

**COMUNE DI LODI**  
PROVINCIA DI LODI  
REGIONE LOMBARDIA

LAVORO:

**PIANO INTEGRATO DI INTERVENTO  
AREA EX SICC**

**VIA PIETRO FERRABINI  
LODI**

FASE: **PIANO INTEGRATO DI INTERVENTO**      COMMESSA N° G 0 9 G A 0 8 6

TITOLO: **RELAZIONE GEOLOGICA ED  
IDROGEOLOGICA**

SERVIZIO	GEOLOGIA E GEOTECNICA
ELABORATO	<b>R G 0 1 A</b>
DOCUMENTO	G09GA018RG01A

ESTENSORE:



Dott. Geol.  
Giancarlo Bonini



**Geode** srl  
Via Martinella 50/C  
43100 – PARMA  
tel/fax 0521257057  
e-mail: [geologia@geodeonline.it](mailto:geologia@geodeonline.it)

COMMITTENTE:

**IMMOBILIARE  
REVELINO  
Via Roma, 63  
29010 Alseno (PC)**

**INDICE**

<b>A. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
A.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	4
<b>B. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>6</b>
B.1 QUADRO GEOLOGICO.....	6
B.2 ZONIZZAZIONE SISMICA.....	8
B.3 ASPETTI GEOMORFOLOGICI.....	12
B.4 IDROGEOLOGIA E VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI.....	13
B.4.1 <i>Le unità idrostratigrafiche</i> .....	14
B.4.2 <i>Piezometria</i> .....	16
<b>C. DATI GEOGNOSTICI.....</b>	<b>19</b>
C.1 DATI STRATIGRAFICI .....	19
C.1.1 <i>Prove penetrometriche dinamiche (SCPT)</i> .....	19
C.1.2 <i>Risultati delle prove penetrometriche</i> .....	20
C.1.3 <i>Pozzetti esplorativi</i> .....	20
C.1.4 <i>Prove di laboratorio</i> .....	24
C.1.5 <i>I Parametri fisici</i> .....	24
C.1.6 <i>I valori di Vs da indagine MASW</i> .....	25
C.2 CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA ED IDROGEOLOGICA .....	27
<b>D. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>27</b>
D.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE .....	27
D.1.1 <i>Coesione non drenata</i> .....	27
D.1.2 <i>Modulo Edometrico e coefficiente di consolidazione CC</i> .....	28
D.1.3 <i>Resistenza al taglio, densità relativa e modulo elastico</i> .....	28
D.1.4 <i>Riepilogo caratteristiche fisico-meccaniche del terreno</i> .....	30
D.2 AZIONI SISMICHE SECONDO LE NCT 2008 .....	30
D.2.1 <i>Categorie di sottosuolo</i> .....	32
D.3 VERIFICA ANALITICA PREVENTIVA DI CAPACITÀ PORTANTE .....	32
D.3.1 <i>Tipologia delle fondazioni</i> .....	32
D.3.2 <i>Approccio di calcolo</i> .....	33
D.3.3 <i>Metodo di calcolo</i> .....	33
D.3.4 <i>Verifiche di capacità portante</i> .....	35
D.4 SCAVI DI SBANCAMENTO .....	37
<b>E. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA E COMPATIBILITÀ .....</b>	<b>37</b>
E.1 COMPATIBILITÀ GEOLOGICO-SISMICA .....	37
E.1.1 <i>Valutazione degli effetti sismici in sito</i> .....	37
E.1.2 <i>I° livello di approfondimento</i> .....	38
E.1 COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA .....	39

E.2 COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA.....	40
E.2.1 La vulnerabilità.....	40
E.2.2 Pericolosità idraulica.....	44
E.2.3 Variante al P.R.G. del comune di Lodi.....	48
E.2.4 Pericolosità idrogeologica.....	50
<b>F. CONSIDERAZIONI FINALI E FATTIBILITA' GEOLOGICA .....</b>	<b>55</b>
<b>ALLEGATO 1 INDAGINI SISMICHE M.A.S.W. (MULTISPECTRAL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)</b>	<b>58</b>
<b>ALLEGATO 2 PROVE DI LABORATORIO .....</b>	<b>66</b>
<b>ALLEGATO 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>67</b>

## A. PREMESSA

Il presente studio geologico-tecnico è stato redatto al fine di ricavare le caratteristiche geologico-geomeccaniche del sito relativo al Progetto di “Piano Integrato di Intervento area ex-SICC del Comune di Lodi. L’area è posta a nord est del centro di Lodi, in sponda sinistra del Fiume Adda, in via Pietro Ferrabini; l’area è pianeggiante alla quota media di circa 67.5m s.l.m. (Figura A.1).

Lo studio svolto ha contemplato:

- Inquadramento geologico e geomorfologico: in esso vengono descritte le formazioni e le litologie presenti nell’area;
- Prove geognostiche;
- Ricostruzione stratigrafica ed idrogeologica;
- Caratterizzazione meccanica del sottosuolo;
- Analisi di Fattibilità geologica

### A.1 Normative di riferimento

- Legge n. 1086 del 05/11/1971.

*Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.*

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.*

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

*Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.*

- D.M. 9 Gennaio 1996

*Norme Tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*

- D.M. 16 Gennaio 1996

*Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'*

D.M. 16 Gennaio 1996

*Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche*

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

*Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996*

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

*Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996*

- O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 *Costruzioni in zona sismica*

- D.M. 14 Settembre 2005 *Norme Tecniche per le Costruzioni*

- Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’art.16, c.1 della L.R. 20/2000 per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”

- D.M. 14 Gennaio 2008. *Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*



Figura A.1. Ubicazione dell'area su CTR non in scala

## B. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### B.1 Quadro geologico

L'area in esame rientra nel settore orientale del Foglio 60 "Piacenza" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 di cui nella figura seguente si riporta un estratto.



#### LEGENDA

$a^1$  = Alluvioni attuali

$a^2$  = Alluvioni recenti

$a^3$  = Alluvioni antiche.

Figura B.1. Estratto dalla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000

In particolare l'area è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali olceni: essi sono distinti in alluvioni ghiaioso-sabbiose attuali ( $a^3$ ), rappresentate da ghiaie e sabbie delle fasce golenali e delle lanche che bordano i corsi d'acqua, in alluvioni limose, localmente sabbiose e ghiaiose anche attualmente esondabili, recenti ( $a^2$ ) che costituiscono il terrazzo più basso lungo il corso dei fiumi, e in alluvioni sabbiose-ghiaiose e argilloso limose, postglaciali, antiche ( $a^1$ ).

Nell'estratto della carta litologica della Regione Lombardia riportato in figura seguente si osserva come nell'area in esame siano presenti sabbie limose e sabbie poco gradate con ghiaia.

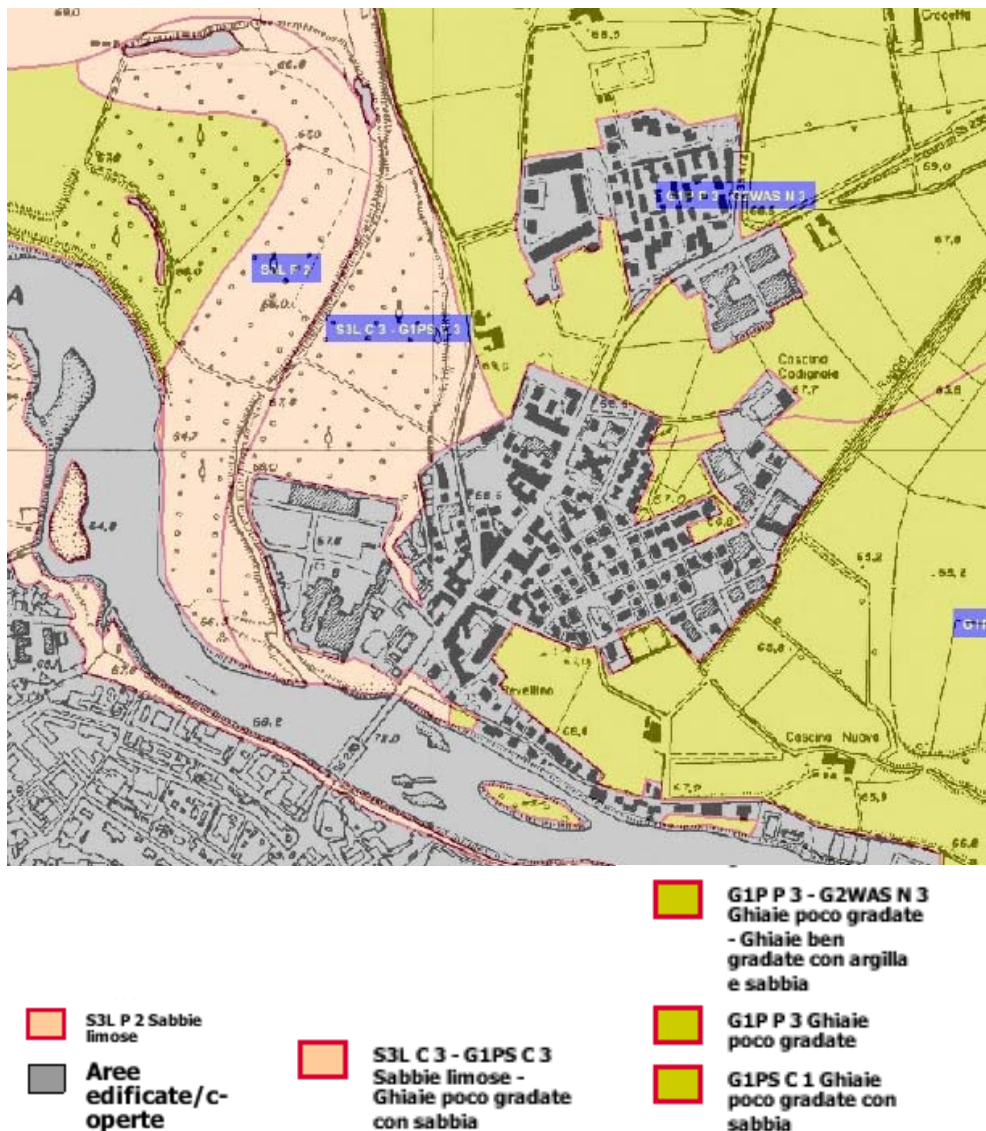


Figura B.2. Estratto carta litologica consultabile all'indirizzo <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>.

Nella carta litologica e morfologica del Piano Cave della Provincia di Lodi (anno 2003) si osserva come nella zona di interesse sia indicata la presenza di depositi ghiaiosi delle alluvioni attuali e recenti della valle attuale dell'Adda, poste immediatamente a sud dei depositi ghiaioso-sabbiosi delle alluvioni terrazzate e delle alluvioni terrazzate antiche.

Le alluvioni più recenti, che occupano l'alveo attuale e costituiscono i terrazzi più prossimi al fiume; sono costituite da depositi prevalentemente ghiaiosi organizzati in corpi sedimentari ben distinti e caratterizzati da una buona selezione granulometrica. Le alluvioni attuali e recenti occupano una fascia di larghezza variabile tra 250m e 1500m in funzione delle caratteristiche dell'alveo attuale e sono limitate da superfici terrazzate costituite dalle alluvioni terrazzate di età olocenica, caratterizzate da una maggiore percentuale di frazione sabbiosa. Sopraelevate rispetto alle alluvioni terrazzate si trovano le alluvioni terrazzate antiche (Olocene) costituite da ghiaie sabbiose, deposte nel corso di una fase deposizionale antica post glaciale, con granulometria mediamente più fine e abbondante frazione sabbiosa.

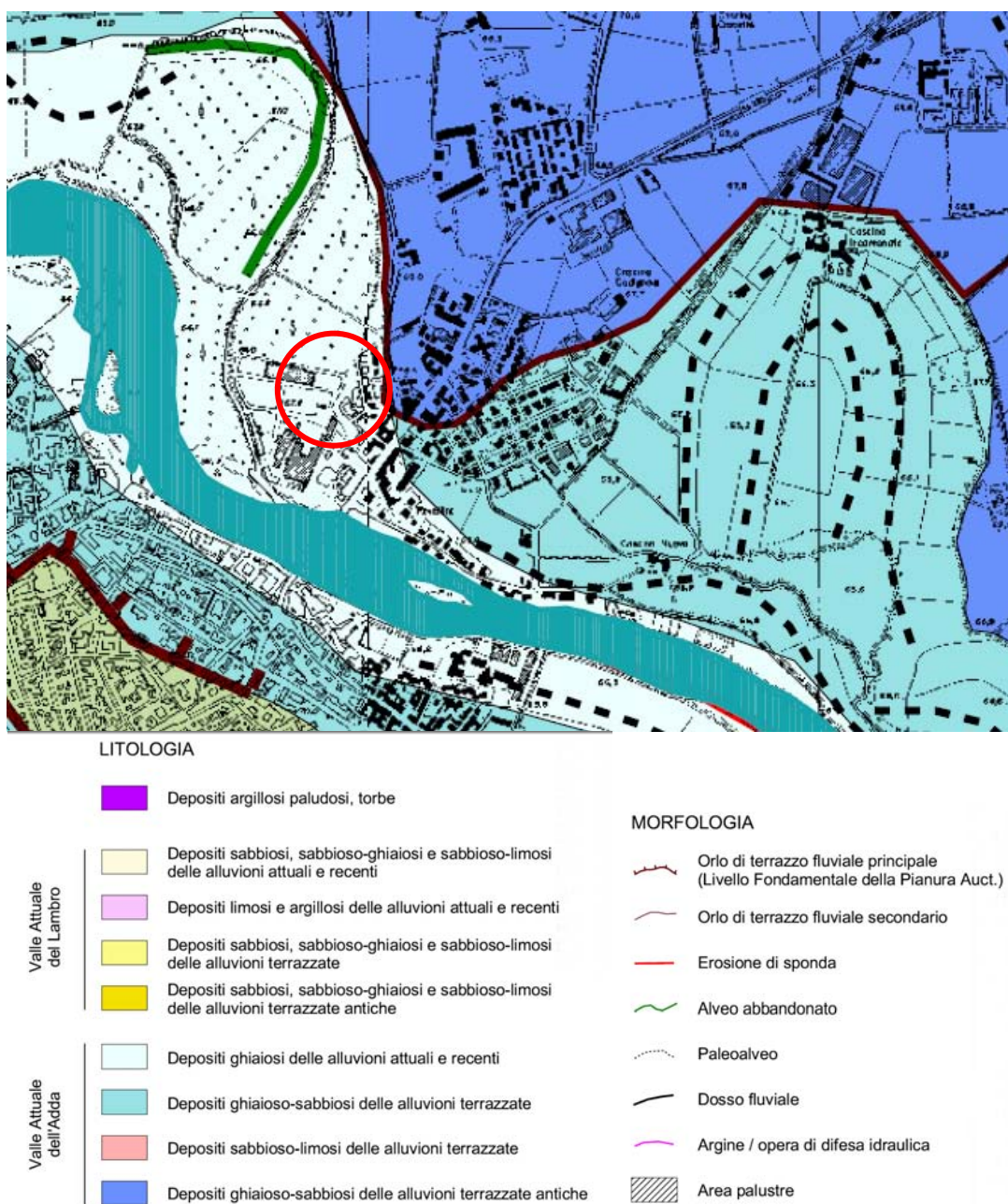


Figura B.3. Estratto carta litologica e morfologica del Piano Cave della Provincia di Lodi (gennaio 2003).

## B.2 Zonizzazione sismica

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 (ordinanza recepita dalla Regione Lombardia con la D.G.R. n. 14964/03) il Comune di Lodi è classificato in **zona 4**.

Nella figura seguente viene riportata la classificazione sismica a scala regionale.



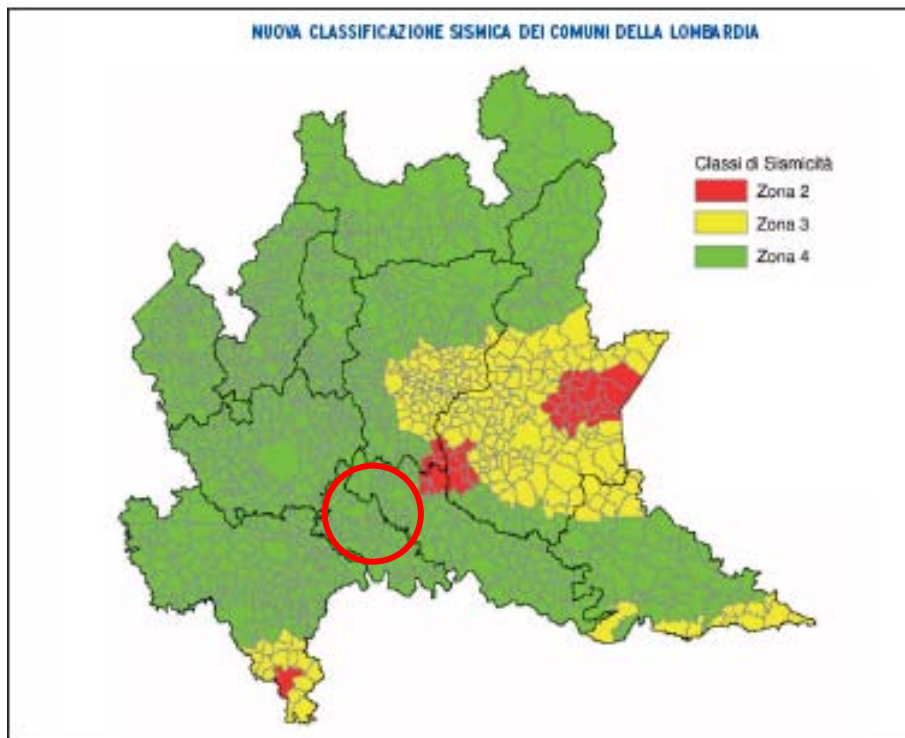


Figura B.4. Riclassificazione sismica in base all'Ordinanza del PCM n. 3274/2003

Nelle norme tecniche allegate all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 ogni zona sismica è contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A).

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [ $a_g/g$ ]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ $a_g/g$ ]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Nelle classificazioni definite dai decreti emessi fino al 1984 la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità  $S$ , nella classificazione proposta dal Gruppo di Lavoro del 1998 vennero invece proposte tre categorie sismiche (prima, seconda e terza) ed una categoria per i comuni Non Classificati, la nuova classificazione (*Ordinanza del PCM n.3274/2003*) prevede invece la suddivisione in quattro zone numerate da 1 a 4. Nello schema seguente si riporta la corrispondenza tra le diverse classificazioni.

Decreti fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 2003
$S = 12$	Prima categoria	Zona 1
$S = 9$	Seconda categoria	Zona 2
$S = 6$	Terza categoria	Zona 3
Non classificato	Non classificato	Zona 4

Con Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14/01/08 sono state approvate le *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni* (G.U. n°29 del 04/02/08); le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" sono in vigore, a partire dal 5 marzo 2008, contestualmente alla norma transitoria che, fino al 30 giugno 2009 (Art 20 L.31 del 28 febbraio 2008), dà la possibilità di operare – in

alternativa – con le norme tecniche precedenti, a parte le eccezioni di esclusiva competenza statale, di cui agli elenchi A e B dell'allegato 1 al decreto 21 ottobre 2003 del Capo del DPC.

“Art.20. – (Regime transitorio per l'operatività della revisione delle norme tecniche per le costruzioni). –1. Il termine di cui al comma 2-bis dell'articolo 5 del decreto-legge 28 maggio 2004, n.136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n.186, già prorogato il 31 dicembre 2007, ai sensi dell'articolo 3, comma 4-bis, del decreto-legge 28 dicembre 2006, n.300, convertito, con modificazioni, dalla legge 26 febbraio 2007, n.17, è differito al 30 giugno 2009.

... omissis...”

La Camera ha approvato in via definitiva il disegno di legge di conversione del decreto 30 dicembre 2008, n. 207, recante proroga di termini previsti da disposizioni legislative e disposizioni finanziarie urgenti. Nel provvedimento risulta aggiunto – all'art. 29 – il seguente comma:

“1-septies. Al comma 1 dell'articolo 20 del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248, convertito, con modificazioni, dalla legge 28 febbraio 2008, n. 31, le parole "30 giugno 2009" sono sostituite dalle seguenti: "30 giugno 2010".”

Il 23 giugno 2009 la Camera ha approvato la legge di conversione del Decreto Legge Abruzzo 39/2009, che prevede l'entrata in vigore dal 1° luglio 2009 delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. Di seguito si riporta il Comma 1 bis art 1: «Art. 1-bis. - (Misure urgenti in materia antisismica). – 1. All'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248, convertito, con modificazioni, dalla legge 28 febbraio 2008, n. 31, e successive modificazioni, al primo periodo, le parole: "30 giugno 2010" sono sostituite dalle seguenti: "**30 giugno 2009**" e il secondo periodo è` soppresso».

Nel marzo 2004 è stata pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> una zonazione sismogenetica “Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo” a cura di Meletti et al. (2004) nella quale partendo dalla zonizzazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 2000) sono state accorpate e modificate le zone sorgente rendendole più coerenti con le informazioni e i dati acquisiti negli ultimi anni. In particolare il territorio del comune di Lodi si colloca esternamente alle zone sismogenetiche individuate, tra la zona 907 e la zona 911 (Meletti et al, 2004).

Nel “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani” (Gruppo di lavoro CPTI, 2004 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna) per un intorno significativo dell'area in esame (un raggio di 30 Km con centro lat. 45.322 e long. 9.509) sono stati identificati 6 eventi significativi dei quali si riportano alcuni dati nella tabella successiva.

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (45.322, 9.509) e raggio 30 km																													
N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
59	DI	1276	7	28	18	30		Italia settent.	CFTI	10	55	60	M	45.08	9.55	A	5.11	0.12	4.71	0.18	4.91	0.17	911	G	119	516	59		
620	DI	1781	9	10				CARAVAGGIO	DOM	1	65	65		45.497	9.644	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	907	G		288	620		
647	DI	1786	4	7				PIACENZA	DOM	8	70	65		45.298	9.595	A	5.31	0.16	5.01	0.24	5.18	0.22	911	A		522	647		
694	DI	1802	5	12	9	30		Valle dell'Oglio	CFTI	66	85	80		45.42	9.85	A	5.67	0.09	5.54	0.13	5.54	0.13	907	G	355	289	694		
1664	CP	1918	1	13	12			LODI	POS85			45		45.333	9.5	A	4.86	0.14	4.34	0.21	4.56	0.19	911	A		2086	1664		
2054	DI	1951	5	15	22	54		LODIGIANO	DOM	126	60	65		45.254	9.55	A	5.24	0.07	4.91	0.11	5.09	0.10	911	A		2113	2054		

Numero di record estratti: 6

N numero d.ordine del record N numero d.ordine del record  
 Tr tipo di record DI: parametri calcolati da dati di base macrosismici; CP: parametri adottati da cataloghi parametrici  
 Tr tipo di record  
 Anno tempo origine: anno Anno tempo origine: anno  
 Me tempo origine: mese Me tempo origine: mese  
 Gi tempo origine: giorno Gi tempo origine: giorno  
 Or tempo origine: ora Or tempo origine: ora  
 Mi tempo origine: minuto Mi tempo origine: minuto

Me Magnitudo equivalente  
 De Errore associato alla stima di Me  
 Mm Magnitudo macrosismica (calibrata a Ms)  
 Dm Errore associato alla stima di Mm  
 Tm Codice di determinazione di Mm  
 Ms magnitudo calcolata sulle onde di superficie  
 Ds errore associato alla stima di Ms  
 Ts codice di determinazione di Ms  
 Maw Magnitudo momento --

<b>Se</b> tempo origine: secondo	<b>Daw</b> Errore associato alla stima di Maw --
<b>AE</b> denominazione dell'area dei massimi effetti	<b>TW</b> codice di determinazione di Maw O valore osservato --
<b>AE</b> denominazione dell'area dei massimi effetti	<b>Mas</b> Magnitudo calcolata sulle onde di superficie fino al 1980 coincide con Ma di CPT199
<b>Rt</b> codice dell'elaborato di riferimento vedi tabella 1	<b>Ma</b> Magnitudo media (calibrata a Ms)
<b>Np</b> numero dei dati puntuali di intensità disponibili	<b>Das</b> Errore associato alla stima di Mas fino al 1980 coincide con Da di CPT199
<b>Np</b> numero dei dati puntuali di intensità disponibili	<b>Da</b> Errore associato alla stima di Ma
<b>Imx</b> intensità massima x 10 (scala MCS)	<b>TS</b> Codice di determinazione delle magnitudo per la zona etnea En: valore per il calcolo del quale è stata usata la relazione $Io/Mm$ di Azzaro e Barbano (1997)
<b>Imx</b> intensità massima x 10 (scala MCS)	<b>Msp</b> Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996) per $Ms > 5.5$ : $Msp = Ms$ ; per $Ms \leq 5.5$ : $Msp = (Ms + 0.584) / 1.079$
<b>Io</b> intensità epicentrale x 10 (scala MCS)	<b>Dsp</b> Errore associato alla stima di Msp
<b>Io</b> intensità epicentrale x 10 (scala MCS)	<b>ZS9</b> Zona sorgente di ZS9 cui l'evento è assegnato
<b>TI</b> codice di determinazione di Io M: valore assegnato manualmente	<b>TZ</b> Codice di assegnazione alla zona sorgente G: assegnazione geografica A: assegnazione ponderata cautelativa
<b>TI</b> codice di determinazione di Io	<b>Ncft</b> Numero progressivo dei record nel catalogo CFT12
<b>Lat</b> localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali	<b>Ncft</b> Numero progressivo dei record nel catalogo CFT12
<b>Lat</b> localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali	<b>Nnt</b> Numero d'ordine dei record nel catalogo NT4.1.1
<b>Lon</b> localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimalidecimali	
<b>Lon</b> localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimalidecimali	
<b>TL</b> codice di localizzazione A: localizzazione macrosismica automatica M: localizzazione macrosismica manuale S: localizzazione strumentale	
<b>TL</b> codice di localizzazione	

Tabella B.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 30Km dall'area in esame.

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, riportata nella figura seguente e disponibile sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>, è stata elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, riferimento ordinanza PCM del 28 Aprile 2006 n.3519, all.1b. In tale cartografia il comune di Lodi ricade in una zona con accelerazione massima al suolo (amax) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat .A) compresa tra 0.050 e 0.075g.

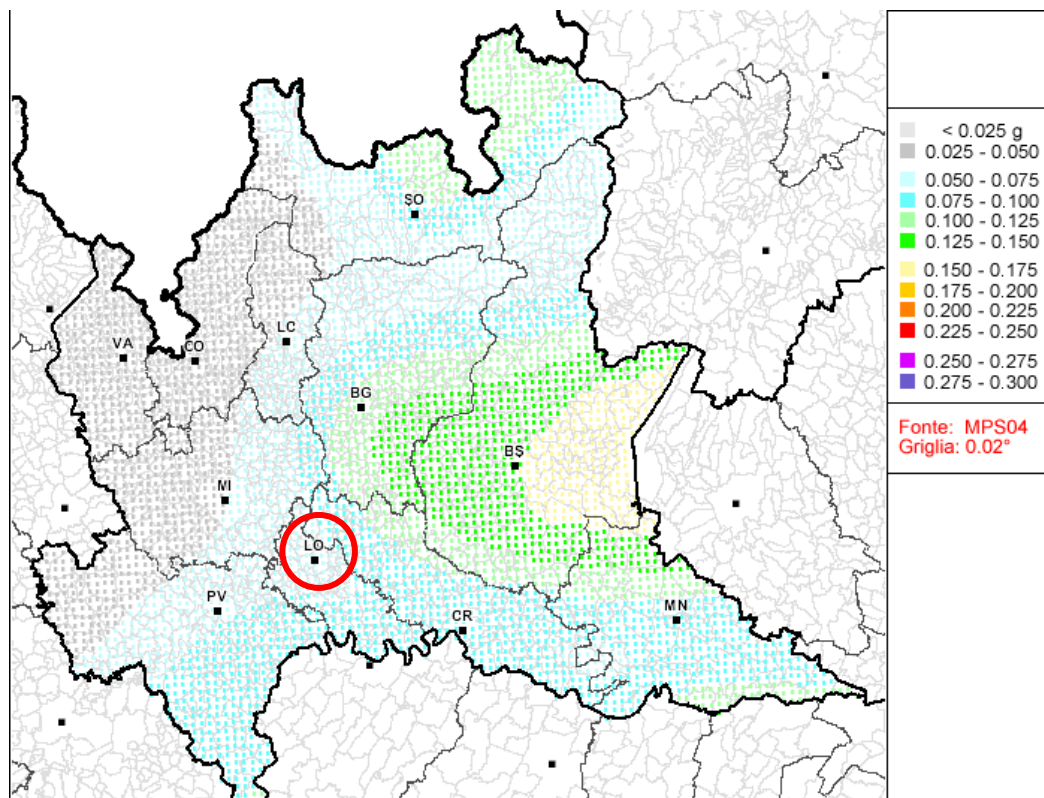


Figura B.5. Figura B.6. Estratto da “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” espressa in termine di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat .A .All.2.3.1)

### B.3 Aspetti geomorfologici

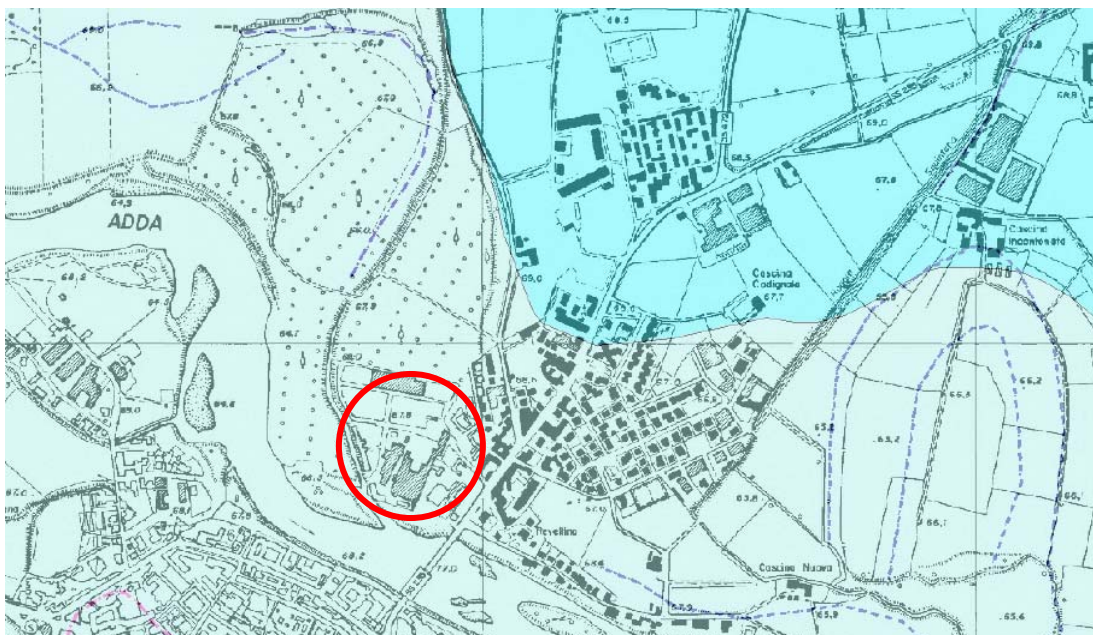
L'area in esame si trova in sponda sinistra del Fiume Adda ed è pertanto, in prevalenza, il risultato dell'azione prodotta dalle acque di scorrimento superficiale e dall'attività antropica. Come si osserva dall'estratto della carta geomorfologica riportato nella figura seguente e nella carta geomorfologica e litologica del Piano Cave della Provincia di Lodi, riportata nei paragrafi precedenti, l'area è ricompresa all'interno della pianura alluvionale attuale e recente del Fiume Adda, tra l'alveo attuale a sud e i terrazzi più antichi a nord. La valle attuale del fiume Adda è costituita da una vasta area depressa mediamente 10 m rispetto al livello fondamentale della pianura. Si caratterizza per una marcata asimmetria, con la parte di fondovalle in sinistra idrografica molto più ampia e terrazzata. All'interno della Valle Attuale si riconoscono diversi ordini di terrazzi fluviali discontinui, testimoni di diverse fasi di aggradazione ed erosione durante l'Olocene (Quadro ambientale del Piano cave della Provincia di Lodi).

Una caratteristica morfologica peculiare del Fiume Adda consiste nelle dimensioni piuttosto ridotte dell'alveo attuale rispetto all'ampiezza della valle corrispondente. La riduzione della lunghezza, della profondità, della larghezza e del raggio di curvatura dei meandri più recenti è indice di una diminuzione delle portate del corso d'acqua, dovuta a cambiamenti climatici e diversioni del percorso.

All'altezza di Lodi si osserva per il fiume Adda la transizione da un regime idrografico caratterizzato da canali intrecciati a un fiume meandriforme: tale zona di transizione si ritiene sia traslata nel corso dell'Olocene, come testimoniato dall'andamento del terrazzo principale segnato dall'azione erosiva di antichi meandri.

Numerose sono le tracce di idrografia abbandonata, quali tracce di meandri e alveo abbandonati e paleo alvei, a testimonianza appunto delle variazioni del tracciato in seguito ad eventi naturali, come anche alle opere idrauliche di arginatura e di regimazione delle acque.

L'azione antropica ha infatti intensamente modificato l'aspetto e le caratteristiche della Valle Attuale dell'Adda con interventi di livellamento a scopo agricolo, la realizzazione della rete irrigua artificiale, la costruzione dei centri abitati e con l'attività estrattiva.



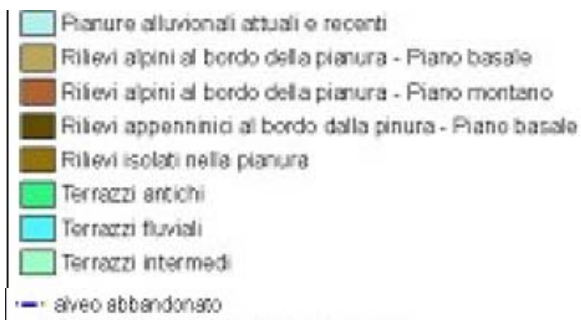


Figura B.7. Estratto carta geomorfologica consultabile all'indirizzo <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>

#### B.4 Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi

Il reticolo idrografico di questa porzione territoriale presenta come elemento principale il fiume Adda, il corso d'acqua di primo livello che scorre a su ovest del sito. Si segnala inoltre la presenza di un canale secondario di irrigazione posto ad ovest rispetto all'area in esame e di un altro, di minore entità, ubicato a nord est.

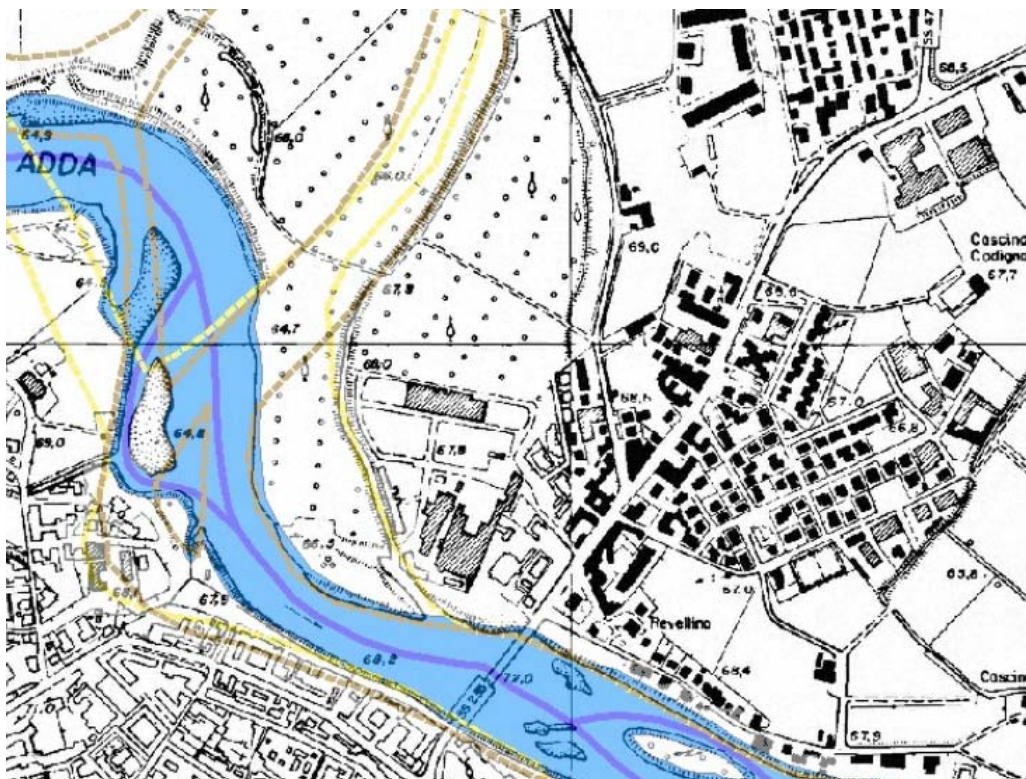




Figura B.8. Estratto carta idrologia consultabile all'indirizzo <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>.

#### B.4.1 Le unità idrostratigrafiche

La conoscenza idrogeologica del territorio indagato è aumentata con la pubblicazione dei risultati delle ricerche e della collaborazione triennale tra R.E.R. ed ENI-AGIP. La situazione idrogeologica dell'area documenta come il sito in esame sia ubicato in una zona di ricarica potenziale del gruppo acquifero A, con capacità protettiva dai suoli bassa.

Il gruppo acquifero A presenta di norma spessore piuttosto ridotto; il gruppo è rappresentato da ghiaie e ghiaie grossolane, poligeniche, da grigie a grigio giallastre, a matrice sabbiosa da media a molto grossolana, a stratificazione da media a molto spessa. L'ambiente di sedimentazione è continentale, soprattutto pianie alluvionali con sistemi fluviali tipo braided.

I caratteri sedimentari della successione del gruppo sono compatibili con sistemi fluviali caratterizzati da un'elevata energia dei processi sedimentari, energia determinata dalle fasi di deterioramento climatico dei cicli glaciali pleistocenici. Allontanandosi dalle aree alpine di alimentazione, la successione sedimentaria del gruppo mostra una chiara variazione laterale di facies, con graduale aumento verso Sud delle litologie sabbiose a scapito di quelle ghiaiose. La successione del gruppo acquifero A è costituita da facies sedimentarie a porosità e permeabilità elevate, quali ghiaie e ghiaie grossolane a matrice sabbiosa, e sabbie medio grossolane. Nella successione del gruppo sono presenti intercalazioni decimetri che di argilla e argilla siltosa che comunque non determinano, se non a scala locale, confinamenti della falda. (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia –Relazione Tecnica).

Nell'area in esame lo spessore cumulativo dei depositi porosi permeabili è di circa 60 m, la profondità del limite basale varia tra 0 e -50 m s.l.m., mentre la capacità protettiva dei suoli, come definito precedentemente, è definibile bassa .

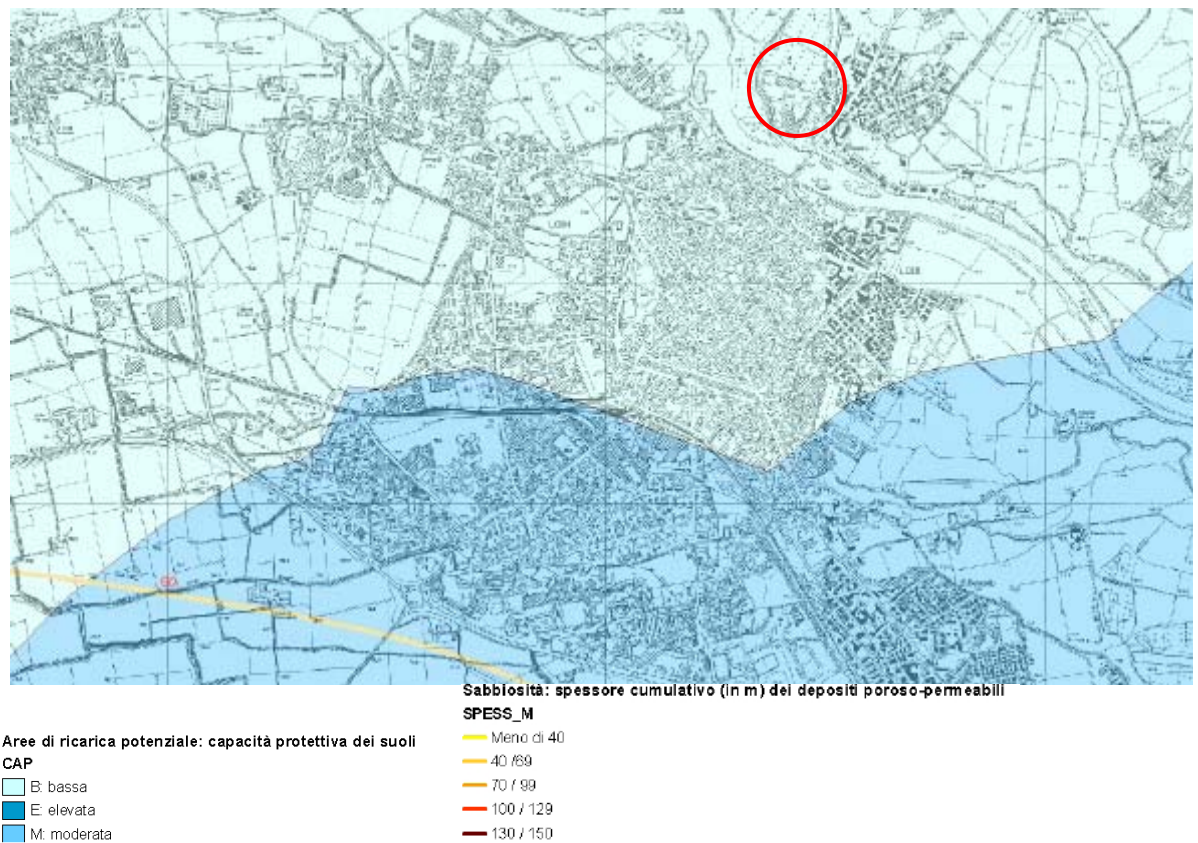
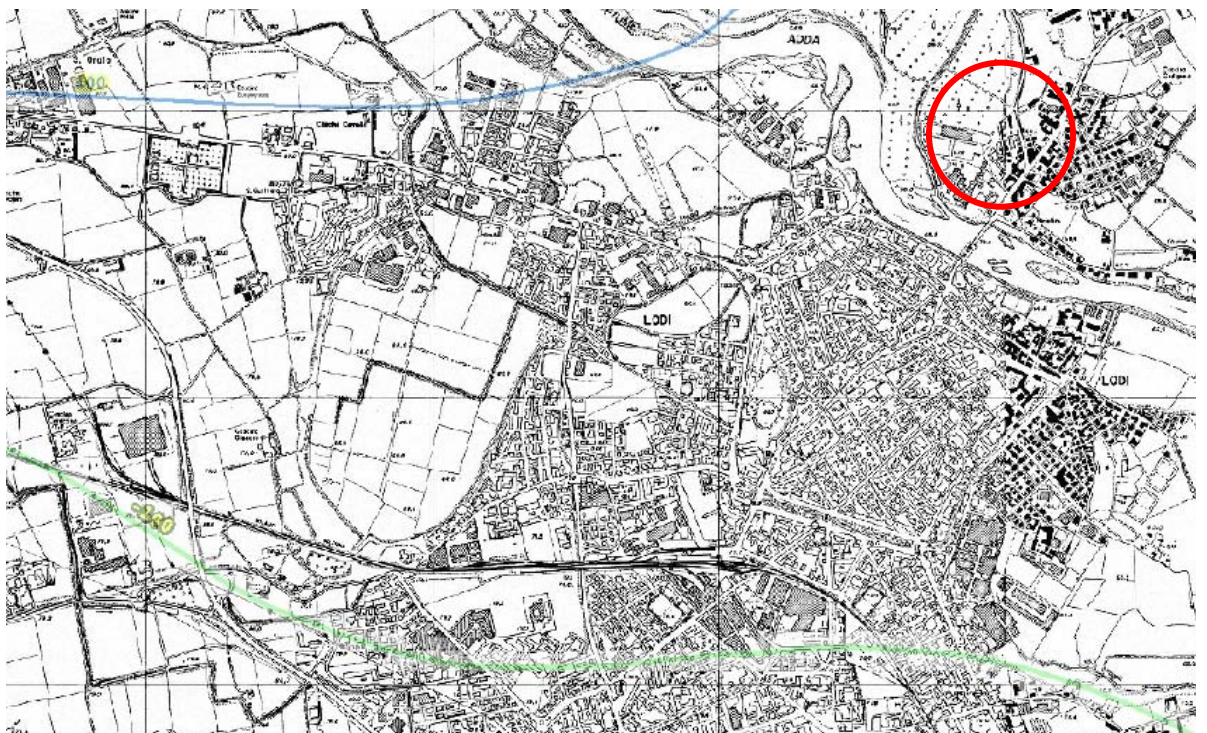


Figura B.9. Estratto carta gruppo acquifero A sotterranea consultabile all'indirizzo <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>.

Il gruppo acquifero stratigraficamente sottostante all'acquifero A è denominato B: presenta spessore cumulativo pari a circa 40 m, profondità del limite basale e delle isopache del gruppo acquifero saturato con acqua dolce posti a -100 m s.l.m.



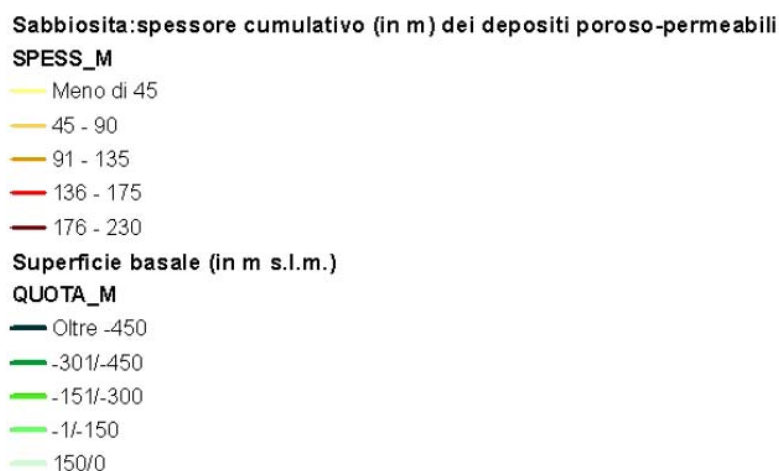


Figura B.10. Estratto carta gruppo acquifero B consultabile all'indirizzo <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>.

Unità Idrostratigrafiche	Unità Stratigrafiche
<b>Gruppo Acquifero</b>	
<b>A</b>	<b>Fluvioglaciale Wurm</b>
<b>B</b>	<b>Fluvioglaciale Riss-Mindell</b>
<b>C</b>	<b>Villafranchiano</b>
<b>D</b>	

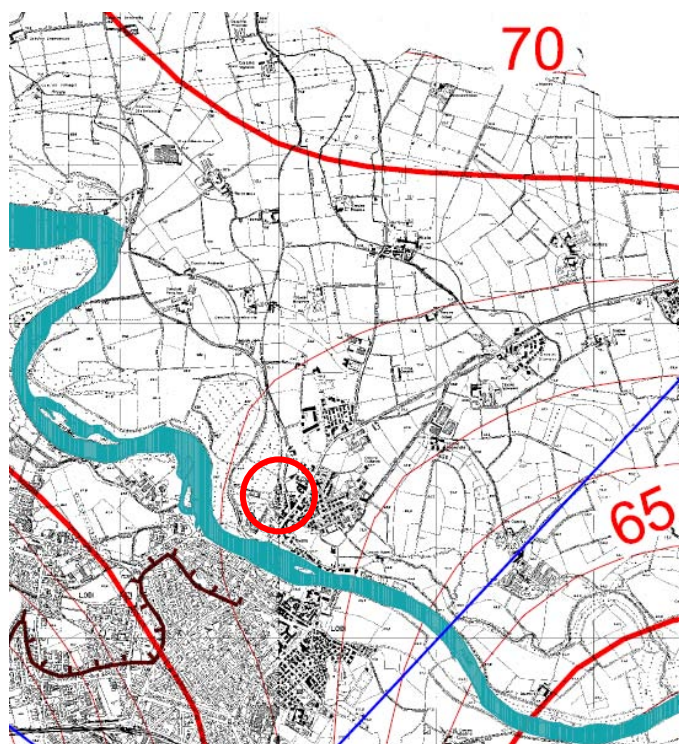
Figura B.11. Schema riassuntivo di correlazione tra Unità Geologiche e Unità Idrostratigrafiche

#### B.4.2 Piezometria






Lo studio dei dati piezometrici relativi all'area in esame ha tenuto in considerazione i dati riportati all'interno della cartografia del Piano Cave della provincia di Lodi e delle indagini eseguite in sito.

Nella Tav. 3 "Carta idrogeologica delle direzioni di deflusso" del Piano Cave, si osserva come l'area in esame sia compresa tra le isofreatiche dei 68-69 m s.l.m. Nella Tav. 4 "Carta idrogeologica della soggiacenza" il sito ricade all'interno delle aree con soggiacenza della falda inferiore a 2.5 m.

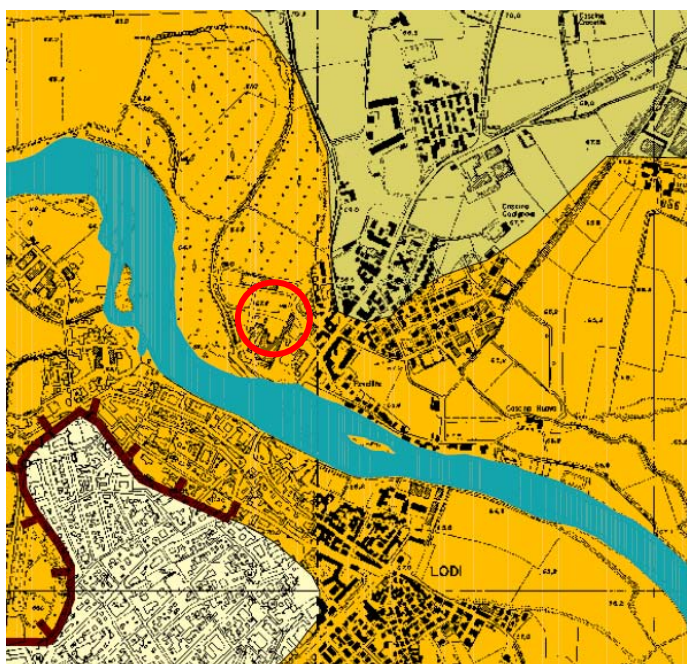




LEGENDA

-  Curva isofreatica principale (equidistanza: 5 metri)
-  Curva isofreatica secondaria (equidistanza: 1 metro)
-  Fontanile
-  Orlo di terrazzo fluviale principale
-  Traccia di sezione idrogeologica

*Figura B.12. Estratto Tav. 3 “Carta idrogeologica delle direzioni di deflusso” del piano cave della provincia di Lodi.*



LEGENDA

- Aree con soggiacenza della falda inferiore a 2,5 metri
- Aree con soggiacenza della falda compresa tra 2,5 e 5 metri
- Aree con soggiacenza della falda maggiore di 5 metri

Orlo di terrazzo fluviale principale

Figura B.13. Estratto Tav. 4 “Carta idrogeologica della soggiacenze” del piano cave della provincia di Lodi.

Nella tabella sottostante si riportano le soggiacenze misurate durante l’esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche e dei pozzetti esplorativi, dalle quali si evidenzia la presenza della falda prossima a piano campagna (settembre 2009).

PROVA	Profondità della falda rilevata (m da p.c)
SCPT1	3.0
SCPT2	3.0
SCPT3	3.0
SCPT4	1.50
SCPT5	1.50
SCPT6	1.50
SCPT7	1.50
SCPT8	1.50
S1	2.50
S2	n.r.
S3	3.0/3.1

Tabella B.2. Valori di soggiacenza della falda rilevati durante la campagna geognostica (settembre 2009)

## C. DATI GEOGNOSTICI

### C.1 Dati stratigrafici

Per la caratterizzazione dei terreni dell'area in esame sono state eseguite 8 prove penetrometriche dinamiche, 3 pozzetti esplorativi con escavatore meccanico e una indagine sismica MASW, la cui ubicazione è riportata in figura seguente e nella tavola 3 allegata al presente lavoro.

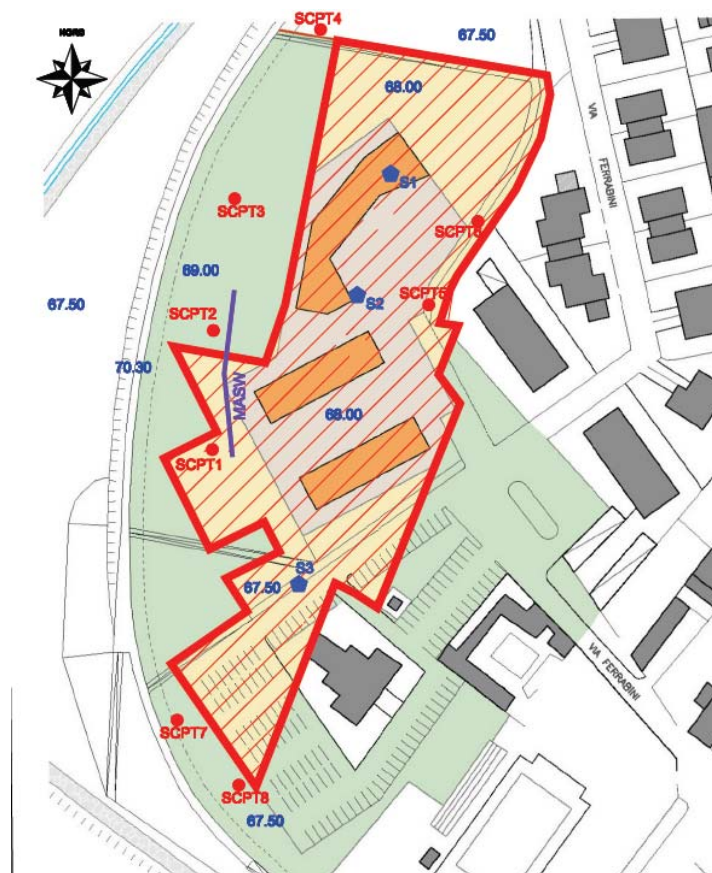


Figura C.1. Ubicazione delle prove penetrometriche statiche SCPT1-SCPT8, dei pozzetti esplorativi S1-3 e della indagine sismica MASW

#### C.1.1 Prove penetrometriche dinamiche (SCPT)

Tale indagini sono state effettuate con penetrometro dinamico tipo TG73-100/200 avente le seguenti caratteristiche:

Massa maglio = 73 kg; Altezza caduta = 75 cm; Area punta = 20.43 cm<sup>2</sup>; Peso aste = 7.13 kg/ml; Penetrazione standard = 30 cm.

L'indagine consiste nell'infiggere nel terreno un'asta o una serie di aste con punta conica o con curreta. Il sistema d'infissione è costituito da un maglio che batte sulle aste; il dato rilevato è il numero di colpi (numero di volte) che occorre per abbassare il sistema aste/punta di 30 cm nel terreno. Si ottengono così diagrammi che discretizzano il sottosuolo in livelli di 30 cm per l'intera profondità d'indagine. Frequentemente, come in questo caso, si sono interrotte le prove quando il numero dei colpi diventava particolarmente elevato vicino al rifiuto. In Allegato sono riportati i valori del numero di colpi N in funzione della profondità.

*C.1.2 Risultati delle prove penetrometriche*

Nella tabella sottostante si riporta la profondità dal piano campagna raggiunta da ciascuna prova e la profondità della falda misurata.

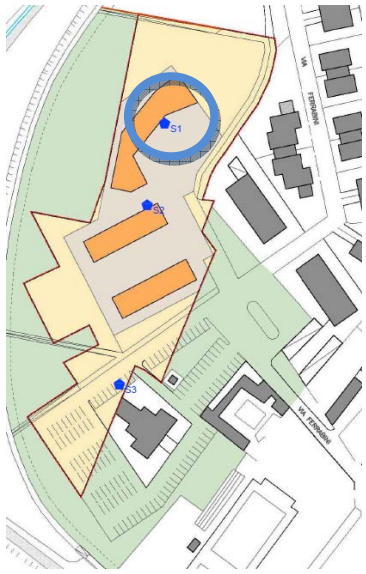
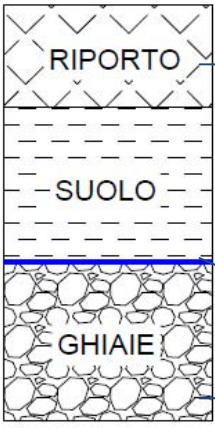

<b>PROVA</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>Profondità tetto delle ghiaie (m da p.c)</b>	<b>Profondità della falda rilevata (m da p.c)</b>
SCPT1	dinamica	3.6	2.1	3.0
SCPT2	dinamica	4.2	3.3	3.0
SCPT3	dinamica	4.2	3.0	3.0
SCPT4	dinamica	3.3	1.5	1.50
SCPT5	dinamica	3.0	1.2	1.50
SCPT6	dinamica	3.3	1.5	1.50
SCPT7	dinamica	3.3	1.2	1.50
SCPT8	dinamica	3.3	1.5	1.50

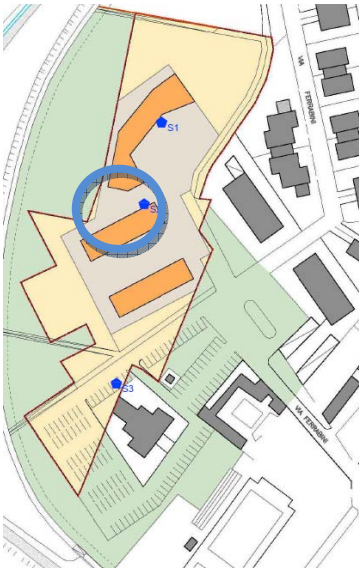



*C.1.3 Pozzetti esplorativi*

Sono stati eseguiti tre saggi con escavatore meccanico al fine di indagare in dettaglio la stratigrafia dei primi metri di deposito. Di seguito si riportano le schede per ogni indagine eseguita, correlata da stratigrafia e documentazione fotografica.



*Figura C.2. Cumulo di ghiaia  $\phi$  max5-20 cm*

POZZETTO ESPLORATIVO 1			
<p><b>UBICAZIONE</b></p> 			
STRATIGRAFIA			
PROFONDITA'	DESCRIZIONE DEI TERRENI		
0.0-1.0	Ripporto a prevalente granulometria grossolana (ciottoli e ghiaia)		
1.0-2.5	Suoli argilloso-sabbiosi di colore grigio marrone scuro		
2.50-4.05	Ghiaie eterometriche ( $\phi_{MAX}$ 5-20 cm) di colore grigio in scarsa matrice sabbiosa		
<i>Livello della falda</i>	2.50 m da p.c.		
<i>Campioni</i>	Suolo C1 a 1.5 m da p.c.		
<i>Note</i>			

POZZETTO ESPLORATIVO 2			
<p><b>UBICAZIONE</b></p> 			
STRATIGRAFIA			
PROFONDITA'	DESCRIZIONE DEI TERRENI		
0.0-0.90	Ripporto a prevalente granulometria grossolana (ciottoli e ghiaia)		
1.0-1.90	Suoli argilloso-sabbiosi di colore grigio marrone		
1.90-2.50	Ghiaie eterometriche ( $\phi_{MAX}$ 5-20 cm) di colore grigio in scarsa matrice sabbiosa		
<i>Livello della falda</i>	N.R.		
<i>Campioni</i>	-		
<i>Note</i>			

POZZETTO ESPLORATIVO 3			
<b>UBICAZIONE</b> 			
STRATIGRAFIA			
PROFONDIT A'	DESCRIZIONE DEI TERRENI		
0.0-0.3	Riporto a prevalente granulometria grossolana (ciottoli e ghiaia)		
0.3-1.0	Suoli argilloso-sabbiosi di colore grigio marrone		
1.0-1.50	Sabbie con ghiaia		
1.5-3.3	Ghiaie eterometriche ( $\phi_{MAX}$ 3-20 cm) di colore grigio in scarsa matrice sabbiosa		
<i>Livello della falda</i>	3.00/3.10		
<i>Campioni</i>	-		
<i>Note:</i>			

*C.1.4 Prove di laboratorio*

Su un campione indisturbato di terreno naturale prelevato nel pozzetto esplorativo S1, sono state eseguite prove di laboratorio per la determinazione dei limiti di Attemberg (UNI CNR 10014) e della resistenza a compressione ELL (ASTM D21166-00). Di seguito di riportano in sintesi i risultati ottenuti (in allegato il report completo delle indagini).

Pozzetto esplorativo 1		
Campione 1		
profondità 1.50		
<b>Caratteristiche fisiche naturali</b>		
Peso nell'unità di volume	g/cm <sup>3</sup>	1.87
Peso specifico dei grani ( $\rho_g$ )	g/cm <sup>3</sup>	2.68
Contenuto in acqua	%	27.8
Indice di porosità		0.83
Porosità	%	45.3
Grado di saturazione	%	90
<b>Limiti fisici e di consistenza</b>		
LL	%	36
LP	%	27
IP	%	9

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA (A.S.T.M.) condizioni di rottura		
provino	Tensione verticale (kg/cm <sup>3</sup> )	Coesione non drenata Cu (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.52	0.26
2	0.54	0.27
3	0.53	0.27

*Figura C.3 - Sintesi prove di laboratorio*

*C.1.5 I Parametri fisici*

Le prove di laboratorio indicano un peso di volume variabile di 1.87 g/cm<sup>3</sup> con un contenuto d'acqua variabile del 27.8%.

Per quanto concerne i limiti di Attemberg e gli indici ad esso collegati sono stati ricavati i valori di seguito riportati.

	Camp	Prof:	Falda	Wn	LL	Lp	Ip	lc
		m	m	%	%	%	%	
PozzettoS01	C1	1.5	-	27.8	36	27	9	0.91

I dati ottenuti hanno permesso la costruzione delle Carta di Plasticità di Casagrande che evidenzia come i terreni esaminati appartengano al campo "limi inorganici di media compressibilità e limi organici".



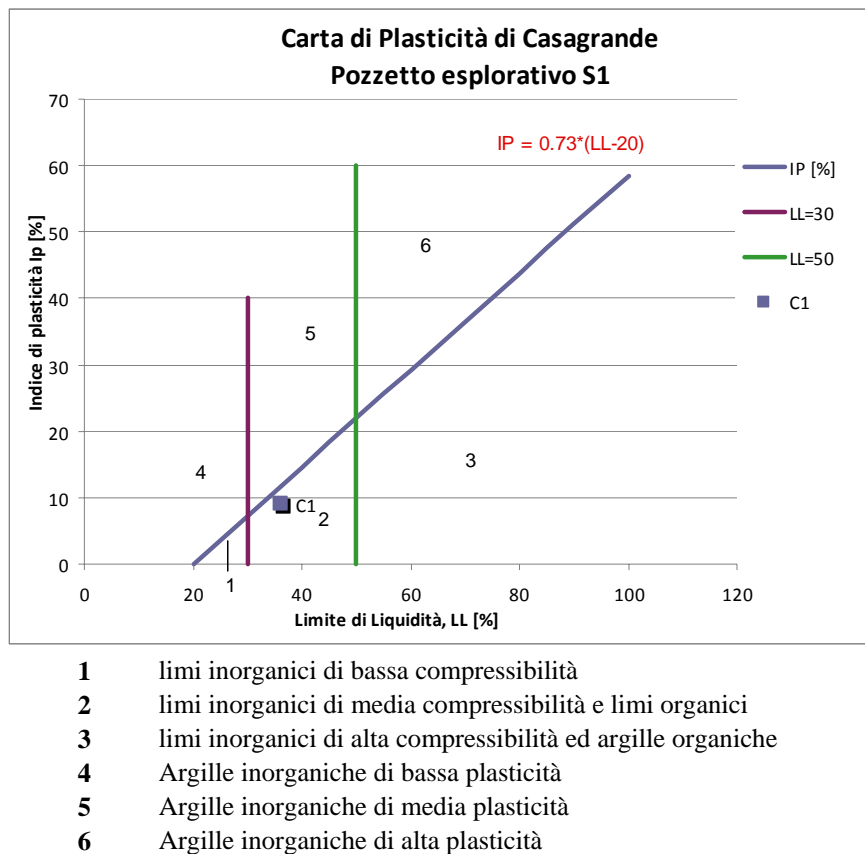


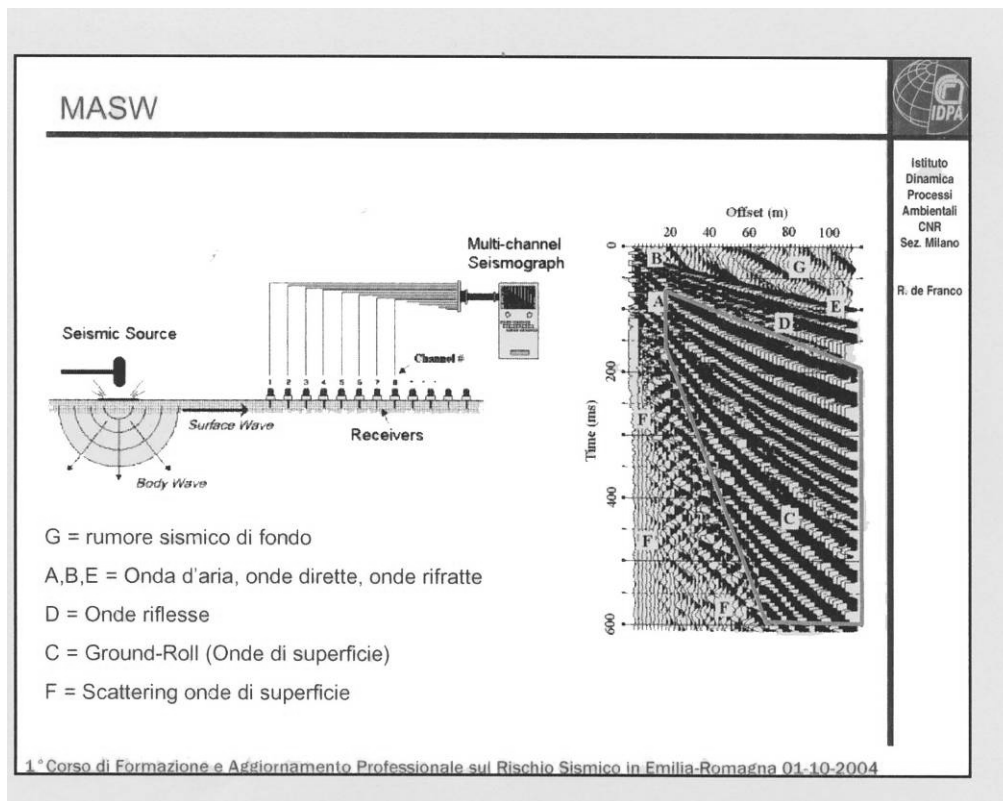
Figura C.4. Carta di plasticità di Casagrande

#### C.1.6 I valori di Vs da indagine MASW

Per mezzo della tecnica MASW (Park et al., 1999) e quindi lo studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi, è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde S. Le indagini MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono utilizzate per la determinazione del profilo di rigidità dei terreni più superficiali. L'approccio utilizzato è basato su una doppia trasformata del campo d'onda (trasformate Slant-Stack e di Fourier), per mezzo della quale viene rappresentato il segnale nel dominio  $\omega$ - $p$  (frequenza angolare-slowness), in cui è possibile identificare la curva di dispersione sperimentale delle onde di Rayleigh.

Le indagini MASW sono eseguite con un sismografo a 24 canali e geofoni a bassa frequenza (<10 Hz); lo stendimento è eseguito partendo da un punto centrale (misuratore) dove è posizionato lo strumento di acquisizione (figura di seguito); nella norma i 24 canali sono suddivisi in due stendimenti da 12 geofoni con baricentro posto nello strumento di acquisizione; l'asse intergeofonico è pari a 2.0 m. L'energizzazione viene eseguita in posizione esterna a circa 10 m dal geofono più distante dall'acquisitore; l'energizzatore è rappresentato da una mazza battente su piastra orizzontale.

Nell'area è stata svolta una indagine MASW ubicata come nella precedente figura "ubicazione indagini".



Il valore di  $V_{s30}$  calcolato sulla base della prova MASW eseguita risulta pari a 360 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità e i grafici velocità/modello del terreno per l'indagine eseguita; in appendice si riportano alcuni cenni alla metodologia di indagine sismica MASW e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

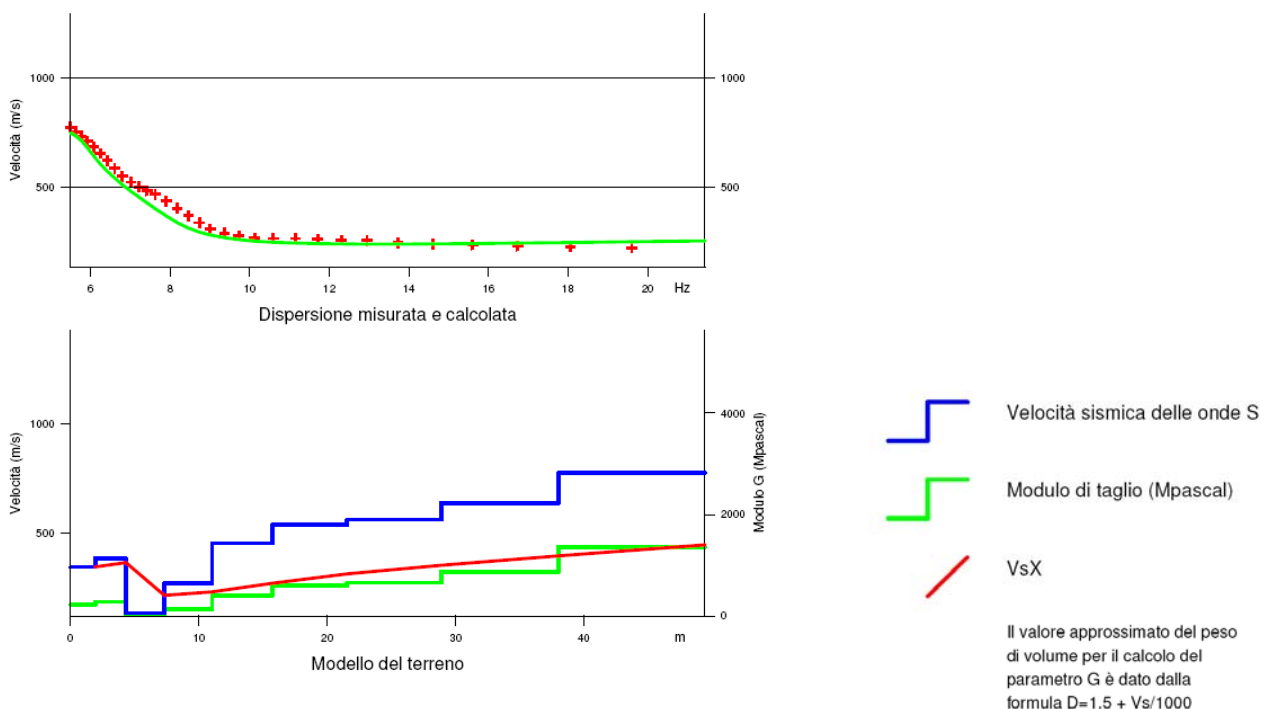


Figura C.5. Risultati per la prova MASW

## C.2 Caratterizzazione geolitologica ed idrogeologica

In base ai dati ottenuti dalle prove eseguite, integrati con le osservazioni di campagna e dai dati bibliografici in nostro possesso, è stata definita la seguente stratigrafia.

Si nota la presenza di un primo orizzonte di riporto (R) costituito da ghiaie e materiale lapideo, di spessore variabile, presente fino a una profondità massima di 2.10 m. Al di sotto si trova il suolo (S) costituito da materiale argilloso-limoso, in alcuni casi sabbioso, di colore grigio marrone con spessore variabile tra 0.60-1.50 m. Più in profondità si trovano infine ghiaie (GS) eterometriche ( $\phi_{max}$  10-20 cm), di colore grigio in scarsa matrice sabbiosa. Nel pozzetto S3 nella porzione sommitale di tale livello è stato rinvenuto un orizzonte dello spessore di 20-30 cm di materiale prevalentemente sabbioso con scarsa presenza ghiaia; la presenza di tale orizzonte è evidenziato anche dalle prove penetrometriche.

Durante l'esecuzione delle prove è stata rilevata la presenza della falda superficiale alla profondità variabile di 1.50-3.10 m da p.c..

LIVELLI (m da p.c.)	SCPT1	SCPT2	SCPT3	SCPT4	SCPT5	SCPT6	SCPT7	SCPT8
R - riporto	0.00-0.60	0.00-1.80	0.00-2.10	-	-	-	0.00-0.30	0.00-0.30
S - suolo	0.60-2.10	1.80-3.30	2.10-3.00	0.00-1.20	0.00-0.90	0.00-1.20	0.30-0.90	0.30-0.90
GS - ghiaie	2.10-3.60	3.30-4.20	3.00-4.20	1.20-3.30	0.90-3.00	1.20-3.30	0.90-3.30	0.90-3.30

LIVELLI (m da p.c.)	S1	S2	S3
R - riporto	0.00-1.00	0.00-0.90	0.00-0.30
S - suolo	1.00-2.50	0.90-1.90	0.30-1.50
GS - ghiaie	2.50-4.05	1.90-2.50	1.50-3.30

In allegato sono riportate due sezioni litologiche che meglio evidenziano la successione litologica dell'area. Si sottolinea anche che l'indagine sismica ha indagato uno spessore di circa 30.0 m di profondità evidenziando una presenza costante di materiale tipo ghiaie e sabbie tra i 7 ed i 30 m di profondità.

## D. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Le caratteristiche meccaniche del terreno interessato dall'opera in progetto sono state determinate attraverso i dati ricavati dalle prove di laboratorio e dalle formule empiriche che correlano i valori di  $N_{spt}$  con i parametri ricercati.

### D.1 Caratterizzazione meccanica del terreno di fondazione

#### D.1.1 Coesione non drenata

La valutazione della coesione non drenata ( $C_u$ ), tipica dei terreni coesivi, per il primo strato di suolo è stata effettuata con prova di laboratorio di compressione tramite espansione laterale libera e ha fornito un valore pari 0.27kg/cmq.

Si riporta di seguito, la valutazione proposta da Terzaghi e Peck (1967), ripresa e tradotta in italiano dalla Raccomandazione Agi (1977) a partire dai valori di  $N_{spt}$ : nella tabella vengono riportati anche i valori della resistenza al taglio non drenata  $S_u$ , il comportamento del materiale quando viene manipolato (Sowers, 1979) e l'indice di consistenza IC (Szecky e Varga, 1978).

Per i terreni appartenenti al livello di suolo S è stato calcolato un valore di N<sub>spt</sub> medio pari circa a 9 ed è stato calcolato un IC pari a 0.91: su tale base, risultano valori di resistenza al taglio non drenata S<sub>u</sub> di circa 100 kN/m<sup>2</sup> ed una consistenza definita “consistente”.

N <sub>SPT</sub>	Consistenza	Resistenza al taglio non drenata (S <sub>u</sub> ) (KN/m <sup>2</sup> )	Indice di consistenza IC=(W <sub>L</sub> -W <sub>N</sub> )/PI (*)	Manipolazione in situ
0 + 2	Molle ( <i>very soft</i> )	0 + 25	< 0,5	si sprema fra le dita chiudendo il pugno
2 + 4	Tenera ( <i>soft</i> )	25 + 50	0,5 ÷ 0,75	si modella facilmente con le dita
4 + 8	Media ( <i>medium o firm</i> )	50 + 100		si modella con forte pressione delle dita
8 + 15	Consistente ( <i>stiff</i> )	100 + 150	0,75 ÷ 1,0	si incava (" <i>dent</i> ") con forte pressione delle dita
15 + 30	Molto consistente ( <i>very stiff</i> )	150 + 200	1,0 ÷ 1,5	si <i>incava</i> solo leggermente con forte pressione delle dita
> 30	Dura ( <i>hard</i> )	> 200	> 1,5	si <i>intacca</i> (" <i>dent</i> ") solo leggermente con la punta della matita

(\*) LEGENDA :  
W<sub>L</sub> = limite liquido; W<sub>N</sub> = contenuto d'acqua naturale; PI = indice di plasticità  
(PI=W<sub>L</sub>-W<sub>p</sub>, dove W<sub>p</sub> è il limite di plasticità)

Figura D.1. Valutazione della consistenza delle argille

#### D.1.2 Modulo Edometrico e coefficiente di consolidazione CC

Viene fornito un valore indicativo di Modulo edometrico ricavato dalle relazione riportata qui di seguito.

$$M=38+3.54 *N_{spt} \text{ (kg/cmq)} \quad \text{(Metodo di Menzenbach e Malcev, per sabbie fini)}$$

Sulla base di tale elaborazioni viene fornito, per il livello S, un valore di M caratteristico pari a 55 kg/cmq (5° percentile dei valori ricavati dalle prove penetrometriche dimaniche).

Vengono inoltre forniti i valori del coefficiente di consolidazione CC ricavati secondo le formule riportate nella tabella seguente a partire dai dati delle analisi di laboratorio.

coefficiente di consolidazione		
cc = 0.007*(LL-7)	0,203	Skempton 1944
cc = 0.009 * (LL-10)	0,234	Terzaghi e Peck 1967
cc = 0.01*(wn-5)	0,228	Azzouz et al 1976

#### D.1.3 Resistenza al taglio, densità relativa e modulo elastico

Per individuare i parametri di resistenza al taglio è necessario determinare i valori corretti di N<sub>spt</sub>. A tal fine sono state applicate la correzione ai valori di N<sub>spt</sub> sia tramite il coefficiente teorico di energia per il penetrometro in uso β<sub>t</sub> sia attraverso i fattori correttivi che tengono conto della litologia e delle caratteristiche della strumentazione (penetro metro DPSH del costruttore Pagani) proposti da Cestari, ottenendo in tal modo il valore N<sub>spt60</sub>. Tale valore può essere corretto in funzione della profondità, attraverso il fattore correttivo C<sub>N</sub> (AGI 2005) che è funzione della tensione verticale efficace:

$$N_{1spt} = N'spt= C_N * N_{spt} \text{ (valore della resistenza alla penetrazione misurata nel corso della prova SPT corretto per una tensione verticale efficace pari a 100 kPa).}$$

I valori caratteristici della resistenza al taglio drenata ( $\tau$ ) sono rappresentati dalla coesione drenata  $c'$  e dall'angolo di attrito  $\phi'$ . Questo ultimo parametro è stato determinato utilizzando le seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} \Phi' &= (N_{SPT60} * 0.3) + 27 && \text{(Shioi e Fukuni, 1982)} \\ \Phi' &= (0.14 * Dr) + 28 && \text{Schmertmann} \\ \Phi' &= ((15 * N_{SPT60})^{0.5}) + 15 && \text{RoadBridge (Shioi e Fukuni, 1982)} \\ \Phi' &= 0.3 * N_{SPT'60} + 20 && \text{Peck, Hanson \& Thornburn (1953)} \\ \Phi' &= 0.28 * N_{SPT'60} + 27.2 && \text{Peck, Hanson \& Thornburn (1956)} \\ \Phi' &= 19 - 0.38 * \sigma'_v + 8.73 * \log(N_{SPT60}) && \text{De Mello} \end{aligned}$$

La correlazione con  $N_{spt}$  non è sempre diretta, ma in Schmertmann è necessario determinare la densità relativa  $D_r$  ricavata con secondo le formule proposte da diversi autori tra cui:

$$\begin{aligned} D_r &= \text{EXP}(0.478 * \text{LN}(N_{spt60}) - 0.262 * \text{LN}(\sigma'_v) + 2.84) && \text{Schultze \& Menzenbach} \\ D_r &= 21 * (N_{spt} / (\sigma'_v + 0.7))^{0.5} && \text{Gibbs-Holz} \\ D_r &= (N_{spt'60} / 46)^{0.5} && \text{Idriss \& Boulanger (2003)} \\ D_r &= (N_{spt'60} / (27 + 0.288 \sigma'_v)) && \text{Skempton (1986)} \end{aligned}$$

Il modulo elastico è stato ricavato attraverso l'elaborazione dei valori di NSPT secondo le seguenti formule.

$$\begin{aligned} E &= (280 * N_{SPT60}) / 100 && \text{(Parry)} \\ E &= (0.756 * N_{SPT60}) + 18.75 && \text{(D'Apollonia)} \\ E &= 7 * \text{RADQ}(N_{SPT60}) && \text{(Denver)} \end{aligned}$$

I valori di  $\phi'$ ,  $D_r$  e  $E$  ottenuti sono stati calcolati con i diversi metodi sopra descritti per i valori di NSPT ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche.

Nella tabella seguente vengono riportati, i valori medi di  $N_{SPT60}$  ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche.

	<i>Livello R</i>	<i>Livello S</i>	<i>Livello GS</i>
	<i>Nspt60</i>	<i>Nspt60</i>	<i>Nspt60</i>
<b>medio</b>	11.4	8.85	33.0
<b>5° percentile</b>	-	4.90	18.3
<b>minimo</b>	-	-	17.5
<b>massimo</b>	-	-	47.9

Di seguito si riportano i valori di  $\phi$  per il livello GS:

Angolo di attrito	(°)	Modulo elastico	MPa
$\Phi'_{\text{medio}}$	37.2	$E_{\text{medio}}(^{\circ})$	55.7
$\Phi'_{5\text{percentile}}$	32.32	$E_{5\text{percentile}}(^{\circ})$	31.0
$\Phi'_{\text{minimo}}$	26.6	$E_{\text{minimo}}(^{\circ})$	28.2
$\Phi'_{\text{massimo}}$	43.8	$E_{\text{massimo}}(^{\circ})$	134.2

Per quanto riguarda la coesione efficace  $C'$  si assumono valori pari a 0 kN/mq.

#### D.1.4 Riepilogo caratteristiche fisico-meccaniche del terreno

Nella tabella seguente sono riportati i valori medi ricavati dalle indagini eseguite per i terreni reperiti:

Parametri R	Parametri S	Parametri GS	
$\gamma = 16.00 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18. \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 17.50 \text{ kN/m}^3$	Dove: $\gamma$ = peso di volume Cu= Resistenza al taglio in condizioni non drenate $\phi'$ angolo di attrito efficace M = Modulo Edometrico
$C' = 0.0 \text{ kN/m}^2$	$Cu = 27 \text{ kN/m}^2$	$C' = 0.0 \text{ kN/m}^2$	
$\phi' = 29-31^{\circ}$	$\phi' = 0^{\circ}$	$\phi' = 32^{\circ}-37^{\circ} (34.5^{\circ})$	
	$M = 5.5 \text{ MPa}$	$E = -31-55 \text{ MPa}$	

## D.2 Azioni sismiche secondo le NCT 2008

Con Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14/01/08 sono state approvate le *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni* (G.U. n°29 del 04/02/08) nelle quali è presente un allegato relativo alla pericolosità sismica del territorio nazionale, in particolare è fornita la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali, che 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).

Nell'Allegato B delle NTC sono riportati i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento.

Poiché l'area in esame non ricade precisamente su uno di tali punti, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove  $p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;  $p_i$  è il valore del parametro di interesse nell'iesimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;  $d$  è la distanza del punto in esame dall'iesimo punto della maglia suddetta.

Di seguito, a titolo esemplificativo, si riportano i dati relativi all'area di interesse per una costruzione con Vita Nominale 50 anni e coefficiente d'uso  $C_u = 1$  ottenuti con il programma "Spettri-NTC ver 1.3" disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici <http://www.cslp.it/cslp/>.

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   [info](#)

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   [info](#)

**Valori di progetto**

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   [info](#)

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  [info](#)

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="50"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="475"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="975"/>

**Elaborazioni**

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

**LEGENDA GRAFICO**

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

- - - ■ - - - Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,026	2,497	0,198
SLD	50	0,032	2,552	0,212
SLV	475	0,070	2,603	0,287
SLC	975	0,088	2,604	0,299

**D.2.1** *Categorie di sottosuolo*

Per la definizione dell'azione sismica si è fatto riferimento all'approccio semplificato riportato nelle NTC2008 che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento così come riportate nelle tabelle seguenti:

**Tabella 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<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>B</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).
<b>C</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

**Tabella 3.2.III** – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
<b>S1</b>	Depositati 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.
<b>S2</b>	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Sulla base dei risultati ottenuti nella prova MASW il valore di  $V_{s30}$  ricavato è risultato pari a **360 m/s**, corrispondente al valore limite tra i terreni di tipo **C** e i terreni di tipo **B**.

**D.3** *Verifica analitica preventiva di capacità portante*

**D.3.1** *Tipologia delle fondazioni*

In base alla stratigrafia evidenziata dalle prove svolte, alle caratteristiche geomeccaniche ricavate, a titolo di esempio sono state verificate fondazioni aventi le seguenti caratteristiche geometriche:

- fondazione superficiale tipo rettangolare;



- piano di posa D corrispondente alla quota di reperimento del livello di ghiaie naturali (GS) (Valore medio -2.5 m dal pc).

### D.3.2 Approccio di calcolo

Le analisi sono state condotte secondo quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM del 14 gennaio 2008.

In particolare è stato utilizzato l'approccio 1 con la combinazione 2:

(A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabella 6.2.I, 6.2.II e 6.4.II delle NTC, di seguito riportati per completezza.

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

**Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.**

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

### D.3.3 Metodo di calcolo

Il calcolo della portanza è stato eseguito col metodo di Brinch-Hansen. La relazione adottata è la seguente:

$$q_u = c N_c s_c i_c d_c b_c g_c z_{c+} + q N_q s_q i_q d_q b_q g_q z_{q+} + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma b_\gamma g_\gamma r_\gamma z_\gamma$$

dove

$$q = \gamma * D$$

$\gamma$  Peso di volume del terreno espresso in [T/mc]

$\gamma_{sat}$  Peso di volume saturo del terreno espresso in [T/mc]

$\phi$  Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

$c$  Coesione del terreno espressa in [MPa]

$D$  = profondità della fondazione [m]

$B$  = larghezza della fondazione [m]

$L$  = lunghezza della fondazione [m]

I fattori  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  sono espressi come:

$$\text{➤ } N_q = e^{\pi \text{tg}\phi} K_p$$

$$\text{➤ } N_c = (N_q - 1) \text{ctg}\phi$$

$$\text{➤ } N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \text{tg}\phi$$

Di seguito si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

#### Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 0.2 B / L$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + (N_q / N_c) * B / L$$

$$s_q = 1 + B / L * \text{tg}\phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 * B / L$$

#### Fattori di profondità

Si definisce il parametro  $k$  come

$$\text{se } D/B \leq 1 \quad k = D/B$$

$$\text{se } D/B > 1 \quad k = \text{arctg}(D/B)$$

I vari coefficienti si esprimono come

$$\text{per } \phi=0 \quad d_c = 0.4k$$

$$\text{per } \phi>0 \quad d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2 \text{tg}\phi (1 - \sin\phi)^2 k$$

$$d_\gamma = 1$$

#### Fattori di inclinazione del carico

Indichiamo con  $V$  e  $H$  le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con  $A_f$  l'area efficace della fondazione ottenuta come

$A_f = B' \times L'$  ( $B'$  e  $L'$  sono legate alle dimensioni effettive della fondazione  $B$ ,  $L$  e all'eccentricità del carico  $e_B$ ,  $e_L$  dalle relazioni  $B' = B - 2e_B$   $L' = L - 2e_L$ ).

$\eta$  è l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ( $\eta=0$  per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1/2(1 - \sqrt{[1 - H / A_f c_a]})$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - [(1 - i_q) / (N_q - 1)]$$

$$i_q = [1 - (0.5 * H) / (V + A_f * c_a * \text{ctg}\phi)]^5$$

$$\text{per } \eta = 0 \quad i_\gamma = [1 - (0.7 * H) / (V + A_f * c_a * \text{ctg}\phi)]^5$$

$$\text{per } \eta > 0 \quad i_\gamma = [1 - ((0.7 - \eta / 450) H) / (V + A_f * c_a * \text{ctg}\phi)]^5$$

#### Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$\text{per } \phi=0 \quad b_c = \eta^\circ / 147$$

$$\text{per } \phi>0 \quad b_c = 1 - \eta^\circ / 147$$

$$b_q = e^{-2\eta \text{tg}\phi}$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\eta \text{tg}\phi}$$

#### Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con  $\beta$  la pendenza del pendio i fattori  $g$  si ottengono dalle espressioni seguenti:

per  $\phi=0$   $g_c = \beta^\circ/147$   
 per  $\phi>0$   $g_c = 1 - \beta^\circ/147$   
 $g_q = g_\gamma = (1-0.05tg\beta)^5$

Fattori correttivi per  $B>2.0$  m

Fattore di Bowles:

$$r_\gamma = 1-0.25\log(B/k) \text{ dove } k = 2 \text{ se } B \text{ espresso in m}$$

Fattori correttivi per sisma

Sono stati inoltre considerati gli effetti delle forze d'inerzia derivanti dall'azione sismica utilizzando le relazioni ottenute da Paolucci & Pecker (1995).

Tali relazioni si esprimono sotto forma di tre coefficienti correttivi  $Z_q$ ,  $Z_c$  e  $Z_\gamma$ , che tengono conto dell'inerzia del terreno e per i quali devono essere moltiplicati i termini dell'equazione proposta da Hansen

I coefficienti possono essere espressi con buona approssimazione dalle formule:

$$z_q = z_\gamma = \left(1 - \frac{K_{hk}}{tg\varphi}\right)^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.32K_{hk}$$

dove  $K_{hk}$  rappresenta il coefficiente legato al suolo che è descritto nel § precedente

**D.3.4 Verifiche di capacità portante**

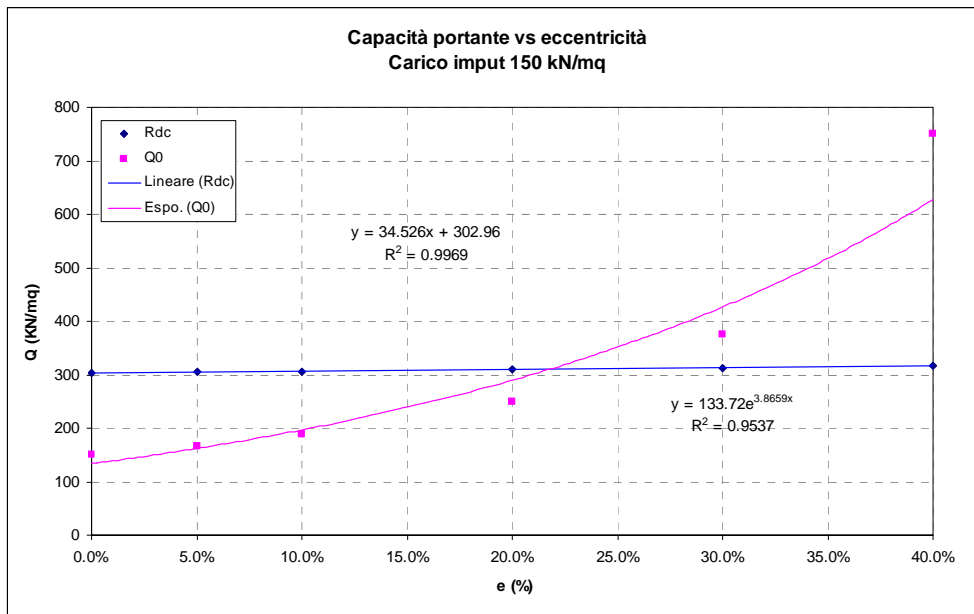
Considerando i parametri meccanici e sismici ricavati è stata eseguita una prima verifica in condizioni statiche che ha fornito valori di capacità portante superiori i 300 kN/mq (3.0 kg/cmq) per valori di  $B = 1.0$  m,  $L > 30$  m e  $D \geq 1.5$ m.

In seconda analisi sono state eseguite le verifiche in condizioni simiche variando il carico di ingresso e l'eccentricità posta pari a 0 per fondazioni con  $B = 1.0$  m,  $L > 30$  m e  $D \geq 1.5$ m che hanno fornito valori limite di 300 kN/mq (3.0 kg/cmq).

In terza analisi sono state eseguite le verifiche in condizioni simiche variando il carico di ingresso e l'eccentricità per fondazioni con  $B = 1.0$  m,  $L > 30$  m e  $D \geq 1.5$ m.

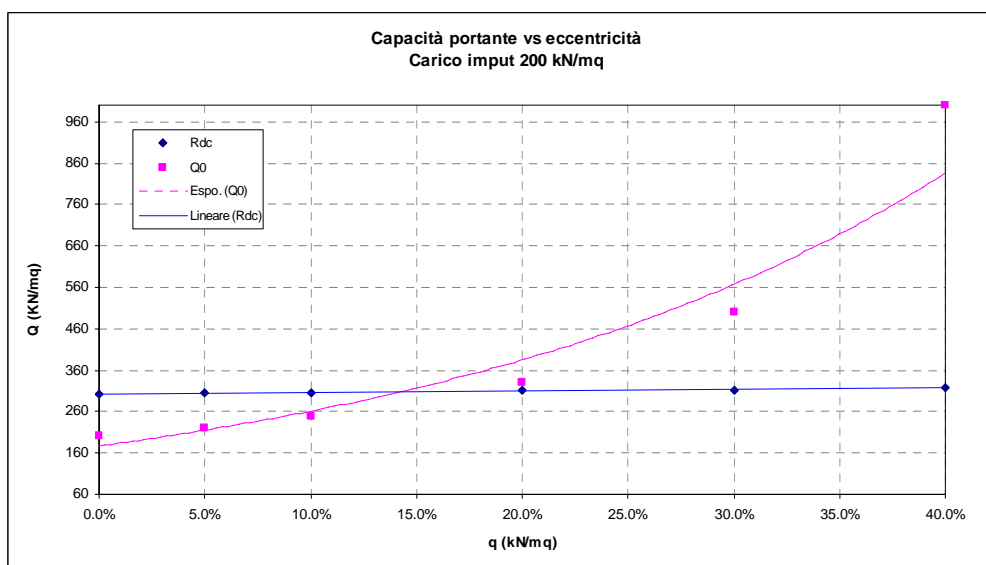
Verifica 3. $D = 1.5$ m dal pc $B = 1.0$ m $L = 30$ . Falda posta a $-1.5$ m dal pc. Condizione sismica eccentricità variabile. Carico input 150 kN/mq			
Q input (kN/mq)	Q reale trasmesso (kN/mq)	Eccentricità e (%)	Rdc (kN/mq)
150	150	0.0	303
150	167	5.0	305
150	188	10.0	306
150	250	20.0	310
150	375	30.0	313
150	750	40.0	317

Evidenziate le verifiche negative



Verifica 4. D = 1.5 m dal pc B= 1.0 m L = 30. Falda posta a -1.5 m dal pc. Condizione sismica eccentricità variabile. Carico input 200 kN/mq			
Q input (kN/mq)	Q reale trasmesso (kN/mq)	Eccentricità e (%)	Rdc (kN/mq)
200	200	0.0	303
200	220	5.0	305
200	250	10.0	306
200	330	20.0	310
200	500	30.0	313
200	1000	40.0	317

Evidenziate le verifiche negative



Le verifiche preliminari evidenziano capacità portante relativamente elevate e comunque si suggerisce di preventivare fondazioni con carichi trasmessi al suolo di circa 150 kN/mq (1.5

kg/cmq). E' importante durante le fasi successive di progettazione dettagliare le indagini ed eseguire verifiche puntuali associate ad analisi dei cedimenti assoluti e differenziali.

#### D.4 Scavi di sbancamento

La presenza di terreni sciolti evidenzia la necessità di effettuare scavi con pendenza massima pari a 1/1 ed altezza pari a 3.0 m intervallati da banche o berme di 2.5-3.0 m di larghezza.

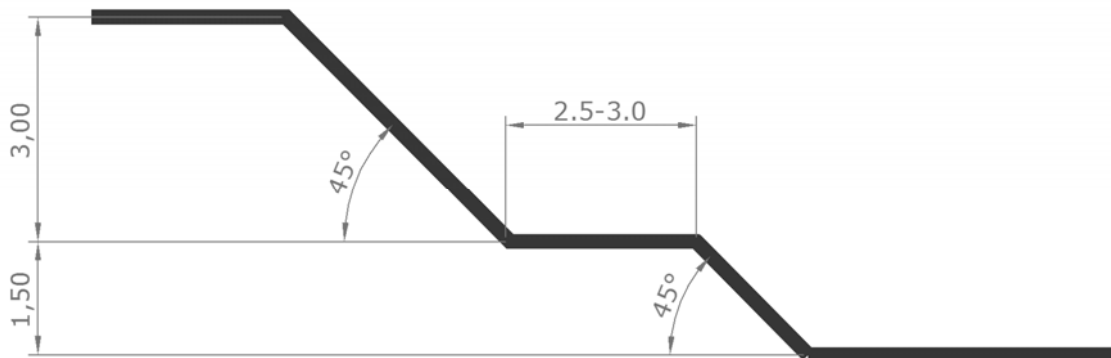


Figura D.2. Profilo di scavo tipo

Si sottolinea che a quote superiori a 1.50 m è presente una falda che potrebbe anche risalire a quote più prossime al piano campagna. Nel caso siano da prevedere seminterrati e/o interrati (vani servizi, magazzini etc) sarà opportuno preventivare opere di drenaggio e/o impermeabilizzazione dei vani interrati.

### E. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA E COMPATIBILITÀ

#### E.1 Compatibilità geologico-sismica

Sono stati analizzati i principali dati stratigrafici disponibili in bibliografia e sono state eseguite indagini geognostiche in sito.

L'area è caratterizzata, al di sotto di un orizzonte costituito da suolo, limoso argilloso, talora sabbioso, dalla presenza di ghiaie eterometriche appartenenti alle alluvioni recenti ed attuali della Valle Attuale del fiume Adda.

L'indagine sismica tipo Masw eseguita sui terreni indagati ha evidenziato una  $VS_{30}$  pari a 360 m/s, valore limite tra suoli di tipo B e tipo C

##### E.1.1 Valutazione degli effetti sismici in sito

Sulla base della D.G.R. n°8/7374 del 28 maggio 2008 aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. n. 11 marzo 2005, n. 12" sono state condotte le analisi finalizzate alla definizione della Pericolosità Sismica Locale (PSL) del sito in esame.

Sulla base di quanto riportato nel §B.2. l'area in esame è stata classificata come **Zona 4** nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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*", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 (ordinanza recepita dalla Regione Lombardia con la D.G.R. n. 14964/03)

Nello schema seguente si riporta lo schema di sintesi dei livelli di approfondimento e fasi di applicazione estratto dal già citato D.G.R. n°8/7374.

Livelli di approfondimento e fasi di applicazione			
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato &gt; valore soglia comunale;</li> <li>- Nelle zone PSL Z1 e Z2.</li> </ul>
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato &gt; valore soglia comunale;</li> <li>- Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.</li> </ul>

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Sulla base dello schema precedente si proceduto alla definizione del I° livello di approfondimento.

### E.1.2 I° livello di approfondimento

L'analisi eseguita sulla base dei dati reperiti in bibliografia e sulle indagini eseguite ha permesso di definire uno scenario di pericolosità sismica locale di tipo **Z4a "Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi"** per il quale sono previsti come effetti *Amplificazioni litologiche e geometriche*.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Poiché non sono previsti edifici rilevanti o strategici l'analisi sismica si è limitata al I° livello di approfondimento.

Si sottolinea l'importanza di eseguire verifiche sulla suscettibilità di liquefazione nelle fasi successive di progettazione.

### E.1 Compatibilità geomorfologica

L'area si colloca in sinistra idrografica del fiume Adda, all'interno della pianura alluvionale recente, compresa tra l'alveo attuale a sud e le alluvioni terrazzate più antiche poste a nord. Tale pianura si è formata anche in seguito alle divagazioni del corso del fiume come testimoniato dalla presenza di paleoalvei e alvei abbandonati. L'area si presenta circa pianeggiante, posta alla quota di 64.4 m s.l.m. e non risulta interessata da fenomeni di dissesto. Il fiume Adda, come indicato nella tavola 2.1 "Indicazioni di piano – sistema fisico e naturale" del PTCP della provincia di Lodi (approvato con del. del C.P. n°30 del 18 luglio 2005) appartiene ai corsi d'acqua naturali e artificiali vincolati ai sensi del D. Lgs. 42/04 art 142, comma 1, lettera c) iscritti nel D.G.R. n.4/12028 del 25.07.1986 (Liv. presc. 3 – ART.19.5).

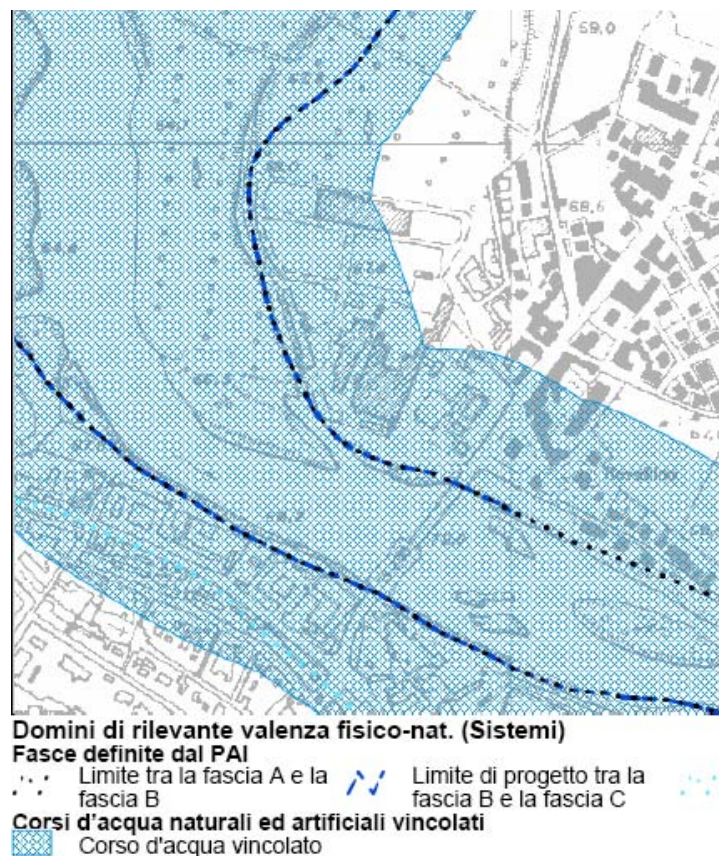


Figura E.1. Estratto dalla Tavola 2.1 “Tavola delle indicazioni di piano – sistema fisico naturale” del PTCP della provincia di Lodi disponibile sul sito <http://cartografia.provincia.lodi.it>

L’area in esame ricade all’interno del parco regionale Adda sud (Parchi regionali - liv. Presc. 4-art.19.2) ed è inoltre ricompresa all’interno delle zone indicate come “corridoi ambientali eco sistemici di portanza regionale di primo livello della rete dei valori ambientali” (liv. Presc. 3, art. 26.1) nella tavola 2.1 delle indicazioni di piano – sistema fisico del PTCP della provincia di Lodi (approvato con del. del C.P. n°30 del 18 luglio 2005).

## E.2 Compatibilità idrogeologica

L’area si caratterizza per un livello piezometrico superficiale prossimo a piano campagna: le indagini hanno evidenziato una soggiacenza della falda a profondità comprese tra 1.50-3.0 m da p.c.

### E.2.1 La vulnerabilità

Per meglio individuare la zona in esame sotto il profilo della pericolosità idrogeologica sono state consultate diverse cartografie disponibili. La carta della vulnerabilità intrinseca o naturale consiste nella zonizzazione del territorio in funzione delle caratteristiche dei terreni e delle condizioni idrogeologiche. La valutazione della vulnerabilità intrinseca consiste nel rilevamento e nella rappresentazione cartografica, per zone omogenee, delle caratteristiche delle unità idrogeologiche, che determinano la predisposizione naturale del territorio, in termini di suscettività specifica, ad essere più o meno vulnerabile nei confronti di agenti inquinanti

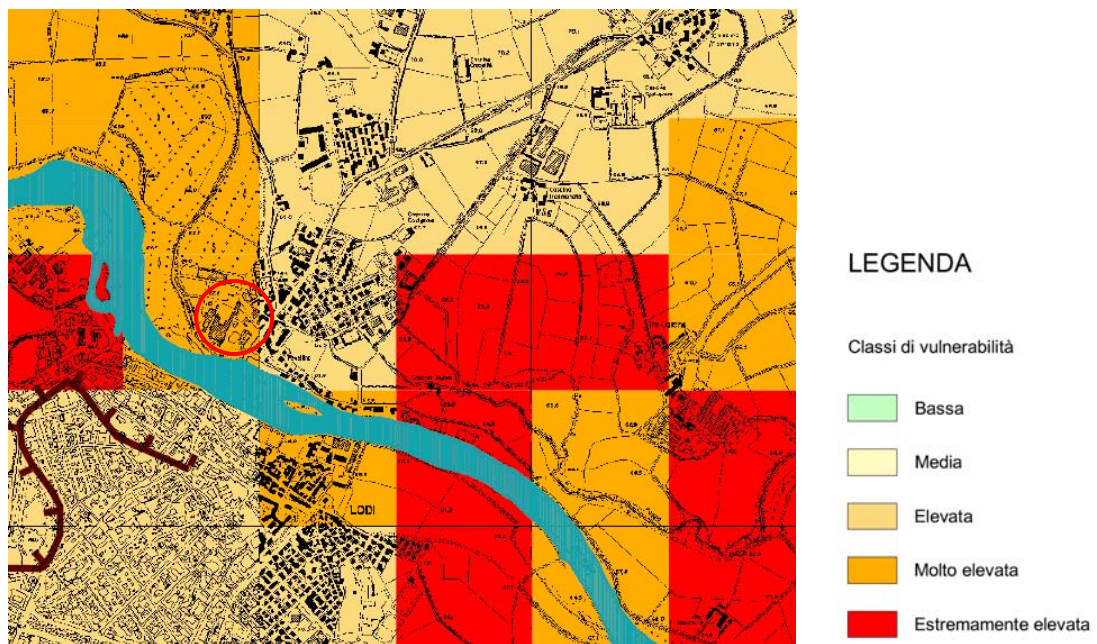


liquidi o idroveicolati, che possono essere dispersi o immessi nell'acqua superficiale. Il grado di vulnerabilità è in funzione dei seguenti fattori:

- caratteristiche degli acquiferi
- elementi idrostrutturali
- stato di inquinamento reale dei corpi idrici sotterranei.

Le classi di vulnerabilità sono cinque che dalla meno vulnerabile alla più vulnerabile assumono le seguenti definizioni: bassa, media, elevata, molto elevata ed estremamente elevata.

Nella “Carta della vulnerabilità idrogeologica” del Piano Cave della Provincia di Lodi di cui nella figura seguente si riporta un estratto, l'area in esame si trova in una zona a “**vulnerabilità molto elevata**”.



*Figura E.2. Estratto dalla “Carta della vulnerabilità idrogeologica” del piano cave della provincia di Lodi*

Nella tavola 2.1 “Tavola delle indicazioni di piano. Sistema fisico naturale” del PTCP di Lodi approvato con deliberazione del consiglio provinciale n° 30 del 18/07/2005 nei pressi della zona di studio è indicata un’area ad alta vulnerabilità degli acquiferi (liv. Presc. 3 art.23 1.1.lett.c).

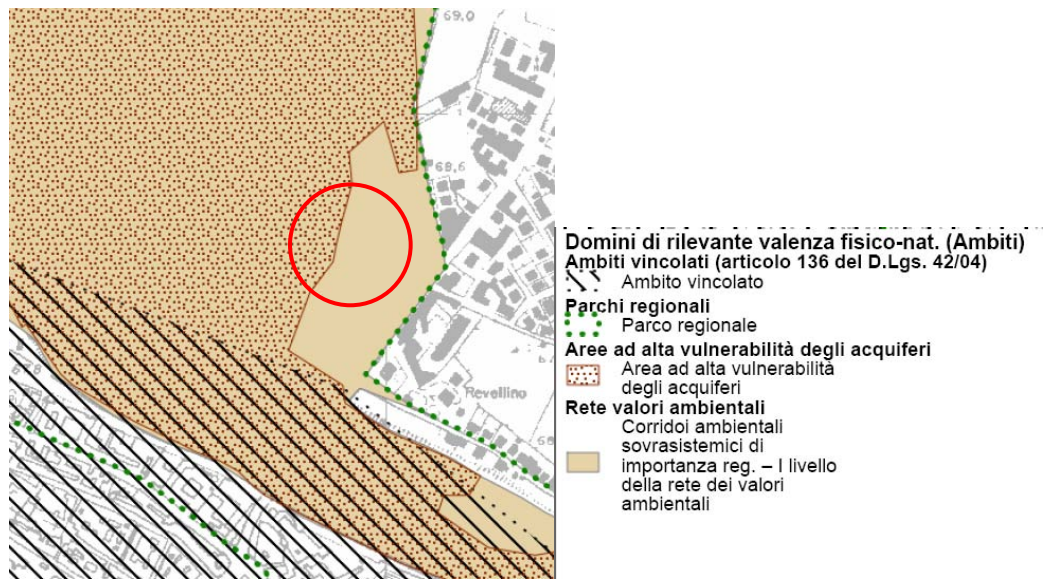
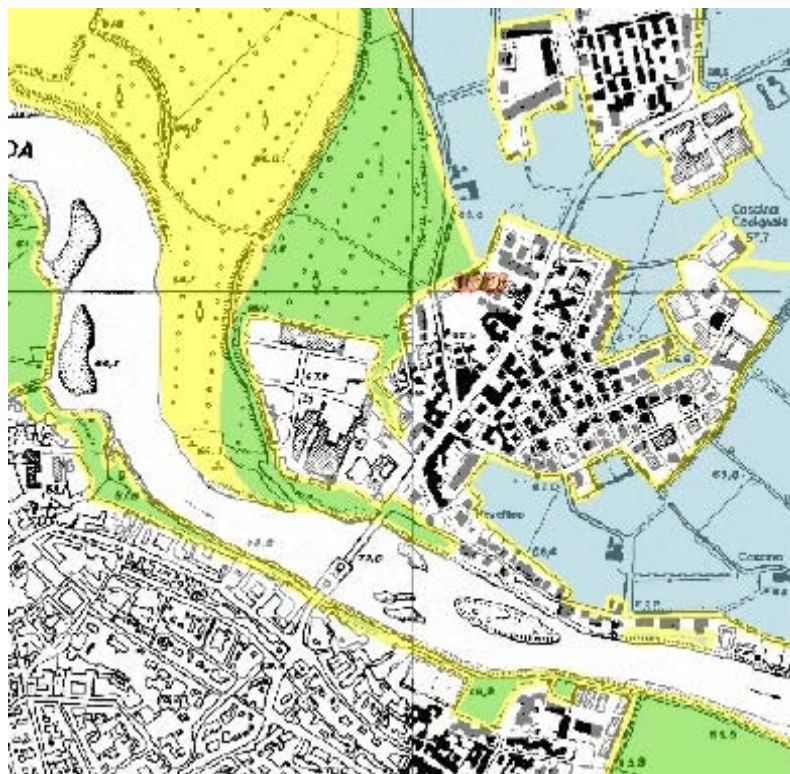


Figura E.3. Estratto dalla Tavola 2.1 “Tavola delle indicazioni di piano – sistema fisico naturale” del PTCP della provincia di Lodi disponibile sul sito <http://cartografia.provincia.lodi.it>

La situazione idrogeologica dell’area documenta come il sito in esame sia ubicato in una zona di ricarica potenziale del gruppo acquifero A, caratterizzata da una capacità protettiva dei suoli definibile bassa.

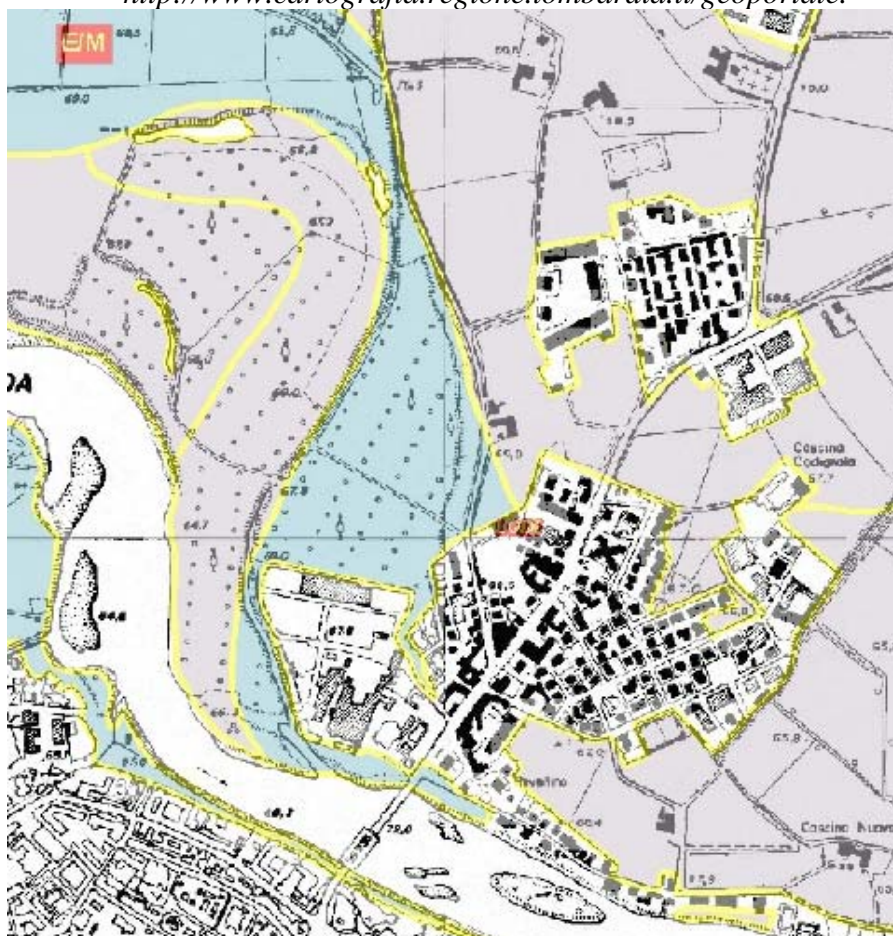
Le figure seguenti, evidenziano come la capacità protettiva dei suoli sia definita nelle rispettive cartografie moderata/elevata verso le acque superficiali e elevata/moderata verso le acque profonde.



Capacità protettiva dei suoli verso le acque superficiali

- DEF\_CL
- E: Elevata
  - E/M: Elevata/Moderata
  - ME: Moderata/Elevata
  - M: Moderata
  - MM/B: Moderata/Moderata/Bassa
  - M/B: Moderata/Bassa
  - B/E: Bassa/Elevata
  - B/M: Bassa/Moderata
  - B: Bassa

Figura E.4. Estratto carta acqua superficiali consultabile all'indirizzo <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>.



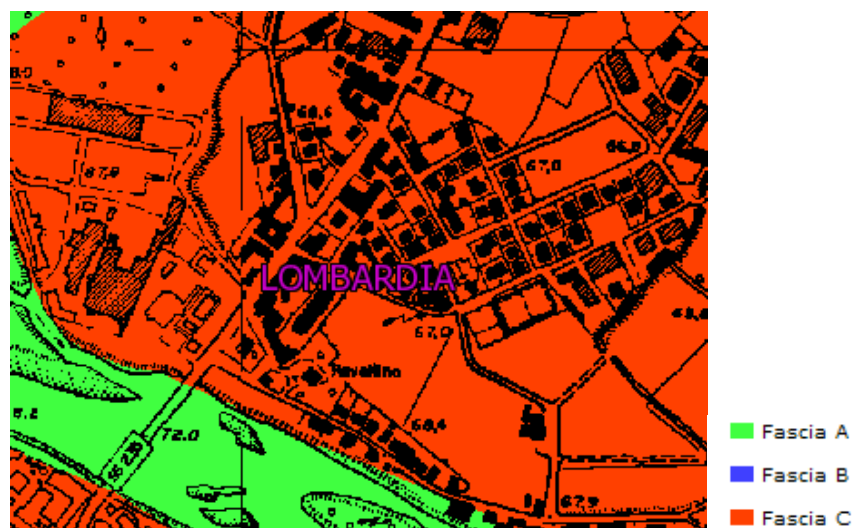
Capacità protettiva dei suoli verso le acque profonde

- DEF\_CL
- E: Elevata
  - E/M: Elevata/Moderata
  - E/B: Elevata/Bassa
  - ME: Moderata/Elevata
  - MM/B: Moderata/Moderata-Bassa
  - M: Moderata
  - M/B/E: Moderata/Bassa/Elevata
  - M/B: Moderata/Bassa
  - B/E: Bassa/Elevata
  - B/M: Bassa/Moderata
  - B: Bassa

Figura E.5. Estratto carta acqua sotterranee consultabile all'indirizzo <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>.

*E.2.2 Pericolosità idraulica*

L'area in esame, per quanto riguarda le fasce fluviali definite dal PAI in esame ricade all'interno della fascia C.

















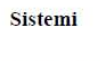
*Figura E.6. Estratto dall'atlante dei piani disponibile in rete sul sito dell'autorità di Bacino del fiume Po*

Le fasce fluviali sono indicate anche nella tavola 2.1 "Tavola delle indicazioni di Piano sistema fisico naturale" del PTCP della provincia di Lodi (approvato con deliberazione del Consiglio Provinciale n°30 del 18/07/2005) di cui si riporta un estratto nella figura seguente: l'area ricade all'interno del limite di fascia C (liv. Presc. 4-art.23.1.1, lett.a).












**Domini di rilevante valenza fisico-naturale**

**Ambiti**

-  Ambiti vincolati ai sensi dell'articolo 136 del D.Lgs. 42/04 (ex L.1497/39) (da verificare ai sensi dell'ultimo comma art.18 degli Indirizzi Normativi) - LIV. PRESC. 4 - ART. 19.8
-  Parchi Regionali - LIV. PRESC. 4 - ART. 19.2
-  Aree di elevato pregio naturalistico tutelate come riserve naturali ai sensi dell'art. 11 della L.r. 86/83 ed ai sensi dell'art. 2 della L. 394/91 - LIV. PRESC. 4 - ART. 19.1
-  Parchi locali di interesse sovracomunale (PLIS) ai sensi dell'art. 34 della L.r. 86/83 - LIV. PRESC. 4 - ART. 19.2
-  Siti di importanza comunitaria per il progetto Bioitaly (SIC) - LIV. PRESC. 4 - ART. 19.2
-  Siti di importanza nazionale (SIN) - LIV. PRESC. 4 - ART. 19.2
-  Zone Protette Speciali - ZPS di Progetto - LIV. PRESC. 4 - ART. 19.2
-  Zone umide - LIV. PRESC. 3 - ART. 20.3
-  Aree ad alta vulnerabilità degli acquiferi - LIV. PRESC. 3 - ART. 23.1.1 lett. c)
-  Corridoi ambientali sovrasistemici di importanza regionale – Primo livello della rete dei valori ambientali - LIV. PRESC. 3 - ART. 26.1
-  Corridoi ambientali sovrasistemici di importanza provinciale – Secondo livello della rete dei valori ambientali - LIV. PRESC. 3 - ART. 26.2
-  Aree di protezione dei valori ambientali - Terzo livello della rete dei valori ambientali - LIV. PRESC. 2 - ART. 26.3
-  Aree di conservazione o ripristino dei valori di naturalità dei territori agricoli - Quarto livello della rete dei valori ambientali - LIV. PRESC. 1 - ART. 26.4
-  Aree funzionali al completamento della rete dei valori ambientali già recepite dai PRG - LIV. PRESC. 3 - ART. 26.7
-  Aree di connessione con ambiti agricoli extraprovinciali - LIV. PRESC. 1 - ART. 26.5

**Sistemi**

Limiti degli ambiti fluviali dei corpi idrici principali e delle relative aree di pertinenza idraulica – Fasce definite dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

-  Limite tra la fascia A e la fascia B - LIV. PRESC. 4 - ART. 23.1.1 lett. a)
-  Limite tra la fascia B e la fascia C - LIV. PRESC. 4 - ART. 23.1.1 lett. a)
-  Limite di progetto tra la fascia B e la fascia C - LIV. PRESC. 4 - ART. 23.1.1 lett. a)
-  Limite esterno della fascia C - LIV. PRESC. 4 - ART. 23.1.1 lett. a)
-  Corsi d'acqua naturali ed artificiali vincolati ai sensi del D.Lgs. 42/04 art. 142, comma 1, lettera c) – ex L. 431/85 – iscritti nell'elenco di cui alla D.G.R. n.4/12028 del 25.07.1986 (da verificare ai sensi dell'ultimo comma art.18 degli Indirizzi Normativi) - LIV. PRESC. 3 - ART. 19.5
-  Ambiti di connessione tra le aree di rilevante valore ambientale individuate dal PTC del Parco Adda Sud ed il territorio provinciale - LIV. PRESC. 2 - ART. 26.8
-  Ambiti di tutela per la continuità della Rete dei valori ambientali in ambito urbano - LIV. PRESC. 3 - ART. 26.6
-  Aste della rete dei canali di rilevante valore ambientale - LIV. PRESC. 2 - ART. 26.9
-  Ambiti ed elementi rilevanti del sistema ambientale per cui prevedere interventi di tutela e/o valorizzazione (cfr. schede "Allegato F") - LIV. PRESC. 3 - ART. 26.10

**Domini di criticità**



-  Ambiti a rischio idrogeologico molto elevato: Zona B-Pr  
(area 069-LO-LO in Comune di Lodi) - LIV. PRESC. 4 - ART. 30.1
-  Ambiti a rischio idrogeologico molto elevato: Zona I  
(area 068-LO-LO in Comune di Guardamiglio) - LIV. PRESC. 4 - ART. 30.1

Figura E.7. Estratto tavola 2.1 “ Tavola delle indicazioni di piano. Sistema fisico naturale” del PTCP di Lodi disponibile sul sito <http://cartografia.provincia.lodi.it>

Sempre all’interno della suddetta tavola, per quanto concerne i “domini di criticità - ambito a rischio idrogeologico” l’area è compresa all’interno di una zona a rischio idrogeologico molto elevato (zona B-Pr)(liv. Presc. 4-art.30.1.

Nella tavola 10 “Carta dei vincoli” del piano cave della provincia di Lodi, si osserva come l’area in esame sia soggetta a vincolo idrogeologico (R.D. 3267/23) e sia assoggettata a L.490/99.

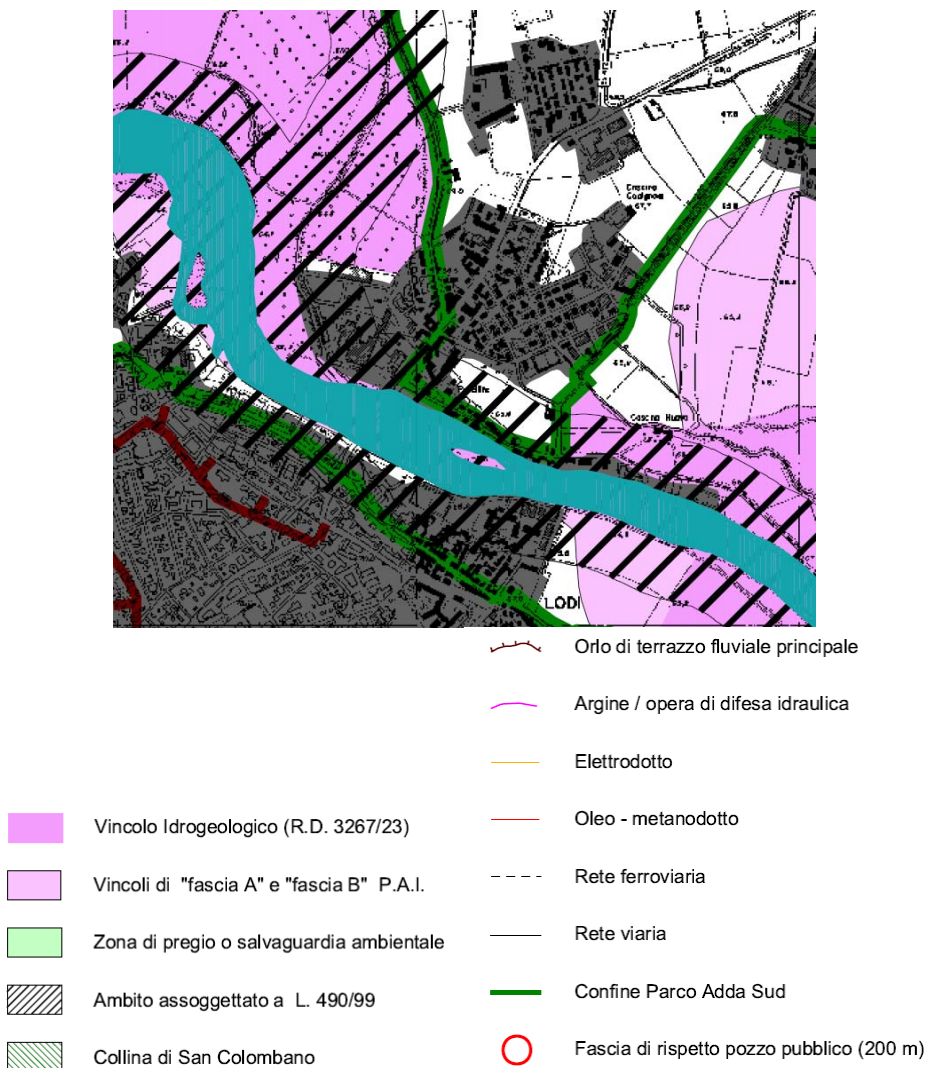


Figura E.8. Estratto dalla carta dei vincoli, tavola 10 del Piano cave della provincia di Lodi

**E.2.3 Variante al P.R.G. del comune di Lodi**

All'interno della "variante al P.R.G. vigente in attuazione dell'art.39 delle norme tecniche di attuazione del P.A.I. approvato con deliberazione del comitato istituzionale dell'autorità di bacino n°18 del 26.04.2001 e in attuazione delle L.R. 41/97, art.2 "prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici e loro varianti"". All'art. 43 si riporta quanto segue:

ART. 43 - DISCIPLINA DEGLI INTERVENTI NELLE AREE CLASSIFICATE AI SENSI DELLA LEGGE REGIONALE 24.11.1997 N .41.

Alla luce delle risultanze dello studio geologico, redatto ai sensi della Legge Regionale 24.11.1997 n. 41 e allegato alla presente variante di Piano Regolatore Generale, che individua 3 classi in cui è suddiviso il territorio comunale, riportate nelle Tav. 7.1 e 7.2 - Carta della fattibilità geologica delle azioni di piano alla scala 1:5000, per le diverse aree ed ambiti e fatto salvo quanto previsto ai precedenti articoli 40 e 41- si dettano le seguenti prescrizioni particolari.

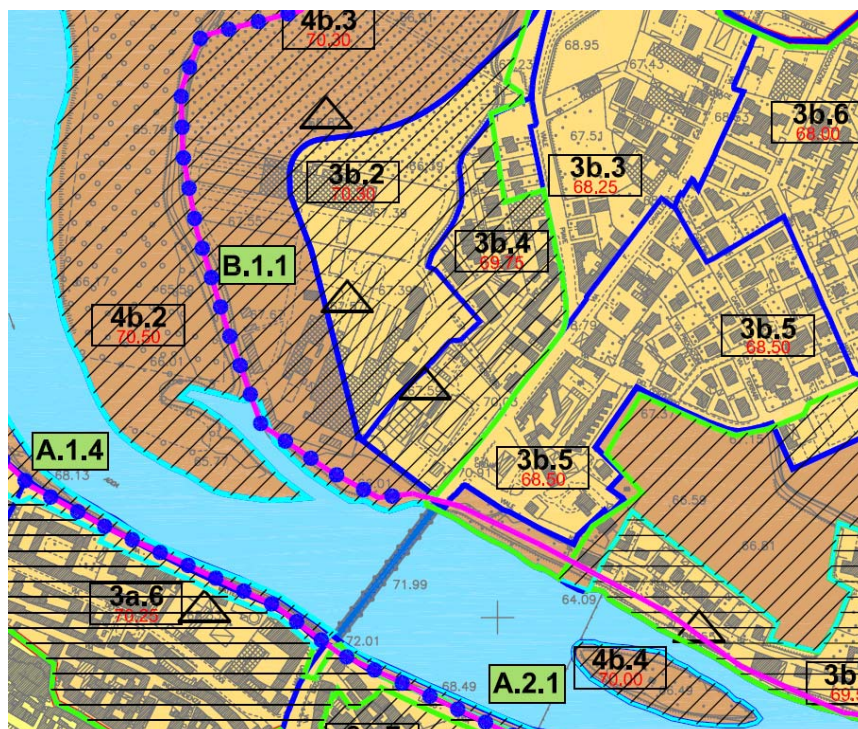
**sottoclasse 3b.2: area edificata ex Sicc**

Sino alla esecuzione delle opere di regimazione e difesa, previste dalla presente variante al P.R.G., si applicano le norme di cui ai precedenti articoli 40 e 41.

Ad avvenuta esecuzione delle opere di cui sopra è comunque vietata la realizzazione di piani interrati o seminterrati, rispetto alla quota campagna; la quota del primo piano di calpestio dovrà essere prevista con congruo franco di sicurezza, rispetto agli eventuali fenomeni di ingressione di acqua piovana e di falda, da definirsi con apposita relazione idrogeologica.

Nel caso in cui il PRG sottoponga gli interventi di trasformazione del territorio alla preventiva approvazione di strumento urbanistico attuativo, questo dovrà essere corredato, a cura del soggetto interessato, da indagine geognostica, relazione geologica, idrogeologica e geotecnica che definisca le condizioni del suolo e del sottosuolo, con particolare riguardo alla caratterizzazione dei terreni di fondazione, alla posizione della falda ed alla sicurezza idraulica ed idrogeologica del sito.

Nel solo caso di strumenti urbanistici attuativi già approvati prima della adozione della presente variante, la relazione geologica idrogeologica e geotecnica dovrà essere presentata contestualmente alla richiesta di concessione edilizia o altro titolo abilitante.





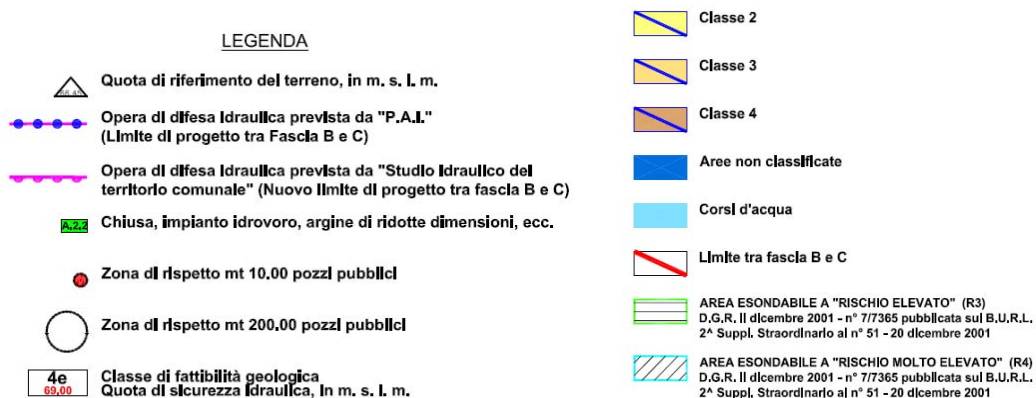


Figura E.9. Estratto dalla tavola delle "Aree a rischio idrogeologico e delle classi di fattibilità geologica delle azioni di piano".

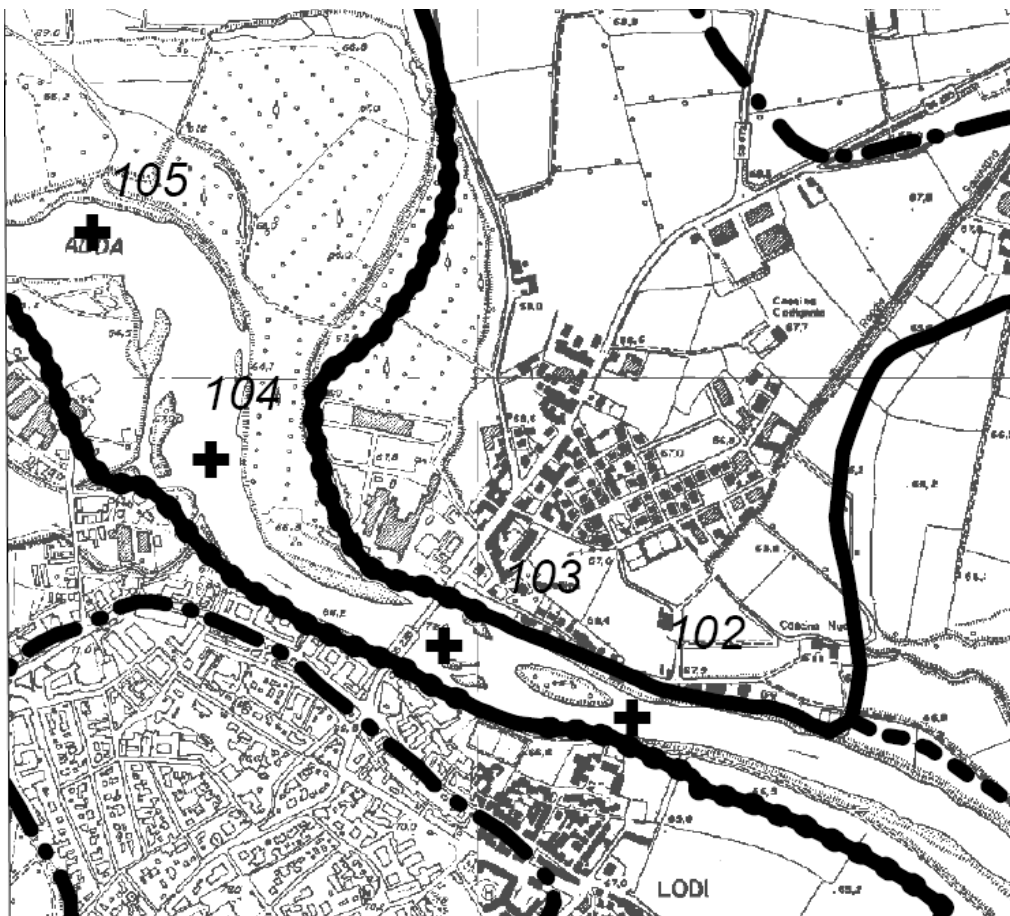
Come si osserva dalla tavola precedente l'area risulta essere esondabile a "rischio molto elevato" R4 e ricade in classe 3 "Fattibilità con consistenti limitazioni", nella sottoclasse 3b2 per la quale sono previste le seguenti prescrizioni:

Nella carta riportata in estratto in figura precedente sono segnalate inoltre le opere di difesa idraulica previste dal PAI (limite di progetto fascia B e fascia C) e le opere di difesa idraulica previste dallo "studio idraulico del territorio comunale" (nuovo limite di progetto tra fascia B e fascia C).

Con delibera n° 85 del 30/03/2005 e successiva modifica nella delibera n° 183 del 07/11/2007 il consiglio comunale di Lodi ha approvato il progetto definitivo per la realizzazione di opere di difesa idraulica in zona ex SICC in attuazione del PAI. Tra i vari interventi previsti, la realizzazione del nuovo argine in sponda sinistra è stato completato durante l'estate 2009.

*E.2.4 Pericolosità idrogeologica*

Al fine di indagare la pericolosità idrogeologica dovuta all'innalzamento della falda a causa degli eventi di piena del fiume Adda sono stati considerati i dati relativi alla piena di progetto contenuti nella direttiva del Piano Stralcio Assetto idrogeologico del Fiume Po (PAI); nelle figure seguenti si riporta un estratto della tavola 140\_I della delimitazione della fasce fluviali nella quale si evidenzia come le sezioni di riferimento per l'area in esame siano la 105-104-103, cautelativamente è stata considerata la quota idrometrica relativa alla sezione 105 (più a monte) di 69.26 m s.l.m.



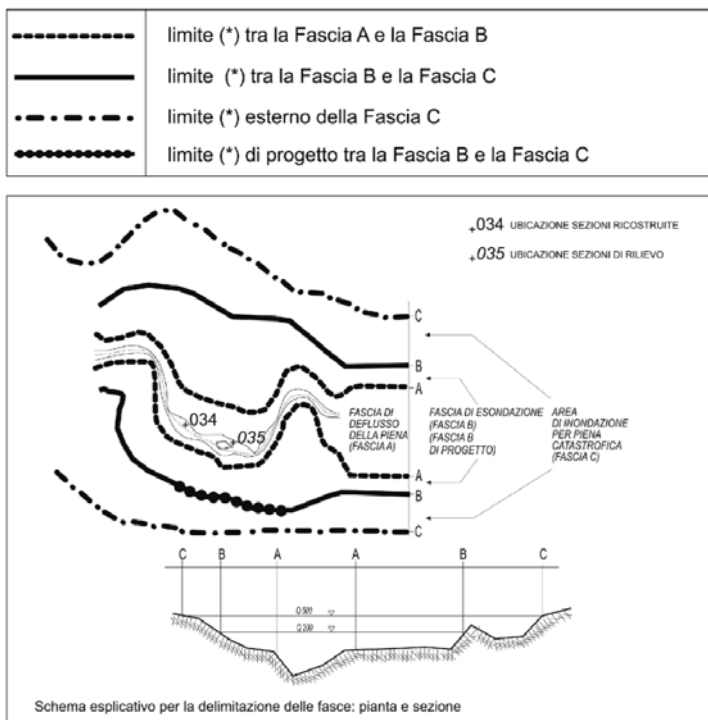


Figura E.10. Estratto dalla tavola delle 140\_I del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico

Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni	
		Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m3/s)
105	231.378	69.26	
104	231.848	68.92	
103	232.478	68.41	

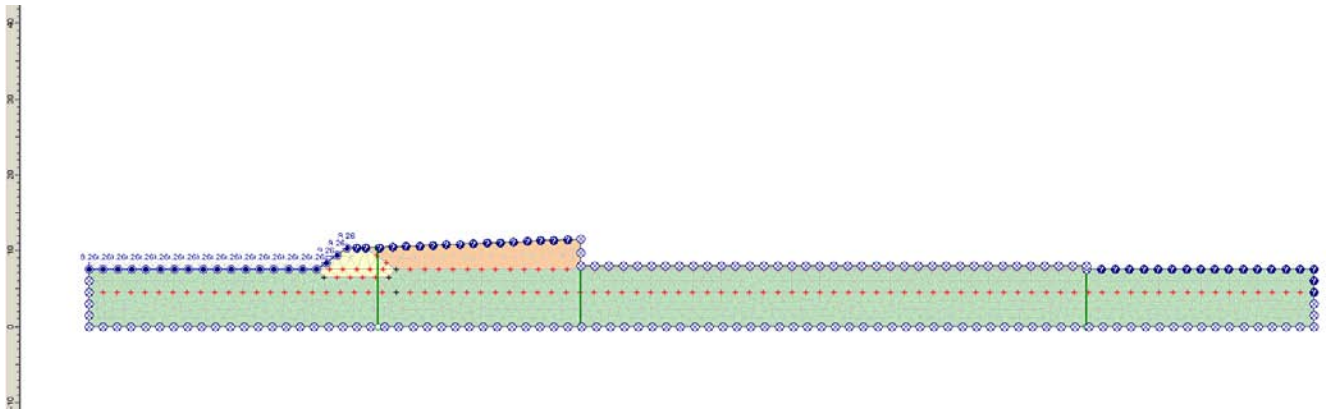
Figura E.11. Estratto tabella 39 della direttiva relativa alle piene di progetto del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico

Sulla base di questo dato di partenza è stata costruita una sezione semplificata nella posizione maggiormente gravosa, ovvero in corrispondenza dell'area più prossima al nuovo argine; la sezione è costruita considerando le quote di progetto del nuovo intervento.

Il modello idrogeologico utilizzato è la semplificazione, nel senso della maggior cautela per le opere previste, della ricostruzione riportata nella tavola allegata (sezioni litologiche); in particolare, non avendo dati certi sulle dimensioni sotto il piano campagna dell'argine costruito è stato considerato un limitato spessore di fondazione pari a 1.0 m associando al materiale di costruzione un coefficiente di permeabilità  $k$  pari a  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s, mentre per quello che riguarda la ricostruzione litologica del sottosuolo è stata considerata la sola presenza del livello di ghiaie GS al quale è stato attribuito un coefficiente di permeabilità  $k$  pari a  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s.

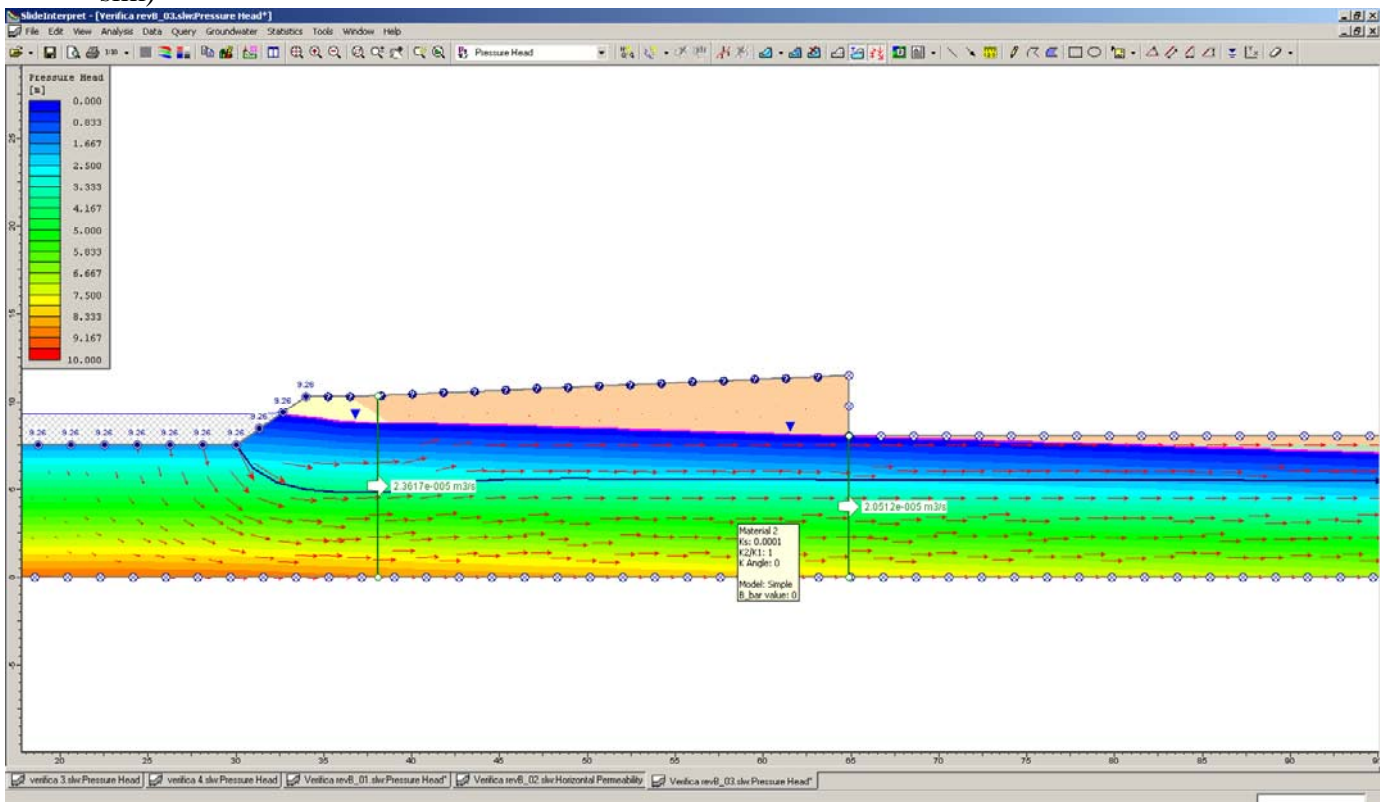
La sezione di progetto prevede un parziale rinterro tra le zone edificate e l'argine esistente, a tali terreni sono state associate permeabilità  $k$  pari a  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Costruito quindi il modello idrogeologico sono state eseguite alcune simulazioni sulla filtrazione con il programma Slide della Rockscience.

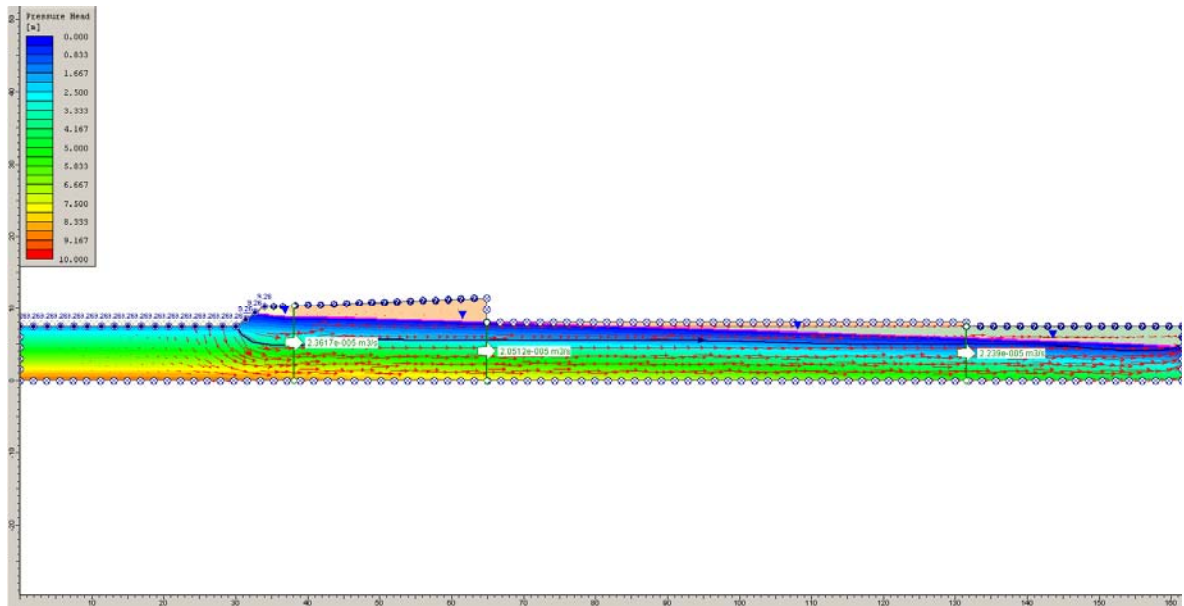


Modello idrogeologico. Material: Material 1 (argine fiume Adda – giallo in sezione) Ks: 1e-008, K2/K1: 1;  
Material: Material 2 (ghiaia alluvionale – verde in sezione):Ks: 0.0001, K2/K1: 1  
Material: Material 3 (riempimenti antropici di progetto): Ks: 1e-005, K2/K1: 1

Caso 1. Piena storica fiume Adda e falda posta a -3 m dal pc. La superficie piezometrica non interessa le superfici antropiche (fondo parcheggi coperti 68.0 m slm e piazzale esterno 67.5 m slm)

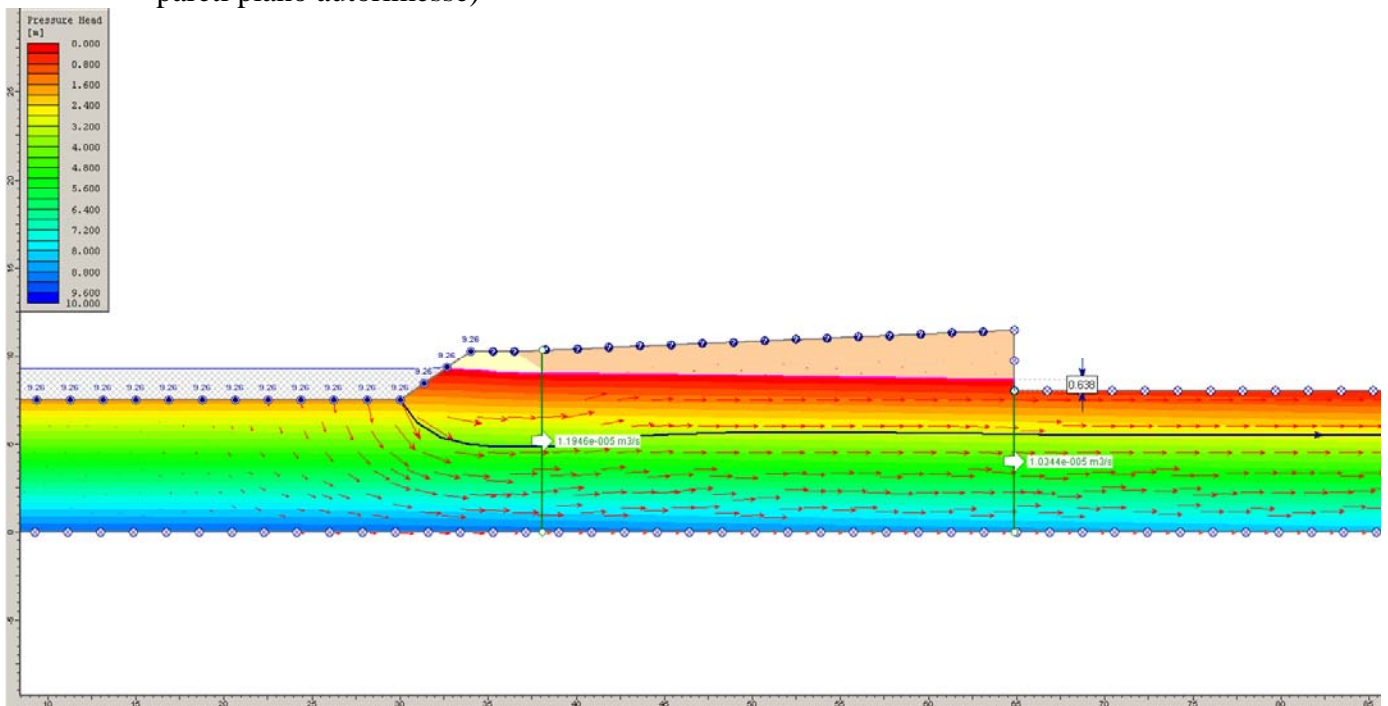


Estratto sezione porzione argine

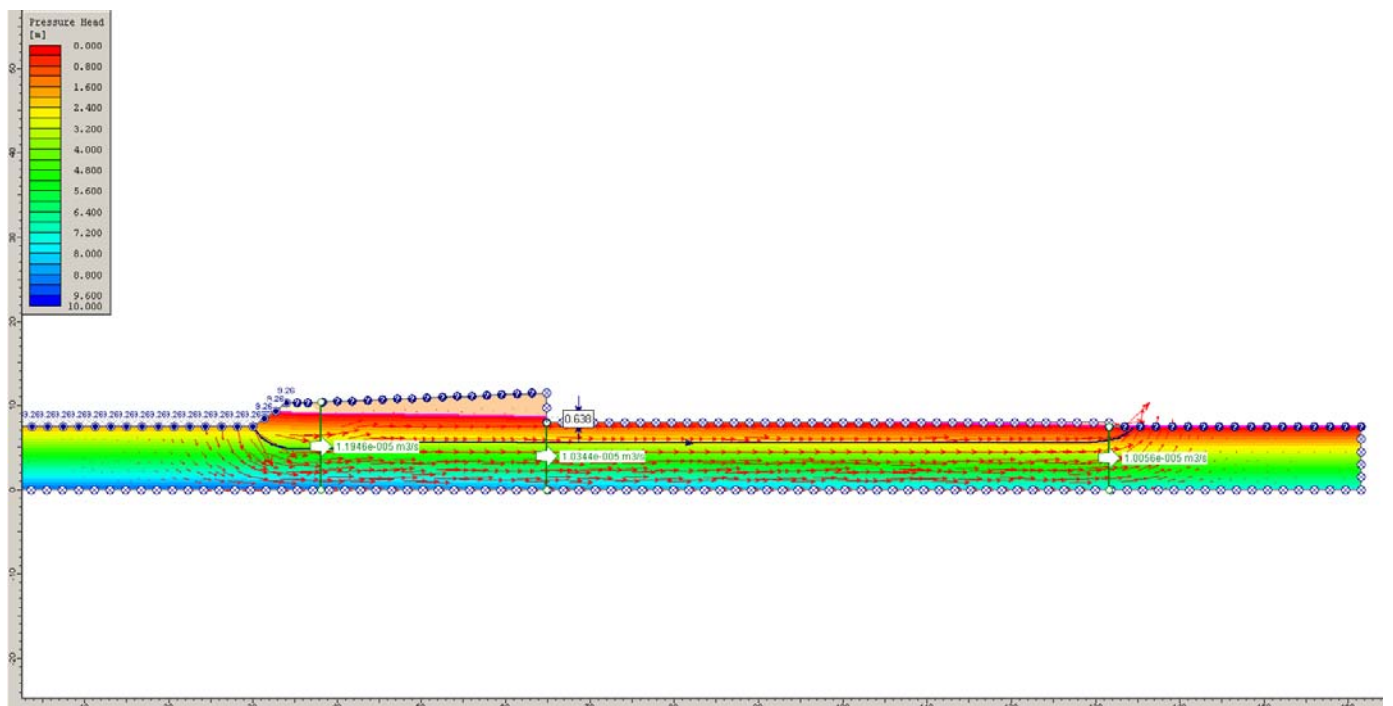
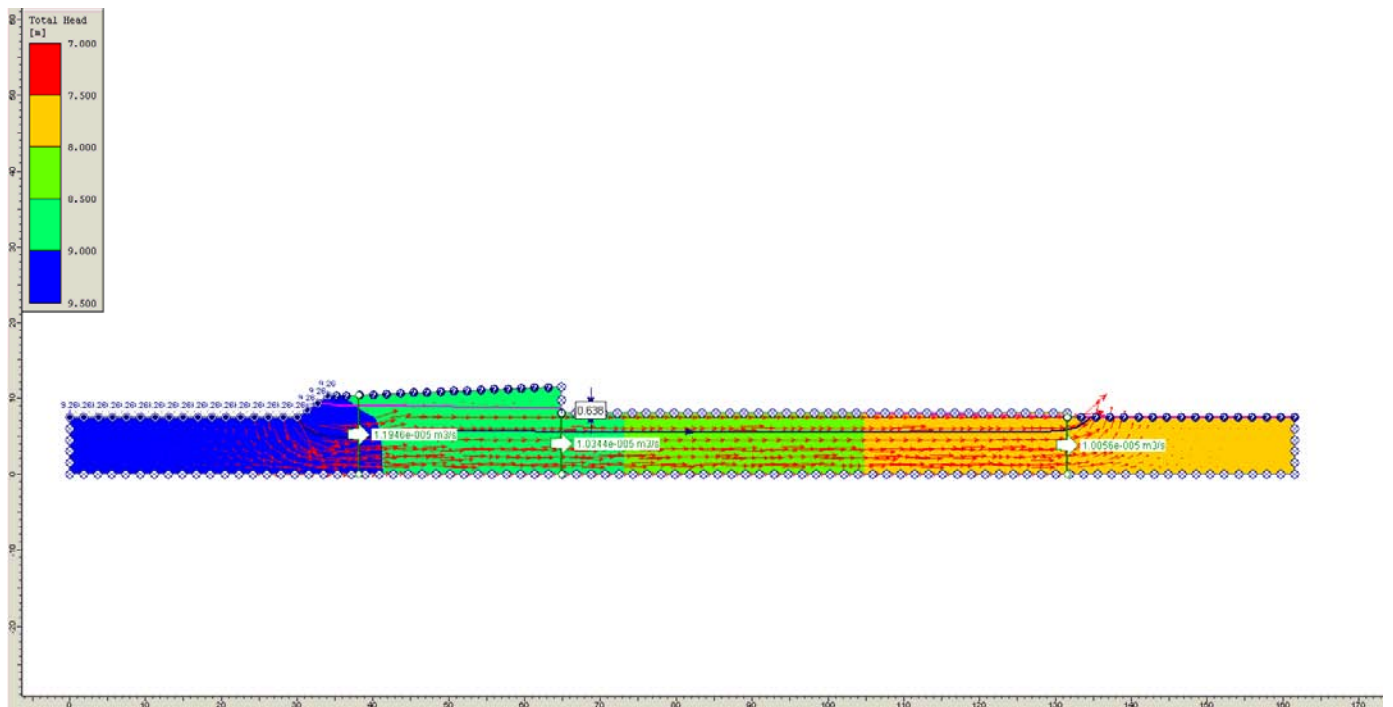


Sezione complessiva

Caso 2. Piena fiume Adda e falda già prossima al piano campagna. La superficie piezometrica indotta dalla piene interessa le opere antropiche. Necessaria impermeabilizzazione fondo e pareti piano autorimesse)



Estratto sezione porzione argine



Sezioni complessiva. La prima sezione esprime le fasce ad ugual carico (in legenda la base è 60, quindi si le legge 67.5 se in legenda 7.5). La seconda sezione esprime la pressione dell'acqua avendo come base 60 m slm

Le analisi eseguite evidenziano quanto segue:

- La piena del fiume Adda produce una ricarica diretta della falda presente nell'area di interesse;
- La ricarica induce un aumento del livello piezometrico;
- Il livello piezometrico, nella sezione corrispondente l'inizio degli edifici tende ad essere inferiore i 68.0 m slm (dato di progetto) se la falda è posta inizialmente a -3.0 m dal pc

(caso misurato), mentre risulta superiore (circa 68.4 m slm) nel caso in cui le ghiaie siano sature.

L'effetto di ricarica tende a ridursi sensibilmente per distanze maggiori i 100 m.

I limiti della modellizzazione sono:

- a. Substrato semplificato con solo ghiaia, in realtà nell'area è presente anche orizzonte di suolo a prevalente granulometria fine.
- b. Sono stati trascurati gli effetti tridimensionali (es. presenza di aree a quote più basse ove la falda tenderà ad indirizzarsi).
- c. La verifica è stata eseguita in condizione statica, mentre l'onda di piena è sicuramente un concetto dinamico.

Pur con i limiti sopra riportati ed essendo la verifica quindi cautelativa si ritiene opportuno:

1. posizionare quota minima interventi area parcheggio interno a 68.0 m slm;
2. prevenire l'impermeabilizzazione del piano autorimesse.
3. Posizionare piezometro di controllo tra gli edifici in progetto e l'argine del fiume Adda.

Si sottolinea anche che la quota minima del primo piano residenziale è posta ad una quota superiore i 70.30 m slm (quota argine).

## F. CONSIDERAZIONI FINALI E FATTIBILITA' GEOLOGICA

Lo studio e le indagini eseguite hanno permesso di evidenziare quanto segue.

- ⇒ L'area è ubicata in una zona in cui al di sotto di un livello di riporto antropico e di un orizzonte di suolo limoso argilloso, talora sabbioso, si trovano ghiaie alluvionali eterometriche, appartenenti alle alluvioni attuali e recenti della valle attuale del Fiume Adda.
- ⇒ Il Comune di Lodi in base all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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*", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003, viene classificato in prima applicazione in **zona 4**.
- ⇒ Nella presente fase di progettazione, in merito alla Pericolosità Sismica Locale (PSL) si è proceduto alla definizione del I° livello di approfondimento che ha individuato una pericolosità sismica locale di tipo **Z4a "Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi"** per il quale sono previsti come effetti *Amplificazioni litologiche e geometriche*. Si sottolinea comunque l'importanza di eseguire verifiche sulla suscettibilità di liquefazione nelle fasi successive di progettazione.
- ⇒ Dal punto di vista geomorfologico ed idrografico l'area si colloca in sinistra idrografica del fiume Adda. Per quanto riguarda le fasce fluviali definite dal PAI l'area in esame ricade all'interno della fascia C. Nella variante al P.R.G. vigente l'area risulta essere esondabile a "rischio molto elevato" R4 e ricade in classe 3 "Fattibilità con consistenti limitazioni", nella sottoclasse 3b2 per la quale sono previste le seguenti prescrizioni: **sottoclasse 3b.2: area edificata ex sicc** Sino alla esecuzione delle opere di regimazione e difesa, previste dalla presente variante al P.R.G., si applicano le norme di cui ai precedenti articoli 40 e 41. Ad avvenuta esecuzione delle opere di cui sopra è comunque vietata la realizzazione di piani interrati o seminterrati, rispetto alla quota campagna; la quota del primo piano di calpestio dovrà essere prevista con congruo franco di sicurezza, rispetto agli eventuali fenomeni di ingressione di acqua piovana e di falda, da definirsi con apposita relazione idrogeologica. Nel caso in cui il PRG sottoponga gli interventi di trasformazione del territorio alla preventiva approvazione di

strumento urbanistico attuativo, questo dovrà essere corredato, a cura del soggetto interessato, da indagine geognostica, relazione geologica, idrogeologica e geotecnica che definisca le condizioni del suolo e del sottosuolo, con particolare riguardo alla caratterizzazione dei terreni di fondazione, alla posizione della falda ed alla sicurezza idraulica ed idrogeologica del sito. Nel solo caso di strumenti urbanistici attuativi già approvati prima della adozione della presente variante, la relazione geologica idrogeologica e geotecnica dovrà essere presentata contestualmente alla richiesta di concessione edilizia o altro titolo abilitante. Nella zona sono previste opere di difesa idraulica in adeguamento al PAI (limite di progetto fascia B e fascia C) e le opere di difesa idraulica previste dallo “studio idraulico del territorio comunale” (nuovo limite di progetto tra fascia B e fascia C). Con delibera n° 85 del 30/03/2005 e successiva modifica nella delibera n°183 del 07/11/2007 il consiglio comunale di Lodi ha approvato il progetto definitivo per la realizzazione di opere di difesa idraulica in zona ex SICC in attuazione del PAI. Tra i vari interventi previsti anche la realizzazione del nuovo argine in sponda sinistra posto a valle dell’area in esame. L’argine è stato completato durante l’estate 2009 ed attualmente separa la zona edificabile dall’area di pertinenza fluviale. La quota di sicurezza idraulica della zona in esame definita nel P.R.G. è di 70.30 m s.l.m. corrispondente alla quota di sommità dell’argine realizzato.

- ⇒ In base ai dati ottenuti dalle prove eseguite, integrati con le osservazioni di campagna è stata definita la seguente stratigrafia. Si nota la presenza di un primo orizzonte di riporto (R) costituito da ghiaie e materiale lapideo, di spessore variabile, presente fino a una profondità massima di 2.10 m. Al di sotto si trova il suolo (S) costituito da materiale argilloso-limoso, in alcuni casi sabbioso, di colore grigio marrone con spessore variabile tra 0.60-1.50 m. Più in profondità si trovano infine ghiaie (GS) eterometriche ( $\phi_{max}$  5-20 cm), di colore grigio in scarsa matrice sabbiosa. In allegato sono riportate due sezioni litologiche che meglio evidenziano la successione litologica dell’area. Si sottolinea anche che l’indagine sismica ha indagato uno spessore di circa 30.0 m di profondità evidenziando una presenza costante di materiale tipo ghiaie e sabbie tra i 7 ed i 30 m di profondità.

LIVELLI (m da p.c.)	SCPT1	SCPT2	SCPT3	SCPT4	SCPT5	SCPT6	SCPT7	SCPT8
R - riporto	0.00-0.60	0.00-1.80	0.00-2.10	-	-	-	0.00-0.30	0.00-0.30
S - suolo	0.60-2.10	1.80-3.30	2.10-3.00	0.00-1.20	0.00-0.90	0.00-1.20	0.30-0.90	0.30-0.90
GS - ghiaie	2.10-3.60	3.30-4.20	3.00-4.20	1.20-3.30	0.90-3.00	1.20-3.30	0.90-3.30	0.90-3.30

LIVELLI (m da p.c.)	S1	S2	S3
R - riporto	0.00-1.00	0.00-0.90	0.00-0.30
S - suolo	1.00-2.50	0.90-1.90	0.30-1.50
GS - ghiaie	2.50-4.05	1.90-2.50	1.50-3.30

- ⇒ Durante l’esecuzione delle prove è stata rilevata la presenza della falda superficiale alla profondità variabile di 1.50-3.10 m da p.c..
- ⇒ L’elaborazione dei dati ottenuti attraverso prove eseguite in sito ha permesso di caratterizzare dettagliatamente il terreno:

Parametri R	Parametri S	Parametri GS	
$\gamma = 16.00 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18. \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 17.50 \text{ kN/m}^3$	Dove:



$C' = 0.0 \text{ kN/m}^2$	$C_u = 27 \text{ kN/m}^2$	$C' = 0.0 \text{ kN/m}^2$	$\gamma$ = peso di volume $C_u$ = Resistenza al taglio in condizioni non drenate $\phi'$ angolo di attrito efficace $M$ = Modulo Edometrico
$\phi' = 29-31^\circ$	$\phi' = 0^\circ$	$\phi' = 32^\circ-37^\circ (34.5^\circ)$	
	$M = 5.5 \text{ MPa}$	$E = -31-55 \text{ MPa}$	

- ⇒ L'analisi preventiva sulle fondazioni è stata condotta, a puro titolo di esempio, considerando che la fondazione venga posizionata ad una quota maggiore i 2.5 m dal pc e comunque posizionata sul livello di ghiaie naturali presenti in sito. Le analisi sono state condotte secondo quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM del 14 gennaio 2008. In particolare è stato utilizzato l'approccio 1 con la combinazione 2: (A2+M2+R2) adottando la formula di Brinch-Hansen (suggerita negli eurocodici 7 e 8). Le verifiche hanno individuato valori di capacità portante relativamente elevati per fondazioni poste sul livello ghiaioso GS. Si suggerisce di preventivare fondazioni con carichi trasmessi al suolo di circa 150 kN/mq (1.5 kg/cmq). È importante durante le fasi successive di progettazione dettagliare le indagini ed eseguire verifiche puntuali associate ad analisi dei cedimenti assoluti e differenziali.
- ⇒ Per individuare le condizioni di pericolosità idrogeologica connessa all'innalzamento della falda a seguito del transito della piena del fiume Adda sono state redatte alcune verifiche analitiche di filtrazione della falda considerando una quota di piena del fiume Adda pari a 69.26 m slm (quota idrometrica relativa alla sezione 105 estratta dal Piano Stralcio Assetto idrogeologico del Fiume Po (PAI)). Le verifiche sono riportate nel § precedente. Le analisi eseguite evidenziano quanto segue:
1. La piena del fiume Adda produce una ricarica diretta della falda presente nell'area di interesse;
  2. La ricarica induce un aumento del livello piezometrico;
  3. Il livello piezometrico, nella sezione corrispondente l'inizio degli edifici tende ad essere inferiore i 68.0 m slm (dato di progetto) se la falda è posta inizialmente a -3.0 m dal pc (caso misurato), mentre risulta superiore (circa 68.4 m slm) nel caso in cui le ghiaie siano sature.
- Pur essendo la verifica eseguita cautelativa si ritiene opportuno:
- posizionare quota minima interventi area parcheggio interno a 68.0 m slm;
  - preventivare l'impermeabilizzazione del piano autorimesse;
  - posizionare piezometro di controllo tra gli edifici in progetto e l'argine del fiume Adda.

Si sottolinea anche che la quota minima del primo piano residenziale è posto ad una quota superiore i 70.30 m slm (quota argine).

In considerazione di quanto sopra esposto si ritiene l'opera geologicamente, sismicamente ed idrogeologicamente compatibile purché vengano rispettate le prescrizioni contenute nella presente relazione

Parma, Ottobre 2009

Dott. Geol Giancarlo Bonini

**ALLEGATO 1**  
**INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.**  
**(MULTISPECTRAL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)**

**UBICAZIONE DELL'AREA**

L'area in esame ricade nel comune di Lodi, presso l'area ex-Sicc.

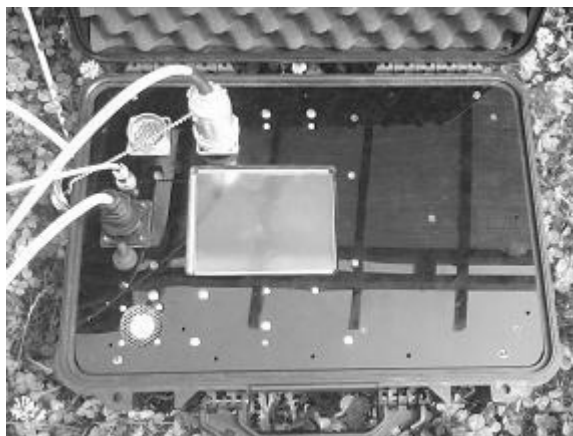


**PROVE MASW - CALCOLO  $V_{S30}$**

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

corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.



L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ . Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali

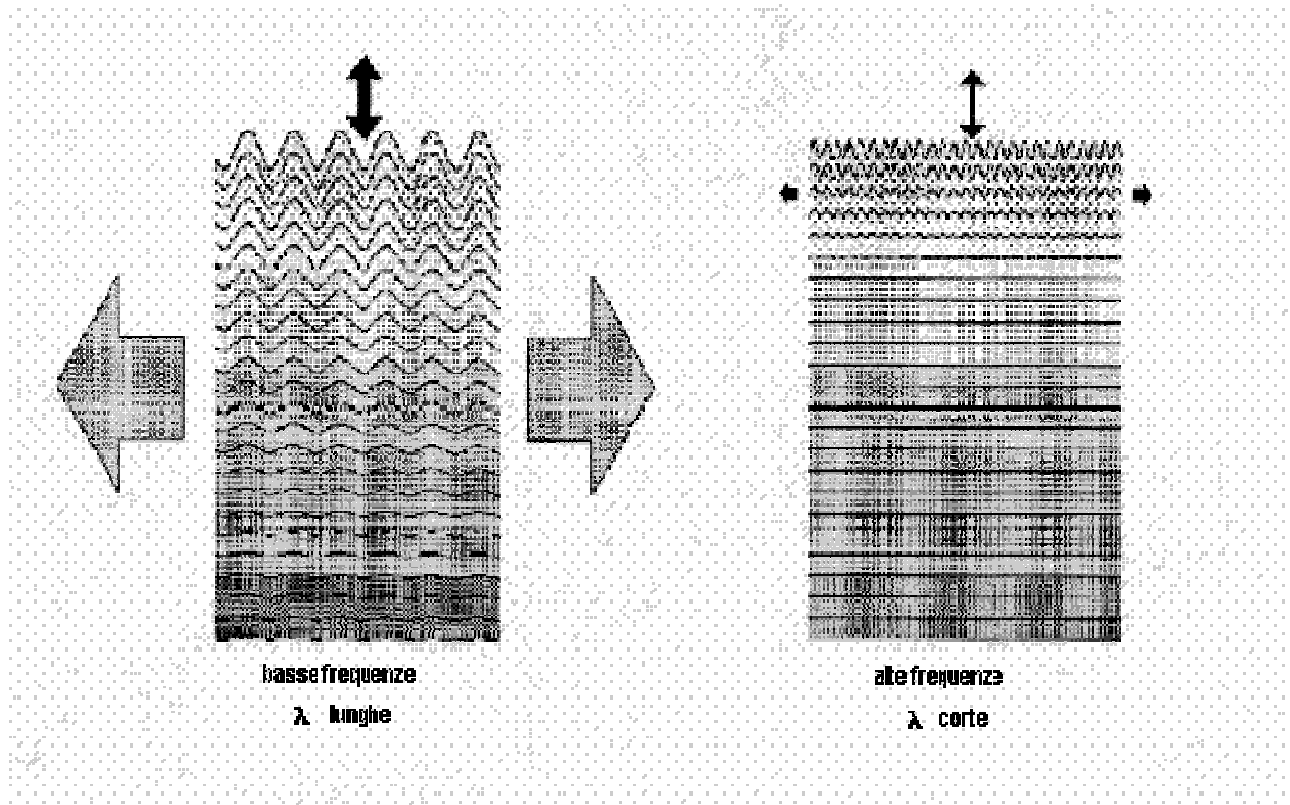
fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza(<10Hz).

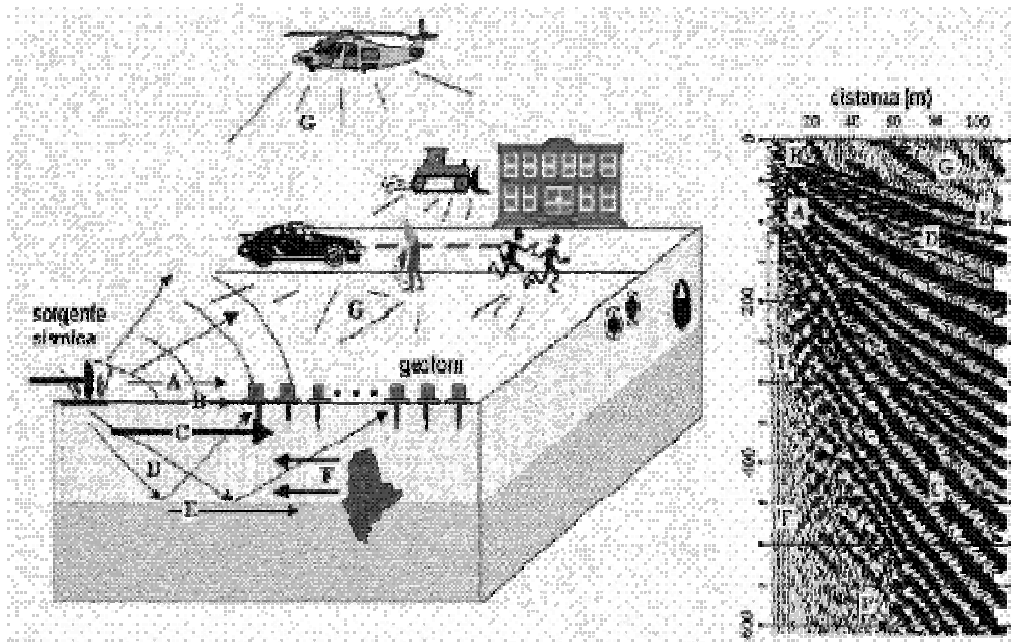


L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

#### STRUMENTAZIONE

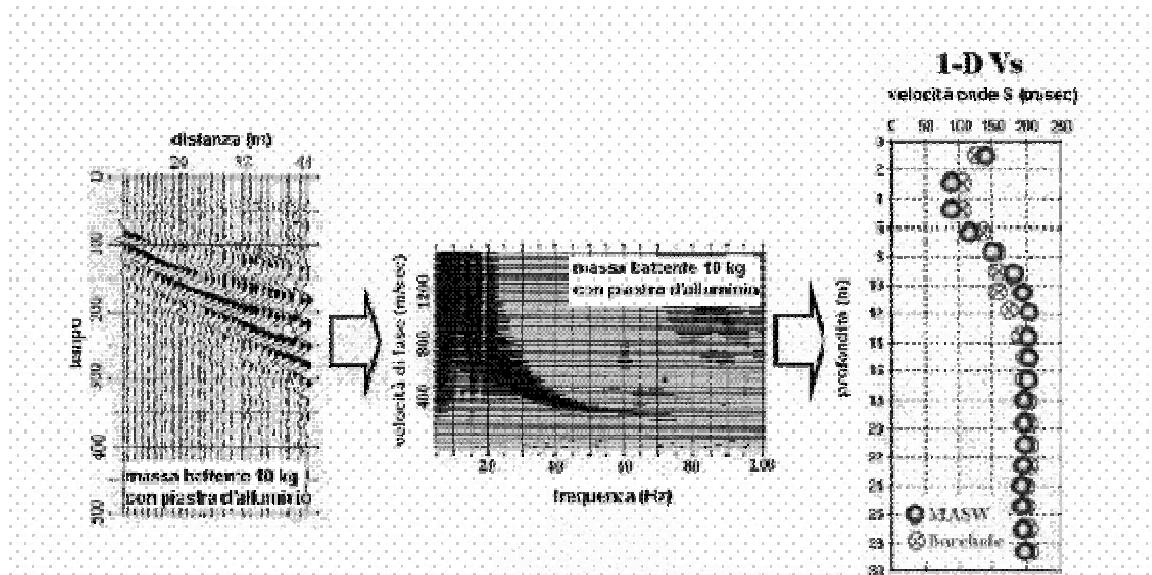
- un sismografo EEG BR24
- 24 geofoni a 4.5Hz
- mazza da 10 Kg o fucile sismico

#### VANTAGGI DELLA REGISTRAZIONE MULTICANALE



- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| A: onde in aria       | E: onde rifratte     |
| B: onde dirette       | F: onde riverberate  |
| C: onde di superficie | G: rumore ambientale |
| D: onde riflesse      |                      |

**DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW**

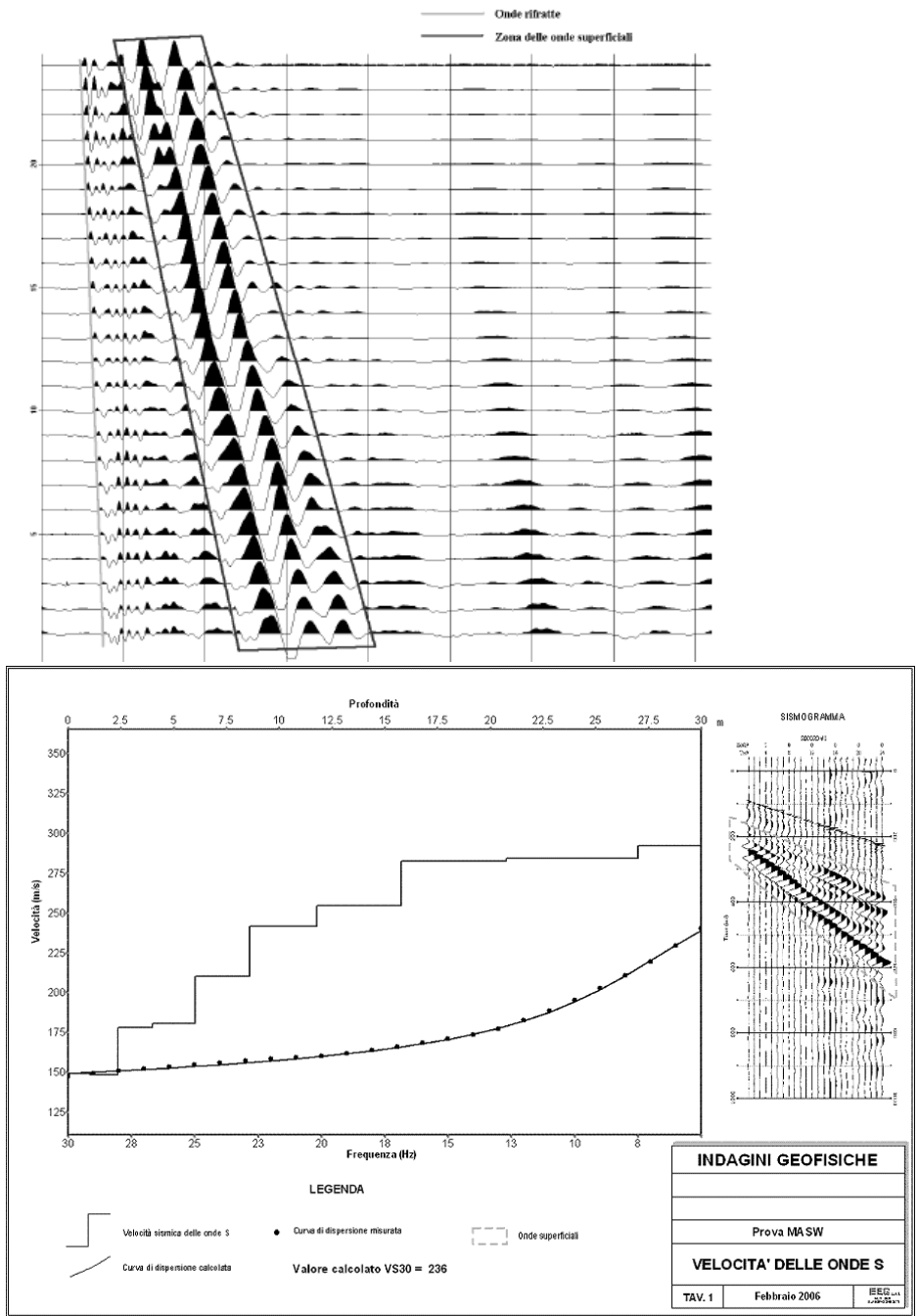


La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati di campo;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti

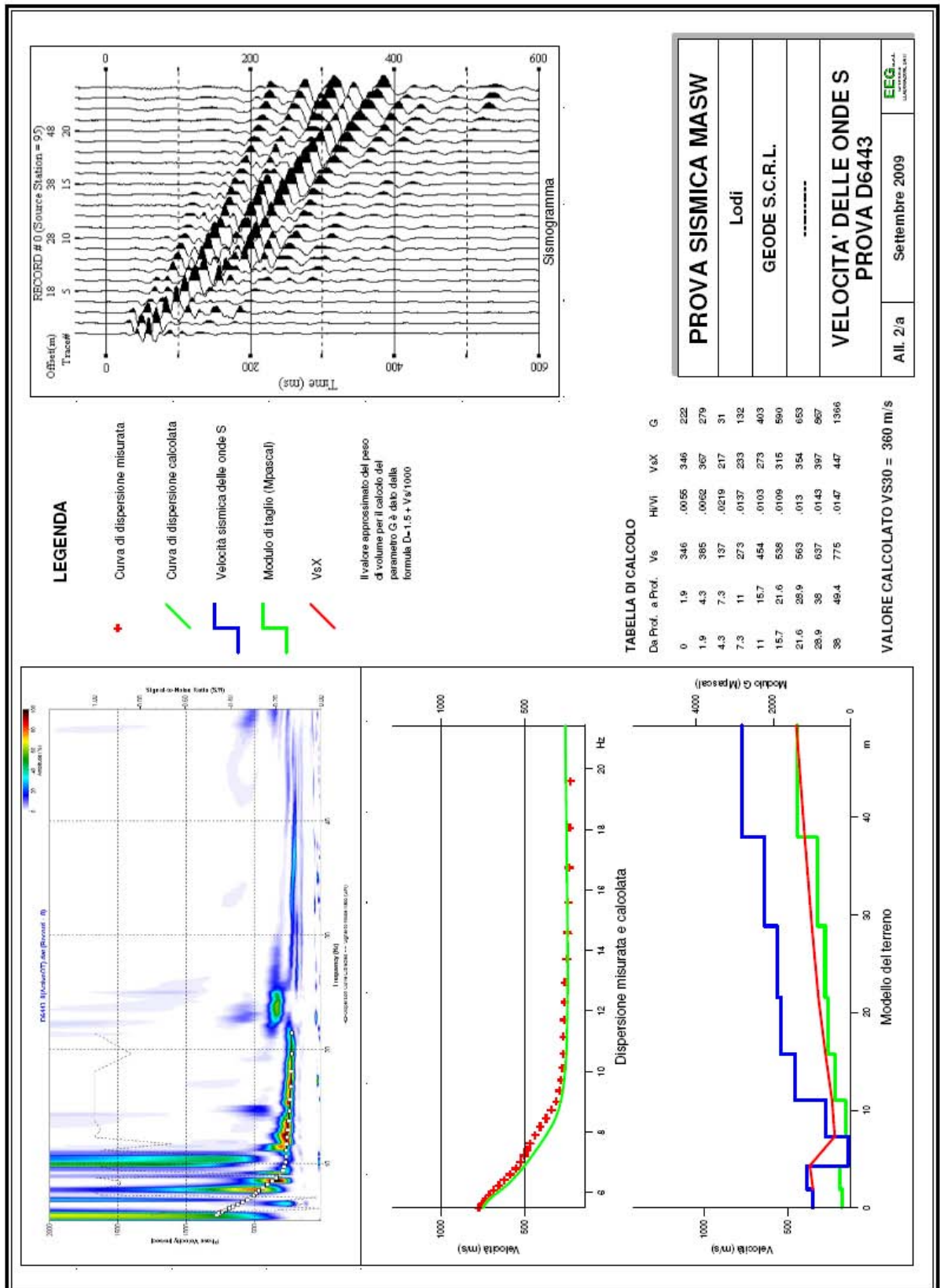
proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.





**ELABORAZIONE DELLA PROVA**

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato sulla base della prova MASW eseguita risulta pari a 360 m/s.



**ALLEGATO 2**  
**PROVE DI LABORATORIO**



**Studio MM S.r.l.**  
Consulenza materie prime - Prove materiali

di Michele Mazzoni

Strada Pedemontana 40/s - 43029 Mamiano di Traversetolo (PR)  
Tel. 0521/844092 - Fax. 0521/344744 - www.studio-mm.it - E-mail: info@studio-mm.it



**Committente:** *GEODE S.r.l.*

***Prove Geotecniche di Laboratorio***



**Materiale:**

*Terreno naturale, Lodi (LO)*

**Data:**

*22-set-09*

**Studio MM S.r.l.**

Consulenza materie prime - Prove materiali

di Michele Mazzoni

Strada Pedemontana 40/s - 43029 Mamiano di Traversetolo (PR)  
Tel. 0521/844092 - Fax. 0521/344744 - www.studio-mm.it - E-mail: info@studio-mm.it

rev 2 del 27/04/09

**Limiti di Atterberg (UNI CNR 10014)**

Committente	GEODE S.r.l.		
Data prelievo	22/09/2009		
Data consegna	22/09/2009		
Data prova	22/09/2009		
Sondaggio	-	Stato del campione	Indisturbato
Campione	Terreno Naturale		
Profondità del prelievo	1,50m	Località:	Lodi (LO)
Rapporto di prova N°	GD_2009-09-25_L		

Peso dell'unità di volume	Peso specifico dei grani ( $\rho_g$ )	Densità secca	Contenuto in acqua
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)
1,87	2,68	-	27,8
<b>Limite Liquido</b>	<b>Limite Plastico</b>	<b>Indice Plastico</b>	<b>Limite di ritiro</b>
%	%	%	%
36,3	26,5	9,8	-
<b>Resistenza alla penetrazione (pocket penetrometer)</b>		<b>Resistenza al taglio non drenata <math>c_u</math> (vane test)</b>	
Valori (kg/cm <sup>2</sup> )	-	Valori (kg/cm <sup>2</sup> )	-
Posizione (cm)	-	Posizione (cm)	-



Particolari delle prove con scissometro e penetrometro tascabili

<b>Il Tecnico</b>  Dott. Alex Orlandini	<b>La Direzione Tecnica</b> <b>Studio tecnologico M &amp; M</b> Consulenza materie prime e prove materiali Dott. Geol. Mazzoni Michele
--	---

**Note**

<b>Strumentazione utilizzata per la prova</b>	Scissometro tascabile- Tecnotest (Codice interno SC01) Penetrometro tascabile- Eurolab (Codice interno PP01) Cucchiaio di Casagrande- Tecnotest (Codice interno CU01)
---	---



**Studio MM S.r.l.**  
Consulenza materie prime - Prove materiali  
**di Michele Mazzoni**

Strada Pedemontana 40/s - 43029 Mamiano di Traversetolo (PR)  
Tel. 0521/844092 - Fax. 0521/344744 - www.studio-mm.it - E-mail: info@studio-mm.it

rev 0 del 02/01/07

**PROVA DI COMPRESIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA (A.S.T.M.)**

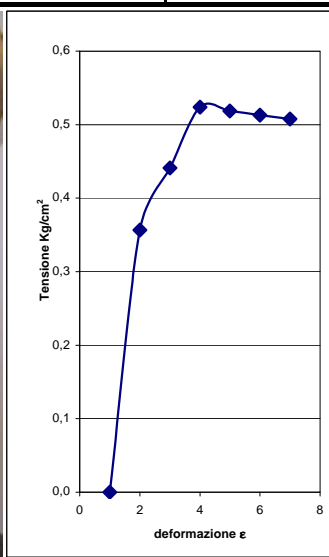
Committente	GEODE S.r.l.		
Sondaggio	-		
Campione	Argillite	Stato del campione	Indisturbato
Profondità del prelievo	1,50m	Località:	Lodi (LO)
Data consegna	22/09/2009	Data prova	22/09/2009
Dimensioni provino	altezza: 76 mm - diametro 38 mm		
Prova	deformazione controllata - velocità di deformazione (mm/min) = <b>1,52</b>		
Rapporto di prova N°	GD_2009-09-25_EL		

**CONDIZIONI INIZIALI**

Peso dell'unità di volume (g/cm <sup>3</sup> )	Peso specifico dei grani (ρ <sub>g</sub> ) (g/cm <sup>3</sup> )	Contenuto in acqua (%)	Indice di Porosità	Porosità (%)	Grado di saturazione (%)
1,87	2,68	27,8	0,83	45,3	90

**CONDIZIONI DI ROTTURA**

Provino	Tensione verticale (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata C <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformazione normale (%)
	1	<b>0,52</b>	<b>0,26</b>
2	<b>0,54</b>	<b>0,27</b>	<b>3</b>
3	<b>0,53</b>	<b>0,27</b>	<b>3</b>



Curva Sforzi-deformazioni (foto a sinistra) e fase finale della prova dopo la rottura del campione (foto a destra)

Il Tecnico

Dott. Alex Orlandini

La Direzione Tecnica  
**Studio tecnologico M & M**  
Consulenza materie prime e prove materiali  
Dott. Geol. Mazzoni Michele

Strumentazione utilizzata per la prova

Pressa Multi Speed ( 5 Ton) - Matest (Codice interno PM01-T)

**NOTE: I valori delle condizioni iniziali sono mediati su quelli desunti dai 2 campioni testati**

**ALLEGATO 3**  
**INDAGINI GEOGNOSTICHE**



*Foto 1. Esecuzione prove penetrometriche dinamiche*



*Foto 2. Esecuzione prove penetrometriche dinamiche*

**PENETROMETRO DINAMICO IN USO : TG 73-100/200**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

**CARATTERISTICHE TECNICHE : TG 73-100/200**

PESO MASSA BATTENTE	M = 73,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 0,71 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,43 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,50 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 7,13 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1 = 0,60 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,30$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(30) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 30 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A $\delta$ ) = 8,93 kg/cm <sup>2</sup> ( prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,141$ ( teoricamente : Nspt = $\beta_t$ N )

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

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

Rpd = resistenza dinamica punta [ area A]  
e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = peso massa battente (altezza caduta H)  
P = peso totale aste e sistema battuta

## UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm<sup>2</sup> = 0.098067 MPa  
1 MPa = 1 MN/m<sup>2</sup> = 10.197 kg/cm<sup>2</sup>  
1 bar = 1.0197 kg/cm<sup>2</sup> = 0.1 MPa  
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA****DIN 1**

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 3,0 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,30	5	38,6	1	1,80 - 2,10	7	48,0	2
0,30 - 0,60	10	77,3	1	2,10 - 2,40	35	215,7	3
0,60 - 0,90	4	27,4	2	2,40 - 2,70	39	240,4	3
0,90 - 1,20	6	41,1	2	2,70 - 3,00	45	277,4	3
1,20 - 1,50	4	27,4	2	3,00 - 3,30	52	320,5	3
1,50 - 1,80	5	34,3	2	3,30 - 3,60	100	616,4	3

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 73-100/200**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA****DIN 2**

- committente : GEODE  
 - lavoro : Immobiliare Revelino  
 - località : LODI - Via P. Ferrabini  
 - note :

- data : 23/09/2009  
 - quota inizio : p.c.  
 - prof. falda : 3.0 m da quota inizio  
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,30	5	38,6	1	2,40 - 2,70	5	30,8	3
0,30 - 0,60	5	38,6	1	2,70 - 3,00	5	30,8	3
0,60 - 0,90	4	27,4	2	3,00 - 3,30	3	18,5	3
0,90 - 1,20	4	27,4	2	3,30 - 3,60	15	92,5	3
1,20 - 1,50	5	34,3	2	3,60 - 3,90	25	139,9	4
1,50 - 1,80	5	34,3	2	3,90 - 4,20	100	559,8	4
1,80 - 2,10	6	41,1	2	4,20 - 4,50	----	----	4
2,10 - 2,40	6	37,0	3				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 73-100/200**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA****DIN 3**

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 3.0 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,30	5	38,6	1	2,40 - 2,70	4	24,7	3
0,30 - 0,60	5	38,6	1	2,70 - 3,00	3	18,5	3
0,60 - 0,90	3	20,6	2	3,00 - 3,30	25	154,1	3
0,90 - 1,20	2	13,7	2	3,30 - 3,60	41	252,7	3
1,20 - 1,50	2	13,7	2	3,60 - 3,90	72	403,1	4
1,50 - 1,80	7	48,0	2	3,90 - 4,20	100	559,8	4
1,80 - 2,10	4	27,4	2	4,20 - 4,50	----	----	4
2,10 - 2,40	3	18,5	3				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 73-100/200**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA****DIN 4**

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,30	3	23,2	1	1,80 - 2,10	32	219,4	2
0,30 - 0,60	4	30,9	1	2,10 - 2,40	31	191,1	3
0,60 - 0,90	3	20,6	2	2,40 - 2,70	40	246,6	3
0,90 - 1,20	4	27,4	2	2,70 - 3,00	55	339,0	3
1,20 - 1,50	15	102,9	2	3,00 - 3,30	100	616,4	3
1,50 - 1,80	27	185,1	2				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 73-100/200**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA****DIN 5**

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,30	7	54,1	1	1,50 - 1,80	34	233,1	2
0,30 - 0,60	8	61,8	1	1,80 - 2,10	38	260,6	2
0,60 - 0,90	7	48,0	2	2,10 - 2,40	41	252,7	3
0,90 - 1,20	17	116,6	2	2,40 - 2,70	56	345,2	3
1,20 - 1,50	25	171,4	2	2,70 - 3,00	100	616,4	3

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 73-100/200**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA****DIN 6**

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,30	16	123,6	1	1,80 - 2,10	39	267,4	2
0,30 - 0,60	16	123,6	1	2,10 - 2,40	38	234,2	3
0,60 - 0,90	9	61,7	2	2,40 - 2,70	47	289,7	3
0,90 - 1,20	11	75,4	2	2,70 - 3,00	66	406,8	3
1,20 - 1,50	19	130,3	2	3,00 - 3,30	100	616,4	3
1,50 - 1,80	25	171,4	2				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 73-100/200**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA****DIN 7**

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,30	8	61,8	1	1,80 - 2,10	30	205,7	2
0,30 - 0,60	5	38,6	1	2,10 - 2,40	46	283,5	3
0,60 - 0,90	3	20,6	2	2,40 - 2,70	39	240,4	3
0,90 - 1,20	16	109,7	2	2,70 - 3,00	41	252,7	3
1,20 - 1,50	21	144,0	2	3,00 - 3,30	100	616,4	3
1,50 - 1,80	27	185,1	2				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 73-100/200**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA****DIN 8**

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,30	6	46,4	1	1,80 - 2,10	32	219,4	2
0,30 - 0,60	9	69,5	1	2,10 - 2,40	46	283,5	3
0,60 - 0,90	7	48,0	2	2,40 - 2,70	38	234,2	3
0,90 - 1,20	13	89,1	2	2,70 - 3,00	72	443,8	3
1,20 - 1,50	17	116,6	2	3,00 - 3,30	100	616,4	3
1,50 - 1,80	35	240,0	2				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 73-100/200**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**



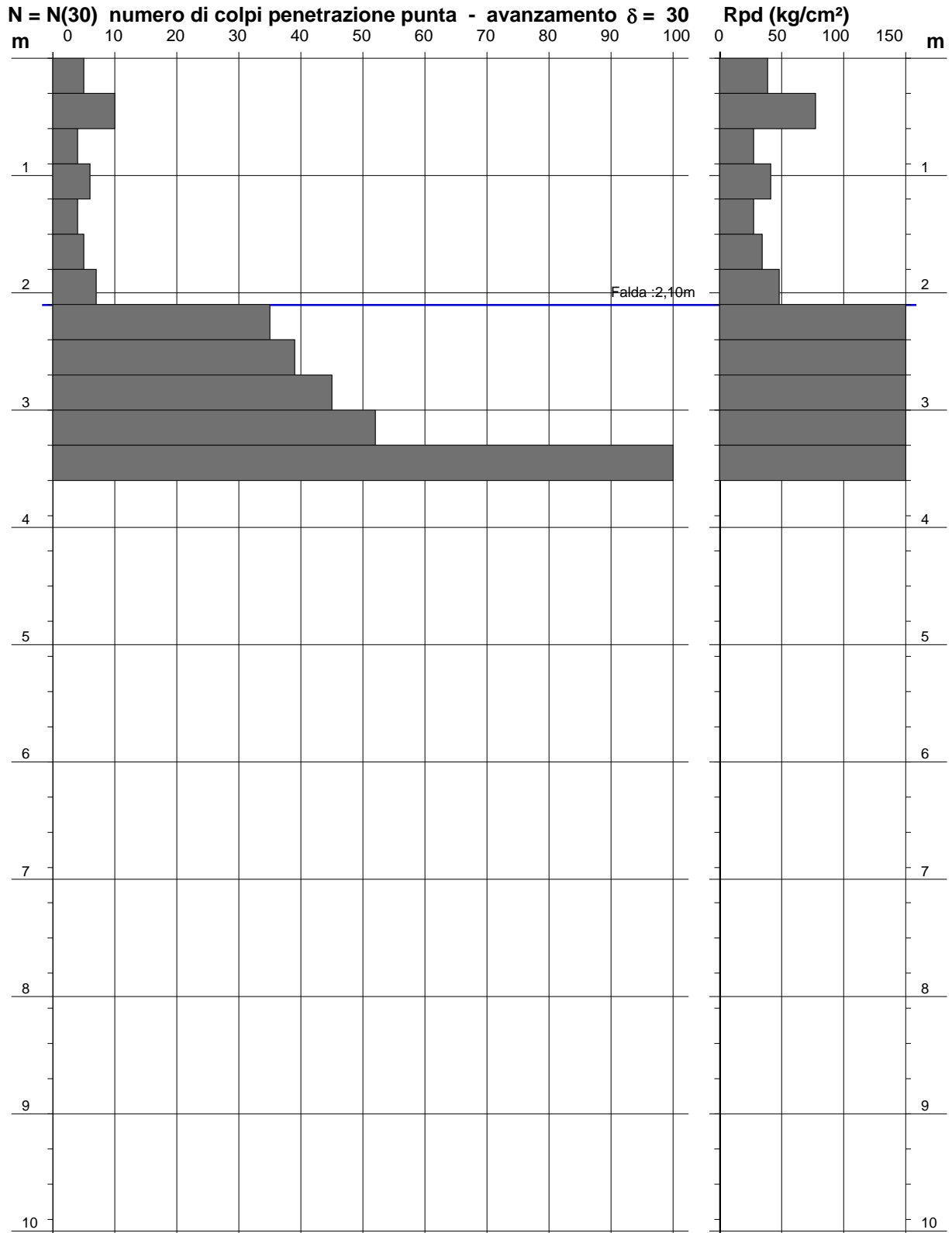
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 1**

Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda: 3,0 m da quota inizio  
- pagina : 1



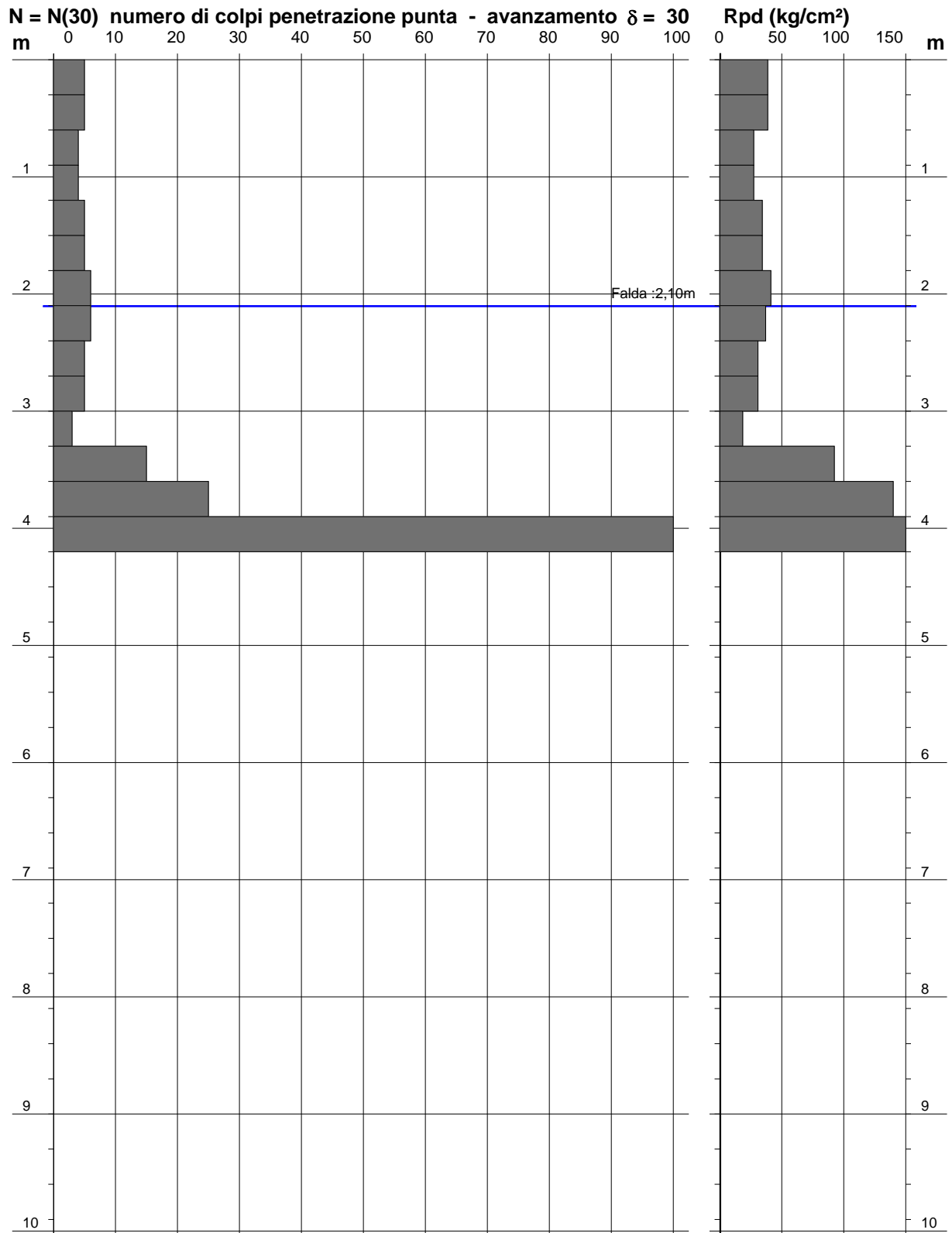
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 2**

Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 3,0 m da quota inizio  
- pagina : 1



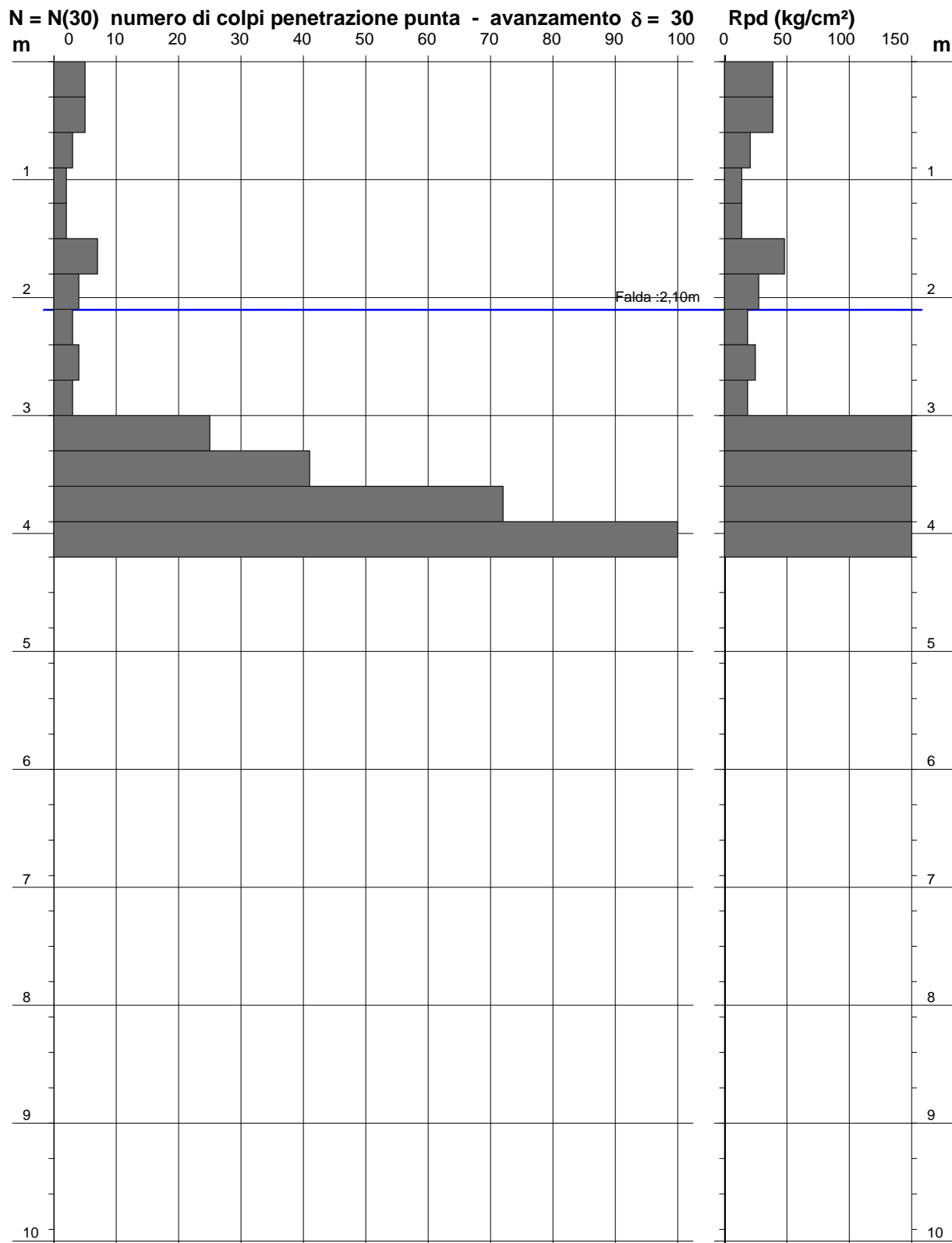
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 3**

Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 3,0 m da quota inizio  
- pagina : 1



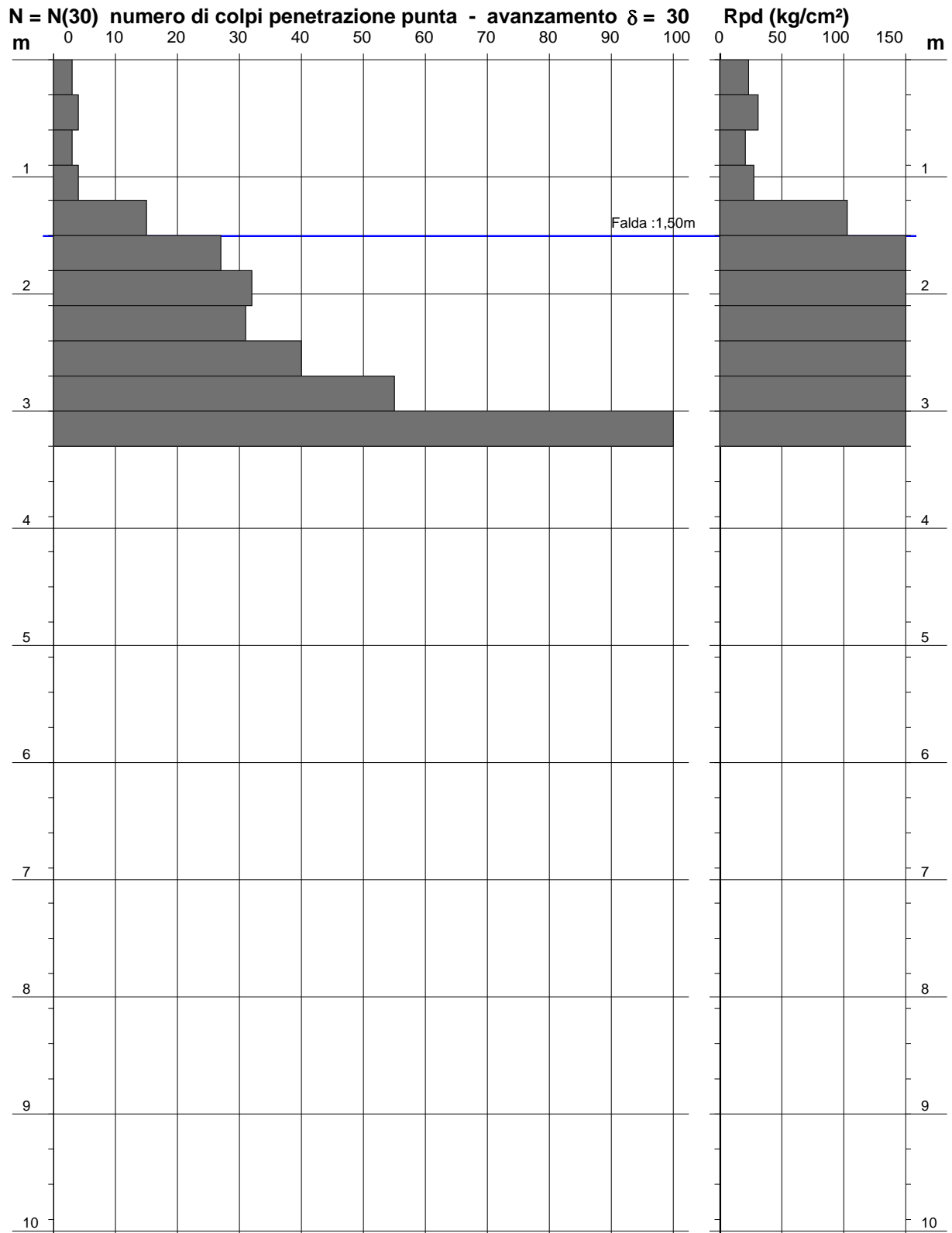
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 4**

Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1



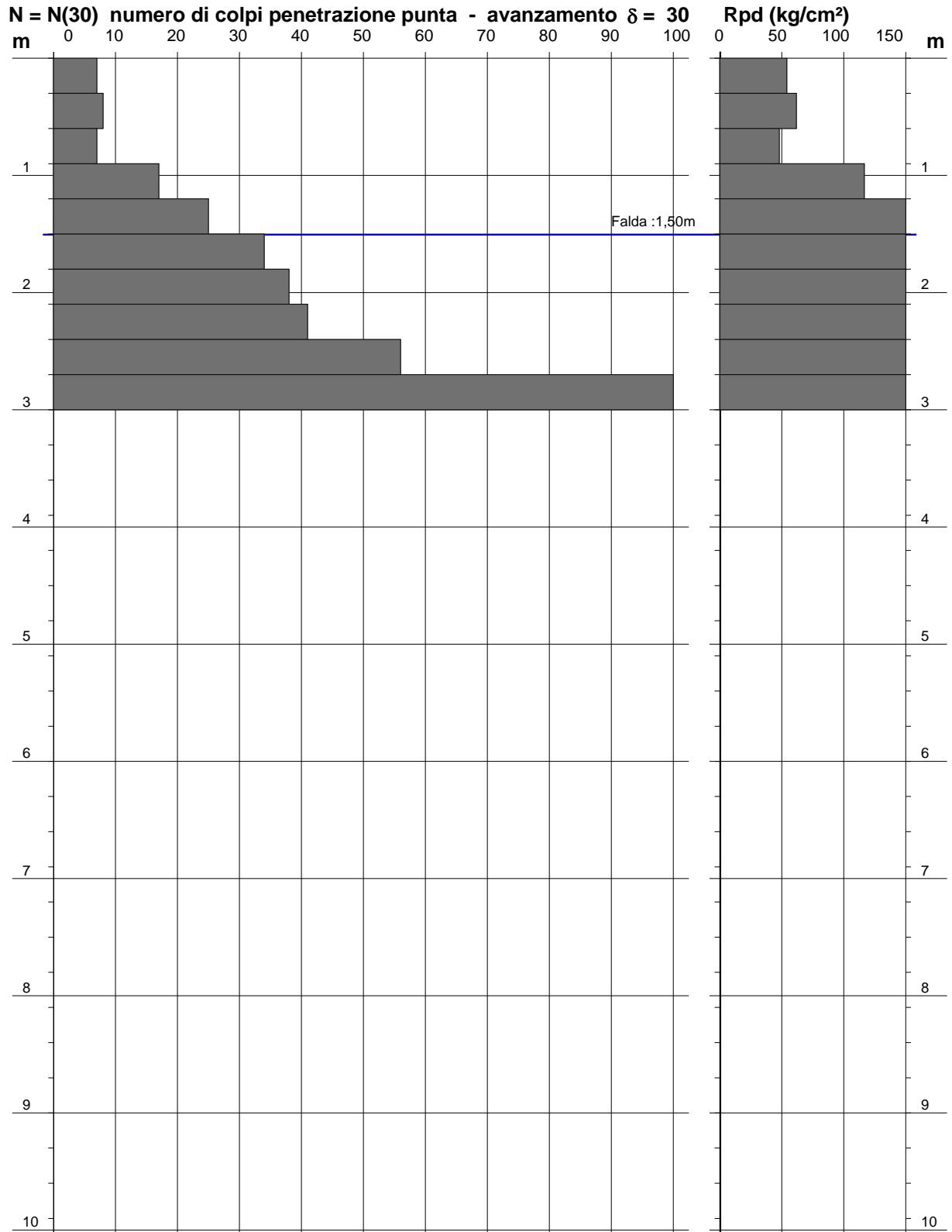
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 5**

Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1



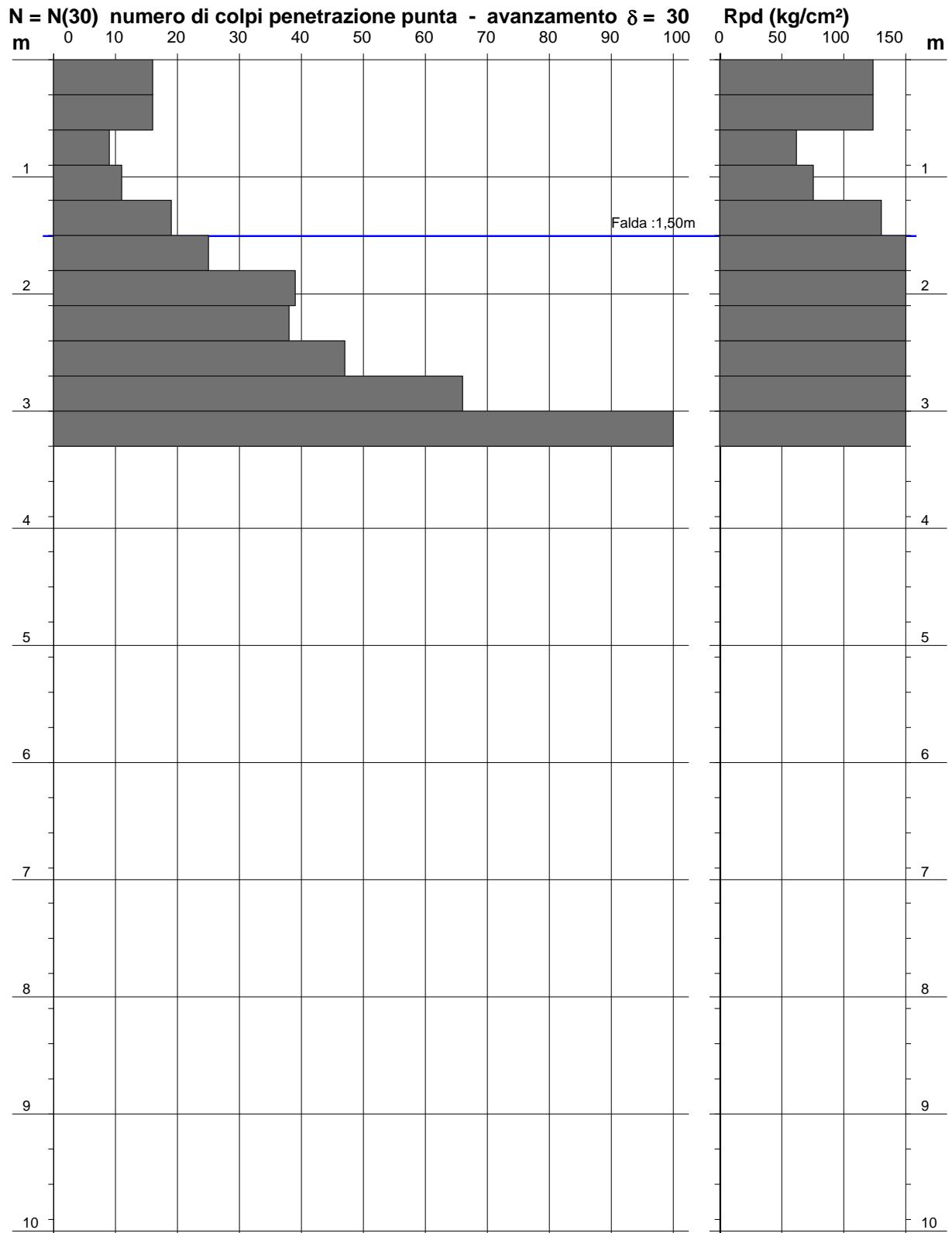
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 6**

Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1



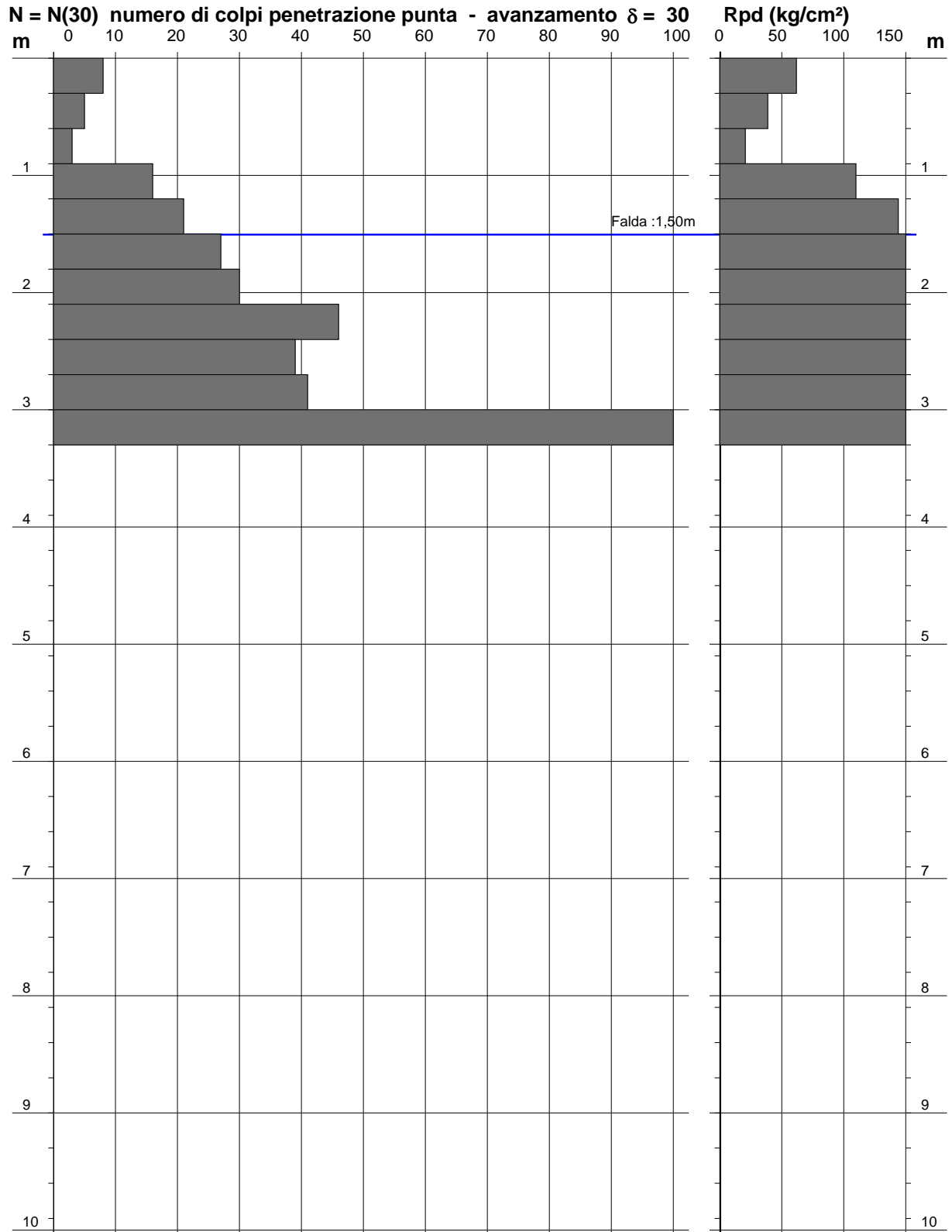
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 7**

Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1



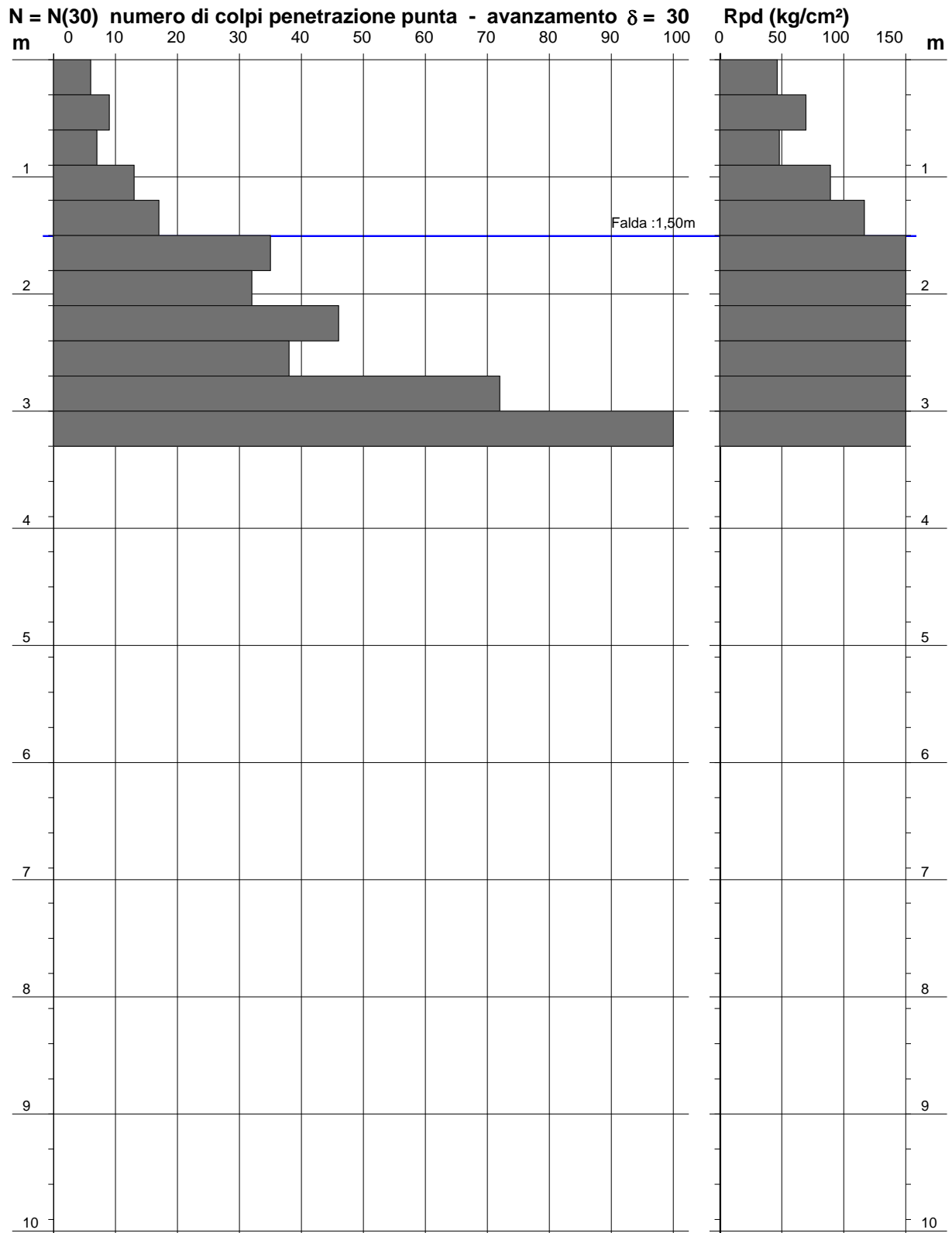
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

**DIN 8**

Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini  
- note :

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio  
- pagina : 1





**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

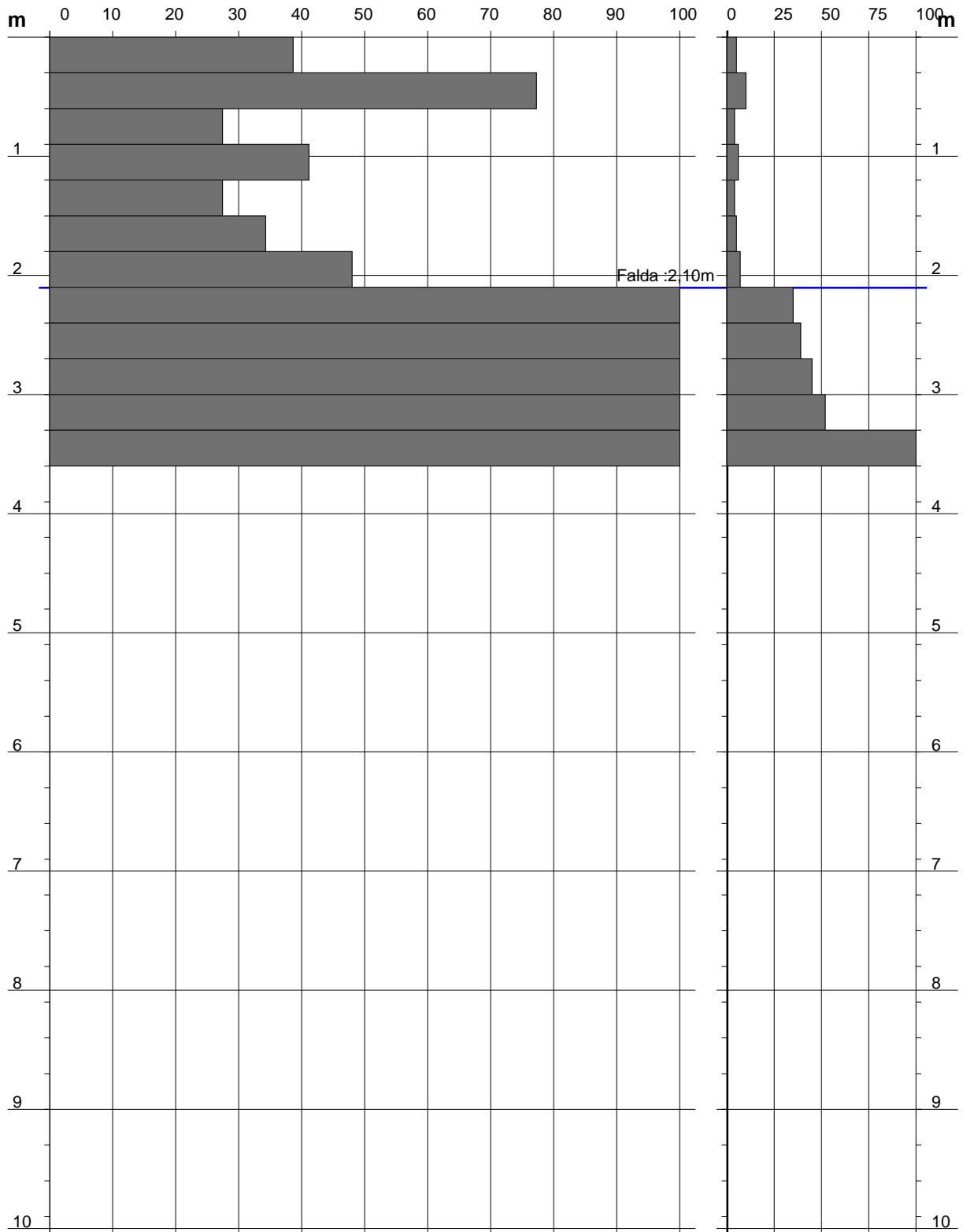
**DIN 1**  
Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 3,0 m da quota inizio

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"**

**N = N(30) n° colpi  $\delta = 30$**



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

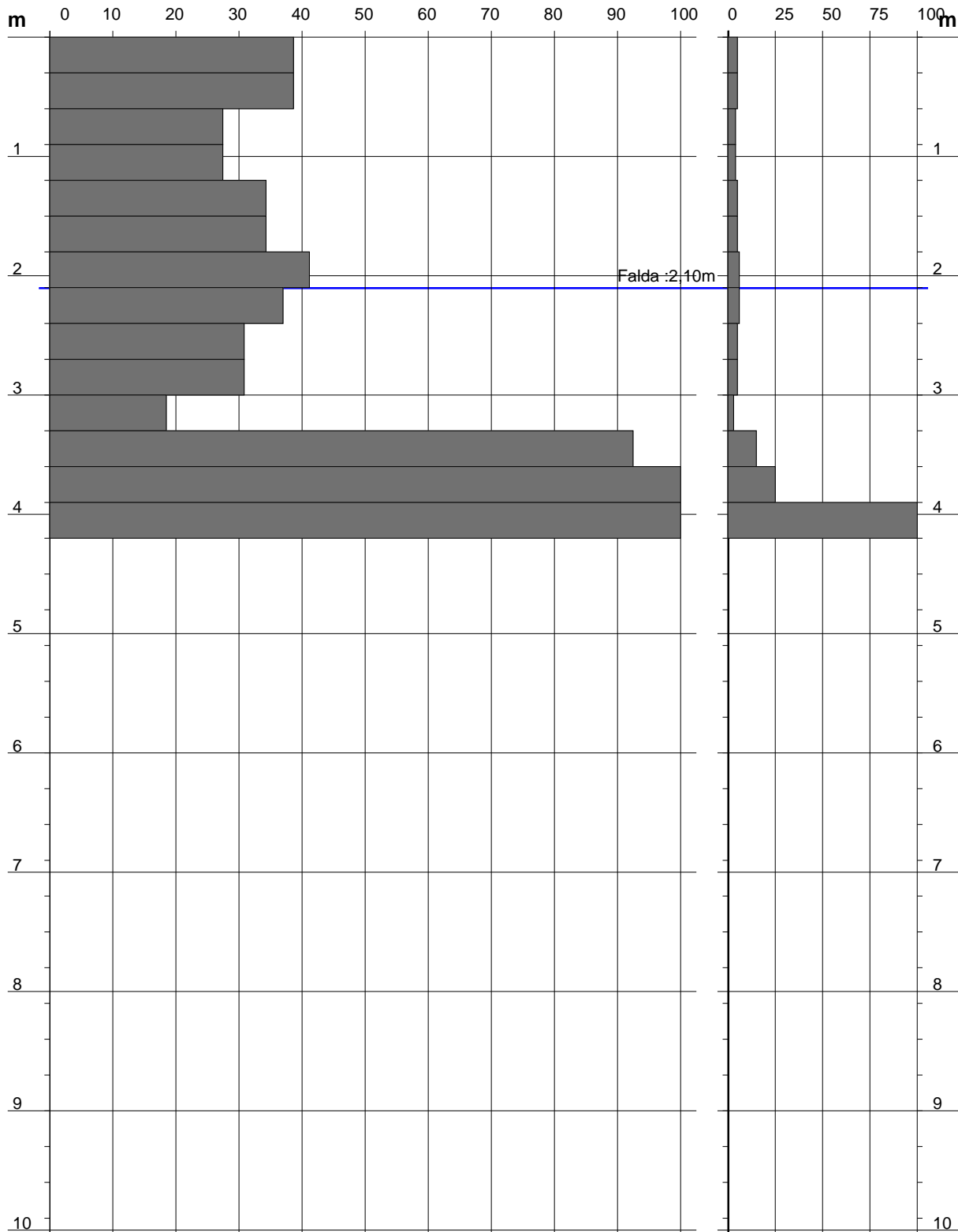
**DIN 2**  
Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 3,0 m da quota inizio

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"**

**N = N(30) n° colpi  $\delta = 30$**



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

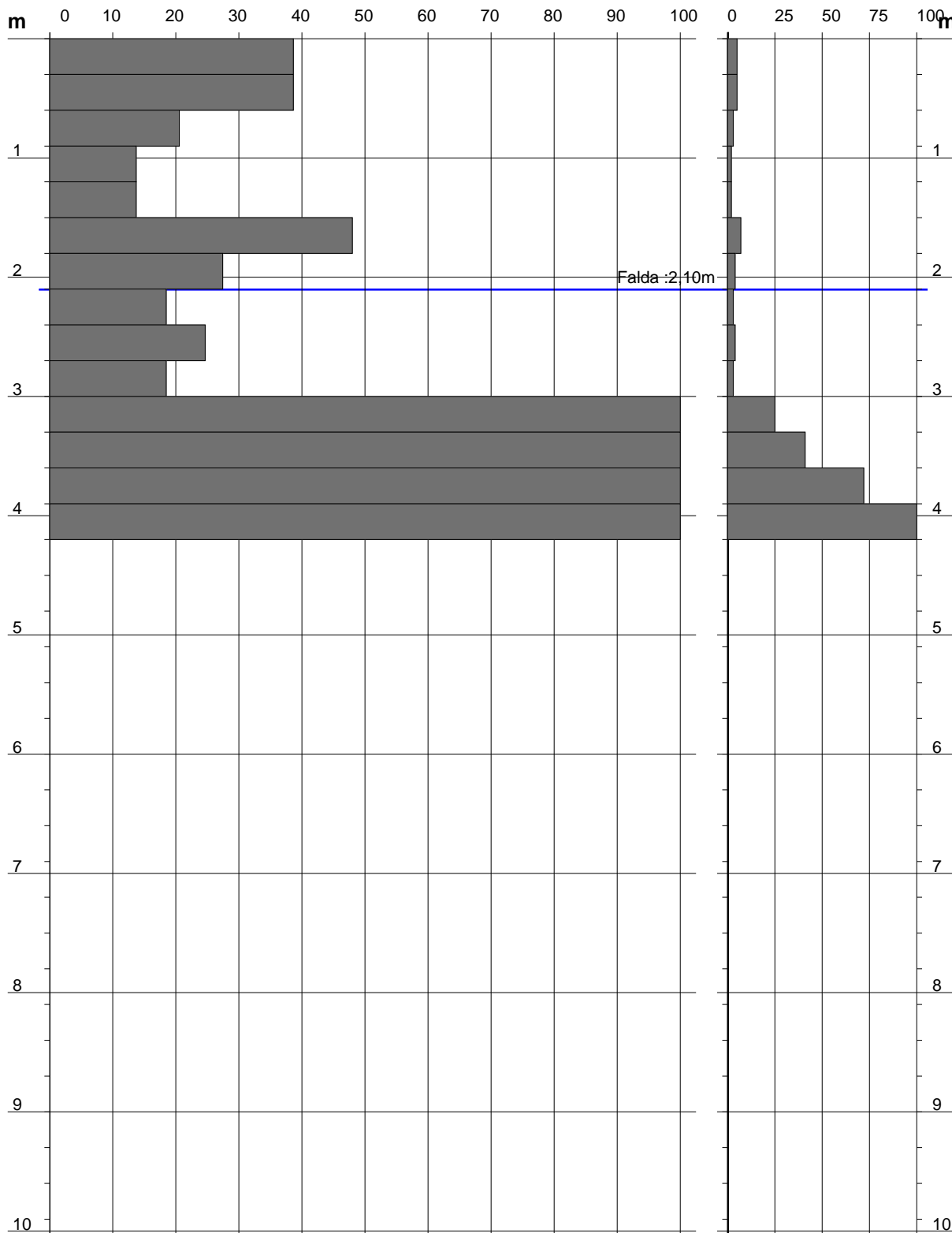
**DIN 3**  
Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 3,0 m da quota inizio

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"**

**N = N(30) n° colpi  $\delta = 30$**



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

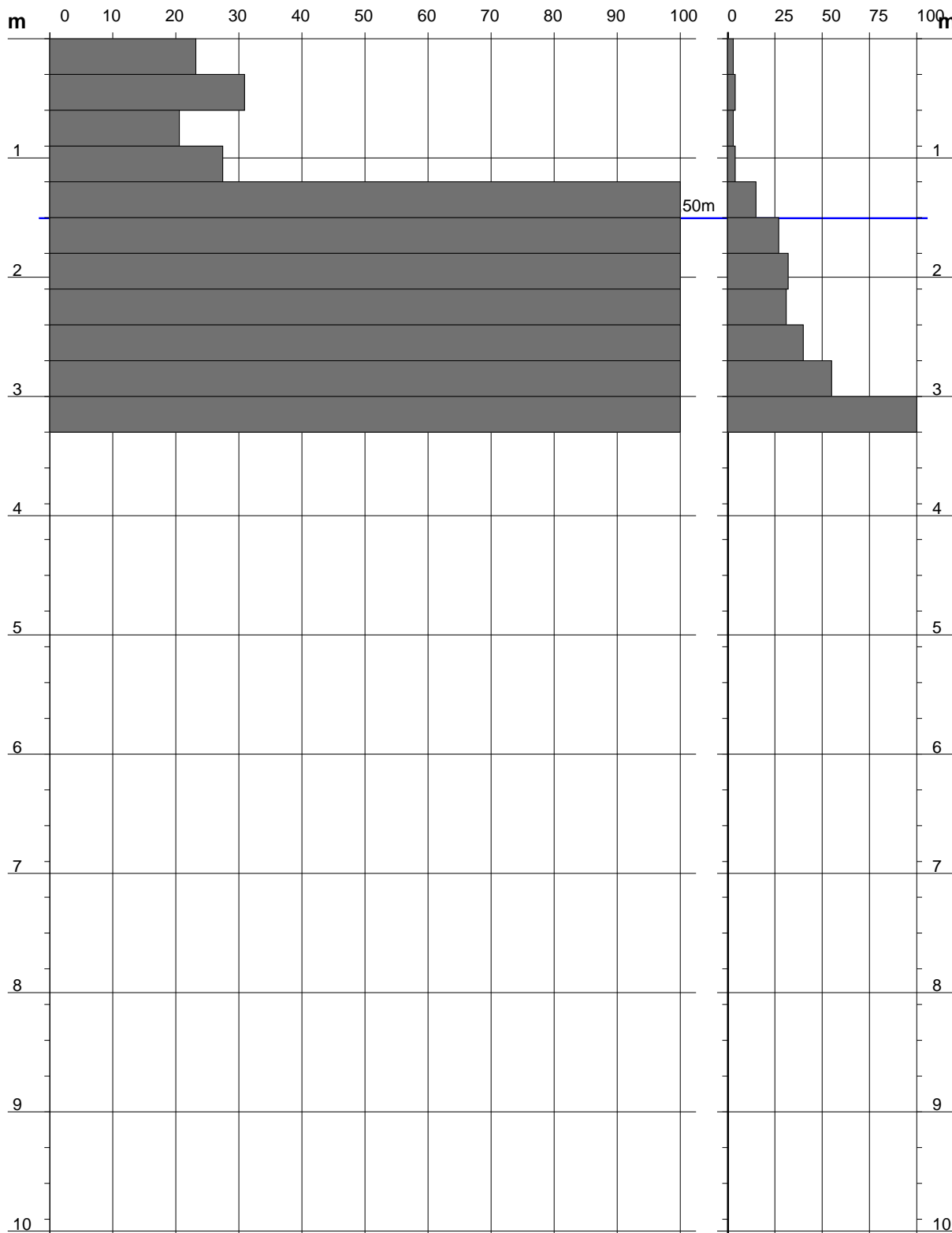
**DIN 4**  
Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"**

**N = N(30) n° colpi  $\delta = 30$**



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

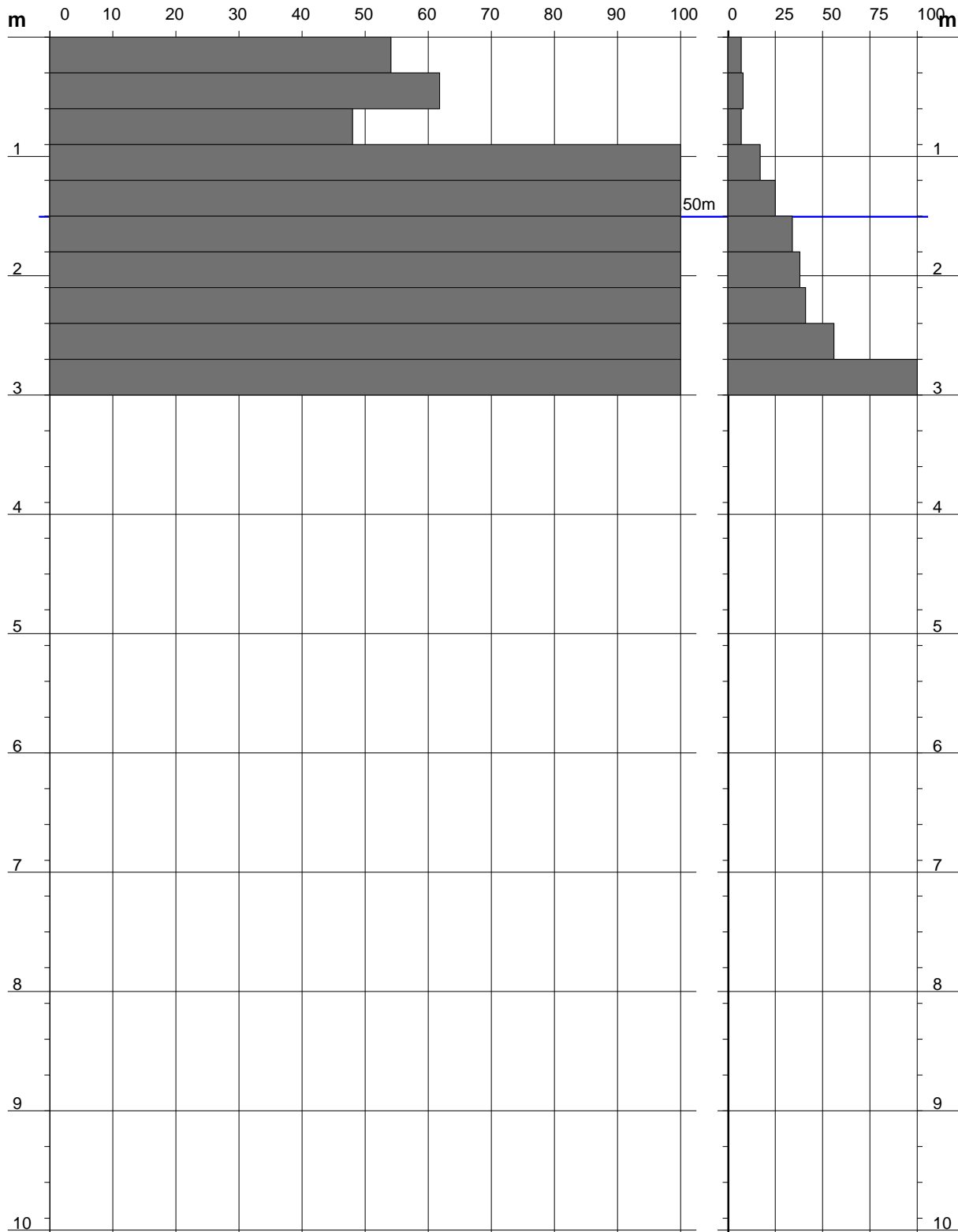
**DIN 5**  
Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"**

**N = N(30) n° colpi  $\delta = 30$**



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

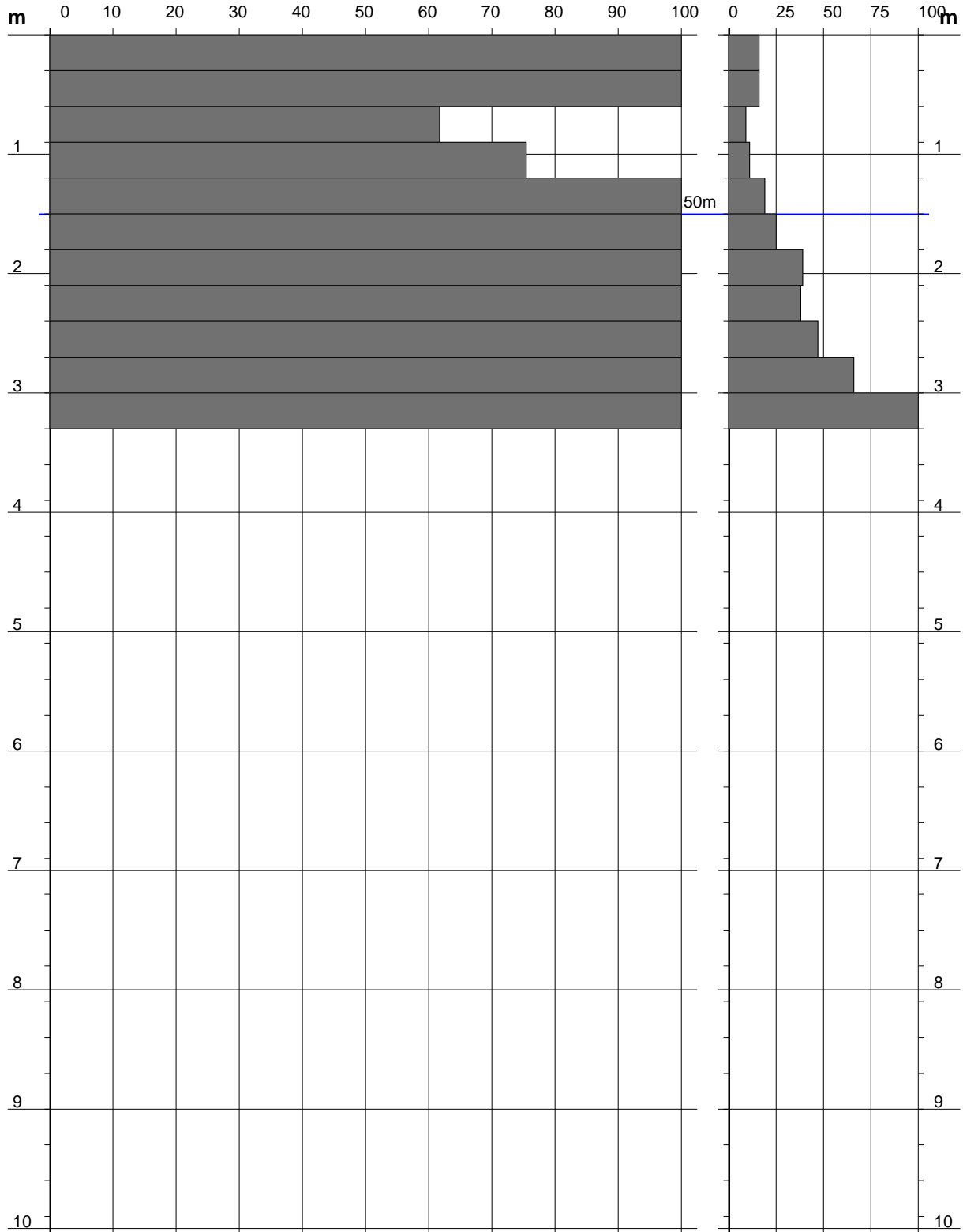
**DIN 6**  
Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- localit  : LODI - Via P. Ferrabini

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"**

**N = N(30) n  colpi  $\delta = 30$**



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

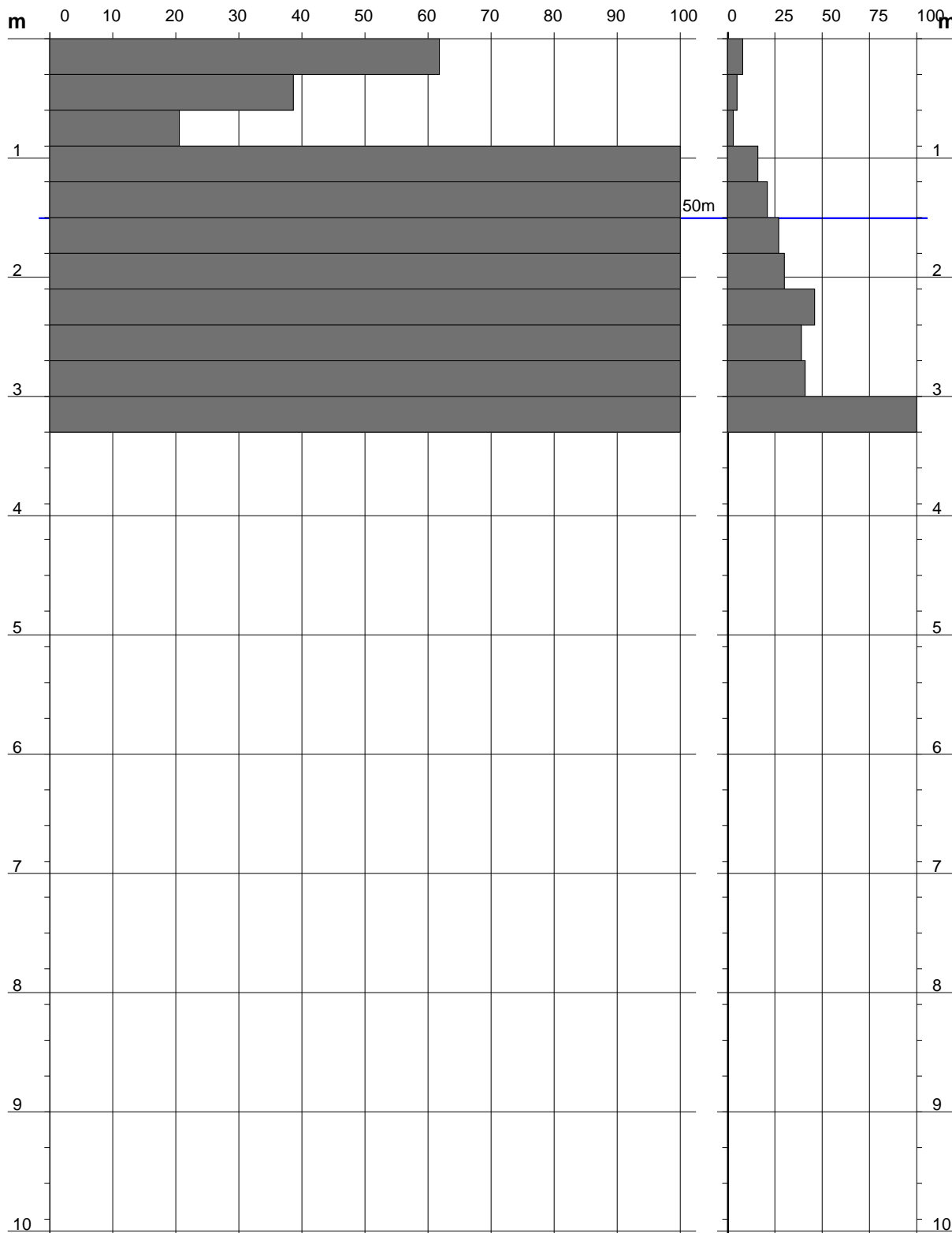
**DIN 7**  
Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"**

**N = N(30) n° colpi  $\delta = 30$**



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

**DIN 8**  
Scala 1: 50

- committente : GEODE  
- lavoro : Immobiliare Revelino  
- località : LODI - Via P. Ferrabini

- data : 23/09/2009  
- quota inizio : p.c.  
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"**

**N = N(30) n° colpi  $\delta = 30$**

