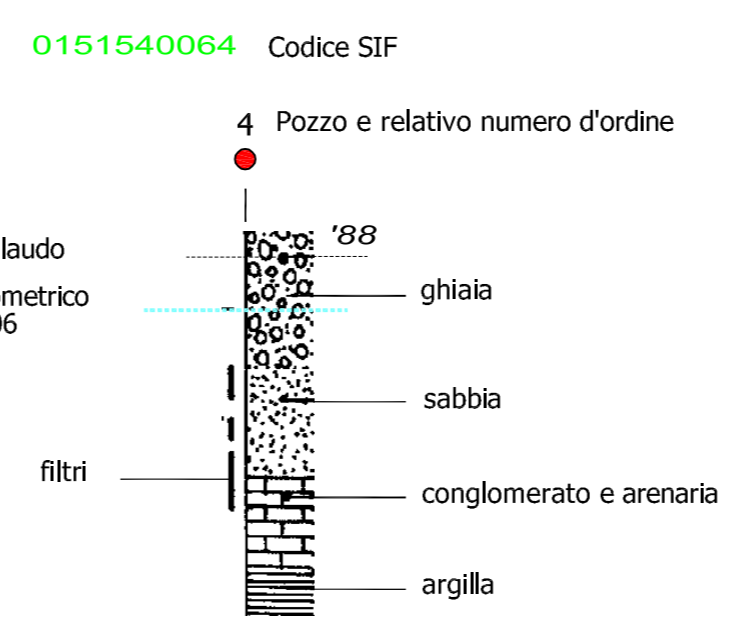
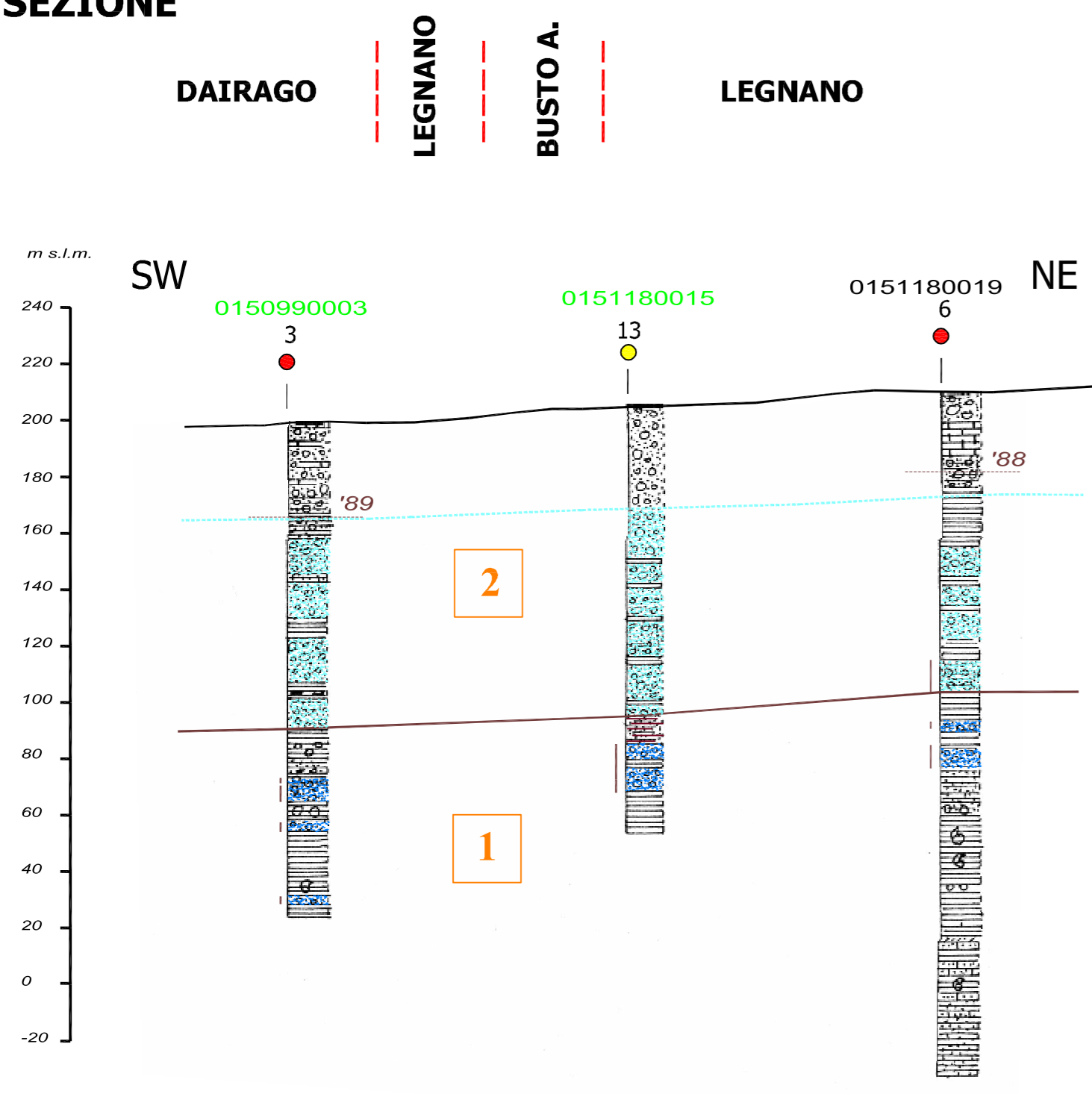
Studio Idrogeotecnico Applicato- Milano

metodologia MASW

**VELOCITA' DELLE ONDE S  
PROVA M689**

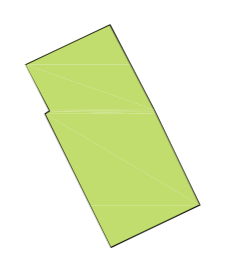
Aprile 2011

**SEZIONE**



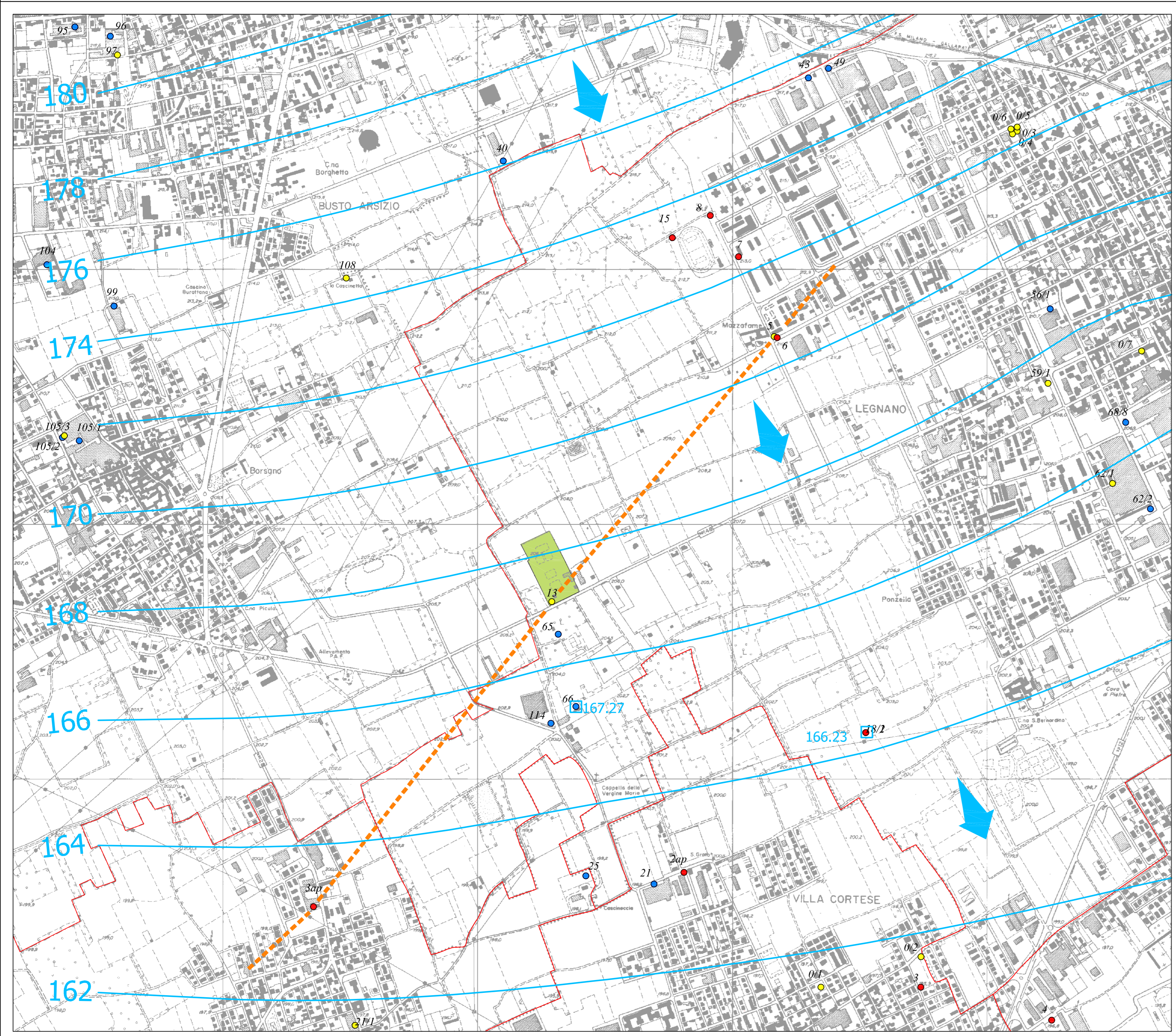
- CLASSIFICAZIONE DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE**
- 2** **UNITÀ DEI DEPOSITI FLUVIOGLACIALI**  
Ghiaie e sabbie con locali intercalazioni argillose e subordinati livelli conglomeratici; facies fluviale tipo "braided", passante localmente a facies a "meandri". Acquifero superiore libero (soggiacenza di 36-38 m), localmente semiconfinato.
  - 1** **UNITÀ DEI DEPOSITI MARINI DI TRANSIZIONE**  
Argille con subordinati livelli a ghiaie, sabbie e conglomerati. Presenza di torbe e fossili. Acquiferi confinato nei livelli permeabili.
- Strati acquiferi

scala 1:25.000



AREA DI VIA NOVARA

- 1 Pozzi pubblici
- 22 Pozzi privati
- 13 Pozzi chiusi
- 174 Linee isopiezometriche e relativa quota (m s.l.m.) al maggio 2006
- Principali direzioni di flusso idrico sotterraneo
- 169.76 Punti di controllo piezometrico
- Tracce delle sezioni idrogeologiche
- Limiti comunali

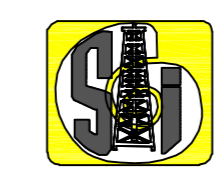


ALTO MILANESE GESTIONI AVANZATE  
Via per Busto Arsizio 53 - 20025 Legnano (MI)

**NUOVO IMPIANTO PER TRATTAMENTO RIFIUTI  
AREA DI VIA NOVARA - LEGNANO**

**INDAGINE GEOGNOSTICA**  
ai sensi del DM 14/01/2008  
**RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA**

**INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

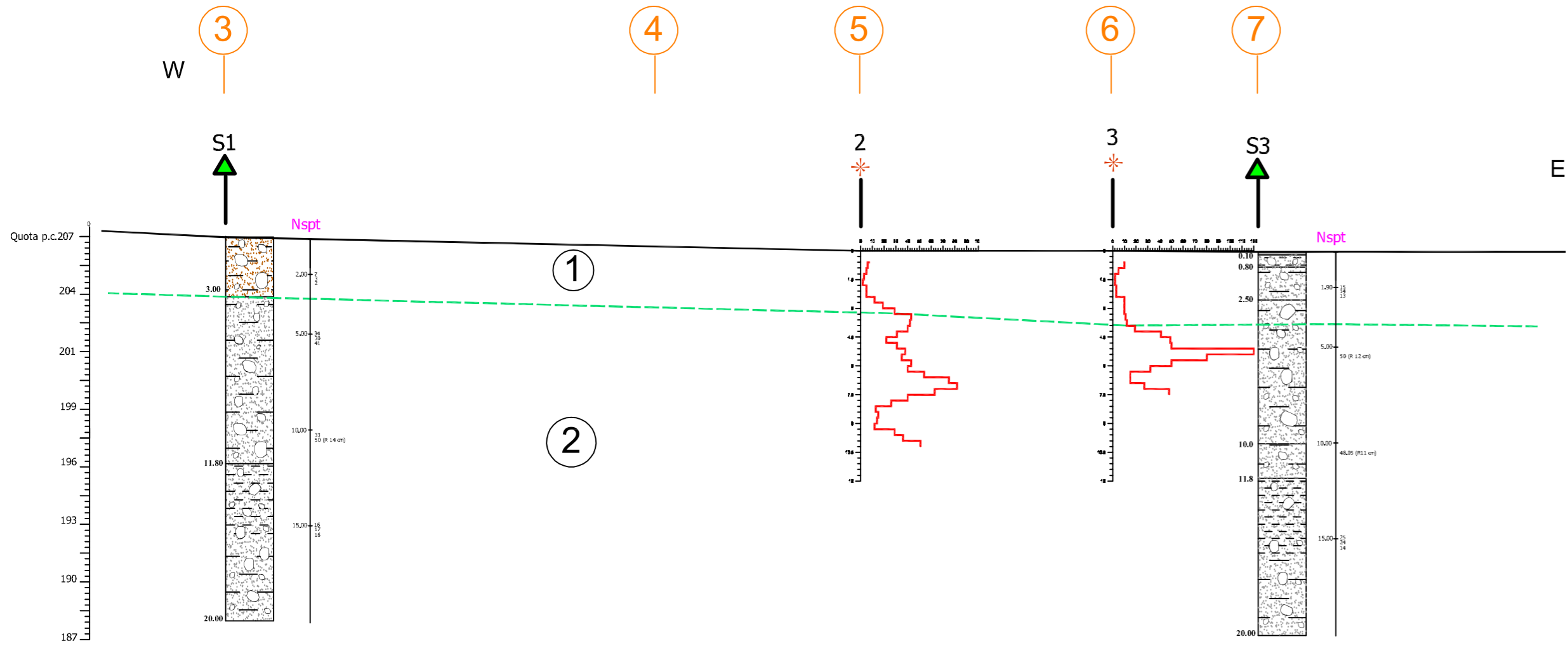


STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.p.A.  
dott. geol. Ghezzi Efrem & C.

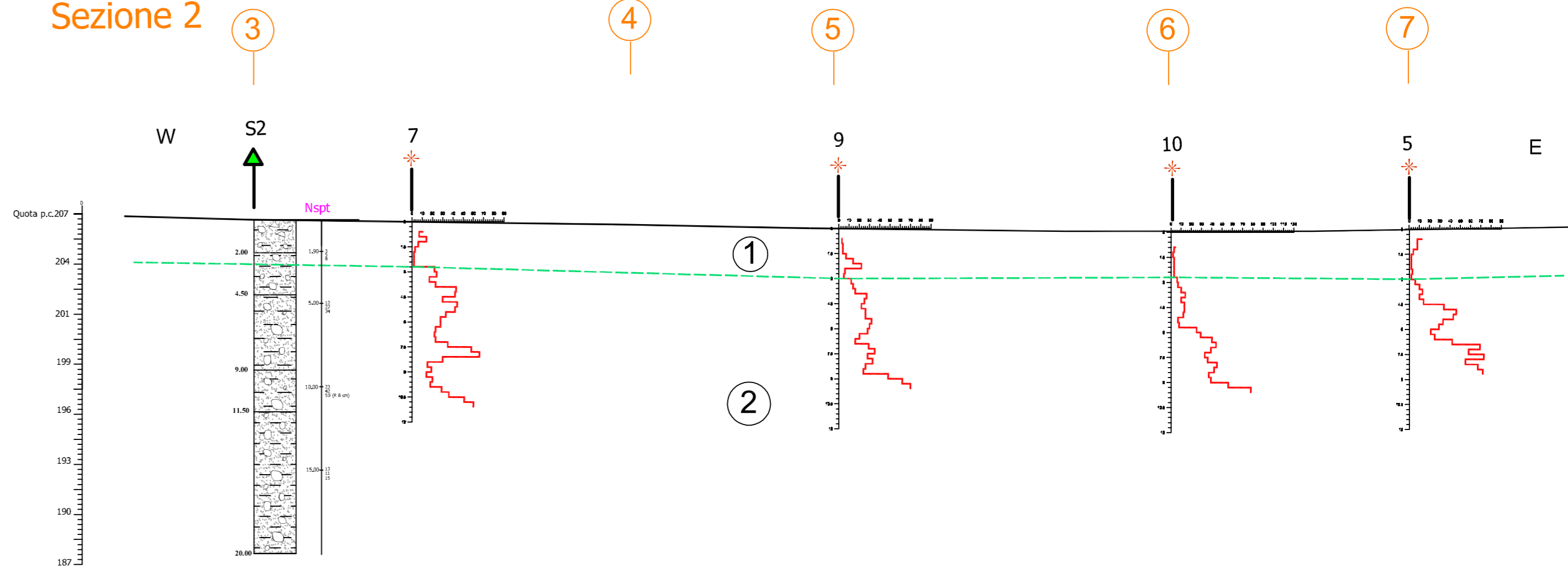
Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid@fastwebnet.it  
www.studioidrogeotecnico.com

DATA	DENOMINAZIONE	SCALA	NOME FILE
Aprile 2011	TAV. 1	1:10.000/25.000	MI3182T1

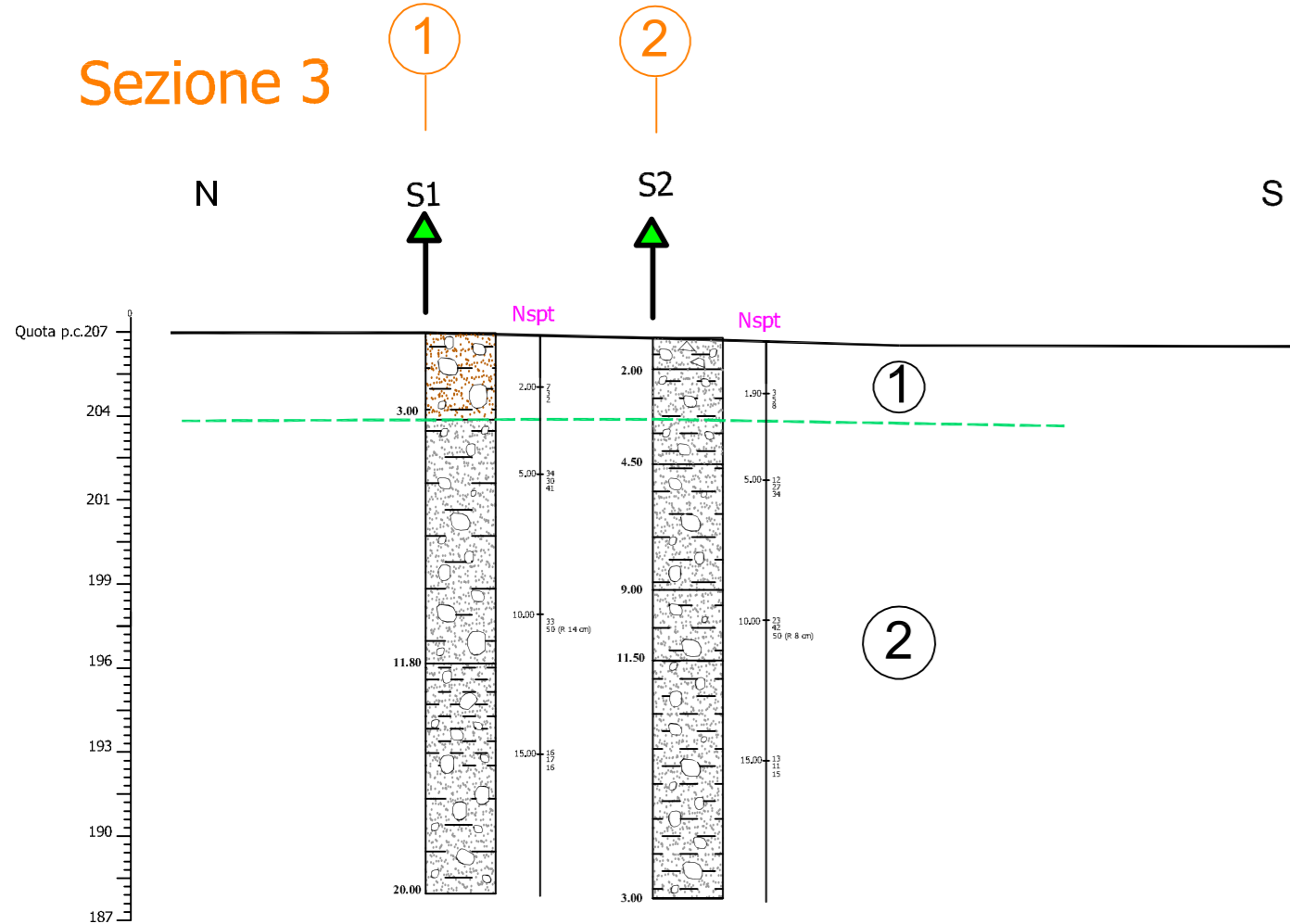
Sezione 1



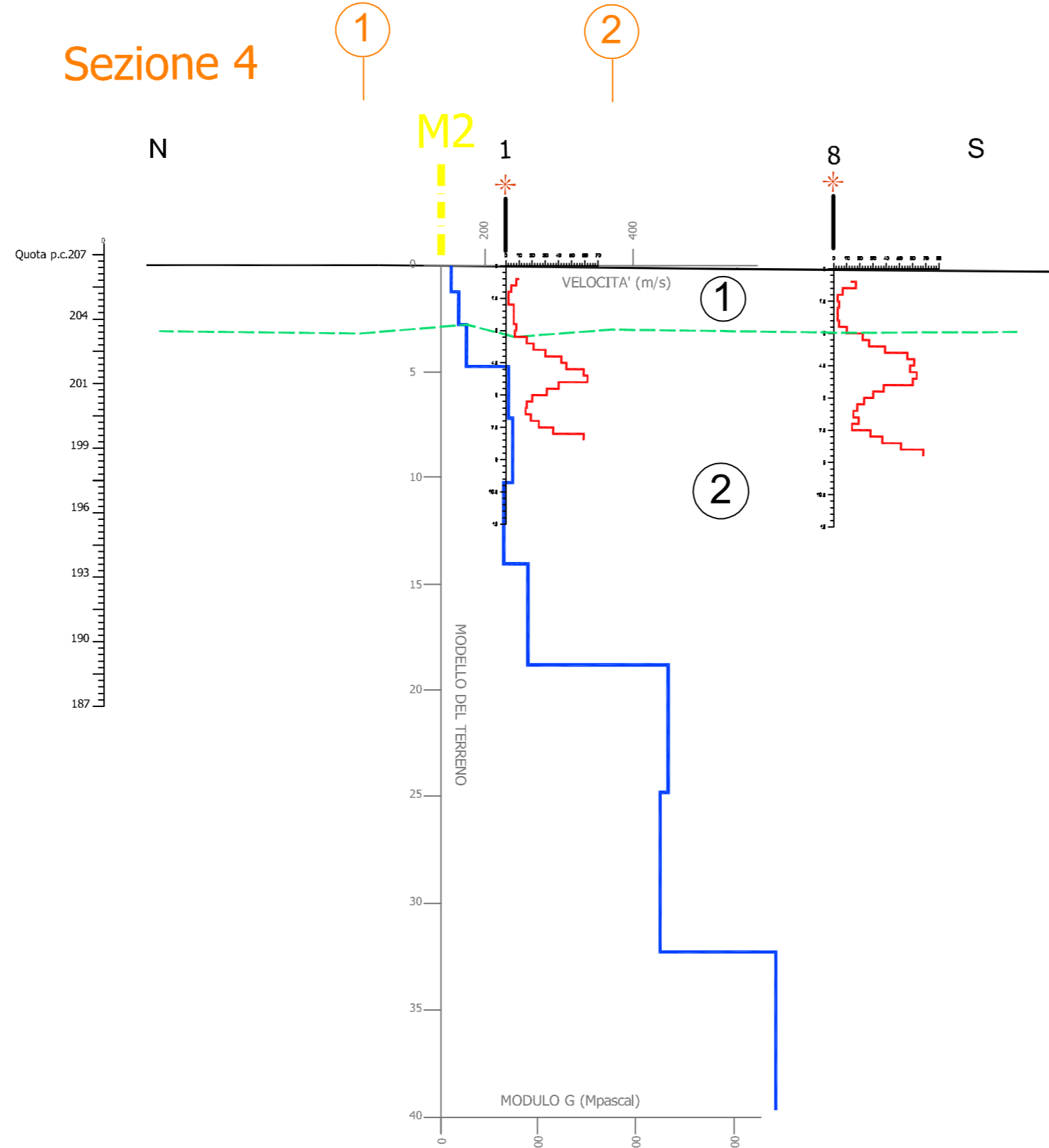
Sezione 2



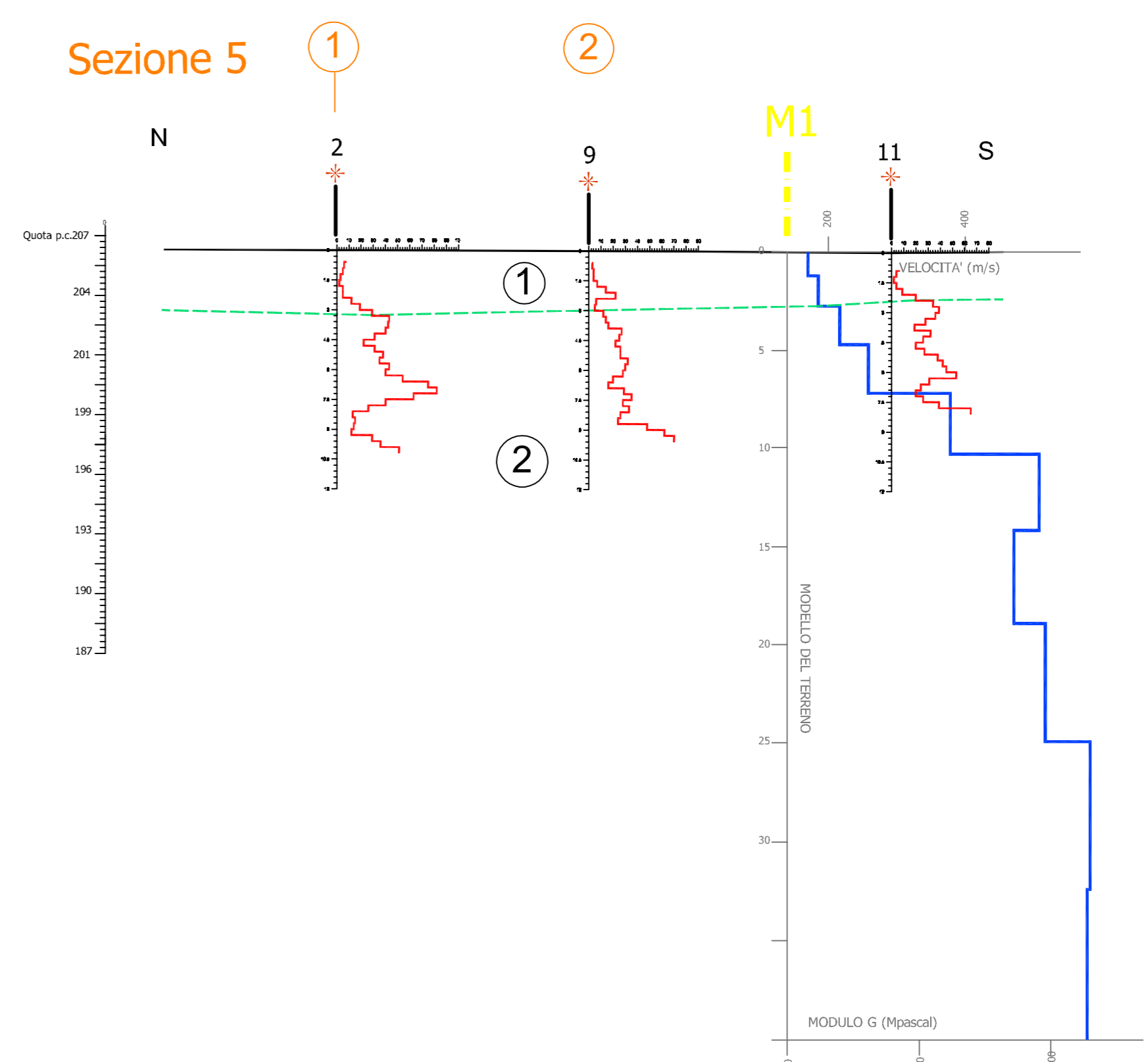
Sezione 3



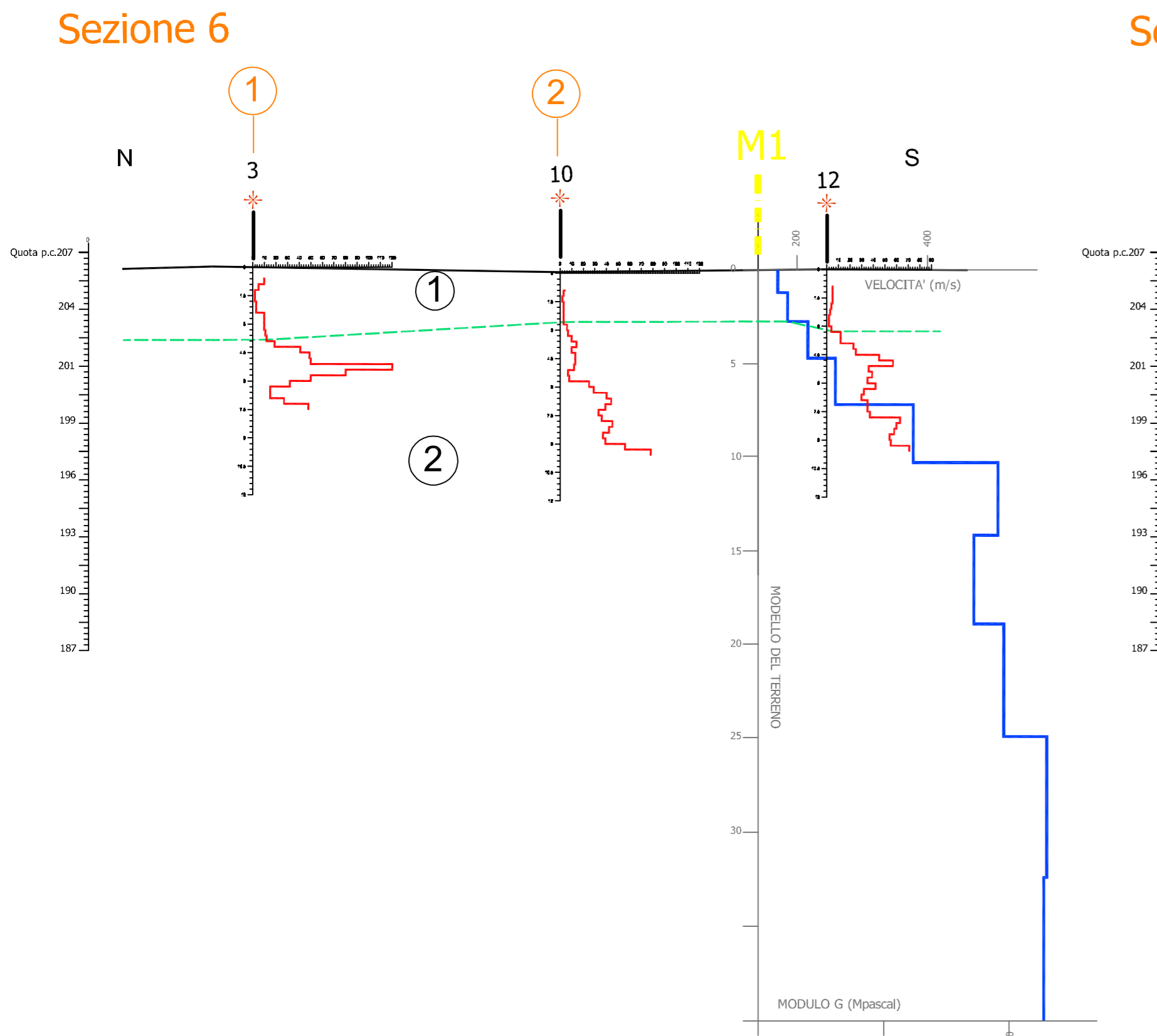
Sezione 4



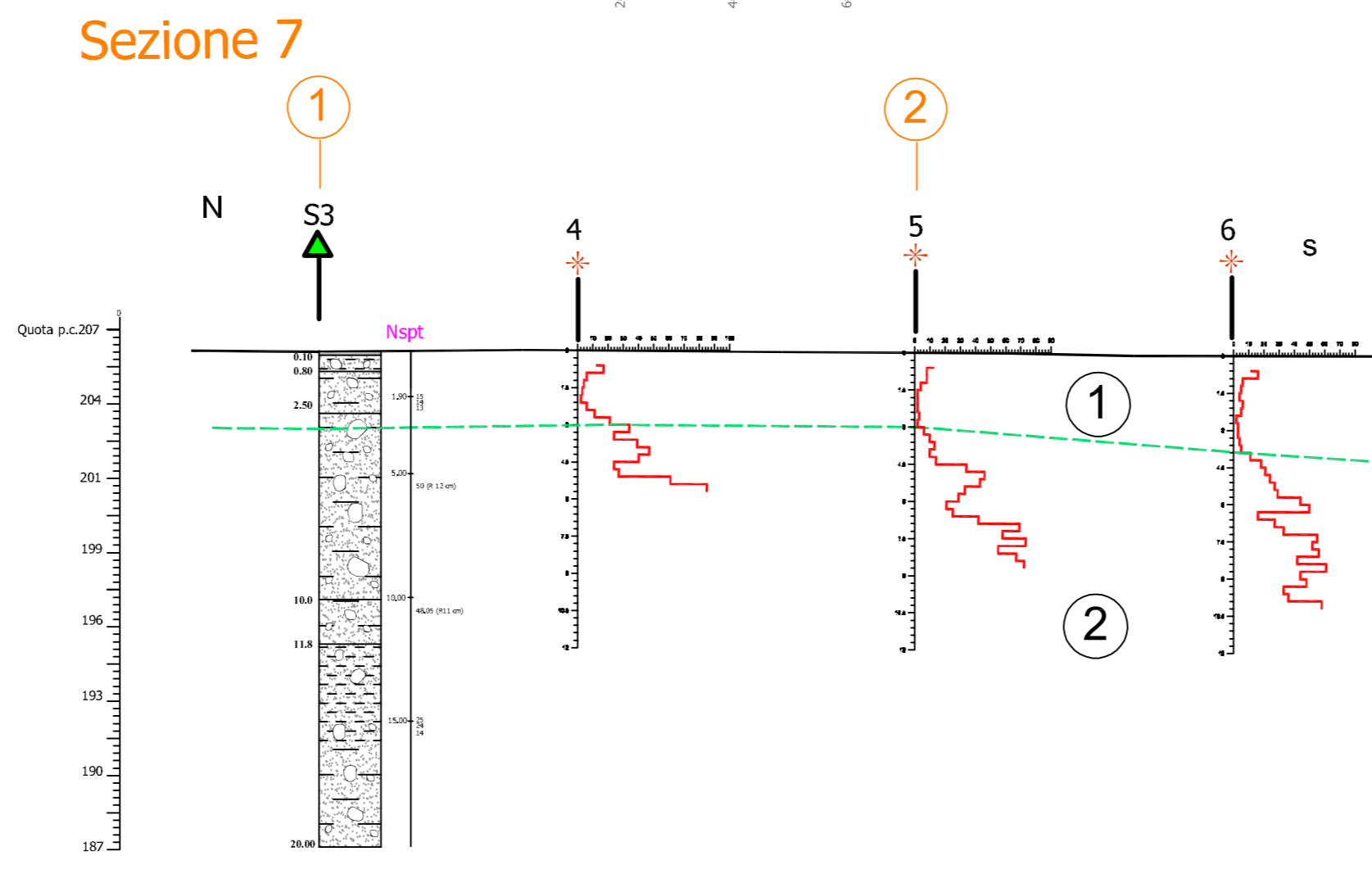
Sezione 5



Sezione 6



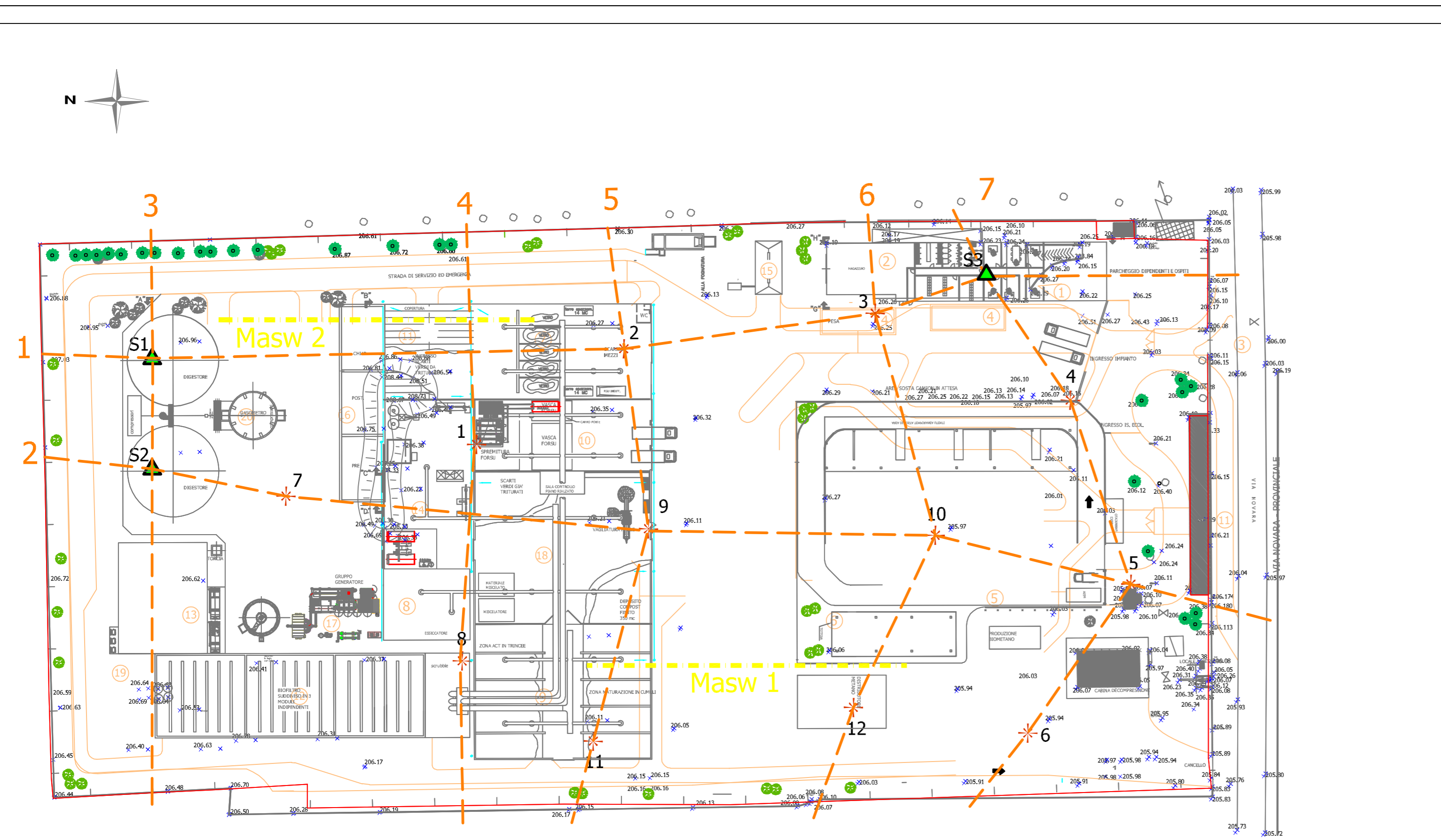
Sezione 7



- Sondaggi
- Prove penetrometriche dinamiche (aprile 2011)
- Stendimento MASW (aprile 2011)
- Incrocio tra sezioni
- Diagrammi penetrometrici e valori di resistenza alla punta (n. colpi/30 cm)
- Diagramma MASW e valori di velocità sismica delle onde S (m/s)

UNITA' GEOTECNICA	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE
1	Sabbie limose con ghiaia scarsamente addensate	Nspt = 5 q <sub>p</sub> = 28° Y = 18 kN/mc Dr = 20%
2	Successione di livelli ghiaioso-sabbiosi da mediamente a ben addensati	Nspt = 35 q <sub>p</sub> = 37° Y = 19 kN/mc Dr = 70%

- Legenda stratigrafie
- Asfalto
  - Terreno di riporto
  - Resti di laterizi
  - Sabbia
  - Limo
  - Ghiaia, ghiaietto e ciottoli



- 1 UFFICI + LABORATORIO
  - 2 MAGAZZINO
  - 3 PORTA CARRAIA
  - 4 PESA
  - 5 DISTRIBUTORE METANO
  - 6 ISOLA ECOLOGICA
  - 7 TRAFERENZA VETRO, TERRE SPAZZAMENTO, RSU
  - 8 ESSICCAZIONE DIGESTATO
  - 9 IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO
  - 10 RICEZIONE ORGANICO
  - 11 RICEZIONE VERDE
  - 12 AREA BIOFILTRO
  - 13 IMPIANTO DEPURAZIONE
  - 14 PRE-TRATTAMENTO
  - 15 LAVAGGIO MEZZI
  - 16 VASCHE POLMONE
  - 17 COGENERATORE
  - 18 AREA MISCELAZIONE, VAGLIATURA, STOCCAGGIO COMPOST
  - 19 AREA TORCE
  - 20 GASOMETRO
- Sondaggi
  - Prove penetrometriche dinamiche (aprile 2011)
  - Stendimenti MASW (aprile 2011)
  - traccia delle sezioni sezioni



**NUOVO IMPIANTO PER TRATTAMENTO RIFIUTI AREA DI VIA NOVARA - LEGNANO**

**INDAGINE GEOGNOSTICA ai sensi del DM 14/01/2008 RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA**

**UBICAZIONI DELLE INDAGINI IN SITO E SEZIONI GEOLOGICO TECNICHE**

**STUDIO IDROGEOTECNICO APPLICATO S.a.s.**  
dott. geol. Ghezzi Efrem & C.  
Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: studi@idrotecnico.it  
www.studioidrotecnico.com

DATA	DENOMINAZIONE	SCALA	NOME FILE
Aprile 2011	T.A.V. 2	1:500	M1318212