

giovanni bassi geologo, via donatori di sangue 13, 26029 soncino (cr)  
tel. e fax 0374 85486, e\_mail: [bassi.geologo@gmail.com](mailto:bassi.geologo@gmail.com)

## **ALLEGATO 11: RAPPORTO GEOFISICO – INDAGINE DOWN HOLE**

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. CARATTERISTICHE ATTREZZATURE .....	4
3. METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE .....	5
4. DATI CONCLUSIVI DELLA PROVA SISMICA DOWN HOLE .....	7
5. VALUTAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE (AZIONE SISMICA DI PROGETTO- $V_{s30}$ ) .....	9
6. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO (REGIONE LOMBARDIA) .....	11
7. ALLEGATI .....	16
7.1. Fig. 1: Ubicazione area di intervento .....	16
7.2. Esecuzione prova Down-Hole .....	17
7.2.1. Fig. 2: Piazzamento DH_S1 .....	17
7.3. Tempi arrivi DH_S1 .....	18
7.3.1. Fig. 3: Tempi di arrivo onde P .....	18
7.3.2. Fig. 4: Tempi di arrivo onde Sx .....	18
7.3.3. Fig. 5: Tempi di arrivo onde Sy .....	19

Tavola 1\_A Scheda elaborazione prova Down-Hole DH\_S.SE

Tavola 1\_B Scheda parametri prova Down-Hole DH\_S.SE

## 1. PREMESSA

In merito allo studio dell'area ex AAB, in viale Pavia 3 a Lodi, è stata effettuata una prova sismica tipo Down-Hole, all'interno di un foro di sondaggio in precedenza eseguito.

Lo scopo delle indagini è di valutare le velocità sismiche alle varie profondità dei terreni attraversati.

Il sondaggio meccanico eseguito a rotazione continua con prelievo del materiale, è stato attrezzato con tubi in PVC da 3 metri, avente spessore > 3 mm e diametro esterno pari a 80 mm, sono stati avvitati insieme. L'intercapedine foro-tubatura, al fine di ottenere dati sismici di elevata qualità, è stata completamente cementata sino al p.c., con immissione da fondo foro di miscela cemento - bentonite in pressione.

L'indagine geofisica con metodo Down-Hole, è stata eseguita dopo più di 15 giorni dal termine della posa della tubatura di rivestimento, per consentire un'adeguata completa presa della miscela.

In particolare la prova sismica è state eseguite con le seguenti caratteristiche:

Down-Hole	Sondaggio	Profondità m	Interdistanza letture m
DH_S1	S1	30	1

## 2. CARATTERISTICHE ATTREZZATURE

L'indagine Down-Hole è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16S24P, utilizzando un sistema d'energizzazione come sotto descritto:

**Energizzazione:** mazza con massa di 10 kgf e piattina di battuta (Vp); trave di battuta opportunamente contrastata al suolo tramite autocarro (Vs).  
**Ricezione:** Geofono da foro tridimensionale, frequenza pari a 14 Hz con diametro da 70 mm e dispositivo di bloccaggio pneumatico.

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-**processore:** Pentium 200 MMx Intel,  
 -**Trattamento dati:** Floating Point 32-Bit,  
 -**Ambiente operativo:** Windows 3.11,  
 -**Canali:** 24  
 -**Display:** VGA colori LCD\_TFT 10,4"  
 -**Supporto memorizzazione.:** Hard Disk 2,1 Gb  
 -**Risoluzione acquisizione:** 6/24 bit  
 -**Sonde ambiente interne:** temperatura, umidità relativa  
 -**Formato dati:** Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),  
 -**Durata acquisizioni:** Rifrazione, 32÷2048 ms Riflessione, 32÷16384 ms,  
 -**Tempi campionamento:** da 16 µs a 2 ms  
 -**Filtri digitali:** Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz)  
 Notch (50÷180 Hz)  
 -**Attivazione filtri:** in acquisizione o manualmente  
 -**Trigger:** inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

Importanti funzioni dello strumento sono:

- *possibilità di sommatoria, con/senza pre visualizzazione totale/parziale;*
- *marker fisso o dinamico*
- *Auto Gain Control*
- *Delay Time*
- *Pre e post trigger*
- *Noise monitor*
- *Trace size automatica o manuale per ogni canale*

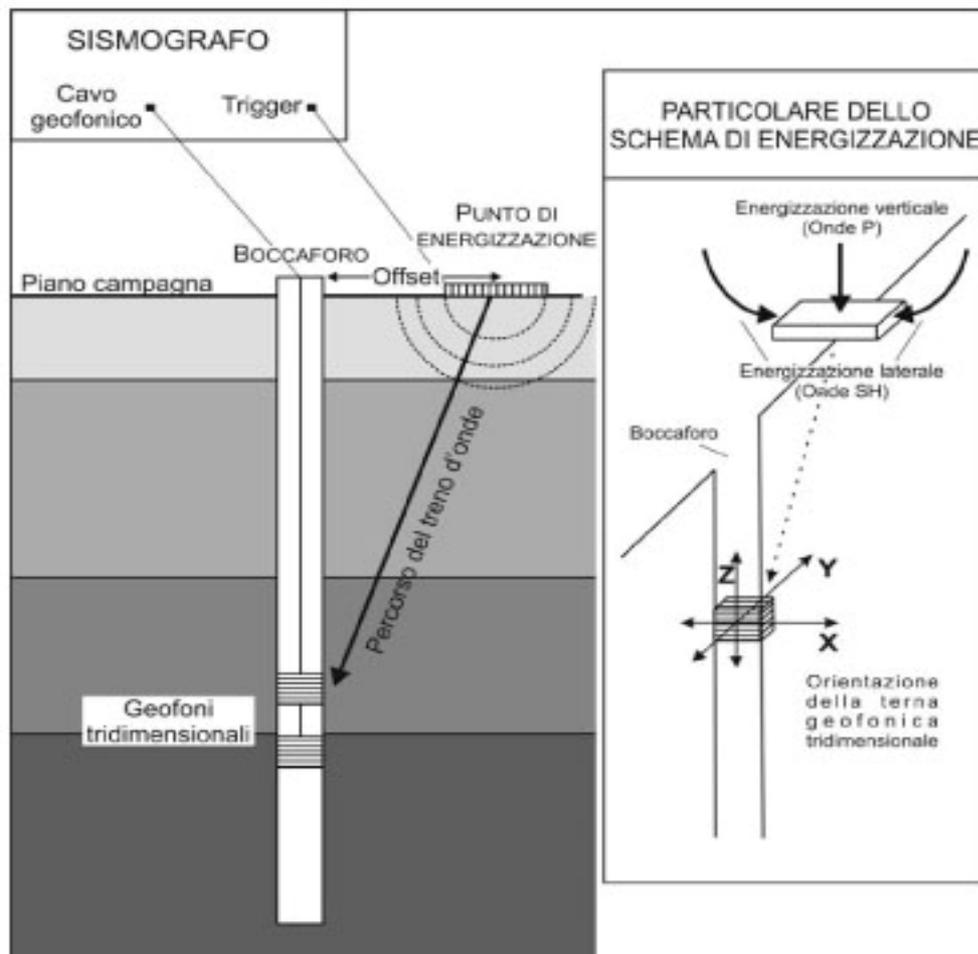
Successivamente, dopo aver computerizzato i dati con un programma specifico (Sismopc), è possibile rivedere i segnali e quindi eventualmente filtrarli od amplificarli per una più corretta acquisizione dei tempi d'arrivo. La velocità di propagazione delle perturbazioni, indotte energizzando il suolo con i sistemi suddetti, dipende dalle caratteristiche meccaniche di un determinato litotipo ed in particolare dai moduli elastici di: Young, Poisson, d'incompressibilità, di rigidità e dalla densità. Il metodo sismico a rifrazione in foro, fornisce risultati correlabili a modelli sismostratigrafici, che presentano una precisione accurata, tanto più le condizioni di esecuzione della prova in foro, si avvicinano alle seguenti:

- Il volume di terreno interessato sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare sufficientemente elastico, omogeneo ed isotropo.
- Utilizzo di tubature ad alta impedenza alle vibrazioni, (alluminio o PVC).
- Perfetta cementazione dell'intercapedine foro-tubatura di rivestimento, all'interno della quale viene ancorato il geofono tridimensionale.

### 3. METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE

La prova sismica Down-Hole, è eseguita con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo).

Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z).  
Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde SH) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).



(schema semplificato di un'indagine Down-hole)

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio pneumatico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 1 m).

Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungeranno il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato.

Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio.

Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di compressione e l'energia dell'onda

trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto.

La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente di compressione presente nel segnale.

La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio non superiore al decimo di millisecondo.

L'analisi interpretativa dei dati, prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

Poiché i geofoni orizzontali sono due (e posizionati tra loro a  $90^\circ$ ) e il sismogramma uno solo, è necessario che le forme d'onda vengano fra loro composte secondo un certo angolo  $\vartheta$  (diverso da  $90^\circ$ ) che viene opportunamente modificato dal programma di interpretazione per cercare il piano di oscillazione principale dell'onda di taglio.

La progressiva modifica dell'angolo di composizione tra x e y, accompagnata dalla grafica in tempo reale della forma d'onda composta, consente di individuare quel valore dell'angolo  $\vartheta$  per il quale è minima l'energia dell'onda di compressione e massima quella dell'onda trasversale.

Questo valore dell'angolo di composizione, diverso per ciascuna profondità, viene utilizzato per la creazione del sismogramma riguardante le onde di taglio.

## 4. DATI CONCLUSIVI DELLA PROVA SISMICA DOWN HOLE

In queste particolari indagini, le acquisizioni sono state eseguite utilizzando una catena con geofono tridimensionale da foro, ad ancoraggio pneumatico, azionabile dalla superficie, sensibile sia alle onde di compressione sia a quelle di taglio, con spaziature delle singole misure di 1 m.

Va ricordato che nella sismica in foro, non sempre gli spessori di strati con velocità sismica omogenea, coincidono con quelli delle stratificazioni rilevate nella perforazione, poiché si possono individuare orizzonti contraddistinti da caratteristiche elastiche mediamente costanti che potrebbero essere comuni a litotipi simili.

Per contro la metodologia di prova down-hole, come d'altronde altre tecniche di rilevazione sismica in foro, presenta in rapporto alle prospezioni sismiche di superficie di rifrazione, il vantaggio non indifferente di consentire la rilevazione delle velocità sismiche, senza che queste ultime debbano necessariamente aumentare con la profondità.

Ciò consente di valutare eventuali inversioni di velocità, all'interno anche di un omogeneo strato o pacchi di strati ad analogo grado di consistenza incontrati durante la perforazione ed evidenziare quindi "fasce di debolezza" presenti a differenti profondità, lungo la stessa verticale di prova.

I punti di scoppio (o di energizzazione) delle onde di compressione (onde P) e la trave di battuta per l'energizzazione polarizzata delle onde di taglio (onde S), orientata perpendicolarmente al raggio del foro sono stati ubicati come indicato in tabella e riportato nella schede.

Down-Hole	Distanza energizzazione onde P m	Distanza energizzazione onde S m
DH_S1	3,10	3,10

In base a quanto sopra, sono quindi state calcolate le rispettive velocità di trasmissione delle onde  $V_p$  e  $V_s$ .

I dati delle singole misure effettuate, sono opportunamente tabulati in funzione della profondità, per ogni singola verticale d'indagine e diagrammati come sotto indicato:

- *profondità/dromocrona tempi d'arrivo (onde P e onde SH),*
- *profondità/velocità di pseudo-intervallo (onde P e onde SH),*

Quest'ultimo diagramma comparativo, evidenzia le differenti velocità (onde P e onde S) in funzione della profondità di prospezione.

Si può quindi operare, con raffronto diretto, la comparazione tra andamento delle velocità sismiche e la colonna stratigrafica semplificata, del sondaggio geognostico del punto di prova (cfr. schede allegata: Prova sismica in foro Down Hole).

Nella scheda elaborazione sono riportate:

- Profondità
- Tempi di arrivo delle onde P
- Tempi di arrivo delle onde S (media)
- Velocità delle onde P
- Velocità delle onde S
- Stratigrafia sintetica del sondaggio
- Diagramma Tempi/profondità onde S e P
- Diagramma Velocità/profondità onde S e P

Nella scheda parametri sono inoltre riportati anche:

- Coefficiente di Poisson dinamico
- Modulo di elasticità dinamico
- Modulo di taglio dinamico
- Modulo di compressibilità dinamico

I parametri dinamici sono stati calcolati mediante le seguenti formule:

$$\nu = \frac{0.5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad K = \gamma[V_p^2 - 4/3V_s^2] \quad G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$E = V_s^2 \cdot \gamma[(3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

m	tempi misurati			Vs media (sec) (Vsx+Vsy)/2
	Vp (sec)	Vsx (sec)	Vsy (sec)	
1	0.0055	0.0063	0.0063	0.0063
2	0.0076	0.0089	0.0087	0.0088
3	0.01	0.012	0.013	0.0125
4	0.0127	0.0156	0.0158	0.0157
5	0.0146	0.0182	0.0184	0.0183
6	0.0159	0.02	0.021	0.0205
7	0.0173	0.0251	0.0227	0.0239
8	0.0189	0.0275	0.0281	0.0278
9	0.02	0.0326	0.033	0.0328
10	0.023	0.0386	0.0366	0.0376
11	0.0249	0.0422	0.0411	0.04165
12	0.0256	0.0497	0.0493	0.0495
13	0.026	0.0585	0.053	0.05575
14	0.0264	0.0618	0.0622	0.062
15	0.027	0.069	0.0665	0.06775
16	0.0275	0.0729	0.0731	0.073
17	0.028	0.0745	0.0775	0.076
18	0.0285	0.0753	0.0807	0.078
19	0.0291	0.0774	0.0832	0.0803
20	0.0297	0.0781	0.0891	0.0836
21	0.0303	0.0854	0.092	0.0887
22	0.0309	0.0969	0.0965	0.0967
23	0.0315	0.1016	0.1012	0.1014
24	0.032	0.1054	0.103	0.1042
25	0.0325	0.107	0.106	0.1065
26	0.0331	0.1104	0.1083	0.10935
27	0.0336	0.1144	0.1123	0.11335
28	0.0341	0.1165	0.1152	0.11585
29	0.0346	0.1176	0.118	0.1178
30	0.0351	0.12	0.12	0.12
31	0.0055	0.0063	0.0063	0.0063

Tempi di arrivo delle onde P, Sx, Sy e S media

## 5. VALUTAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE (AZIONE SISMICA DI PROGETTO- $V_{s30}$ )

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sono stati esaminati i dati ottenuti dalla prospezione Down - Hole, che permettono di caratterizzare il sottosuolo basandosi sulla misura diretta dei valori della velocità media delle onde di taglio  $V_s$ .

Da tale analisi si sono ottenuti i relativi valori di velocità delle onde  $V_s$ , per i vari strati individuati. La determinazione è stata effettuata come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n°3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".*

Si ricorda che la nuova normativa definisce l'azione sismica di progetto, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale fino ad oggi sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore  $a_g$  dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. *Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche*). La classificazione del suolo (*tabella 1*) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove  $V_{s_i}$  e  $h_i$  sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello stato  $i$ -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{s30}$ (m/sec)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s_{30}}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
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 $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ( $N_{spt} > 50$ ) ( $C_u > 250$ KPa)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s_{30}}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180-360 ( $15 < N_{spt} < 50$ ) ( $70 < C_u < 250$ KPa)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s_{30}}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 ( $N_{spt} < 15$ ) ( $C_u < 70$ KPa)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento ( con <math>V_{s_{30}} &gt; 800</math> m/s)</i>	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s_{30}}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u30} < 20$ 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.	<100 ( $10 < C_u < 20$ Kpa)
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella1: classificazione del tipo di suolo secondo le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008 da Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.

In base a quanto sopra la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.1 DM 14-9-05), ai vari strati sismostratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità  $V_s$  direttamente misurate, consentendo di ottenere la  $V_{s30}$ , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo

$V_{S_i}$  = velocità onde S nello strato  $i$ -esimo

$N$  = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti una velocità  $V_{S_{30}}$  di:

**velocità calcolata da p.c. a -30 m da p.c.**  $V_{S_{30}} = \mathbf{251}$  m/sec

Che corrisponde in tutti e due i casi ad una Categoria del suolo di fondazione di tipo **C**  
(*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S_{30}}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s)

*Si ricorda che in base all'art 322 del DM 14 gennaio 2008 la velocità delle  $V_s$  30 va calcolata dal piano di posa delle fondazioni.*

## 6. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO (REGIONE LOMBARDIA)

In relazione alle disposizioni contenute in Del. Giunta R. Lombardia 30-11-11 n. 2616 che ha apportato aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio", sono previsti 3 livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente, di cui i primi 2 obbligatori in fase di pianificazione ed il 3° se il livello 2 evidenzia situazioni di inadeguatezza della normativa nazionale, per scenari di pericolosità sismica locale, caratterizzati da amplificazione, per effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione / contatto stratigrafico – tettonico come indicato in tabella:

<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
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 sub-verticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di	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

In particolare in relazione alla zona in analisi, è stato sviluppato uno studio di 2° Livello, associabile a possibili scenari di amplificazione di zona Z4 (in particolare Z4a).

La procedura indicata consiste in un approccio di tipo semi quantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica locale dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione ( $F_a$ ), riferito agli effetti litologici del sito, per intervalli di periodo tra 0,1÷0,5 sec. (strutture relativamente basse) e intervalli 0,5÷1,5 sec. (edifici e strutture più alte e flessibili).

### Effetti Litologici di amplificazione

La procedura semplificata utilizzata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

1. *litologia prevalente dei materiali investigati*
2. *stratigrafia del sito*
3. *andamento delle Vs con la profondità fino a valori  $\geq 800$  m/sec*
4. *spessore e velocità sismica di ciascun strato*
5. *modello geofisico e geologico geotecnico del sito per la scelta dei punti più rappresentativi per*

### *l'esecuzione dell'analisi di amplificazione*

Successivamente si procede alla scelta della scheda rappresentativa di valutazione, cui fare riferimento per la litologia prevalente del sito in analisi.

Tale scelta si deve basare anche sulla rispondenza dell'andamento dei valori di  $V_s$  con la profondità, ed in presenza di alternanze litologiche sostanzialmente diverse, la scheda scelta è considerata validabile, solo se l'andamento dei valori di  $V_s$ , è compatibile con la scheda prescelta.

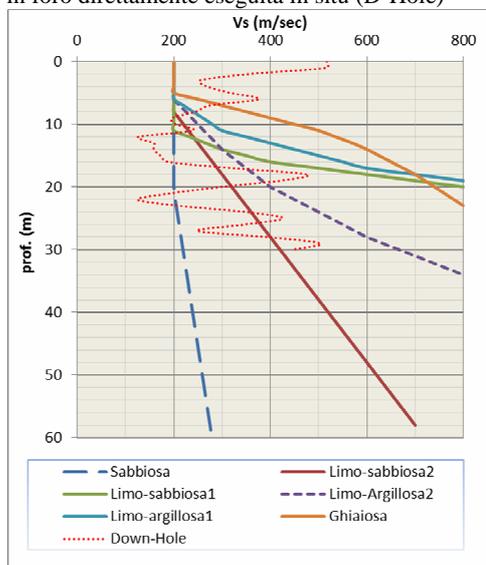
La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e sismici del sito sono stati desunti da indagini dirette (sondaggio meccanico e sismica in foro tipo down hole) e per i dati stratigrafici si è fatto riferimento a sondaggi profondi per uso idropotabile utilizzati in precedenza per la redazione di sezioni Geologiche a corredo dello studio geologico del P.I.I. ex Area ABB. (sez. 6a e 6b).

I parametri scelti per la procedura di 2° livello a dotata, presentano perciò un grado di attendibilità medio, se riferiti ai dati litologici e stratigrafici, di grado alto se riferiti alle procedure di ricerca ed elaborazione dei dati sismici (cfr. art 57 LR 12/2005 - Tab3 All. 5).

In base a quanto sopra esposto, poiché non è presente nella normativa della regione Lombardia, una scheda litologica di valutazione specifica, che rispecchi la litologia del sito in analisi, come previsto da art. 3.2 Al. 5-Integrazioni, si è utilizzata la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle  $V_s$  con la profondità più simile a quella riscontrata dall'indagine in foro down hole.

Da tale verifica, la congruenza che più si approssima fra l'andamento delle  $V_s$  (da Down Hole) e la litologia prevalente del sito, con profondità, con quanto previsto All. 5 Procedure Effetti di sito, si ottiene con la scheda "Effetti Litologici – Scheda litologia Limoso Sabbiosa 2" come desumibile anche dal grafico1 sottostante.

Grafico 1: confronto fra le diverse schede "effetti Litologici" come da all. 5 DG RL n. 2616/2011, e la prova sismica in foro direttamente eseguita in situ (D-Hole)



In particolare mancando dati litologici o stratigrafici degli orizzonti più profondi, come in precedenza accennato, in base alle stratigrafie dei pozzi della zona, si prevede una serie di alternanze di orizzonti essenzialmente sabbiosi e/o ghiaiosi con intercalazioni argillose.

### **Dati di input**

#### 1) Litologia prevalente

Si tratta di depositi alluvionali più o meno recenti, costituiti essenzialmente da bancate ghiaiose e sabbiose ad medio elevata densità, intercalati a livelli limoso e sabbiosi o argilloso-limosi a spessore subordinato, che si ritrovano in profondità sino a prof superiori i 130-140 m.

L'addensamento dei materiali è variabile ed in genere nelle bancate sabbiose-ghiaiose è in

aumento con la profondità o con l'aumento di granulometria, la struttura del deposito complessivamente è di tipo granulare, ma con presenza di matrice fine sabbiosa e subordinatamente limosa.

L'attribuzione del peso di volume in mancanza di prove di laboratorio ad hoc, è stato attribuito da dati bibliografici, per analogia con materiali a granulometria e caratteristiche deposizionali analoghe.

## 2) Stratigrafia del sito

Livelli superficiali essenzialmente limosi e sabbiosi con parametri di resistenza alla penetrazione variabili fra valori di  $N_{SPT} = 8/10/17$  nei primi 4/5 m, per passare poi a  $N_{SPT} = 26/35-38$  m sino a -20 m nei livelli essenzialmente ghiaioso sabbiosi presenti e/o per analogia granulometrica più in profondità (-25/30 m ove però non sono state eseguiti SPT), mentre nelle subordinate intercalazioni a composizione limo-argillosa o sabbiosa i valori variano fra  $N_{SPT} = 14-20$ . Si veda in dettaglio la scheda del sondaggio (S1 eseguito da Beduschi Geotecnica).

3) Andamento  $V_s$  con la profondità / Spessore e velocità di ciascun strato. Si veda la scheda e i grafici della prova sismica in foro Down Hole (sondaggio S1 tavola 1\_A)

4) Sezione geologiche e modello geofisico

In relazione alla litologia prevalente (vedi punto 1), alla stratigrafia del sito (desunta anche dalle colonne di perforazione di pozzi) e della sua caratterizzazione sismica mediante prove sismiche in foro, è stato possibile schematizzare il seguente modello geofisico, esposto in Tab. 1:

**Tab. 1**

<b>schematizzazione modello geofisico</b>				
strato sismico n°	Profondità (m)		Velocità 'media' onda taglio dello strato  Vs m/sec	Periodo T (singolo strato)
	da	a		
1	0	4.0	292	0,055
2	4.0	6.0	347	0,023
3	6.0	11	233	0,086
4	11	16	161	0,124
5	16	19	406	0,030
6	19	23	207	0,077
7	23	26	374	0,032
8	26	27	248	0,016
9	27	46	448	0,170
10*	46*	58*	480	0,100
11*	58*	90*	575	0,223
12*	90*	108*	620	0,116
13*	108*	120*	750	0,064
14*	120*	130*	800	0,050

\*= ipotesi basate sul gradiente di velocità  $V_s$ , ottenuto dai dati delle indagini sismiche e dalle stratigrafie pozzo

In base ai valori sopra esposti è stata calcolata l'eventuale amplificazione sismica di effetto litologico del sito in esame.

In particolare si sono ottenuti valori di periodo T, considerando tutta la sismo stratigrafia sino alla profondità utile ( $V_s \geq 800$  m/sec) desunti da Tab. 1 e calcolati con la relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

$$T_{125} = 0.9935 \text{ sec}$$

dove:

$h_i$  = spessore strato i-esimo

$V_{s_i}$  = velocità strato i-esimo

### **Fattore di amplificazione (Fa)**

A questo punto necessita determinare il valore di Fa (Fattore amplificazione) approssimato alla prima cifra decimale, dagli abachi della scheda Regionale di valutazione per litologia limoso Sabbiosa2, scegliendo la curva più appropriata in funzione della velocità sismica e dello spessore del primo strato, ottenendo dalle curve di correlazione T-Fa<sub>0.1÷0.5</sub> (curva 2 e 3) e Fa<sub>0.5÷1.5</sub> (curva unica):

- 1) Fa<sub>0.1÷0.5</sub> = 1.77-0.38lnT [curva 2 x valori di periodo 0.4<T≤1.00 (tratto logaritmico)]
- 2) Fa<sub>0.1÷0.5</sub> = 1.58-0.24lnT [curva 3 x valori di periodo 0.4<T≤1.0 (tratto logaritmico)]
- 3) Fa<sub>0.5÷1.5</sub> = -1.33T<sup>2</sup>+2.02T+0.79 [curva unica]

Ottenendo in base al periodo T<sub>125</sub> della sequenza sopra ipotizzata:

- CASO 1) Fa<sub>0.1÷0.5</sub> = 1.77 (curva 2)  
 CASO 2) Fa<sub>0.1÷0.5</sub> = 1.58 (curva 3)  
 CASO 3) Fa<sub>0.5÷1.5</sub> = 1.48 (curva unica)

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuto energetico, confrontando il valore Fa sopra ottenuto, con analogo procedimento che è stato utilizzato, per classificare ciascun comune della regione e valido per le zone sismica di calcolo (zona 2,3,4) e per le diverse categorie del suolo di fondazione soggette ad amplificazione litologica (B, C, D ed E) per ciascuno degli intervalli di periodo considerati:

“0.1÷0.5” appropriato per la maggior parte degli edifici presenti sul territorio regionale (*edifici con strutture “rigide” e sviluppo strutturale verticale max 5 piani*)

“0.5÷1.5” rappresentativo del periodo proprio di alcuni edifici dei centri urbani maggiori (*edifici con strutture “flessibili” e sviluppo verticale fra 5÷15 piani*)

Quindi in base a:

-zona sismica assegnata al comune di Lodi: zona 3

-alle categorie di suolo di fondazione, desunta dal parametro Vs<sub>30</sub> ottenuto dalla prova sismica Down Hole: Vs<sub>30</sub> = 251 m/sec cat. suolo C

-al valore di soglia, previsto dallo spettro di risposta, proposto dalla normativa:

		Valori soglia per T 0.1+0.5			
Comune	Classif sismica	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
Lodi	3	1.4	1.8	2.2	1.9

		Valori soglia per T 0.5+1.5			
Comune	Classif. sismica	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
Lodi	3	1.7	2.4	4.1	3.0

Paragonando tali valori di soglia con quelli sopra calcolati assumendo una variabilità massima di  $\pm 0.1$  dei valori di  $F_a$ , per tenere in conto il diverso contenuto in frequenza del moto di input, si evince che:

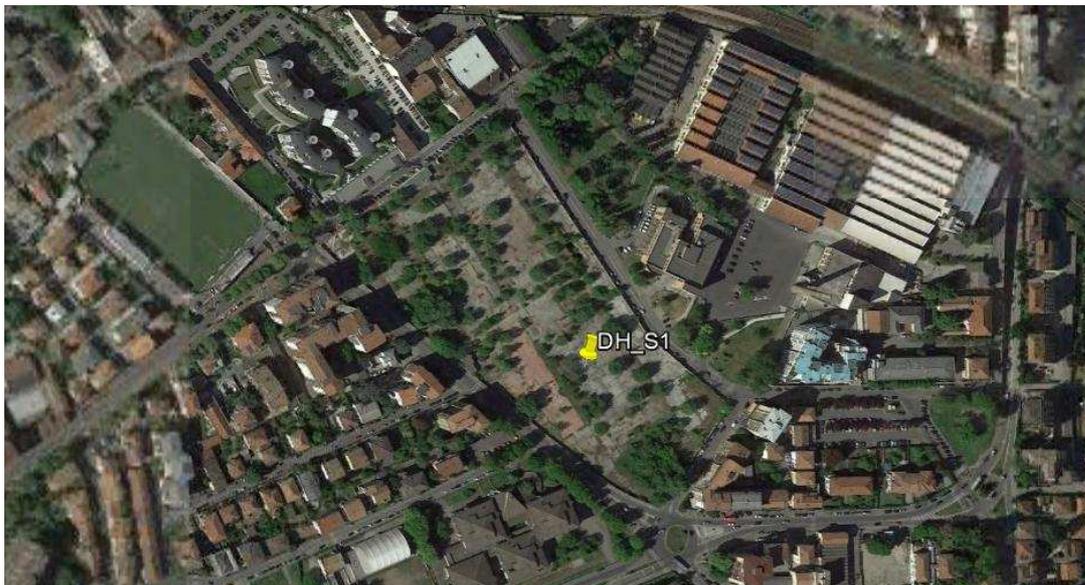
$$F_{a_{0.1 \div 0.5}} = 1.58/1.77 < \text{valore di soglia per suolo C}$$

$$F_{a_{0.5 \div 1.5}} = 1.48 < \text{valore di soglia per suolo C}$$

Quindi si evince che sia per periodo  $0.1 \div 0.5$ ) caratteristico di edifici "rigidi" anche utilizzando la curva 2 (cioè più penalizzante rispetto ai terreni rilevati che indicherebbero utilizzo della curva 3), sia per il caso di edifici "flessibili" (periodo  $0.5 \div 1.5$ ), il valore  $F_a$  calcolato, è inferiore al valore soglia tenuto in conto dalle norma sismica, quindi quest'ultima è sufficiente a tenere in considerazione possibili effetti di amplificazione litologica e possono quindi considerarsi sufficienti gli spettri da normativa (classe di pericolosità H1).

## 7. ALLEGATI

7.1. Fig. 1: Ubicazione area di intervento

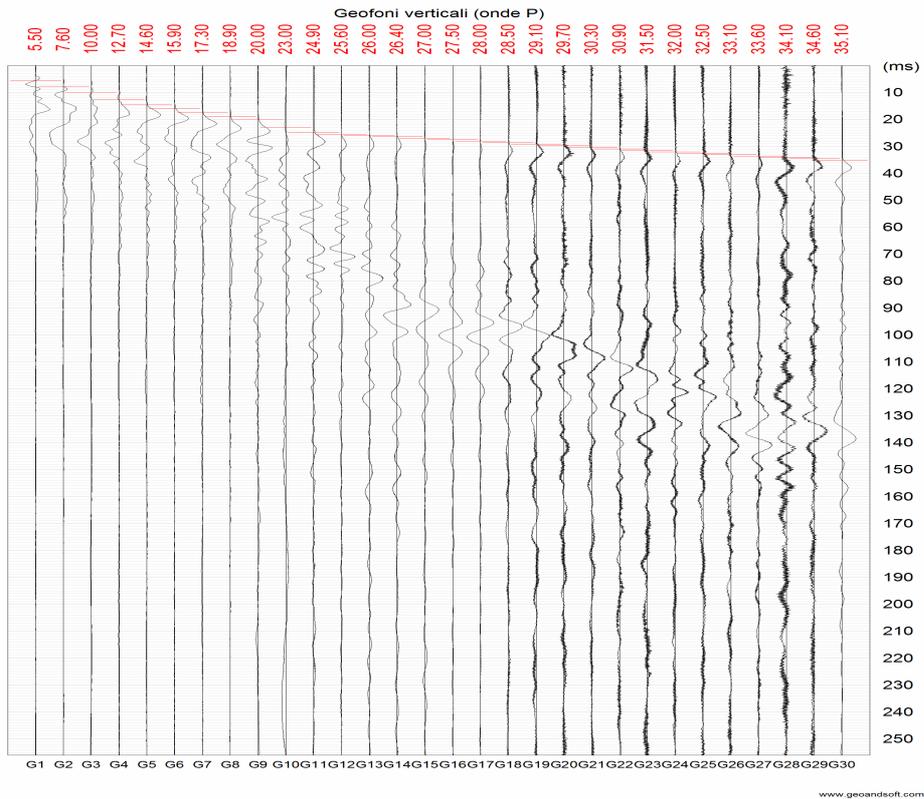


**7.2. Esecuzione prova Down-Hole**  
**7.2.1. Fig. 2: Piazzamento DH\_S1**

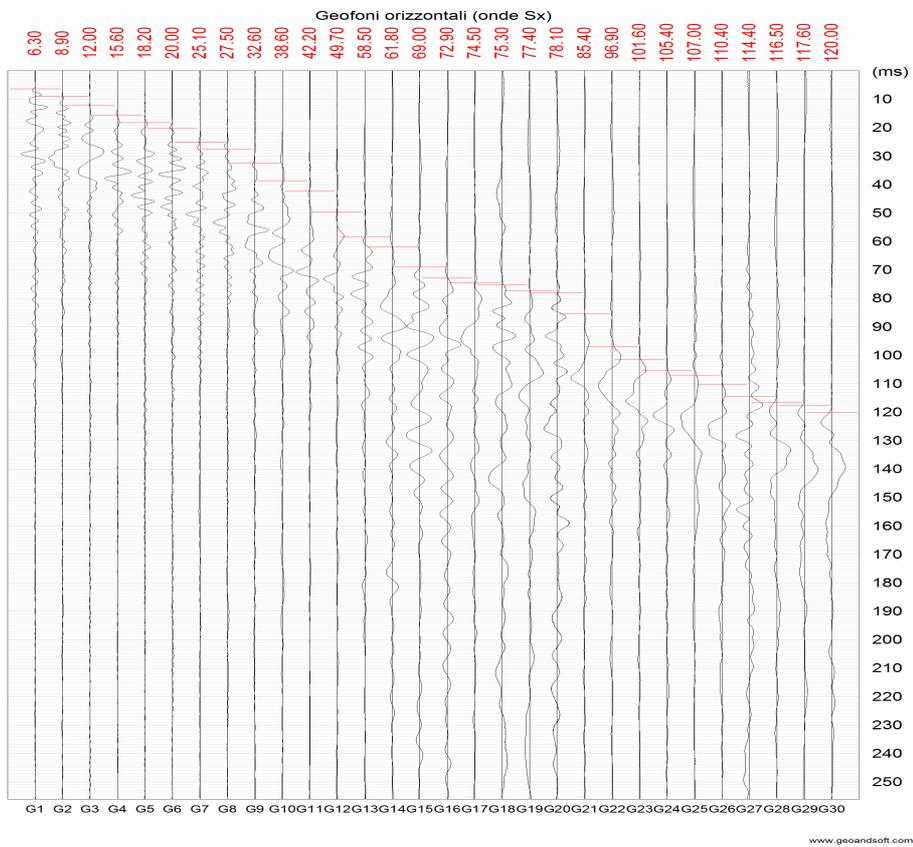


### 7.3. Tempi arrivi DH\_S1

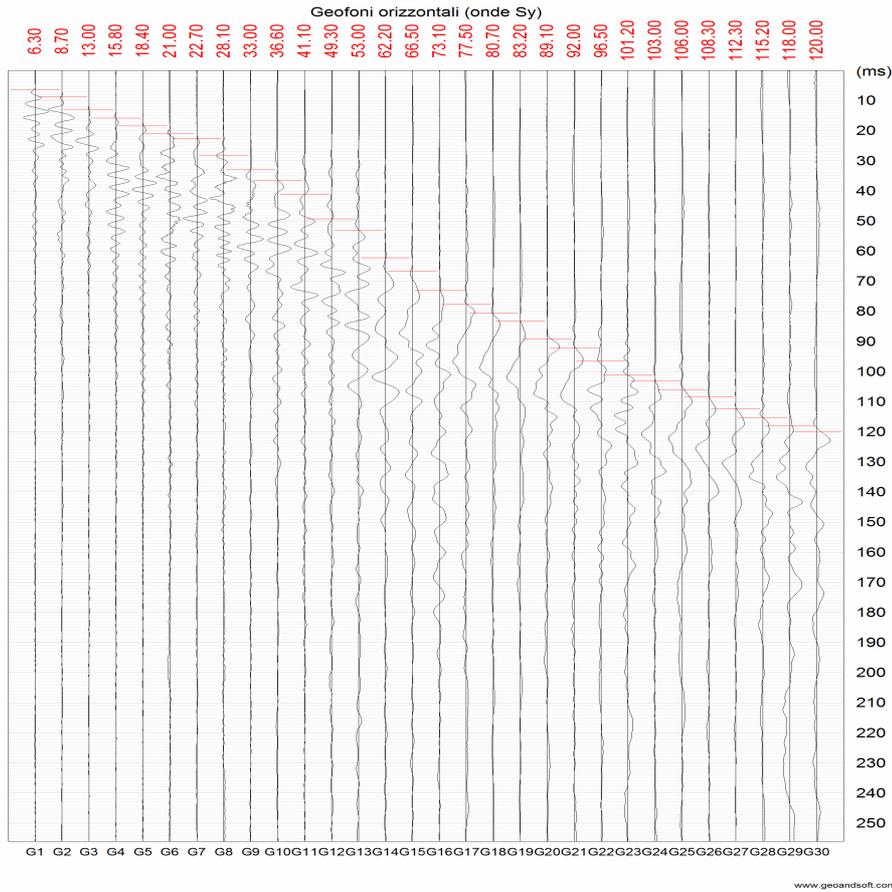
#### 7.3.1. Fig. 3: Tempi di arrivo onde P



#### 7.3.2. Fig. 4: Tempi di arrivo onde Sx



**7.3.3. Fig. 5: Tempi di arrivo onde Sy**

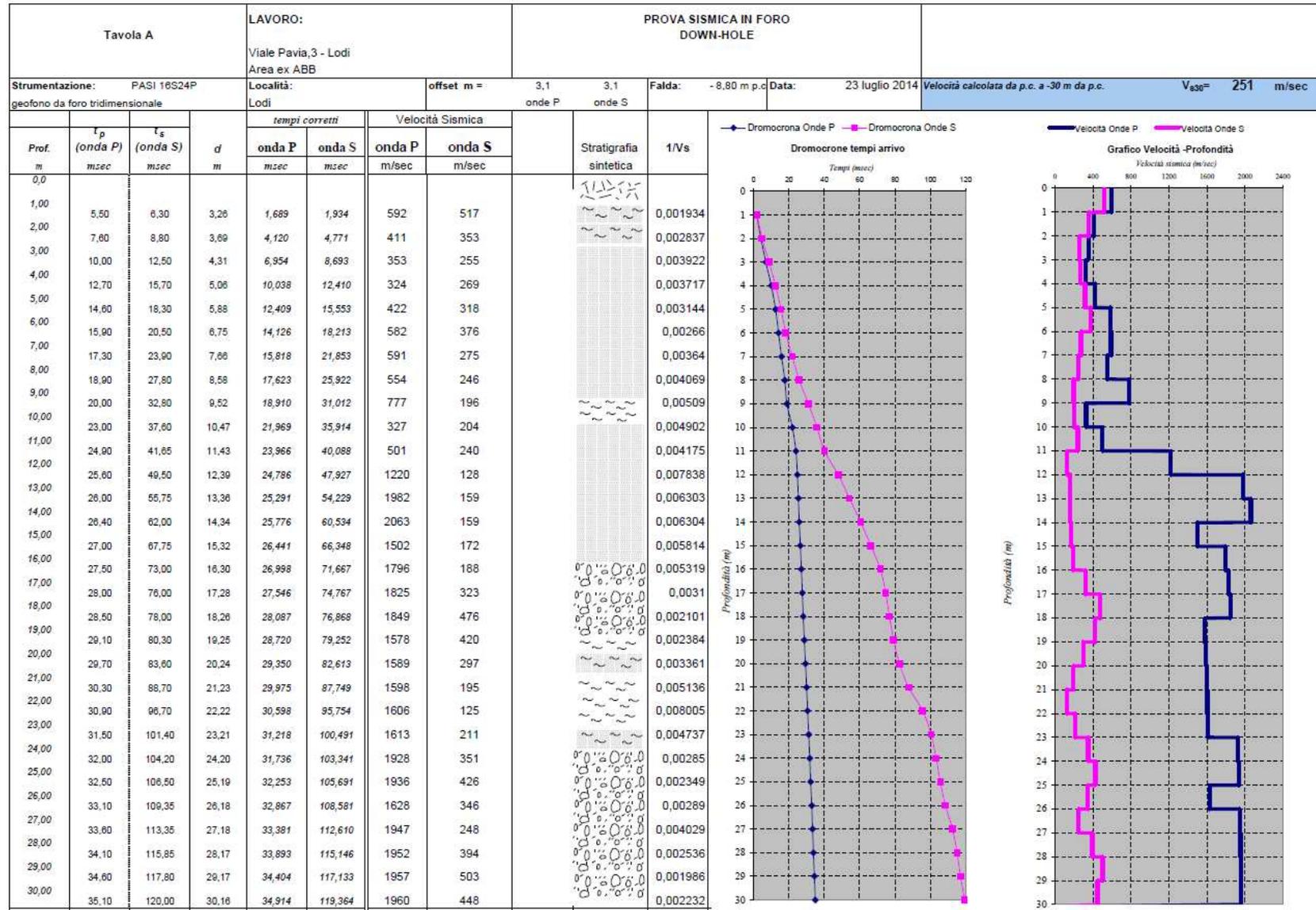


Prof. m	$t_p$ (onda P) msec	$t_s$ (onda S) msec	d m	tempi corretti		Velocità Sismica	
				onda P	onda S	onda P	onda S
				msec	msec	m/sec	m/sec
0.0							
1.00							
2.00	5.50	6.30	3.26	1.689	1.934	592	517
3.00	7.60	8.80	3.69	4.120	4.771	411	353
4.00	10.00	12.50	4.31	6.954	8.693	353	255
5.00	12.70	15.70	5.06	10.038	12.410	324	269
6.00	14.60	18.30	5.88	12.409	15.553	422	318
7.00	15.90	20.50	6.75	14.126	18.213	582	376
8.00	17.30	23.90	7.66	15.818	21.853	591	275
9.00	18.90	27.80	8.58	17.623	25.922	554	246
10.00	20.00	32.80	9.52	18.910	31.012	777	196
11.00	23.00	37.60	10.47	21.969	35.914	327	204
12.00	24.90	41.65	11.43	23.966	40.088	501	240
	25.60	49.50	12.39	24.786	47.927	1220	128

<i>13.00</i>							
	26.00	55.75	13.36	25.291	54.229	1982	159
<i>14.00</i>							
	26.40	62.00	14.34	25.776	60.534	2063	159
<i>15.00</i>							
	27.00	67.75	15.32	26.441	66.348	1502	172
<i>16.00</i>							
	27.50	73.00	16.30	26.998	71.667	1796	188
<i>17.00</i>							
	28.00	76.00	17.28	27.546	74.767	1825	323
<i>18.00</i>							
	28.50	78.00	18.26	28.087	76.868	1849	476
<i>19.00</i>							
	29.10	80.30	19.25	28.720	79.252	1578	420
<i>20.00</i>							
	29.70	83.60	20.24	29.350	82.613	1589	297
<i>21.00</i>							
	30.30	88.70	21.23	29.975	87.749	1598	195
<i>22.00</i>							
	30.90	96.70	22.22	30.598	95.754	1606	125
<i>23.00</i>							
	31.50	101.40	23.21	31.218	100.491	1613	211
<i>24.00</i>							
	32.00	104.20	24.20	31.736	103.341	1928	351
<i>25.00</i>							
	32.50	106.50	25.19	32.253	105.691	1936	426
<i>26.00</i>							
	33.10	109.35	26.18	32.867	108.581	1628	346
<i>27.00</i>							
	33.60	113.35	27.18	33.381	112.610	1947	248
<i>28.00</i>							
	34.10	115.85	28.17	33.893	115.146	1952	394
<i>29.00</i>							
	34.60	117.80	29.17	34.404	117.133	1957	503
<i>30.00</i>							
	35.10	120.00	30.16	34.914	119.364	1960	448



giovanni bassi geologo, via donatori di sangue 13, 26029 soncino (cr)  
 tel. e fax 0374 85486, e\_mail: [bassi.geologo@gmail.com](mailto:bassi.geologo@gmail.com)



Tav. A