

Dott. GRAZIANO CRINITI

GEOLOGO

Comune di PADERNO DUGNANO
UFFICIO PROTOCOLLO

Iscrizione Albo n. 905

25 MAR 2014

PROT. N°

COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI)

**COMMITTENTE:
TAGLIABUE S.p.A.
VIA VALASSINA 89/91-PADERNO DUGNANO (MI)**

**INDAGINE GEOGNOSTICA PER LA REALIZZAZIONE
DI UN NUOVO CAPANNONE SITO IN
VIA VALASSINA 89/91 IN PADERNO DUGNANO (MI)**



RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Via Del Ricordo 10 - 20128 Milano MI
Tel. Fax 022593903 347/4632994 E-mail criniti.geologo@alice.it
C.F. CRNGZN70M03F205T

PREMESSA

Su specifico incarico della Committenza, TAGLIABUE S.p.A., via Valassina 89/91, Paderno Dugnano (MI), è stata effettuata una indagine geognostica nel comune di Paderno Dugnano, via Valassina 89/91, ove è prevista la realizzazione di un nuovo capannone con relativo piano interrato.

L'indagine si è svolta anche in prospettiva sismica in ottemperanza alle normative di legge in materia (Ordinanza 20 marzo 2003 n. 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, recepito dalla Regione Lombardia con D.g.r. 7 novembre 2003 – n. 7/14964; D.M. 14/01/2008; D.g.r. 28 maggio 2008 – n. 8/7374), essendo il comune di Paderno Dugnano classificato in "zona 4" ai sensi della sopracitata Ordinanza.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sono state effettuate n. 7 prove penetrometriche dinamiche (S.C.P.T.) con attrezzatura standard e si è tenuto conto anche delle numerose indagini già effettuate in passato dallo scrivente in aree vicine nel medesimo contesto geolitologico.

Per la definizione dell'azione sismica è stata eseguita una prova sismica tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

L'indagine si è svolta in ottemperanza alle normative di legge in materia secondo le prescrizioni e gli oneri contenuti nelle raccomandazioni A.G.I. (1977).

E' stato effettuato inoltre un rilievo geologico e geomorfologico di un intorno significativo dell'area.

ALLEGATI

- planimetria (scala 1:700) con ubicazione delle indagini geognostiche effettuate;
- diagrammi delle prove penetrometriche;
- rapporto tecnico dell'indagine geofisica eseguita con la metodologia MASW.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame è situata a nord del centro abitato di Paderno Dugnano, in una zona di pianura di origine fluvio-glaciale, collegata geneticamente all'anfiteatro morenico pleistocenico del lago di Como.

La zona è caratterizzata, a grande scala, da diversi ordini di terrazzi di genesi fluvio-glaciale costituitisi e sviluppatisi durante le diverse fasi glaciali quaternarie (Wurm, Riss, Mindel, dalla più recente alla più antica) e postglaciali oloceniche.

In particolare l'area in oggetto è impostata sul terrazzo noto in letteratura come "Diluvium Recente", derivato dall'evento glaciale wurmiano (Pleistocene Sup.), ma sono anche presenti, ad una discreta distanza in direzione ovest, i depositi ed i terrazzi, più antichi, di origine fluvio-glaciale, conosciuti in letteratura come "Diluvium Medio", ascrivibili al Pleistocene Medio, originati dall'evento glaciale rissiano, e quelli più recenti, di origine fluviale, conosciuti in letteratura come "Alluvium Antico", ascrivibili alla fase postglaciale olocenica, situati lungo il corso del torrente Seveso.

I depositi appartenenti al "Diluvium Recente" sono composti da un esteso terrazzo che costituisce il livello fondamentale della pianura, formato però in profondità anche da depositi fluvio-glaciali appartenenti a glaciazioni precedenti, localmente inciso e rielaborato dai maggiori corsi d'acqua attualmente presenti.

Il rilevamento di campagna eseguito ha permesso di ipotizzare, in assenza di un sondaggio a carotaggio continuo, confermando i dati già noti in letteratura, grazie anche all'ausilio delle 7 prove penetrometriche eseguite per una profondità massima di metri 11.40 dal p.c. (vedi diagrammi allegati), le litologie di seguito esposte.

I depositi della zona in esame sono caratterizzati da una discreta omogeneità e sono costituiti prevalentemente da sedimenti fluviali.

Vi è un livello superficiale di discreto spessore, valutabile in circa 1.80 m, di terreno agrario e naturale fine, limoso-sabbioso, inglobante rari elementi grossolani, scarsamente addensato.

Si fa però presente che vi potrebbero essere punti in cui tale materiale superficiale fine potrebbe risultare anche maggiore di quanto stimato con le prove penetrometriche, in particolare nella porzione meridionale dell'area (zona delle prove n. 1 e n. 2).

Da quota -1.80 m circa fino a -5.10 m circa si ha uno strato, presente con continuità su tutta l'area, di ghiaie medie sabbioso-limose, inglobanti lenti di ordine metrico di sabbie debolmente ghiaiose, nell'insieme mediamente addensate. Da -5.10 m circa fino alla fine delle profondità investigate si ha uno strato, presente con continuità su tutta l'area, di ghiaie medio-grossolane sabbioso-limose, nell'insieme ben addensate.

I ciottoli, di dimensione anche decimetrica, ma più frequentemente centimetrica, sono di composizione prevalentemente cristallina e dotati, in genere, di un buon grado di arrotondamento e sfericità, e presentano un discreto grado di alterazione dovuto all'azione degli agenti meteorici.

I depositi appartenenti alle unità più antiche sono simili litologicamente ai precedenti, ma presentano una ben maggiore frazione argillosa della matrice derivante da una marcata alterazione dei clasti.

La genesi di questi depositi è legata al divagare meandriforme degli innumerevoli corsi d'acqua che, in epoca pleistocenica, e, successivamente olocenica, si dipartivano dalle lingue glaciali sempre più in fase di ritiro provenienti dal Triangolo Lariano.

I livelli a ghiaia prevalente, centimetrica e anche decimetrica, testimonianza inequivocabile di una energica dinamica fluviale, potrebbero rappresentare dei paleoalvei, forse dello stesso torrente Seveso, attualmente poco distante in direzione ovest. Gli episodi di sedimentazione più fine, caratteristici di una dinamica fluviale più blanda, testimonierebbero l'effettivo carattere meandriforme dei corsi d'acqua che solcavano in epoca storica la pianura.

GEOMORFOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

L'area in esame è contraddistinta da una morfologia tipicamente subpianeggiante, con una pendenza verso sud dell'ordine del 3-4 per mille, risulta stabile e non interessata da fenomeni geomorfici in atto.

Le originarie blande scarpate, di ordine metrico, che sottolineavano poco più a ovest il passaggio tra terrazzi di età diversa, sono state quasi del tutto obliterate dalla marcata antropizzazione del sito.

La circolazione idrica sotterranea della zona in oggetto ricalca grossomodo l'assetto idrogeologico dell'area nord milanese, ed è caratterizzata da un sistema di falde sovrapposte poste a differenti quote dal piano campagna, separate da livelli a spessore variabile di orizzonti prevalentemente argillosi. Tuttavia le falde acquifere più profonde, di tipo artesiano, possono essere talvolta in comunicazione (anche per interventi antropici non sempre corretti, quali ad esempio la non corretta esecuzione di pozzi per acqua) con quella più superficiale, di tipo freatico e non pare risentire degli apporti irrigui operati nelle aree a nord di quella considerata nella stagione primaverile-estiva.

I dati in nostro possesso, gentilmente forniti dalla Provincia di Milano-Assessorato all'Ambiente-Settore Ecologia-U.O. Tecnica Progetti Speciali, indicano, negli ultimi anni, una decisa tendenza all'innalzamento della falda più superficiale, che si è venuta a portare a profondità più vicine alla superficie topografica che non in passato: attualmente è presente ad una quota di circa -34.00 m dal p.c., ed è soggetta, come specificato in seguito, a discrete variazioni stagionali, mantenendo un'escursione annua generalmente inferiore ai due metri

In effetti i dati dei pozzi circostanti l'area in questione, indicano, per gli ultimi anni, una marcata, costante risalita dei valori di soggiacenza, fattore, questo, comune a tutta l'area nord del milanese. Tali valori si attestano mediamente, per quanto riguarda gli ultimi anni, ad una quota di -34.00 m dal piano campagna.

E' comunque possibile individuare, con una certa continuità, un livello di minima soggiacenza (circa -33.00 m dal p.c.) attorno al mese di novembre, dicembre e gennaio, ed un livello di massima soggiacenza nei mesi di maggio e giugno (circa -35.00 m dal p.c.).

INDAGINI GEOGNOSTICHE EFFETTUATE

In base alle conoscenze disponibili relativamente ai terreni di fondazione presenti nell'area ed alle caratteristiche progettuali si è dimensionata una campagna di indagine da cui ricavare gli elementi fondamentali per la progettazione delle opere (dimensionamento delle opere di fondazione).

La campagna geognostica, conforme alle raccomandazioni AGI ed a quanto riportato nel D.M. 14.01.2008, ha avuto i seguenti obiettivi specifici:

- Caratterizzazione geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica del sito interessato;
- Individuazione e caratterizzazione delle problematiche fondazionali e di interazioni terreno – strutture;

Per le fasi in oggetto sono state eseguite le seguenti indagini:

- **n. 7 prove penetrometriche dinamiche (DP1-7)** eseguite con penetrometro dinamico tipo PAGANI TG 63/100 kN che, secondo la normativa europea ISSMFE '88, è paragonabile ad un DPSH (Dynamic Probing Super Heavy), finalizzate alla ricostruzione dei parametri meccanici dei terreni che costituiscono l'area;
- **n. 1 profilo sismico con la metodologia MASW** finalizzato alla ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z) per la determinazione della categoria di sottosuolo e la definizione dell'azione sismica.

L'ubicazione delle prove geognostiche effettuate è mostrata nella tavola riportata in allegato.

Interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche

Per la realizzazione delle prove penetrometriche si è utilizzato il penetrometro dinamico super pesante tipo DPSH, da 10 ton, modello PAGANI tipo TG 63/100 kN, con le seguenti caratteristiche:

Massa battente	= 73,5 kg
Altezza di caduta	= 75 cm
Diametro punta conica	= 51 mm
Angolo apertura punte	= 60°
Energia specifica per colpo	= 7,77 kg/cm ²

La prova penetrometrica dinamica è una prova molto diffusa soprattutto grazie alla facilità di esecuzione ed al costo limitato; il limite principale di questa prova è la mancanza di una specifica letteratura che ne certifichi le caratteristiche.

La conversione dei valori di resistenza alla penetrazione dinamica ottenuti tramite le prove penetrometriche dinamiche nei corrispondenti valori di Standard Penetration Test è consigliata ed opportuna in quanto in letteratura non esistono consolidate correlazioni messe a punto per questo ultimo tipo di prova.

Il rapporto tra il numero di colpi misurati nella prova DPSH (N_{DPSH}) e SPT (N_{SPT}) risulta molto variabile in particolare in funzione di:

- Natura del materiale (contenuto di fine, acqua, ecc.);
- Caratteristiche dell'attrezzatura impiegata (pesi del maglio e delle aste, diametro della punta, ecc.);
- Impiego del rivestimento (che ha un ruolo molto diverso a secondo della tipologia litologica, ed è praticamente ininfluente per terreni incoerenti).

In prima approssimazione, facendo riferimento a dati di letteratura ed ad esperienze pregresse su terreni con analoga litologia e grado di addensamento, si può assumere:

$$N_{SPT}/N_{DPSH} \geq 1.0 \div 2.0$$

Tale rapporto risulta verosimile per un'ampia gamma di materiali e cresce al crescere del rendimento energetico del sistema (peso del maglio e delle aste, impiego di rivestimento, ecc..).

Per l'interpretazione delle prove penetrometriche DPSH eseguite, verrà assunto un rapporto N_{SPT}/N_{DPSH} pari a:

$$N_{SPT} = 1.25 \times N_{DPSH}$$

DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO E DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Nel presente paragrafo si riportano le informazioni relative alla caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni che verranno interessati dalle opere in progetto.

Si ritiene che i dati resi disponibili dalle indagini effettuate e riportate nella presente relazione siano sufficienti per fornire le indicazioni utili alla progettazione esecutiva.

Come accennato sarà necessario verificare gli aspetti geotecnici successivamente riportati in fase di progettazione definitiva dell'edificio.

Per la valutazione dei parametri geotecnici sono state utilizzate le più note e diffuse correlazioni, basate sui valori di N_{SPT} valutati come riportato nel paragrafo precedente, confrontati con le litologie in esame e, ove possibile, si sono utilizzati diversi approcci, confrontandone criticamente i risultati.

In particolare:

- ✓ per quanto riguarda la stima del valore dell'angolo di resistenza al taglio ϕ' ci si è basati sul metodo proposto da De Mello, confrontato con quello ricavato mediante la correlazioni di Schmertmann (1975) e la relazione di Kulhawy and Maine (1990);

- ✓ Per la determinazione del modulo elastico E' dei materiali granulari si è utilizzata la formula di Tornaghi e quella proposta da D'Appollonia basata sui valori di N_{SPT} ;

Facendo riferimento a quanto riportato nel D.M. 14.01.2008 ed alla Circolare Esplicativa del C.S.L.P., per ciascun strato che compone il modello geotecnico si sono definiti i valori caratteristici dei parametri geotecnici, calcolati come valore medio probabilistico della distribuzione dei valori ottenuti.

Sulla base di quanto esposto, è possibile costruire il seguente **modello geotecnico di riferimento** per l'area in esame e base di partenza per le elaborazioni successive.

Come quota di riferimento **q.r.** si è assunta la quota della prova penetrometrica n. 1.

MODELLO GEOTECNICO					
Unità Geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ_k'	E_k' [MPa]	Profondità da q.r. [m]	Litologia presunta
A	17	23°	22	0.0-1.8	Terreno agrario e fine limoso-sabbioso
B	19	31°	36	1.8-5.1	Ghiaia sabbioso-limosa
C	19	33°	56	5.1-11.4	Ghiaia e sabbia limosa

Tabella 1: modello geotecnico del sottosuolo.

La falda di progetto è posta a profondità superiori ai 30.00 m da q.r. e dunque non interagente con le opere fondazionali.

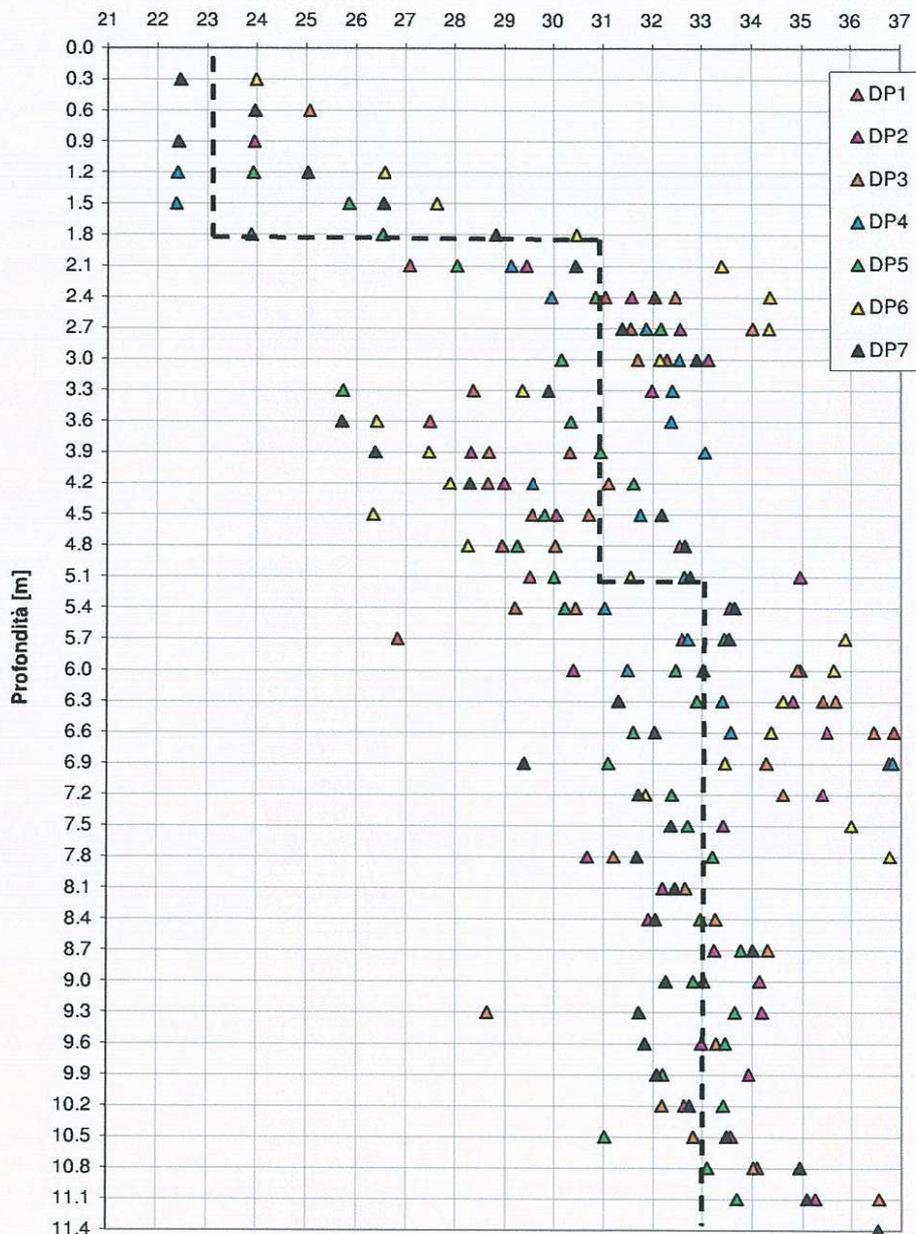


Figura 1: profilo di progetto (linea nera tratteggiata) – valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio ϕ°

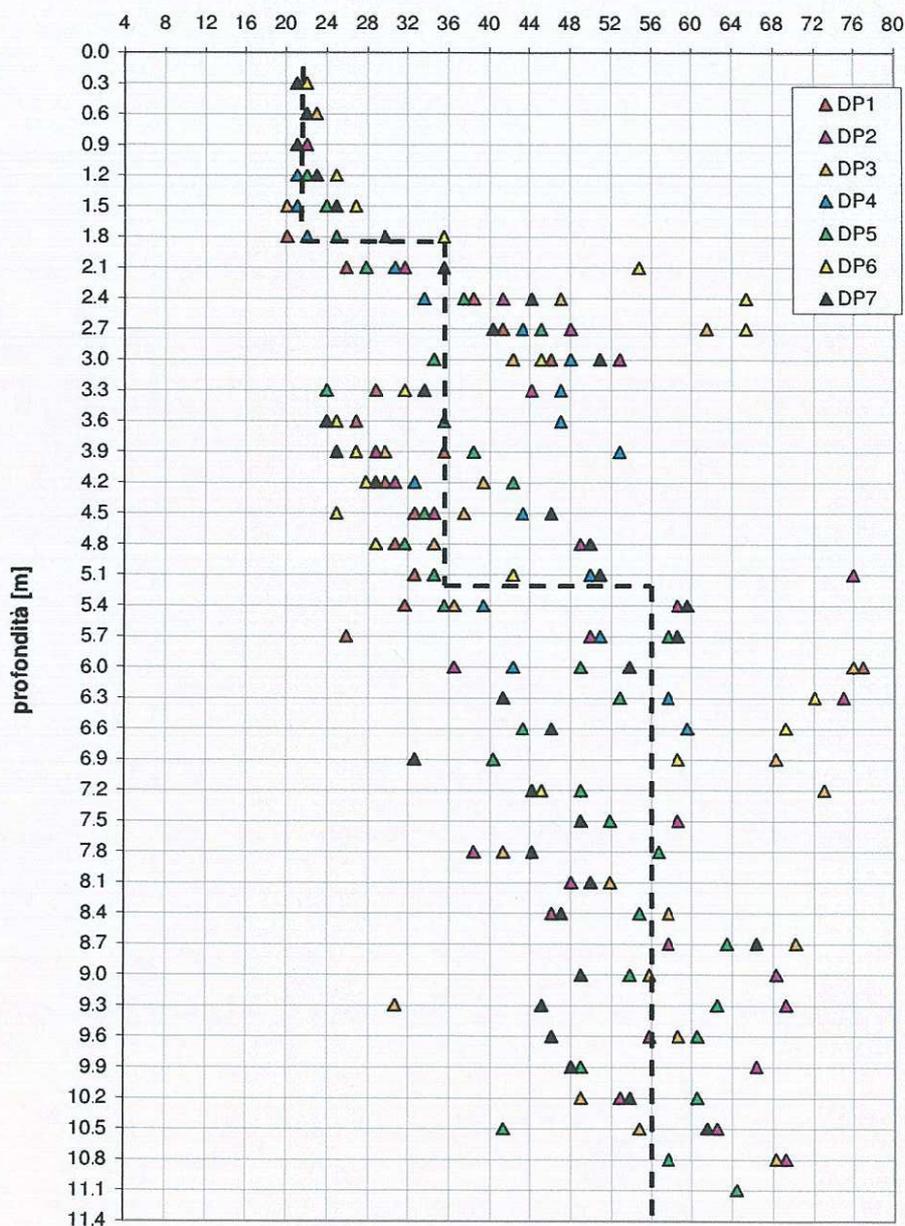


Figura 2: profilo di progetto (linea nera tratteggiata) – valore caratteristico del modulo elastico E' [MPa].

DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO: PRESSIONE LIMITE E CEDIMENTI

Nel corso della verifica di cui al presente studio si è proceduto a calcolare la capacità portante in condizioni di SLU (stato limite ultimo) secondo la procedura del D.M. 14.01.2008 (capitolo 6).

Per stato limite s'intende una particolare condizione raggiunta la quale l'opera non è più in grado di svolgere la funzione per cui è stata progettata. Si parla di **stato limite ultimo** (SLU) nel caso si prenda in considerazione il verificarsi di una situazione di collasso, per esempio quando il carico applicato supera la portanza del terreno di fondazione.

Il termine **stato limite di esercizio** viene invece usato nel caso si esamini una situazione in cui, pur non avendosi il collasso, l'opera subisca lesioni tali da renderla inutilizzabile. Nel caso di una fondazione superficiale, ciò può verificarsi quando i cedimenti del terreno superano una soglia critica, provocando delle distorsioni angolari non accettabili negli elementi della sovrastruttura.

Le verifiche allo SLU di tipo geotecnico (GEO) nei confronti del collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno sono state eseguite tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I. del citato D.M. 14.01.2008.

La valutazione del carico limite per terreni granulari è stata effettuata utilizzando l'espressione di Brinch-Hansen (1970), modificata da Lancellotta (1987), con riferimento alla fondazione equivalente (definita come la parte della fondazione reale rispetto alla quale la risultante dei carichi é baricentrica):

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' \cdot B' \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q$$

dove:

q_{lim} = capacità portante limite del terreno di fondazione.

γ' = peso di volume sommerso del terreno.

B' = dimensione minore della fondazione equivalente.

N_{γ}, N_q = fattori adimensionali di capacità portante legati all'angolo di attrito interno.

s_γ, s_q = fattori correttivi che tengono conto della forma della fondazione.

i_γ, i_q = fattori correttivi dovuti all'inclinazione del carico.

d_γ, d_q = fattori correttivi che tengono conto della profondità del piano di imposta.

q' = pressione verticale efficace agente attorno alla fondazione, alla quota del suo piano di imposta ($q' = \gamma' \cdot D$).

$Q_{lim} = q_{lim} \times A$ con A = area della fondazione ($B' \times L$)

Le verifiche di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi devono essere condotte utilizzando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Di seguito si riportano le ipotesi utilizzate nel dimensionamento geotecnico:

- ✓ Tipologia di fondazioni = continue tipo nastriforme (caso 1) e isolate tipo plinto (caso 2);
- ✓ Quota di imposta delle fondazioni = -1.8 m (caso 1) e -7.0 m (caso 2) da q.r.;
- ✓ Ricoprimento minimo delle fondazioni $D = 0.75$ m (caso 1) e 1.0 m (caso 2);
- ✓ Angolo di attrito adottato nel calcolo $\phi' = 31^\circ$ (caso1) e 33° (caso2);
- ✓ $\gamma' = 19$ KN/m³ (falda non interagente);
- ✓ Carichi eccentrici concentrati nel terzo medio.

Di seguito, le verifiche allo SLU sono state condotte seguendo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), in cui sono ridotti i parametri geotecnici (M) e la resistenza (R).

Caso 1 – Palazzina uffici		
SLU – approccio 1 – combinazione 2 (A2+M2+R2)		
$\gamma_G = 1.0; \gamma_C = 1.25; \gamma_{\phi} = 1.25; \gamma_R = 1.8$		
<i>Lato B</i>	<i>Rd/A</i>	
	[kPa]	[kg/cm ²]
1.0 m	168.9	1.72
1.5 m	179.5	1.83
2.0 m	194.5	1.98

Caso 2 - Capannone		
SLU – approccio 1 – combinazione 2 (A2+M2+R2)		
$\gamma_G = 1.0; \gamma_C = 1.25; \gamma_{\phi} = 1.25; \gamma_R = 1.8$		
<i>Geometria</i>	<i>Rd/A</i>	
	[kPa]	[kg/cm ²]
2.5x2.5 m	332.4	3.39
3.0x3.0 m	346.3	3.53
3.5x3.5 m	362.0	3.69

Secondo la normativa, la valutazione del grado di sicurezza si ottiene quando è verificata la relazione:

$$R_d/E_d \geq 1$$

I valori di progetto delle azioni (E_d) andranno calcolati utilizzando gli opportuni coefficienti parziali γ_G (carichi permanenti) e γ_Q (carichi variabili) da applicare, a seconda della combinazione ai carichi trasmessi dalla sovrastruttura alla fondazione.

Verifiche allo SLE – prime indicazioni progettuali

Per la verifica allo SLE il fattore limitante è rappresentato dal cedimento e dalle distorsioni massimi compatibili con la funzionalità dell'opera. A tal proposito, il cedimento massimo compatibile, tenendo conto delle incertezze legate alla schematizzazione geotecnica, è stato impostato pari a 20-25 mm (fondazioni nastriformi - Terzaghi, Burland, ecc..).

I cedimenti sono stati calcolati applicando il modello di trasmissione degli sforzi in profondità basato sulla teoria dell'elasticità di Boussinesq.

L'analisi degli sforzi e dei cedimenti viene effettuata suddividendo il terreno di fondazione in strati di spessore variabile secondo quanto proposto da Steinbrenner (1934): applicando il legame sforzo-deformazione è possibile ricavare per ogni strato il cedimento corrispondente ed ottenere quindi il cedimento totale come somma dei contributi dei singoli stati.

Sulla base dei dati e delle assunzioni sopra riportate si ottengono i seguenti valori:

Caso 1 – Palazzina Uffici		
SLE		
<i>Lato B</i>	Pressione massima di progetto q_{SLE} [kPa]	Cedimento [mm]
1.0 m	165	8.5-9.1
1.5 m	175	11.2-11.9
2.0 m	190	14.9-15.8

Caso 2 – Capannone		
SLE		
<i>Geometria</i>	Pressione massima di progetto q_{SLE} [kPa]	Cedimento [mm]
2.5x2.5 m	280	10.8-11.6
3.0x3.0 m	280	13.9-15.1
3.5x3.5 m	280	16.8-18.6

DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nel presente capitolo si definiscono gli spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica vigente. La quantificazione dell'azione sismica avviene mediante l'utilizzo di categorie di sottosuolo che consentono una stima dell'amplificazione stratigrafica, generata dalle particolari condizioni lito-meccaniche dei terreni che costituiscono l'area in esame.

Nel calcolo dell'azione sismica si è fatto riferimento a quanto contenuto nel D.M. 14.01.2008, in particolare ai capitoli 2 e 3.

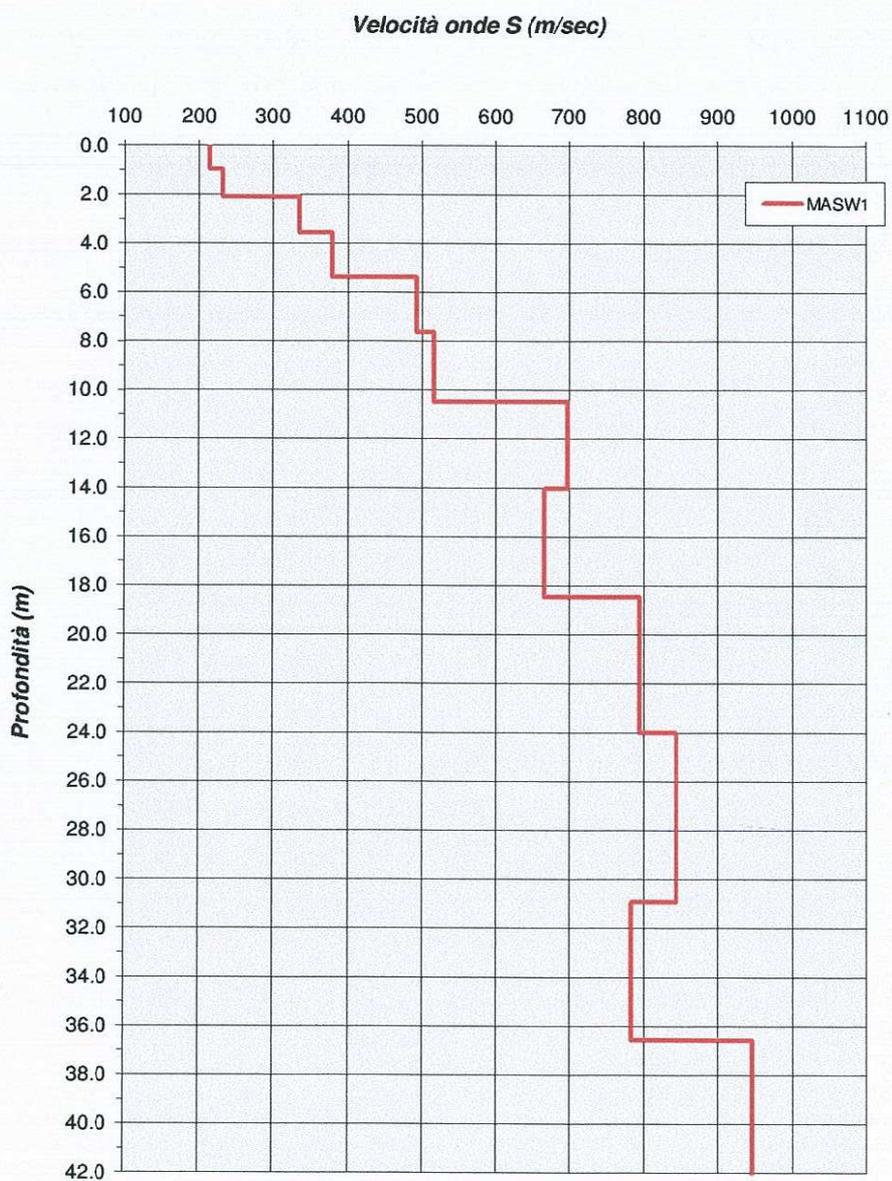
I terreni sono stati classificati sulla base del valore delle $V_{s,30}$ misurato direttamente attraverso una specifica indagine geofisica (le correlazioni tra V_s e N_{spt} o tra V_s e CPT sono di tipo empirico e presentano un basso grado di affidabilità).

L'indagine si è concretizzata attraverso l'esecuzione di una linea sismica tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Per i particolari relativi alla strumentazione utilizzata, all'elaborazione e all'ubicazione della prova MASW, si rimanda all'allegato "Indagine geofisica con la metodologia MASW".

Per l'area in esame, dall'analisi della prova MASW effettuata, si ottiene il seguente modello di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità:

Modello			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.93	214.37	0.93
2	1.16	231.51	2.09
3	1.45	335.09	3.54
4	1.81	379.08	5.36
5	2.27	493.42	7.62
6	2.84	516.90	10.46
7	3.54	698.37	14.00
8	4.43	666.82	18.43
9	5.54	795.05	23.97
10	6.92	844.32	30.89
11	5.65	783.13	36.54
12	5.89	946.95	42.43



Le categorie di sottosuolo, secondo il D.M. 14.01.2008 risultano così identificate (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V _{s,30} (m/s)	N _{SPT,30}	C _{u,30} (kPa)
A	<u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</u> , 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	> 800	-	-
B	<u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
E	<u>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</u> , posti sul substrato di riferimento (con V _s >800 m/s).			
S1	<u>Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero 10<C_{u,30}<20 kPa)</u> che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche			
S2	<u>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipo precedenti</u>			

Tabella 1: categorie di sottosuolo (D.M. 14.01.2008).

in cui $V_{s,30}$ è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

A partire dal profilo V_s -profondità proprio dell'area in esame, è possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valore di $V_{s,30}$ che risulta:

- quota -1.80 m da q.r $\rightarrow V_{s30} = 618.7$ m/s
- quota -7.00 m da q.r $\rightarrow V_{s30} = 725.9$ m/s

a cui corrisponde, per entrambe le quote fondazionali indicate dal progettista, la **categoria di sottosuolo di tipo B**.

Le ipotesi assunte nella definizione degli spettri di risposta elastici in accelerazione quindi risultano:

- **Zona sismica = 4** (vedi figura 3);

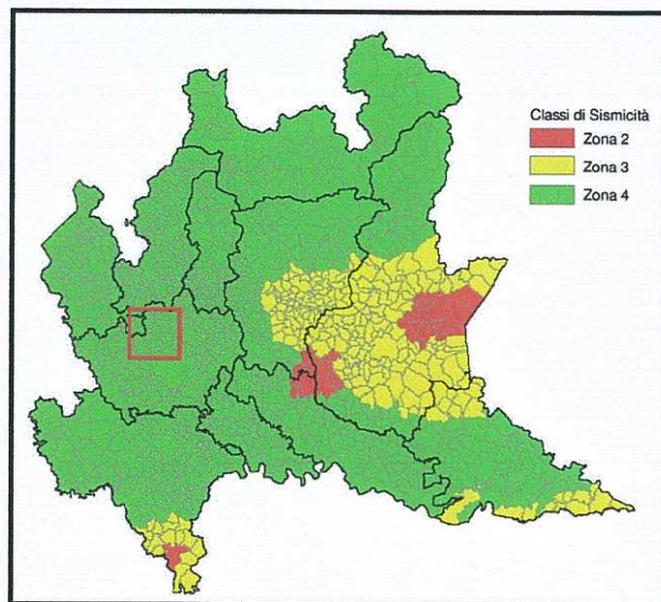


Figura 3: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia.

- Vita nominale della struttura: $V_N = 50$ anni e Classe d'uso = II;
- Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = 50$ anni ($C_U = 1.0$);
- Valori di accelerazione massima orizzontale e dei parametri spettrali per i diversi stati limite (valori interpolati ottenuti dalla media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni che comprendono il sito in esame [45.583688; 9.175082] così come definito nell'Allegato A e B):

	P_{VR}	T_R	a_g	F_0	T_C^*
		[anni]	[g/10]		[s]
SLO	81%	30	0.181	2.560	0.1600
SLD	63%	50	0.229	2.535	0.1900
SLV	10%	475	0.479	2.652	0.2800
SLC	5%	975	0.577	2.690	0.3000

- **Categoria di sottosuolo = B, categoria topografica = T1** e coefficiente di smorzamento viscoso $\xi = 5\%$; a cui corrispondono i seguenti valori:

	S_s	C_c	S	T_B	T_C	T_D	F_v
				[s]	[s]	[s]	
SLO	1.20	1.59	1.20	0.08	0.25	1.67	0.47
SLD	1.20	1.53	1.20	0.10	0.29	1.69	0.52
SLV	1.20	1.42	1.20	0.13	0.40	1.79	0.78
SLC	1.20	1.40	1.20	0.14	0.42	1.83	0.87

In **figura 4** si riportano gli spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV e per lo stato limite di prevenzione del collasso SLC (formule riportate nel paragrafo 3.2.3.2.1).

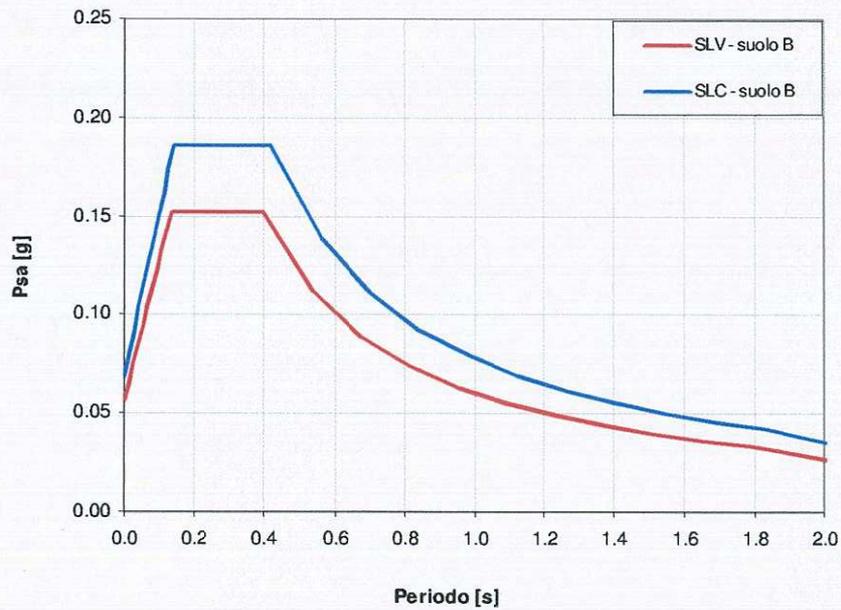


Figura 4: Spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica per gli stati limite (SLV e SLC).

CONCLUSIONI

L'indagine geognostica effettuata ha permesso di ricostruire la natura e le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione dell'area situata in via Valassina 89/91 nel comune di Paderno Dugnano, interessata dalla realizzazione di un nuovo capannone con relativo piano interrato.

I terreni in esame risultano costituiti essenzialmente da depositi di origine fluviale e fluvioglaciale, quali ghiaie, sabbie e, subordinatamente, limi, con grado di addensamento variabile in funzione delle sequenze granulometriche presenti e gradualmente crescente con la profondità. E' anche presente un congruo iniziale strato di terreno agrario e fine limoso-sabbioso.

Da un punto di vista geomorfologico l'area strettamente in esame risulta globalmente stabile.

Non è stata rilevata la presenza di acqua entro le profondità di interesse fondazionale: il livello piezometrico è attualmente presente a circa -34.00 metri dal piano campagna, ed è soggetto ad una discreta variazione.

E' stata condotta la verifica della capacità portante dei terreni e il calcolo dei cedimenti in funzione di diverse tipologie e geometrie di fondazione che potranno essere adottate nello studio progettuale.

Si raccomanda in fase esecutiva di verificare le ipotesi fatte nella presente indagine eseguita necessariamente per punti.

Dott. GRAZIANO CRINITI

GEOLOGO

Iscrizione Albo n. 905

Si raccomanda inoltre la massima cautela nell'esecuzione di movimenti terra, al fine di ottenere fronti di scavo con inclinazioni compatibili con la natura e le caratteristiche geotecniche dei terreni, e comunque con un'inclinazione non superiore ai 30 gradi, inclinazione da non superarsi neanche temporaneamente. I fronti di scavo dovranno inoltre essere adeguatamente coperti con teloni impermeabili opportunamente fissati a monte, e si dovrà avere cura di non sovraccaricare il ciglio degli scavi stessi, ad esempio con il deposito di materiali.

Lo scrivente rimane a disposizione nella fase esecutiva.

Dott. Geol. *Graziano Criniti*



Milano, 24 marzo 2014

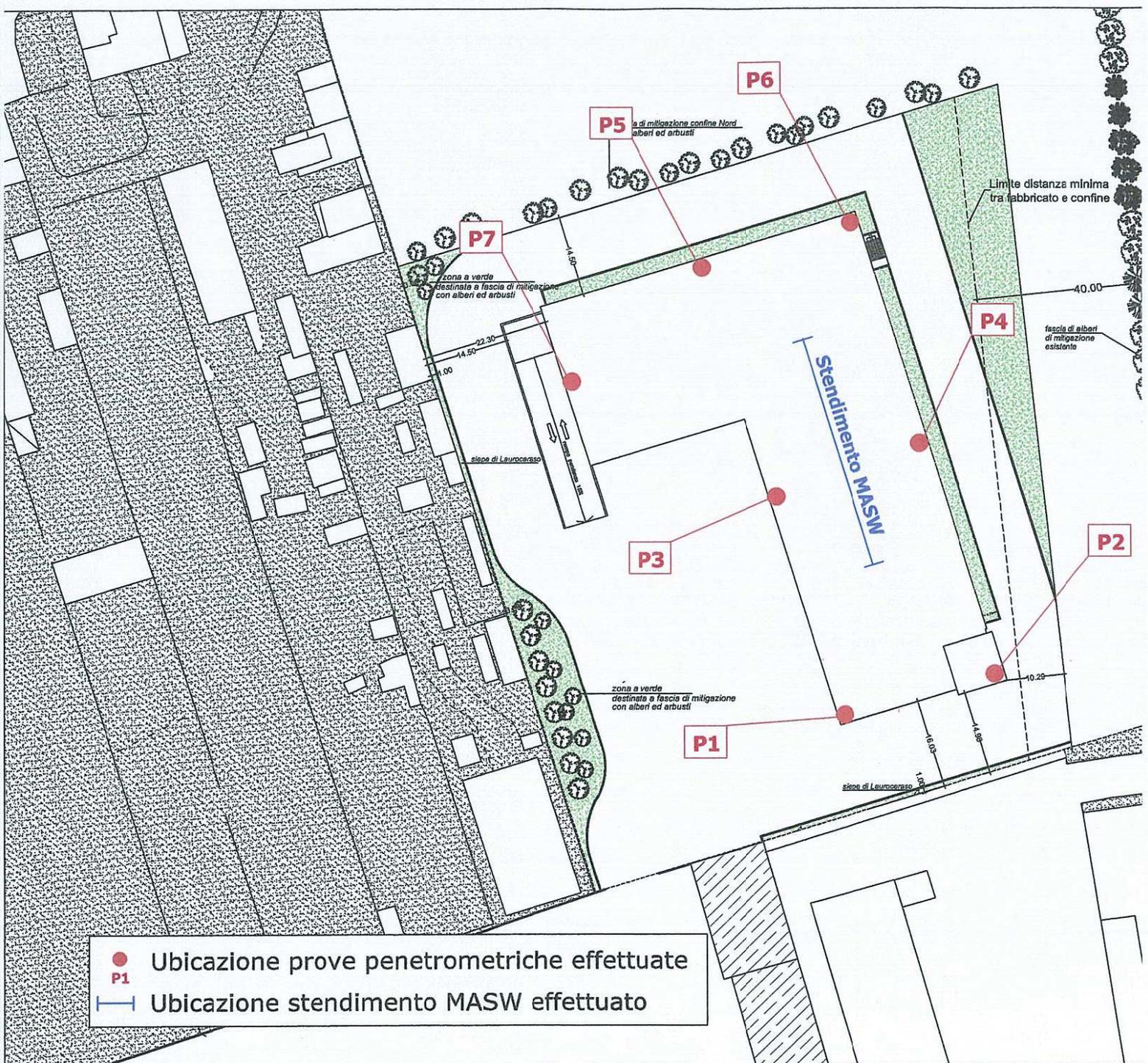
Dott. GRAZIANO CRINITI

GEOLOGO

Iscrizione Albo n. 905

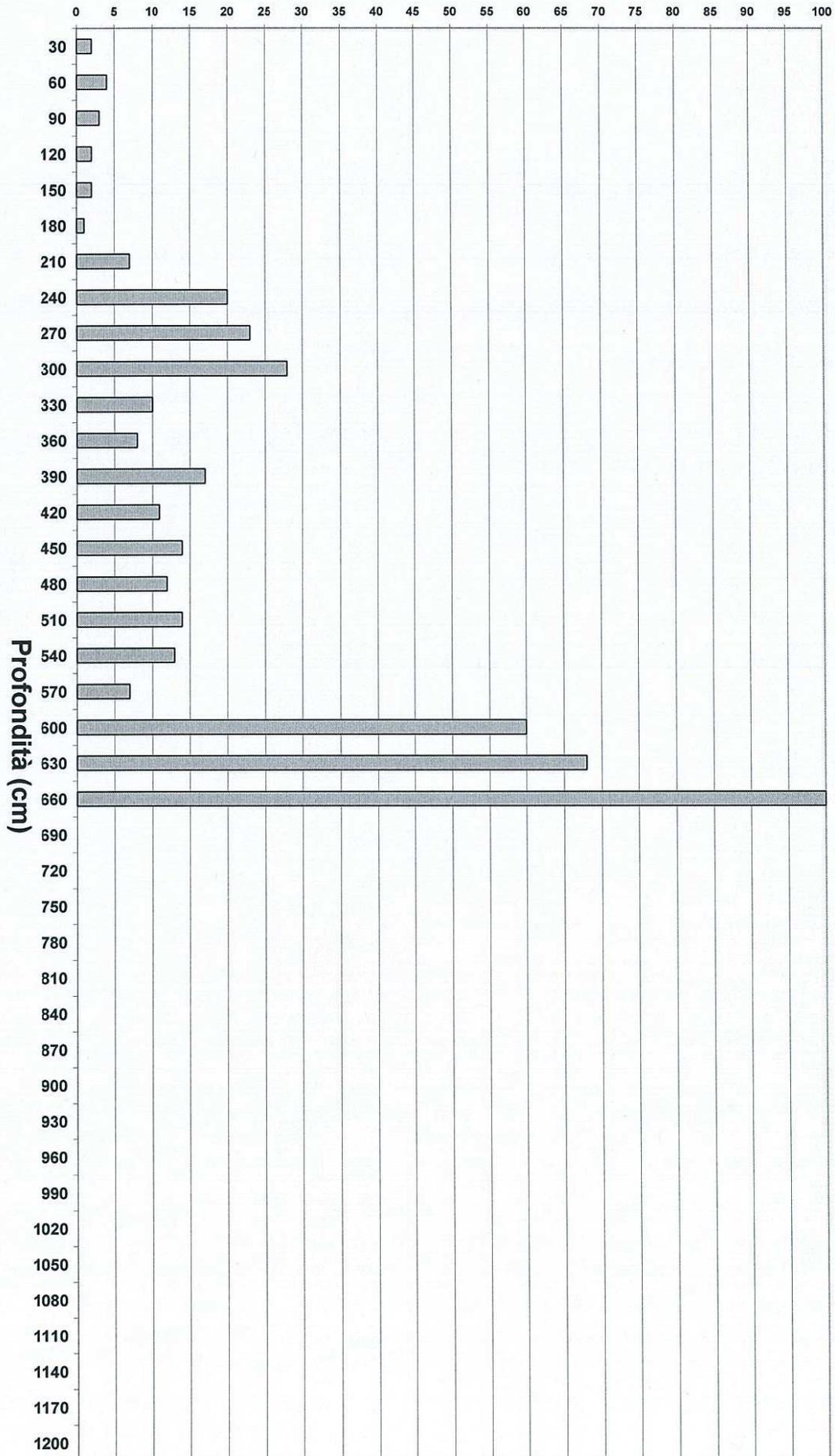
ALLEGATI

Via Del Ricordo 10 - 20128 Milano MI
Tel. Fax 022593903 347/4632994 E-mail criniti.geologo@alice.it
C.F. CRNGZN70M03F205T



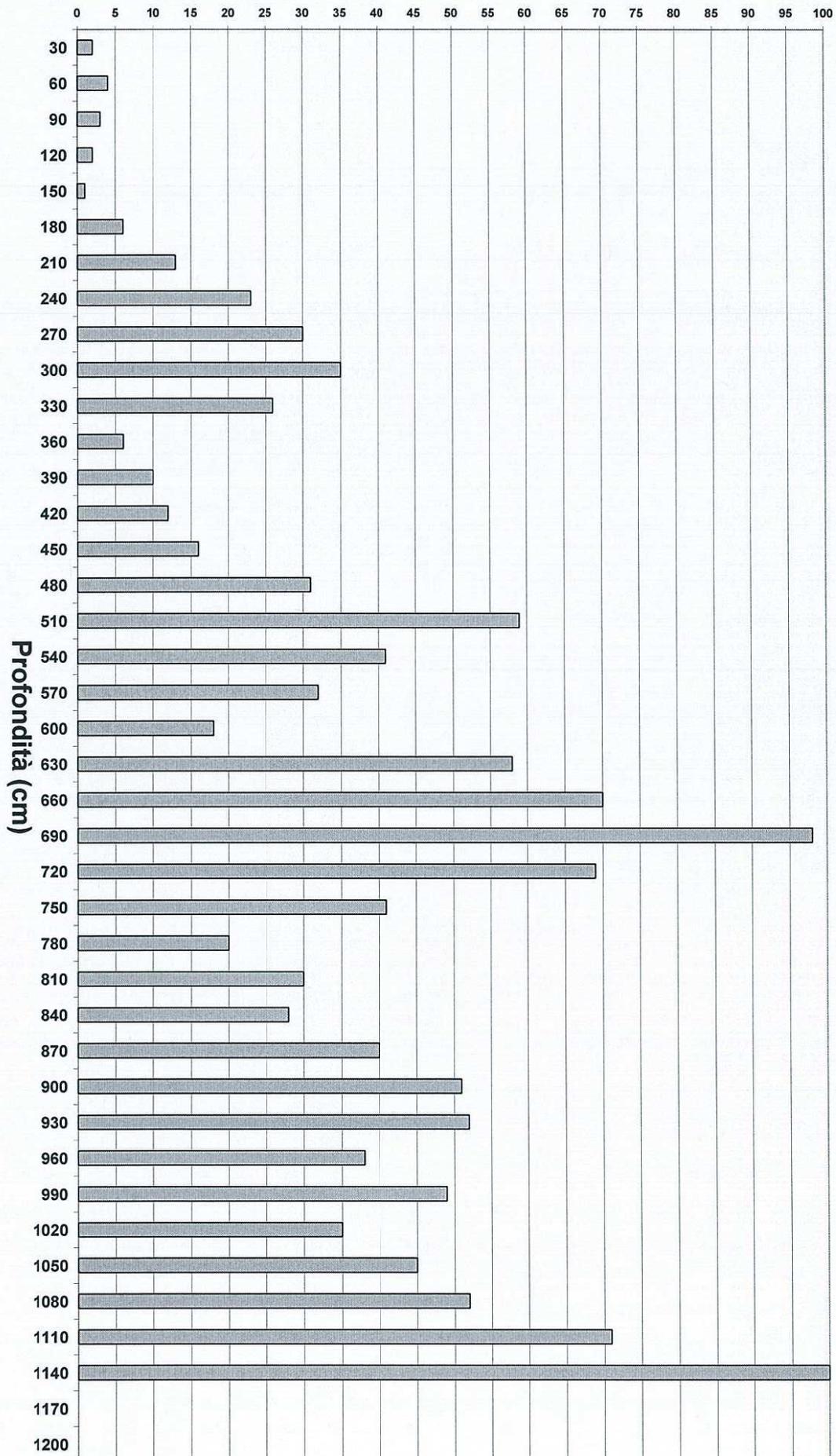
- Ubicazione prove penetrometriche effettuate
- ⇄ Ubicazione stendimento MASW effettuato

Numero dei colpi per un affondamento di 30 cm



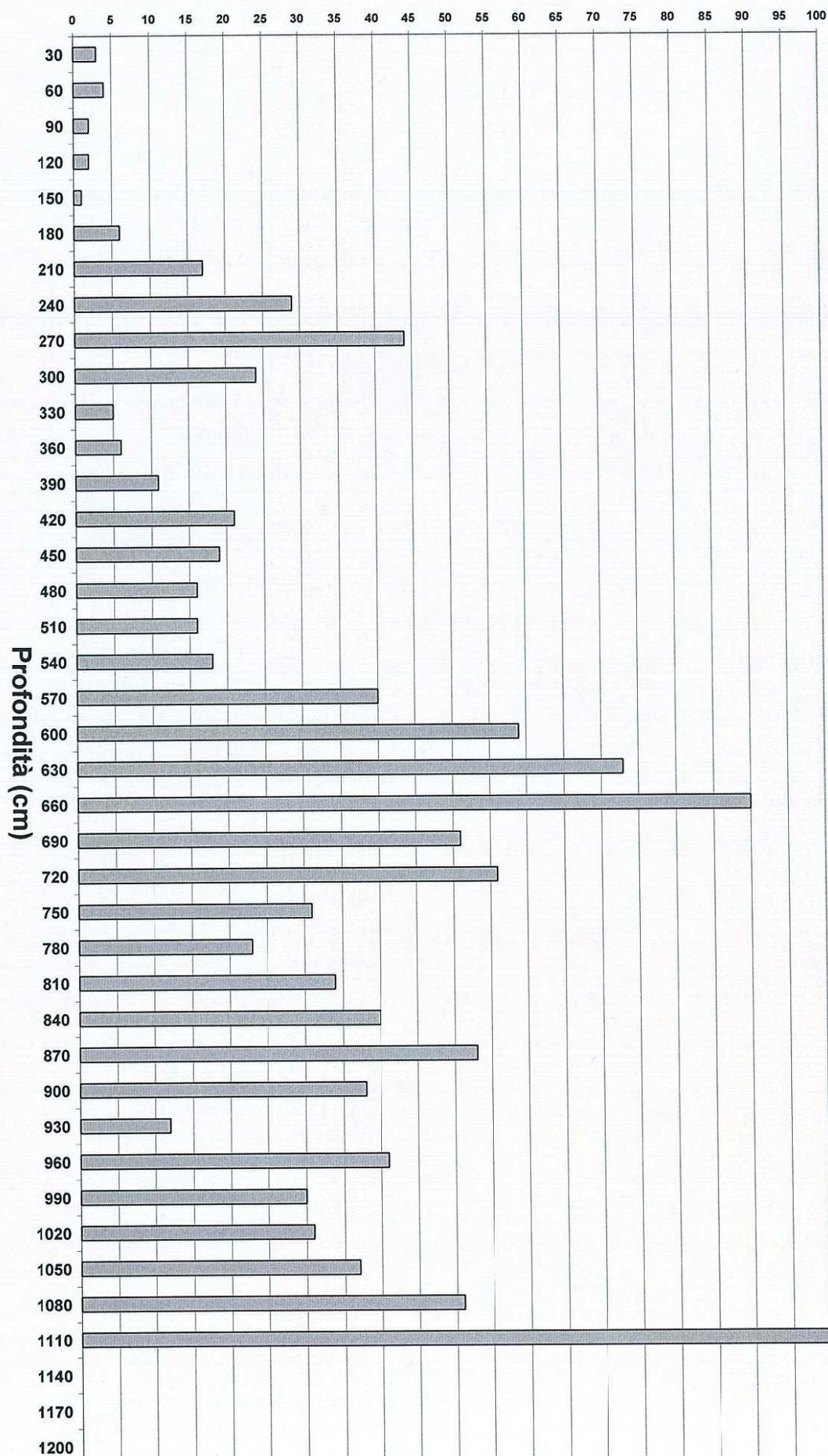
PADERNO DUGNANO/Via Valassina - PROVA PENETROMETRICA N°1
Quota di inizio prova dal p.c.: -0.00 m
12/03/2014

Numero dei colpi per un affondamento di 30 cm



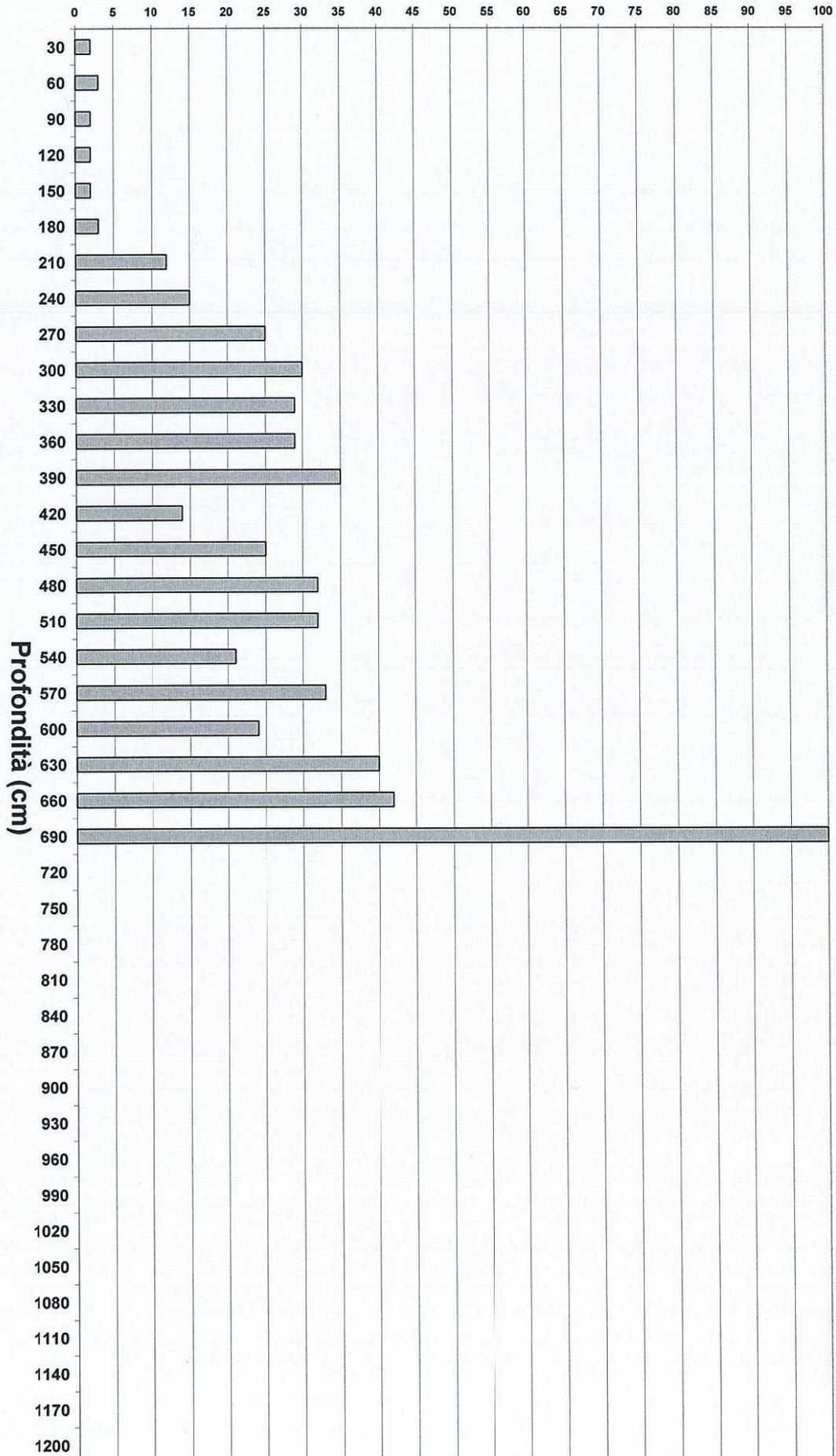
PADERNO DUGNANO Via Valassina - PROVA PENETROMETRICA N°2
Quota di inizio prova dal p.c.: -0.00 m
12/03/2014

Numero dei colpi per un affondamento di 30 cm



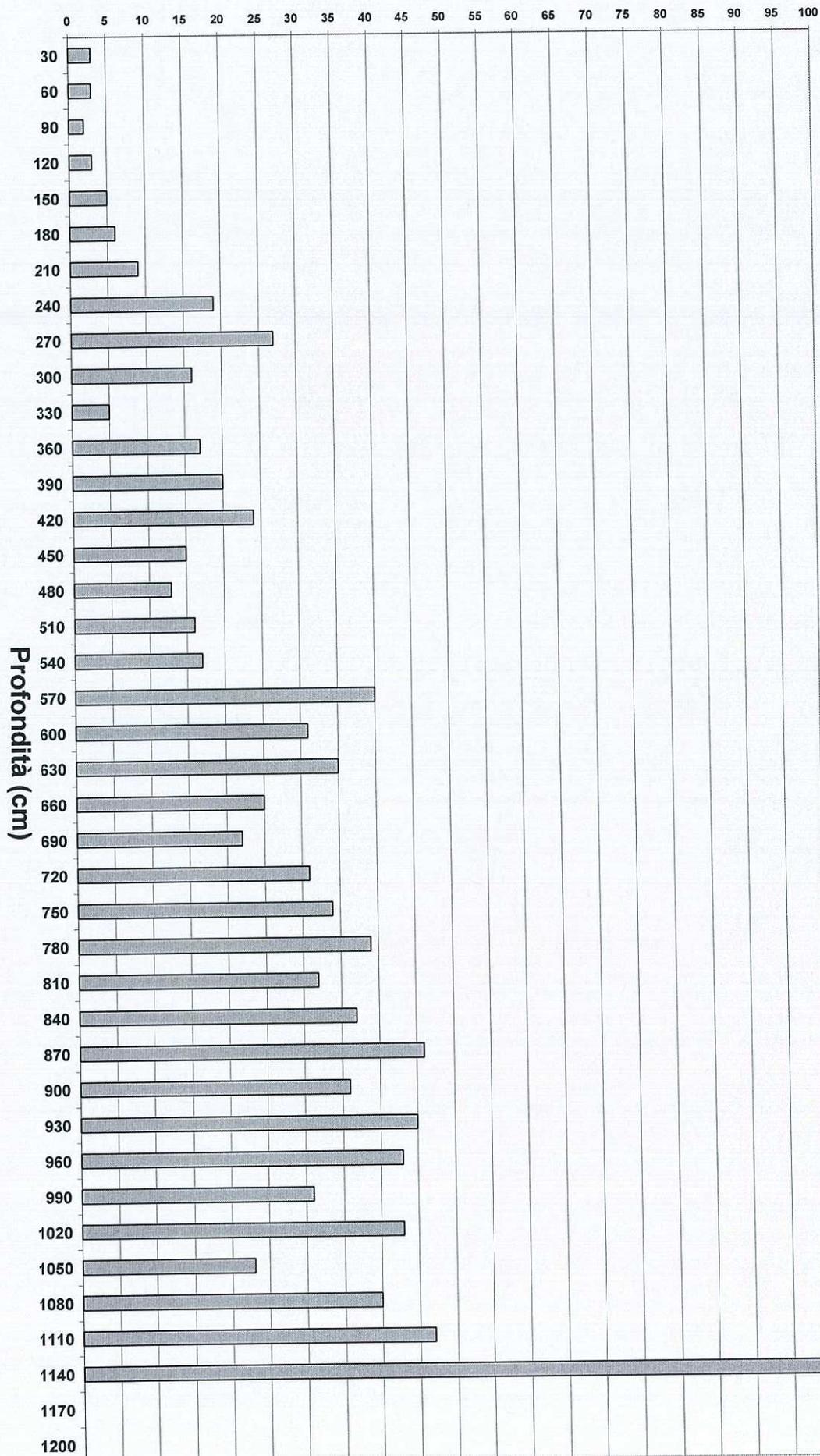
PADERNO DUGNANO Via Valassina - PROVA PENETROMETRICA N°3
Quota di inizio prova dal p.c.: -0.00 m
14/03/2014

Numero dei colpi per un affondamento di 30 cm



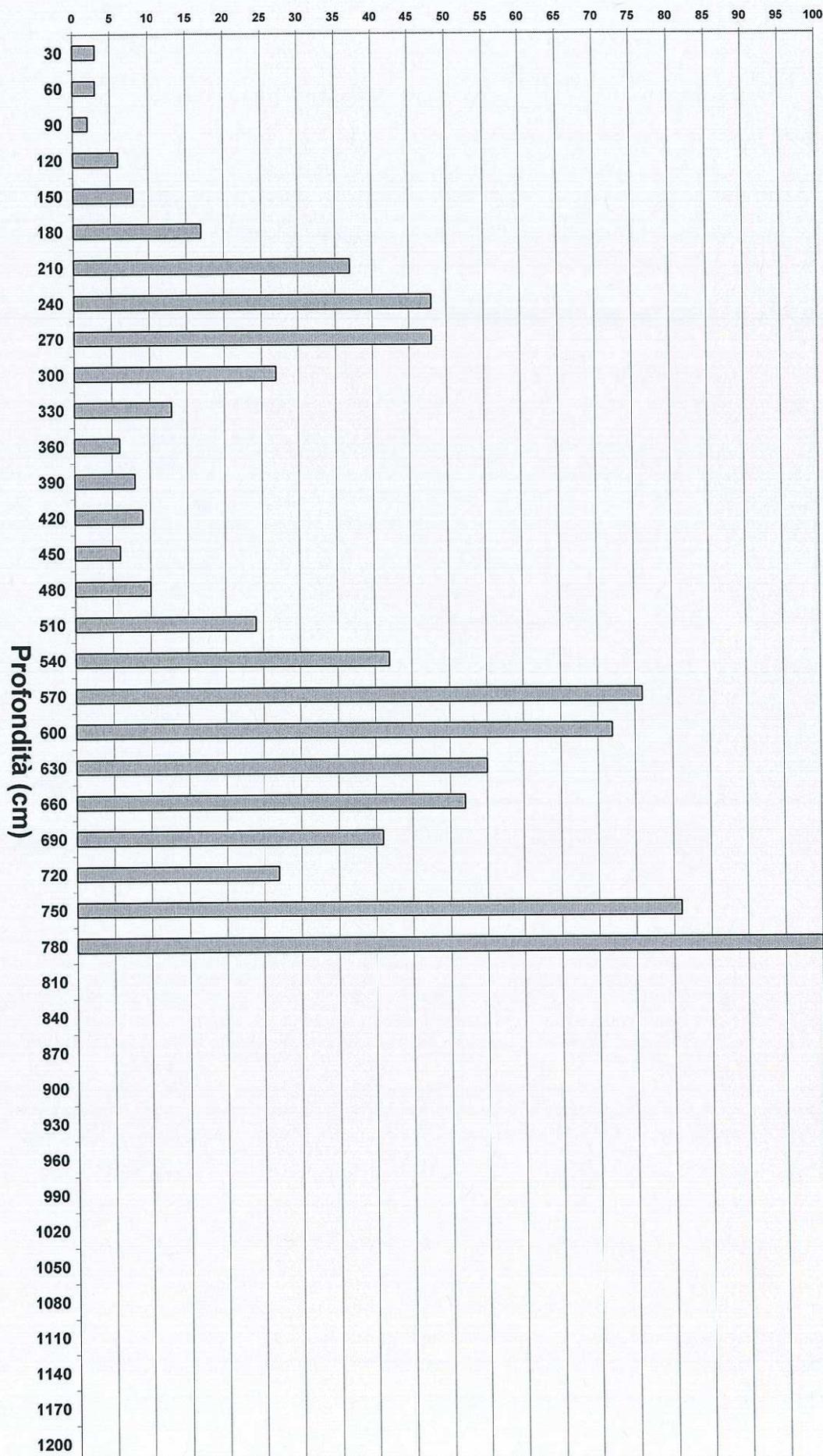
PADERNO DUGNANO Via Valassina - PROVA PENETROMETRICA N°4
Quota di inizio prova dal p.c.: -0.00 m
12/03/2014

Numero dei colpi per un affondamento di 30 cm



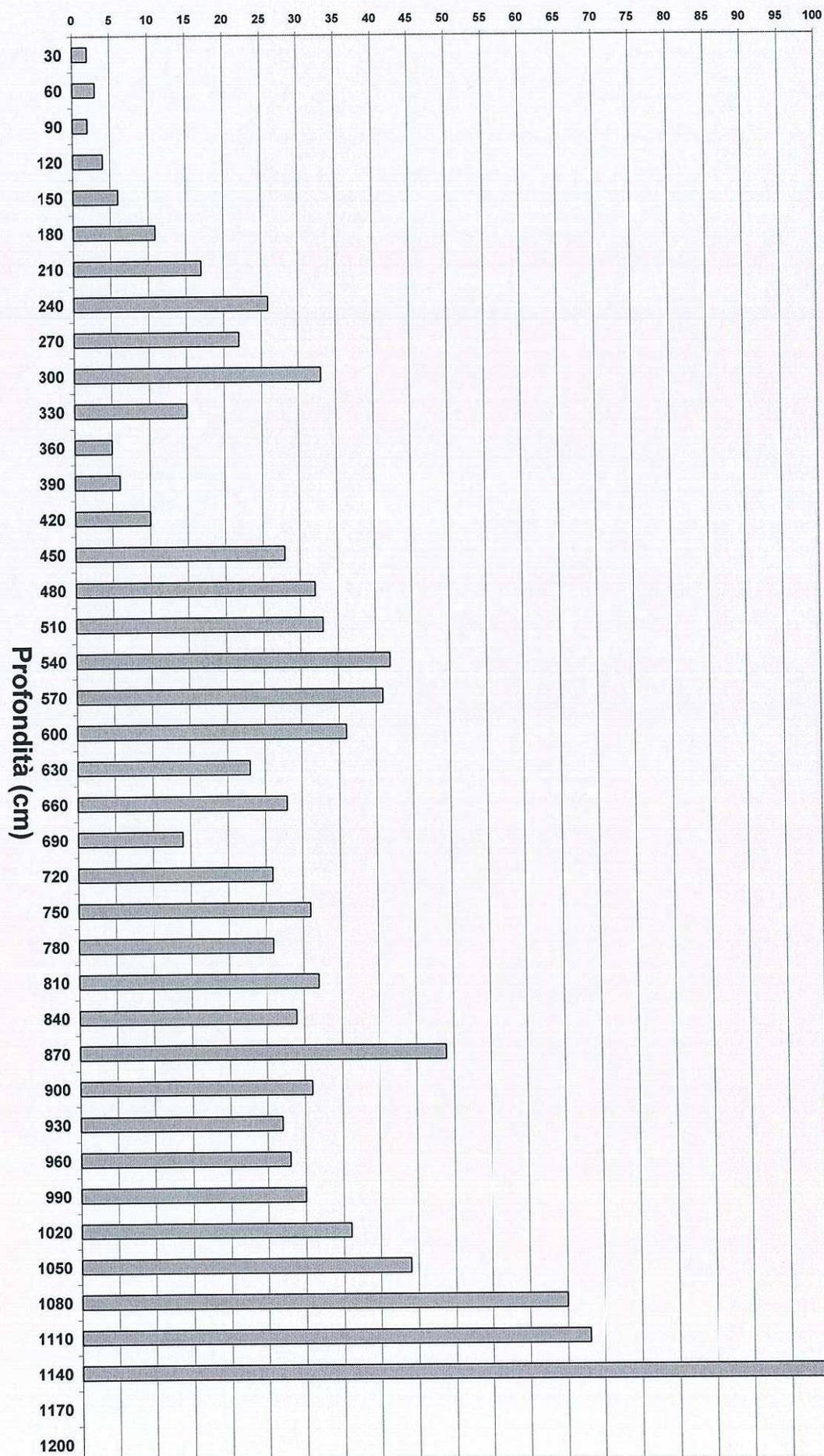
PADERNO DUGNANO/Via Valassina - PROVA PENETROMETRICA N°5
Quota di inizio prova dal p.c.: -0.00 m
14/03/2014

Numero dei colpi per un affondamento di 30 cm

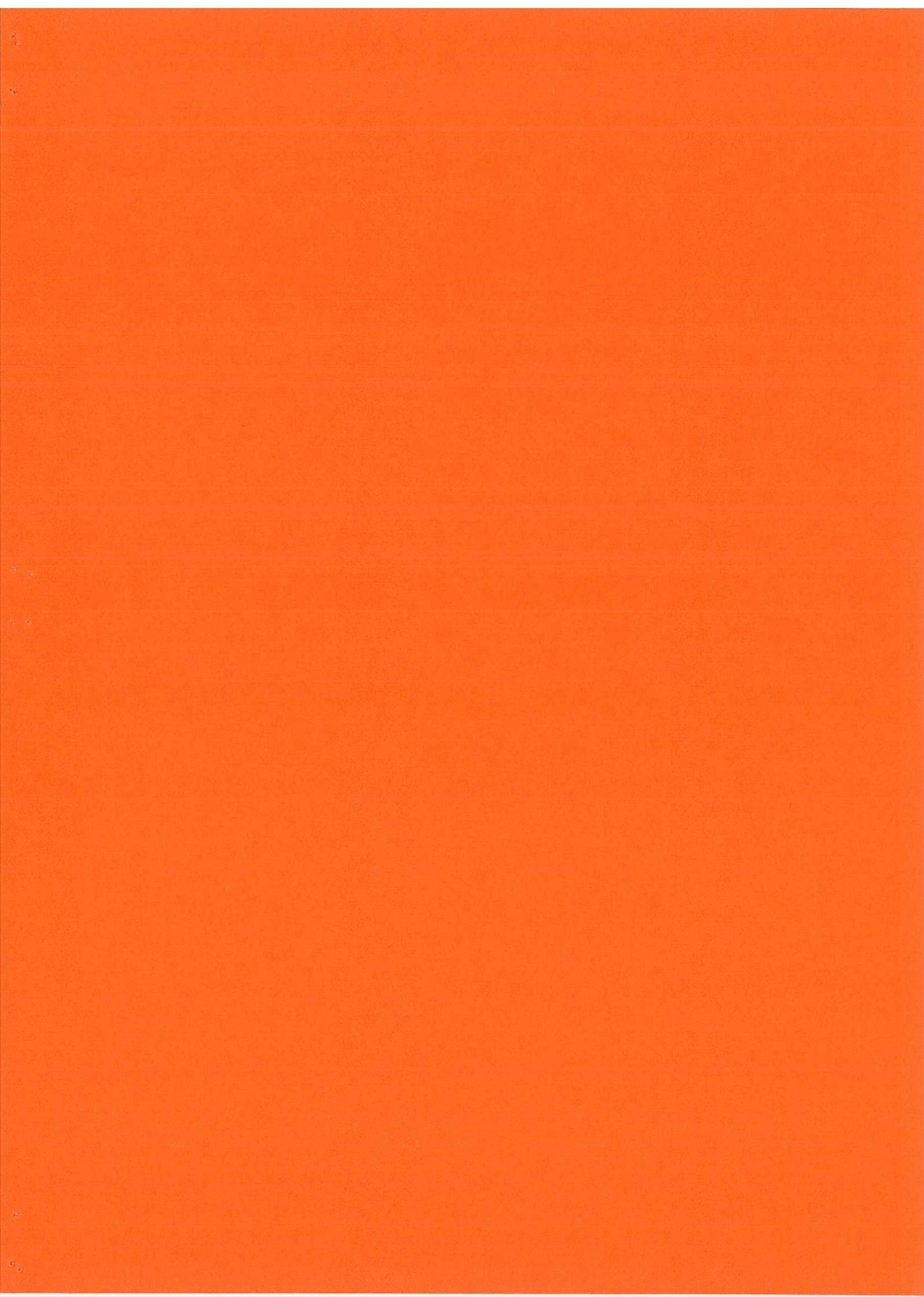


PADERNO DUGNANO Via Valassina - PROVA PENETROMETRICA N°6
Quota di inizio prova dal p.c.: -0.00 m
14/03/2014

Numero dei colpi per un affondamento di 30 cm



PADERNO DUGNANOVIA Valassina - PROVA PENETROMETRICA N°7
Quota di inizio prova dal p.c.: -0.00 m
14/03/2014



Signa srl

INDAGINI GEOFISICHE

Committente: dott. geol. Graziano Criniti.

Località: Via Valassina.

Comune: Paderno Dugnano (MI)

Indagine: Indagine geofisica con la metodologia MASW.

RAPPORTO TECNICO

Codice documento: 08-14			Numero pagine: 13		
A	23/03/14	EMISSIONE	DG	DG	DG
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato



SIGNA srl
Via G. Donizetti, 7 – 24040 Boltiere (BG)
Tel/Fax 035-806318 – Cell. 331-8218021
Cod.Fisc. e P.IVA 05388280967
www.signasrl.it; e-mail: info@signasrl.it



Data	23/03/2014
N. Commessa	08-14
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_PadernoDagnano

SIGNA srl – Indagini geofisiche

Indagine geofisica con la metodologia MASW

INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
3. ELABORAZIONE DATI.....	9

ALLEGATO

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	23/03/2014
	N. Commessa	08-14
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_PadernoDagnano

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un profilo sismico con la metodologia MASW presso l'area situata in via Valassina nel comune Paterno Dugnano (MI).

La campagna di indagine è stata eseguita nella giornata del 18 marzo 2014 su incarico del dott. geol. Graziano Criniti.

Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z).

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito (o risposta sismica locale - RSL) che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (definizione della categoria di sottosuolo).

Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito-specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.01.2008; D.G.R. n. 8/7374 e D.G.R. IX/2616/2011).

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

In figura 1 si riporta l'ubicazione della prospezione MASW effettuata.

SIGNA srl – Indagini geofisiche

Indagine geofisica con la metodologia MASW

Data	23/03/2014
N. Commessa	08-14
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_PadernoDagnano



Figura 1: ubicazione della prova MASW effettuata (immagine tratta da *Google Map*).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	23/03/2014
	N. Commessa	08-14
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_PadernoDagnano

2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del *Kansas Geological Survey* (Park C.B. et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki D.J., 1999; Park C.B., Miller R.D., 2006; Roma V., 2006):

1) Nel "**metodo attivo**" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel "**metodo passivo**" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1.5 m (la configurazione geometrica adottata è stata dettata sia

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	23/03/2014
	N. Commessa	08-14
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_PadernoDagnano

dalle condizioni logistiche che dalla necessità di ricostruire al meglio lo spettro di velocità delle onde superficiali di Rayleigh).

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 6 e 12 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti ("*Optimum Field Parameters of an MASW Survey*", Park C.B. et al., 2005; Dal Moro G., 2008; Dal Moro G., 2012).

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva) acquisendo in totale 10-12 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva e passiva:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
1	Cavo sismico	L = 60 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico

Data	23/03/2014
N. Commessa	08-14
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_PadernoDagnano



Figura 2: Strumentazione utilizzata per la prova MASW.

Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA	
<i>Spaziatura tra i geofoni</i>	1.5 m
<i>Distanza sorgente 1° geofono</i>	6 - 12 m
<i>Tempo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Tempo di registrazione</i>	2.0 s

Riassunto modalità esecutive della prova MASW PASSIVA	
<i>Spaziatura tra i geofoni</i>	1.5 m
<i>Tempo di campionamento</i>	4.0 ms
<i>Tempo di registrazione</i>	30.0 s
<i>Numero di registrazioni</i>	10

SIGNA srl – Indagini geofisiche

Indagine geofisica con la metodologia MASW

Data	23/03/2014
N. Commessa	08-14
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_PadernoDagnano



Figura 3: Vista dello stendimento MASW effettuato.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	23/03/2014
	N. Commessa	08-14
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_PadernoDagnano

3. ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (**SurfSeis 4.0** della Kansas University, Park C. B., 2006-2014).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 40 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde".

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (si veda la curva di dispersione riportata in allegato).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

SIGNA srl – Indagini geofisiche

Indagine geofisica con la metodologia MASW

Data	23/03/2014
N. Commessa	08-14
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_PadernoDagnano

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dall'inversione della curva di dispersione (relativa al "modo fondamentale" delle onde superficiali di Rayleigh) si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata:

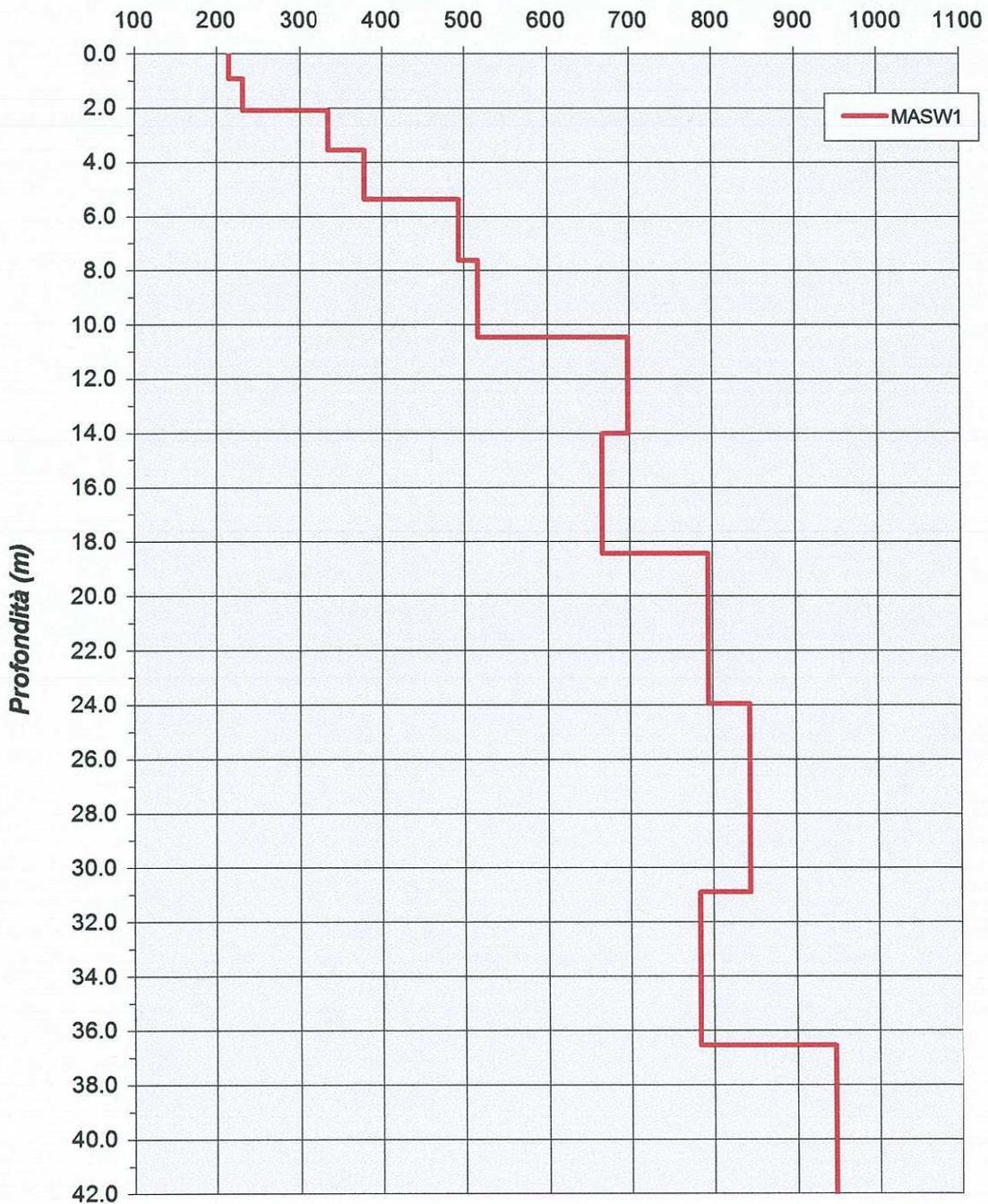
MASW 1			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.93	214.37	0.93
2	1.16	231.51	2.09
3	1.45	335.09	3.54
4	1.81	379.08	5.36
5	2.27	493.42	7.62
6	2.84	516.90	10.46
7	3.54	698.37	14.00
8	4.43	666.82	18.43
9	5.54	795.05	23.97
10	6.92	844.32	30.89
11	5.65	783.13	36.54
12	5.89	946.95	42.43

Tabella 1: modello sismico monodimensionale.

Data	23/03/2014
N. Commessa	08-14
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_PadernoDagnano

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

Velocità onde S (m/sec)



SIGNA srl – Indagini geofisiche

Data	23/03/2014
N. Commessa	08-14
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_PadernoDagnano

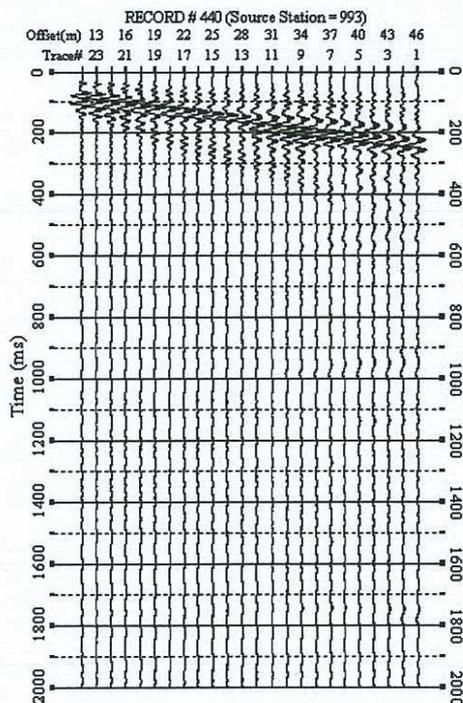
Indagine geofisica con la metodologia MASW

ALLEGATO

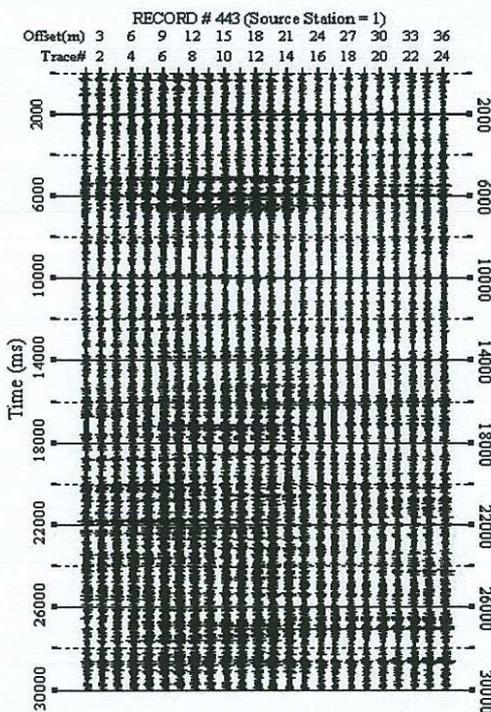
Data	23/03/2014
N. Commessa	08-14
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_PadernoDagnano

MASW1

registrazione attiva



registrazione passiva



CURVA DI DISPERSIONE

