



AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO  
Via Garibaldi 75  
43100 PARMA

# REALIZZAZIONE DI UNA CHIAVICA SUL RIO LORETO ALLA CONFLUENZA IN SPONDA SINISTRA DEL FIUME TANARO IN COMUNE DI ALESSANDRIA (AL-E-1771)

## PROGETTO ESECUTIVO

00	MAR-11	Prima emissione	FC	FC	NP
INDICE	DATA	MODIFICHE	DISEGN.	CONTR.	APPROV.
<p><b>RELAZIONE GEOLOGICA E PARAMETRI GEOTECNICI</b></p>					
<p>I PROGETTISTI:</p> <p>Ing. Denis Cerlini</p> <p>Ing. Marco Belicchi</p> <p>Ing. Michele Ferrari</p> <p>Ing. Nicola Pessarelli</p>			<p>HANNO COLLABORATO:</p> <p>Ing. Cecilia Benassi</p> <p>Ing. Elena Bocciarelli</p> <p>Ing. Achille Iasoni</p> <p>Ing. Daniele Mori</p> <p>Ing. Graziano Trombi</p>		
			<p>ELABORATO:</p> <p><b>LOR 3.03</b></p>		
<p><b>MAJONE&amp;PARTNERS</b> ENGINEERING</p> <p>Via Inama, 7 - 20133 Milano - tel. +39.02.70120918 fax +39.02.70120923 Via Cavallotti, 16 - 43121 Parma - tel. +39.0521.508419 fax +39.0521.221022</p>			<p>Marzo 2011</p>		

## INDICE

---

1. PREMESSA .....	2
2. RELAZIONE GEOLOGICA E PARAMETRI GEOTECNICI .....	3

## 1. PREMESSA

Il presente progetto esecutivo ha come oggetto la *realizzazione di una chiavica sul Rio Loreto alla confluenza in sponda sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)*.

Nel capitolo 2 seguente si riportata integralmente la *Relazione geologica e parametri geotecnici*, commissionata dagli scriventi allo studio ENGEO S.r.l. in sede di progettazione definitiva degli interventi. Si precisa in tal senso che negli allegati grafici a detta relazione potrebbero esserci lievi discordanze nell'assetto delle opere rispetto al layout definitivo riportato negli allegati grafici del presente progetto esecutivo.

## **2.     **RELAZIONE GEOLOGICA E PARAMETRI GEOTECNICI****

MARZO  
2011

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO E SISMICO

## PROGETTO ESECUTIVO

### **Realizzazione di una chiavica sul rio Loreto alla confluenza in sponda sinistra del fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E 1769)**

Committente:



---

## **RELAZIONE GEOLOGICA E PARAMETRI GEOTECNICI**

---

Il Geologo:

Dr. Francesco Cerutti

---




Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma  
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181  
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN  
Tel-Fax 0376 467967  
email [info@engeo.it](mailto:info@engeo.it) - [www.engeo.it](http://www.engeo.it)

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

## INDICE

1.	Premesse.....	2
1.1	Normativa di riferimento .....	3
1.2	Caratteristiche dell'opera .....	3
2.	Geologia .....	4
3.	Geomorfologia .....	6
4.	Indagini geognostiche disponibili.....	8
4.1	Campagna indagini 2010 .....	8
4.1.1	Prove penetrometriche statiche a punta meccanica .....	8
4.1.2	Rilievo sismico a rifrazione.....	9
4.2	Altre indagini geognostiche.....	9
5.	Litostratigrafia dei terreni di fondazione.....	11
5.1.1	Sezione 1 (cfr. Tav. 3a) .....	11
5.1.2	Sezione 2 (cfr. Tav. 3b) .....	11
5.1.3	Sezione 3 (cfr. Tav. 3c.1 e Tav. 3c.2) .....	12
5.1.4	Area d'imposta dell'edificio servizi.....	12
6.	Idrogeologia.....	13
7.	Sismicità .....	15
7.1	Sismicità del territorio .....	15
7.2	Classificazione sismica .....	16
7.3	Categoria di sottosuolo .....	18
7.4	Verifica del rischio di liquefazione .....	21
8.	Geotecnica .....	27
8.1	Elaborazione dei risultati delle indagini .....	27
8.1.1	Depositi coesivi .....	27
8.1.2	Depositi granulari.....	31
8.2	Modello geotecnico .....	34

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	1 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

## 1. PREMESSE

SU incarico dello studio Majone & Partners Engineering, è stato redatto lo studio geologico, idrogeologico, sismico e geotecnico a corredo del Progetto Esecutivo per la realizzazione di una chiavica sul rio Loreto alla confluenza in sponda sinistra del fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769).

Scopo dello studio è stato quello di valutare i lineamenti geologici generali dell'area che andrà ad ospitare l'intervento oltre che ricostruire il modello geologico, idrogeologico, sismico e geotecnico del sottosuolo in modo da permettere ai tecnici progettisti una corretta scelta e dimensionamento delle opere che verranno eseguite.

In ottemperanza alle normative di seguito riportate, lo studio è articolato in una serie di valutazioni, di carattere tematico, effettuate nel corso di sopralluoghi di campagna e sulla base dell'analisi della documentazione biblio-cartografica esistente.

Sono stati recuperati e consultati criticamente i risultati di indagini geognostiche eseguite nell'area di intervento per altri progetti, e in particolare il sondaggio a carotaggio continuo, (denominato S2) realizzato in sponda destra del fiume Tanaro nell'aprile 2003 per la realizzazione del viadotto sullo stesso fiume; due sondaggi a carotaggio continuo realizzati nell'aprile 1996 per la variante viabilistica di Alessandria (la fonte di queste stratigrafie è la "Banca Dati Geotecnica di Arpa Piemonte Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche") e un sondaggio a carotaggio continuo e una prova penetrometrica statica a punta meccanica, forniti dall'AIPO, e realizzati nel giugno 2010 per il progetto dell'arginatura del Rio Loreto.


Specificatamente, per il presente studio, è poi stata eseguita una campagna geognostica, nel luglio 2010, che ha previsto la realizzazione, da parte della Intergeo s.r.l. di Modena, di otto prove penetrometriche statiche a punta meccanica e , ai fini della verifica delle caratteristiche sismiche del sottosuolo, di un'indagine geofisica a rifrazione compiuta dalla Geo-Xpert Italia di Vignola (MO).

Gli studi e le indagini eseguiti hanno consentito di redigere, oltre alla presente relazione, i seguenti elaborati grafici:

- **Tav. 1 – Carta geologico-morfologica alla scala 1:2.500**
- **Tav. 2 – Planimetria ubicazione indagini alla scala 1:1.000**
- **Tav. 3a / b / c.1 / c.2 – Sezioni litostratigrafiche alla scala 1:200**
- **Tav. 4a / b / c.1 / c.2 – Modello geotecnico alla scala 1:200**

I risultati delle indagini in situ sono riportati nei seguenti allegati:

- **All. 1 - Prove penetrometriche**
- **All. 2 - Rilievo sismico a rifrazione**
- **All. 3 – Altre Indagini geognostiche**

 <b>ENGEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	2 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO


## 1.1 Normativa di riferimento

- D.P.R. n. 554 del 21.12.1999, Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici, ai sensi dell'articolo 3 della legge 11 febbraio 1994, n.109 e successive modificazioni;
- Decreto ministeriale 14-01-2008 – Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14-01-2008, Circolare 2 febbraio 2009
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007
- Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997) – Progettazione geotecnica –Parte I: Regole Generali – UNI
- Eurocodice 7.2 (2002) – Progettazione geotecnica –Parte I: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI
- Eurocodice 7.3 (2002) – Progettazione geotecnica –Parte II: Progettazione assistita da prove in sito - UNI
- O.P.C.M. n° 3274 (2003) - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"

## 1.2 Caratteristiche dell'opera

Coerentemente con quanto disposto dalle NTC 2008 (Cap. 2.4), in accordo con i Progettisti, sono state definiti i seguenti parametri di progetto:

- VITA NOMINALE: "Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica" la cui vita nominale è  $V_n \geq 100$  anni (come definito dalla Tab. 2.4.I delle N.T.C. 01/2008);
- CLASSE D'USO: *Classe III: "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso"* (come definito dal paragrafo 2.4.2 delle N.T.C. 01/2008).
- PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA: Considerata la classe d'uso II, il coefficiente d'uso risulta  $C_u=1.50$  (cfr. Tab. 2.4.II delle N.T.C. 01/2008), e di conseguenza la Vita di riferimento del fabbricato è  $V_R=V_N \cdot C_u= 150$  anni.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	3 di 35



PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

## 2. GEOLOGIA

Il territorio oggetto d'intervento si inserisce in una porzione della pianura alessandrino-tortonese costituita da depositi continentali di origine alluvionale, poggianti su sedimenti marini pliocenici di chiusura del Bacino Terziario Piemontese.

Questi ultimi testimoniano un ciclo sedimentario comprendente una fase trasgressiva, una fase di mare aperto ed una fase regressiva, con forti escursioni del livello del mare e fasi di colmamento differenti, ciascuna individuata da tipi litologici definiti e caratteristici.

Come indicato nel Foglio 70 "Alessandria" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, le unità terziarie affiorano sui rilievi presenti a nord di Alessandria, in corrispondenza di un'anticlinale, dai fianchi poco inclinati, con asse a direzione est-ovest, intersecata, appena a nord-est della città, da una seconda anticlinale ad essa ortogonale.

Al nucleo delle strutture sono presenti le unità più antiche, mentre quelle più recenti fanno da cornice alla piana alluvionale del fiume Tanaro.

In sintesi si riconoscono le seguenti formazioni plioceniche:

*"Conglomerati di Cassano Spinola" (Pliocene inferiore - Messiniano):* alternanze a carattere flyschoidi di grosse bancate arenacee e conglomeratiche, più o meno cementate, intercalate a sottili livelli di marne.


*"Argille di Lugagnano" (Pliocene):* argille marnose e siltose, marne argillose, marne limose, molasse, di colore grigio-azzurro, tendenti al giallastro per alterazione superficiale. Verso l'alto, al passaggio con le Sabbie di Asti, si hanno litofacies prettamente siltose con intercalazioni via via più frequenti di sabbie e sabbie limose.

*"Sabbie di Asti" (Pliocene superiore e medio):* sabbie calcaree gialle, da fini a grossolane, più o meno stratificate, con intercalati livelli argillosi, più frequenti nella parte basale dell'Unità. Sono geneticamente correlabili con il colmamento finale del bacino e con i fenomeni di regressione che portarono al definitivo ritiro del mare alla fine del Pliocene. Verso l'alto alle sabbie si intercalano argille verdastre e, localmente, ghiaie. Trattasi di una litofacies litorale di transizione (condizione lacustre), corrispondente alla parte inferiore del Villafranchiano, troncata a tetto da una superficie di erosione indicativa del contatto con il Quaternario. I rapporti tra le Sabbie di Asti e le Argille di Lugagnano sono caratterizzati da diffuse eteropie che ne rendono problematica una chiara distinzione litostratigrafica.

Passando ad esaminare i depositi alluvionali quaternari, di stretta pertinenza dell'areale interessato dagli interventi in progetto, si osserva come la loro genesi sia ricollegabile agli apporti ed alla dinamica del fiume Tanaro e dei suoi affluenti (nello specifico, il rio Loreto).

La deposizione da parte dei corsi d'acqua, a percorso e regime incostante, ha dato luogo a un sistema sedimentario costituito da corpi lentiformi, caratterizzati da una grande varietà di composizione granulometrica.

Questi corpi, pur interdigitandosi in modo disomogeneo, rispettano le seguenti regole di posizionali:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	4 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

- da ovest verso est si assiste ad una graduale diminuzione delle dimensioni granulometriche, in accordo con la perdita di capacità di trasporto del fiume;
- in una ipotetica sezione verticale si rinvencono i depositi più grossolani alle profondità maggiori (fenomeno da ricollegare a condizioni paleoclimatiche che conferivano maggiore energia al corso d'acqua);
- allontanandosi dall'asta fluviale del fiume Tanaro in superficie sono presenti depositi più antichi e si osserva un aumento della soggiacenza delle litologie più grossolane.

Come raffigurato nella Carta geologico-morfologica di Tav. 1, i depositi alluvionali quaternari sono distinti in tre unità geocronologiche, organizzate in una serie di terrazzi subparalleli all'asta fluviale, di seguito descritte:

#### *Alluvioni antiche*

Rappresentano il termine superiore della morfosequenza deposizionale osservata, databile all'olocene postglaciale e in parte al pleistocene fluviale recente.

I depositi alluvionali antichi sono caratteristici delle quote più elevate del territorio esaminato, corrispondenti al "livello fondamentale della pianura" a sud del fiume Po.

Presentano granulometria localmente variabile ma, nei livelli più superficiali (fino a 10 m da p.c.), prevalgono le litologie fini argilloso-limose.

#### *Alluvioni recenti*

Sono i depositi olocenici che si rinvencono a lato del fiume Tanaro, in una porzione di territorio corrispondente alla superficie di modellamento fluviale più bassa. Tale fascia si estende parallelamente al corso d'acqua, con ampiezza variabile.

Si tratta di depositi postglaciali costituenti i terrazzi alluvionali dei letti di piena antichi che risultano tuttavia occasionalmente esondabili.


La sovrapposizione dei diversi cicli di tracimazione (piene) conferisce a questi depositi una struttura lenticolare con frequenti e repentine variazioni granulometriche sia laterali che verticali. Dominano i depositi sabbiosi ma localmente si possono rinvenire depositi di colmata più fini di varia estensione.

In tutta l'area rilevata è presente un livello di copertura argillo-limosa con spessori variabili, da un minimo di un metro ad alcuni metri.

#### *Alluvioni attuali*

Sono stati cartografati all'interno dell'incisione entro cui è situato l'attuale alveo del fiume Tanaro.

Si tratta di depositi grossolani costituiti prevalentemente da sabbie, con ghiaie eterometriche in subordine. La presenza della matrice limosa è generalmente scarsa.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	5 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

### 3. GEOMORFOLOGIA

L'assetto morfologico del territorio in esame è stato analizzato sulla base della documentazione bibliografica disponibile, integrata da rilevamenti diretti di campagna.

L'attuale conformazione del paesaggio è legata essenzialmente a due fattori morfodinamici: un fattore naturale, rappresentato dalla dinamica fluviale olocenica e dagli eventi tettonici, ed un fattore antropico, ovvero le modifiche che l'uomo ha apportato al territorio per renderlo più idoneo all'insediamento e alle pratiche produttive.

E' interessante osservare come l'attuale corso del fiume Tanaro, da Cherasco alla sua confluenza in Po, sia frutto di una deviazione relativamente recente.

Infatti, il Tanaro, in passato, dopo la confluenza con la Stura di Demonte, presso Cherasco, proseguiva per Bra fino a confluire nel Po all'altezza di Carmagnola.

Solo nel tardo-Pleistocene/primo-Olocene, a seguito dell'erosione regressiva dei corsi d'acqua più orientali, posti a quote più basse rispetto alla pianura piemontese a sud di Torino, combinata con l'erosione laterale del Tanaro a spese delle colline su cui correva lo spartiacque, si è verificata la cattura e il fiume ha assunto l'attuale percorso.

Sotto l'aspetto geomorfologico, risulta marcata la distinzione tra la fascia di canale (alveo del fiume) e quella d'intercanale (terrazzi).

Nella fascia di canale, attualmente, avvengono le principali trasformazioni morfologiche del territorio, connesse principalmente con l'alternanza degli eventi erosivi e di sedimentazione del corso d'acqua.


Nel tratto in esame il Tanaro presenta un alveo a morfologia di tipo "meandriforme", con un unico canale attivo e sponde ben definite.

Le naturali caratteristiche morfologiche sono fortemente condizionate dalle opere idrauliche di difesa: in particolare quelle di difesa laterale che ne confinano il corso ostacolandone la variabilità planimetrica.

Nella fascia d'intercanale la dinamica naturale risulta praticamente nulla e le uniche trasformazioni paesaggistiche sono legate agli interventi di natura antropica.


Nello specifico, per quanto concerne l'assetto geomorfologico della zona oggetto d'intervento, si ritiene importante evidenziare i seguenti due aspetti:

1. il fiume Tanaro risulta "in battuta " sulla sponda idrografica sinistra proprio dove confluisce il rio Loreto; ciò fa sì che l'azione erosiva delle acque in occasione delle piene sia particolarmente violenta (fenomeno probabilmente accentuato dalla presenza delle pile del viadotto della nuova tangenziale) e sia necessario prevedere un'adeguata protezione delle opere in progetto;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	6 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

2. ci sono evidenze che, in ampie porzioni della zona d'imposta delle opere in progetto, siano stati realizzati consistenti interventi di riporto; in particolare, come risulta da un confronto tra l'ultimo rilievo effettuato e le cartografie rappresentative dello stato di fatto di alcuni decenni fa (in particolare quella catastale), nell'ultimo tratto, le sponde del rio Loreto, sia in destra che sinistra idrografica, sono state modificate, rialzando di vari metri e portando alla quota della pianura circostante aree un tempo occupate con frequenza dalle acque (cfr. , a riguardo, "Area interessata da riporti antropici di spessore plurimetrico" raffigurata in Tav. 1 della Carta geologico-morfologica.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	7 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

## 4. INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI

Come anticipato nelle premesse, per verificare le caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche ed idrogeologiche dei terreni che saranno interessati dall'intervento sono stati considerati i dati relativi alle indagini geognostiche effettuate sia per il presente studio (campagna indagini 2010), che eseguite in passato nell'area oggetto di studio.

### 4.1 Campagna indagini 2010

#### 4.1.1 Prove penetrometriche statiche a punta meccanica

Nella campagna di indagini del 2010, eseguita per il presente studio, sono state realizzate otto prove penetrometriche statiche a punta meccanica (denominate P1-P8), le prove eseguite dall'Intergeo s.r.l. di Modena, utilizzando un penetrometro statico olandese Gouda da 10 tonnellate automontato.

Nell'allegato All. 1 - Prove penetrometriche, sono riportati in forma grafica i risultati delle prove penetrometriche, per ciascuna prova sono riportati in funzione della profondità:

- resistenza alla punta ("Rp" espresso in kg/cm<sup>2</sup>)
- resistenza laterale ("Rl" espresso in kg/cm<sup>2</sup>)
- interpretazione stratigrafica, rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale ("Rp / Rl" rapporto di Begemann).


Nelle pagine successive i dati relativi a resistenza alla punta, resistenza laterale sono riportati in forma tabulare.

L'ubicazione delle prove penetrometriche è riportata nella Planimetria ubicazione indagini di Tav. 2.

La profondità raggiunta dalle prove penetrometriche è risultata variabile tra i 3 e gli 11 m. Nella seguente Tab. 1 si riportano le profondità raggiunte nelle singole prove penetrometriche. L'interruzione delle prove è, con grande probabilità, da attribuire alla presenza di depositi ghiaioso-sabbiosi addensati, per le indagini che hanno raggiunto le maggiori profondità, mentre, è dovuto alla presenza di grossi inclusi particolarmente resistenti (ad esempio blocchi di cls), all'interno del riporto antropico, per quelle interrotte a profondità minori.

Prova penetrometrica	Profondità da p.c. (m)
P1	4.00
P2	9.00
P3	3.00
P4	9.00
P5	8.60
P6	10.00
P7	11.00
P8	9.00

**Tab. 1 – Profondità raggiunte dalla prove penetrometriche**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	8 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

#### 4.1.2 Rilievo sismico a rifrazione

Ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione e in ottemperanza alle indicazioni contenute nel D.M. 14-012008 è stata condotta, dalla Geo-Xpert Italia di Vignola (MO), un'indagine diretta in sito di tipo sismico a rifrazione, con determinazione sperimentale mediante inversione (metodo MASW) del valore di  $V_{s30}$ .

L'ubicazione di tale rilievo è riportato nella Planimetria ubicazione indagini di Tav. 2.

Lo stendimento è stato realizzato tramite base sismica a rifrazione a 24 canali, con energizzazione del terreno mediante una mazza battente del peso di 9 Kg (per i 5 punti di energizzazione); la disposizione in campagna della strumentazione è stata del tipo "distante in linea" di trasduttori velocimetrici (geofoni), posizionati secondo una ripetitività geometrica (equidistanti) lungo l'allineamento. La lunghezza totale dello stendimento risulta pari a 46 m, con una distanza intergeofonica di 2.0 m. Lo stendimento è stato orientato in direzione Ovest-Est.

Su ciascuna base sismica sono stati effettuati n° 5 punti di energizzazione lungo lo stendimento, di seguito elencati:

- 1° Battuta: 1.0 m esterno al geofono n° 1 (esterno sinistro);
- 2° Battuta: in posizione centrale tra il geofono 6 e il geofono 7 (intermedio sinistro);
- 3° Battuta: in posizione centrale tra il geofono 12 e il geofono 13 (intermedio centrale);
- 4° Battuta: in posizione centrale tra il geofono 18 e il geofono 19 (Intermedio destro);
- 5° Battuta: 1.0 m esterno al geofono n° 24 (esterno destro).

I dati raccolti dall'indagine di campagna, successivamente elaborati, mediante software appositi, hanno permesso di ricavare sia le tracce sismiche relative a ciascun punto di energizzazione, che una sezione interpretativa degli strati sismici, limitatamente alle  $V_p$ .


Il calcolo delle  $V_s$ , utile per caratterizzare i terreni presenti al disotto delle fondazioni, è stato eseguito, attraverso l'elaborazione MASW multicanale, tenendo in considerazione la traccia sismica rilevata a seguito dell'energizzazione a 1.0 m dal geofono n° 24 in posizione di esterno destro alla base sismica.

Nell'All. 2 - Rilievo sismico a rifrazione, sono riportati i risultati del rilievo sismico.

## 4.2 Altre indagini geognostiche

Le indagini geognostiche eseguite nell'area d'intervento recuperate da altri studi sono le seguenti:

- un sondaggio a carotaggio continuo (denominato S2), eseguito nell'aprile 2003 in sponda sinistra del fiume Tanaro, per la realizzazione del Viadotto Tanaro. Tale sondaggio eseguito dalla Tecnosuolo s.r.l. di Casteggio (PV) ha raggiunto la profondità 55.0 metri da p.c.. Durante l'esecuzione del sondaggio sono state eseguite delle prove in foro, quali prove SPT e prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile nei depositi granulari.


	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	9 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

- due sondaggi a carotaggio continuo (denominati 1125 e 1126), eseguiti nell'aprile 1996 in sponda sinistra del Rio Loreto, per la Variante Viabilistica di Alessandria. La profondità raggiunta in entrambe i sondaggi è pari a 20.0 metri da p.c.. Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state realizzate nei depositi granulari prove SPT in foro. La fonte delle stratigrafie è la "Banca Dati Geotecnica di Arpa Piemonte – Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche".
- un sondaggio a carotaggio continuo (denominato S2), eseguito nel giugno 2010 in sponda sinistra del Rio Loreto, eseguito per il progetto dell'arginatura del Rio Loreto da parte dell'AIPO. Il sondaggio, eseguito dalla Geotecnica Veneta di Olmo di Martellago (VE), ha raggiunto la profondità di 30.0 metri da p.c.. Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state realizzate prove SPT in foro nei depositi granulari, mentre nei depositi coesivi sono state eseguite prove speditive quali pocket penetrometer e vane test.
- 1 prova penetrometrica a punta meccanica (denominata CPT1), eseguita nel giugno 2010 in sponda destra del Rio Loreto, eseguita per il progetto dell'arginatura del Rio Loreto da parte dell'AIPO. L'indagine, anch'essa eseguita dalla Geotecnica Veneta di Olmo di Martellago (VE), ha raggiunto i 9.0 metri da p.c., profondità alla quale, probabilmente, ha incontrato un banco ghiaioso-sabbioso addensato.

L'ubicazione di queste indagini è riportata nella Tav. 2 – Planimetria ubicazione indagini alla scala 1:1.000, mentre le stratigrafie e i risultati delle prove eseguite in sito sono riportate nell'All. 3

- Altre indagini geognostiche.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	10 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

## 5. LITOSTRATIGRAFIA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Sulla base dei dati ottenuti nel corso della campagna geognostica del luglio 2010 (cfr. paragrafo 4.1) e dall'esame dei risultati delle indagini eseguite per altri studi (cfr. paragrafo 4.2), sono state definite le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo oggetto d'intervento.

Esse sono state rappresentate graficamente mediante la ricostruzione di 3 sezioni litostratigrafiche la cui traccia è riportata in Tav. 2.

Di seguito viene proposta una descrizione di quanto raffigurato in tali sezioni, oltre che dell'assetto litostratigrafico in corrispondenza dell'edificio servizi per il quale non è stata prevista una rappresentazione grafica.

### 5.1.1 Sezione 1 (cfr. Tav. 3a)

La sezione 1 raffigura la situazione in asse al manufatto idraulico (chiavica) in progetto sul rio Loreto.

Essa, ai fini descrittivi, può essere distinta in tre tratti: l'alveo, la sponda destra e la sponda sinistra.

In corrispondenza dell'alveo del rio Loreto, si osserva che l'incisione del corso d'acqua quasi raggiunge il potente banco di depositi granulari che caratterizza tutta la porzione inferiore del sottosuolo rappresentata nella sezione 1. Lo spessore dei terreni argillosi e limosi sovrastanti è, infatti, nell'ordine del metro.

In sinistra idraulica è stata raffigurata la presenza di un abbondante volume di riporti antropici di diversa natura (che verrà meglio descritto nel paragrafo 5.1.3), mentre i terreni naturali al contorno risultano a tessitura fine (argille e limi).

La situazione è più varia in destra idraulica, dove, a partire dalla superficie, si alternano, con spessori compresi tra 1 e 2.5 m, prima un livello di riporto, poi uno di argille e limi, quindi, uno di limi sabbiosi e sabbie limose, poi, nuovamente, uno di argille e limi.

Al di sotto di questi terreni, come già indicato, la situazione risulta abbastanza uniforme: infatti, si rinvencono sempre dei depositi granulari distinti in due orizzonti con spessori superiori ai 5 m: quello più superficiale, costituito da sabbie ghiaiose; quello più in profondità, da ghiaie sabbiose.


### 5.1.2 Sezione 2 (cfr. Tav. 3b)

La sezione 2 segue l'andamento del muro di sostegno in destra idrografica del rio Loreto.

Superficialmente è presente, nel tratto più occidentale, uno strato di materiali di riporto, dovuti, presumibilmente, alle attività di cantiere connesse con la realizzazione del viadotto sul Tanaro, dello spessore di circa 1.0 metro, mentre, spostandosi verso l'alveo del fiume, si incontra il rilevato arginale che presenta un'altezza di circa 4.0 metri.

Al di sotto di questi depositi si rinviene prima uno strato di argille e limi avente spessore di circa 2.50 m, poi uno strato di limi-sabbiosi avente spessore medio pari a 2.5÷3.0 m.

Sotto questi depositi prevalentemente coesivi, con quota del tetto a circa 82.50 m s.l.m., è stato individuato un banco di terreni granulari, con tessitura, più in superficie, sabbio-ghiaiosa, per

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	11 di 35



PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

uno spessore nell'ordine dei 7.0 metri, passante in profondità a ghiaio-sabbiosa (per almeno altri 5.0 m).

### 5.1.3 Sezione 3 (cfr. Tav. 3c.1 e Tav. 3c.2)

La sezione 3 è tracciata in asse al muro di sostegno in sinistra idrografica del rio Loreto.

Si osserva come, su questa sponda, siano stati effettuati importanti interventi di riporto con terreni e materiali (ad esempio rottami) di varia natura. Si tratta una caratteristica desunta da vecchie cartografie dell'area ma che trova conferma nella testimonianza della popolazione locale e nelle indagini eseguite.

I riporti, sono stati stimati di spessore pari a circa 1.5 m solo nel settore più occidentale della sezione, mentre, nella parte restante, caratterizzano il primo sottosuolo fino ad oltre 7.0 m dall'attuale piano campagna.


Sotto di essi si rinviene un livello di limi sabbiosi e sabbie limose che, o direttamente, o mediante l'intercalazione di una lente di argille e limi (situazione riscontrata sempre nel settore più occidentale) poggia, ad un quota di circa 81 m s.l.m., sui depositi granulari.

Quest'ultimi aumentano sempre di granulometria con la profondità, passando dalle sabbie-ghiaiose, nel primo strato, di altezza nell'ordine dei 5.0 m, alle ghiaie sabbiose, del secondo, spesso almeno altrettanto.

### 5.1.4 Area d'imposta dell'edificio servizi

Per quanto riguarda la porzione di territorio dove si prevede di realizzare l'edificio servizi (in sinistra idrografica del rio Loreto, ma arretrato rispetto alla sponda), sulla base delle indagini eseguite (cfr. in particolare la prova P6) si propone di la seguente caratterizzazione litostratimetrica:

- da p.c. a -6.10 m da p.c.: argille e limi
- da -6.10 m a -8.90 m da p.c.: sabbie e sabbie con ghiaie
- da -8.90 m fino a -10 m da p.c. (massima profondità raggiunta dalla prova P6) ghiaie con sabbie.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	12 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

## 6. IDROGEOLOGIA

Nel settore di territorio in esame il serbatoio idrico sotterraneo ha sede nei depositi alluvionali quaternari ed è sostenuto alla base dai sedimenti argilloso-marnosi marini.

Malgrado le differenti caratteristiche di permeabilità delle strutture lentiformi che compongono i depositi quaternari, l'acquifero può essere considerato di tipo monostrato, in quanto gli orizzonti sabbiosi e/o ghiaiosi, a maggiore trasmissività, si compenetrano consentendo una discreta circolazione idrica.

In esso, a testimoniare la buona produttività, sono intestate molte delle captazioni a servizio del territorio comunale.

Il grado di confinamento dell'acquifero è diverso in funzione dell'area. Sul terrazzo "basso", dove è minore lo spessore di copertura a bassa permeabilità, la falda è generalmente a pelo libero, mentre sul terrazzo "alto" (livello fondamentale della pianura) risulta in pressione.

La soggiacenza varia arealmente, soprattutto in relazione alle differenti quote della superficie topografica.

Variabile è anche la vulnerabilità naturale all'inquinamento dell'acquifero che risulta alta nelle zone prossime al Tanaro, a maggiore permeabilità, bassa soggiacenza e falda a pelo libero, mentre si riduce allontanandosi dal fiume.

I bassi gradienti rendono difficoltosa la ricostruzione degli andamenti del flusso idrico nel sottosuolo. Si può, comunque, ipotizzare che la falda superficiale risulti in comunicazione con il fiume Tanaro e che venga da esso drenata quando il fiume presenta condizioni di magra e di morbida. Il flusso si inverte, cioè l'alveo risulta disperdente, quando i livelli idrometrici superano i livelli statici della falda. Tale condizione, tuttavia, si realizza solo in occasione delle piene.

Localmente si verificano fenomeni di dispersione in falda da parte dei canali che solcano l'area, di entità maggiore in corrispondenza delle litologie più permeabili (terrazzo "basso").


L'apporto idrico principale per l'unità esaminata è da attribuire agli scambi con gli acquiferi limitrofi ubicati più a monte (filtrazione), laddove i depositi a maggiore permeabilità (sabbie e ghiaie) risultano subaffioranti.

La falda presenta un regime unimodale con livelli massimi nel periodo primaverile e minimi alla fine dell'estate.

Con riferimento all'area oggetto d'intervento e al suo stretto intorno, considerata la stretta vicinanza all'alveo del fiume e Tanaro e a quello rio Loreto, risulta evidente che i livelli della falda sono strettamente connessi a quelli idrometrici, in particolare, in periodi di stazionarietà quando la falda ha il tempo di mettersi in equilibrio con i livelli imposti dai corsi d'acqua.


A conferma di quanto appena affermato, la situazione rilevata in occasione della campagna geognostica effettuata per il presente studio nel luglio 2010, rappresentata anche nelle sezioni di Tavv. 3a, 3b, 3c.1 e 3c.2, evidenzia una superficie freatica con quote leggermente più basse di quelle del Loreto e leggermente più alte di quelle del Tanaro, entrambi in condizioni di magra.

Va comunque segnalato che, in considerazione delle differenze litologiche descritte nel capitolo precedente, ci si deve aspettare che la circolazione all'interno dei terreni oggetto

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	13 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

d'intervento avvenga con modalità ben differenti: essa sarà discreta nei depositi granulari, cui può essere associato un coefficiente di permeabilità  $k$  nell'ordine dei  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s (valore attribuito facendo riferimento alla letteratura e ignorando i risultati anomali delle prove di permeabilità in sito effettuate nel sondaggio S2 che sottostimano, in maniera evidente, tale parametro, attribuendo a sabbie con ghiaietto prive di matrice un coefficiente  $k$  pari a  $1.5 \cdot 10^{-8}$  m/s), molto più difficoltosa in quelli fini (argille e limi) che (sempre da letteratura) mediamente potrebbero avere valori di  $k$  pari a circa  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s; caratteristiche idrogeologiche simili dovrebbero avere i riporti, costituiti prevalentemente da depositi coesivi, anche se, al loro interno, possono essere presenti orizzonti locali di terreni o materiali più grossolani dotati di una maggiore permeabilità.

 <b>ENGEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	14 di 35

<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>

## 7. SISMICITÀ

### 7.1 Sismicità del territorio


La storia sismica del territorio di Alessandria è stata desunta da "DBMI04", il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. Il database è stato realizzato nell'ambito delle attività del TTC (Tema Trasversale Coordinato) 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici" dell'INGV, con il contributo parziale del Dipartimento della Protezione Civile (progetto S1).

La storia sismica di Alessandria è riassunta in Tab. 2, dove sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità, disponibili per il territorio comunale, indicando per ciascuno di esse, oltre alla stessa intensità al sito (Is), l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi), l'ora (Or) ed, eventualmente, il minuto e il secondo in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la magnitudo momento (Mw).

Dalla lettura di Tab. 2 si evidenzia che il massimo evento sismico avvertito nel territorio di Alessandria si è verificato il 1 febbraio 1369 con un'intensità dell'VII-VIII grado della scala MCS.

Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
7-8	1369 02 01	Alessandria	6-7	5.03
7	1828 10 09 02 20	Valle dello Staffora	7-8	5.67
6	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	9	6.29
5	1644 02 15 09 20	Alpi marittime	8-9	5.88
4-5	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	8	5.67
4-5	1855 07 25 12	Vallese	8-9	5.81
4-5	1945 12 15 05 27	VARZI	5-6	4.78
4	1541 10 22 18	VALLE SCRIVIA	8	5.48
4	1767 02 07 03 45	GENOVA	6-7	5.06
4	1886 09 05	VAL DI SUSA	6-7	5.27
4	1891 06 07 01 06 14	Valle d'Illasi	8-9	5.71
4	1913 12 07 01 28	NOVI LIGURE	5	4.72
4	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	9-10	6.48
3-4	1612 01 31	ROCCA BIGLIERA	6-7	5.26
3	1818 02 23 18 10 01	Liguria occidentale	7-8	5.55
2-3	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
2	1873 03 12 20 04	Marche meridionali	8	5.88
2	1927 10 28 21 49	BEDONIA	6	5.13
2	1960 03 23 23 08 49	Vallese	6-7	5.36

Tab. 2 - Massimi eventi sismici avvertiti nel territorio del comune Alessandria

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	15 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

## 7.2 Classificazione sismica

La Giunta Regionale, con D.G.R. 61-11017 del 17 novembre 2003, recepisce la classificazione sismica per i comuni piemontesi individuata nell'allegato A dell'ordinanza P.C.M. n. 3274/03, che poneva il comune di Alessandria in classe 4. Con la D.G.R. n. 11-13058 del 19 gennaio 2010, la Regione Piemonte, ha provveduto all'aggiornamento ed adeguamento dell'elenco delle zone sismiche in virtù delle disposizioni dell'O.P.C.M. 3519/2006, sulla base della proposta di classificazione conseguente ai risultati dello studio affidato al Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica in collaborazione con il Centro di Competenza Eucentre di Pavia, definendo il Comune di Alessandria appartenente alla Zona 3 (v. Fig. 1). Infine con la D.G.R. n. 28-13422 del 1 marzo 2010 la Regione Piemonte stabilisce che *“le disposizioni di cui alla D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 entreranno in vigore decorsi 365 giorni dalla pubblicazione della citata D.G.R. sul Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte e comunque non prima dell'approvazione delle disposizioni attuative di cui al punto 10 della D.G.R. stessa”*; inoltre dispone che *“nelle more dell'entrata in vigore della nuova classificazione sismica, nei comuni che dalla zona 4 risultano classificati nella zona 3, le costruzioni i cui progetti delle strutture vengono depositati o, per le opere pubbliche di cui sia stata avviata la progettazione definitiva od esecutiva dopo la pubblicazione del presente provvedimento, siano dimensionate in linea con le norme tecniche vigenti per la zona 3”*. Pertanto per l'opera in progetto si deve considerare il Comune di Alessandria appartenente alla Zona 3.

Alle Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14-01-2008, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), in quanto l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.


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

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 2475 anni).

Per determinare il tempo di ritorno sono stati valutati i parametri dell'opera in progetto (cfr. paragrafo 1.2) quali:

- tipo di opera: *“Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica”* la cui vita nominale è  $V_n \geq 100$  anni;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	16 di 35

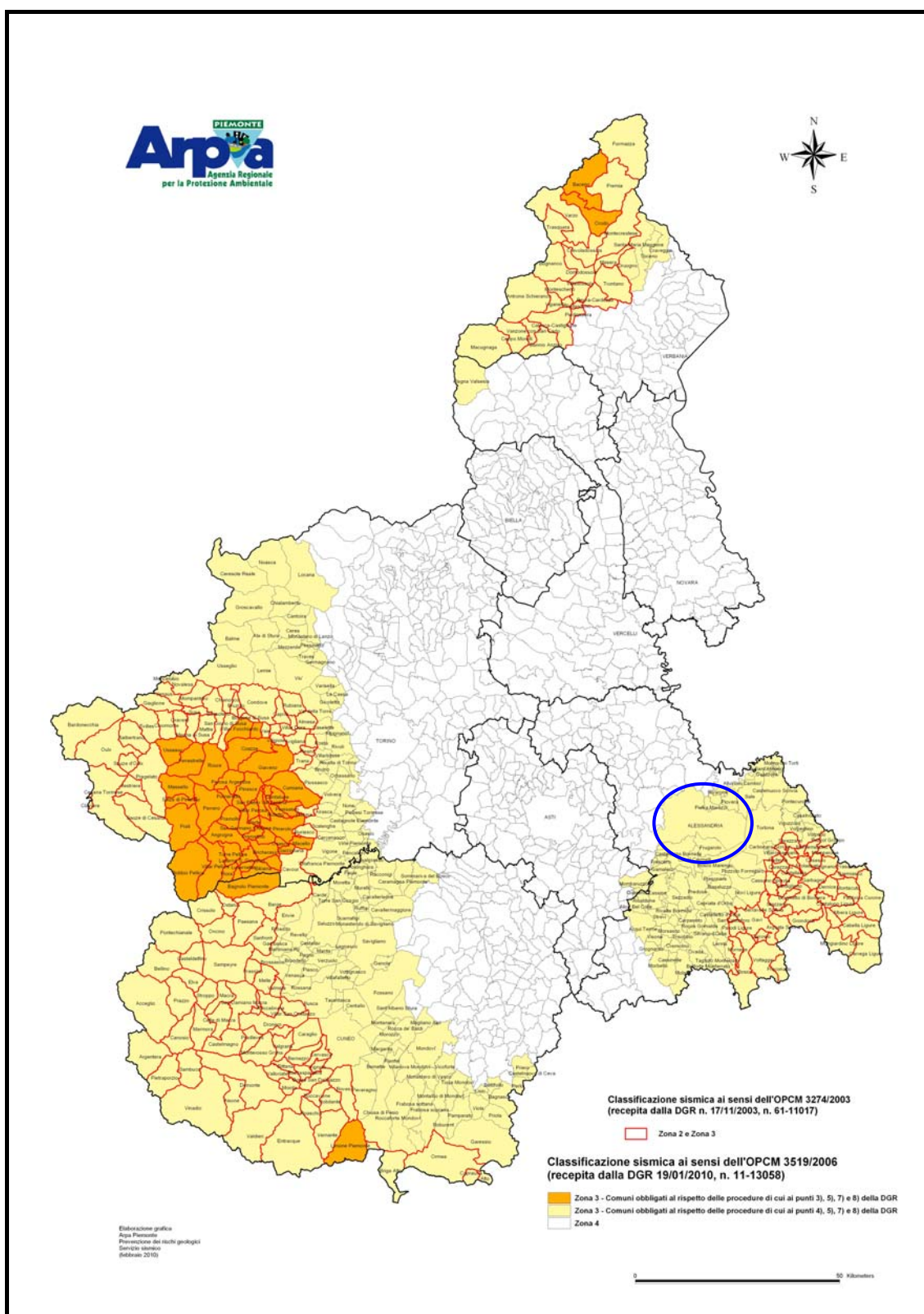



Fig. 1 – Classificazione sismica della Regione Piemonte recepita dalla D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 n°11-13058

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	<p>Elaborato</p> <p>Relazione geologica e parametri geotecnici</p>	<p>Data</p> <p>Marzo 2011</p>	<p>Agg.</p> <p>0</p>	<p>Pag.</p> <p>17 di 35</p>
---	--	-------------------------------	----------------------	-----------------------------



PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

- classe d'uso: *Classe III: "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso"*. Con conseguente coefficiente d'uso **Cu=1.50**.

Da questi due parametri si ottiene il periodo di riferimento della costruzione che è dato da:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 1.5 = 150 \text{ anni.}$$

Inoltre sono stati definiti gli stati limite che forniscono le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  (ved. Paragrafo 3.2.1 e Tab. 3.2.I delle N.T.C. 01/2008), per gli stati limite ultimi di Salvaguardia della Vita (**SLV**) con probabilità pari al 10% e per gli stati limite di esercizio di Operatività (**SLO**) con probabilità del 81%.

Dato che il sito in esame (long. 8.6193, lat. 44.9362) non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $a_g, F_0, T_C^*$  possono essere ricavati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. Qualora la attuale *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* non contempli il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e alla  $P_{VR}$  fissate, il valore del generico parametro  $a_g, F_0, T_C^*$  ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione.

Alla luce dei dati descritti sopra i valori dei tre parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche sono riportati nella Tab. 3 seguente.

Stato Limite	Tempo di ritorno $T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T_C^*$ (s)
SLO	90	0,032	2,531	0,218
SLD	151	0,038	2,551	0,239
SLV	1424	0,082	2,567	0,290
SLC	2475	0,099	2,566	0,294


Tab. 3 – Valori dei parametri  $a_g, F_0, T_C^*$  per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite

### 7.3 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 14-01-2008 definisce 7 categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione ( $V_{S30}$ ).

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione ( $V_{S30}$ ) è definita come:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_i}}$$

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	18 di 35


<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>

dove  $h_i$  e  $V_i$  sono lo spessore e la velocità delle onde delle strato i-esimo entro i 30 m dalla fondazione.

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>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

**Tab. 4 - Categorie sismiche dei terreni**

Per determinare il valore delle onde di taglio  $V_s$  è stato eseguito un rilievo sismico a rifrazione (descritto nel paragrafo 4.1.2), dai risultati si è ricavato il valore della  $V_{s30}$ , per diverse profondità di posa delle fondazioni delle strutture in progetto.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	19 di 35



PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

Profondità di posa considerata	$V_{s30}$	Categoria del suolo di fondazione
0 ÷ -30 m da p.c.	306	C
-1 ÷ -31 m da p.c.	323	C
-2 ÷ -32 m da p.c.	345	C
-3 ÷ -33 m da p.c.	371	B
-4 ÷ -34 m da p.c.	390	B
-5 ÷ -35 m da p.c.	409	B


**Tab. 5 – Valori di  $V_{s30}$  a diversi intervalli di profondità**

Da quanto riportato nella Tab. 5, consegue che per le strutture che presentano un piano di imposta delle fondazioni fino a 2 m di profondità da p.c. (muri di sostegno ed edificio servizi), i terreni d'imposta appartengono alla categoria C: "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m*". I terreni di imposta della chiavica, invece, essendo le fondazioni poste a circa quota 81 m s.l.m., appartengono alla categoria B "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*".

Sulla base della categoria di appartenenza del terreno il D.M. 14-01-2008 introduce i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  per tener conto dell'amplificazione stratigrafica del valore dell'azione sismica di progetto. Per le categorie B, C, D e E, questi due parametri possono essere calcolati attraverso le espressioni riportate in Tab. 6, dove i valori di  $F_0$  e  $T_c^*$  sono relativi al sottosuolo di categoria A,  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria	$S_s$	$C_c$
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

**Tab. 6 - Valori dei parametri  $S_s$  e  $C_c$**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	20 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

Utilizzando i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  riportati in Tab. 3 si ottengono, i seguenti valori

per i terreni di categoria C

per lo stato limite ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV),

- $S_s=1.50$  e  $C_c=1.58$ ,

per lo stato limite di esercizio di Danno (SLD),

- $S_s=1.50$  e  $C_c=1.68$ ;

per i terreni di categoria B:

per lo stato limite ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV),

- $SS=1.20$  e  $CC=1.41$

per lo stato limite di esercizio di Danno (SLD),

- $SS=1.20$  e  $CC=1.46$

Altro parametro introdotto dal D.M. 14-01-2008 è il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ , per tener conto delle condizioni topografiche del territorio e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.VI<sup>1</sup>, in funzione delle categorie topografiche definite nel paragrafo 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento. Essendo l'intervento in progetto ubicato in pianura in un settore di territorio in cui le principali variazioni topografiche sono connesse con la presenza di scarpate di altezza sempre inferiore a 10 m, la categoria topografica corrispondente è la T1 superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ , che corrisponde ad un valore del coefficiente  $S_T$  pari a 1.00.


## 7.4 Verifica del rischio di liquefazione

Si è valutato il rischio di liquefazione per gli strati prevalentemente sabbiosi sotto falda (considerata cautelativamente a circa -3 metri da p.c. in sponda destra ed a circa -4 metri da p.c. in sponda sinistra), entro i primi 15 metri di profondità ed aventi spessore superiore ad un metro, presenti in entrambe le verticali considerate (S2 e 1125), che risultano essere i sondaggi più vicini alle opere strutturali in progetto.

Per liquefazione si intende un processo di incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di

<sup>1</sup> Capitolo 3 – Azioni sulle costruzioni, paragrafo 3.2 Azione sismica, del D.M. 14-01-2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	21 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

La verifica è stata effettuata mediante il metodo di Seed ed Idriss (1982), la verifica è stata effettuata attraverso il programma Liquiter della Geostru. Questi metodi permettono di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno con i risultati delle prove SPT, eseguite in foro ed i risultati delle prove eseguite in laboratorio.

Il fattore di sicurezza,  $F_s$  nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è per definizione il rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica **CRR** (Cyclic Resistance Ratio), e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica **CSR**.

Si ha dunque:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

La stima del fattore di sicurezza  $F_s$  passa attraverso la valutazione delle due quantità CSR e CRR.

Con il metodo di Seed ed Idriss (1982), il calcolo del parametro CSR è eseguita attraverso l'equazione semi empirica proposta da Seed e Idriss (1971):

$$CSR_{7.5} = 0.65 \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d$$

espressione valida per sismi di magnitudo 7.5. Per magnitudo diverse bisogna dividere per il fattore correttivo **MSF** (Magnitudo Scaling Factor):

$$CSR = \frac{CSR_{7.5}}{MSF}$$

dove:

$a_{\max}$  = accelerazione sismica massima;

$g$  = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s<sup>2</sup>;

$\sigma_{v0}$  = pressione verticale totale alla profondità  $z$  dal p.c.;


$\sigma'_{v0}$  = pressione verticale efficace alla profondità  $z$  dal p.c.;

$r_d$  = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo la formula proposta da Iwasaki et al. (1978):  $r_d = 1 - 0.0015z$ .

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma, ricavabile dalla Tab. 7 seguente, nella quale viene riportato il valore di questo fattore ottenuto da vari ricercatori.

Magnitudo	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19
7.0	1.08
7.5	1.00
8.0	0.94
8.5	0.89

Tab. 7 - Magnitudo Scaling Factor, secondo Seed ed Idriss

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	22 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

Nel caso in esame l'accelerazione sismica massima attesa al sito per l'area in studio è pari ad  $a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 0.082 = 0.123$ , mentre come magnitudo del sisma è stata, cautelativamente, assunta la magnitudo massima attesa ( $M_{w\max2}$ ) nella zona sismogenetica più vicina all'area oggetto d'intervento (ZS n. 911 "Tortona-Bobbio"; cfr. Fig. 2), pari a 6,14<sup>2</sup>.

Conseguentemente si ottiene un valore di MSF pari a 1,28.

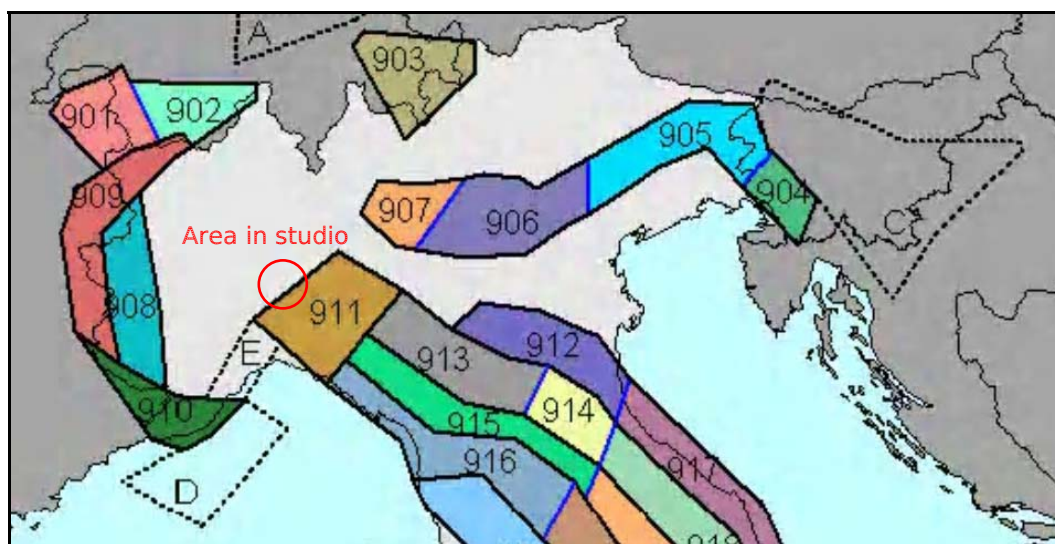


Fig. 2 - Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia

Mentre la resistenza alla liquefazione CRR, viene calcolata in funzione del numero di colpi da prova SPT, della pressione verticale effettiva, della densità relativa..

Si calcola inizialmente il numero dei colpi corretto alla quota desiderata per tenere conto della pressione litostatica mediante la seguente espressione:

$$(N_{1,60}) = CN Nm$$


dove Nm è il numero medio dei colpi nella prova penetrometrica standard SPT e CN un coefficiente correttivo che si calcola mediante la seguente espressione:

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

dove  $\sigma'_{v0}$  è la pressione verticale effettiva,  $P_a$  la pressione atmosferica espressa nelle stesse unità di  $\sigma'_{v0}$  ed n un'esponente che dipende dalla densità relativa del terreno.

$$CRR \approx \frac{N_{1,60}}{90}$$

<sup>2</sup> Questo valore è ricavabile dalla colonna 10 della tabella 6 a pagina 38 del Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	23 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO


Se  $F_s > 1.3$ , il deposito non è liquefacibile.

Gli Autori hanno precisato che questa procedura è valida per sabbie con  $D_{50} > 0,25$  mm; per sabbie limose e limi suggeriscono di correggere ulteriormente il valore di  $N_{1,60}$ :

$$(N_{1,60})_{cs} = N_{1,60} + 7,5.$$

I terreni di fondazione (fino a 15 m di profondità) sono stati suddivisi in tre strati, il primo costituito da depositi argilloso-sabbiosi (non soggetti a liquefazione) nella verticale S2, e dai materiali di riporto (sempre non soggetti a liquefazione data l'eterogeneità del deposito) nella verticale 1125, ed i sottostanti due costituiti da sabbia con ciottoli, e sotto da ghiaie. Come riportato nelle Fig. 3 e Fig. 4, i singoli strati sono caratterizzati dai valori medi del  $N_{SPT}$  resistenza alla penetrazione, desunti dalle prove eseguite in foro.

I terreni di fondazione delle strutture in progetto risultano, come si evince dalle Fig. 3 e Fig. 4, non suscettibili di liquefazione in quanto il fattore di sicurezza è abbondantemente superiore ad 1,3.

 <b>ENGEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	24 di 35

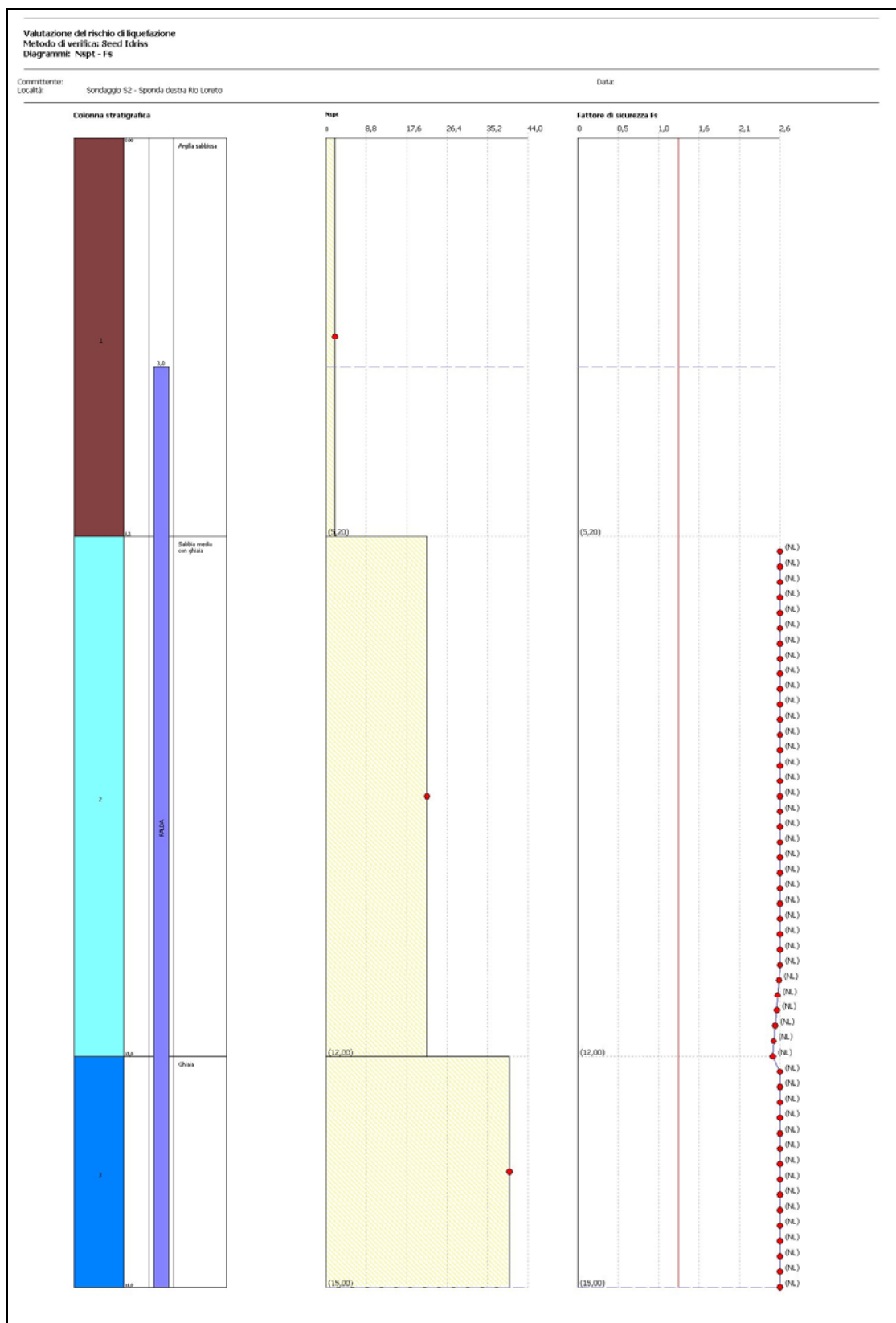


Fig. 3 - Risultati della verifica del rischio di liquefazione lungo il sondaggio S2

<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>

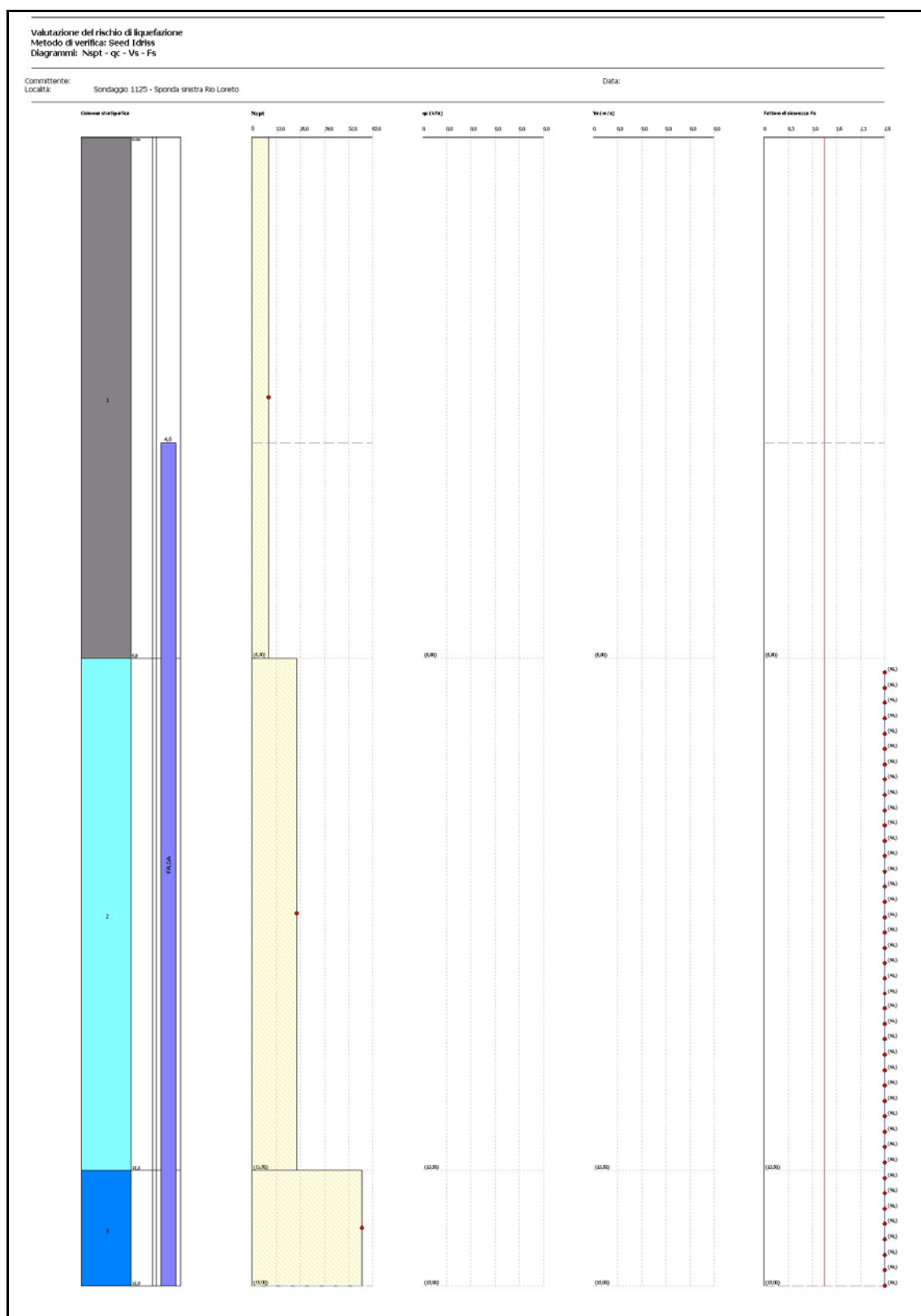



Fig. 4 - Risultati della verifica del rischio di liquefazione lungo il sondaggio 1125

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	26 di 35



<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>

## 8. GEOTECNICA

### 8.1 Elaborazione dei risultati delle indagini

#### 8.1.1 Depositi coesivi

Per la caratterizzazione dei depositi coesivi argilloso-limosi è stata utilizzata la prova penetrometrica P6, ritenuta più significativa rispetto alle altre in quanto lo spessore di tali depositi è dell'ordine dei 6 metri.

##### 8.1.1.1 Resistenza al taglio in condizioni non drenate

La resistenza al taglio non drenata ( $c_u$ ) è stata determinata: dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPT, mediante la seguente equazione (Baligh e Campanella, 1975): il valore della  $C_u$  è espresso nell'unità di misura della  $R_p$ .

$$C_u = \frac{R_p}{N_K}$$

Assumendo  $N_K=20$ , valore comunemente accettato in bibliografia. I valori così ottenuti, per caratterizzare i depositi coesivi, sono riportati graficamente in Fig. 5.

##### 8.1.1.2 Modulo edometrico

Il modulo di deformazione confinato ( $E_{ed}$ ) è stato ricavato dai valori di resistenza alla punta  $q_c$  ottenuti dalle prove penetrometriche statiche, in accordo alla correlazione di Mitchell e Gardner (1975). Il modulo edometrico si ottiene utilizzando la seguente espressione:


$$E_{ed} = \alpha q_c$$

dove i valori di  $\alpha$  sono riportati nella Tab. 8 di seguito riportata ( $w_n$  = umidità naturale espressa in percentuale).

Argille di bassa plasticità (CL)	$q_c < 0.7$ (MPa) $0.7 < q_c < 2$ (MPa) $q_c > 2$ (MPa)	$3 < \alpha < 8$ $2 < \alpha < 5$ $1 < \alpha < 2.5$
Limi di bassa plasticità (ML)	$q_c < 2$ (MPa) $q_c > 2$ (MPa)	$1 < \alpha < 3$ $3 < \alpha < 6$
Limi e argille di alta plasticità (MH, CH)	$q_c < 2$ (MPa)	$2 < \alpha < 6$
Limi organici (OL)	$q_c < 1.2$ (MPa)	$2 < \alpha < 8$
Torba e argilla organica (Pt, OH)	$50 < w_n < 100$ $100 < w_n < 200$ $w_n > 200$	$1.5 < \alpha < 4$ $1 < \alpha < 1.5$ $0.4 < \alpha < 1$

**Tab. 8 – Correlazione di Mitchell e Gardner (1975)**

I valori ottenuti dalla sopra riportata espressione, che caratterizzano i depositi sono riportati graficamente in

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	27 di 35



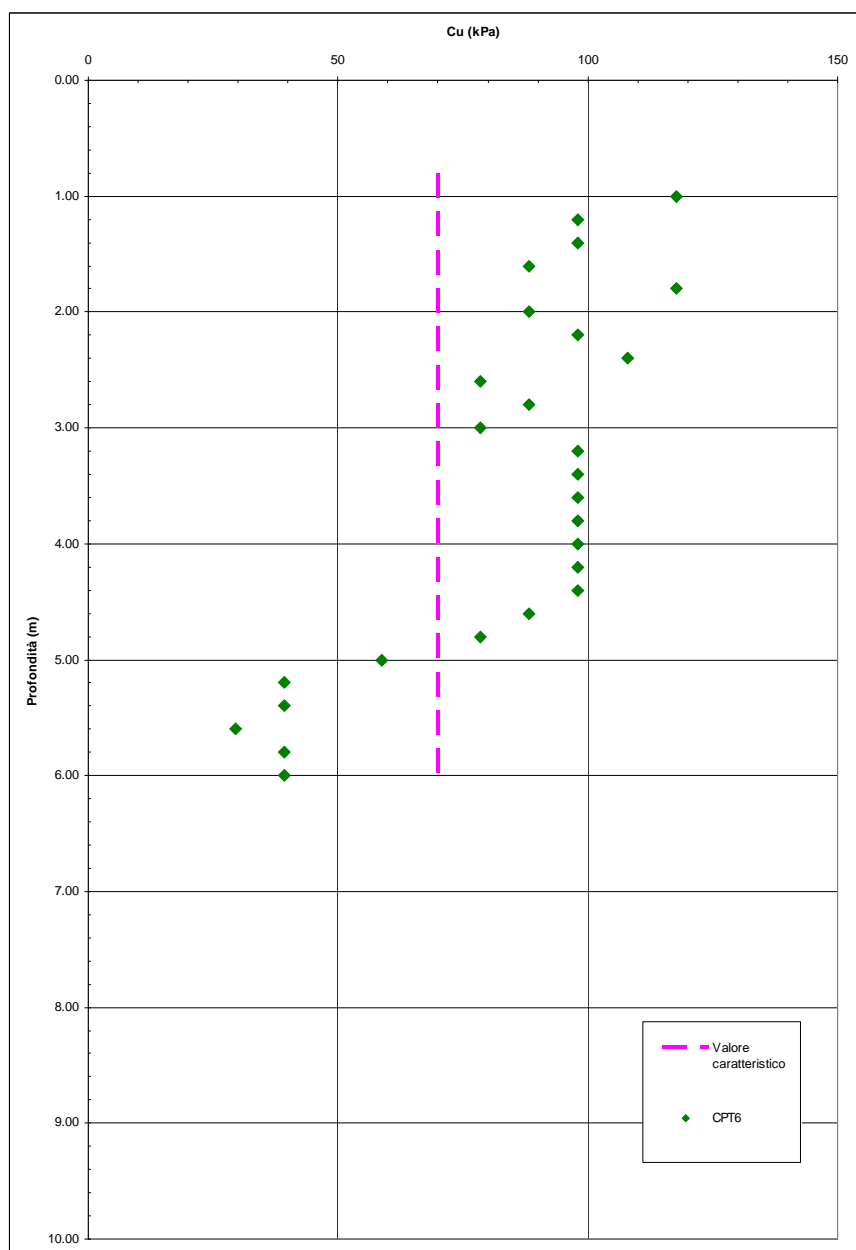
<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>

### 8.1.1.3 Angolo di resistenza al taglio


L'angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) è stato stimato a partire dai valori dei colpi  $N_{SPT}$ , in base alla correlazione proposta da De Mello (1971) mediante le formule proposte da Shioi e Fukuni (1982):

$$\Phi' = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15$$

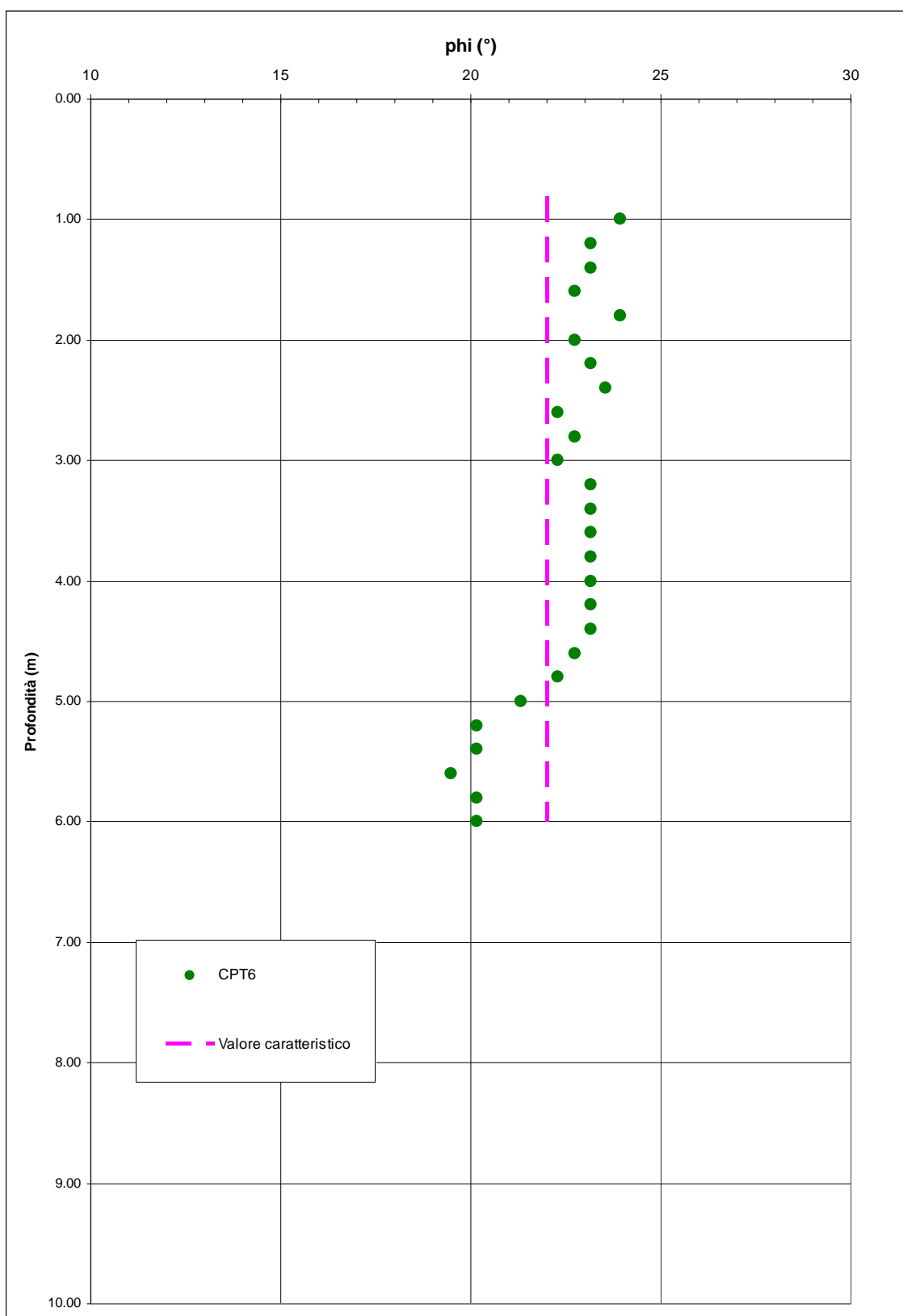
Dove il numero di colpi  $N_{SPT}$  è stato ricavato indirettamente dalla prova CPT, partendo al valore della resistenza alla punta ( $R_p$ ), tramite la correlazione empirica  $N_{SPT} = R_p/4.5$  (Robertson et al., 1983).




**Fig. 5 - Valori della coesione non drenata per i depositi argillo-limosi, desunti dalla prova CPT6**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	28 di 35

<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>



**Fig. 6 - Valori dell'angolo d'attrito per i depositi argillo-limosi, desunti dalla prova CPT6**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	29 di 35

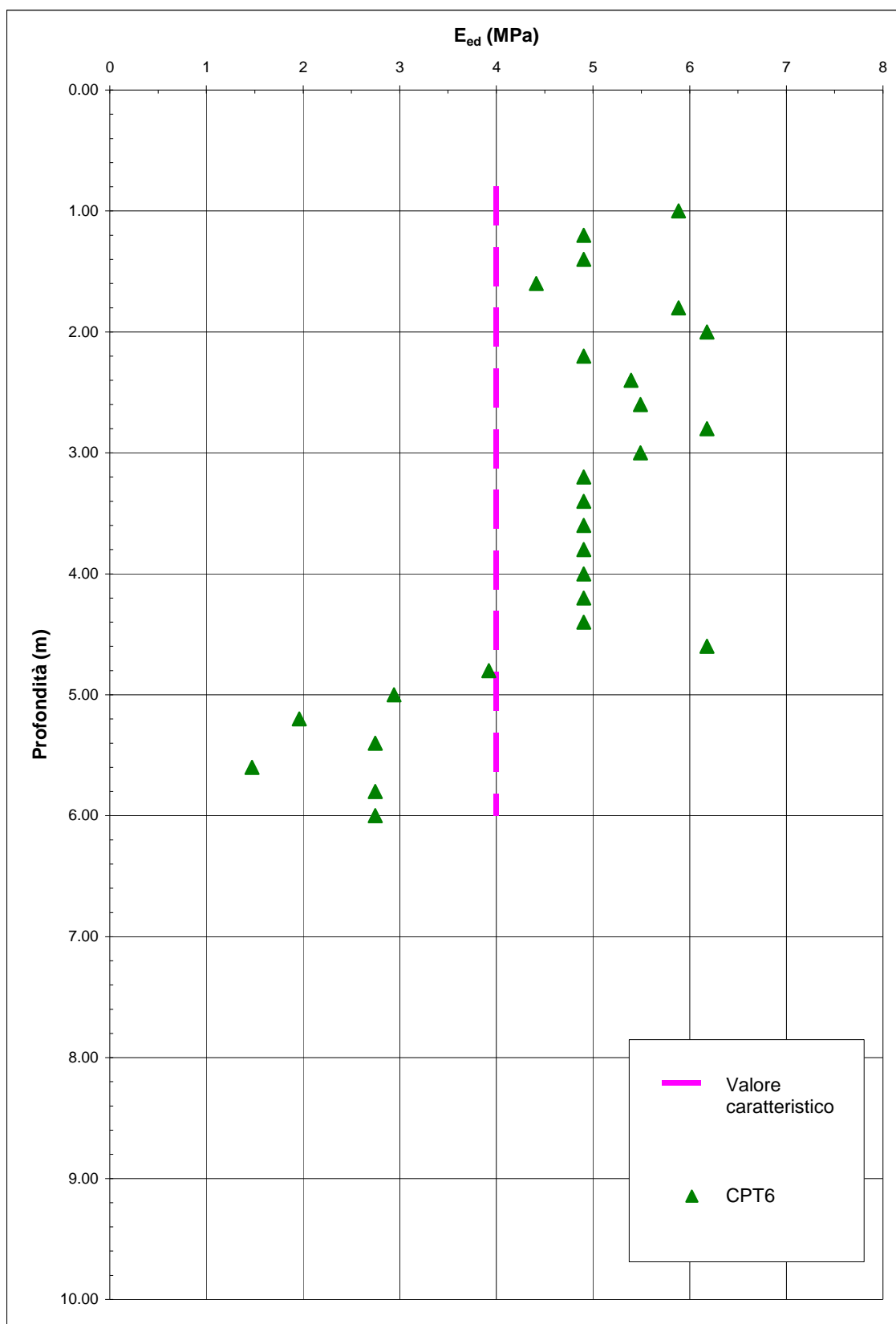



Fig. 7 - Valori di modulo edometrico per i depositi argillo-limosi, desunti dalla prova CPT6

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	30 di 35

<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>

### 8.1.2 Depositi granulari

La caratterizzazione geotecnica di questi terreni si è basata sui risultati delle prove in sito (prove dinamiche SPT) realizzate nei sondaggi eseguiti per altri studi nell'area d'intervento ed in particolare sono stati presi in considerazione i sondaggi S2 (Viadotto Tanaro e arginatura Rio Loreto AIPO), il 1125 e il 1126 (Variante di Alessandria).

SOND	Prof.	Numero colpi				$\phi'$	E	Litologia
	(m)	N1	N2	N3	N <sub>SPT</sub>	(°)	MPa	
S2	3.00	1	1	1	2	28	2	Argilla sabbiosa
	6.00	10	10	11	21	33	21	Sabbia media inglobante ghiaia
	9.00	20	16	8	24	34	24	Sabbia media inglobante ghiaia
	12.00	18	21	16	37	38	37	Ghiaia
	15.00	15	20	24	44	40	44	Ghiaia
	18.00	6	9	14	23	34	23	Sabbia argillosa
	21.00	8	13	15	28	35	28	Sabbia argillosa
	24.00	7	12	16	28	35	28	Sabbia fine
1125	3.00	4	2	3	5	29	5	Riporto
	6.00	8	7	6	13	31	13	Riporto
	19.00	10	11	9	20	33	20	Sabbia media con rari ciottoli
	12.50	12	15	13	28	35	28	Sabbia fine con ciottoli
	16.50	21	29	30	59	45	59	Ghiaia con sabbia
1126	3.00	3	5	4	9	30	9	Argilla sabbiosa
	6.00	2	1	2	3	28	3	Argilla limosa
	19.00	9	10	14	24	34	24	Sabbia media
	12.50	13	10	16	26	35	26	Sabbia media con ghiaia
	16.00	20	19	22	41	39	41	Sabbia media con ghiaia
S2	6.00	4	5	5	10	30	10	Sabbia media
	11.00	6	9	13	22	34	22	Ghiaia
	15.50	4	5	7	12	31	12	Sabbia media
	19.00	3	3	4	7	29	7	Ghiaia


Tab. 9 – Valori di N<sub>SPT</sub> e relative elaborazioni

#### 8.1.2.1 Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) è stato stimato a partire dai risultati delle prove SPT, in base alla correlazione proposta da Japanese National Railway

$$\Phi' = 0,3 \cdot N_{SPT} + 27$$

I valori così ricavati sono riportati in Tab. 9, ed in Fig. 8.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	31 di 35

<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>

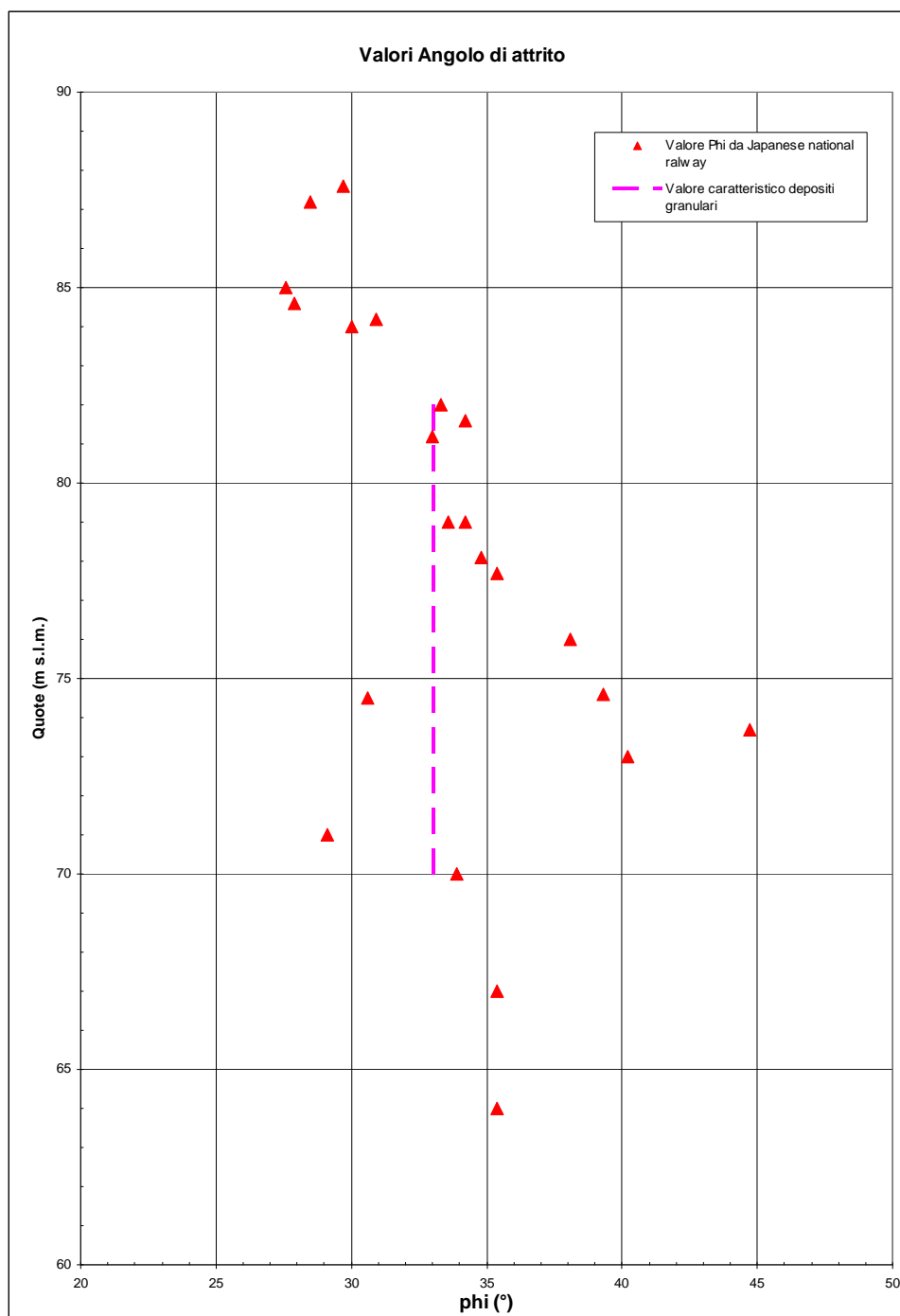
### 8.1.2.2 Caratteristiche di deformabilità

I valori del modulo elastico E sono stati ricavati dai risultati delle SPT mediante la relazione proposta da Stroud (1989):


$$E = N_{SPT}$$

con il modulo espresso in MPa.

I valori così ricavati sono riportati in Tab. 9, ed in Fig. 9.



**Fig. 8 – Valori dell’angolo di attrito per i depositi granulari sabbioso-ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	32 di 35

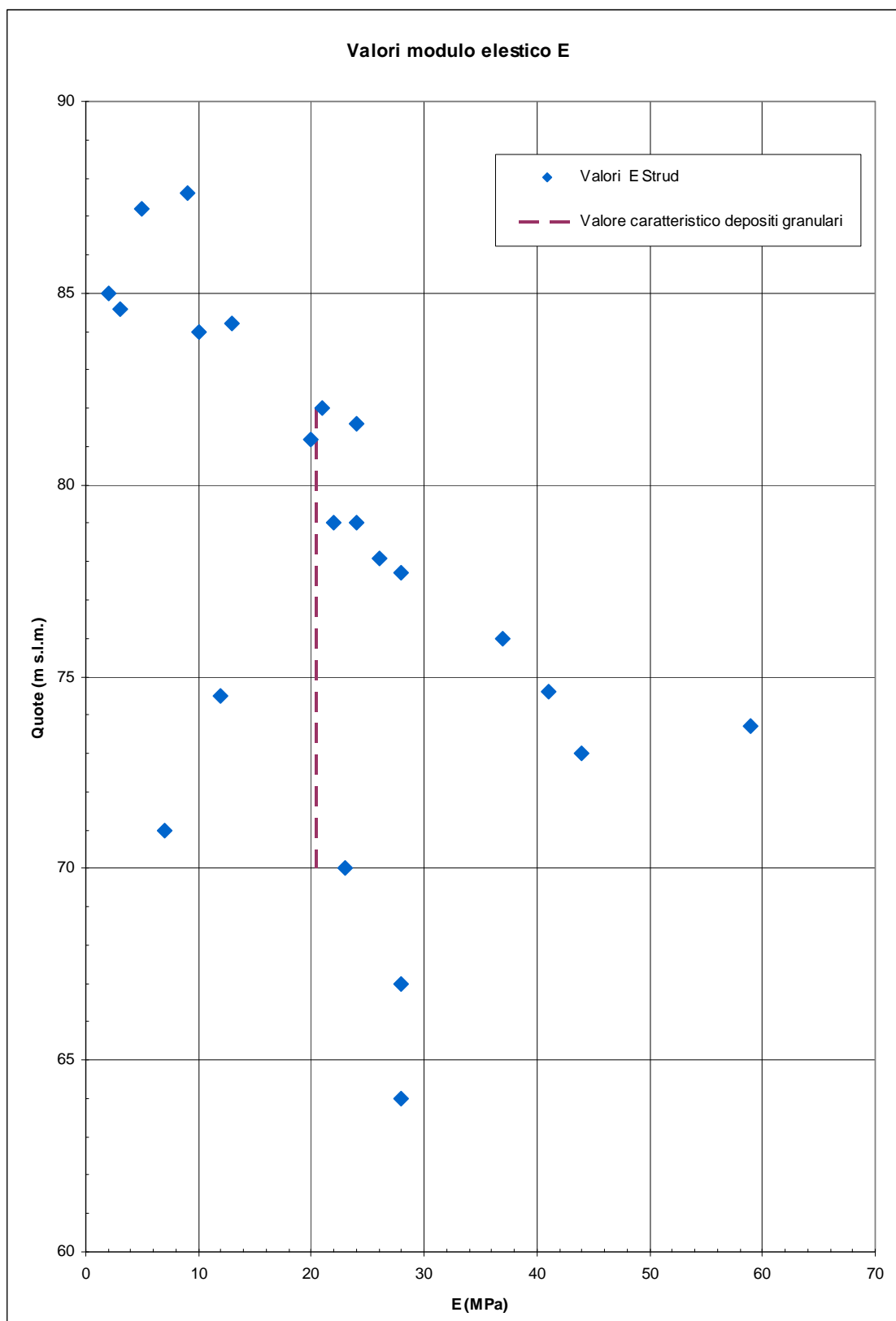


Fig. 9 – Valori del modulo elastico per i depositi granulari sabbioso-ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO

## 8.2 Modello geotecnico

L'individuazione del modello geotecnico dei terreni di fondazione, rappresentato graficamente nelle sezioni di Tavv. 4a, 4b. 4c.1 e 4c.2. è stato basato sull'interpretazione della stratigrafia dei terreni effettuata mediante la ricostruzione delle sezioni litostratigrafiche di Tavv. 3a, 3b. 3c.1 e 3c.2.

Le diverse unità litologiche sono state, in alcuni casi, accorpate e correlate alle caratteristiche geotecniche dei terreni determinate con i metodi descritti nei paragrafi 7.1 e 7.2.

Nel modello geotecnico i parametri, suddivisi nei vari orizzonti, vengono espressi con il loro valore caratteristico, ai sensi della nuova normativa (N.T.C. 01/2008), da utilizzare per valutazioni semiprobabilistiche (stati limite).

A riguardo, il valore caratteristico della coesione non drenata e dei parametri di deformabilità, è stato valutato come il valore corrispondente al 5° percentile della distribuzione della media, utilizzando una distribuzione lognormale.

Per l'angolo di attrito interno il valore caratteristico è sempre riferito al 5° percentile della distribuzione della media, utilizzando però una distribuzione gaussiana (normale).

Per il peso di volume il valore caratteristico è stato, invece, valutato con frattili al 50% (valori mediani).


Di seguito viene riepilogata sinteticamente la caratterizzazione effettuata per i singoli orizzonti.

### **ORIZZONTE 1**

- Litologia: "riporti antropici di varia natura" raffigurati nelle sezioni litostratigrafiche di Tavv. 3a, 3b. 3c.1 e 3c.2;
- Comportamento: granulare
- Parametri geotecnici caratteristici:
  - peso specifico  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
  - peso specifico saturo  $\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3$
  - angolo di attrito interno  $\phi_k = 24^\circ$
  - modulo elastico  $E_k = 6.0 \text{ MPa}$

### **ORIZZONTE 2**

- Litologia: "rilevati arginali" raffigurati nelle sezioni litostratigrafiche di Tavv. 3a, 3b. 3c.1 e 3c.2;
- Comportamento: coesivo
- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
  - peso specifico saturo  $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$
  - coesione non drenata  $c_{u_k} = 60.0 \text{ kPa}$
  - coesione efficace  $c'_k = 10.0 \text{ kPa}$
  - angolo di attrito interno  $\phi'_k = 21.0^\circ$

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	34 di 35

PROGETTO	LIVELLO
Realizzazione di una Chiavica sul Rio Loreto alla Confluenza in Sponda Sinistra del Fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E-1769)	PROGETTO ESECUTIVO


- modulo edometrico  $E_{ed_k} = 3.5 \text{ MPa}$

### **ORIZZONTE 3**

- Litologia: “terreni costituiti in prevalenza da argille e limi” e “terreni costituiti in prevalenza da limi sabbiosi e sabbie limose” raffigurati nelle sezioni litostratimetriche di Tavv. 3a, 3b. 3c.1 e 3c.2;
- Comportamento: coesivo
- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
  - peso specifico saturo  $\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$
  - coesione non drenata  $c_{u_k} = 70.0 \text{ kPa}$
  - coesione efficace  $c'_k = 5.0 \text{ kPa}$
  - angolo di attrito interno  $\phi'_k = 22.0^\circ$
  - modulo edometrico  $E_{ed_k} = 4.0 \text{ MPa}$

### **ORIZZONTE 4**

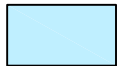
- Litologia: “terreni costituiti in prevalenza da sabbie ghiaiose” e “terreni costituiti in prevalenza da ghiaie sabbiose” raffigurati nelle sezioni litostratimetriche di Tavv. 3a, 3b. 3c.1 e 3c.2;
- Comportamento: granulare
- Parametri geotecnici caratteristici:
  - peso specifico  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
  - peso specifico saturo  $\gamma_{sat} = 21 \text{ kN/m}^3$
  - angolo di attrito interno  $\phi_k = 33^\circ$
  - modulo elastico  $E_k = 20.4 \text{ MPa}$

 <b>ENGEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione geologica e parametri geotecnici	Marzo 2011	0	35 di 35



# RELAZIONE GEOLOGICA E PARAMETRI GEOTECNICI

## Geolitologia



Depositi alluvionali attuali del fiume Tanaro costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie eterometriche



Depositi alluvionali recenti del fiume Tanaro costituiti prevalentemente da sabbie con alternanze di depositi più fini presenti anche in copertura con spessori variabili



Depositi alluvionali antichi del fiume Tanaro costituiti da litotipi a differente tessitura con prevalenza di limi e argille nei livelli più superficiali (fino a 10 m da p.c.)

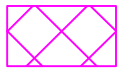
## Morfologia



Argine maestro del fiume Tanaro



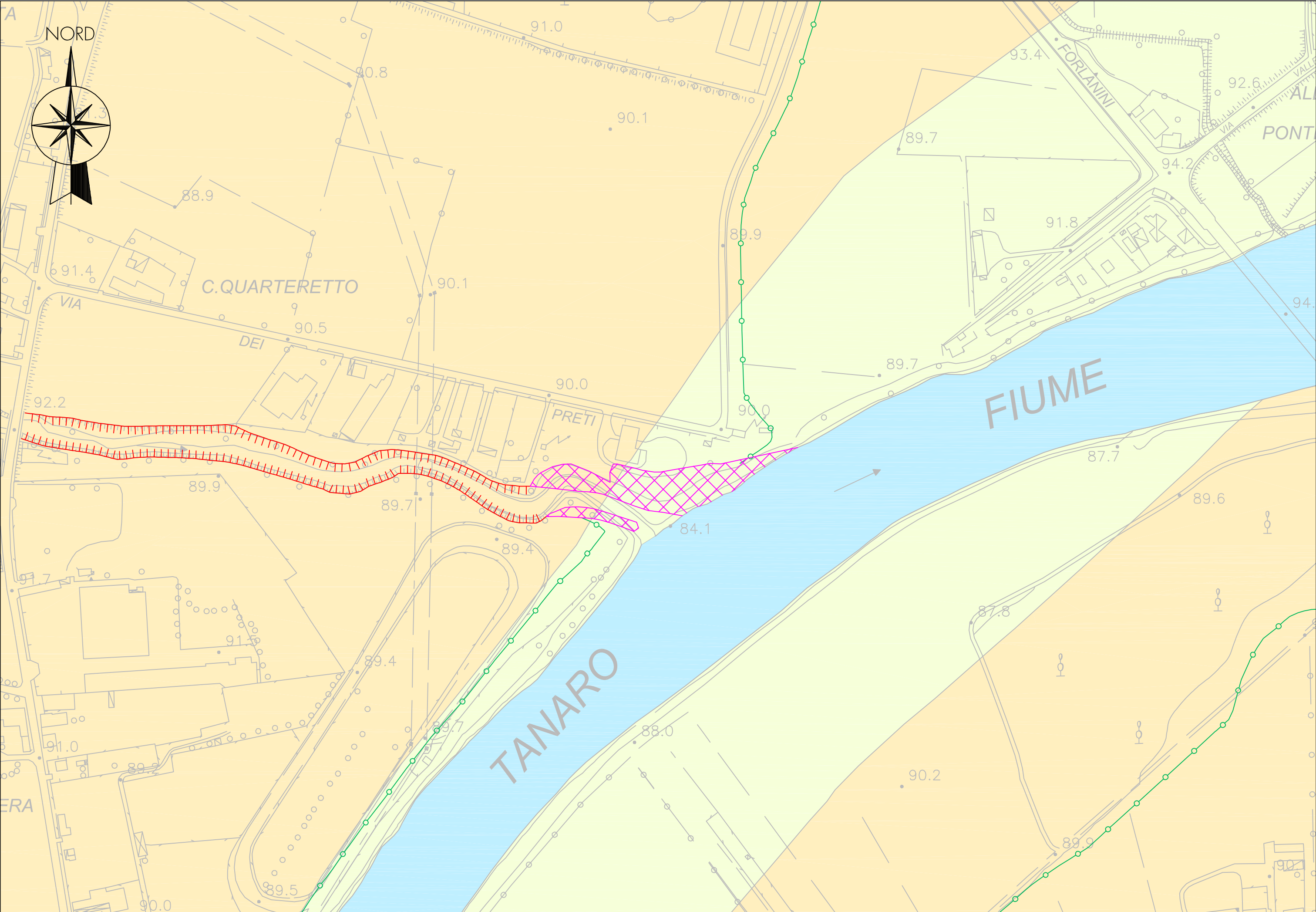
Scarpata attiva del rio Loreto



Area interessata da riporti antropici di spessore plurimetrico




## LEGENDA

TAV.1 - Carta geologico-morfologica








TAV.1 - Carta geologico-morfologica (Scala 1:2.500)



## LEGENDA

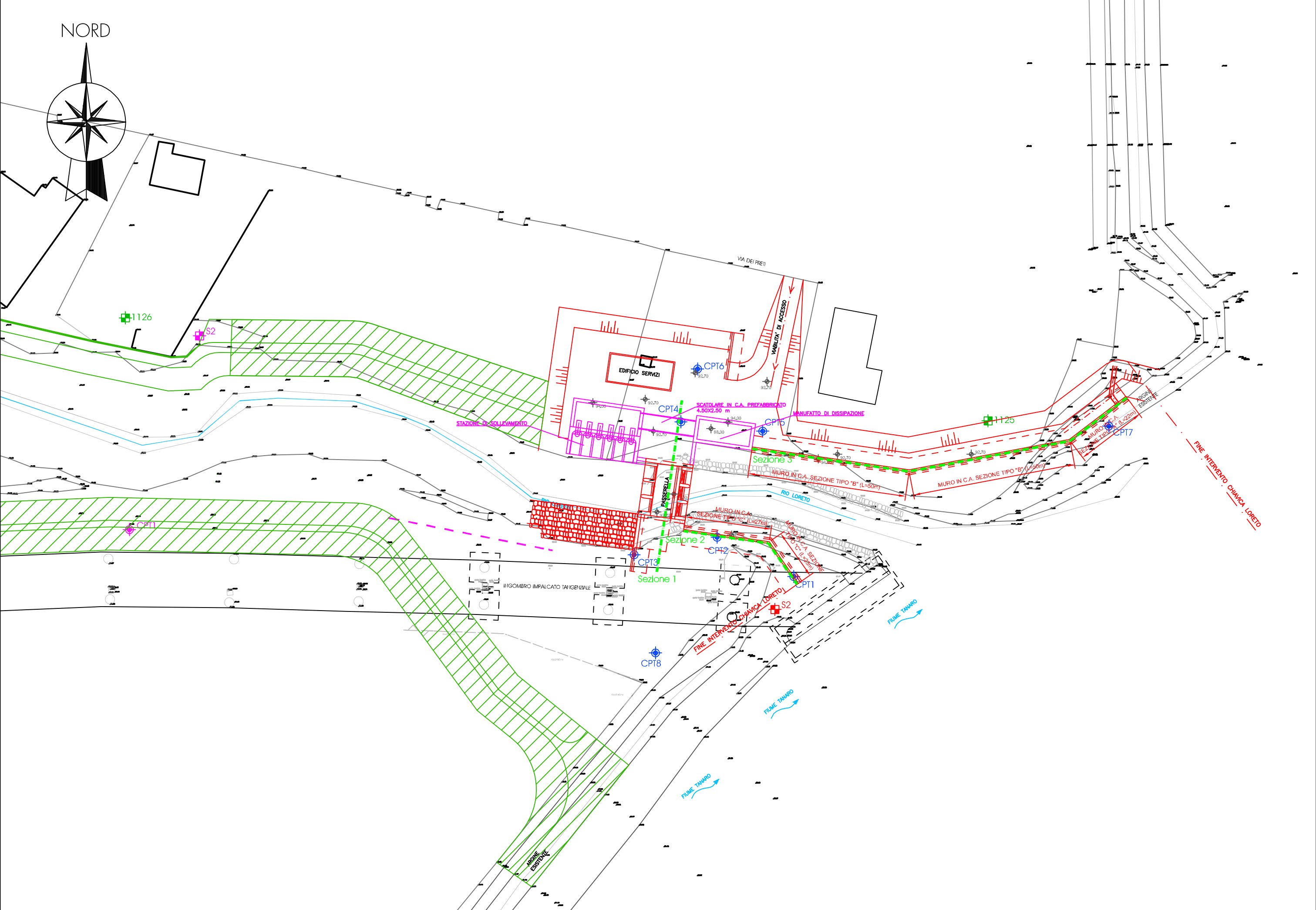
-  Opere in progetto
-  Opere di futura realizzazione  
(non comprese nell'appalto)
-  Arginatura Rio Loreto in fase di progettazione  
(non compresa nell'appalto)

### Indagini geognostiche

-  **CPT1** Prova penetrometrica statica a punta meccanica  
(eseguita per il presente studio)
-  **S2** Sondaggio a carotaggio continuo  
(eseguito nell'aprile 2003 per il viadotto Fiume Tanaro)
-  **1125** Sondaggio a carotaggio continuo  
(eseguito nell'aprile 1996 per la variante viabilistica di Alessandria - fonte: "Banca Dati Geotecnica di Arpa Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche")
-  **CPT1** Prova penetrometrica statica a punta meccanica  
(eseguita nel giugno 2010 per il progetto dell'arginatura del Rio Loreto )
-  **S2** Sondaggio a carotaggio continuo  
(eseguito nel giugno 2010 per altri lavori AIPO)

### Indagine sismica

-  Stendimento per prova geofisica tipo sismico a rifrazione  
(eseguito per il presente studio)
-  **Sezione 1** Traccia sezione litostratimetrica




TAV.2 - Planimetria ubicazione indagini (Scala 1:1.000)


## LEGENDA


- Opere in progetto
- Opere di futura realizzazione ( non comprese nell'appalto)

### *Indagini geognostiche*


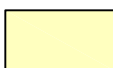

- CPT1  
 Prova penetrometrica statica a punta meccanica  
(eseguita per il presente studio)

-  Diagramma del rapporto di Begemann (Rp/Rl)  
(da prove penetrometriche statiche)

- S2  
 Sondaggio a carotaggio continuo  
(eseguito nell'aprile 2003 per il viadotto Fiume Tanaro)

- 1125  
 Sondaggio a carotaggio continuo  
(eseguito nell'aprile 1996 per la variante viabilistica di Alessandria - fonte: "Banca Dati Geotecnica di Arpa Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche")

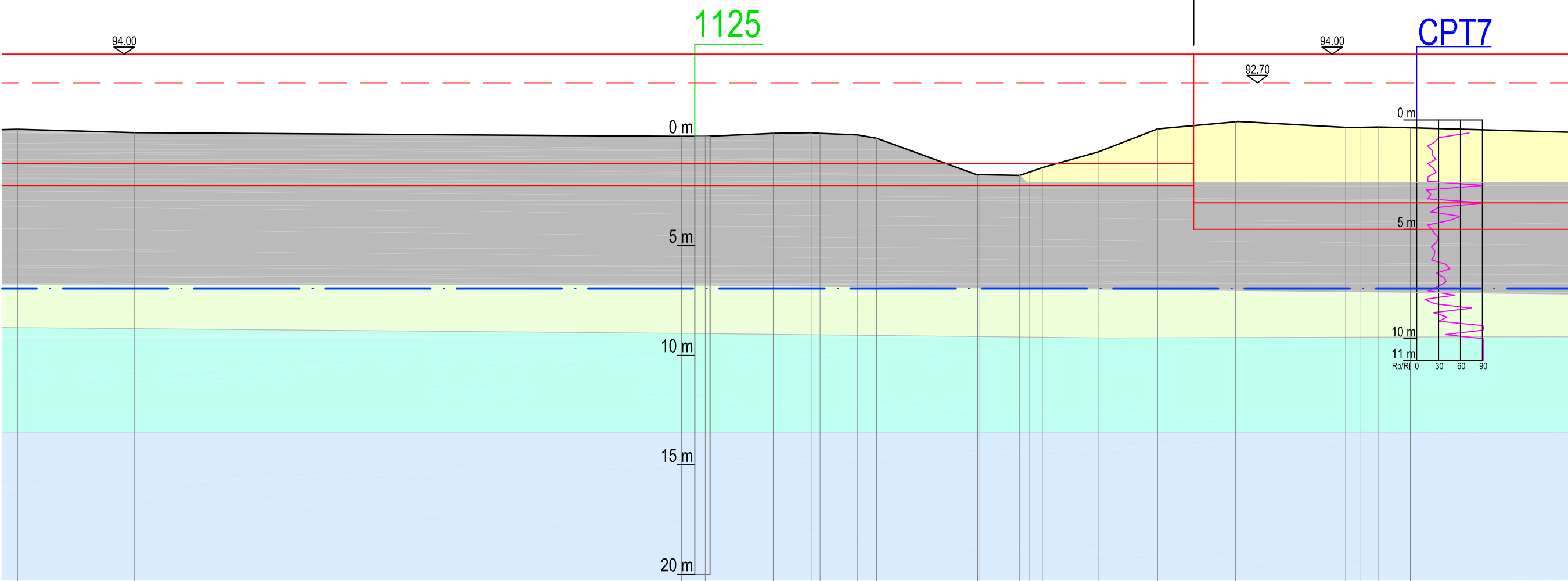
### *Litostratimetria*

-  Riporti antropici di varia natura
-  Rilevati arginali
-  Terreni costituiti in prevalenza da argille e limi
-  Terreni costituiti in prevaleza da limi sabbiosi e sabbie limose
-  Terreni costituiti in prevalenza da sabbie ghiaiose
-  Terreni costituiti in prevalenza da ghiaie sabbiose
- · — Livello idrico (luglio 2010)

SEZIONE N. : 3

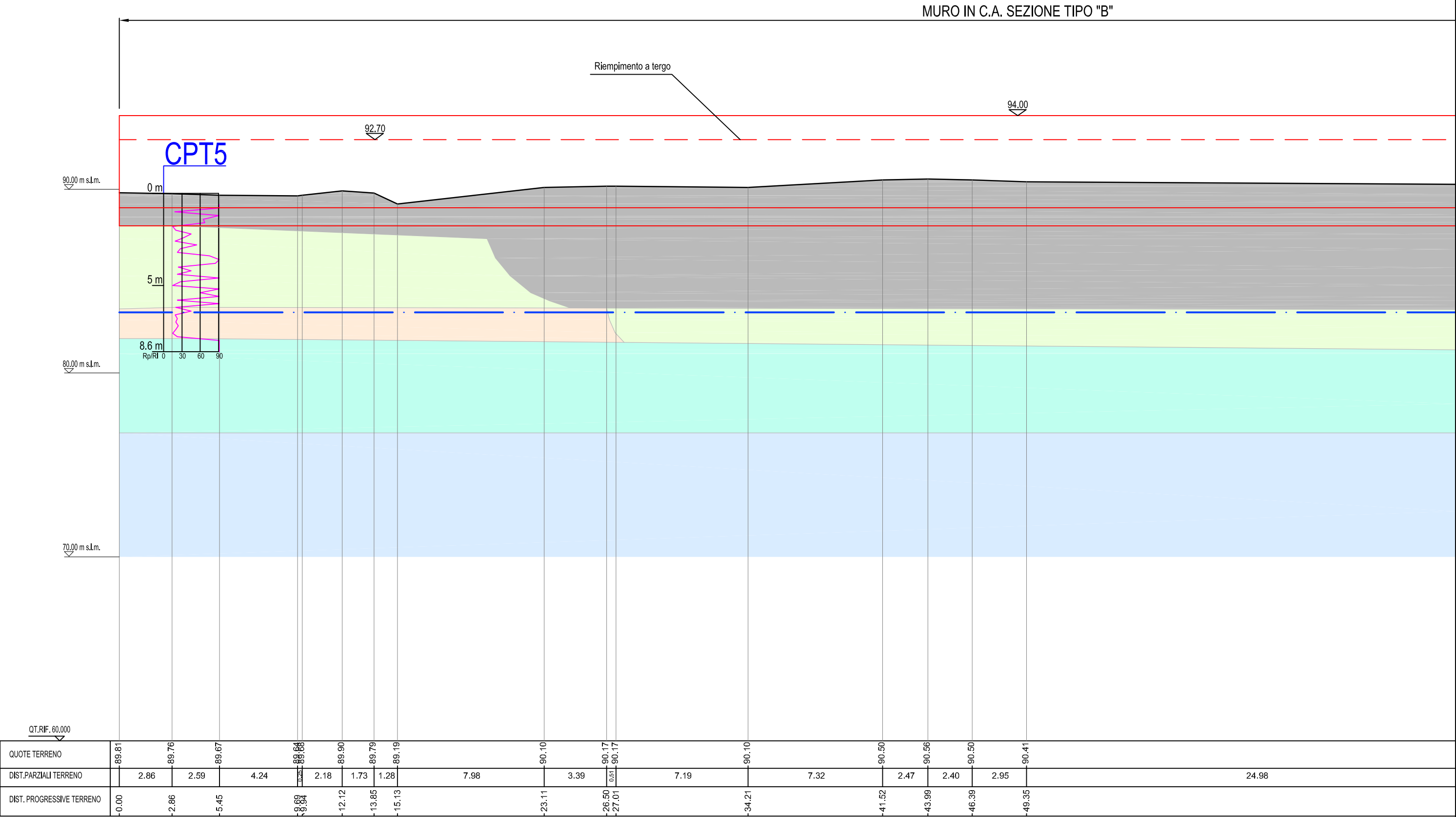
MURO IN C.A. SEZIONE TIPO "B"

MURO IN C.A. SEZIONE TIPO "A"

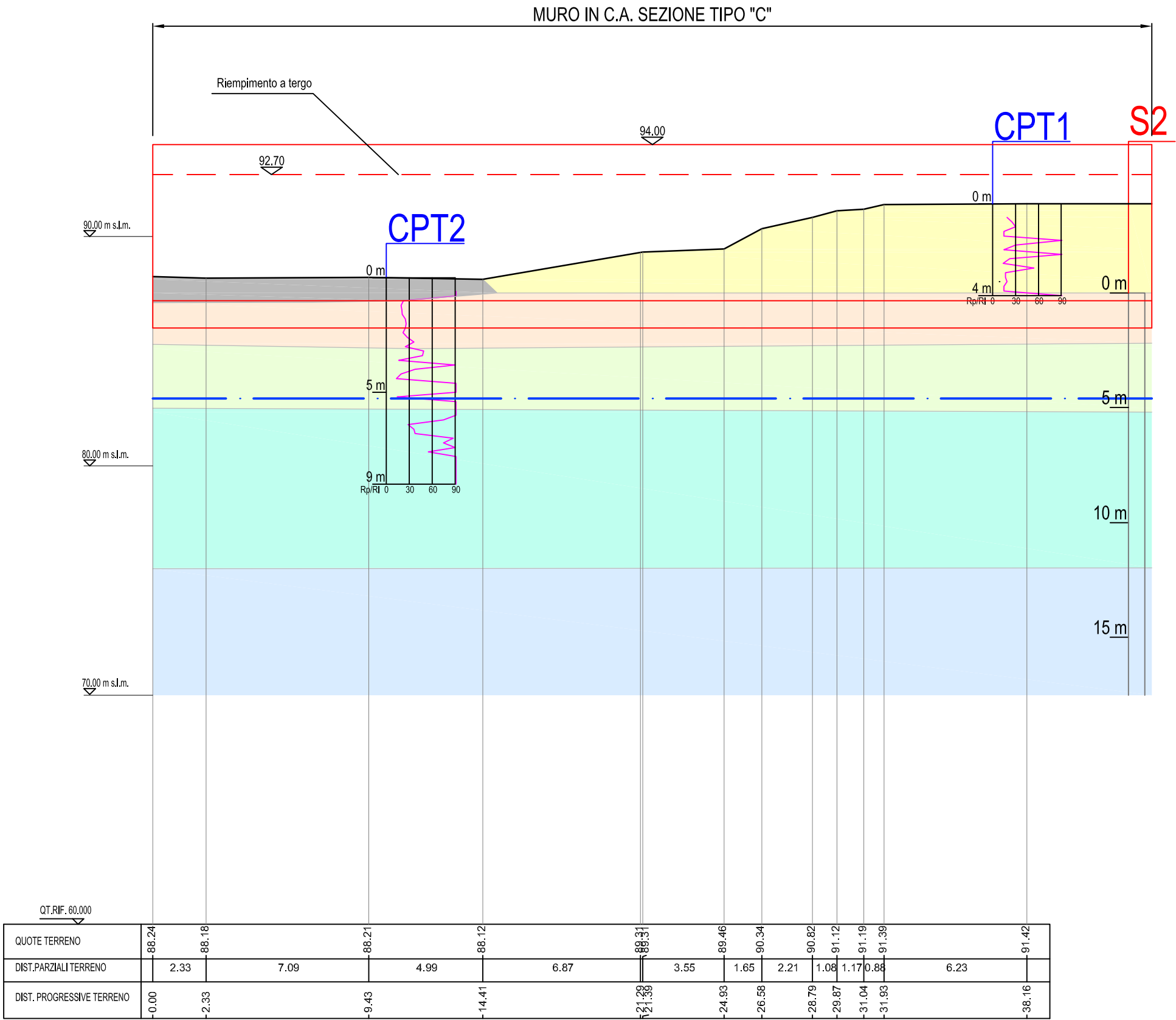


QT.RIF. 60.000																													
QUOTE TERRENO	90.56	90.50	90.41		90.25	90.25	90.39	90.41	90.38	90.31	90.17		88.48	88.48	88.46	88.62	88.82	89.54	90.58		90.92	90.92		90.65	90.66	90.67	90.64		90.43
DIST.PARZIALI TERRENO	2.40	2.95		24.98	1.09	3.12	1.73	0.46	1.71	0.88	4.62		1.83	0.46	0.38	2.55	2.71	3.57		4.93	0.69	0.82	1.46		7.29				
DIST. PROGRESSIVE TERRENO	-43.99	-46.39	-49.35		-74.33	-75.41	-78.53	-80.27	-80.66	-82.37	-83.25		-87.87	-88.33	-89.80	-90.24	-90.83	-93.38	-96.09		-98.98	-99.76		-104.69	-105.38	-106.20	-107.65		-114.94

SEZIONE N. : 3

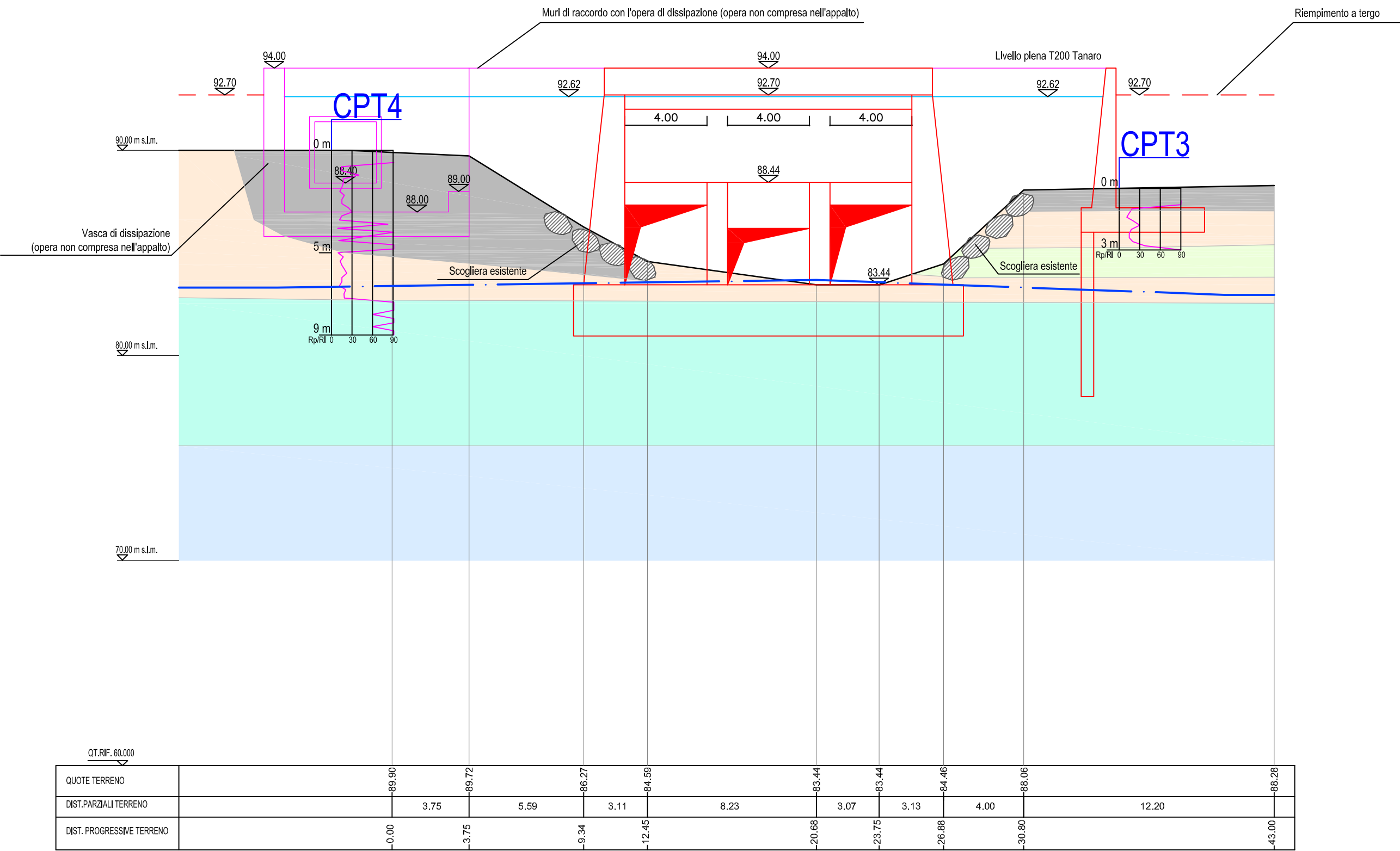


SEZIONE N. : 2






SEZIONE N. : 1



## LEGENDA

 Opere in progetto

 Opere di futura realizzazione ( non comprese nell'appalto)

### Indagini geognostiche



Prova penetrometrica statica a punta meccanica  
(eseguita per il presente studio)

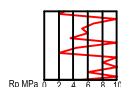


Diagramma della resistenza alla punta ( $R_p$  in MPa)  
(da prove penetrometriche statiche)



Sondaggio a carotaggio continuo  
(eseguito nell'aprile 2003 per il viadotto Fiume Tanaro)

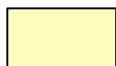


Sondaggio a carotaggio continuo  
(eseguito nell'aprile 1996 per la variante viabilistica di Alessandria - fonte: "Banca Dati Geotecnica di Arpa Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche")

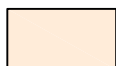
### Geotecnica



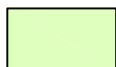
Orizzonte 1: terreni a comportamento granulare  
 $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{sat}=20 \text{ kN/m}^3$ ,  $\phi'_k=24^\circ$ ,  $E_k=6.0 \text{ MPa}$



Orizzonte 2: terreni a comportamento coesivo  
 $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{sat}=19 \text{ kN/m}^3$ ,  $Cu_k=60 \text{ kPa}$ ,  $c'_k=10 \text{ kPa}$ ,  $\phi'_k=21^\circ$ ,  $E_{ed_k}=3.5 \text{ MPa}$



Orizzonte 3: terreni a comportamento coesivo  
 $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{sat}=19 \text{ kN/m}^3$ ,  $Cu_k=70 \text{ kPa}$ ,  $c'_k=5 \text{ kPa}$ ,  $\phi'_k=22^\circ$ ,  $E_{ed_k}=4.0 \text{ MPa}$



Orizzonte 4: terreni a comportamento granulare  
 $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{sat}=21 \text{ kN/m}^3$ ,  $\phi'_k=33^\circ$ ,  $E_k=20.4 \text{ MPa}$



Prova SPT e numero di colpi/piede



Prova di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile

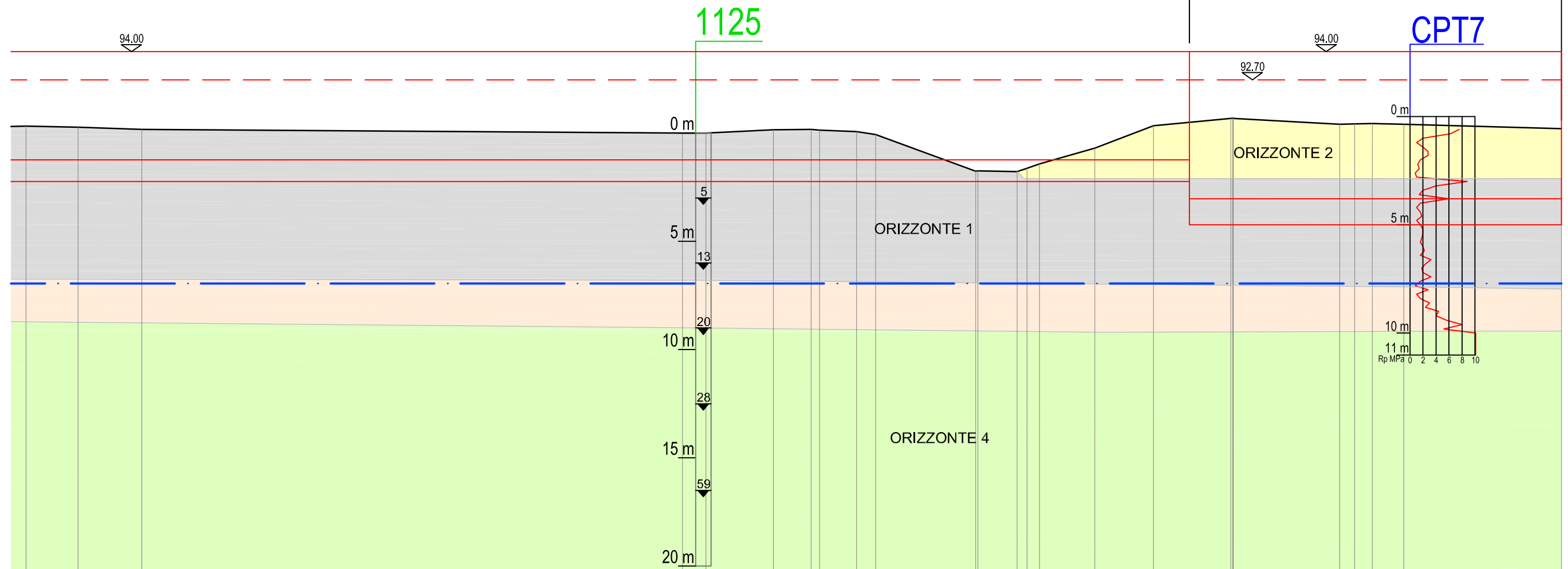
 Livello idrico (luglio 2010)

## LEGENDA

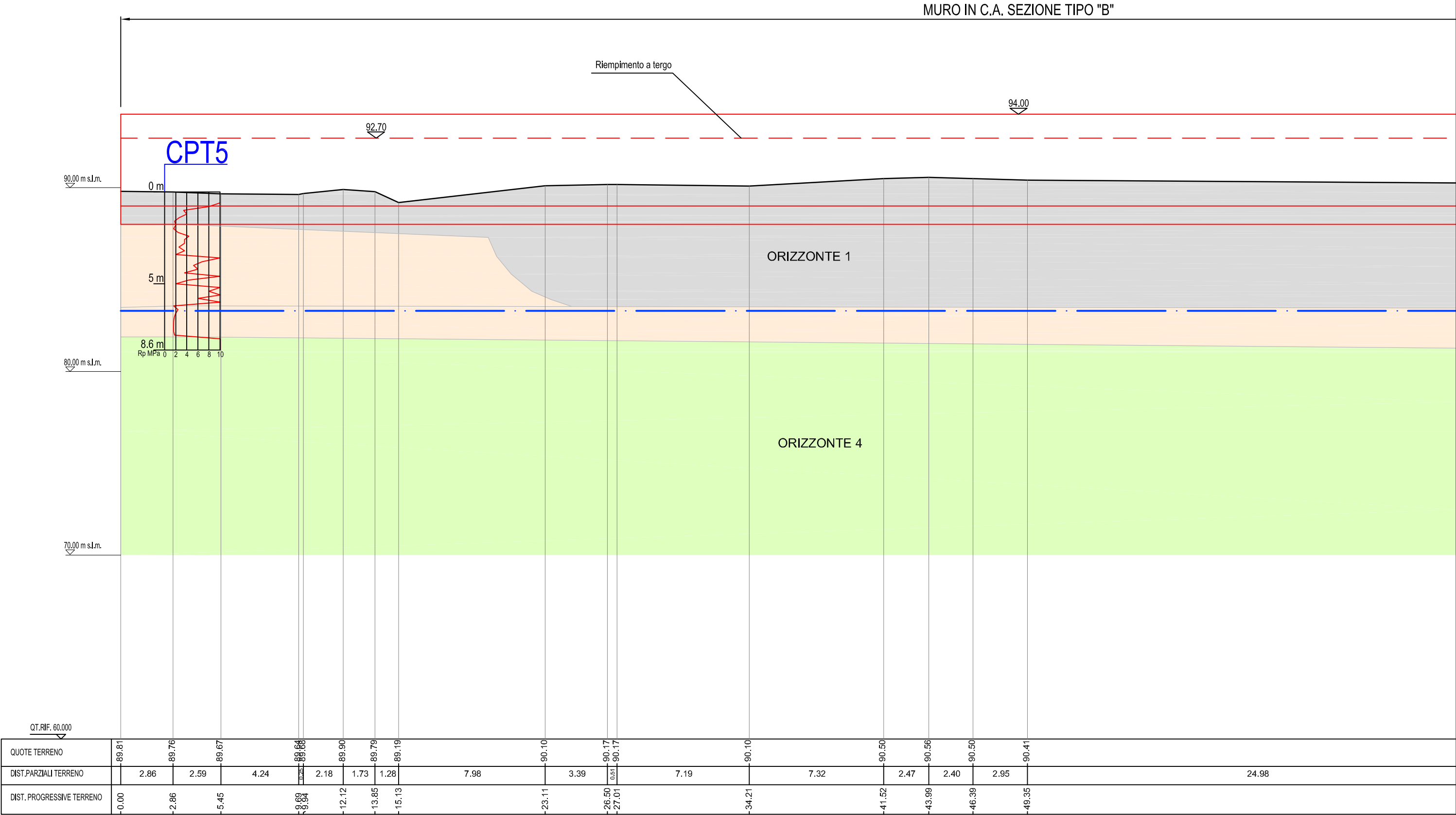
## SEZIONE N. : 3

MURO IN C.A. SEZIONE TIPO "B"

MURO IN C.A. SEZIONE TIPO "A"

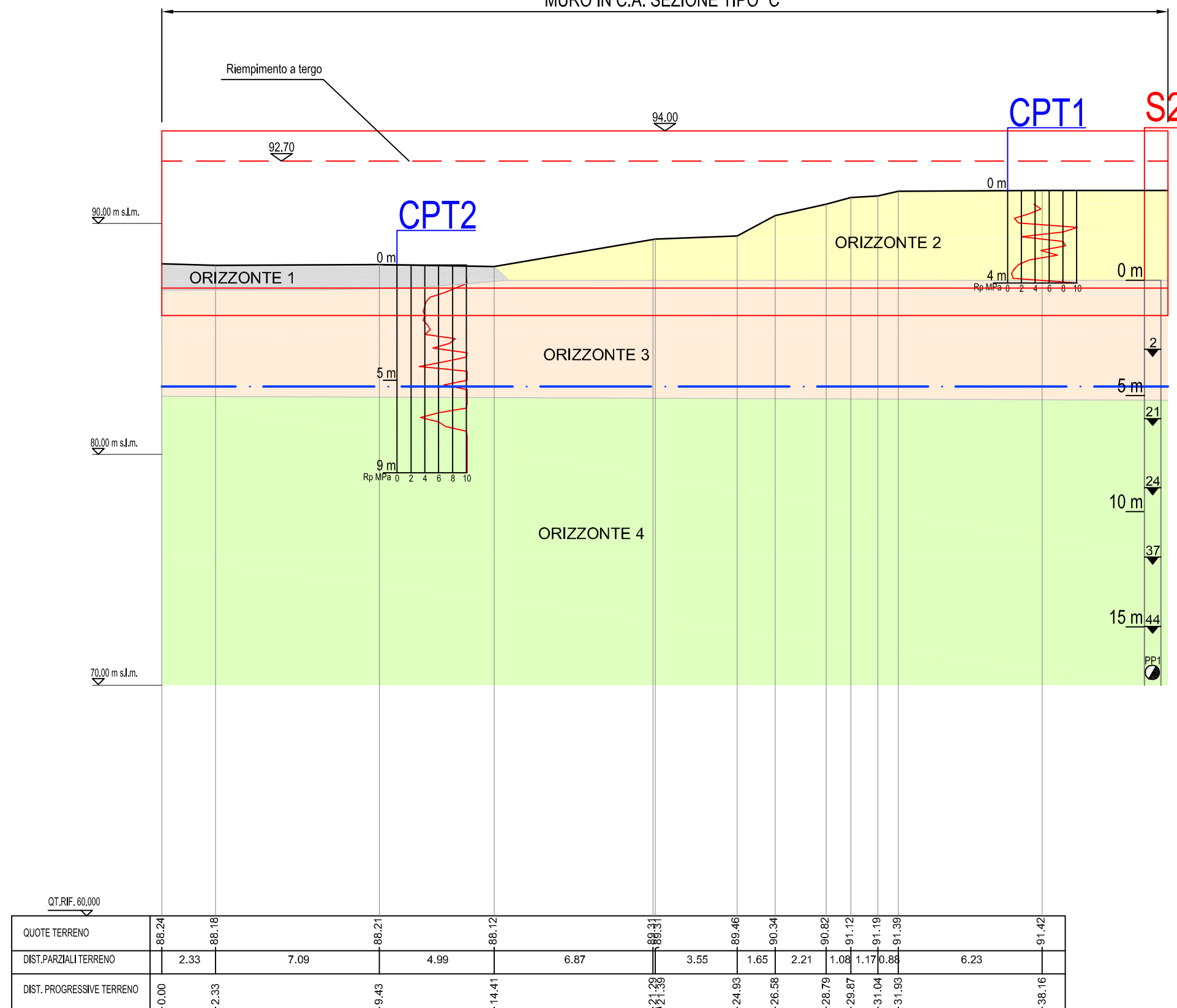
[illegible]

SEZIONE N. : 3

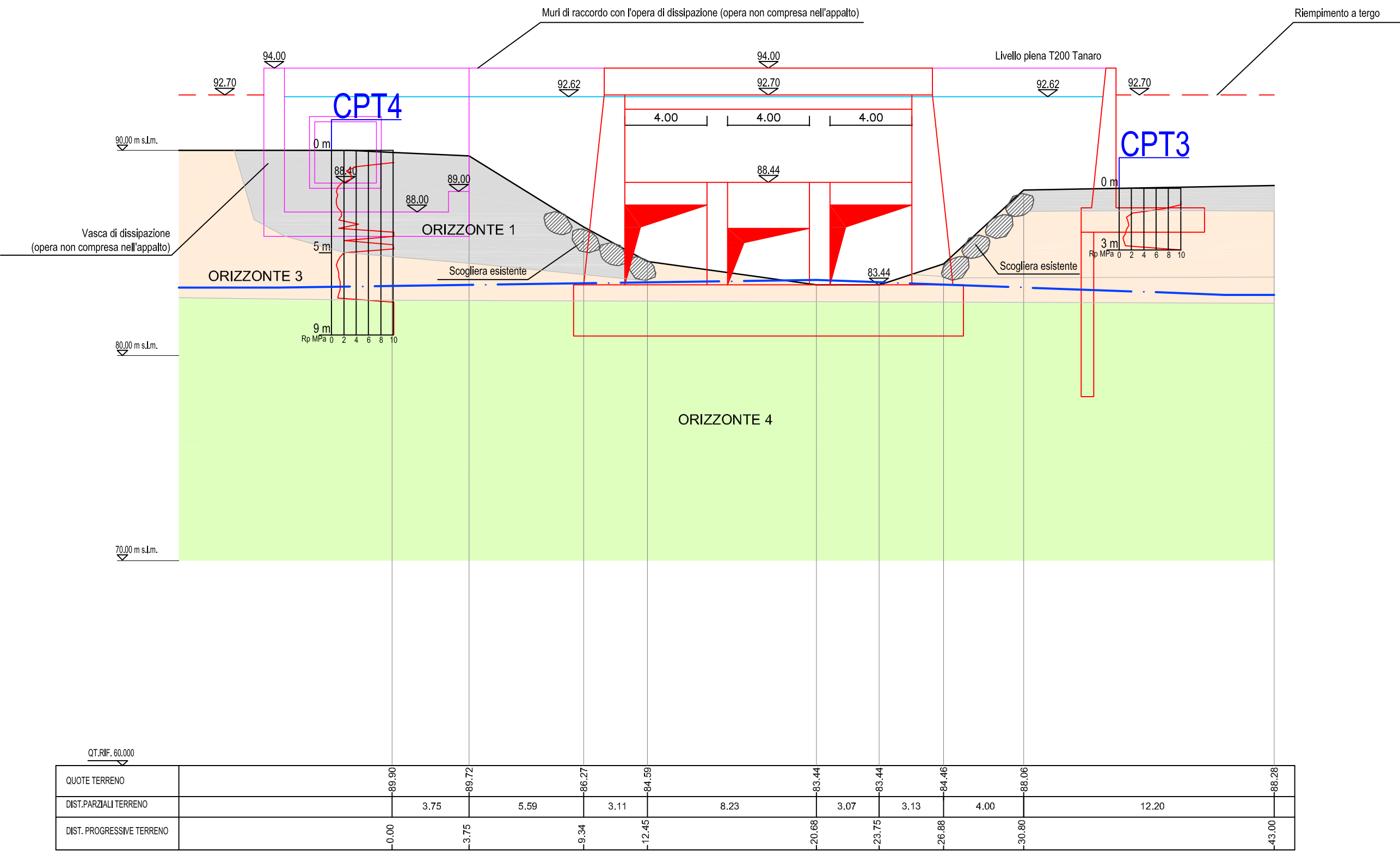


## SEZIONE N. : 2

MURO IN C.A. SEZIONE TIPO "C"



SEZIONE N. : 1



## PROGETTO ESECUTIVO

### **Realizzazione di una chiavica sul rio Loreto alla confluenza in sponda sinistra del fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E 1769)**

Committente:



---

## **All.1 - PROVE PENETROMETRICHE**

---

Il Geologo:

Dr. Francesco Cerutti

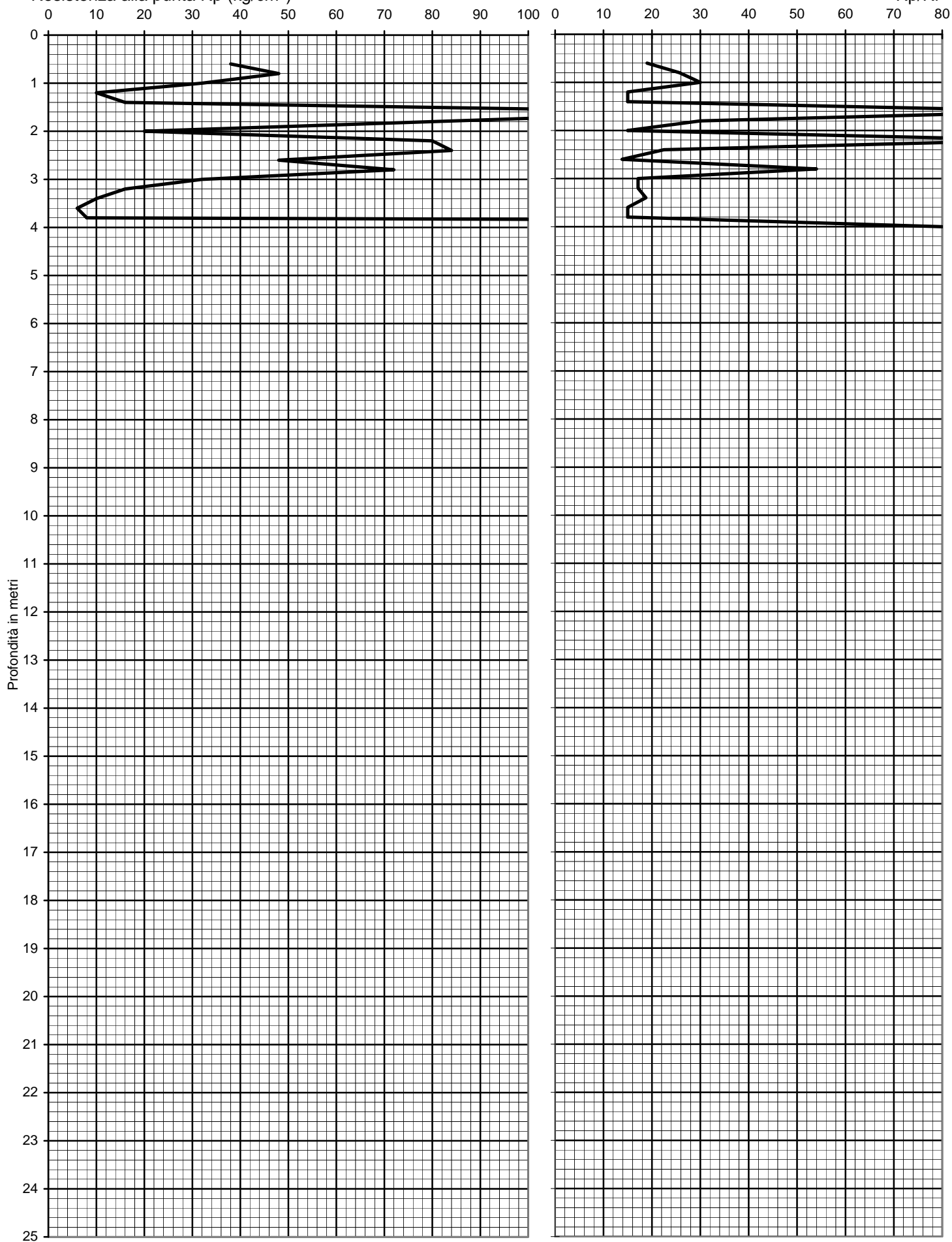
---



Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma  
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181  
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN  
Tel-Fax 0376 467967  
email [info@engeo.it](mailto:info@engeo.it) - [www.engeo.it](http://www.engeo.it)

Resistenza alla punta  $R_p$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/RI





Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	38	68	38	2,00	19,00
0,80	48	76	48	1,87	25,71
1,00	32	48	32	1,07	30,00
1,20	10	20	10	0,67	15,00
1,40	16	32	16	1,07	15,00
1,60	140	160	140	1,33	105,00
1,80	80	120	80	2,67	30,00
2,00	20	40	20	1,33	15,00
2,20	80	92	80	0,80	100,00
2,40	84	140	84	3,73	22,50
2,60	48	100	48	3,47	13,85
2,80	72	92	72	1,33	54,00
3,00	32	60	32	1,87	17,14
3,20	16	30	16	0,93	17,14
3,40	10	18	10	0,53	18,75
3,60	6	12	6	0,40	15,00
3,80	8	16	8	0,53	15,00
4,00	600		600		
4,20					
4,40					
4,60					
4,80					
5,00					
5,20					
5,40					
5,60					
5,80					
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



## ***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **811/10**

Data emissione: 07/07/10

Committente : ENGEO S.R.L.

Località : CHIAVICA SUL RIO LORETO-ALESSANDRIA

Prova numero : 2

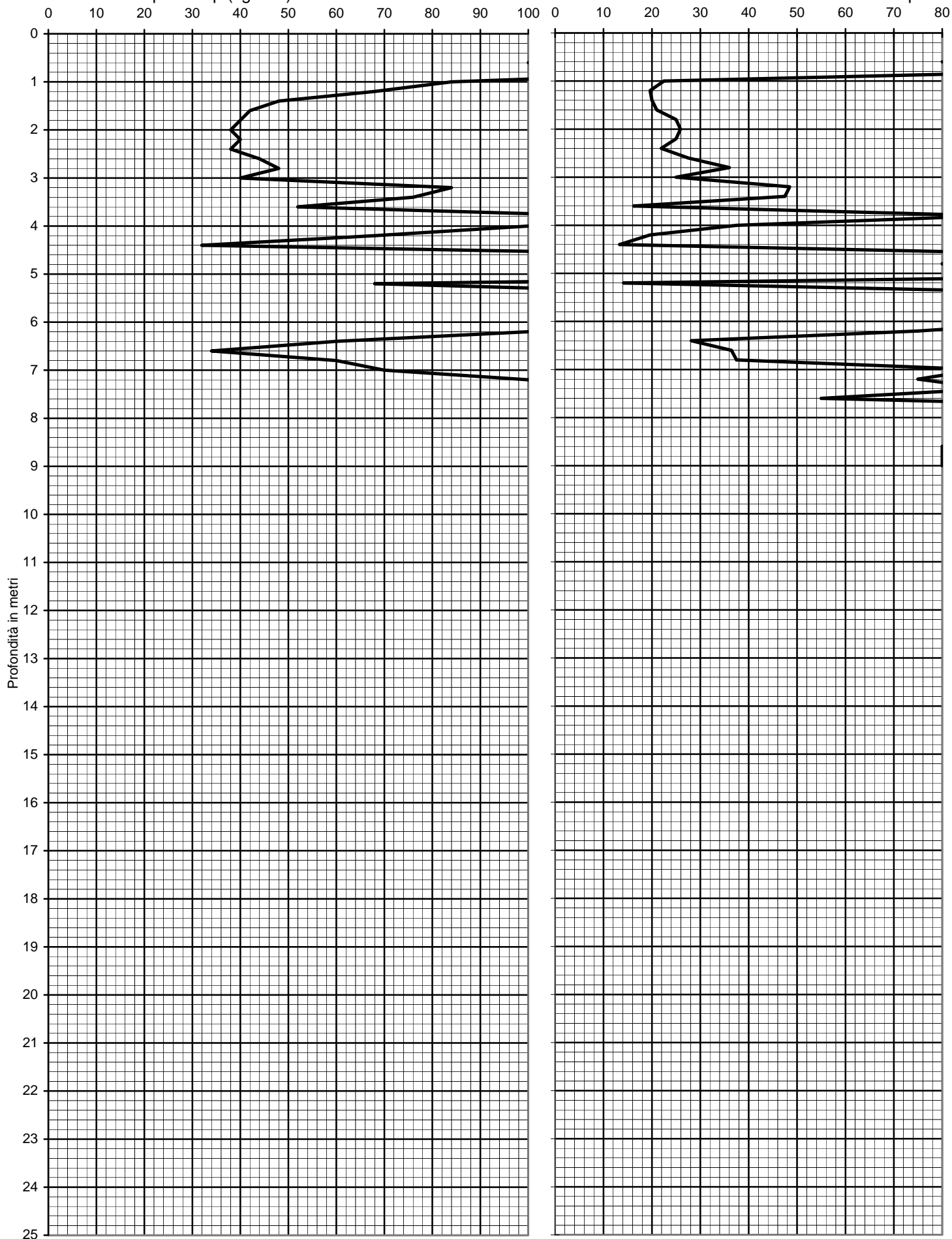
Data : 07/07/2010

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta  $R_p$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	100		100		
0,80	140	160	140	1,33	105,00
1,00	84	140	84	3,73	22,50
1,20	68	120	68	3,47	19,62
1,40	48	84	48	2,40	20,00
1,60	42	72	42	2,00	21,00
1,80	40	64	40	1,60	25,00
2,00	38	60	38	1,47	25,91
2,20	40	64	40	1,60	25,00
2,40	38	64	38	1,73	21,92
2,60	44	68	44	1,60	27,50
2,80	48	68	48	1,33	36,00
3,00	40	64	40	1,60	25,00
3,20	84	110	84	1,73	48,46
3,40	76	100	76	1,60	47,50
3,60	52	100	52	3,20	16,25
3,80	120	140	120	1,33	90,00
4,00	100	140	100	2,67	37,50
4,20	68	120	68	3,47	19,62
4,40	32	68	32	2,40	13,33
4,60	140	160	140	1,33	105,00
4,80	200		200		
5,00	220	240	220	1,33	165,00
5,20	68	140	68	4,80	14,17
5,40	140	160	140	1,33	105,00
5,60	140	160	140	1,33	105,00
5,80	180	200	180	1,33	135,00
6,00	140	160	140	1,33	105,00
6,20	100	120	100	1,33	75,00
6,40	60	92	60	2,13	28,13
6,60	34	48	34	0,93	36,43
6,80	60	84	60	1,60	37,50
7,00	70	82	70	0,80	87,50
7,20	100	120	100	1,33	75,00
7,40	120	140	120	1,33	90,00
7,60	110	140	110	2,00	55,00
7,80	180	200	180	1,33	135,00
8,00	180	200	180	1,33	135,00
8,20	220	240	220	1,33	165,00
8,40	220	240	220	1,33	165,00
8,60	300		300		
8,80	400		400		
9,00	500		500		
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



## ***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **812/10**

Data emissione: 07/07/10

Committente : ENGEO S.R.L.

Località : CHIAVICA SUL RIO LORETO-ALESSANDRIA

Prova numero : 3

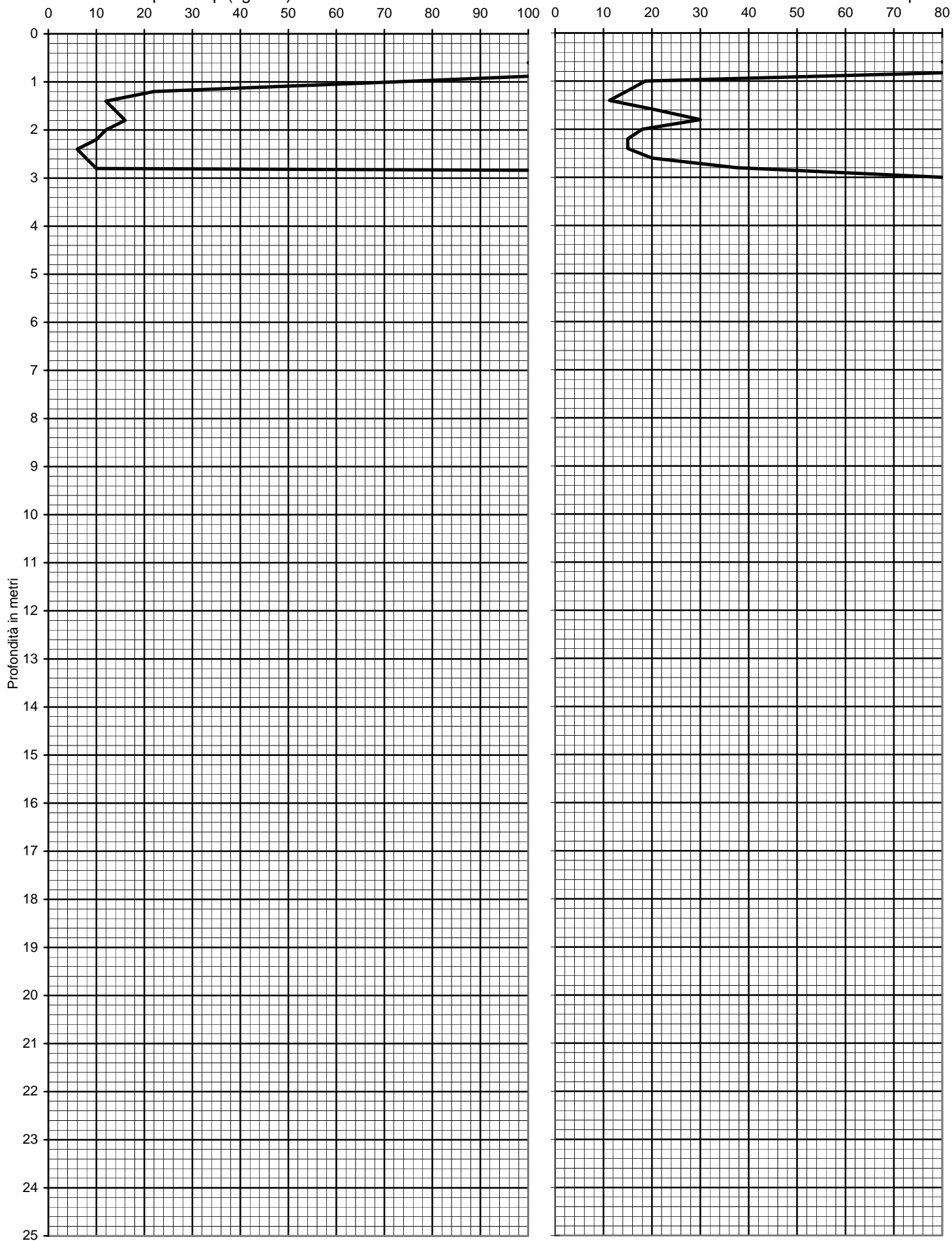
Data : 07/07/2010

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta  $R_p$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	100		100		
0,80	120	140	120	1,33	90,00
1,00	72	130	72	3,87	18,62
1,20	22	44	22	1,47	15,00
1,40	12	28	12	1,07	11,25
1,60	14	24	14	0,67	21,00
1,80	16	24	16	0,53	30,00
2,00	12	22	12	0,67	18,00
2,20	10	20	10	0,67	15,00
2,40	6	12	6	0,40	15,00
2,60	8	14	8	0,40	20,00
2,80	10	14	10	0,27	37,50
3,00	500		500		
3,20					
3,40					
3,60					
3,80					
4,00					
4,20					
4,40					
4,60					
4,80					
5,00					
5,20					
5,40					
5,60					
5,80					
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



## ***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **813/10**

Data emissione: 07/07/10

Committente : ENGEO S.R.L.

Località : CHIAVICA SUL RIO LORETO-ALESSANDRIA

Prova numero : 4

Data : 07/07/2010

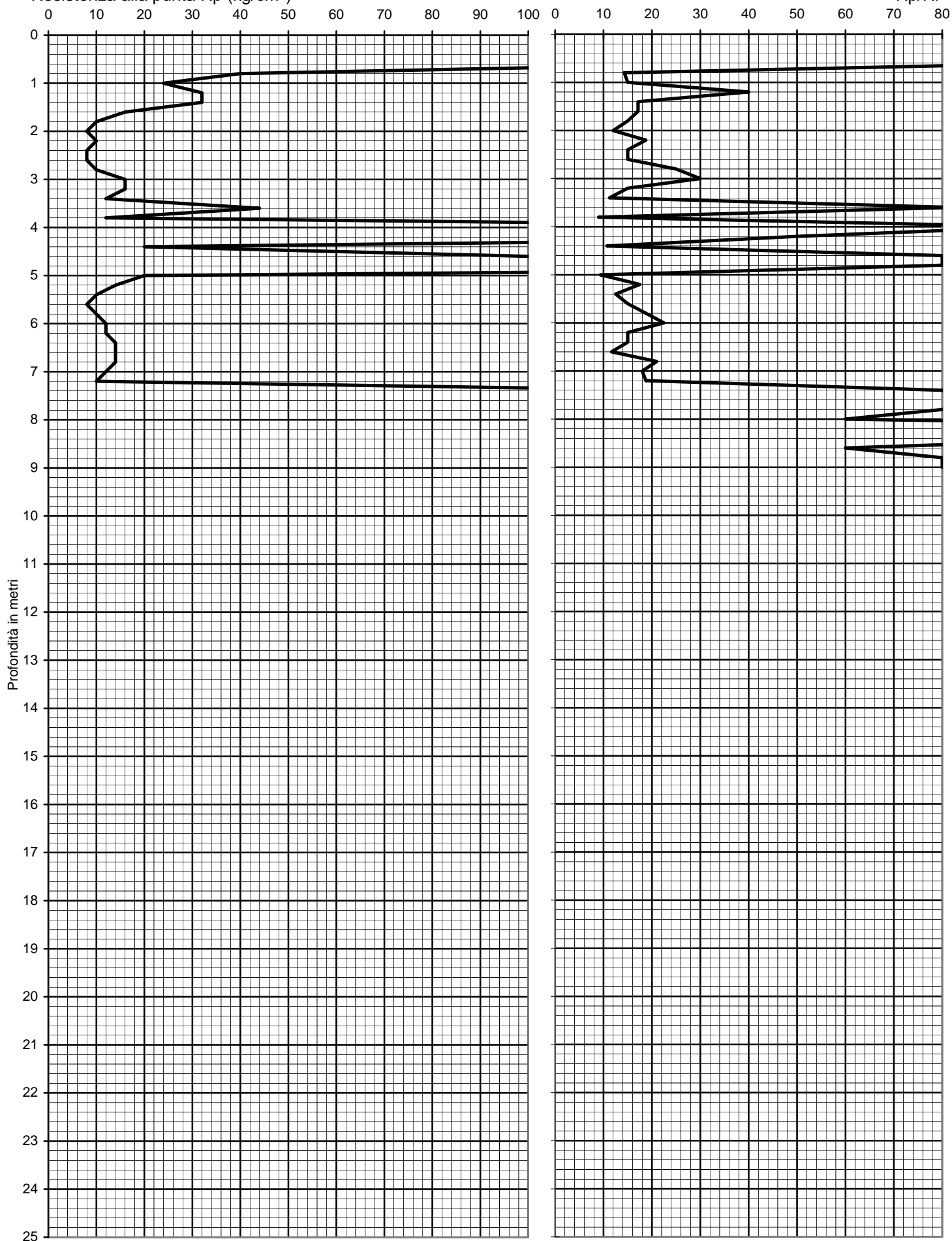
Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.



Resistenza alla punta  $R_p$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/Rl



Foro chiuso ed asciutto a mt. -1,30

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	140	160	140	1,33	105,00
0,80	40	82	40	2,80	14,29
1,00	24	48	24	1,60	15,00
1,20	32	44	32	0,80	40,00
1,40	32	60	32	1,87	17,14
1,60	16	30	16	0,93	17,14
1,80	10	20	10	0,67	15,00
2,00	8	18	8	0,67	12,00
2,20	10	18	10	0,53	18,75
2,40	8	16	8	0,53	15,00
2,60	8	16	8	0,53	15,00
2,80	10	16	10	0,40	25,00
3,00	16	24	16	0,53	30,00
3,20	16	32	16	1,07	15,00
3,40	12	28	12	1,07	11,25
3,60	44	52	44	0,53	82,50
3,80	12	32	12	1,33	9,00
4,00	200	230	200	2,00	100,00
4,20	200	260	200	4,00	50,00
4,40	20	48	20	1,87	10,71
4,60	100		100		
4,80	260		260		
5,00	20	52	20	2,13	9,38
5,20	14	26	14	0,80	17,50
5,40	10	22	10	0,80	12,50
5,60	8	16	8	0,53	15,00
5,80	10	18	10	0,53	18,75
6,00	12	20	12	0,53	22,50
6,20	12	24	12	0,80	15,00
6,40	14	28	14	0,93	15,00
6,60	14	32	14	1,20	11,67
6,80	14	24	14	0,67	21,00
7,00	12	22	12	0,67	18,00
7,20	10	18	10	0,53	18,75
7,40	140		140		
7,60	140	160	140	1,33	105,00
7,80	200		200		
8,00	160	200	160	2,67	60,00
8,20	240	260	240	1,33	180,00
8,40	160	180	160	1,33	120,00
8,60	160	200	160	2,67	60,00
8,80	350		350		
9,00	500		500		
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



## ***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **814/10**

Data emissione: 07/07/10

Committente : ENGEO S.R.L.

Località : CHIAVICA SUL RIO LORETO-ALESSANDRIA

Prova numero : 5

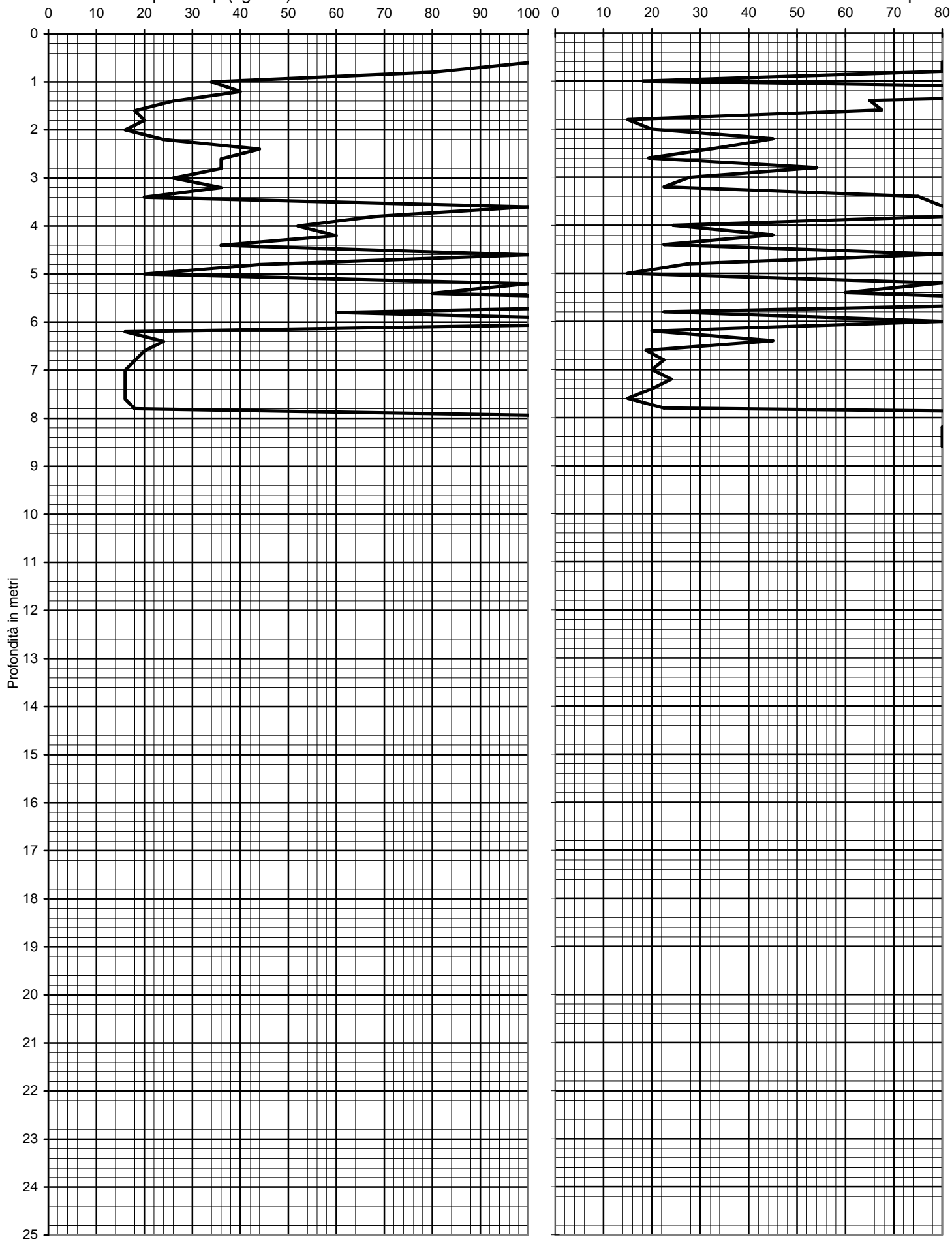
Data : 07/07/2010

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta  $R_p$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/RI



Foro chiuso ed asciutto a mt. -1,00

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	100		100		
0,80	80		80		
1,00	34	62	34	1,87	18,21
1,20	40	44	40	0,27	150,00
1,40	26	32	26	0,40	65,00
1,60	18	22	18	0,27	67,50
1,80	20	40	20	1,33	15,00
2,00	16	28	16	0,80	20,00
2,20	24	32	24	0,53	45,00
2,40	44	64	44	1,33	33,00
2,60	36	64	36	1,87	19,29
2,80	36	46	36	0,67	54,00
3,00	26	40	26	0,93	27,86
3,20	36	60	36	1,60	22,50
3,40	20	24	20	0,27	75,00
3,60	100		100		
3,80	68	80	68	0,80	85,00
4,00	52	84	52	2,13	24,38
4,20	60	80	60	1,33	45,00
4,40	36	60	36	1,60	22,50
4,60	100		100		
4,80	44	68	44	1,60	27,50
5,00	20	40	20	1,33	15,00
5,20	100		100		
5,40	80	100	80	1,33	60,00
5,60	160	180	160	1,33	120,00
5,80	60	100	60	2,67	22,50
6,00	140		140		
6,20	16	28	16	0,80	20,00
6,40	24	32	24	0,53	45,00
6,60	20	36	20	1,07	18,75
6,80	18	30	18	0,80	22,50
7,00	16	28	16	0,80	20,00
7,20	16	26	16	0,67	24,00
7,40	16	28	16	0,80	20,00
7,60	16	32	16	1,07	15,00
7,80	18	30	18	0,80	22,50
8,00	140	150	140	0,67	210,00
8,20	200		200		
8,40	380		380		
8,60	500		500		
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



## ***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **815/10**

Data emissione: 07/07/10

Committente : ENGEO S.R.L.

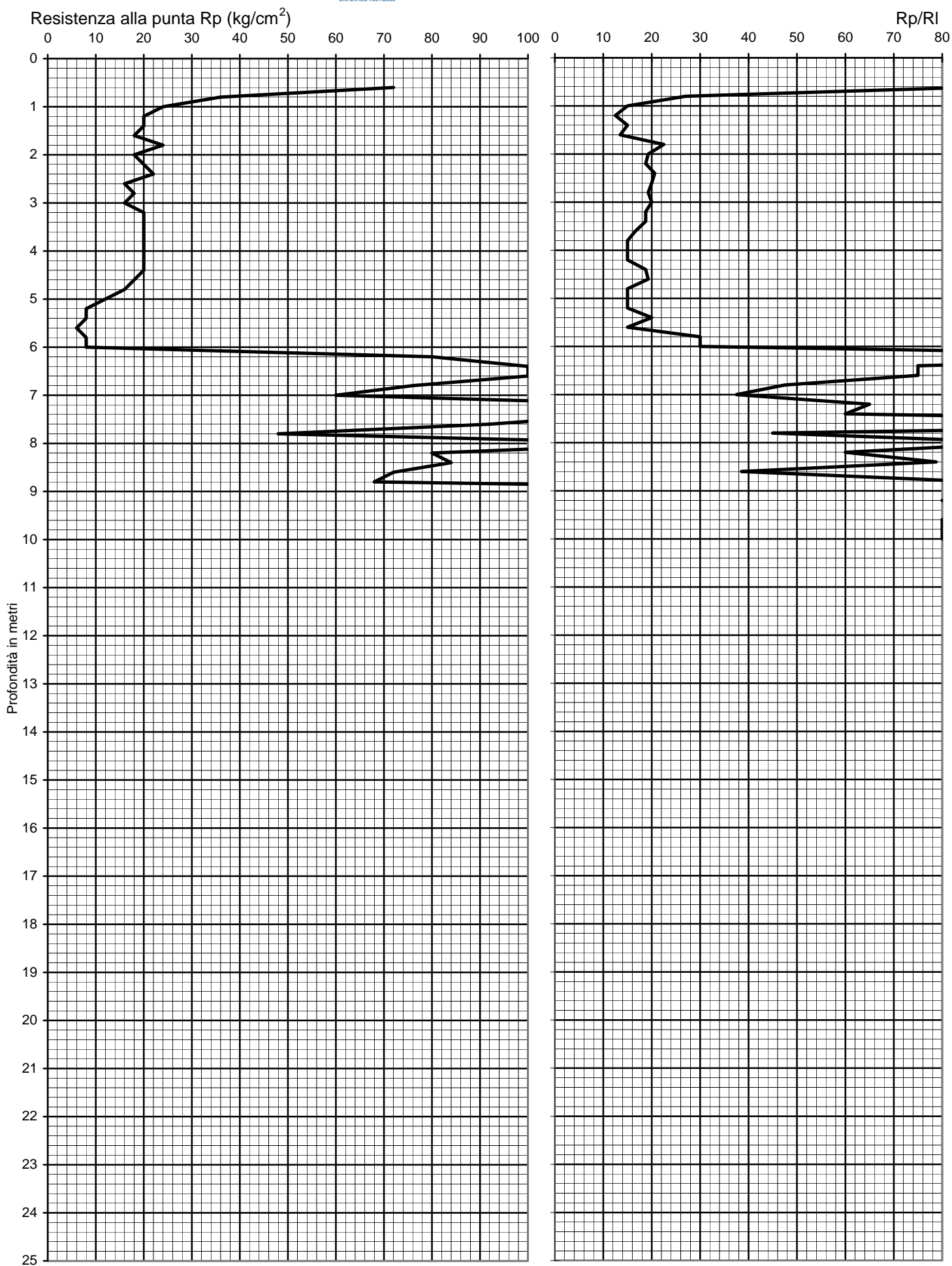
Località : CHIAVICA SUL RIO LORETO-ALESSANDRIA

Prova numero : 6

Data : 07/07/2010

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.



Foro chiuso ed asciutto a mt. -6,30

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	72	84	72	0,80	90,00
0,80	36	56	36	1,33	27,00
1,00	24	48	24	1,60	15,00
1,20	20	44	20	1,60	12,50
1,40	20	40	20	1,33	15,00
1,60	18	38	18	1,33	13,50
1,80	24	40	24	1,07	22,50
2,00	18	32	18	0,93	19,29
2,20	20	36	20	1,07	18,75
2,40	22	38	22	1,07	20,63
2,60	16	28	16	0,80	20,00
2,80	18	32	18	0,93	19,29
3,00	16	28	16	0,80	20,00
3,20	20	36	20	1,07	18,75
3,40	20	36	20	1,07	18,75
3,60	20	38	20	1,20	16,67
3,80	20	40	20	1,33	15,00
4,00	20	40	20	1,33	15,00
4,20	20	40	20	1,33	15,00
4,40	20	36	20	1,07	18,75
4,60	18	32	18	0,93	19,29
4,80	16	32	16	1,07	15,00
5,00	12	24	12	0,80	15,00
5,20	8	16	8	0,53	15,00
5,40	8	14	8	0,40	20,00
5,60	6	12	6	0,40	15,00
5,80	8	12	8	0,27	30,00
6,00	8	12	8	0,27	30,00
6,20	80	88	80	0,53	150,00
6,40	100	120	100	1,33	75,00
6,60	100	120	100	1,33	75,00
6,80	76	100	76	1,60	47,50
7,00	60	84	60	1,60	37,50
7,20	130	160	130	2,00	65,00
7,40	120	150	120	2,00	60,00
7,60	92	100	92	0,53	172,50
7,80	48	64	48	1,07	45,00
8,00	130	150	130	1,33	97,50
8,20	80	100	80	1,33	60,00
8,40	84	100	84	1,07	78,75
8,60	72	100	72	1,87	38,57
8,80	68	80	68	0,80	85,00
9,00	200	220	200	1,33	150,00
9,20	260		260		
9,40	280	300	280	1,33	210,00
9,60	300		300		
9,80	350		350		
10,00	500		500		
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					





Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



## ***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **816/10**

Data emissione: 07/07/10

Committente : ENGEO S.R.L.

Località : CHIAVICA SUL RIO LORETO-ALESSANDRIA

Prova numero : 7

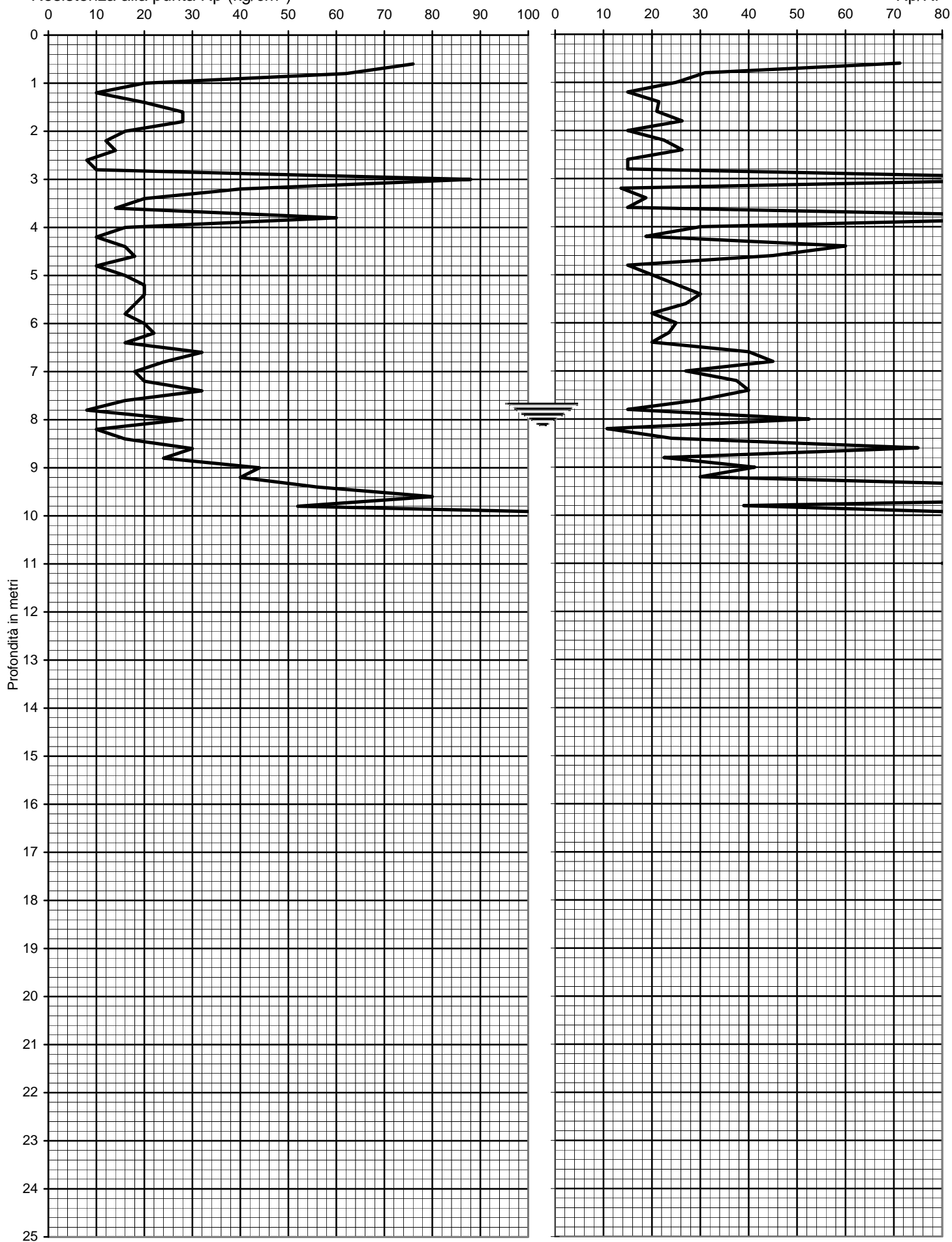
Data : 07/07/2010

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta  $R_p$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	76	92	76	1,07	71,25
0,80	62	92	62	2,00	31,00
1,00	20	32	20	0,80	25,00
1,20	10	20	10	0,67	15,00
1,40	20	34	20	0,93	21,43
1,60	28	48	28	1,33	21,00
1,80	28	44	28	1,07	26,25
2,00	16	32	16	1,07	15,00
2,20	12	20	12	0,53	22,50
2,40	14	22	14	0,53	26,25
2,60	8	16	8	0,53	15,00
2,80	10	20	10	0,67	15,00
3,00	88	100	88	0,80	110,00
3,20	40	84	40	2,93	13,64
3,40	20	36	20	1,07	18,75
3,60	14	28	14	0,93	15,00
3,80	60	68	60	0,53	112,50
4,00	16	24	16	0,53	30,00
4,20	10	18	10	0,53	18,75
4,40	16	20	16	0,27	60,00
4,60	18	24	18	0,40	45,00
4,80	10	20	10	0,67	15,00
5,00	16	28	16	0,80	20,00
5,20	20	32	20	0,80	25,00
5,40	20	30	20	0,67	30,00
5,60	18	28	18	0,67	27,00
5,80	16	28	16	0,80	20,00
6,00	20	32	20	0,80	25,00
6,20	22	36	22	0,93	23,57
6,40	16	28	16	0,80	20,00
6,60	32	44	32	0,80	40,00
6,80	24	32	24	0,53	45,00
7,00	18	28	18	0,67	27,00
7,20	20	28	20	0,53	37,50
7,40	32	44	32	0,80	40,00
7,60	16	24	16	0,53	30,00
7,80	8	16	8	0,53	15,00
8,00	28	36	28	0,53	52,50
8,20	10	24	10	0,93	10,71
8,40	16	26	16	0,67	24,00
8,60	30	36	30	0,40	75,00
8,80	24	40	24	1,07	22,50
9,00	44	60	44	1,07	41,25
9,20	40	60	40	1,33	30,00
9,40	56	64	56	0,53	105,00
9,60	80	88	80	0,53	150,00
9,80	52	72	52	1,33	39,00
10,00	140	160	140	1,33	105,00
10,20	180	200	180	1,33	135,00
10,40	130	150	130	1,33	97,50
10,60	180	200	180	1,33	135,00
10,80	280	300	280	1,33	210,00
11,00	500		500		
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



## ***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **817/10**

Data emissione: 07/07/10

Committente : ENGEO S.R.L.

Località : CHIAVICA SUL RIO LORETO-ALESSANDRIA

Prova numero : 8

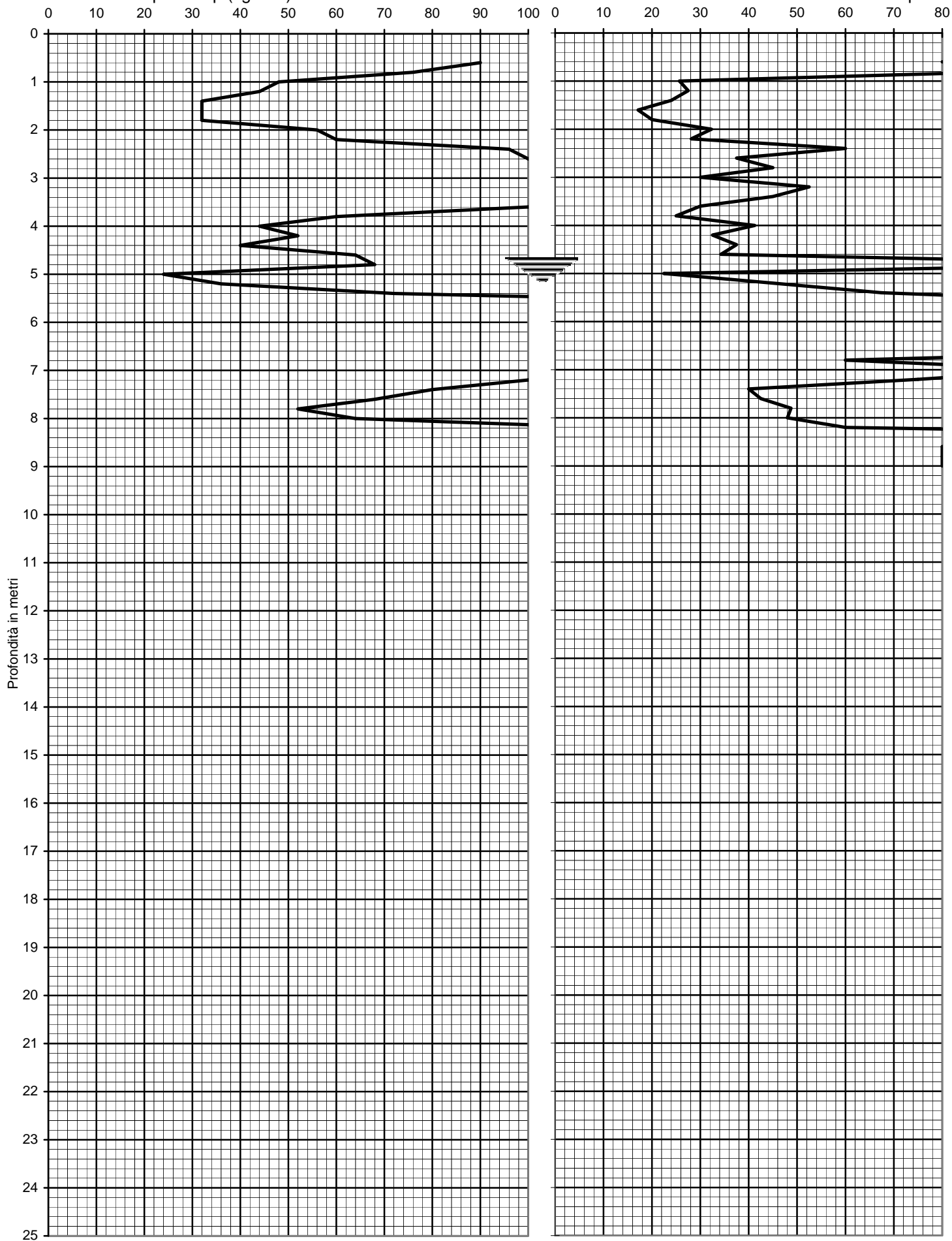
Data : 07/07/2010

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta  $R_p$  (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60	90		90		
0,80	76	88	76	0,80	95,00
1,00	48	76	48	1,87	25,71
1,20	44	68	44	1,60	27,50
1,40	32	52	32	1,33	24,00
1,60	32	60	32	1,87	17,14
1,80	32	56	32	1,60	20,00
2,00	56	82	56	1,73	32,31
2,20	60	92	60	2,13	28,13
2,40	96	120	96	1,60	60,00
2,60	100	140	100	2,67	37,50
2,80	120	160	120	2,67	45,00
3,00	120	180	120	4,00	30,00
3,20	140	180	140	2,67	52,50
3,40	120	160	120	2,67	45,00
3,60	100	150	100	3,33	30,00
3,80	60	96	60	2,40	25,00
4,00	44	60	44	1,07	41,25
4,20	52	76	52	1,60	32,50
4,40	40	56	40	1,07	37,50
4,60	64	92	64	1,87	34,29
4,80	68	76	68	0,53	127,50
5,00	24	40	24	1,07	22,50
5,20	36	48	36	0,80	45,00
5,40	72	88	72	1,07	67,50
5,60	160	180	160	1,33	120,00
5,80	200	220	200	1,33	150,00
6,00	120	140	120	1,33	90,00
6,20	180	200	180	1,33	135,00
6,40	220	240	220	1,33	165,00
6,60	180	200	180	1,33	135,00
6,80	160	200	160	2,67	60,00
7,00	140	160	140	1,33	105,00
7,20	100	120	100	1,33	75,00
7,40	80	110	80	2,00	40,00
7,60	68	92	68	1,60	42,50
7,80	52	68	52	1,07	48,75
8,00	64	84	64	1,33	48,00
8,20	120	150	120	2,00	60,00
8,40	240	260	240	1,33	180,00
8,60	340		340		
8,80	400		400		
9,00	500		500		
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

## PROGETTO ESECUTIVO

### **Realizzazione di una chiavica sul rio Loreto alla confluenza in sponda sinistra del fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E 1769)**

Committente:



---

## **All.2 - RILIEVO SISMICO A RIFRAZIONE**

---

Il Geologo:

Dr. Francesco Cerutti

---



Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma  
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181  
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN  
Tel-Fax 0376 467967  
email [info@engeo.it](mailto:info@engeo.it) - [www.engeo.it](http://www.engeo.it)

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	3
3	NORMATIVA D.M. 14/01/2008 .....	4
4	INDAGINI IN SITO.....	6
4.1	INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE .....	8
4.2	ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – VP .....	8
4.3	VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO CON IL METODO MASW .....	14
4.4	MODELLO RISULTANTE RIFERITO ALLE INDAGINI EFFETTUATE .....	18
4.5	DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (D.M. 14.01.2008).....	19

## INDICE DEGLI ALLEGATI

FIGURA 1: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE n. 176080 - SCALA 1:10.000 .....	3
FIGURA 2: IMMAGINE SATELLITARE DELL'AREA OGGETTO DELL'INTERVENTO.....	4
FIGURA 3: UBICAZIONE SU PLANIMETRIA DI INDAGINE .....	6
FIGURA 4: UBICAZIONE INDAGINE GEOFISICA EFFETTUATA SU IMMAGINE SATELLITARE .....	7
FIGURA 5: ANDAMENTO DELLE DROMOCRONE .....	10
FIGURA 6: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA A ML. 1.00 ESTERNAMENTE AL GEOFONO NR. 1 IN POSIZIONE DI ESTREMO SINISTRO .....	10
FIGURA 7: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA TRA I GEOFONI NR. 6 E NR. 7 IN POSIZIONE DI INTERMEDIO SINISTRO .....	11
FIGURA 8: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA TRA I GEOFONI NR. 12 E NR. 13 IN POSIZIONE CENTRALE.....	11
FIGURA 9: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA TRA I GEOFONI NR. 18 E NR. 19 IN POSIZIONE DI INTERMEDIO DESTRO .....	12
FIGURA 10: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA A ML. 1,00 ESTERNAMENTE AL GEOFONO NR. 24 IN POSIZIONE DI ESTREMO DESTRO.....	12
FIGURA 11: SEZIONE INTERPRETATIVA.....	13
FIGURA 12: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE .....	14
FIGURA 13: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE MISURATA.....	15
FIGURA 14: ANDAMENTO DELLE FREQUENZE RILEVATE E DELLA VELOCITA' DI FASE.....	15
FIGURA 15: ANDAMENTO DELLE VELOCITA' DI TAGLIO DELLE ONDE SISMICHE CON IL PROCESSO DI INVERSIONE .....	16
FIGURA 16: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA LINEA SISMICA EFFETTUATA.....	17



# 1 PREMESSA

Su incarico della ditta ENGEO Srl, il sottoscritto:

Dott. Giorgio Masotti, Geologo libero professionista, regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna con il numero 588-Sez.A, in qualità di consulente tecnico della ditta Geo-Xpert Italia – Servizi – Tecnologie e Ambiente snc, con sede in Vignola (MO) – Via di Mezzo, 90,

ha provveduto alla stesura della presente relazione, finalizzata alla caratterizzazione geofisica di un'area ubicata nell'ambito del territorio del Comune di Alessandria (AL) in prossimità della Chiavica sul Rio Loreto.

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La zona oggetto d'indagine si colloca nell'ambito del territorio comunale di Alessandria (AL) in prossimità della Chiavica sul Rio Loreto.

Geograficamente, l'area in esame risulta compresa all'interno della seguente documentazione cartografica:

### Cartografia Regionale

- Sezione n. 176080 – scala 1:10.000;

Figura 1: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE n. 176080 - SCALA 1:10.000

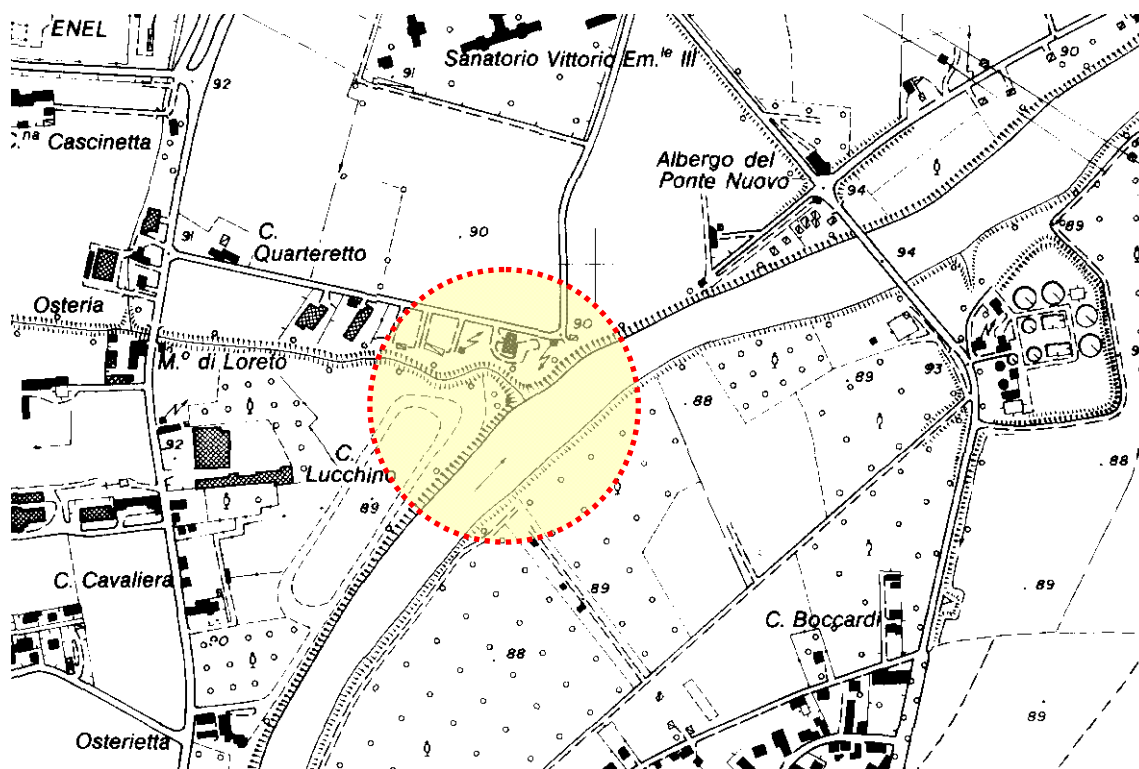


Figura 2: IMMAGINE SATELLITARE DELL'AREA OGGETTO DELL'INTERVENTO



### 3 NORMATIVA D.M. 14/01/2008

Le norme tecniche per le costruzioni contengono nuove disposizioni in materia di classificazione sismica e di normative tecniche. Il numero di zone sismiche è fissato pari a 4, corrispondenti ai quattro valori di accelerazione orizzontale ( $a_g/g$ ) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. Il D.M. del 14.01.2008 prescrive che le azioni sismiche su ciascuna struttura sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_r$ , ricavato moltiplicando la vita nominale dell'opera  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , definito al variare della classe d'uso dell'opera stessa.

La presente normativa stabilisce che gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso. Gli stati limite di esercizio sono lo Stato Limite di Operatività (SLO) e lo Stato Limite di Danno (SLD), mentre gli stati limite ultimi sono lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di Collasso (SLC).

Il D.M. 14.01.2008 stabilisce che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulle categorie di sottosuolo di riferimento e sulle condizioni topografiche del sito.

Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,30}$  entro i primi 30 m di profondità. Nei casi in cui tale determinazione non sia possibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test)  $N_{SPT,30}$  nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  nei terreni prevalentemente a grana fina.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$  è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [m/s]$$

la resistenza penetrometrica dinamica equivalente  $N_{SPT,30}$  è definita dall'espressione:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

la resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  è definita dall'espressione:

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}$$

dove  $h_i$ ,  $V_{s,i}$ ,  $N_{SPT,i}$  e  $c_{u,i}$  sono rispettivamente lo spessore, la velocità delle onde di taglio  $V_s$ , il numero di colpi  $N_{SPT}$  e la resistenza non drenata  $c_u$  nell' $i$ -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità.

Le categorie di sottosuolo di riferimento sono:

<b>Tipo A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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>Tipo B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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).
<b>Tipo C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, 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).
<b>Tipo D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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).
<b>Tipo E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D con spessore non superiore ai 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

La normativa prevede due categorie aggiuntive di sottosuolo per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno:

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

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

## 4 INDAGINI IN SITO

Al fine di caratterizzare i terreni interessati dalle opere di progetto sono stati effettuati i sotto riportati approfondimenti:

nr. 1 allineamento sismico a rifrazione

Figura 3: UBICAZIONE SU PLANIMETRIA DI INDAGINE

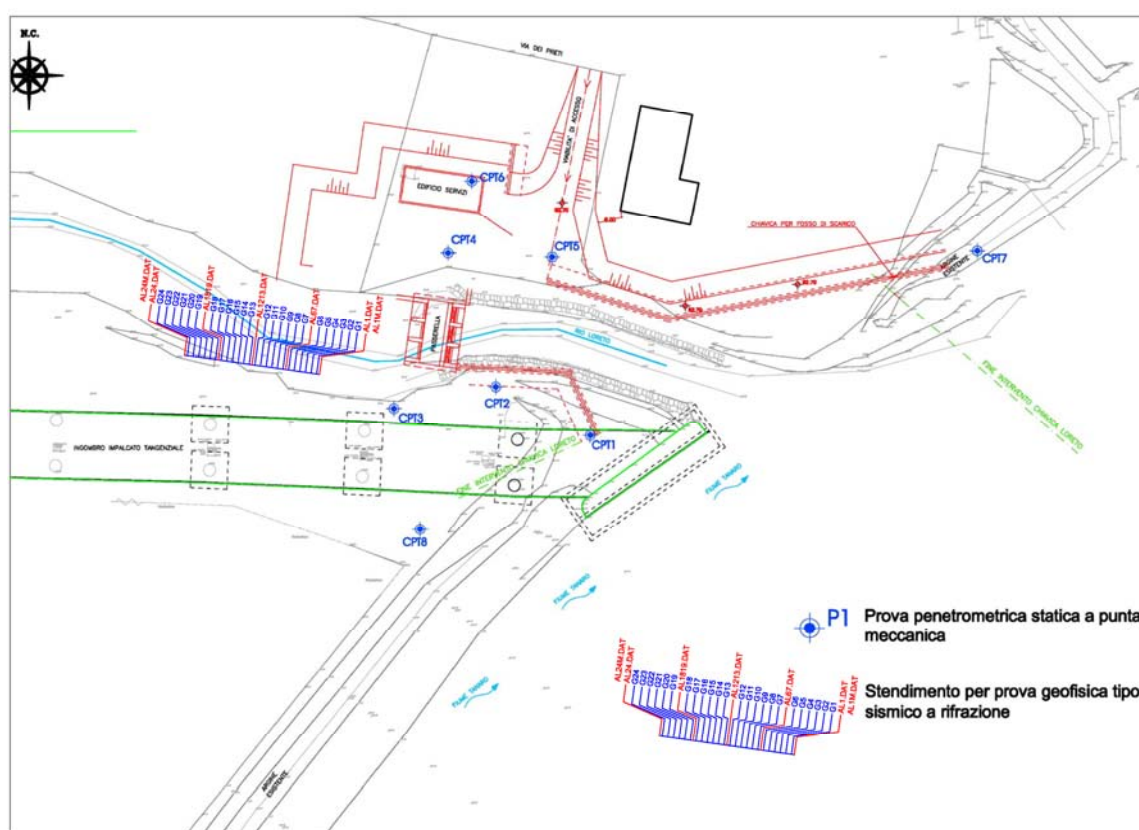




Figura 4: UBICAZIONE INDAGINE GEOFISICA EFFETTUATA SU IMMAGINE SATELLITARE



## 4.1 INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE

Al fine di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dalle opere di progetto, in data 12/07/2010 è stata eseguita nr. 1 base sismica a rifrazione con sistema di acquisizione a 24 canali.

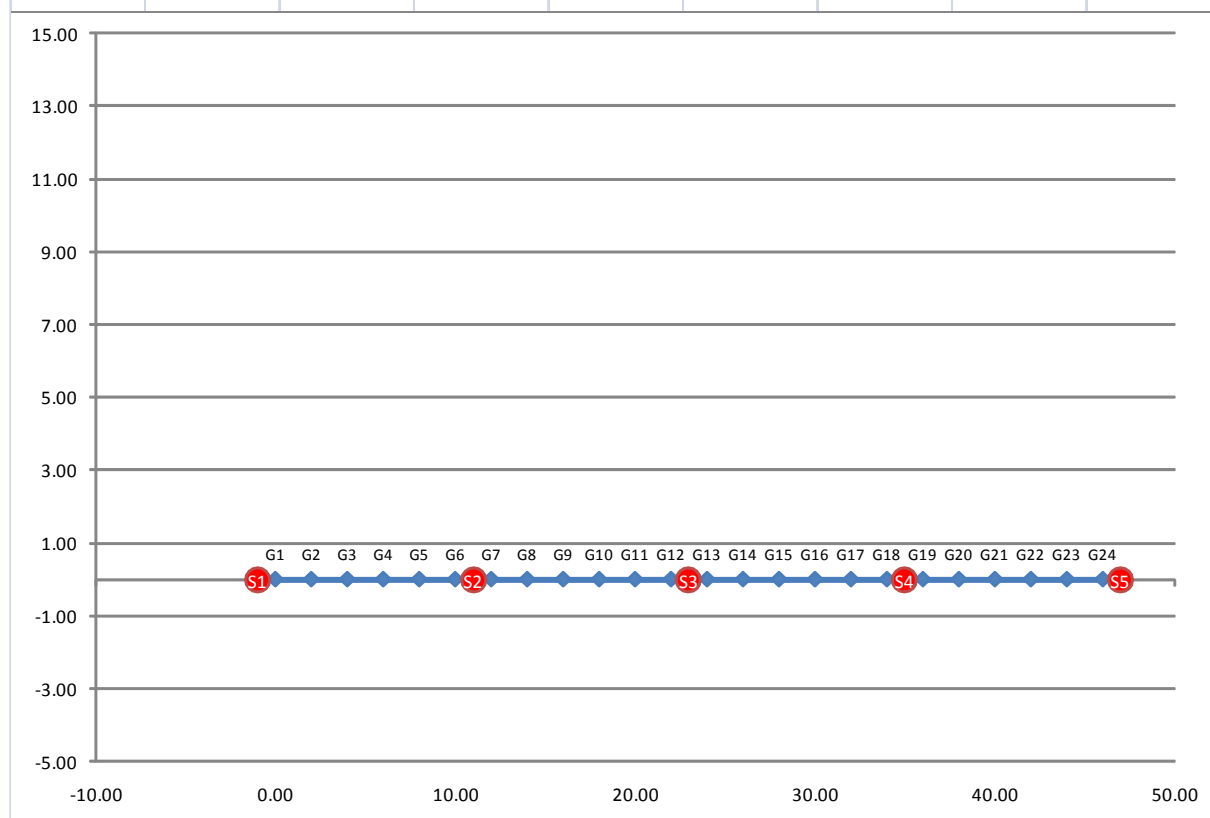
Si riporta di seguito l'elaborazione condotta e le caratteristiche dello stendimento sismico effettuato.

## 4.2 ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – VP

<b>Strumentazione geofisica utilizzata</b>	PASI mod. 16S24 - s/n 06031086
<b>Sistema di comunicazione a trasmissione del "Tempo zero"</b>	Geofono trigger - 10 Hz
<b>Lunghezza linea sismica</b>	46 m
<b>Interasse geofoni</b>	2 m
<b>Numero punti di energizzazione</b>	5
<b>Numero di trasduttori velocimetrici</b>	24

Riferimento	Files Dati	Campionamento		Risoluzione	Tipologia Geofoni		Note
		Durata	Frequenza		Frequenza	Asse	
<b>1</b>	AL1.DAT	128 ms	125 µs	16 bit	4,5 Hz	verticale	
<b>2</b>	AL67.DAT	128 ms	125 µs	16 bit	4,5 Hz	verticale	
<b>3</b>	AL1213.DAT	128 ms	125 µs	16 bit	4,5 Hz	verticale	
<b>4</b>	AL1819.DAT	128 ms	125 µs	16 bit	4,5 Hz	verticale	
<b>5</b>	AL24.DAT	128 ms	125 µs	16 bit	4,5 Hz	verticale	
<b>MASW</b>	AL24MF.DAT	2048 ms	500 µs	16 bit	4,5 Hz	verticale	

Coordinate di energizzazione					Metodo di Energizzazione
Sparo	Quota [m]	X [m]	Y [m]	Profondità [m]	
<b>1</b>	0.00	-1.00	0.00	0.00	Mazza battente da Kg. 9 su piastra di alluminio
<b>2</b>	0.00	11.00	0.00	0.00	Mazza battente da Kg. 9 su piastra di alluminio
<b>3</b>	0.00	23.00	0.00	0.00	Mazza battente da Kg. 9 su piastra di alluminio
<b>4</b>	0.00	35.00	0.00	0.00	Mazza battente da Kg. 9 su piastra di alluminio
<b>5</b>	0.00	47.00	0.00	0.00	Mazza battente da Kg. 9 su piastra di alluminio
<b>MASW</b>	0.00	47.00	0.00	0.00	Fucile sismico con cartuccia industriale calibro 8 mm



Tempi di Arrivo Geofoni								
Geofono	Quota	X	Y	S1	S2	S3	S4	S5
	[m]	[m]	[m]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
1	0.00	0.00	0.00	3.00	37.77	45.96	51.94	59.62
2	0.00	2.00	0.00	9.83	33.19	44.69	51.22	58.93
3	0.00	4.00	0.00	16.25	29.15	43.07	49.78	57.33
4	0.00	6.00	0.00	24.99	18.88	41.46	48.46	55.82
5	0.00	8.00	0.00	33.00	12.99	38.82	47.41	54.43
6	0.00	10.00	0.00	42.55	3.34	35.73	46.09	53.55
7	0.00	12.00	0.00	45.00	4.13	30.02	44.33	51.33
8	0.00	14.00	0.00	46.20	11.15	24.14	43.19	49.57
9	0.00	16.00	0.00	47.06	20.19	17.82	39.95	46.65
10	0.00	18.00	0.00	47.87	25.90	14.66	37.75	44.89
11	0.00	20.00	0.00	48.63	29.85	7.73	32.22	42.32
12	0.00	22.00	0.00	49.38	34.68	2.46	27.88	40.79
13	0.00	24.00	0.00	50.14	36.58	2.90	24.70	38.51
14	0.00	26.00	0.00	50.89	39.92	8.08	20.63	37.57
15	0.00	28.00	0.00	52.28	41.55	11.59	16.88	35.58
16	0.00	30.00	0.00	53.42	42.55	15.98	12.55	33.36
17	0.00	32.00	0.00	54.57	44.00	20.02	8.16	30.55
18	0.00	34.00	0.00	55.72	46.06	23.12	2.63	26.92
19	0.00	36.00	0.00	56.87	47.70	25.87	2.63	23.82
20	0.00	38.00	0.00	57.11	48.91	29.38	8.19	20.07
21	0.00	40.00	0.00	57.98	50.54	32.66	12.88	16.10
22	0.00	42.00	0.00	58.86	52.17	35.32	16.27	11.24
23	0.00	44.00	0.00	59.73	53.44	36.64	20.19	7.25
24	0.00	46.00	0.00	60.61	53.97	37.97	24.46	1.00

Profondità Sismostrati						Velocità Sismostrati	
Geofono	X	Strato 2	Strato 3	Strato 4	Strato 5	Strato	[m/s]
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		
1	0.00	5.47	14.05	0.00	0.00	1	355
2	2.00	5.37	14.05	0.00	0.00	2	1073
3	4.00	5.37	13.93	0.00	0.00	3	2137
4	6.00	5.49	13.41	0.00	0.00	4	
5	8.00	5.57	12.97	0.00	0.00	5	
6	10.00	5.60	12.62	0.00	0.00		
7	12.00	5.45	12.11	0.00	0.00		
8	14.00	5.26	11.87	0.00	0.00		
9	16.00	4.95	11.62	0.00	0.00		
10	18.00	4.56	11.37	0.00	0.00		
11	20.00	4.18	11.13	0.00	0.00		
12	22.00	3.86	10.93	0.00	0.00		
13	24.00	3.57	10.64	0.00	0.00		
14	26.00	3.53	10.60	0.00	0.00		
15	28.00	3.43	10.67	0.00	0.00		
16	30.00	3.21	10.88	0.00	0.00		
17	32.00	2.82	11.20	0.00	0.00		
18	34.00	2.45	11.55	0.00	0.00		
19	36.00	2.23	11.93	0.00	0.00		
20	38.00	2.29	11.98	0.00	0.00		
21	40.00	2.28	12.02	0.00	0.00		
22	42.00	2.20	12.07	0.00	0.00		
23	44.00	2.15	12.12	0.00	0.00		
24	46.00	2.15	12.15	0.00	0.00		

Figura 5: ANDAMENTO DELLE DROMOCRONE

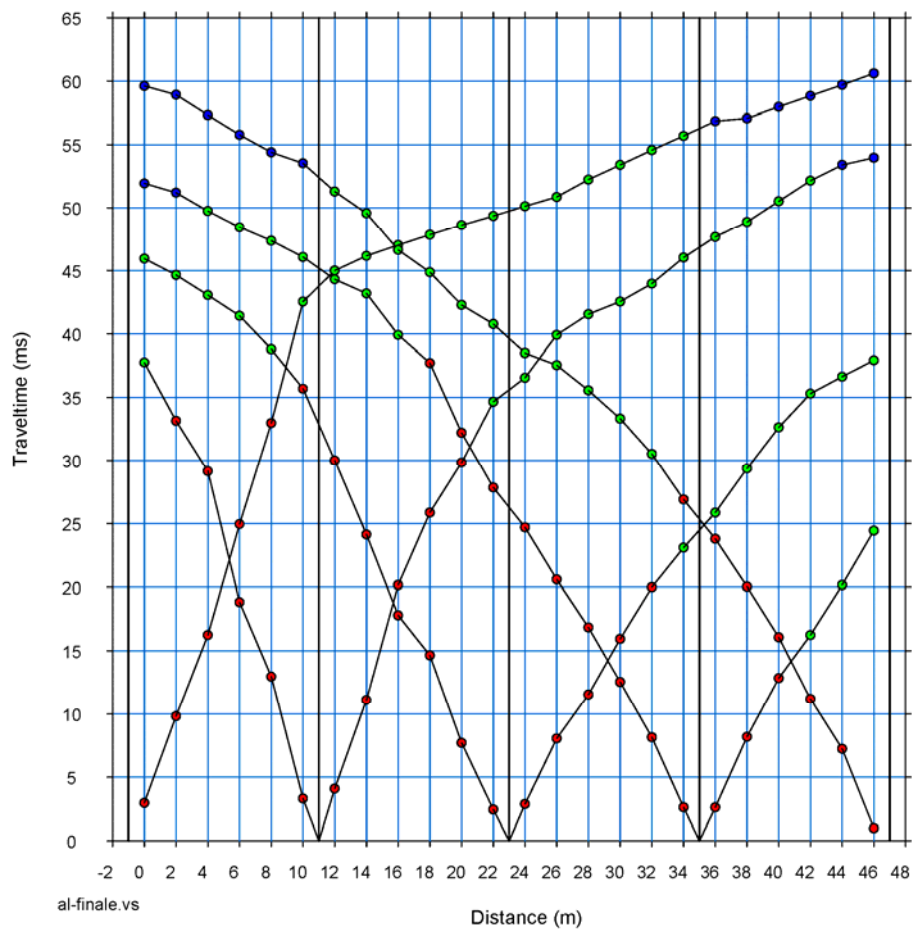


Figura 6: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA A ML. 1.00 ESTERNAMENTE AL GEOFONO NR. 1 IN POSIZIONE DI ESTREMO SINISTRO

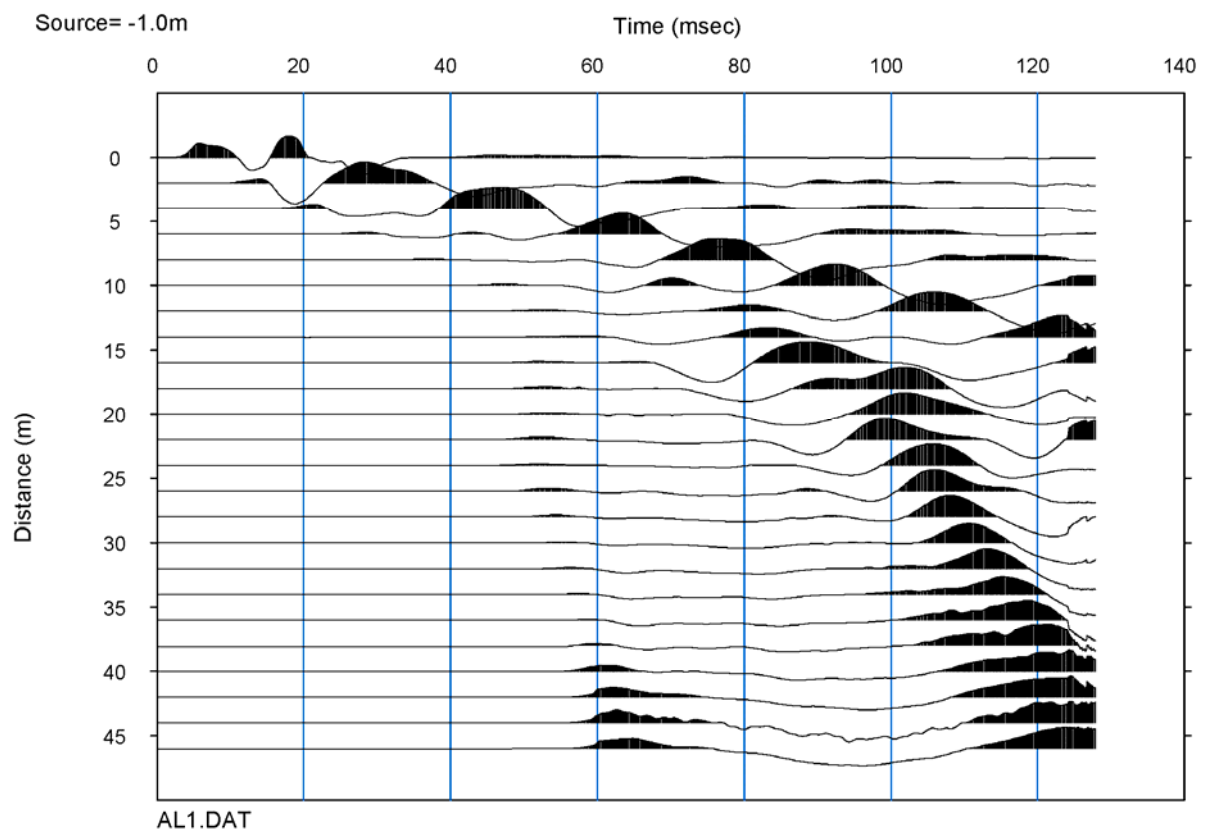




Figura 7: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA TRA I GEOFONI NR. 6 E NR. 7 IN POSIZIONE DI INTERMEDIO SINISTRO

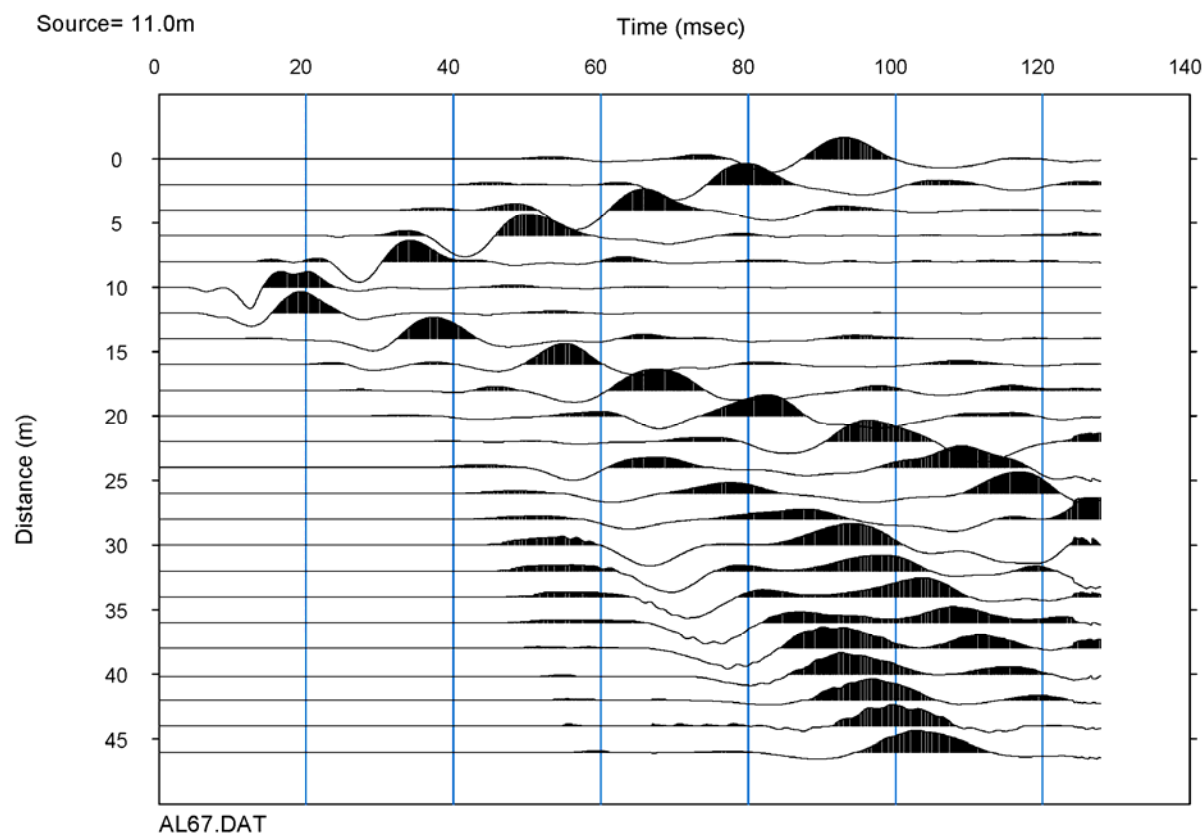


Figura 8: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA TRA I GEOFONI NR. 12 E NR. 13 IN POSIZIONE CENTRALE

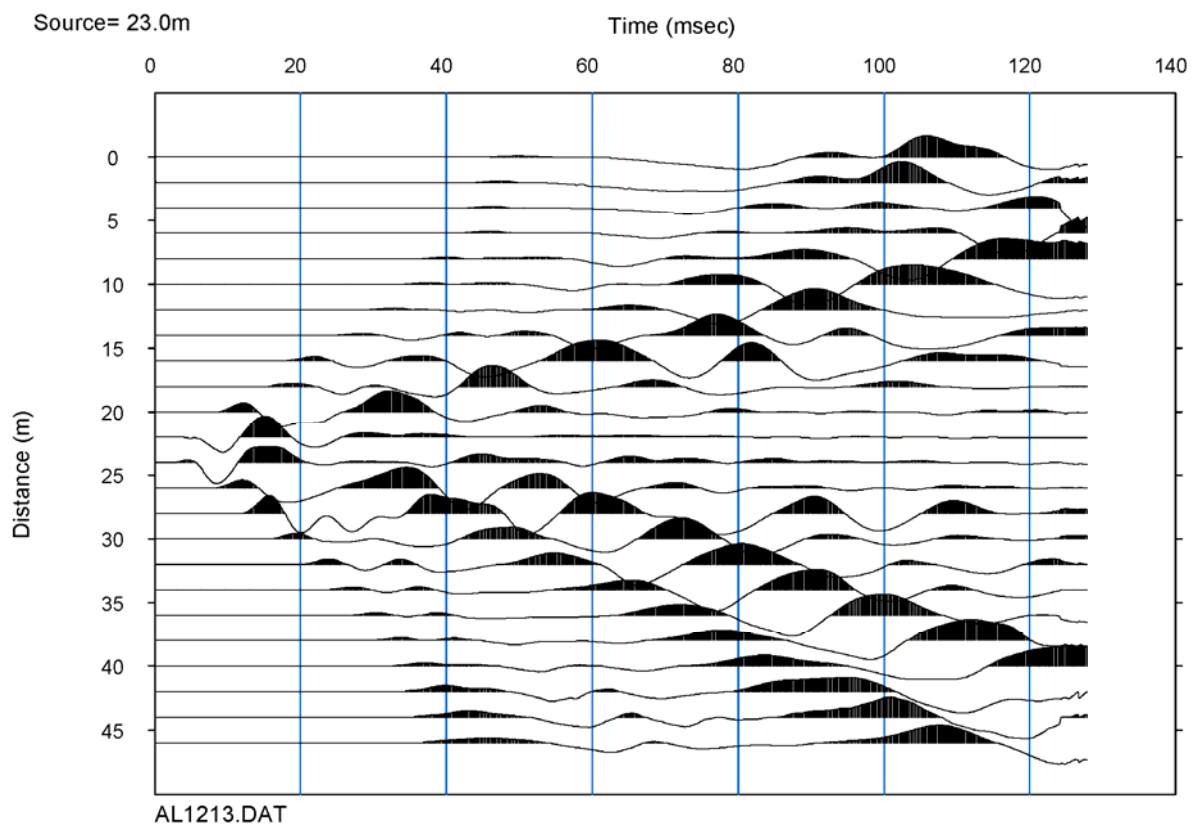


Figura 9: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA TRA I GEOFONI NR. 18 E NR. 19 IN POSIZIONE DI INTERMEDIO DESTRO

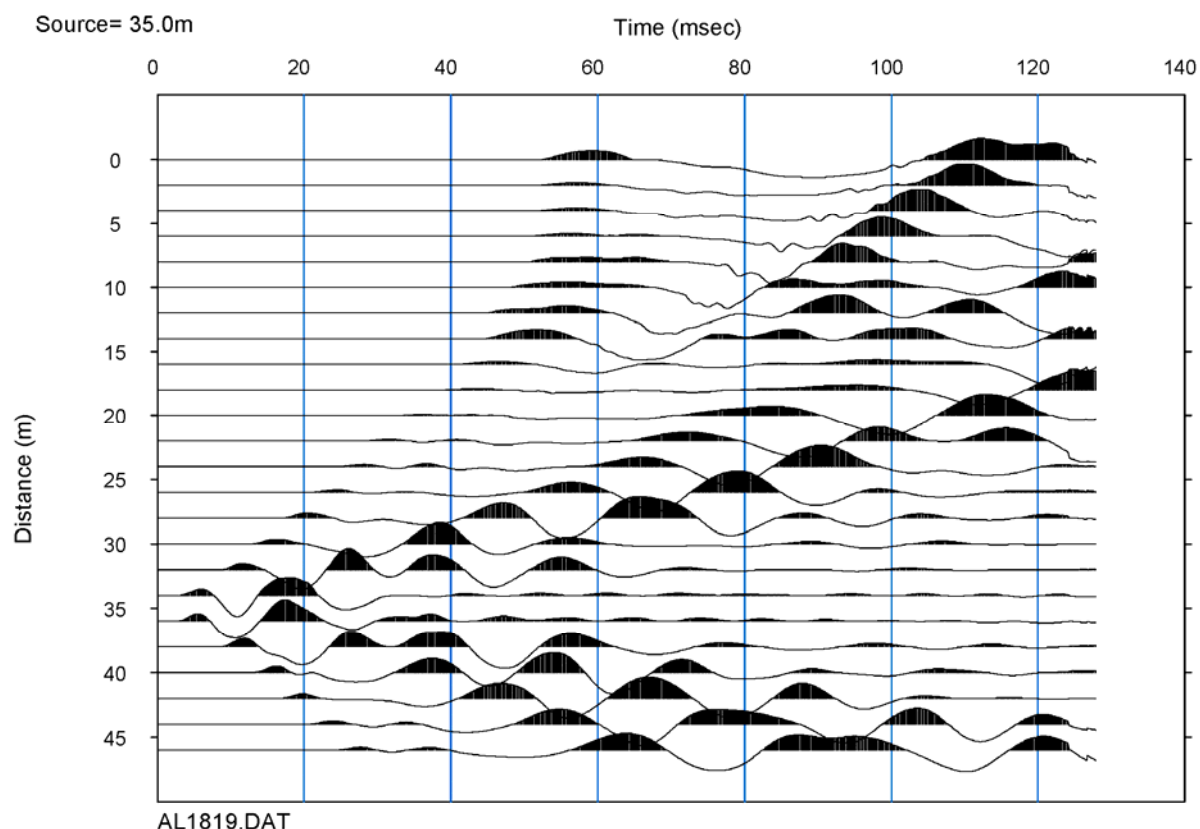


Figura 10: TRACCE SISMICHE RILEVATE CON ENERGIZZAZIONE POSTA A ML. 1,00 ESTERNAMENTE AL GEOFONO NR. 24 IN POSIZIONE DI ESTREMO DESTRO

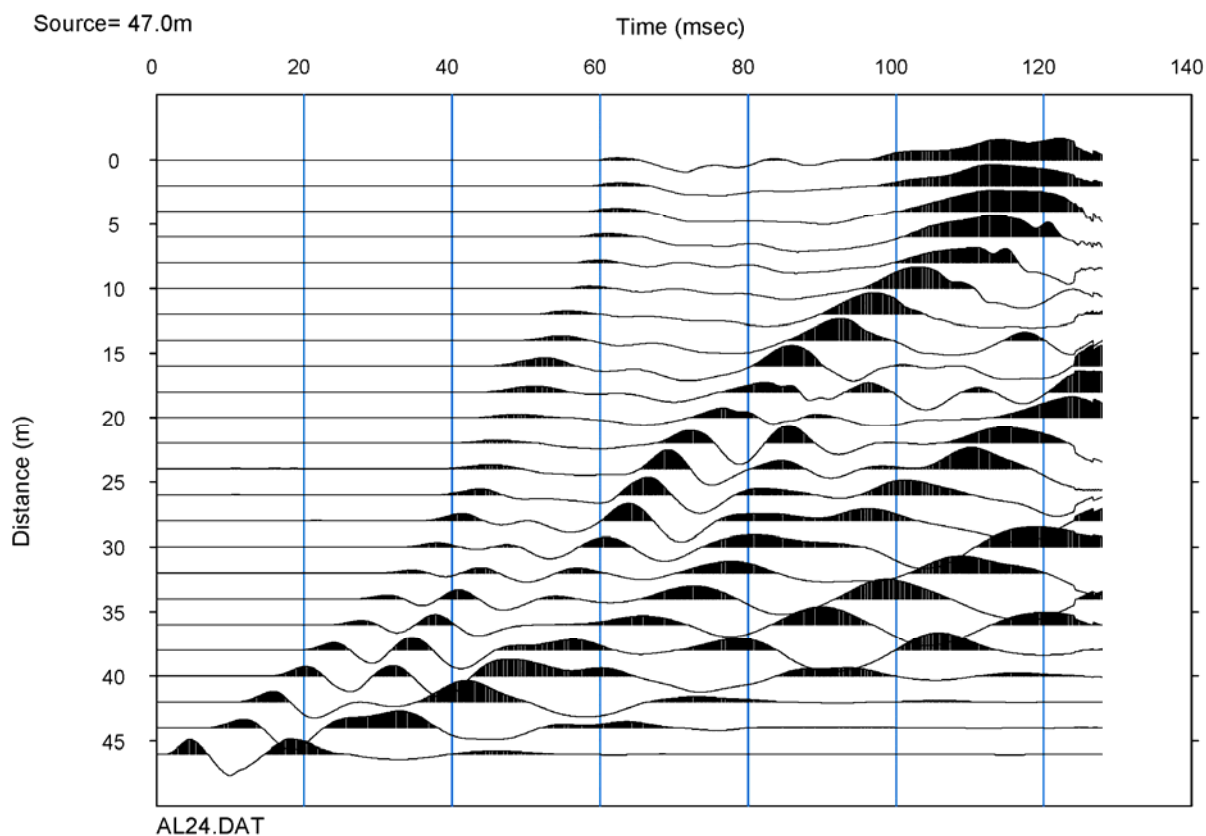
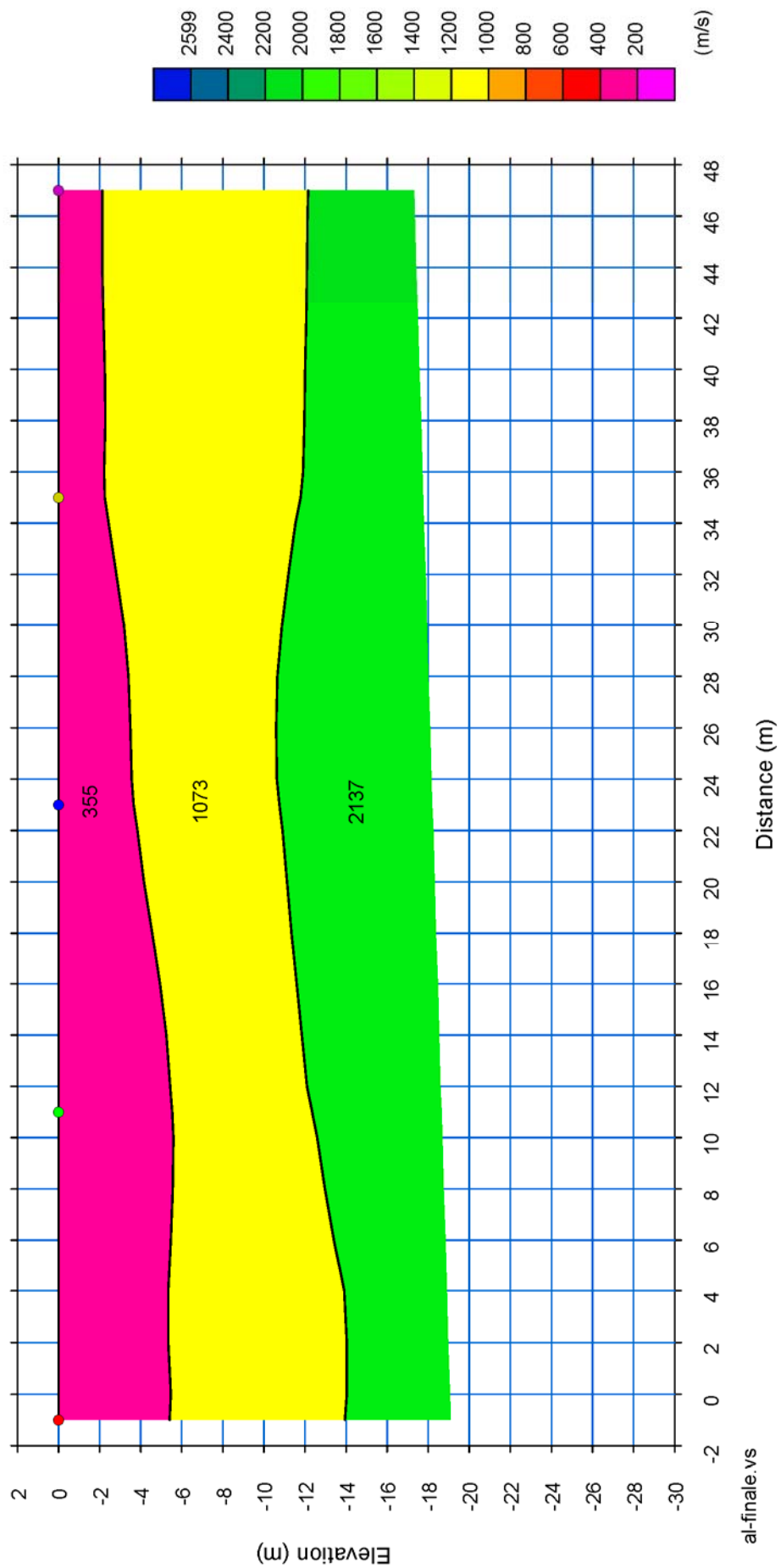


Figura 11: SEZIONE INTERPRETATIVA



### 4.3 VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO CON IL METODO MASW

La determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ) è stata effettuata mediante elaborazione con il metodo MASW, allo scopo di determinare la categoria sismica del terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato dalla Nuova Normativa Sismica (Ordinanza P.C.M. 2003 e s.m.i.) e dagli Eurocodici 7 e 8.

L'elaborazione ha riguardato l'intero campionamento della registrazione avente durata 2048 mS e una frequenza di campionamento di 500 microS. Le misure del moto in superficie sono state elaborate tramite una doppia trasformata del campo d'onda (trasformate Slant-Stack e di Fourier), con la quale viene rappresentato il segnale nel dominio  $\omega$ -p (frequenza angolare - slowness), in modo da identificare la curva di dispersione sperimentale delle onde di Rayleigh. Successivamente si procede con la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  attraverso un processo di inversione delle stesse curve di dispersione.

Il metodo consiste nell'assumere un profilo di velocità iniziale di primo tentativo e attraverso un opportuno software si calcola la velocità di fase apparente delle onde di Rayleigh corrispondente al profilo stratigrafico di velocità ipotizzato (curva di dispersione teorica). Dal confronto tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica vengono modificati gli spessori e le velocità del modello per minimizzare la distanza tra le due curve. Il processo di identificazione si conclude quando si raggiunge la sovrapposizione ottimale fra le due curve sperimentale e teorica.

Per l'elaborazione MASW si è tenuta in considerazione la traccia sismica rilevata a seguito dell'energizzazione effettuata a ml. 1,00 dal geofono nr. 24 in posizione di sparo estremo destro rispetto alla base sismica.

Figura 12: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE

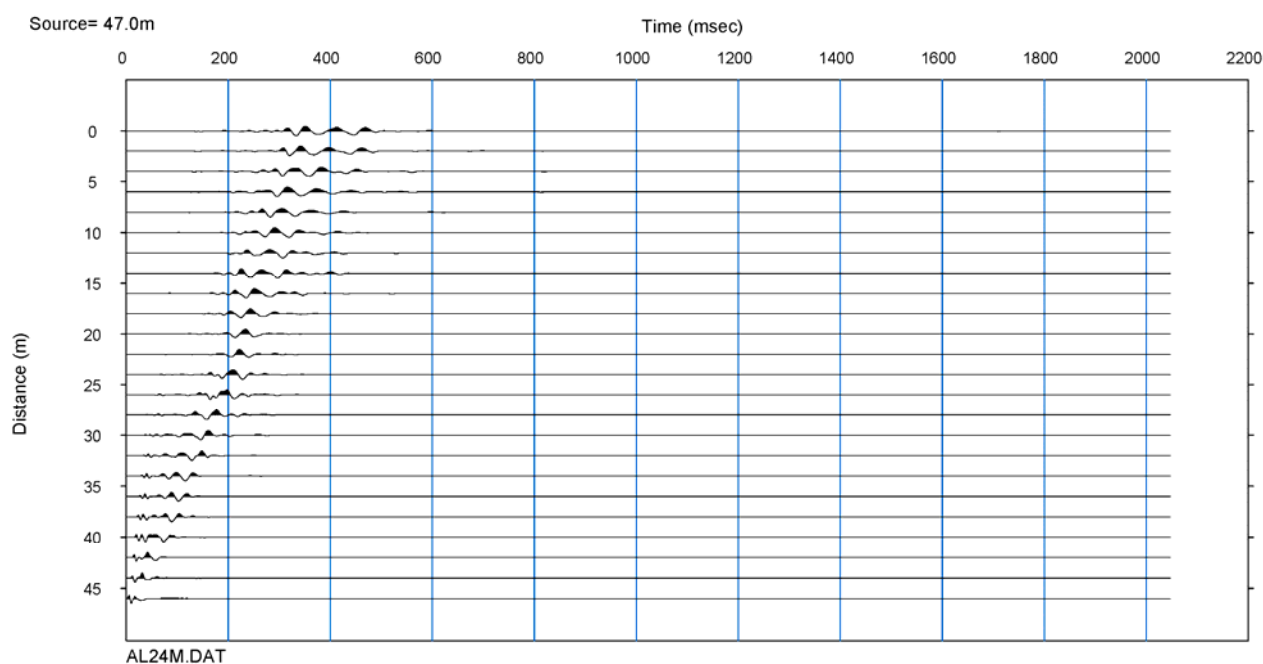


Figura 13: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE MISURATA

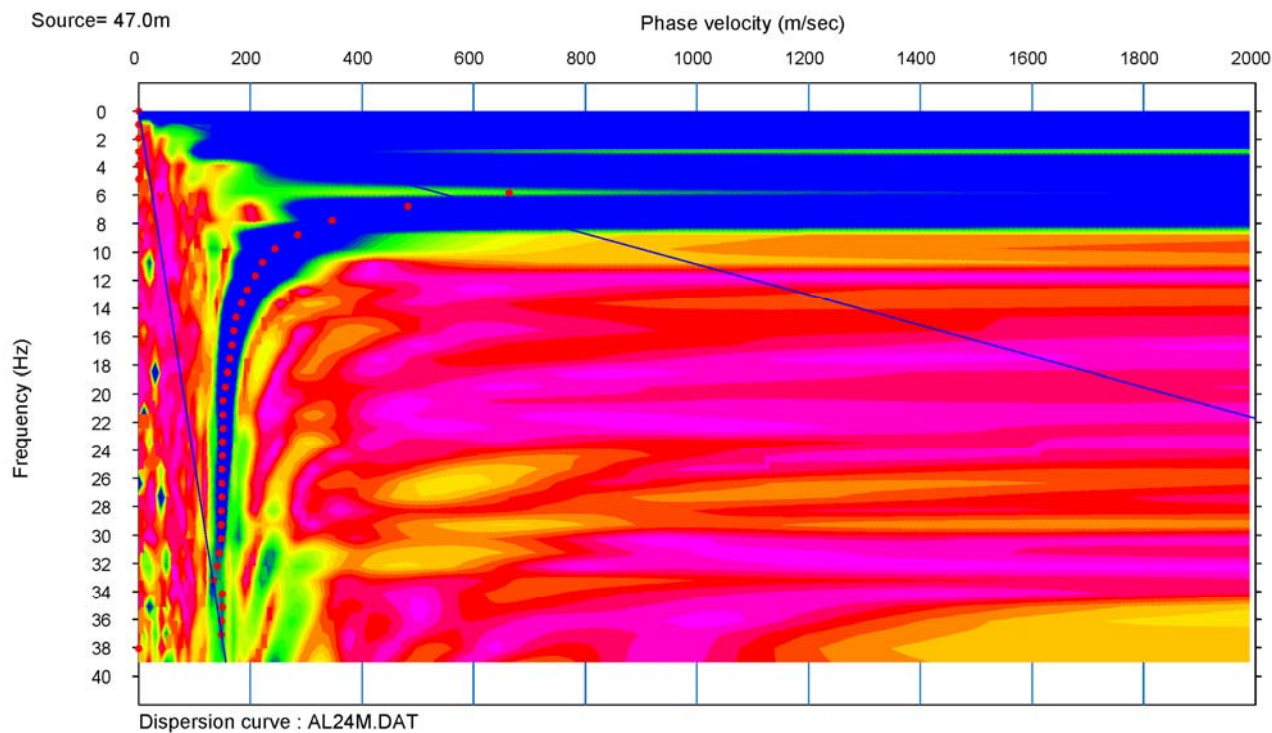


Figura 14: ANDAMENTO DELLE FREQUENZE RILEVATE E DELLA VELOCITA' DI FASE

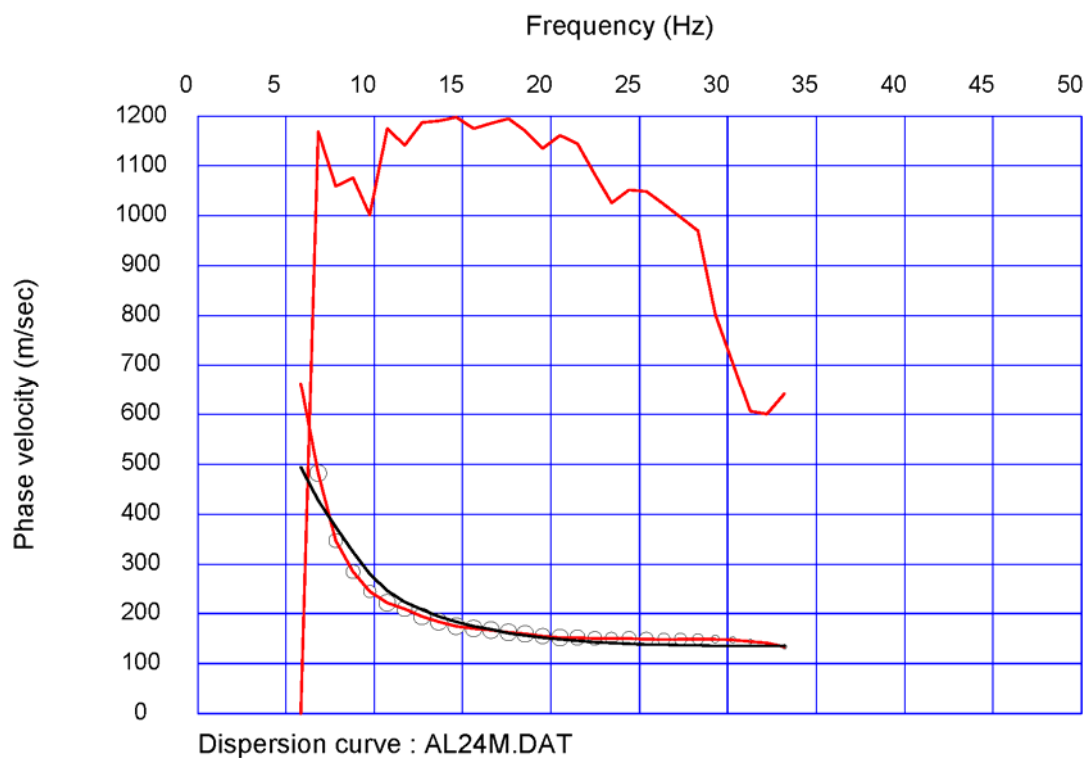


Figura 15: ANDAMENTO DELLE VELOCITA' DI TAGLIO DELLE ONDE SISMICHE CON IL PROCESSO DI INVERSIONE

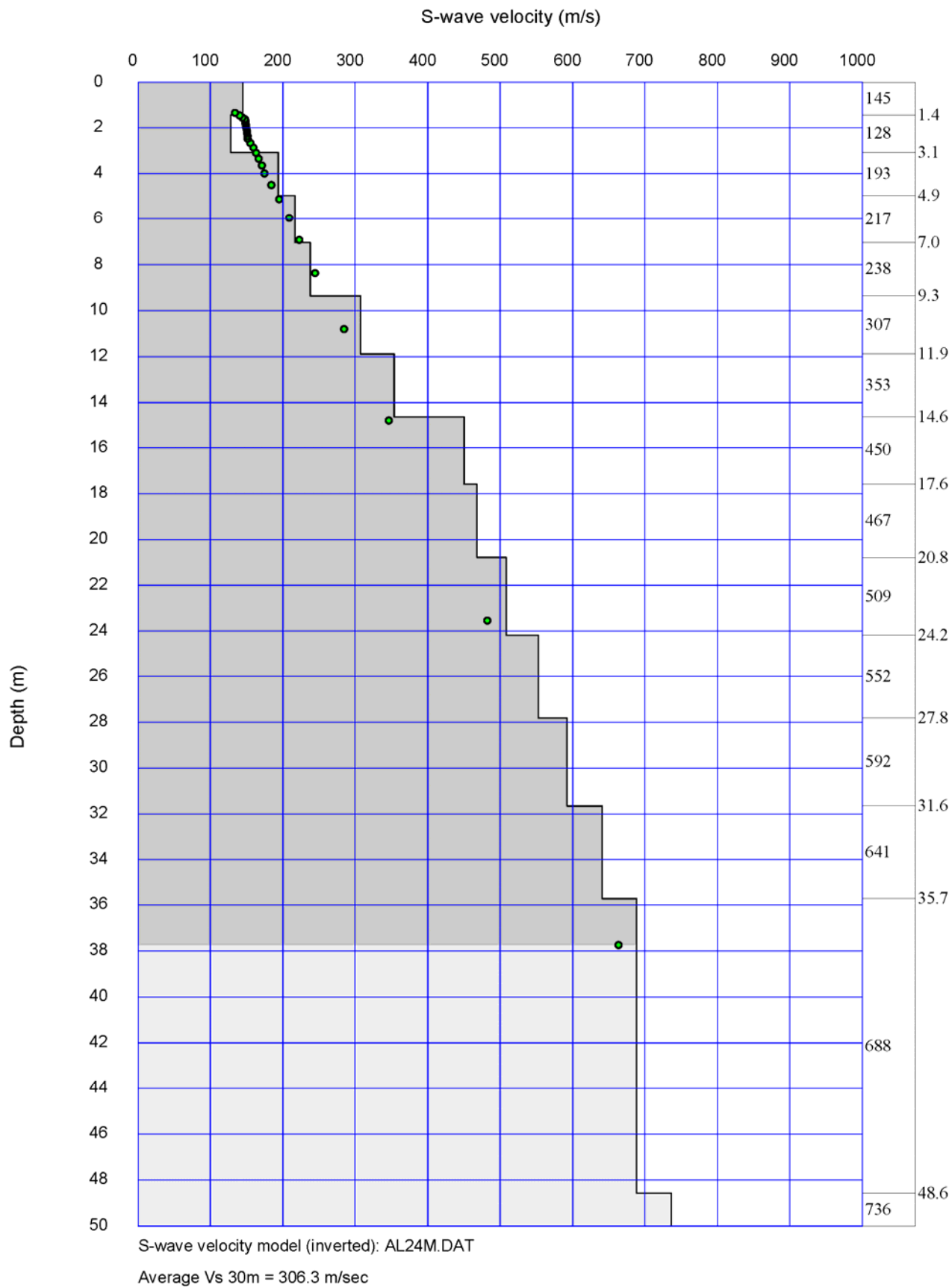




Figura 16: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA LINEA SISMICA EFFETTUATA



## 4.4 MODELLO RISULTANTE RIFERITO ALLE INDAGINI EFFETTUATE

- **ONDE  $V_p$**

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine di sismica a rifrazione superficiale ha portato alla classificazione sismo-stratigrafica dei terreni sottoposti a test investigativo di tipo geometrico e meccanico (profondità dei sismostrati e velocità sismiche longitudinali medie di riferimento).

Per quanto riguarda la profondità degli orizzonti sismo-stratigrafici si rimanda alle sezioni interpretative allegate in precedenza. Le osservazioni ricavate dall'interpretazione dei dati permettono di ricostruire un'immagine sismica del sottosuolo investigato costituita da tre sismostrati con  $V_{p(media)}$  rispettivamente pari a 355 m/sec, 1073 m/sec e 2137 m/sec.

- **ONDE  $V_s$**

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali ( $V_s$ ) fino a una profondità di circa 37,80 ml. dal piano campagna.

Dall'analisi delle elaborazioni si evidenzia la presenza dei seguenti livelli:

<b>Velocità onde <math>V_s</math> ottenute dall'elaborazione MASW</b>				
<b>Strato</b>	<b>Quota da p.c. [m]</b>	<b>Spessore dello strato [m]</b>	<b><math>V_s</math> [m/s]</b>	<b>Peso di volume [kN/m<sup>3</sup>]</b>
h1	-1.43	1.43	145	17.379
h2	-3.08	1.65	129	17.320
h3	-4.95	1.87	194	17.549
h4	-7.03	2.08	217	17.630
h5	-9.34	2.31	238	17.702
h6	-11.87	2.53	307	17.941
h7	-14.62	2.75	354	18.099
h8	-17.58	2.96	451	18.425
h9	-20.77	3.19	468	18.482
h10	-24.18	3.41	509	18.619
h11	-27.80	3.62	553	18.762
h12	-31.65	3.85	593	18.892
h13	-35.71	4.06	641	19.049
h14	-48.57	12.86	689	19.201

Al termine della elaborazione si è rilevato riscontrato una convergenza dei valori pari a 7.134087%, come riportato nella tabella sottostante:

Iteration=0 RMS=38.540754 m/s (10.852977%)	Iteration=1 RMS=36.775552 m/s (9.007975%)
Iteration=2 RMS=35.672586 m/s (8.489753%)	Iteration=3 RMS=34.908693 m/s (8.166271%)
Iteration=4 RMS=34.278709 m/s (7.924502%)	Iteration=5 RMS=33.713546 m/s (7.719919%)
Iteration=6 RMS=33.178251 m/s (7.530316%)	Iteration=7 RMS=32.669000 m/s (7.342830%)
Iteration=8 RMS=32.216061 m/s (7.181861%)	Iteration=9 RMS=31.792238 m/s (7.033614%)
Iteration=10 RMS=31.409495 m/s (6.896768%)	Iteration=11 RMS=31.086935 m/s (6.802938%)
Iteration=12 RMS=30.789861 m/s (6.794545%)	Iteration=13 RMS=30.512558 m/s (6.822137%)
Iteration=14 RMS=30.270437 m/s (6.874273%)	Iteration=15 RMS=30.023599 m/s (6.917573%)
Iteration=16 RMS=29.802209 m/s (6.971378%)	Iteration=17 RMS=29.568648 m/s (7.033555%)
Iteration=18 RMS=29.344182 m/s (7.089185%)	Iteration=19 RMS=29.128315 m/s (7.134087%)



## 4.5 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (D.M. 14.01.2008)

Ai sensi del DM 14.01.2008 (GU del 04.02.2008, n. 29 – S.O. n. 30), punto 3.2.2. “Categoria di suolo e condizioni topografiche”, il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ( $V_{s,30}$ ) può essere considerato come segue:

<b>Calcolo <math>V_{s,30}</math> ottenuto dall'elaborazione MASW</b>				
<b>Strato</b>	<b>Quota da p.c. [m]</b>	<b><math>h_i</math> [m]</b>	<b><math>V_{s,i}</math> [m/s]</b>	<b><math>h_i / V_{s,i}</math> [s]</b>
h1	-1.43	1.43000	145	0.00983
h2	-3.08	1.65000	129	0.01282
h3	-4.95	1.87000	194	0.00965
h4	-7.03	2.08000	217	0.00958
h5	-9.34	2.31000	238	0.00971
h6	-11.87	2.53000	307	0.00823
h7	-14.62	2.75000	354	0.00778
h8	-17.58	2.96000	451	0.00657
h9	-20.77	3.19000	468	0.00682
h10	-24.18	3.41000	509	0.00670
h11	-27.80	3.62000	553	0.00655
h12	-30.00	2.20000	593	0.00371
h13	-30.00	0.00000	0	0.00000
h14	-30.00	0.00000	0	0.00000
		<b><math>V_{s,30}</math> [m/s]</b>	<b>306</b>	0.09794

In base al valore di  $V_{s,30}$  si può considerare l'area in esame di tipo C:

Sulla base dell'effettiva profondità di posa delle fondazioni si riporta di seguito la classificazione dei terreni in base alla normativa sismica vigente:

<b>Categoria di sottosuolo alla quota di posa delle fondazioni</b>		
<b>Quota di posa delle fondazioni</b>	<b><math>V_{s,30}</math> [m/s]</b>	<b>Categoria di Sottosuolo</b>
Fondazioni posate a quota 0,00 da p.c.	306	TIPO C
Fondazioni posate a quota -1,00 da p.c.	323	TIPO C
Fondazioni posate a quota -2,00 da p.c.	345	TIPO C
Fondazioni posate a quota -3,00 da p.c.	371	TIPO B
Fondazioni posate a quota -4,00 da p.c.	390	TIPO B
Fondazioni posate a quota -5,00 da p.c.	409	TIPO B

Vignola, 13/07/2010



Dott. Geol. Giorgio Masotti

## PROGETTO ESECUTIVO

### **Realizzazione di una chiavica sul rio Loreto alla confluenza in sponda sinistra del fiume Tanaro in Comune di Alessandria (AL-E 1769)**

Committente:



---

### **AII.3 - ALTRE INDAGINI GEOGNOSTICHE**

---

Il Geologo:

Dr. Francesco Cerutti

---



Sede legale e uffici : via Adorni, 2 - 43121 Parma  
Tel 0521 233999 - Fax 0521 200181  
Sede locale: via Ferrari 5/G 46045 Marmirolo MN  
Tel-Fax 0376 467967  
email [info@engeo.it](mailto:info@engeo.it) - [www.engeo.it](http://www.engeo.it)

Tecnosuolo s.r.l. 27040 Coassimano (PV) S.S. 35 n. 10 Tel. (0383) 881852 Fax (0383) 881847				COMMITTENTE LOMBARDINI S.p.a				SONDAGGIO N° 2			
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE				LOCALITA' Variante di Alessanaria sponda sinistra fiume Tanaro				DATA 14-15/04/03			
QUOTA INIZIO Piano campagna											

Profondità m	Svil.	Stratigrafia	CAMPIONI		DESCRIZIONE LITOLOGICA	Coeff. di permeabilità K cm/sec	Pesi kg/m³	Vene test m/m	S.P.T.			NOTE	
			Tip.	Profondità m					15	30	45		
0.00													
2.20					Sabbia limosa fine e sciolta di colore marrone chiaro, con livelli decimetrici più addensati presenti nel primo metro di sondaggio.								
5.20					Argilla sabbiosa umida e poco consistente di colore prevalentemente marrone.		1.0	0.1	1	1	1		
					Sabbia medio-grossolana sciolta di colore nocciola, inglobante ghiaia poligenica costituita da elementi subarrotondati di diametro centimetrico.					10	10	11	
12.00													
					ghiaia poligenica fine arrotondata immersa in sabbia limosa di colore marrone chiaro. Presenza di livelli decimetrici di materiali addensati a 15 e 17 metri.					18	21	18	
17.60						2,8x10 <sup>-6</sup>							
					Sabbia argillosa fine e addensata di colore grigio chiaro. Presenza di un livello di argilla compreso tra 20.5 - 21 metri moderatamente compatto e debolmente umido.		3.5 4.3	0.2 1.7			6	9	14
21.00													

CAMPIONE: ☐ Rimaneggiato ☐ Semidisturbato ☐ Indisturbato

ARELLA	LENTI	ARELLA	LENTI	ARELLA	LENTI
ARELLA	LENTI	ARELLA	LENTI	ARELLA	LENTI

CASSETTE  
CATALOGATRICI

n° 11

LIVELLO FALDA			
DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
14-04-03	m 55.00	m 55.00	m 5.80

Tecnosuolo s.r.l. 27040 Casalmateo (PV) S.S. 35 n. 10 Tel. (0383) 891852 Fax (0383) 891847				COMMITTENTE LOMBARDINI S.p.a		SONDAGGIO	
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE				LOCALITA' Variante di Alessandria sponda sinistra fiume Tanaro		N° 2	
QUOTA INIZIO Piano campagna				DATA		18-17-18/04/03	

Profondità m.	M	CAMPIONI	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Coeff. di permeabilità K cm/sec	Pochet Mpa	Vane test Mpa	S.P.T.			NOTE
							15	30	45	
21.00			Sabbia argillosa fine e addensata di colore grigio chiaro, presenza di un livello di argilla compreso tra 20.5 - 21 metri moderatamente compatta e debolmente umida.							
24.00					4	0.1	7	12	16	
27.80			Sabbia fine sciolta di colore grigio chiaro inglobante ghiaietto subarrotondato	$1,5 \times 10^{-2}$						
					3	0.8				
			Argilla di colore marrone chiaro debolmente umida e compatta.		4.5	2				
31.50					3.1	0.2				
			Sabbia argillosa umida e addensata di colore grigio con la presenza di un livello di sabbia grossolana sciolta a quota 38 - 38.5 metri.		3	0.1				
38.50					2.8	0.7				
			Argilla moderatamente compatta e debolmente umida di colore prevalentemente marrone, inglobante ciastri millimetrici e spigoli vivi.		4.5	2				
43.00										

 CAMPIONE: ☐ Rimaneggiato ☐ Amidisturbato ☐ Indisturbato


CASSETTE CATALOGATRICI

n° 11

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
14-04-03	m55.00	m55.00	m.5.80

DOC. NO. 028 21.05.'03 07:05


ID:TECNDSUOLO

FAX: 0383891847

PAGIN15

Tecnologia s.r.l. 27040 Casellina (PV) S.S. 35 n. 10 Tel. (0383) 891852 Fax (0383) 891847						<b>COMMITTENTE</b> LOMBARDINI S.p.a.			<b>SONDAGGIO</b>  N° 2				
<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE</b>						<b>LOCALITA'</b> Variante di Alessandria sponda sinistra fiume Tanaro			<b>DATA</b> 18-22/04/03				
						<b>QUOTA INIZIO</b> Piana campagna							
Profondità m.		<b>CAMPIONI</b>		DESCRIZIONE LITOLOGICA		Coeff. di permeabilità x cm/sec		Pochet litro		S.P.T. 16 30 48		NOTE	
43.00				Sabbie argillose fine e addensate debolmente umide di colore nocciola.									
43.80													
47.00				Argilla moderatamente umida e compatta di colore marrone chiaro.									
35.00													

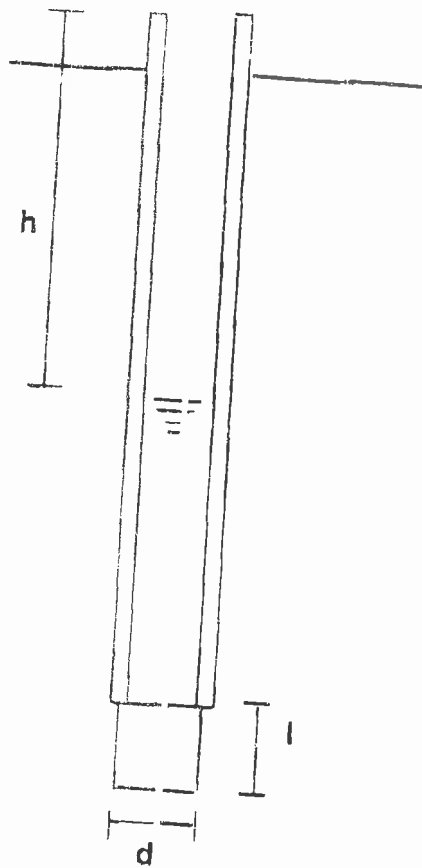
**CAMPIONI:** ☐ Riformeggiata    ☒ Semi disturbato    ☐ Indisturbato



CARTELLI CATALOGATICI

n° 11

LIVELLO FALDA			
DATA	Prof. foro	Prof. chestim.	Livello acqua
14-04-03	m55.00	m55.00	m. 5.80



$$k = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot Cl \cdot \Delta l} \ln \frac{h_{in}}{h_{out}}$$

$$Cl = 1 \text{ per } l > d$$

$$Cl = 2\pi d + l \text{ per } l \leq d$$



### Sondaggio n. 2

Profondità mt. 17.00 ; Prova n. 1

Tempo (secondi)	Altezza di carico (cm.)
0	678
30	674
60	673
180	669
300	665
600	662
900	660
1800	651
3600	634

$A = 126.6 \text{ cmq.}$

$Cl = 80.00 \text{ cm.}$

$k = 2.9 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec}$

### Sondaggio n. 2

Profondità mt. 25.00 ; Prova n. 2

Tempo (secondi)	Altezza di carico (cm.)
0	690
30	686
60	684
180	682
300	680
600	678
900	676
1800	674
3600	667

$A = 126.6 \text{ cmq.}$

$Cl = 100.00 \text{ cm.}$

$k = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec}$

Codice perorazione: 1125

Perforazione: S5

Data inizio: 16/04/1996

Data fine: 16/04/1996

Provincia: AL

Comune: Alessandria

Cantiere: Viabilità Variante di Alessandria - raccordo stradale tra la S.S. 30 e la S.S. 10

Località: Case Quarteretto

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione		Profondità` (m)	N1	N2	N3	N <sub>SPT</sub>
1125	6.80	terreno di riporto sabbioso argilloso con resti vegetali e laterizi	1125	3.00	4	2	3	5
1125	9.00	sabbia a tratti limosa con scarsi ciottoli	1125	6.00	8	7	6	13
1125	11.00	sabbia medio fine con alcuni ciottoli	1125	9.00	10	11	9	20
1125	12.00	sabbia a tratti limosa con ciottoli	1125	12.50	12	15	13	28
1125	13.50	sabbia medio fine	1125	16.50	21	29	30	59
1125	20.00	ghiaia media con sabbia a tratti limosa con alcuni ciottoli	1125					



Codice perorazione: 1126  
Perforazione: S6  
Data inizio: 17/04/1996  
Data fine: 17/04/1996  
Provincia: AL  
Comune: Alessandria  
Cantiere: Viabilità Variante di Alessandria - raccordo stradale tra la S.S. 30 e la S.S. 10  
Località: Case Quarteretto

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione		Profondita` (m)	N1	N2	N3	N <sub>SPT</sub>
1126	1.20	terreno sabbioso argilloso con laterizi	1126	3.00	3	5	4	9
1126	2.20	argilla	1126	6.00	2	1	2	3
1126	2.50	argilla sabbiosa	1126	9.00	9	10	14	24
1126	5.10	argilla	1126	12.50	13	10	16	26
1126	7.00	argilla limosa poco consistente a tratti	1126	16.00	20	19	22	41
1126	10.00	sabbia media	1126					
1126	12.50	sabbia media con ghiaia medio fine	1126					
1126	16.00	sabbia media a tratti limosa con ghiaia medio grossa	1126					
1126	19.00	sabbia medio fine debolmente limosa con scarsa ghiaia fine	1126					
1126	20.00	ghiaia media con sabbia fine	1126					



GEOTECNICA VENETA s.r.l.

Via Dosa, 26/A - 30030 Olmo di Martellago (Ve)  
Tel. 041/908157 - Fax 041/908905  
e-mail gv@geotecnicaveneta.it

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

CONCESSIONE PER PROVE DI LABORATORIO SUI TERRENI ED IN SITO (SETTORI e c) N° 54839 DEL 13/04/06

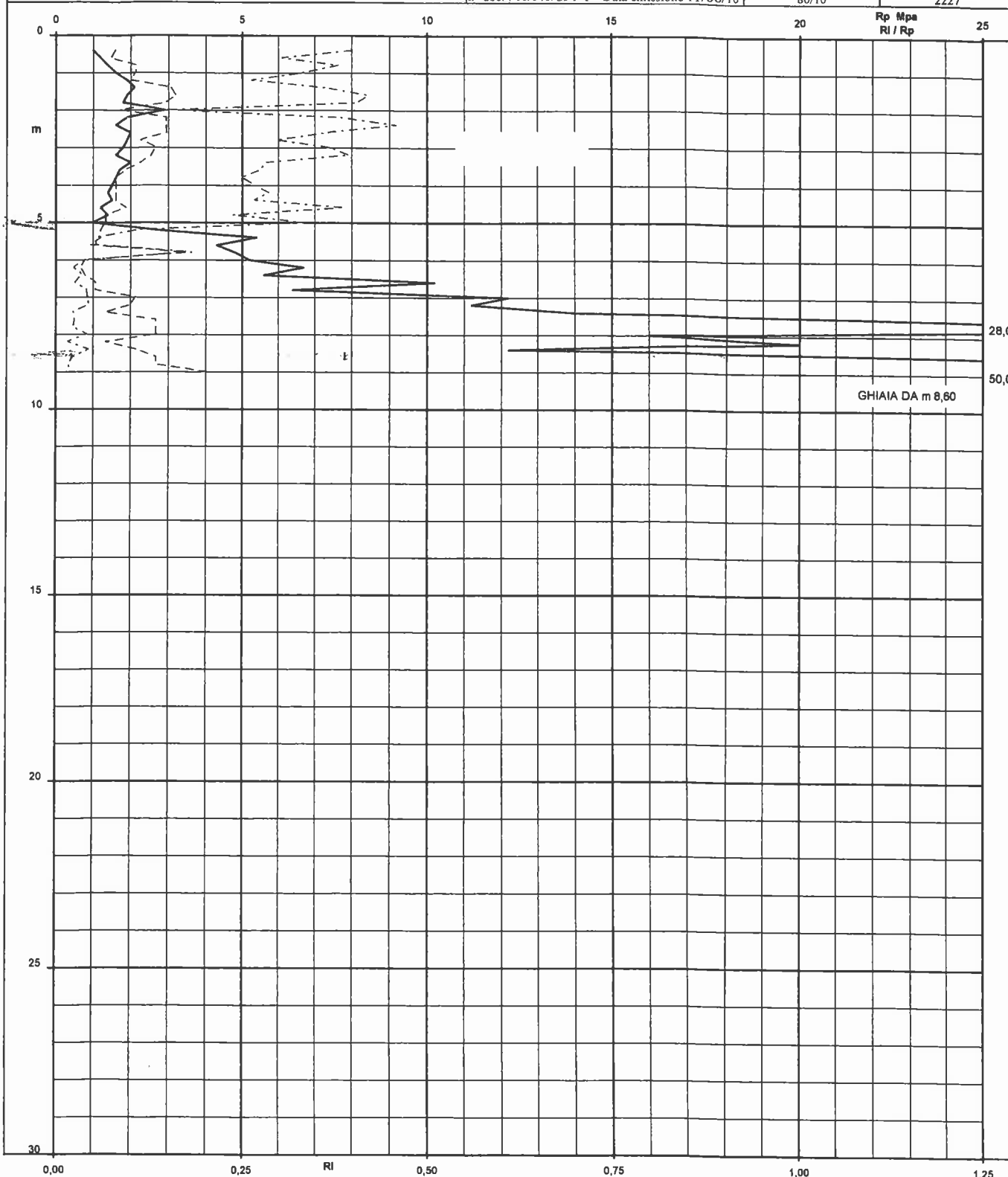


AZIENDA CON SISTEMA  
DI QUALITÀ CERTIFICATO

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA MECCANICA (AGI 1977)

mod. C.28 (rev. 1 del 08/05)

<b>Committente:</b> AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO <b>Cantiere:</b> ALESSANDRIA <b>Ubicazione Prova:</b> vedi planimetria <b>Quota:</b> 0,00 m <b>Riferita a:</b> piano campagna <b>Note:</b>	<b>Prova n°:</b> CPT 1	<b>Rp</b> Resistenza alla punta Mpa
	<b>Data:</b> 07/06/10	<b>RI</b> Resistenza laterale locale Mpa
	<b>Ns. rif.:</b> P10/040 <b>Elaborato D.R.</b>	<b>RI / Rp</b> Rapporto RI su Rp %
	<b>n° doc.:</b> 10/040/CPT-1 <b>Data emissione:</b> 11/06/10	<b>Verb. Acc. n°</b> 80/10
		<b>Certificato n°</b> 2227



Sperimentatore  
Geom. Marco Ferrini

Penetrometro "GOUDA" 20 t - punta meccanica tipo Begemann

Direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Diego Mortillaro