

COMMITTENTE



SOGGETTO TECNICO

DIREZIONE STAZIONI - INGEGNERIA E INVESTIMENTI

PROGETTAZIONE

MANDATARIA



CODING S.R.L.

MANDANTE



POLITECNICA SOC. COOP.



SWS ENGINEERING S.P.A.

HUB DI INTERSCAMBIO FERROVIARIO DI POMPEI

PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIA

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

SCALA

-

PROGETTO	ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	TIPO DOC.	SCALA	NUM.	REV.
2052	0S	01P	DP	M00R	GS	XE	01A	.

Rev	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato	Data	Autorizzato Il progettista	Data
A	Emissione	G. Ferriero	B. Schiavone	P. Luciani	dic-20	G. Coppa	dic-20

Controllo Qualità

QA & QC	Verificato	Approvato	Autorizzato
	G. Riggi	F. Bordon	R. Vangeli

Soggetto Tecnico	Data	Referente di Progetto	Data
F. Carone	dic-20	A. Martino	

POSIZIONE ARCHIVIO

LINEA	SEDE TECNICA	NOME DOC.	NUMERAZIONE
= = = =			

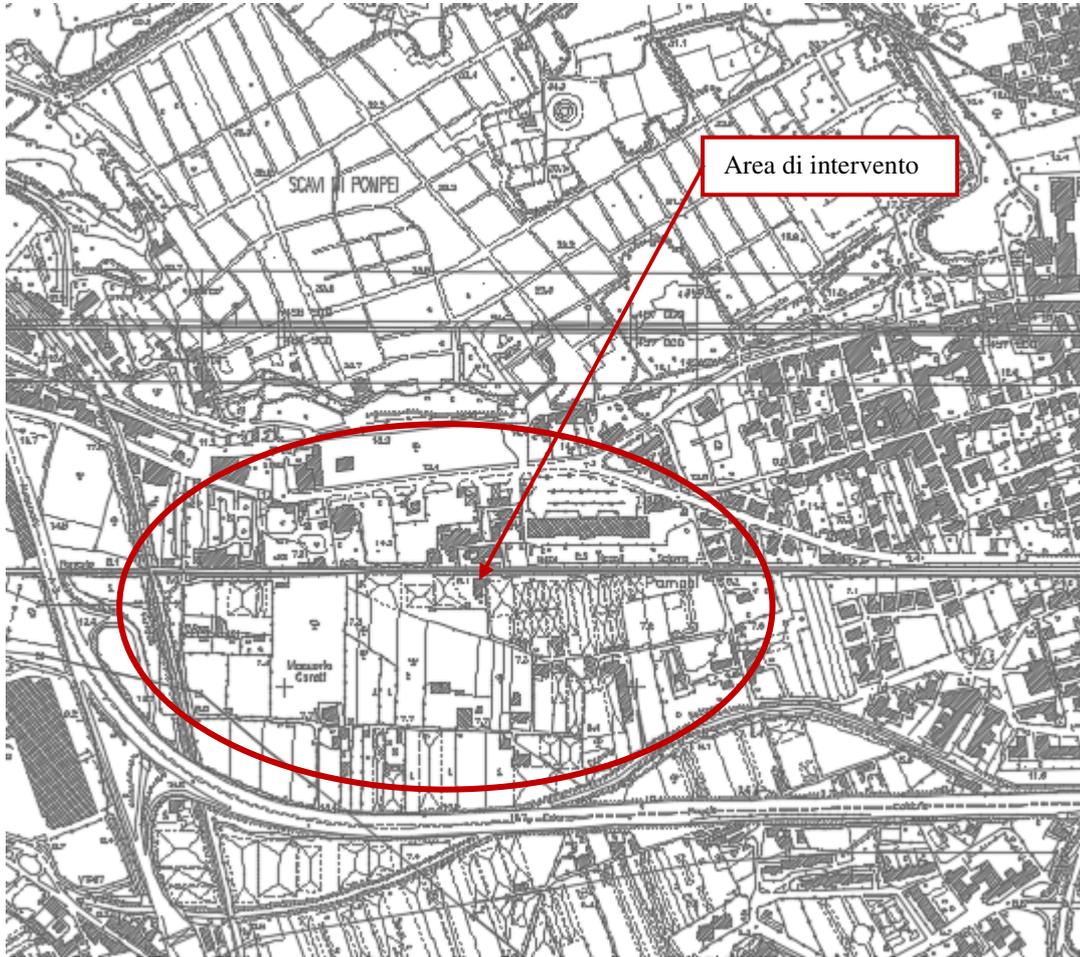
Verificato e Trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

Progetto Definitivo

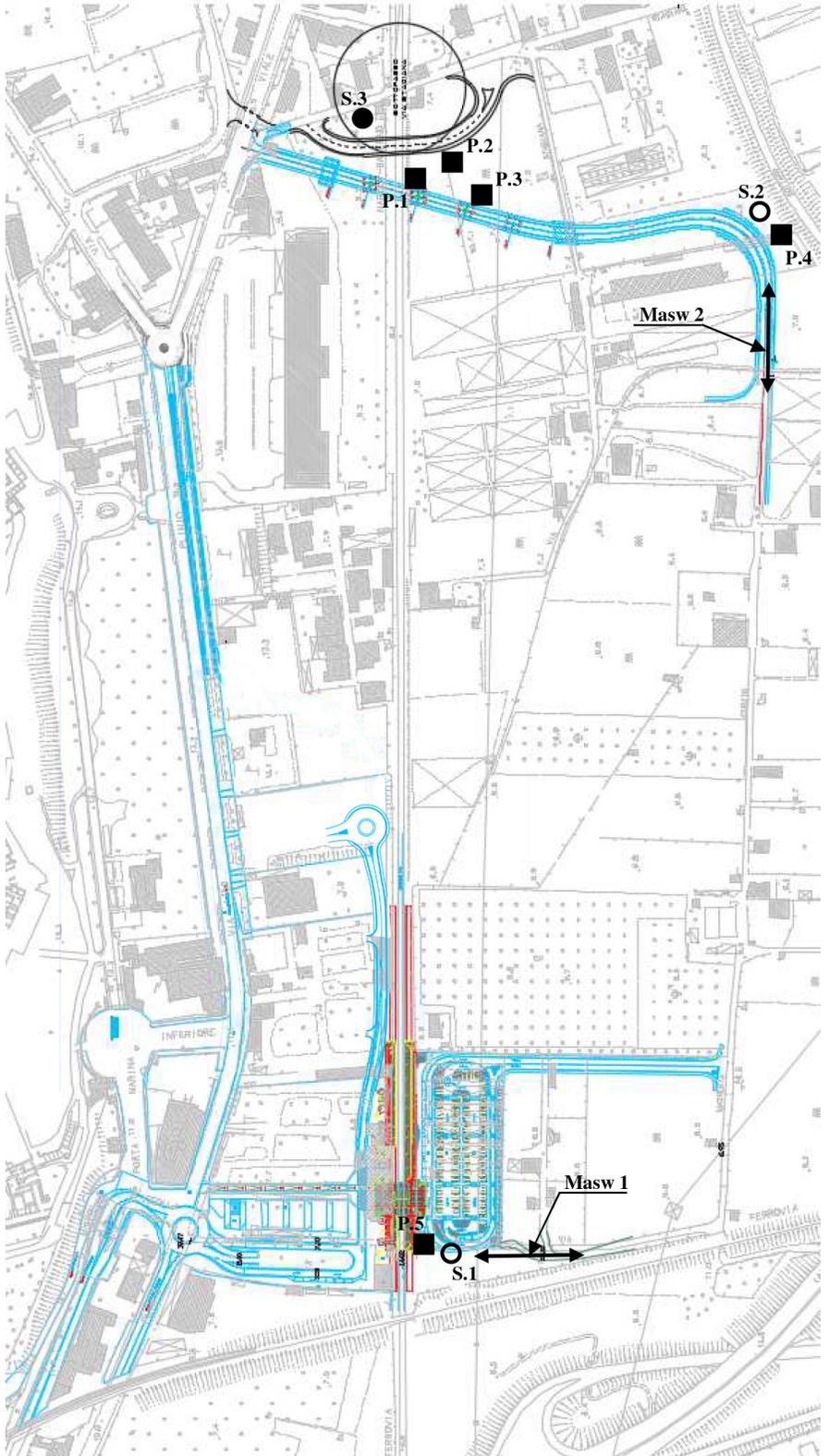
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e
sismica

HUB DI POMPEI

Rev.	Descrizione revisione	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato
0	Emissione per commenti	G. Ferriero	L. Nardoni	P. Luciani	F. Coppa



Planimetria di zona



Planimetria con ubicazioni indagini

- Sondaggio S.3 + Down-hole
- Sondaggio S.1 – S.2
- Prove penetrometriche (DPSH)
- ↔ Prove sismiche (Masw)

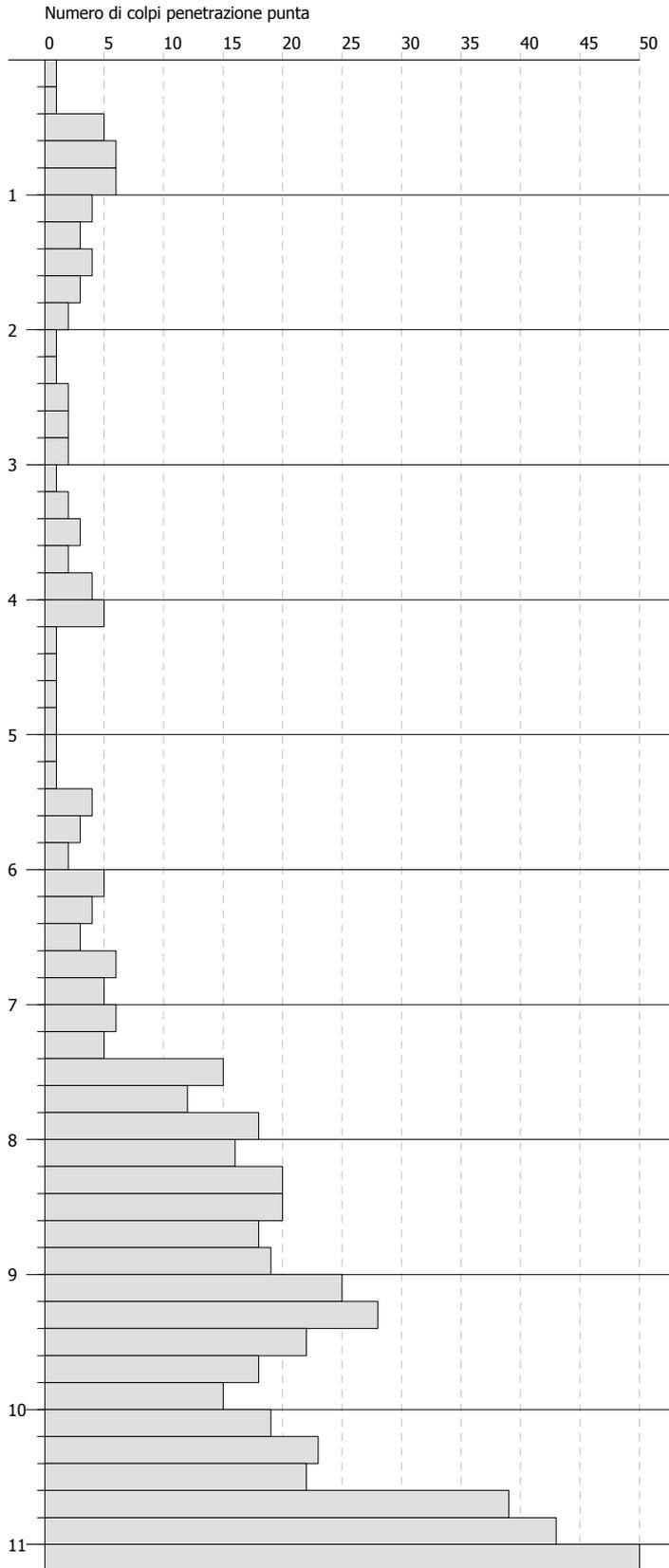
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: soc. CODING srl
 Descrizione: Realizzazione di interscambio ferroviario di Pompei

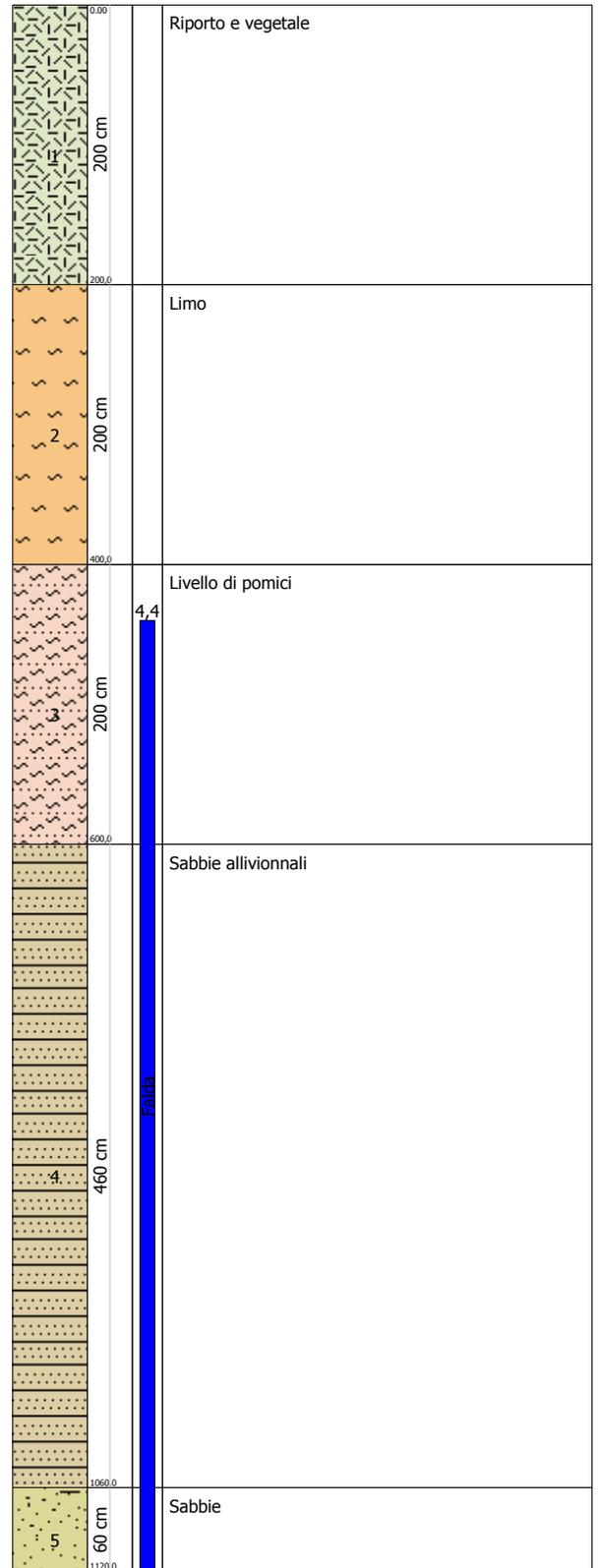
Data: 27/08/2020

Località: Via Stabiana - Pompei (Na)

Scala 1:53



Interpretazione Stratigrafica



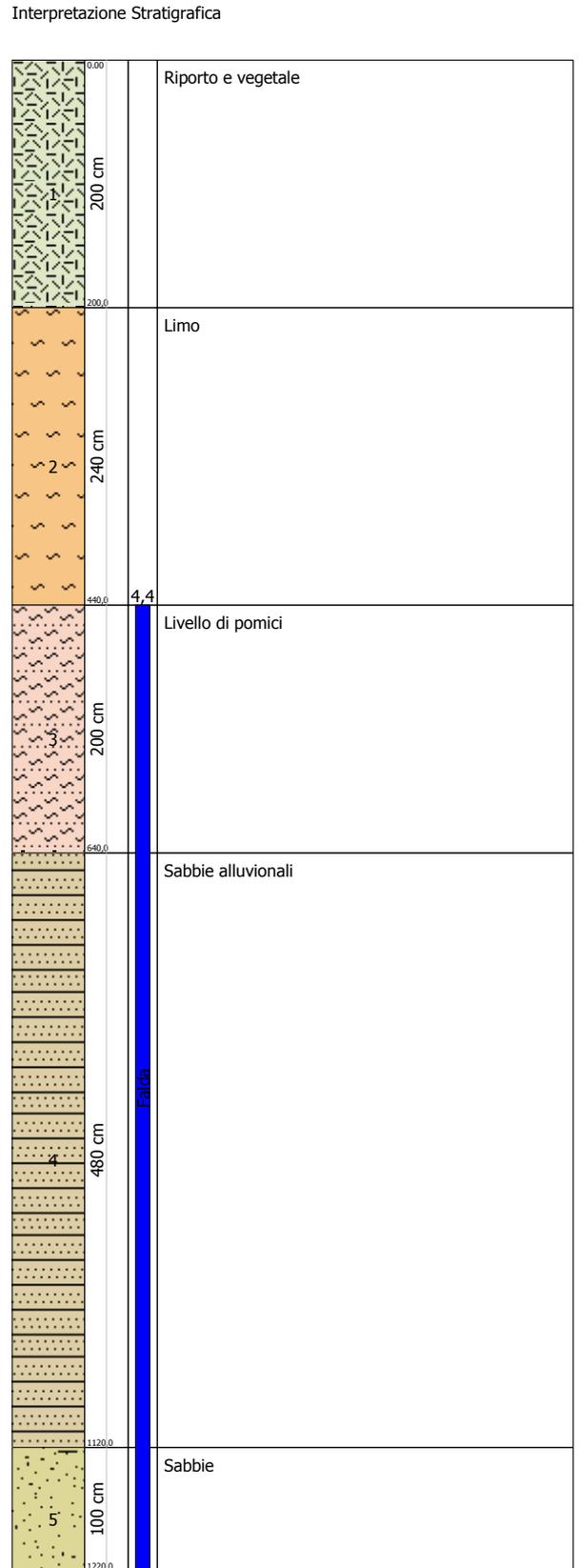
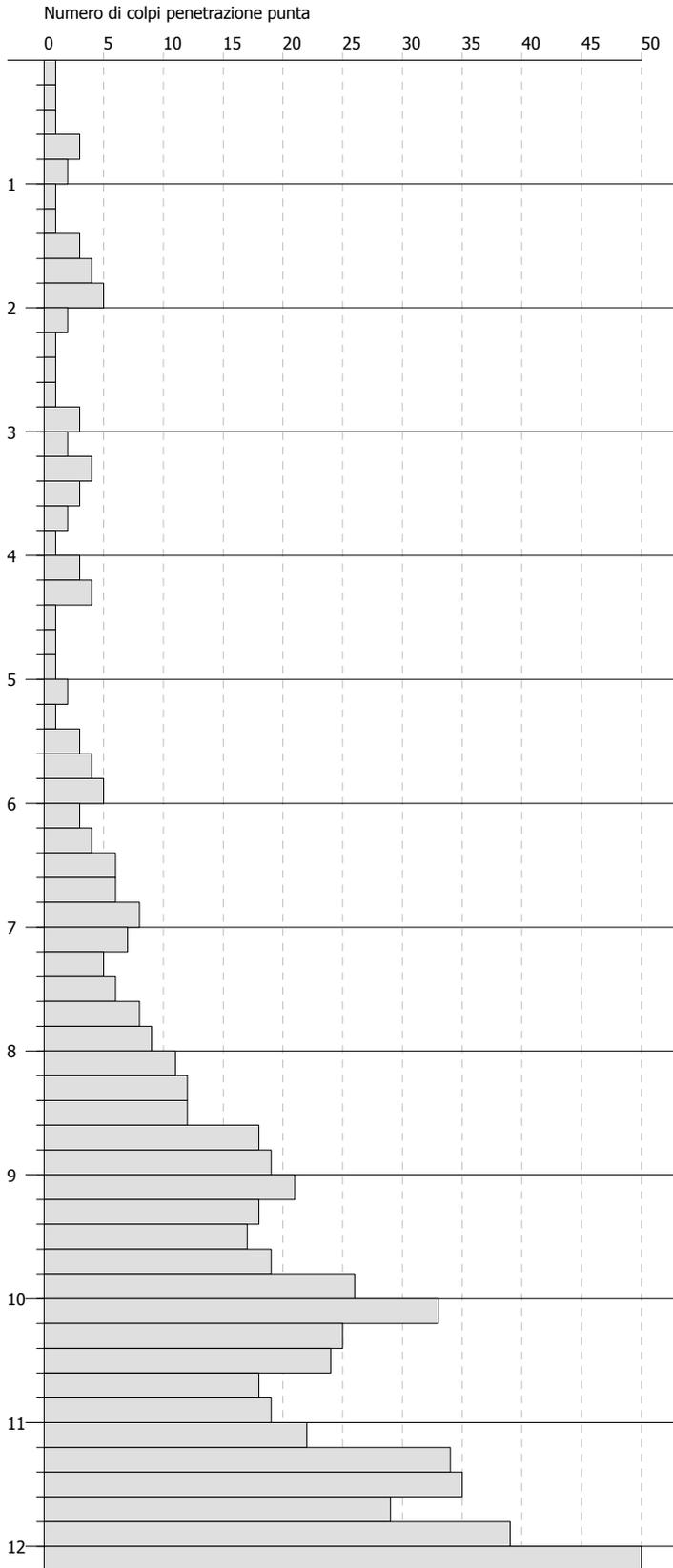
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: soc. CODING srl
 Descrizione: Realizzazione di interscambio ferroviario di Pompei

Data: 27/08/2020

Località: Via Stabiana - Pompei (Na)

Scala 1:58



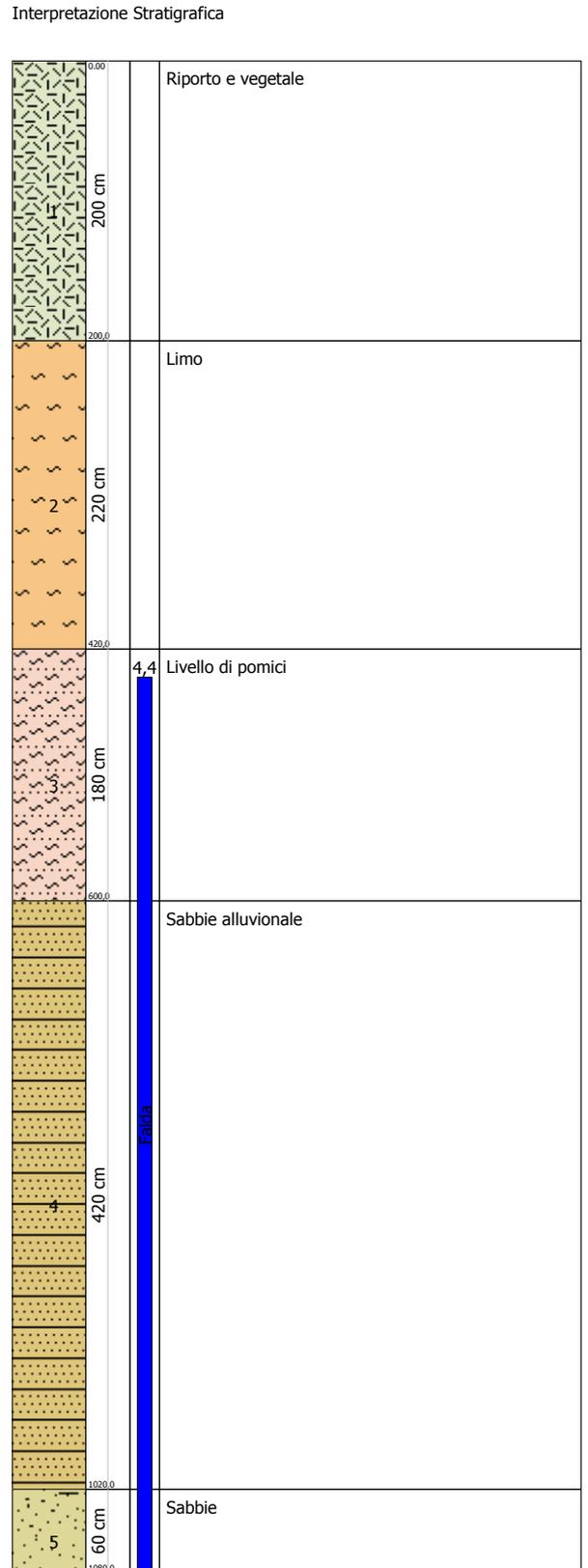
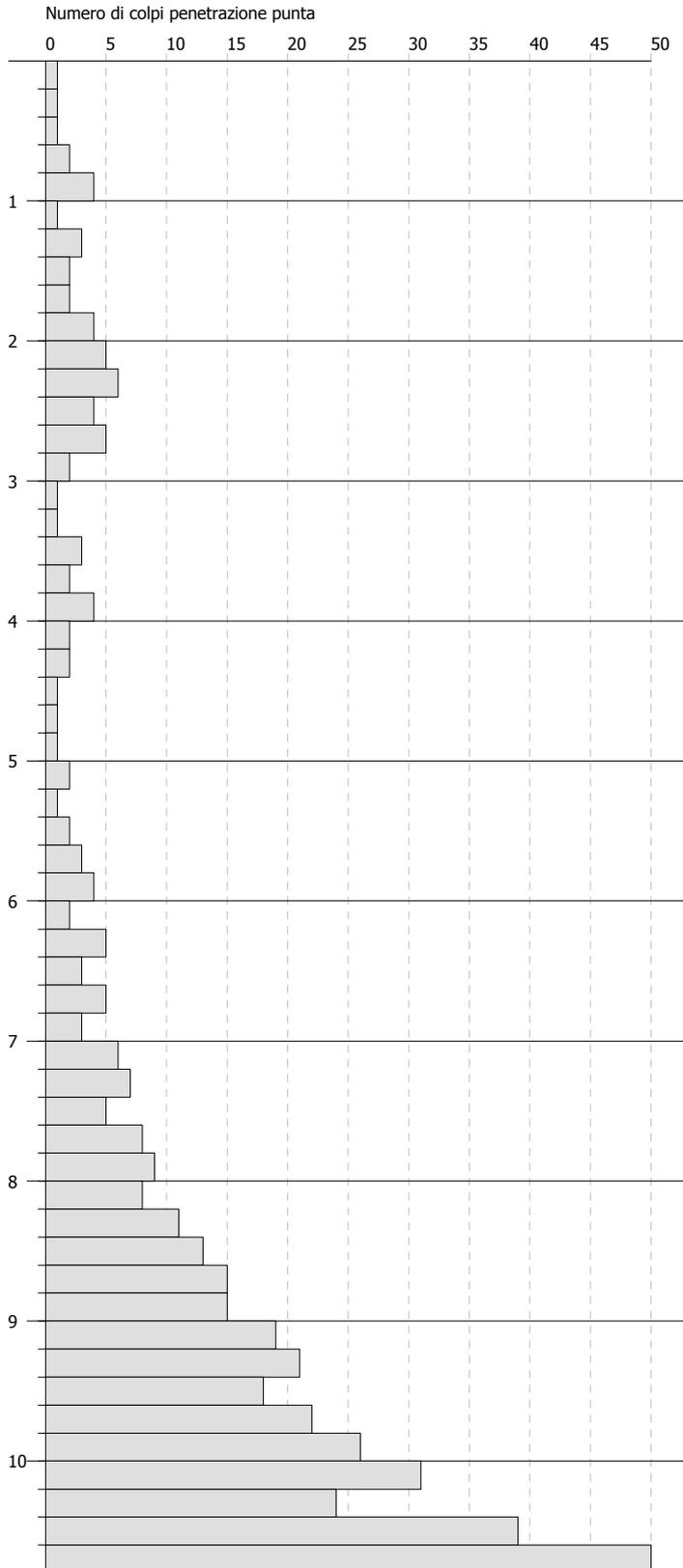
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 3
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: soc. CODING srl
 Descrizione: Realizzazione di interscambio ferroviario di Pompei

Data: 27/08/2020

Località: Via Stabiana - Pompei (Na)

Scala 1:52



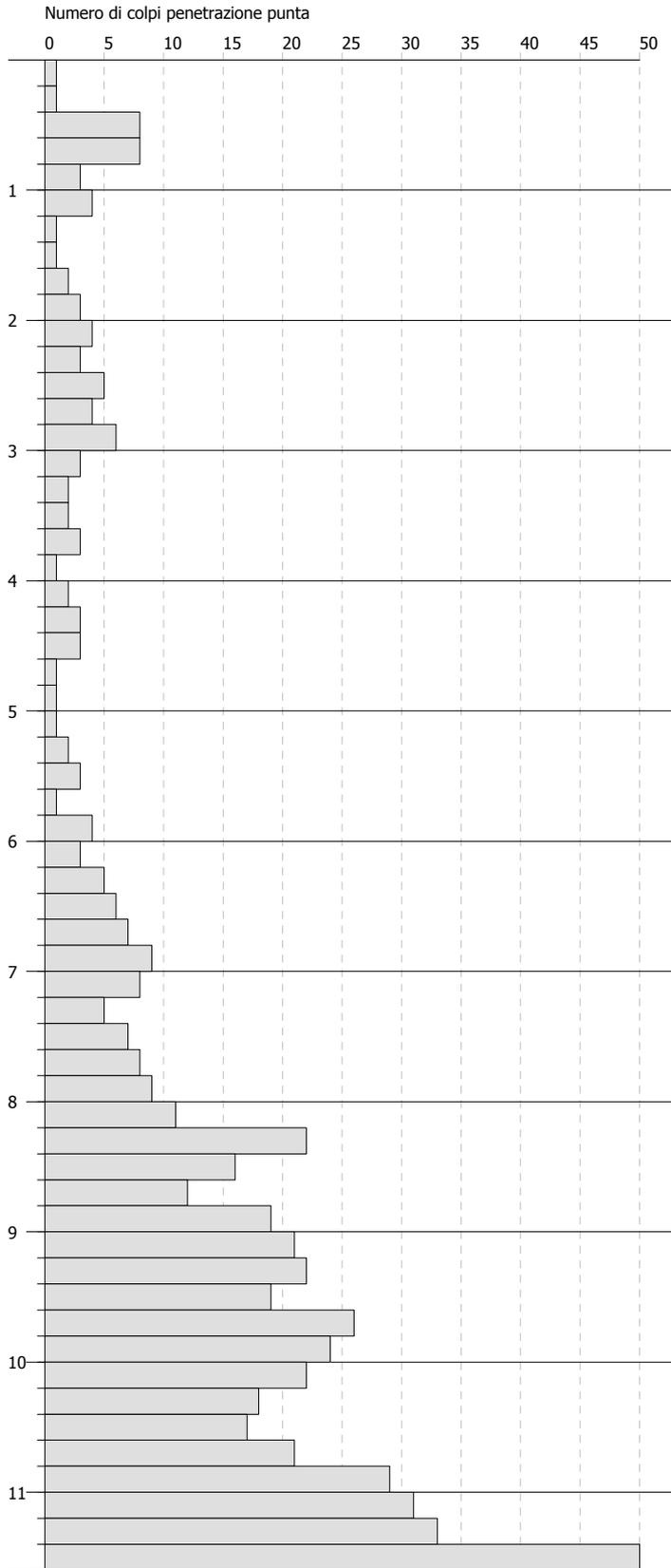
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 4
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: soc. CODING srl
 Descrizione: Realizzazione di interscambio ferroviario di Pompei

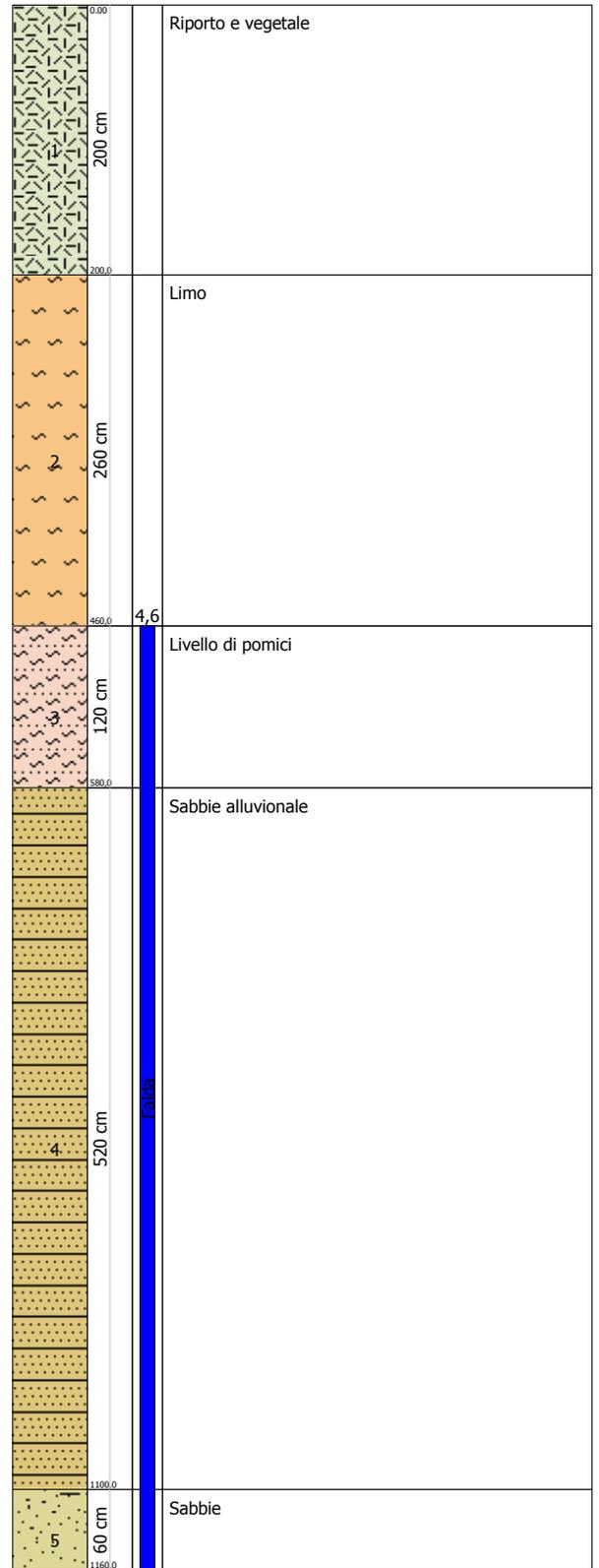
Data: 28/08/2020

Località: Via Stabiana - Pompei (Na)

Scala 1:55



Interpretazione Stratigrafica



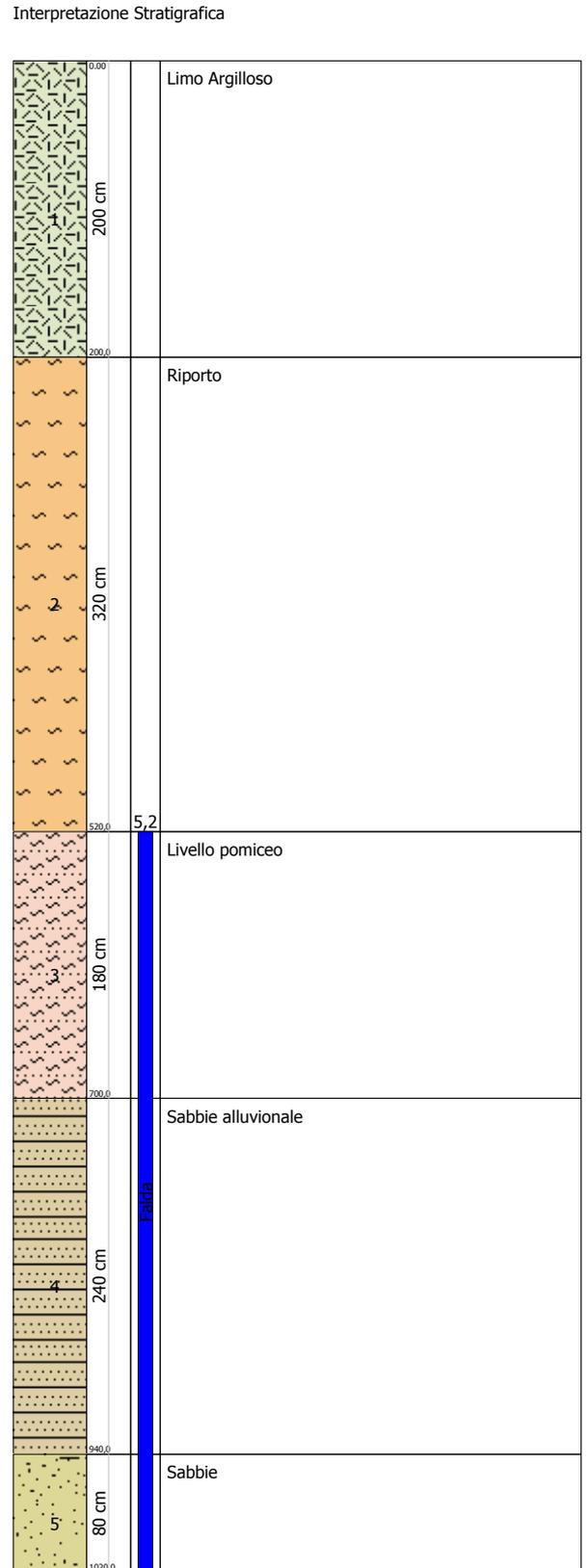
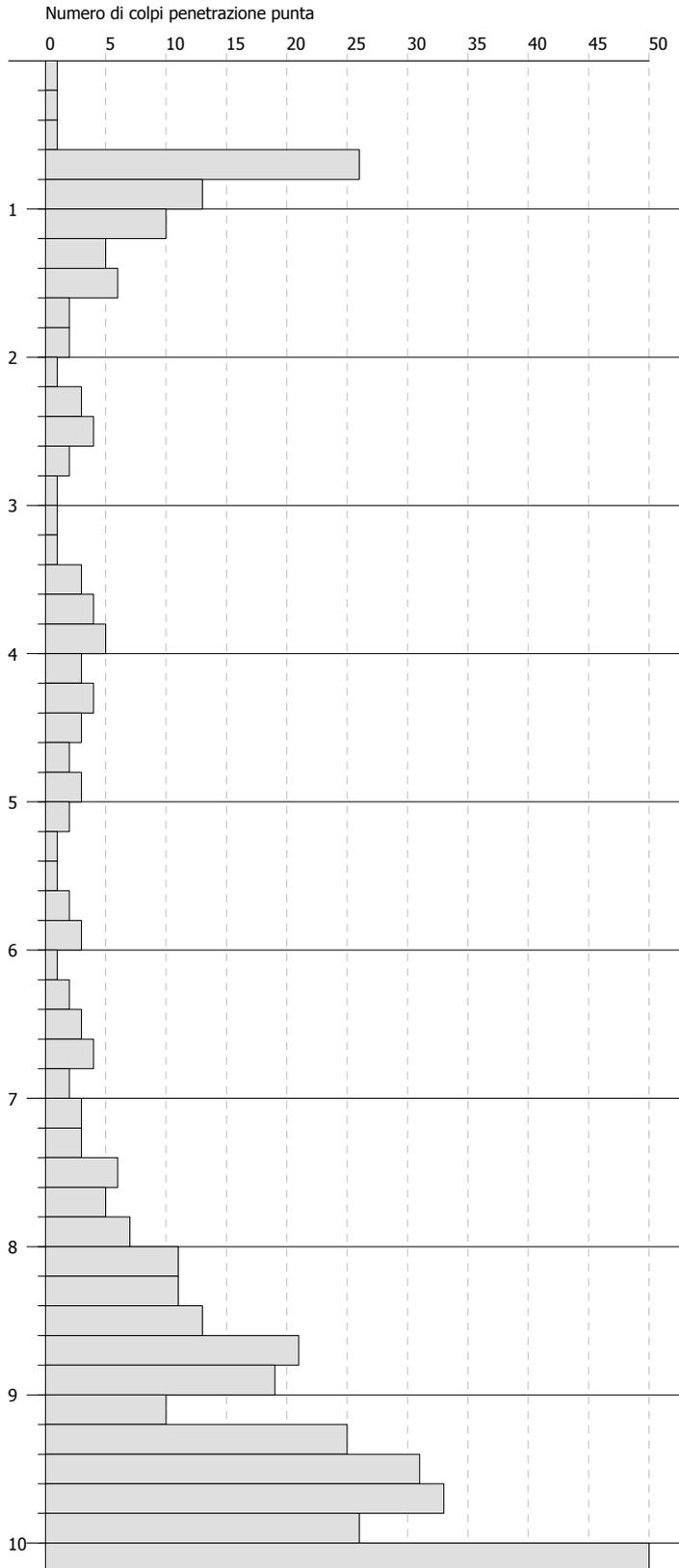
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 5
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: soc. CODING srl
 Descrizione: Realizzazione di interscambio ferroviario di Pompei

Data: 28/08/2020

Località: Via Stabiana - Pompei (Na)

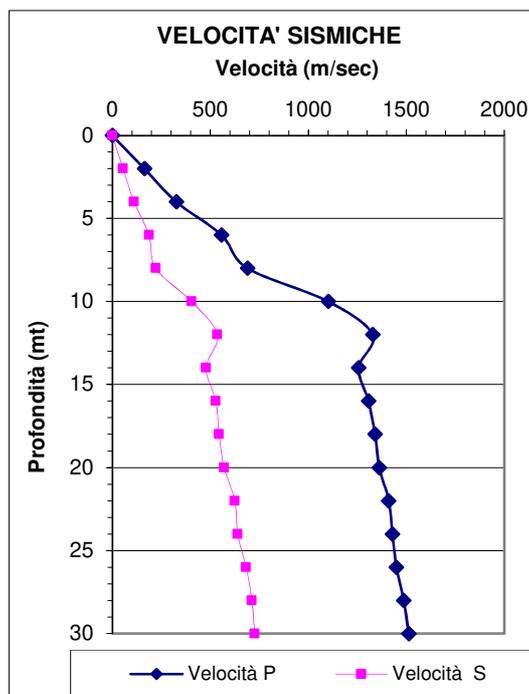
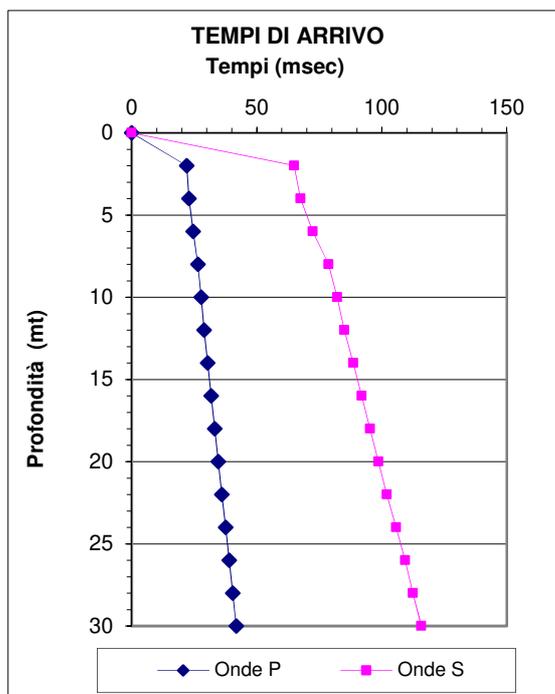
Scala 1:49



PROVA SISMICA DOWN HOLE

PROPRIETA':	Comune di Pompei (Na)
CANTIERE	
LOCALITA'	Comune di Pompei (Na)
DATA	27/08/2020
PROVA IN FORO N°	Sondaggio S3

Profondità dal p.c. in mt	Onde P		Onde S		MODULI ELASTICI				γ g/cm ³
	Tempi	Velocità	Tempi	Velocità	Coeff.	Young	Taglio	Bulk	
	in msec	in m/sec	in msec	in m/sec	Posson	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
2	22,0	164	65,0	55	0,44	117	41	302	1,30
4	22,9	327	67,6	111	0,43	468	163	1201	1,30
6	24,5	557	72,4	187	0,44	1438	501	3757	0,40
8	26,5	690	78,8	222	0,44	2021	701	5863	1,40
10	27,8	1102	82,2	404	0,42	6626	2332	14241	1,40
12	29,0	1328	85,0	536	0,40	12339	4403	21103	1,50
14	30,4	1257	88,6	478	0,41	9947	3519	19493	1,50
16	31,8	1307	92,0	528	0,40	11939	4260	20469	1,50
18	33,2	1340	95,4	544	0,40	12674	4527	21433	1,50
20	34,6	1362	98,7	570	0,39	13868	4981	21734	1,50
22	36,0	1410	102,0	625	0,39	14258	5124	22180	1,50
24	37,5	1429	105,7	639	0,40	11765	4198	20201	1,50
26	39,0	1449	109,3	682	0,40	12503	4482	20092	1,50
28	40,4	1486	112,5	712	0,38	15726	5690	22473	1,50
30	41,8	1512	115,8	726	0,39	15025	5405	23051	1,50



SONDAGGIO "S.1"



CASSETTE SONDAGGIO "S1"



Cassetta n. 1



Cassetta n. 2



Cassetta n. 3



Cassetta n. 4



Cassetta n. 5



Cassetta n. 6

SONDAGGIO "S.2"



CASSETTE SONDAGGIO "S2"



Cassetta n. 1



Cassetta n. 2



Cassetta n. 3



Cassetta n. 4



Cassetta n. 5



Cassetta n. 6

SONDAGGIO "S.3"





CASSETTE SONDAGGIO "S3"



Cassetta n. 1



Cassetta n. 2



Cassetta n. 3



Cassetta n. 4



Cassetta n. 5



Cassetta n. 6

PROVE PENETROMETRICHE "DPSH"



DPSH N. 1



DPSH N. 2



DPSH N. 3



DPSH N. 4



DPSH N. 5

DOWN-HOLE



PROVE SISMICHE (MASW)

Prova sismica n. 1



Prova sismica n. 2



Relazione geologica

Oggetto: studio geologico sull'area sita in via Stabiana, nel Comune di Pompei (Na), destinata allo studio geologico per la realizzazione HUB di interscambio ferroviario di Pompei.

Committente: soc. Coding srl.

Premessa

Lo scopo della presente relazione è la stima dei parametri di deformabilità e rottura più significativi dei terreni in area ed anche della loro stratigrafia.

Essi sono stati dedotti, elaborando il grafico ricavato dalle prove eseguite in sito dalla soc. Geotekne s.r.l., consistenti in:

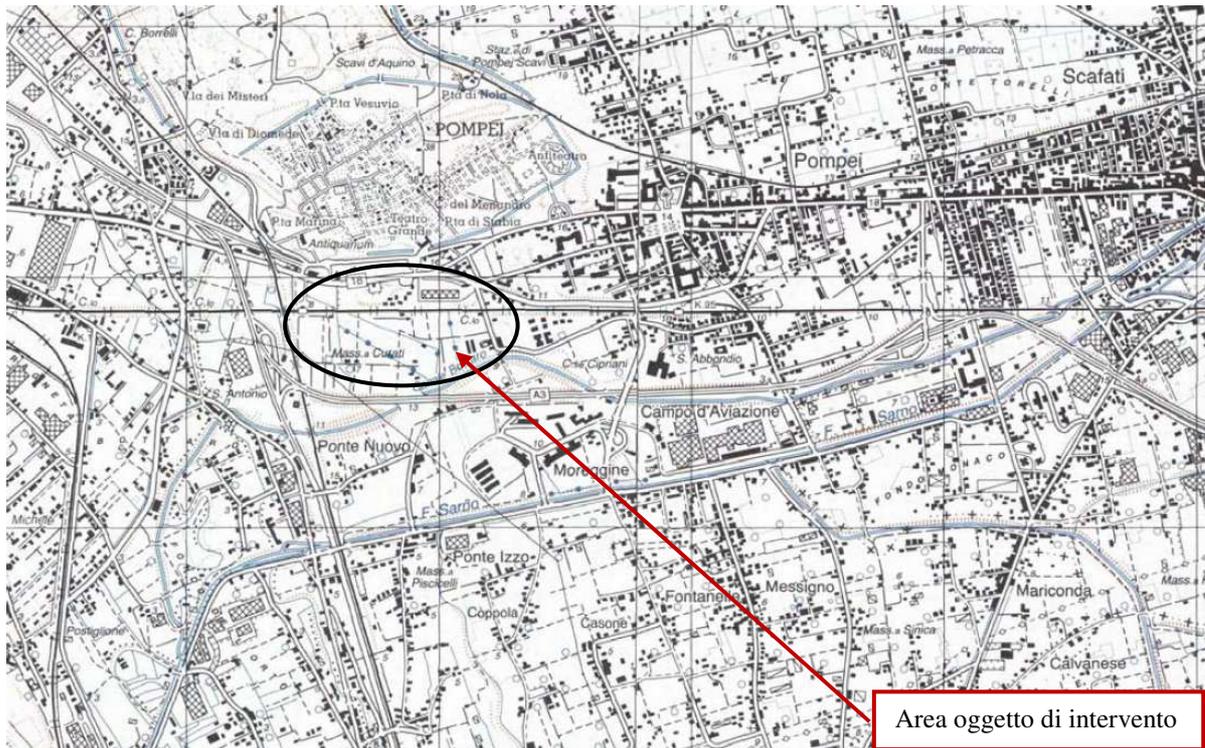
- n. 3 sondaggi spinti fino alla quota di m. 30,00 dal p.c.;
- n. 5 prove penetrometriche dinamiche pesanti, spinte foni a rifiuto;
- n. 1 down-hole (eseguito nel sondaggio n. 3);
- n. 2 prova sismica con metodologia MASW atto a valutare la velocità delle

onde sismiche di taglio.

Tutti i risultati ricavati sono posti in allegato.



Planimetria area intervento

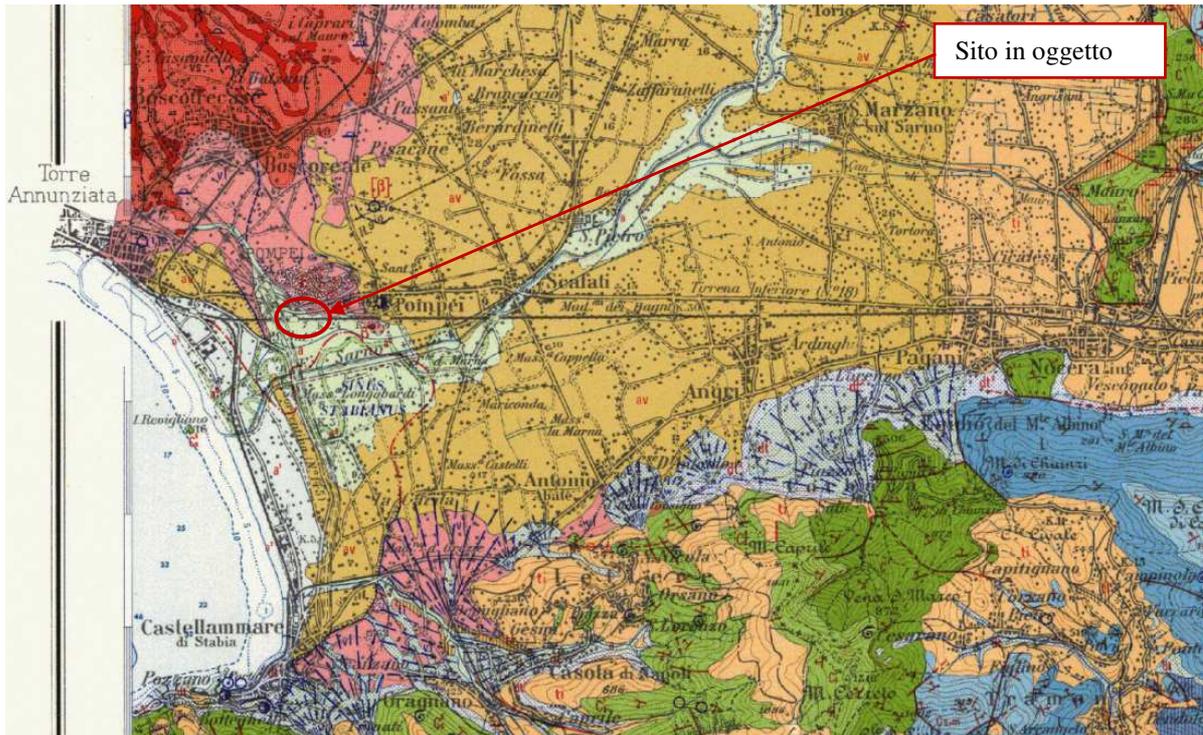


Morfologia

Il sito in oggetto alla presente relazione è ubicato ad una quota che oscilla da m. 6,00 a m. 4,00 s.l.m.

Esso presenta una morfologia subpianeggiante e i sopralluoghi non hanno evidenziato la presenza di fenomeni di squilibrio geologico fra suolo e sottosuolo, né la presenza di cavità nel sottosuolo.

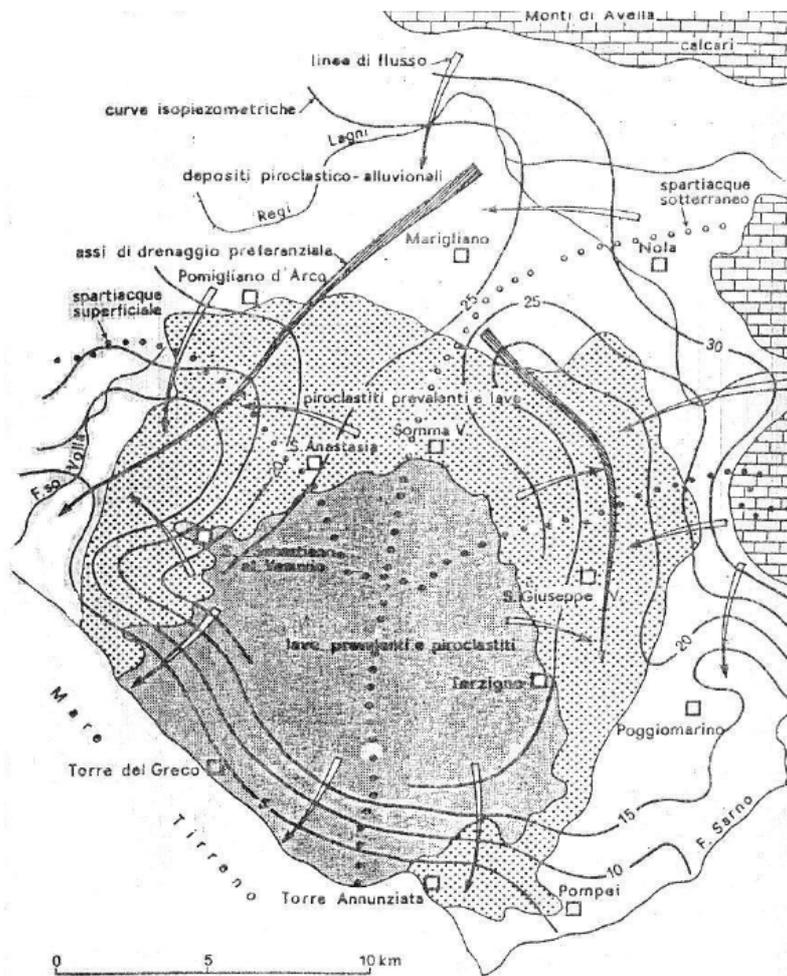
Il sito è inoltre ubicato nella carta geologica d'Italia nel foglio 185 "Salerno".



Idrogeologia del sito

La presenza della falda è stata stimata in base alle indagini eseguite in sito, nonché dalle informazioni ricavate dalla letteratura classica geologica.

In base a ciò la sua profondità è stimata ad una quota che oscilla tra m. 4,20 (nel sondaggio S3) a m. 5,50 (nel sondaggio S1).



Carta delle isopiezometriche della zona del Somma-Vesuvio, in Campania (da Celico 1983)

Metodologia d'Indagine

La campagna d'indagini si è concretizzata nelle esecuzioni di n. 3 sondaggi spinti fino alla quota di m. 30,00 dal p.c.

I sondaggi sono stati eseguiti con Sonde della Teredo 900 e Teredo 1200, le quali ci hanno fornito indicazioni sulle caratteristiche stratigrafiche del sito.

Durante i sondaggi sono state eseguite delle prove S.P.T. finalizzate all'individuazione dei parametri di deformabilità e rottura significativi.

Le prove S.P.T. sono state eseguite contando il numero di colpi di un maglio del peso di 63.5 kg e volata cm.76 per infiggere un campionatore standardizzato tipo Raymond.

L'attrezzo viene infisso prima per 15 cm senza contare i colpi, poi per i successivi cm 30,5 contando il numero N di colpi necessari.

Tale numero N_{spt} viene indicato come misura della resistenza alla penetrazione.

Sono state eseguite n. 5 prove penetrometriche dinamica pesante, eseguite con una strumentazione del tipo Pagani Tg 63/100.

La prova è consistita nella valutazione del numero di colpi utili all'approfondimento di 20 cm. d'asta penetrometrica, infissa da un maglio di Kg.63,5 di peso, che cade da un'altezza di mt. 0,75.

I dati lungo tutta la verticale investigata hanno fornito una stratigrafia non in termini litologici, bensì d'addensamento.

I valori opportunamente elaborati hanno rilevato la resistenza del terreno all'attraversamento della punta penetrometrica.

Elaborando questi dati, sono stati stimati i parametri di deformabilità e rottura più significativi.

Per la caratterizzazione sismica è stato eseguito nel sondaggio n. 3 un Down-Hole approfondito fino alla profondità di m. 30,00 dal p.c. e da n. 2 profili sismici con metodologia MASW atto a valutare la velocità delle onde sismiche di taglio.

Geologia

La Piana Campana è una vasta area pianeggiante, delimitata a Nord dal M.te Massico, a Nord-Est dai M.ti di Caserta, a Est dai M.ti di Sarno, a Sud dai M.ti Lattari e dalla Piana del Sarno e ad Ovest dal Mar Tirreno essa rappresenta una zona di grande importanza per gli insediamenti urbani, la densità di popolazione, le attività produttive, le infrastrutture e le risorse naturali esistenti.

Questa è una zona dove, in epoca storica e durante il Quaternario recente, si sono avuti importanti fenomeni vulcanici che hanno contribuito sensibilmente a definire l'assetto morfologico attuale. È di notevole interesse, quindi, la conoscenza delle caratteristiche stratigrafico-strutturali di quest'area, al fine di valutare preventivamente gli eventuali rischi geologici e di utilizzare correttamente le risorse del sottosuolo, in particolare quelle idriche, preservandole dall'inquinamento e dal sovrasfruttamento.

La Piana Campana rappresenta un grande graben, individuatosi probabilmente nel Pliocene superiore, soggetto ad un pronunciato sprofondamento durante il Quaternario.

Le linee tettoniche lungo le quali è avvenuto l'abbassamento sono ben riconoscibili ai bordi della pianura, dove si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE, che determinano il graduale sprofondamento delle rocce carbonatiche, appartenenti a due distinte unità tettoniche sovrapposte, affioranti tutto intorno al graben al di sotto di notevoli spessori di depositi alluvionali e vulcanici quaternari.

In superficie, quindi, sono ben osservabili le strutture marginali del graben. Le strutture recenti principali sono rappresentate da faglie normali orientate NE-SW e

NW-SE, che in almeno due fasi del Quaternario hanno determinato rigetti verticali dell'ordine di qualche migliaia di metri. Le strutture mioceniche, osservabili ai margini della Piana, sono connesse ai fenomeni di sovrascorrimento che hanno interessato la copertura sedimentaria triassico-miocenica e non sono legate alle deformazioni attuali del basamento cristallino. Queste ultime hanno orientamento W-E e sono costituite da una serie di monoclinali immergenti a Nord e delimitate a Sud da faglie normali, aventi rigetti verticali fino a mille metri e che tendono ad estinguersi, verso il basso, sulle superfici di sovrascorrimento.

Le faglie recenti, cui sono connessi anche i fenomeni vulcanici del graben della Piana Campana, sono evidenti, con gli stessi orientamenti e sempre con notevoli rigetti verticali, in tutto l'Appennino Campano-Lucano.

Le aree vulcaniche marine, antistanti la Piana Campana (Isole Pontine, Ischia), sono da mettere in relazione principalmente con strutture recenti ed antiche parallele alla catena, lungo una fascia in cui, in profondità al di sotto dei depositi del Miocene superiore, Pliocene e Quaternario, si ha il probabile contatto tra la crosta assottigliata del tipo tirrenico e quella deformata ed ispessita sottostante la catena.

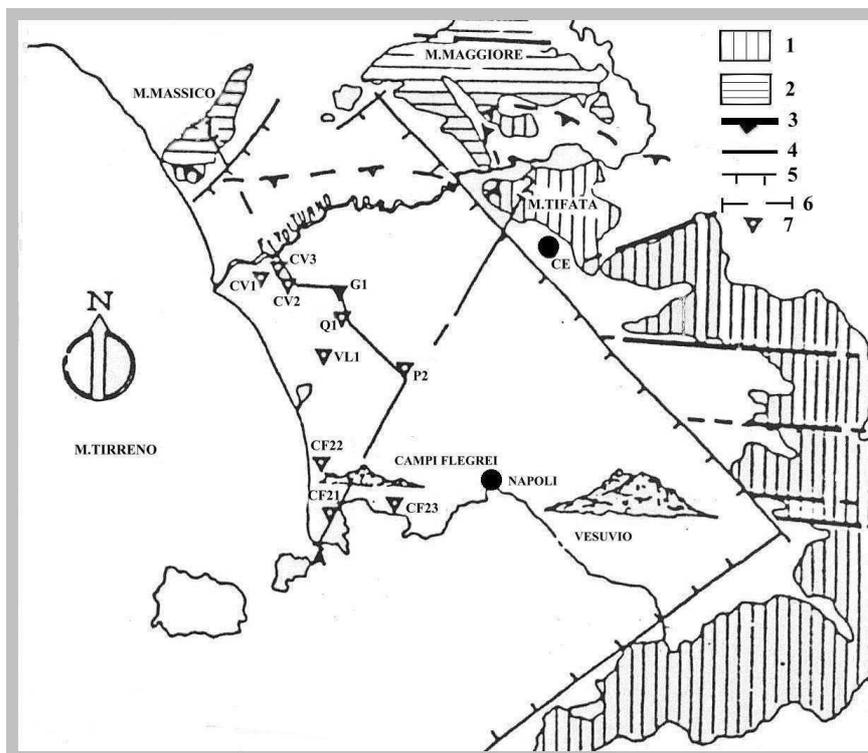
Lungo tale fascia, si potrebbe avere la sovrapposizione della crosta del bordo orientale tirrenico sulle unità sedimentarie ricoprenti la crosta deformata del margine continentale africano. Le strutture principali recenti che hanno controllato il vulcanismo di questa fascia, quindi, sarebbero da collegare principalmente all'assetto strutturale profondo determinatosi dal Pliocene al Quaternario.

I fenomeni vulcanici dell'area flegrea, del Roccamonfina e del Vesuvio sono connessi a strutture recenti che interessano anche la crosta, deformatasi probabilmente per fenomeni compressivi fino al Messiniano, sostenente le unità sedimentarie della catena.

Queste zone vulcaniche sono ubicate in corrispondenza dei graben delimitati da faglie orientate NE-SW e NW-SE, là dove si individuano le zone di massimo sprofondamento.

La struttura profonda della Piana Campana è stata indagata sia con prospezioni geofisiche che con pozzi profondi. I pozzi (profondi alcune migliaia di metri) però non hanno mai raggiunto, nella parte centrale del graben, il substrato carbonatico sottostante i potenti depositi alluvionali detritici e vulcanici quaternari.

Le strutture profonde quindi risultano ancora oggi di difficile e controversa interpretazione per gli oggettivi limiti delle indagini finora condotte.



Schema tettonico della Piana Campana e delle aree circostanti (da Ortolani & Aprile, 1985)

- 1) Unità carbonatiche della piattaforma Campano-Lucana;
- 2) Unità carbonatiche della piattaforma Abruzzese-Campana;
- 3) Fronte di sovrascorrimento delle unità della piattaforma Campano-Lucana;
- 4) Strutture mioceniche;
- 5) Faglie dirette quaternarie;
- 6) Traccia delle sezioni geologiche interpretative;
- 7) Sondaggi meccanici.

Una corretta ricostruzione della stratigrafia e della struttura generale della Piana Campana è stata eseguita in precedenti ricerche, attraverso studi geologici regionali

finalizzati ad inquadrare l'evoluzione di quest'area in quella del margine occidentale della Catena Appenninica. Questi studi sono stati integrati, con le ricostruzioni delle stratigrafie di sondaggi profondi e con indagini geoelettriche.

L'analisi dei campioni di terreno, dei vari sondaggi presi in esame, hanno messo in evidenza vari elementi stratigrafici e litologici di notevole importanza anche per gli aspetti idrogeologici.

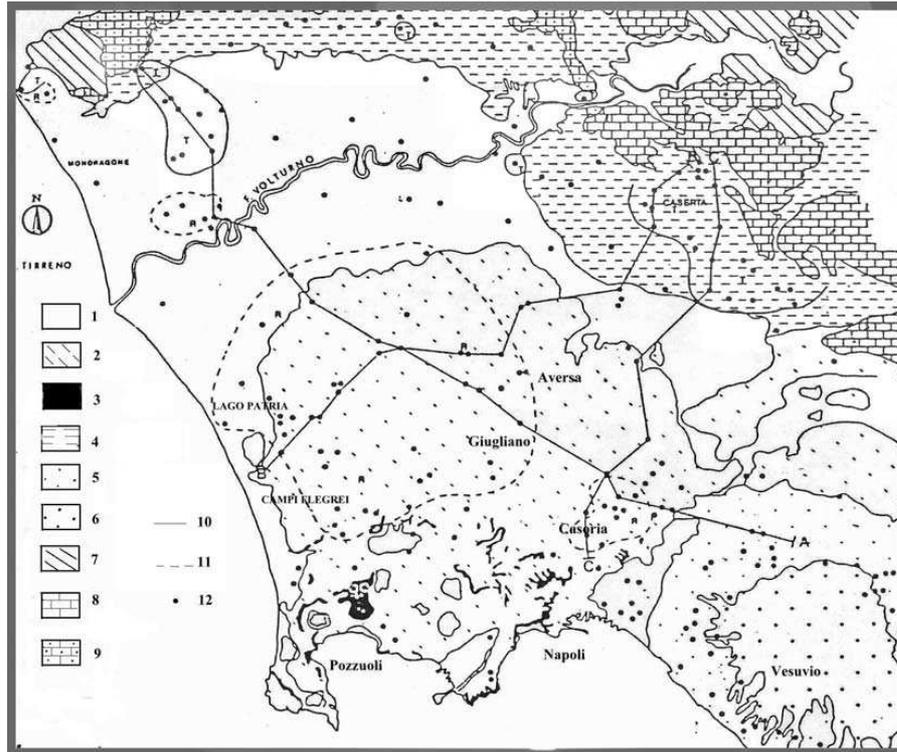
In tutta l'area, tranne che in una ristretta fascia del basso corso del fiume Volturno, si è rinvenuta nel sottosuolo la formazione ignimbratica del "Tufo Grigio Campano", nota in affioramento specie lungo i margini della Piana Campana e, generalmente, ricoperta da terreni sciolti, piroclastici ed alluvionali recenti, di spessore variabile da qualche metro ad oltre 15-20 metri.

L'area da cui si sarebbe originata la formazione ignimbratica (circa 35.000 anni fa) viene posta nella zona compresa tra i Campi Flegrei ed il Lago di Patria.

La presenza di tale formazione, che costituisce un ottimo livello guida nel sottosuolo di tutta la Piana Campana, ha consentito di effettuare la ricostruzione della stratigrafia e della struttura con buona precisione. E' stato così possibile elaborare una carta strutturale del tetto ed una carta delle isopache relative al Tufo Grigio Campano.

L'analisi delle carote prelevate nei sondaggi ha messo in evidenza un altro elemento importante rappresentato dalla presenza di lave scoriacee e compatte, sovrapposte, intercalate e sottoposte al Tufo Grigio Campano, in una vasta area compresa fra il Lago di Patria, Aversa, Giugliano e Casoria.

Lo spessore di questi corpi lavici varia da circa 1 m a circa 7 m. la ricostruzione della stratigrafia e delle caratteristiche dei primi 100-200 metri di sottosuolo ha messo in evidenza che non si hanno, in tutta l'area studiata, livelli di argilla continui arealmente. Il sottosuolo della Piana Campana è costituito quindi, almeno per i primi 100-200 metri, da terreni caratterizzati da una permeabilità relativa variabile da elevata a medio-bassa e senza livelli impermeabili continui.



Schema geologico della Piana Campana (da Ortolani & Aprile, 1985)

1) Alluvioni recenti; 2) Piroclastiti recenti dei Campi Flegrei; 3) Tufo giallo; 4) Tufo grigio; 5) Piroclastiti del Somma Vesuvio; 6) Lave e piroclastiti del Somma Vesuvio; 7) Arenarie, argille e marne mioceniche; 8) Calcari e dolomie della piattaforma Campano-Lucana; 9) Calcari e dolomie della piattaforma Abruzzese-Campana; 10) Travertino presente nel sottosuolo; 11) Lave a piccola profondità; 12) Perforazioni; A-A') Traccia di sezione.

Geologia del sito

La stratigrafia dell'area può essere così schematizzata considerando che il nostro sito si è formato in un ambiente marino, come testimoniano i resti fossili ritrovati, ma ha anche risentito delle varie fasi dell'apparato vulcanico Somma Vesuvio.

In particolare possiamo così schematizzare la stratigrafia considerando il sondaggio n.1:

- 0,00 – 2,80: Vegetale e riporto
- 2,80 – 4,00: Limo di colore grigio
- 4,00 – 7,00: Livello di pomici
- 7,00 – 18,70: Sabbie alluvionale
- 18,70 – 19,50: Paleosuolo

19,50 – 21,80: Sabbia alluvionale

21,80 – 25,00: Livello piroclastico di colore giallastro

25,00 – 30,00: Sabbia di colore nerastro.

Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Viene in seguito schematizzata una potenziale valutazione sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in area, ricavata dalle prove eseguite in sito:

Stati	Spessore	Angolo d' attrito ϕ	Coesione Kg/cmq	Densità relativa %	N. Spt	N. Spt (corretto)	Modulo edometrico kg/cmq	Peso specifico t/mc.
Riporto e vegetale	0,00 – 2,80	22	0	0.20	3		27	1.3
Limo di colore grigio	2,80 – 4,00	25	0	0.20	4		36	1.4
Livello di pomici	4,00 – 7,00	25	0	0.30	6		54	1.4
Sabbie alluvionale	7,00 – 18,70	34	0	0.50	20	18	162	1.6
Paleosuolo	18,70 – 19,50	18	0.6	0.20	7		63	1.5
Sabbie alluvionale	19,50 – 21,80	33	0	0.50	16	15	135	1.6
Livello piroclastico	21,80 – 25,00	36	0	0.60	25	20	180	1.6
Sabbia	25,00 – 30,00	36	0					2.0

Il numero di colpi delle S.P.T. è stato ridimensionato considerando la presenza della falda, mediante la relazione:

$$N \text{ corr} = (15 + ((Nspt - 15)/2))$$

I valori relativi alla valutazione dell'angolo di attrito, sono stati ricavati utilizzando il diagramma del De Mello (1971) che mette in relazione la tensione litostatica in funzione del numero di colpi.

Il valore di R_p è stato calcolato utilizzando un coefficiente che varia da 2 a 3,5, nel nostro caso è stato utilizzato il valore medio di 3

$$R_p = \alpha Nspt$$

Mentre il modulo edometrico è stato calcolato in base alla relazione:

$$E_d = \alpha R/p$$

con α variabile da 2 a 3,5, nel nostro caso pari a 3

Per la valutazione della densità relativa viene utilizzato il diagramma di Schmertmann (1975).

Indagine sismica

Per la caratterizzazione sismica del sito ci si deve rifare ai risultati ottenuti dalle prove sismiche (down hole).

Down-hole:

Stratigrafia mediata								
Strato	Profond. Tetto (m)	Spessore (m)	Peso di Volume T/mc	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Modulo di Poisson	Modulo di Young	Modulo di Taglio
1	0	4,00	1,3	246	83	0.44	293	102
2	4,00	4,00	1,4	624	205	0.44	1730	601
3	8,00	8,00	1,6	1249	487	0.41	10213	3629
4	16,00	6,00	1,6	1371	580	0.39	13600	4877
5	22,00	8,00	1,6	1469	690	0.39	13755	4944

Interpretazione stratigrafica

Per la caratterizzazione sismica dei terreni ci si deve rifare ai risultati ottenuti dalla sismica down-hole da cui si è rinvenuta la presenza di primo strato dello spessore di circa 4,00 metri con una velocità media delle onde P di 246 m/sec ed una velocità media delle onde S di 83 m/sec.

Secondo strato che va dai 4,00 a 8,00 metri circa presenta una velocità media delle onde P circa 624 m/sec ed una velocità delle onde S di 205 m/sec.

Terzo strato dallo spessore di mt. 8,00 è caratterizzato da una velocità media delle onde P pari a 1249 m/sec ed una velocità delle onde S di 487 m/sec.

Quarto strato che va dai 16,00 a 22,00 metri circa presenta una velocità media delle onde P poco superiore a 1371 m/sec ed una velocità delle onde S di 580 m/sec.

Infine il quinto strato da mt. 22,00 fino a fondo foro ha fatto registrare una media delle onde P pari a 1469 m/sec ed una velocità delle onde S di 690 m/sec.

Risultati prova down-hole

Secondo le norme del D.M. 17.01.2018 “Norme Tecniche per la Costruzione”, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed i valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

h_i - spessore dell'i-esimo strato

$V_{s,i}$ - velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

N - numero di strati

H - profondità del substrato, definito come quello come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Qualora il bedrock è inferiore alla profondità di 30 m. viene utilizzata la stessa formula pregressa dove H è uguale alla profondità del substrato.

Gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione di una $V_{s,eq}$ pari a **284 m/sec**, indicando, per il sito in esame un suolo di Categoria “C”.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Indagine sismica M.A.S.W.

Per la modellazione sismica del sito è stata eseguita oltre la prova Down-Hole anche n. 2 prove sismiche con metodologia MASW atto a valutare la velocità delle onde sismiche di taglio.

Indagine sismica	Lunghezza dello stendimento (mt.)	Offset e spacing (mt.)
Masw n°1	48,00	2,00
Masw n°2	48,00	2,00

Le indagini sono stata eseguite con un sismografo della M.A.E., utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz, allineati sul terreno con un'interdistanza di 2,00 metri e come sorgente energizzante, è stata utilizzata una massa battente (martello) da 5 Kg battuta su una piastra metallica.

Il rilievo geofisico MASW (multichannel analysis of surface waves) è utilizzato per la determinazione dei profili verticali della velocità delle onde di taglio (VS) tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh effettuata con algoritmi.

I vantaggi dell'uso di questa metodologia geofisica rispetto ai metodi tradizionali sono:

1. Particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi
2. Non limitato – a differenza del metodo a rifrazione – dalla presenza di inversioni di velocità in profondità
3. Buona risoluzione (a differenza del metodo a riflessione)
4. Permette la ricostruzione della distribuzione verticale della velocità delle onde di taglio (S) – fondamentale per la caratterizzazione geotecnica del sito

Inoltre:

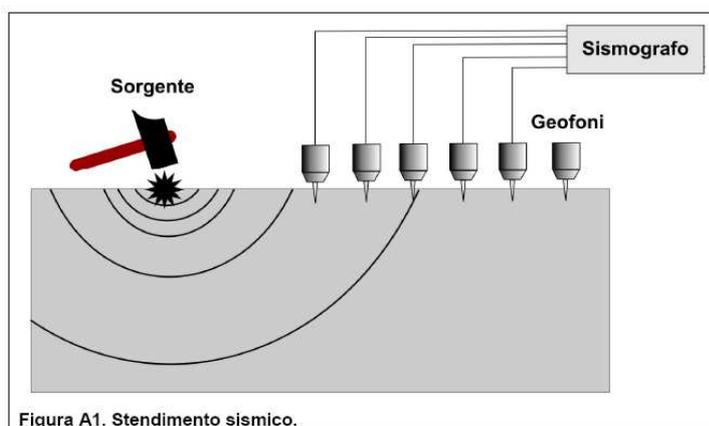
- La percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
- L'ampiezza delle surface waves dipende da \sqrt{r} e non da r come per le body waves

Modellazione sismica

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 1,50 mt.

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 con sistema di energizzazione una mazza da 5 Kg battente su piattello metallico e la sorgente è stata posta ad una distanza di mt. 5,00 dal primo geofono.

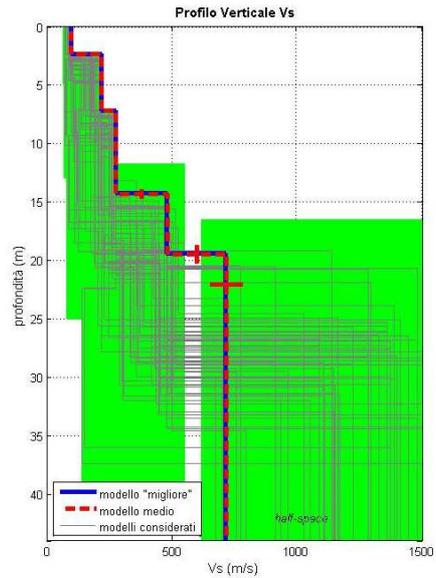
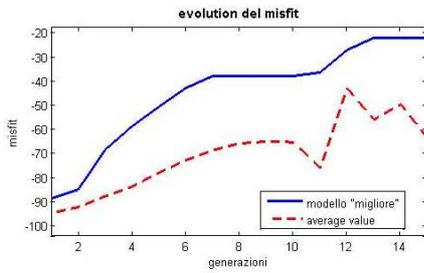
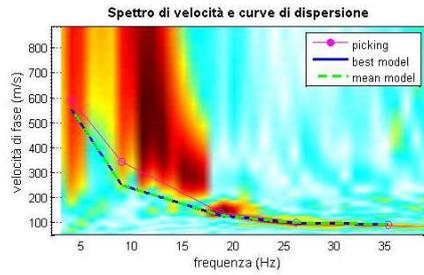


I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (winMASW).

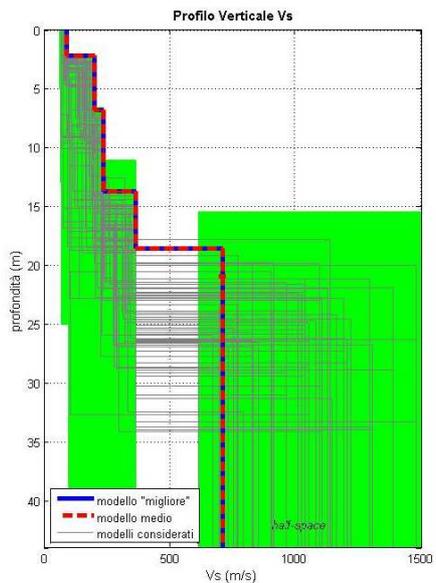
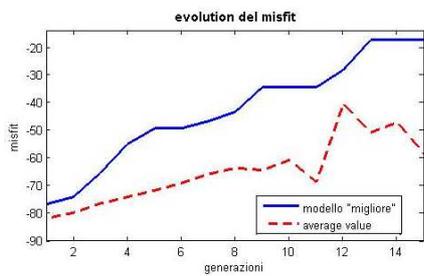
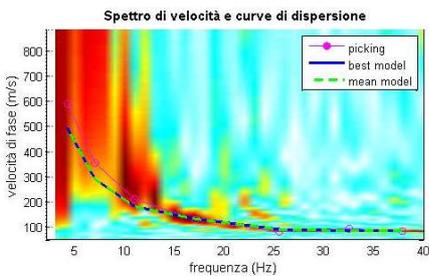
Nella fase di elaborazione si è determinata la curva di dispersione e la valutazione dello spettro di velocità e successivamente, mediante picking dell'onda di Reyleigh, si è effettuata l'inversione della curva di dispersione interpretata con l'applicazione di algoritmi genetici.

Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuto il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata:

MASW n.1 modello medio			MASW n.2 modello medio		
Vs (m/s)	Densità (gr/cm ³)	Spessore (m)	Vs (m/s)	Densità (gr/cm ³)	Spessore (m)
99	1.67	2.40	91	1.65	2.20
218	1.86	4.90	202	1.84	4.70
274	1.92	7.10	236	1.88	6.90
480	2.05	5.20	365	1.99	4.80
717	2.13	10.40	709	2.12	11.40



indagine sismica “MASW” n°1



indagine sismica “MASW” n°2

Risultati della prospezione sismica

Secondo le norme del D.M. 17.01.2018 “Norme Tecniche per la Costruzione”, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed i valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

h_i - spessore dell'i-esimo strato

$V_{s,i}$ - velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

N - numero di strati

H - profondità del substrato, definito come quello come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Qualora il bedrock è inferiore alla profondità di 30 m. viene utilizzata la stessa formula pregressa dove H è uguale alla profondità del substrato.

Gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione di una $V_{s,eq}$

Prospezione sismica	$V_{s,eq}$ (m/sec)	Categoria suoli
Masw n°1	308 m/sec	C
Masw n°2	283 m/sec.	C

Categoria di suolo di fondazione C

(Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.)

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Sismicità dell'area

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

In basso è riportata la zona sismica per il territorio di Pompei, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Campania n. 5447 del 7.11.2002.

Zona sismica 2	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.
-------------------	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a_g]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [a_g]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25$ g	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g	3.002
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g	1.982

Liquefazione dei terreni

La liquefazione fenomeno tipico di depositi sabbiosi in falda, è l'annullamento della loro resistenza al taglio per aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

La resistenza al taglio dei terreni è indicata dalla relazione di Coulomb:

$$t = c + (\sigma - u) \tan \varphi$$

σ = pressione effettiva ; u = pressione interstiziale ; c = coesione ; φ angolo d'attrito

E' evidente che quando il valore della pressione effettiva eguaglia il valore della pressione interstiziale e la coesione è zero, la resistenza al taglio si annulla.

Nel nostro caso la falda si trova ad una profondità di circa mt. 4,50 dal p.c. è quindi completamente ininfluenza ai fini di qualsiasi fenomeno della liquefazione.

Inoltre la procedura di Sherif e Ishiashi ammette che possono verificarsi fenomeni di liquefazione solo nei livelli con le seguenti caratteristiche:

1. in strati di copertura che non abbiano spessore maggiore di mt.3,00
2. si trovino sotto il livello statico della falda
3. siano costituite da sabbie o sabbie limose

Date le premesse fatte è lecito ritenere i nostri terreni non soggetti a fenomeni di liquefazione.

Verifica della liquefazione dei terreni relativa al sito

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Pompei

Codice identificativo 01

Cliente: Coding

Data 29/10/2020

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 4.5 m

CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA

Base 10 m

Lunghezza 10 m

Carico in superficie 100 kPa

Metodo calcolo stato tensionale Bussinesq

Coefficiente di Poisson 0.35

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.25

Fattore amplificazione 2.3788

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza $V_{s30}=180-360$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.34318

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5

Distanza epicentro 5 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.25

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc)	Peso unità volume saturò (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Vegetal e	0	2.8	13	14	3	0	0	0	83
2	Limo Grigio	2.8	4	14	16	4	0	0	0	83
3	Pomici	4	7	14	16	8	0	0	0	205

4	Sabbie	7	18.7	16	18	20	0	0	0	424
5	Paleosuolo	18.7	19.5	15	18	7	0	0	0	580
6	Sabbie	19.5	21.8	16	18	16	0	0	0	635
7	sabbie	21.8	30	20	22	25	0	0	0	650

Eurocodice 8 VS

Strato Nr.	Frazione limosa (%)	Frazione argillosa (%)	Indice di plasticità (%)	Tipo Suolo	Validità
1-Vegetale	0	0		3	1
2-Limo Grigio	0	0		3	1
3-Pomici	0	0		3	1
4-Sabbie	0	0		3	1
5-Paleosuolo	0	0		3	1
6-Sabbie	0	0		3	1

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normale Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	4.70	86.910	84.949	213.533	220.000	0.964	0.272	0.113	2.41	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.304
2	4.90	89.944	86.022	212.864	220.000	0.963	0.258	0.115	2.24	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.883
3	5.10	92.971	87.087	212.210	220.000	0.961	0.247	0.118	2.10	Terreno non suscettibile di liquefazione	3.515
4	5.30	95.989	88.144	211.571	220.000	0.959	0.237	0.120	1.97	Terreno non suscettibile di liquefazione	4.197

5	5.50	99.001	89.194	210.94 5	220.00 0	0.958	0.229	0.122	1.87	suscetti bile di liquefa zione Terreno 4.926 non suscetti bile di liquefa zione
6	5.70	102.00 6	90.238	210.33 3	220.00 0	0.956	0.222	0.125	1.78	Terreno 5.699 non suscetti bile di liquefa zione
7	5.90	105.00 4	91.274	209.73 3	220.00 0	0.955	0.216	0.127	1.70	Terreno 6.513 non suscetti bile di liquefa zione
8	6.10	107.99 6	92.305	209.14 5	220.00 0	0.953	0.210	0.129	1.63	Terreno 7.366 non suscetti bile di liquefa zione
9	6.30	110.98 2	93.330	208.56 8	220.00 0	0.952	0.205	0.131	1.57	Terreno 8.255 non suscetti bile di liquefa zione
10	6.50	113.96 4	94.350	208.00 2	220.00 0	0.950	0.201	0.133	1.51	Terreno 9.178 non suscetti bile di liquefa zione
11	6.70	116.94 0	95.366	207.44 6	220.00 0	0.949	0.197	0.135	1.46	Terreno 10.131 non suscetti bile di liquefa zione
12	6.90	119.91	96.377	206.90	220.00	0.947	0.193	0.137	1.41	Terreno 11.113

		3		0	0						non suscepti bile di liquefa zione
13	7.10	123.08 1	97.584	426.60 1	220.00 0	0.946	0.538	0.139	3.87	Terreno 0.542	non suscepti bile di liquefa zione
14	7.30	126.44 6	98.988	425.08 0	220.00 0	0.944	0.534	0.141	3.79	Terreno 0.577	non suscepti bile di liquefa zione
15	7.50	129.80 8	100.38 8	423.58 9	220.00 0	0.943	0.530	0.142	3.72	Terreno 0.612	non suscepti bile di liquefa zione
16	7.70	133.16 8	101.78 7	422.12 7	220.00 0	0.941	0.526	0.144	3.65	Terreno 0.649	non suscepti bile di liquefa zione
17	7.90	136.52 5	103.18 3	420.69 2	220.00 0	0.940	0.522	0.146	3.58	Terreno 0.686	non suscepti bile di liquefa zione
18	8.10	139.88 1	104.57 7	419.28 3	220.00 0	0.938	0.519	0.147	3.52	Terreno 0.725	non suscepti bile di liquefa zione
19	8.30	143.23 5	105.97 0	417.89 8	220.00 0	0.937	0.515	0.149	3.46	Terreno 0.764	non suscepti bile di liquefa zione

20	8.50	146.58 8	107.36 1	416.53 8	220.00 0	0.935	0.512	0.150	3.40	Terreno 0.805 non suscetti bile di liquefa zione
21	8.70	149.94 0	108.75 2	415.19 9	220.00 0	0.933	0.508	0.152	3.35	Terreno 0.846 non suscetti bile di liquefa zione
22	8.90	153.29 2	110.14 2	413.88 3	220.00 0	0.932	0.505	0.153	3.29	Terreno 0.889 non suscetti bile di liquefa zione
23	9.10	156.64 3	111.53 3	412.58 7	220.00 0	0.930	0.502	0.155	3.24	Terreno 0.932 non suscetti bile di liquefa zione
24	9.30	159.99 5	112.92 3	411.31 1	220.00 0	0.926	0.499	0.156	3.19	Terreno 0.977 non suscetti bile di liquefa zione
25	9.50	163.34 7	114.31 4	410.05 4	220.00 0	0.920	0.496	0.157	3.15	Terreno 1.022 non suscetti bile di liquefa zione
26	9.70	166.70 0	115.70 5	408.81 6	220.00 0	0.915	0.493	0.159	3.10	Terreno 1.068 non suscetti bile di liquefa zione
27	9.90	170.05 4	117.09 8	407.59 5	220.00 0	0.910	0.490	0.160	3.06	Terreno 1.115 non suscetti bile di liquefa

28	10.10	173.40 9	118.49 1	406.39 1	220.00 0	0.904	0.487	0.161	3.02	zione Terreno 1.164 non suscetti bile di liquefa zione
29	10.30	176.76 5	119.88 6	405.20 4	220.00 0	0.899	0.484	0.162	2.98	Terreno 1.213 non suscetti bile di liquefa zione
30	10.50	180.12 3	121.28 3	404.03 3	220.00 0	0.894	0.481	0.164	2.94	Terreno 1.263 non suscetti bile di liquefa zione
31	10.70	183.48 2	122.68 1	402.87 6	220.00 0	0.888	0.478	0.165	2.90	Terreno 1.314 non suscetti bile di liquefa zione
32	10.90	186.84 3	124.08 1	401.73 5	220.00 0	0.883	0.475	0.166	2.86	Terreno 1.366 non suscetti bile di liquefa zione
33	11.10	190.20 6	125.48 2	400.60 9	220.00 0	0.878	0.472	0.167	2.83	Terreno 1.418 non suscetti bile di liquefa zione
34	11.30	193.57 2	126.88 6	399.49 6	220.00 0	0.872	0.470	0.168	2.79	Terreno 1.472 non suscetti bile di liquefa zione
35	11.50	196.93 9	128.29 3	398.39 6	220.00 0	0.867	0.467	0.169	2.76	Terreno 1.526 non suscetti bile di

36	11.70	200.309	129.701	397.310	220.000	0.862	0.464	0.170	2.73	liquefa zione Terreno 1.582 non suscelli bile di liquefa zione
37	11.90	203.682	131.112	396.237	220.000	0.856	0.462	0.171	2.70	Terreno 1.638 non suscelli bile di liquefa zione
38	12.10	207.057	132.526	395.176	220.000	0.851	0.459	0.172	2.67	Terreno 1.695 non suscelli bile di liquefa zione
39	12.30	210.434	133.942	394.127	220.000	0.846	0.457	0.173	2.64	Terreno 1.753 non suscelli bile di liquefa zione
40	12.50	213.814	135.361	393.090	220.000	0.840	0.454	0.174	2.61	Terreno 1.812 non suscelli bile di liquefa zione
41	12.70	217.198	136.783	392.065	220.000	0.835	0.452	0.175	2.58	Terreno 1.872 non suscelli bile di liquefa zione
42	12.90	220.583	138.207	391.051	220.000	0.830	0.449	0.176	2.56	Terreno 1.932 non suscelli bile di liquefa zione
43	13.10	223.972	139.635	390.048	220.000	0.824	0.447	0.177	2.53	Terreno 1.994 non suscelli

44	13.30	227.36 4	141.06 5	389.05 5	220.00 0	0.819	0.445	0.178	2.50	bile di liquefa zione Terreno 2.056 non suscetti bile di liquefa zione
45	13.50	230.75 8	142.49 8	388.07 3	220.00 0	0.814	0.442	0.178	2.48	Terreno 2.119 non suscetti bile di liquefa zione
46	13.70	234.15 5	143.93 4	387.10 2	220.00 0	0.808	0.440	0.179	2.46	Terreno 2.183 non suscetti bile di liquefa zione
47	13.90	237.55 6	145.37 3	386.14 0	220.00 0	0.803	0.438	0.180	2.43	Terreno 2.247 non suscetti bile di liquefa zione
48	14.10	240.95 9	146.81 5	385.18 8	220.00 0	0.798	0.436	0.181	2.41	Terreno 2.312 non suscetti bile di liquefa zione
49	14.30	244.36 5	148.26 0	384.24 6	220.00 0	0.792	0.433	0.182	2.39	Terreno 2.379 non suscetti bile di liquefa zione
50	14.50	247.77 4	149.70 8	383.31 4	220.00 0	0.787	0.431	0.182	2.36	Terreno 2.446 non suscetti bile di liquefa zione
51	14.70	251.18 7	151.15 9	382.39 1	220.00 0	0.782	0.429	0.183	2.34	Terreno 2.513 non

suscetti
bile di
liquefa
zione

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

Stralci cartografici del P.A.I.

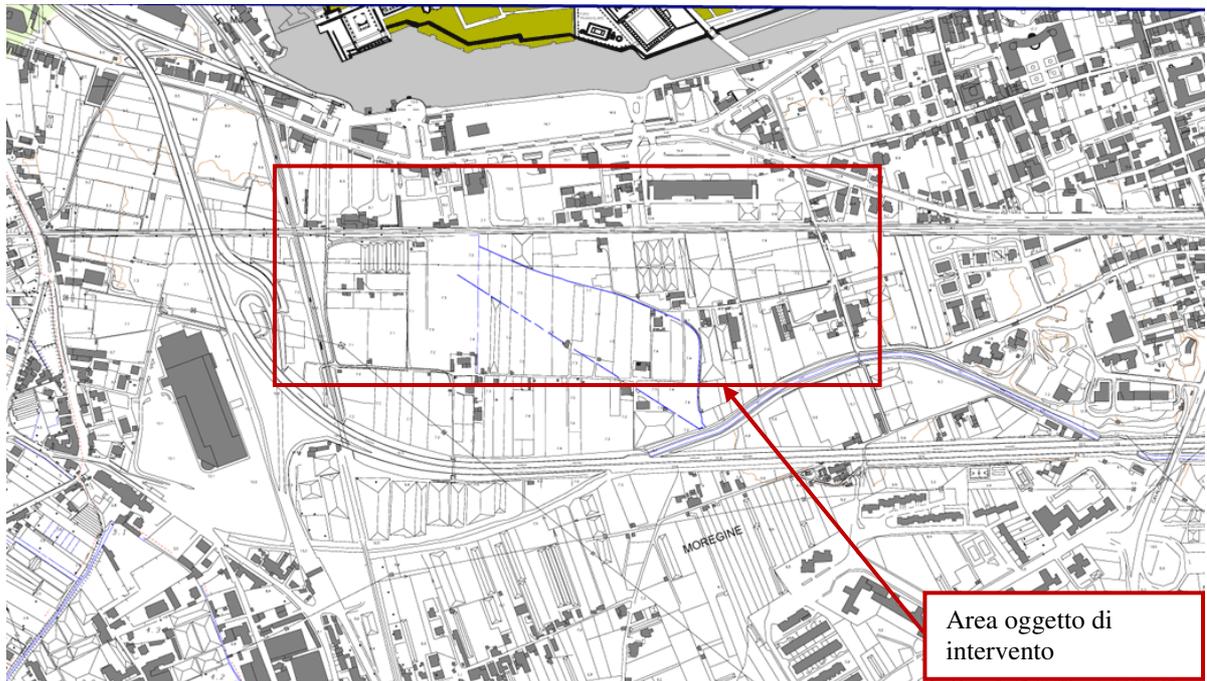
Le norme di attuazione e salvaguardia del PAI definiscono i vincoli e gli interventi consentiti nelle aree a diversa pericolosità e rischio.

L'area in oggetto come si evince dalla cartografia allegata all'Autorità di Bacino del Fiume Sarno non rientra in nessuna area a rischio rientra.

Si allegano stralci delle carte dell'Autorità di Bacino

- Carta della pericolosità da frana
- Carta del rischio da frana
- Carta della pericolosità idraulica
- Carta del rischio idraulico

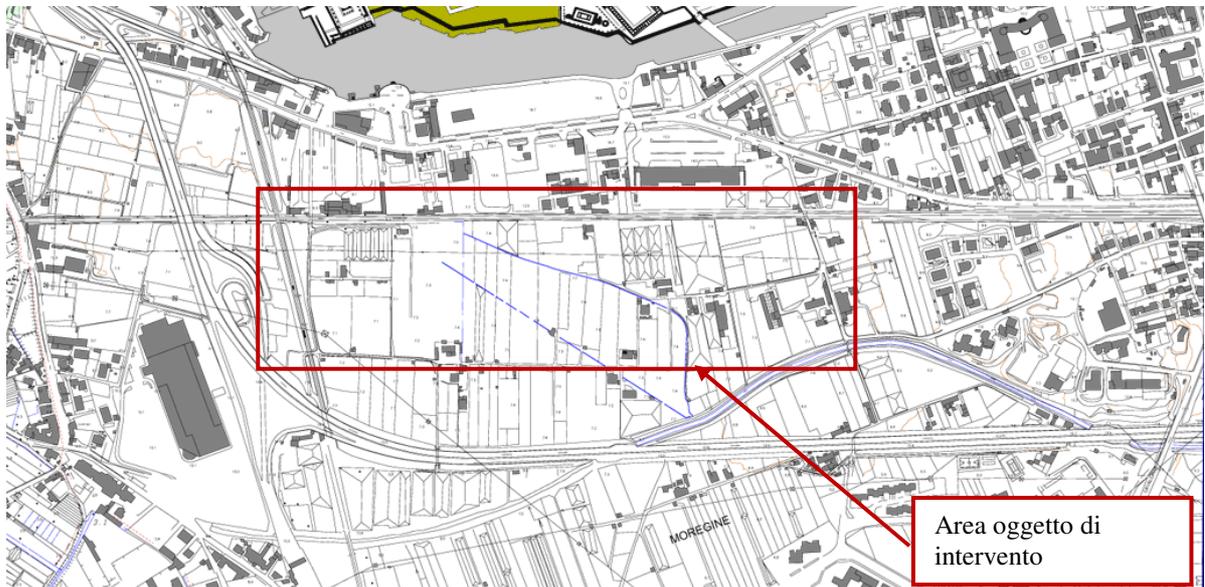
Pericolosità da frana



Autorità di Bacino del Sarno

- Pericolosità Bassa o trascurabile
- Pericolosità media (Frane a cinematica lenta)
- Pericolosità media (Frane a cinematica rapida)
- Pericolosità elevata
- Pericolosità molto elevata

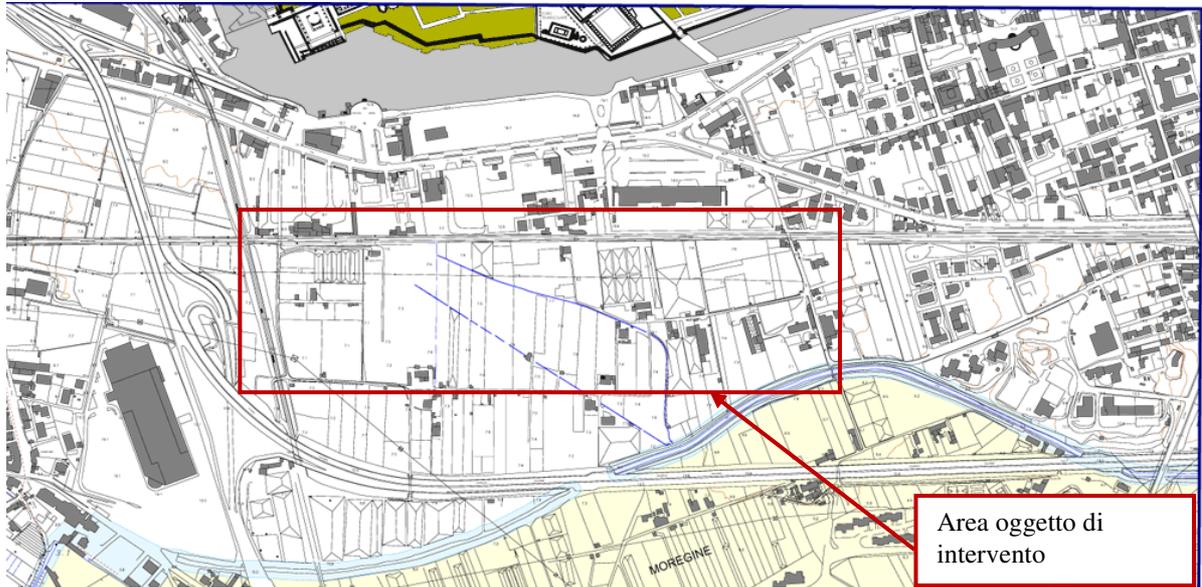
Rischio da frana



Autorità di Bacino del Sarno

- Rischio moderato
- Rischio medio
- Rischio elevato
- Rischio elevato potenziale
- Rischio molto elevato
- Rischio molto elevato potenziale

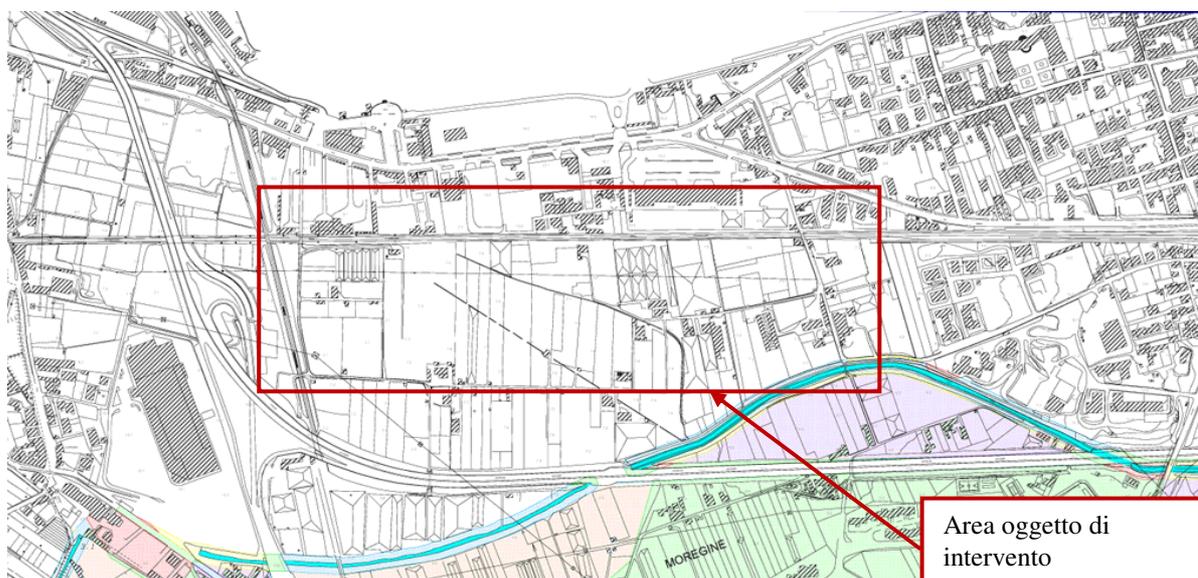
Pericolosità idraulica



Carta delle fasce fluviali

- Fascia A Valliva
- Fascia A Montana
- Fascia B Valliva
- Fascia B Montana
- Fascia C

Rischio idraulico



Conclusioni

In seguito alle indagini sismiche eseguite in sito terreni dell'area vengono classificati come terreni di tipo:

C

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un

miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Inoltre il sito in oggetto ricade secondo le condizioni topografiche in categoria

T1

(superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$)

I sondaggi da noi effettuati, spinti fino alla quota di mt. 30 dal p.c., sono stati caratterizzati anche con le NSpt.

Elaborando i dati con gli opportuni grafici come quello di De Mello 1971, hanno evidenziato i parametri indicati.

Per cui possiamo ritenere, i valori indicati come significativi fino alla quota di mt. 30,00.

Si allega una stratigrafia dell'area fino ad una quota di circa mt. 30,00 dal p.c.

Tanto è in relazione all'incarico ricevuto per uno studio geologico dell'area in oggetto.

Aversa settembre '20

Il tecnico

Dr. Geol. Giancarlo Ferriero