



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA

Viabilità Est di Lucca comprendente i collegamenti tra Ponte a Moriano ed i caselli dell'autostrada A11 del Frizzone e di Lucca Est

PROGETTO PRELIMINARE

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Antonio VALENTE
Ordine Ing. di Roma n. 20739

GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS

Ing. Giuseppe Danilo MALGERI – Responsabile di Progetto
Ing. Francesco BEZZI – Impianti
Ing. Pier Giorgio D'ARMINI – Traffico e Benefici/Costi
Ing. Gianfranco FUSANI – Strade
Ing. Gabriele GIOVANNINI – Cartografia
Ing. Alessandro MITA – Idraulica
Ing. Enrico MITTIGA – Geotecnica
Arch. Gianluca BONOLI – Strutture
Arch. Roberto ROGGI – Sicurezza
Geom. Stefano SERANGELI – Geologia
Geom. Emiliano PAIELLA – Computi e Capitolati
Geom. Carmelo ZEMA – Espropri ed Interferenze

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Francesca SCIUBBA
Ordine Geol. del Lazio n. 1371

I RESPONSABILI DEL S.I.A.

Dott. Ing. Ginevra BERETTA Dott. Arch. Francesca Romana IETTO
Ordine Ing. di Roma n. 20458 Ordine Arch. di Roma n. 15857

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio QUONDAM

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Nicola DINNELLA

RESPONSABILI DI UNITA' INGEGNERIA:

Ing. Fulvio Maria SOCCODATO – Ingegneria Territorio
Ing. Alessandro MICHELI – Ingegneria Geotecnica e Impianti
Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI – Ingegneria Opere Civili
Geom. Fabio QUONDAM – Ingegneria Computi, Stime e Capitolati

PROTOCOLLO

DATA

INDAGINI CONOSCITIVE DELLE FONDAZIONI DELL'ACQUEDOTTO "NOTTOLINI" INDAGINI IN CAMPO E RELAZIONI

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L0601A P 1201

NOME FILE

T00_SG00_GEN_RE01_A.DOC

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. T00SG00GENRE01

A

—

C					
B					
A	EMISSIONE	29/11/2012	Ing. E. Mittinga	Ing. E. Mittinga	Ing. A. Micheli
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	ACQUEDOTTO DEL NOTTOLINI - NOTIZIE STORICHE.....	3
3	INDAGINI	5
3.1	Sondaggi geognostici.....	5
3.2	Prospezione sismica.....	10
3.3	Prospezione elettrica in foro	12
4	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI	14

ALLEGATO 1 – Indagini geognostiche

ALLEGATO 2 – Rapporto di indagine geofisica

1 PREMESSA

L'intervento in progetto riguarda la realizzazione di un Sistema Tangenziale alla città di Lucca, ovvero di una viabilità a est della Piana di Lucca comprendente i collegamenti tra Ponte a Moriano, i caselli dell'A11 del Frizzone e di Lucca Est, Massa Macinaia e Altopascio, volta alla redistribuzione dei flussi veicolari e di miglioramento del livello di servizio sulla rete stradale afferente all'area urbana di Lucca, svolgendo la funzione di alleggerimento del centro urbano dal traffico di attraversamento, nonché di drenaggio dei traffici presenti o che comunque convergono all'interno della piana di Lucca.

Tale intervento è costituito dall'adeguamento di viabilità esistenti e dalla realizzazione di nuovi tratti di strada a due corsie quali l'*Asse Nord-Sud* che si connette a nord con la S.S.12 dell'Abetone e del Brennero in loc. Tacchini ed a sud con la S.P.23 Romana in località Antraccoli da cui il tracciato si suddivide in due bracci l'uno in direzione ovest (*Asse Ovest-Est*) verso il casello di Lucca Est, l'altro in direzione est (*Asse Est-Ovest*) verso il nuovo casello autostradale di Capannori sulla A11 Firenze-Pisa in località Frizzone.

In corrispondenza del nuovo tratto viario indicato come *Asse Ovest-Est*, che si sviluppa per un discreto tratto parallelo al tracciato autostradale (A11) esistente, con una tipologia costruttiva essenzialmente a raso e risolve con cavalcavia e sottopassi la maggior parte delle interferenze con la viabilità esistente, è prevista la realizzazione di un sottopasso (galleria artificiale) per sotto passare l'ottocentesco acquedotto del Nottolini, senza modificarne la struttura.

Le indagini esplicitate nei paragrafi seguenti sono state programmate ed eseguite per individuare le problematiche legate alla realizzazione del previsto sottopasso sull'acquedotto del Nottolini.

2 ACQUEDOTTO DEL NOTTOLINI - NOTIZIE STORICHE

Il rifornimento di acqua per la città di Lucca era realizzato, anticamente, da un acquedotto sotterraneo che con le acque captate nella zona di Moriano alimentava alcune fontane in città. Poiché con il tempo la funzionalità di tale condotta andò a diminuire fino a perdersi, divenne urgente la realizzazione di un nuovo acquedotto che facesse fronte alle necessità della popolazione.

I primi studi per l'utilizzo, a questo scopo, delle acque sorgive dei monti sovrastanti Guamo risalgono al 1763, anche se non si iniziarono mai concretamente i lavori per realizzare la captazione. Finalmente nel 1822 la duchessa Maria Luisa di Borbone emanò un decreto per la costruzione di un nuovo acquedotto atto a fornire Lucca di acqua potabile. L'opera, progettata e realizzata in massima parte dal regio architetto Lorenzo Nottolini, fu veramente conclusa soltanto nel 1851 a causa di alcune interruzioni.

Per il rifornimento delle acque si captarono sia 18 sorgenti di acqua pura, con appositi bottini di presa, sia le acque del Rio San Quirico e del Rio della Valle. Due gallerie filtranti convogliano l'acqua captata e quella superficiale dei suddetti rii nella "serra vespaiata" che ha la funzione di filtro ed è formata, come si legge nei documenti di progetto, da:

- uno strato di rena metà di fiume e metà del Rio Guappero;
- uno strato di carbone di cerro;
- uno strato di ghiaia di fiume depurata dalla rena;
- uno strato di sasso grosso di cava;
- uno strato di scaglia di pietra di cava;
- argilla per stuccare;
- getto di scogli di fronte alla serra.

Due condotte seminterrate a pelo libero e a contorno chiuso, adducono le acque al tempietto "a monte", noto come *Tempietto di Guamo*, da cui fuoriescono due condotte rettilinee e parallele a pelo libero e a contorno chiuso, sopraelevate, in elementi di terracotta, facenti capo verso la città al tempietto monumentale "alle Tagliate" di San Concordio. Trattasi in pratica di una cisterna, costruita dal 1823 al 1825, inserita in un edificio a pianta circolare in stile neoclassico dorico, dove si raccoglieva l'acqua in una vasca doppia di marmo. Da qui due condotte forzate in tubi di ferro vanno al centro storico in galleria archivoltata accessibile e percorribile a piedi per tutta la sua lunghezza.

Le condotte sono due in quanto il Nottolini ebbe cura di tener separate le acque a seconda della loro provenienza facendo sì che quelle di sorgente fossero inviate mediante una via privilegiata alle numerose fonti pubbliche e private di Lucca per l'uso potabile, mentre le acque del

Rio San Quirico e del Rio della Valle, meno pure, furono destinate ad alimentare le fontane monumentali della città.



Figura 2.1 - Ripresa panoramica dell'Acquedotto del Nottolini.

Tali condotte sono sostenute da n° 459 archi a tutto sesto impostati su 460 pilastri in muratura di mattoni e pietra. Molti di questi pilastri sono fondati su palafitte costituite ciascuna da 18 tronchi di pino, dove il terreno non dava sufficiente garanzia di portanza, in particolare verso la zona bassa dei canali Ozzeri e Rogio, dove viene raggiunta l'altezza massima di 15 metri. L'insieme, detto Torrione o Archi delle Fontane, ha una lunghezza di 3.269 metri ed è servito per tutta la sua lunghezza, sul lato sinistro rispetto al deflusso delle acque, da uno stradello di servizio chiuso al traffico veicolare

Ogni diciassette archi Nottolini inserì un contrafforte sia per funzioni decorative che strutturali. Nel 1933, per la costruzione dell'autostrada Firenze - mare, furono demoliti un pilastro e due archi del Torrione. Le condotte soprastanti furono ricollegate mediante tubazioni sostenute da una travatura di cemento che durò fino al crollo, avvenuto nel 1944, che coinvolse altri archi e pilastri. Ulteriori interventi furono effettuati nel 1961 in occasione del raddoppio dell'autostrada. Complessivamente sono andati distrutti 6 archi, 4 pilastri normali e un pilastro con contrafforte per complessivi 42 metri.

Nel 1982 il prolungamento di Via Consani ha interessato due arcate, ossia tre pilastri compresi tra il tempietto di S. Concordio e il pilastro contrafforte n° 1, con attraversamento del Torrione in obliquo e di conseguenza con maggiori possibilità di disgregamento degli spigoli dei pilastri, come in effetti è avvenuto, a causa dei veicoli in transito.

Sebbene sia ormai da decenni in stato di semiabbandono e di avanzato degrado, l'acquedotto di Nottolini ancora conserva intatto il suo valore di carattere documentale e storico-artistico. È un'opera considerata da manuale sotto il profilo dell'ingegneria idraulica, definita in ogni particolare e ricca di eleganti elementi decorativi di gusto neoclassico.

Per l'importanza che l'acquedotto del "Nottolini" ha per la piana di Lucca e per i cittadini lucchesi nell'ambito della ricerca dell'alternativa di tracciato che meglio rispondesse alle esigenze del territorio una particolare attenzione è stata dedicata alla ricerca della soluzione del passaggio dell'Asse Ovest-Est nei pressi dell'acquedotto stesso.

3 INDAGINI

Stante la delicatezza dell'opera (ovvero delle arcate dell'acquedotto Nottolini) e in considerazione della scelta progettuale per l'Asse Ovest-est di attraversare in galleria l'acquedotto stesso, è stata programmata una campagna di indagini geognostiche strutturata per poter acquisire il massimo delle informazioni da un esame circostanziato dell'area di impatto.



Figura 3.1 - Area di indagine.

A questo scopo sono stati ubicati 2 sondaggi ai lati dell'ultimo pilastro accessibile dell'acquedotto immediatamente vicino all'autostrada (Fig. 3.1.2), in corrispondenza dell'area di attraversamento della nuova infrastruttura, in cui sono state realizzate prove SPT, una prova sismica *Down Hole* ed una prova elettrica del tipo *Cross Hole tomografico*.

3.1 Sondaggi geognostici

Per l'esecuzione dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo è stata utilizzata una attrezzatura di perforazione costituita da una sonda a rotazione *FRANZA MAF 600* con velocità di rotazione di 300 giri/min, coppia massima > 600 Kgm. Il carotiere utilizzato è di tipo *semplice* con $\varnothing = 101$ mm, mentre il tubo di rivestimento presenta un $\varnothing = 127$ mm. I campioni indisturbati sono stati prelevati con campionatore di tipo *SHELBY* per fustelle Inox con $\varnothing = 88,9$ mm.



Figura 3.1.2 - Sonda a rotazione modello FRANZA MAF 600 sul tracciato dell'Asse Ovest-Est, tra le arcate dell'Acquedotto del Nottolini (*Indagini geognostiche per Sistema Tangenziale di Lucca – Asse Ovest-Est della Trivelsondaggi S.r.l.*)

I sondaggi sono stati localizzati, come indicato in Figura 3.1.3, in corrispondenza della prevista interferenza tra il progetto della nuova viabilità e l'acquedotto, sul lato nord dell'autostrada Firenze - mare.



Figura 3.1.3 - Localizzazione dei due sondaggi posizionati tra le arcate dell'Acquedotto Nottolini.

L'avanzamento della perforazione, che è stata portata per entrambi a 30 m dal p.c. per consentire, oltre l'esecuzione della geofisica, di indagare i terreni a profondità superiore rispetto a quelle raggiunte dai sondaggi delle precedenti campagne di indagini, è stato del tipo a carotaggio continuo con recupero delle carote, conservate in apposite cassette, da cui si è ricostruita la stratigrafia del tratto di sottosuolo indagato (Figure 3.1.4 e 3.1.5).

Sistema Tangenziale di Lucca
Progetto Preliminare

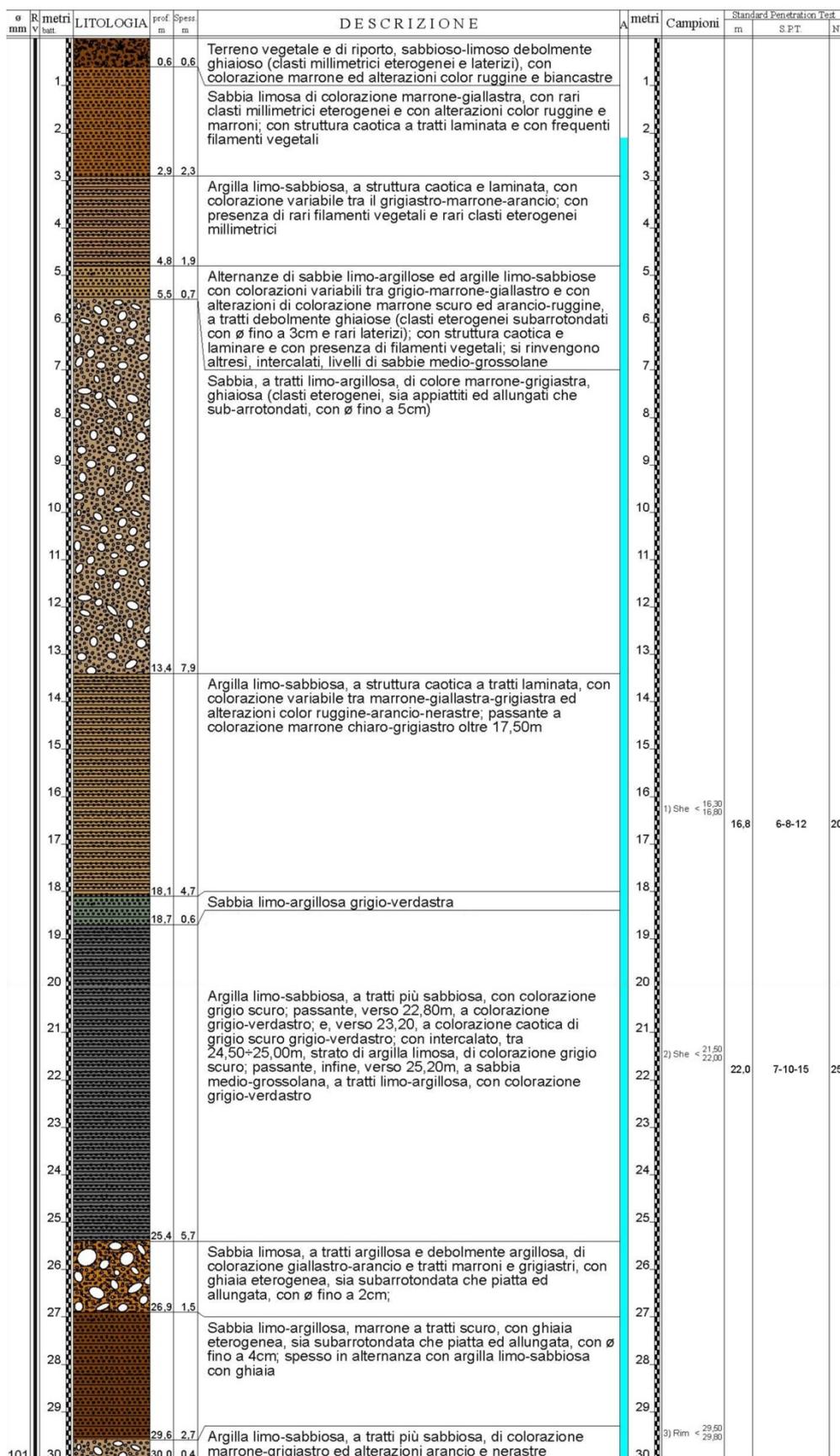


Figura 3.1.4 - Stratigrafia del sondaggio S1 realizzato in Lucca, tra i pilastri dell'acquedotto del Nottolini, nel tratto adiacente all'autostrada, nei giorni 29 e 30 agosto 2012 dalla Trivelsondaggi S.r.l..

Sistema Tangenziale di Lucca
Progetto Preliminare

o mm	R v	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	A metri	Campioni	Standard Penetration Test m	S.P.T.	Test N
		1		0,6	0,6	Terreno vegetale e di riporto, sabbioso limoso debolmente ghiaioso (clasti millimetrici eterogenei e laterizi), con colorazione marrone	1				
		2		2,6	2,0	Sabbia debolmente sabbiosa, di colorazione marrone-giallastra, con rari clasti millimetrici eterogenei e con alterazioni color ruggine, marroni e grigie; con struttura caotica a tratti laminata e con frequenti filamenti vegetali	2				
		3		5,2	2,6	Argilla limo-sabbiosa, a struttura caotica e laminata, con colorazione variabile tra il grigiastro-marrone-arancio; con presenza di rari filamenti vegetali e rari clasti eterogenei millimetrici	3				
		4		6,2	1,0	Alternanze di sabbie limo-argillose ed argille limo-sabbiose con colorazioni variabili tra grigio-marrone giallastro e con alterazioni di colorazione marrone scuro ed arancio-ruggine, a tratti debolmente ghiaiose (clasti eterogenei subarrotondati con ϕ fino a 3cm e rari laterizi); con struttura caotica e laminare e con presenza di filamenti vegetali; si rinvencono altresì, intercalati, livelli di sabbie medio-grossolane	4				
		5		13,8	7,6	Sabbia, a tratti limo-argillosa, di colore marrone-grigiastra, ghiaiosa (clasti eterogenei, sia appiattiti ed allungati che sub-arrotondati, con ϕ fino a 8cm)	5				
		6		19,7	5,9	Argilla limo-sabbiosa, a struttura caotica a tratti laminata, con colorazione variabile tra marrone-giallastra-grigiastra ed alterazioni color ruggine-arancio-nerastre; a tratti debolmente ghiaiosa (clasti eterometrici centimetrici subarrotondati); passante, verso 18,60m, a colorazione marrone-grigiastra con alterazioni color ruggine	6				
		7		25,4	5,7	Argilla limo-sabbiosa, a tratti più sabbiosa, con colorazione grigio scuro; passante, verso 22,80m, a colorazione grigio-verdastro; e, verso 23,20, a colorazione caotica di grigio scuro grigio-verdastro; con intercalato, tra 24,50+25,00m, strato di argilla limosa, di colorazione grigio scuro; passante, infine, verso 25,20m, a sabbia medio-grossolana, a tratti limo-argillosa, con colorazione grigio-verdastro	7				
		8		26,9	1,5	Sabbia limosa, a tratti argillosa e debolmente argillosa, di colorazione giallastro-arancio e tratti marroni e grigiastri, con ghiaia eterogenea, sia subarrotondata che piatta ed allungata, con ϕ fino a 2cm;	8				
		9		29,6	2,7	Sabbia limo-argillosa, marrone a tratti scuro, con ghiaia eterogenea, sia subarrotondata che piatta ed allungata, con ϕ fino a 4cm; spesso in alternanza con argilla limo-sabbiosa con ghiaia	9				
		10		30,0	0,4	Argilla limo-sabbiosa, a tratti più sabbiosa, di colorazione marrone-grigiastra ed alterazioni arancio e nerastre	10				
		11					11				
		12					12				
		13					13				
		14					14	14,0	7-9-11		20
		15					15				
		16					16				
		17					17	1) She < 16,50 16,80	5-9-7		16
		18					18				
		19					19				
		20					20				
		21					21				
		22					22	2) She < 21,50 22,00	7-10-15		25
		23					23				
		24					24				
		25					25				
		26					26				
		27					27				
		28					28				
		29					29				
		30					30	3) Rim < 29,50 29,80			

Figura 3.1.5 - Stratigrafia del sondaggio S2 realizzato in Lucca, tra i pilastri dell'acquedotto del Nottolini, nel tratto adiacente all'autostrada, nei giorni 29 e 30 agosto 2012 dalla Trivelsondaggi S.r.l..

Ciò si è reso necessario in quanto la soluzione progettuale adottata prevede di passare in galleria sotto le arcate dell'acquedotto per evitare qualsiasi tipo di interferenza. La conoscenza dei dati fisico meccanici dei terreni ha consentito il giusto calcolo delle opere da realizzare in sotterraneo.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo si è provveduto al prelievo di campioni indisturbati, laddove i terreni attraversati lo permettevano, utilizzando un campionatore con fustella a pareti sottili (Shelby). La fustella contenente il campione di terreno è stata sigillata con paraffina fusa allo scopo di conservarne l'umidità naturale e riposta in luogo idoneo alla conservazione, fino alla spedizione in laboratorio. Su ogni campione è stata affissa una etichetta contenente i dati relativi al Committente, al cantiere, alla metodologia, alla quota di inizio e fine del prelievo ed alla relativa data.

Sono stati prelevati i seguenti campioni:

<i>SONDAGGIO</i>	<i>n°</i>	<i>PROFONDITÀ DAL P.C.</i>	<i>CAMPIONATORE</i>
S1	1	16,30-16,80	SHELBY
S1	2	24,80-25,30	SHELBY
S2	1	16,30-16,80	SHELBY
S2	2	21,50-22,80	SHELBY
S2	3	19,50-29,80	RIMANEGGIATO

Nel corso dei sondaggi geognostici sono state eseguite prove S.P.T. (Standard Penetration Test) seguendo le metodologie previste dalle norme A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (Giugno 1977) e A.S.T.M. - D1586-67(74); D1586-84.

All'atto del raggiungimento della quota stabilita, si è provveduto alla misurazione del fondo foro con opportuno scandaglio per assicurarsi dell'avvenuta pulizia del foro e successivamente sono state eseguite le prove con la seguente procedura:

- a. impiego di attrezzatura con dispositivo di sganciamento automatico di un maglio dal peso di 63,5 Kg dall'altezza di 76 cm;
- b. all'estremità della batteria di aste collegata al dispositivo di sganciamento del maglio è stato applicato un campionatore Raymond munito di valvola sommitale a sfera; si è provveduto quindi, alla misurazione del numero di colpi del maglio necessari per infiggere tre tratti di 15 cm. del campionatore Raymond, apribile longitudinalmente ed avente le

seguenti caratteristiche: diametro esterno = 51 mm, diametro interno = 35 mm, lunghezza = 457 mm, lunghezza scarpa = 76 mm e angolo scarpa = 60°.

Sono state eseguite le seguenti prove:

<i>SONDAGGIO</i>	<i>PROFONDITÀ DAL P.C.</i>	<i>S.P.T.</i>	<i>N° S.P.T.</i>	<i>TIPO DI PUNTA</i>
S1	16,80-17,25	6-8-12	20	APERTA
S1	25,30-25,75	7-9-16	25	APERTA
S2	14,00-14,45	7-9-11	20	APERTA
S2	16,80-17,25	5-9-7	16	APERTA
S2	22,00-22,45	7-10-15	25	APERTA

3.2 Prospezione sismica

Per la prospezione sismica di tipo *Down Hole*, la cui fase di acquisizione consiste nel registrare l'arrivo delle onde elastiche che si propagano nel terreno, opportunamente generate attraverso una massa battente, è stato attrezzato il sondaggio S1 con tubazione in PVC rigido $\Phi = 90$ mm con la seguente procedura operativa: si è prima installata la tubazione in PVC, protetta dalle tubazioni provvisorie di rivestimento di 127 mm quindi si è eseguito il riempimento di cemento, tra le pareti del foro e l'estradosso del tubo, dal fondo fino al boccaforo.

La procedura d'indagine è quella descritta di seguito. Le onde longitudinali (P) sono ottenute con un colpo verticale della massa battente sulla piastra di alluminio, ubicata a distanza fissa dal foro. Le onde trasversali (S) sono generate da un colpo orizzontale su di una trave solidale col terreno. L'operazione viene ripetuta su entrambi i lati della trave per riconoscere, sul sismogramma l'inversione di fase delle onde trasversali (picco positivo - picco negativo), si è utilizzato un sismografo digitale "ABEM Instrument AB" (Allén 1, S-172 66 Sundbyberg – Sweden – www.abem.se) modello *Terraloc MK8* (matricola n.4091971) a 24 canali con geofoni da foro "AMBROGEO" (www.ambrogeo.com).



Figura 3.2.1 - A sinistra sismografo "ABEM Instrument AB" modello Terraloc MK8. A destra geofono da foro "AMBROGEO".

La prova *Down Hole* è stata eseguita effettuando misure ogni metro, a partire da un metro sotto il piano campagna e fino a fondo foro (30m).

L'allineamento dei geofoni da pozzo è stato mantenuto lungo tutta la verticale del foro grazie all'utilizzo di aste quadre.

La tabella in basso riporta lo schema di misura dei down-hole.

DOWN-HOLE				
Sondaggio	Profondità (m)	Numero misure	Distanza foro/punto energizzazione (m)	Data esecuzione
DH-S01	30	30	2,0	10se12

Tabella 3.2.1 - Schema di misura dei down-hole.

L'intervallo di campionamento utilizzato (sample interval) è stato di 0,025 μ s per le onde P e 0,050 μ s per le onde S, con un numero di campioni (number of samples) di 4096.

La scelta è stata effettuata sulla base della stratigrafia e attraverso la comparazione di più acquisizioni fatte con diverse modalità di campionamento.

Il Down-Hole eseguito ha permesso di caratterizzare dal punto di vista sismo-stratigrafico i terreni rinvenuti nel sondaggio geognostico S1.

Il modello sismo-stratigrafico dell'area ottenuto dall'elaborazione si può riassumere nel seguente schema:

Intervallo di profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0 ÷ 3	342	114
3 ÷ 6	1691	170
6 ÷ 12	1006	388
12 ÷ 18	1679	248
18 ÷ 22	1468	248
22 ÷ 25	1888	298
25 ÷ 30	1281	377

I risultati evidenziano una buona corrispondenza con il modello litostratigrafico.

Sulla base del profilo di velocità delle onde S è stato calcolato il valore della V_{S30} che è stata riferita al piano campagna. Questo è risultato essere di 273 m/s che permette di attribuire i terreni alla classe di suolo C ai sensi delle NTC 2008.

I valori di Poisson mostrano generalmente valori molto alti compresi tra 0,48 e 0,49 per i terreni a maggiore componente fine, mentre gli strati più ghiaiosi hanno valori compresi tra 0,41 e 0,45.

3.3 Prospezione elettrica in foro

La prospezione elettrica in foro di tipo *Cross Hole tomografico*, si effettua tra 2 fori di sondaggio, in ciascuno dei quali si installa un cavo multielettrodo (24 elettrodi) solidale con una tubazione in PVC che ha la funzione di bloccare il cavo. L'anello creato tra la tubazione e le pareti del foro viene riempito con una miscela bilanciata di acqua, cemento e bentonite.

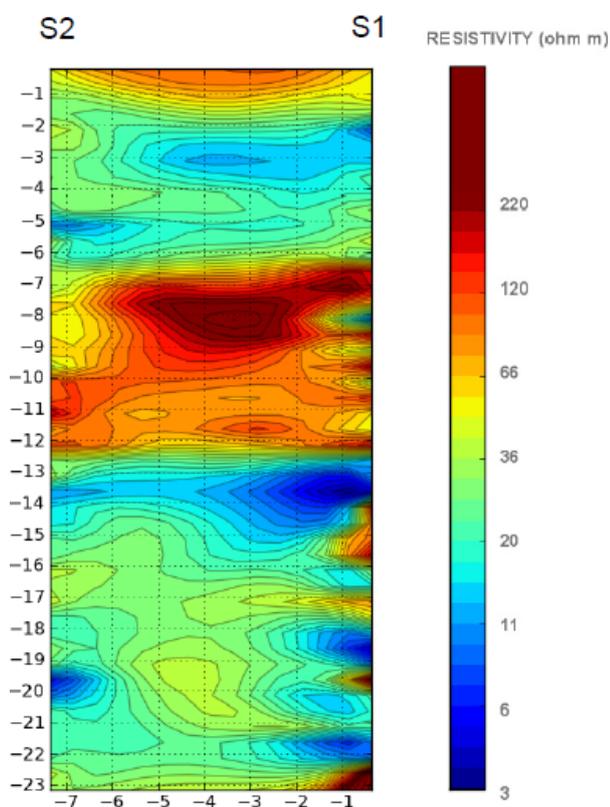


Figura 3.3.1 - A sinistra georestivometro IRIS SYSCAL PRO. A destra messa in posto del cavo multielettrodo.

L'acquisizione dei dati avviene utilizzando un polo di corrente remoto cioè a distanza di molto superiore a quella tra gli elettrodi (70 m) per evitare fenomeni di polarizzazione degli elettrodi stessi che possano inficiare parte delle misure. Queste ultime sono state eseguite con un *georestivimetro IRIS SYSCAL PRO* alimentato da batteria 12 V, in grado di immettere nel terreno, mediante il generatore interno, fino a 800 volt di tensione e una corrente continua di 1A.

Si tratta di una tecnica diagnostica che consente di determinare la distribuzione di resistività elettrica nel sottosuolo a partire da un gran numero di misure di potenziale elettrico compiute mediante elettrodi che normalmente sono posti sulla superficie del terreno.

L'utilizzo di elettrodi in configurazione non convenzionale, all'interno di fori disposti lungo il perimetro di edifici o di manufatti in genere, rappresenta uno sviluppo di ultimissima generazione della tecnica (Fischanger et al., 2007). Ciò consente di analizzare con buon dettaglio le strutture di fondazione dell'edificio oltre che, ovviamente, le caratteristiche locali del terreno di appoggio (tipologie litologiche, zone umide o accumuli di acqua, anomalie resistive attribuibili a cavità o a disomogeneità del terreno al di sotto dell'edificio). Questa metodologia di indagine consente dunque il superamento di quei vincoli che il contesto urbano pone alle tradizionali indagini geotecniche (prove penetrometriche e altro) e nel contempo consente di acquisire una informazione non puntuale ma sulle caratteristiche volumetriche del terreno investigato.



I dati delle misure effettuate all'interno dei fori di sondaggio S1 e S2 sono stati dapprima uniti in un unico data-file dopo essere stati opportunamente filtrati e sono stati elaborati mediante processo di inversione a mezzo del software ERTlab 3D.

Il risultato è rappresentato dalla sezione tomografica di resistività di figura 3.3.2 che poi è stata confrontata con le stratigrafie dei sondaggi. La resistività dei terreni ha una distribuzione stratificata, caratterizzata da materiali a bassa resistività ai quali si interpone un mezzo con valori decisamente maggiori. Questa successione corrisponde con la stratigrafia del sottosuolo che presenta uno strato di sedimenti grossolani compreso tra depositi di sedimenti più fini.

Figura 3.3.2 - Sezione tomografica di resistività.

4 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Le *stratigrafie* ottenute dai due sondaggi sono in tutto paragonabili a quelle ottenute dai sondaggi delle precedenti campagne geognostiche effettuate nell'area in esame. In particolare si rileva come, dopo limi sabbiosi e limi argillosi, ad una profondità compresa tra i 5,50 ed i 6,00 m, si rinvenga una formazione ghiaioso - sabbiosa di colore marrone grigiastro, con clasti eterogenei con \emptyset che può arrivare fino a 8 cm.

Per quanto concerne i risultati della *sismica in foro* (prova *Down Hole*), il modello sismo-stratigrafico che emerge dall'analisi dei dati presenta una buona corrispondenza con quello litostratigrafico. In particolare da p.c. a 3 m si hanno velocità basse (sia P che S) che si incrementano notevolmente (soprattutto le P) fino a 7 metri. Da questa quota sino a 12 m le onde P presentano una diminuzione di velocità (fino a circa 1000 m/s), mentre le S aumentano al valore di circa 380 m/s: si tratta di un sedimento composto da sabbie e ghiaie.

Segue un sismostrato che per le Vs mostra valori costanti di circa 250 m/s sino a 22 m, mentre le Vp mostrano valori prima di circa 1.680 m/s e poi circa 1.470 m/s da 19 a 22 m (si tratta di materiali sciolti fini a principale componente limoso argillosa). Successivamente, e sino alla profondità di 25 m le velocità crescono entrambe, Vp circa 1900 m/s e Vs circa 300 m/s. Infine nell'ultimo strato le sabbie ghiaiose e i limi presentano le massime Vs misurate (377 m/s), mentre le Vp decrescono decisamente sino a 1.280 m/s circa. La Vs₃₀ riferita al piano di campagna è risultato essere di 237 m/s e quindi, come già detto sopra, la Categoria di è C. Per la definizione dell'andamento delle velocità delle onde P ed S e dei relativi parametri elastici si rimanda al Rapporto di indagine geofisica allegato al presente documento.

Infine per quanto concerne la prova elettrica in foro detta *prova Cross Hole tomografico*, i dati ottenuti hanno permesso di evidenziare quanto segue.

La prova, eseguita sulla sezione di terreno compresa tra i due sondaggi realizzati tra le arcate dell'acquedotto Nottolini, mette in evidenza, se si confronta con la relativa stratigrafia (Fig. 4.1), che i materiali presenti hanno in genere una bassa resistività mentre si evidenzia un aumento di quest'ultima in corrispondenza del tratto compreso circa tra i 6,5 ed i 12 metri dal p.c.

Il confronto con la stratigrafia desumibile dalle due perforazioni eseguite consente di giustificare tale aumento con la presenza di uno strato di sedimenti grossolani compreso tra depositi di sedimenti più fini, in accordo con la teoria di questo tipo di strumentazione e con l'esperienza tratta da analisi in terreni consimili.

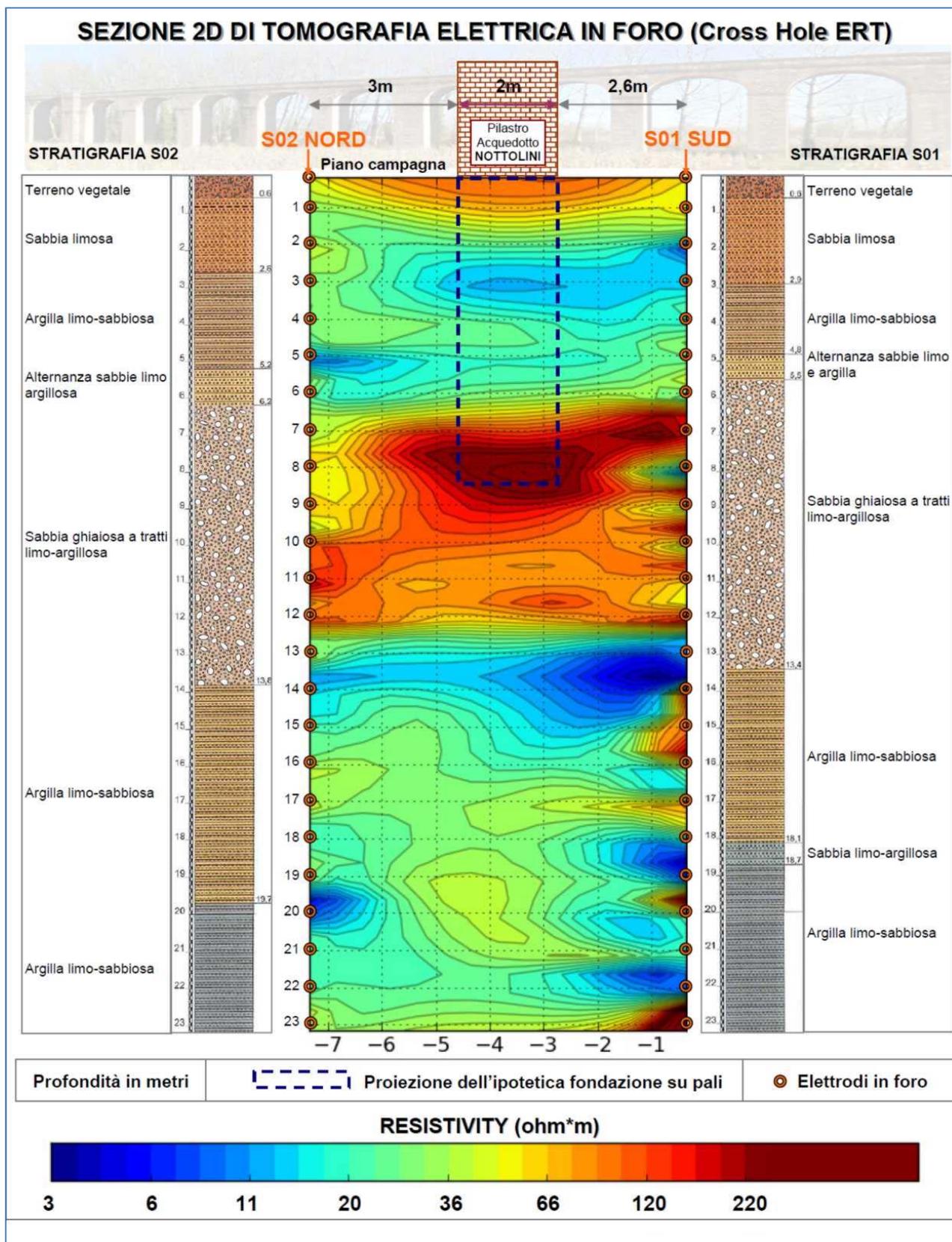


Figura 4.1 - Sezione di tomografia elettrica in foro eseguita sul tracciato dell'Asse Ovest-Est, tra le arcate dell'Acquedotto del Nottolini, affiancata dalle stratigrafie dei sondaggi. In proiezione la linea tratteggiata definisce lo spazio occupato dai supporti pali di fondazione del pilastro.

Dalla lettura della sezione tomografica si deduce inoltre che non sono presenti anomalie di resistività associabili alla supposta presenza di pali in legno che, secondo quanto si evince dalla letteratura, costituirebbero la base su cui sono stati poggiati i plinti di fondazione dei pilastri.

Una ampia anomalia di resistività che non ha una corrispondenza con la stratigrafia è quella, a forma di lente irregolare, che ha il suo massimo tra le quote 7,5 e 9 m dal p.c. La più immediata lettura di questa anomalia potrebbe far pensare ad una maggiore percentuale dello scheletro ghiaioso per "addensamento naturale" ma la circostanza che la lente si trovi proprio in corrispondenza della proiezione del pilastro permette di ipotizzare che l'addensamento dei sedimenti non sia naturale.

In effetti, se si tiene conto che i pali in legno utilizzati per questo tipo di fondazioni (di una lunghezza variabile tra i 10 ed i 20 m secondo quanto si desume dalla letteratura) erano rinforzati con una "puntazza" in acciaio alla base ed una cuffia in sommità ed erano messi in opera con sistemi di battuta azionati e sollevati a mano o a manovella, si può ipotizzare che la forte anomalia segnalata possa essere dovuta all'addensamento delle ghiaie sotto l'effetto della pressione ed alla presenza delle "puntazze" in metallo (del tipo mostrato nelle figure a lato) messe in opera per proteggere la punta dei pali.

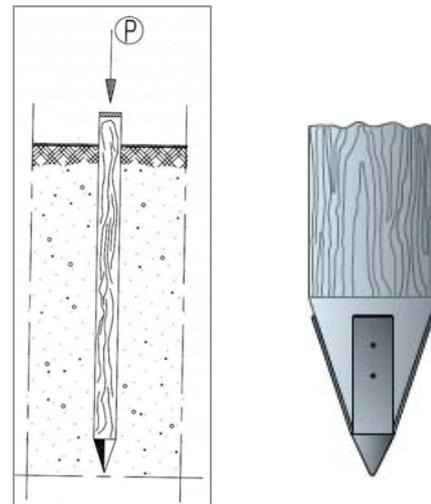


Figura 4.2 - Esempio di infissione di palo e particolare con la "puntazza".

L'apparente contraddizione tra la profondità prevista di circa 12 m e quella di 9 m, deducibile dall'interpretazione dei risultati della tomografia, potrebbe essere superata se si considera che l'infissione dei pali ha sicuramente trovato una forte resistenza nell'attraversare lo strato di ghiaie e sabbie, come si deduce dai valori delle prove penetrometriche eseguite nel sondaggio S03 (realizzato nella precedente campagna di indagini del 2004), a breve distanza ed i cui risultati sono presenti nell'elaborato T00GE00GEORE04A facente parte dello Studio generale, geologico, idrogeologico, geotecnico allegato al Progetto Preliminare. Da questi dati si evince che le prove penetrometriche (SPT) allora eseguite riportano per questo strato valori N_{SPT} compresi tra 53 e 61 che, come detto nelle Norme AGI, indicano la presenza di materiale "molto addensato", questo in accordo con i risultati della citata tomografia.

Sulla base di queste osservazioni è probabile che la massima profondità dei pali sia compresa tra gli otto ed i nove metri dal piano campagna. Dalla citata tomografia si può inoltre dedurre, sempre con riferimento alle variazioni di resistività, che la profondità della fondazione in muratura

del pilastro ha un valore compreso tra i 2 ed i 2,5 metri dal piano campagna.

Come già evidenziato la strada di progetto, ovvero l'Asse Ovest-Est, interseca l'acquedotto Nottolini al km 1+200 circa di progetto. In dettaglio si prevede di sottopassare l'acquedotto con una trincea dal km 0+803 che consente di abbassare la livelletta fino al km 1+243 dove inizia la galleria artificiale che termina al km 1+393. Successivamente un tratto in trincea fino al km 2+108 consente di riportare la livelletta al p.d.c. In questa zona la stratigrafia (Fig. 4.3) ricostruita dal citato sondaggio S03 (realizzato nel 2004) e dai due sondaggi S1 e S2 (realizzato nel 2012), ha evidenziato la presenza di una copertura limoso-sabbioso-argillosa (Bellettone) a profondità variabili tra 6,2 e 7,5 m dal p.c., seguita da uno spessore di circa 7 m di sabbie e ghiaie resistenti. Al di sotto sono stati rinvenuti depositi prevalentemente argillosi e argilloso-limosi, talora assai plastici, con spessori di circa 12 m, seguiti da sedimenti da addensati a molto addensati, riconducibili a depositi fluvio-lacustri, costituiti da prevalenti sabbie e ghiaie in abbondante matrice argilloso-limosa con intercalazioni di limi argilloso-sabbiosi compatti.

Dal punto di vista geotecnico l'orizzonte di copertura superficiale del Bellettone può essere descritto dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati tra 4,50 m e 4,80 m e tra 4,80 m e 5,10 m, denotando il passaggio da una facies più sabbiosa ad una più marcatamente limosa con valori di coesione drenata di 18 Kpa ed angolo di attrito di 14°, mentre all'orizzonte di sabbie e ghiaie, tramite le prove Nspt eseguite in situ (profondità di 7,8 m e di 10,0 m) sono attribuibili valori di angoli di attrito interno di circa 37°. Le argille limoso-sabbiose sottostanti alle ghiaie sono state campionate nei due sondaggi recenti ed hanno dato, per lo strato più sabbioso, intorno ai 16,5 m di profondità, valori di coesione drenata di 0,0 kPa e di angolo d'attrito tra 31,6° e 32,2°; per gli strati più argillosi alla profondità di 21,5 m, si ha $C = 7,6$ kPa e $\varphi = 28,3^\circ$; l'ultimo strato indagato, alla profondità di circa 25 m, ha valori di $c = 0,0$ e di $\varphi = 38,4^\circ$. Infine, la prova SPT eseguita nei depositi fluvio-lacustri preconsolidati (profondità di 25,5 m) ha fornito un valore di angolo di attrito interno pari a 36°, mentre le analisi effettuate sul campione CR2 (prelevato alla profondità compresa tra 26,0 m e 26,5 m) e distinguibile granulometricamente in due frazioni, hanno dato per la porzione più fine dei valori di $LL = 43$, $Lp = 27$ e $Ip = 16$, mentre sulla porzione a composizione sabbiosa dei valori dei limiti $LL = 29$, $Lp = 20$ e $Ip = 9$.

In relazione al locale assetto geologico-tecnico, le opere strutturali che dovranno essere realizzate in corrispondenza delle arcate dell'acquedotto, saranno con tutta probabilità ancorate in corrispondenza dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso che presenta profondità comprese tra 7,5 m e 12,7 m nel sondaggio S03 del 2004 e tra 6,0 e 13,5 quale media dei valori trovati con i sondaggi del 2012. Il passaggio avverrà per mezzo di una galleria artificiale che interesserà (vedi Fig. 4.3) gli orizzonti di terreno già citati e dei quali si sono dati i parametri geotecnici.

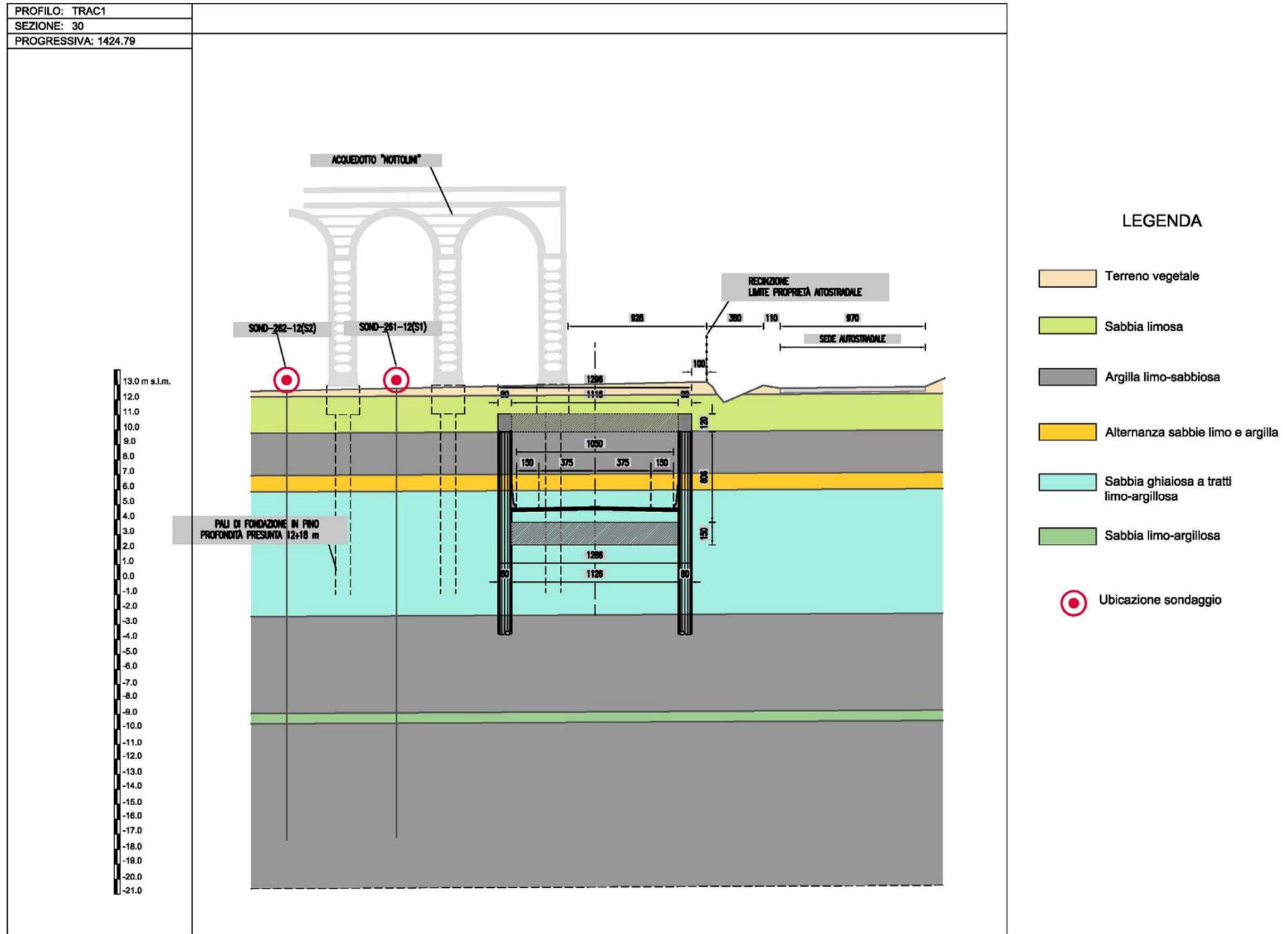


Figura 4.3 - Sezione stratigrafica di dettaglio in corrispondenza dell'acquedotto del Nottolini

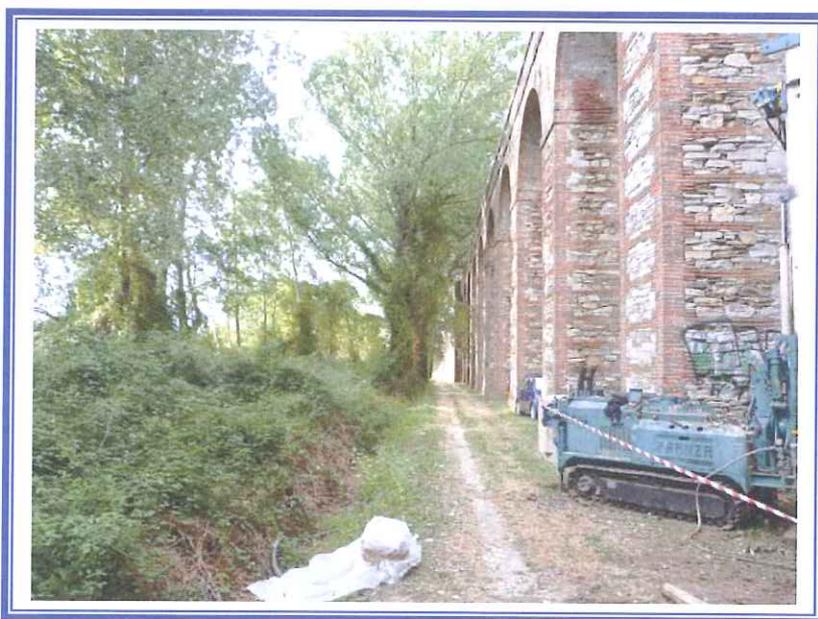
ALLEGATO 1
Indagini geognostiche



TRIVEL SONDAGGI S.r.l.

Att. SOA n.8850/17/00 Cat. OS21 Cl. III

- Sondaggi geognostici
- Esplorazione del sottosuolo con mezzi meccanici
- Prove penetrometriche statiche e dinamiche
- Micropali - Iniezioni - Tiranti



COMMITTENTE:
TECNIC SPA

OGGETTO:
INDAGINI GEOGNOSTICHE PER SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA – ASSE OVEST-EST

LOCALITA' : LUCCA – ACQUEDOTTO NOTTOLINI

ALLEGATI: COLONNE E CERTIFICATI STRATIGRAFICI
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
CERTIFICATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE TIPO S.P.T.

DATA: SETTEMBRE 2012

Decreto di autorizzazione ministeriale n. 1271 del 08.02.2011

TRIVEL SONDAGGI S.r.l.
IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Geol. Roberto Rolandi



1.0 PREMESSA

2.0 SONDAGGI GEOGNOSTICI

3.0 PRELIEVO CAMPIONI INDISTURBATI

4.0 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S. P. T

5.0 CONDIZIONAMENTO DEL PERFORO PER PROVA DOWN-HOLE

6.0 UBICAZIONE INDAGINI

ALLEGATI

COLONNE E CERTIFICATI STRATIGRAFICI

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S. P. T.



1.0 PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla Società **TECNIC SPA** l'Impresa **TRIVEL SONDAGGI S.r.L.** ha eseguito n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati ed esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro, tipo S.P.T., relativi al progetto “**INDAGINI GEOGNOSTICHE PER SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA – ASSE OVEST-EST**” nel Comune di **LUCCA** in Loc. **ACQUEDOTTO NOTTOLINI**.

2.0 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Per l'esecuzione dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo è stata utilizzata attrezzatura di perforazione costituita da una sonda a rotazione **FRANZA MAF 600** avente le seguenti caratteristiche:

- attrezzatura a testa di rotazione idraulica
- velocità di rotazione di 300 giri/min
- coppia massima > 600 Kgm
- azionamento oleodinamico
- carro cingolato
- morsa idraulica
- pompa per acqua Bellin MG500L
- argano idraulico
- carotiere semplice
- carotiere doppio tipo T6
- tubazione metallica di rivestimento diametro 127mm.
- campionatore Shelby a pareti sottili
- attrezzatura per Standard Penetration Test

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state catalogate in apposite cassette con coperchio apribile munite di setti separatori, fotografate ed analizzate da un geologo.

I certificati relativi alla stesura delle colonne stratigrafiche sono forniti in appendice e contengono le seguenti informazioni:

- indicazione sul cantiere, committente, numero progressivo, lunghezza del sondaggio, l'inclinazione e la scala grafica;
- profondità dal p.c. dei litotipi e loro descrizione litologica;
- percentuale di carotaggio;
- diametro del foro, metodo di perforazione e metodo di stabilizzazione;
- livello di rinvenimento dell'eventuale falda;
- quota e metodologia di prelievo di campioni indisturbati.

I sondaggi sono stati condizionati con tubazione in P.V.C. con diametro di 90 mm per dare luogo alle successive prove sismiche in foro.

3.0 PRELIEVO CAMPIONI INDISTURBATI

Nel corso della campagna indagini geognostiche si è provveduto al prelievo di campioni indisturbati, laddove i terreni attraversati lo permettevano, utilizzando un campionatore con fustella a pareti sottili (*Shelby*). La fustella contenente il campione di terreno estratto è costituita da un tubo in acciaio inox con la base tagliente e con angolo di scarpa compreso tra 4° e 15°, tale da rendere ininfluenza il disturbo per effetto delle operazioni di prelievo. La fustella contenente il campione di terreno all'atto della estrazione è stata separata dal campionatore e sigillata con paraffina fusa allo scopo di conservarne l'umidità naturale e riposta in luogo idoneo alla conservazione, fino alla spedizione in laboratorio. Su ogni campione è stata affissa una etichetta contenente i dati relativi al Committente, al cantiere, alla metodologia, alla quota di inizio e fine ed alla data del prelievo.

<i>SONDAGGIO</i>	<i>C.I.</i>	<i>PROFONDITA' DAL P.C.</i>	<i>CAMPIONATORE</i>
SOND-261-12 (S1)	N° 1	16,30-16,80	SHELBY
SOND-261-12 (S1)	N° 2	24,80-25,30	SHELBY
SOND-262-12 (S2)	N° 1	16,30-16,80	SHELBY
SOND-262-12 (S2)	N° 2	21,50-22,80	SHELBY
SOND-262-12 (S2)	N° 3	19,50-29,80	RIMANEGGIATO

TAB. 1 : RIEPILOGATIVA DEI CAMPIONI

4.0 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S. P. T.

Nel corso dei sondaggi geognostici sono state eseguite prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*) seguendo le metodologie previste dalle seguenti norme:

- **A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (Giugno 1977)**
- **A.S.T.M. - D1586-67(74) ; D1586-84**

All'atto del raggiungimento della quota stabilita, si è provveduto alla misurazione del fondo foro con opportuno scandaglio per assicurarsi dell'avvenuta pulizia del foro e successivamente sono state eseguite le prove con la seguente procedura:

- a. impiego di attrezzatura con dispositivo di sganciamento automatico di un maglio dal peso di 63,5 Kg dall'altezza di 76 cm;
- b. all'estremità della batteria di aste collegata al dispositivo di sganciamento del maglio è stato applicato un campionatore *Raymond* munito di valvola sommitale a sfera; si è provveduto quindi, alla misurazione del numero di colpi del maglio necessari per infiggere tre tratti di 15 cm. del campionatore *Raymond*, apribile longitudinalmente ed avente le seguenti caratteristiche:



- Diametro esterno = 51 mm.
- Diametro interno = 35 mm.
- Lunghezza = 457 mm.
- Lunghezza scarpa = 76 mm.
- Angolo scarpa = 60°

<i>SONDAGGIO</i>	<i>PROFONDITA' DAL P.C.</i>	<i>S.P.T.</i>	<i>N° S.P.T.</i>	<i>TIPO DI PUNTA</i>
SOND-261-12 (S1)	16,80-17,25	6-8-12	20	APERTA
SOND-261-12 (S1)	25,30-25,75	7-9-16	25	APERTA
SOND-262-12 (S2)	14,00-14,45	7-9-11	20	APERTA
SOND-262-12 (S2)	16,80-17,25	5-9-7	16	APERTA
SOND-262-12 (S2)	22,00-22,45	7-10-15	25	APERTA

TAB. 2 : RIEPILOGATIVA DELLE PROVE S.P.T.

L'esecuzione delle prove ha seguito le seguenti fasi:

1. controllo della quota di prova con opportuno scandaglio;
2. posa in opera a fondo foro del campionatore Raymond collegato alla batteria di aste;
3. infissione dei tre tratti di 15 cm. contando separatamente il numero di colpi occorrenti;
4. estrazione del campionatore con recupero del suo contenuto e sua sigillatura in sacchetti di cellophane.

5.0 CONDIZIONAMENTO DEI PERFORI PER PROVA DOWN-HOLE

I sondaggi sono stati condizionati con tubazione in PVC rigido $\Phi = \text{mm.90}$, per dar seguito a prova sismica di tipo down-hole con la seguente procedura operativa.

All'atto del raggiungimento della quota stabilita, si è provveduto alla misurazione del fondo foro con opportuno scandaglio e successivamente si è installata la tubazione in PVC, protetta dalle tubazioni provvisorie di rivestimento di 127 mm; il riempimento di cemento, tra le pareti del foro e l'estradosso del tubo, ha caratterizzato il tratto che va dal fondo foro fino al boccaforo.

6.0 UBICAZIONE INDAGINI

Le coordinate relative all' ubicazioni delle indagini, sono state rilevate in campagna con GPS, modello TRIMBLE sc, con errore max di circa 2,00 m. Tutte le coordinate sono riferite al sistema geodetico WGS -84 in coordinate piane U.T.M., nel fuso di appartenenza (Fuso 33)

<i>SONDAGGIO</i>	<i>COORDINATE WGS-84-F32</i>	<i>PROFONDITA' DAL P.C.</i>
SOND-261-12 (S1)	4853967 N- 621549 E	30,00 m
SOND-262-12 (S2)	4853973 N- 621547 E	30,00 m

TAB. 3 : RIEPILOGATIVA DELLE COORDINATE DELLE INDAGINI

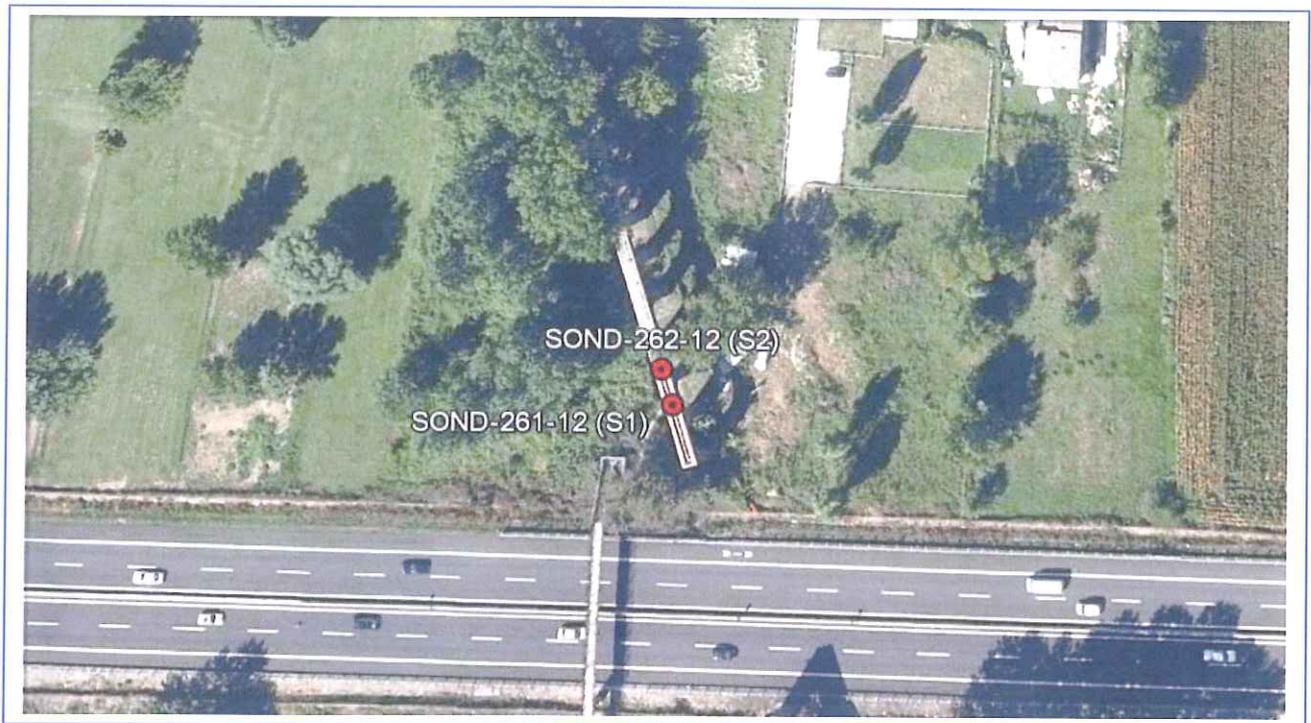


FIG. 1 : UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Tutti i risultati delle indagini e prove su citate, sono riportati negli allegati grafici che compongono il presente fascicolo che si rilascia al committente

Crispano (NA), settembre 2012

TRIVEL SONDAGGI S.r.l.
 IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
 Dott. Geol. Roberto Rolandi

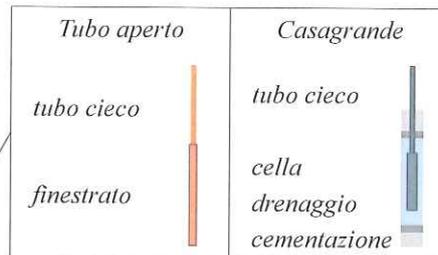


LEGENDA STRATIGRAFIA

o mm	R v	metri	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	A metri	Campioni	Standard Penetration Test			Prel. %	Pz	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Rivestimento
- 3) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 4) Simbolo litologico
- 5) Profondità della base dello strato (m)
- 6) Spessore dello strato (m)
- 7) Descrizione della litologia dello strato
- 8) Profondità dell'acqua
- 9) Scala metrica
- 10) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
- 11) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 12) Prova S.P.T.
- 13) Valore di N_{spt}
- 14) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 15) Piezometri

She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT





Certificato n° 1182 del 30/08/2012	Verbale di accettazione n° 0593 del 30/08/2012	Commessa: 297-12
Committente: TECNIC SPA		Sondaggio: SOND-261-12 (S1)
Riferimento: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST		Data: 29-30/08/2012
Coordinate: 4853967 N - 621549 E		Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO		

SCALA 1:100 **STRATIGRAFIA - SOND-261-12 (S1)** Pagina 1/2

o mm	R V	metri bat.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	A metri	Campioni	Standard Penetration Test		Prel. %	Pz
									m	S.P.T.	N	0 --- 100
1				0,6	0,6	Terreno vegetale e di riporto, sabbioso-limoso debolmente ghiaioso (clasti millimetrici eterogenei e laterizi), con colorazione marrone ed alterazioni color ruggine e biancastre	1					
2						Sabbia limosa di colorazione marrone-giallastra, con rari clasti millimetrici eterogenei e con alterazioni color ruggine e marroni; con struttura caotica a tratti laminata e con frequenti filamenti vegetali	2					
3				2,9	2,3		3					
4						Argilla limo-sabbiosa, a struttura caotica e laminata, con colorazione variabile tra il grigiastro-marrone-arancio; con presenza di rari filamenti vegetali e rari clasti eterogenei millimetrici	4					
5				4,8	1,9		5					
6				5,5	0,7	Alternanze di sabbie limo-argillose ed argille limo-sabbiose con colorazioni variabili tra grigio-marrone-giallastro e con alterazioni di colorazione marrone scuro ed arancio-ruggine, a tratti debolmente ghiaiose (clasti eterogenei subarrotondati con ø fino a 3cm e rari laterizi); con struttura caotica e laminare e con presenza di filamenti vegetali; si rinvencono altresì, intercalati, livelli di sabbie medio-grossolane	6					
7						Sabbia, a tratti limo-argillosa, di colore marrone-grigiastro, ghiaiosa (clasti eterogenei, sia appiattiti ed allungati che sub-arrotondati, con ø fino a 5cm)	7					
8							8					
9							9					
10							10					
11							11					
12							12					
13				13,4	7,9		13					
14						Argilla limo-sabbiosa, a struttura caotica a tratti laminata, con colorazione variabile tra marrone-giallastra-grigiastro ed alterazioni color ruggine-arancio-nerastre; passante a colorazione marrone chiaro-grigiastro oltre 17,50m	14					
15							15					
16							16					
17							17		1) She < 16,30 16,80	16,8	6-8-12	20
18				18,1	4,7	Sabbia limo-argillosa grigio-verdastra	18					
19				18,7	0,6	Argilla limo-sabbiosa, di colorazione grigio-scuro, passante a colorazione grigio-verdastra verso 22,50m e a colorazione caotica di grigio e grigio-verdastro oltre i 23,00m; passante, infine, verso 24,40m, a sabbia medio grossolana. a tratti limo-argillosa, di colorazione grigio-verdastra	19					
20							20					



Certificato n° 1182 del 30/08/2012	Verbale di accettazione n° 0593 del 30/08/2012	Commessa: 297-12
Committente: TECNIC SPA		Sondaggio: SOND-261-12 (S1)
Riferimento: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST		Data: 29-30/08/2012
Coordinate: 4853967 N - 621549 E		Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO		

SCALA 1:100 **STRATIGRAFIA - SOND-261-12 (S1)** Pagina 2/2

o mm	R v	metri batt.	LITOLOGIA	prof m	Spess m	DESCRIZIONE	A metri	Campioni	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	Prel. % 0 --- 100	Pz
21						Argilla limo-sabbiosa, di colorazione grigio-scuro, passante a colorazione grigio-verdastra verso 22,50m e a colorazione caotica di grigio e grigio-verdastro oltre i 23,00m; passante, infine, verso 24,40m, a sabbia medio grossolana. a tratti limo-argillosa, di colorazione grigio-verdastra	21						
22							22						
23							23						
24							24						
25				24,7	6,0	Sabbia limosa, a tratti debolmente argillosa, di colorazione giallastro-arancio e con alterazioni marroni e nerastre	25	2) She < 24,80 25,30	25,3	7-9-16	25		
26							26						
27				26,8	2,1	Sabbia limosa, di colorazione marrone chiaro e scuro, a tratti medio grossolana, con ghiaia eterogenea, subarrotondata e subangolare, con ø fino a 4cm	27						
28						Sabbia, a tratti medio-grossolana, di colorazione marrone-giallastra, debolmente limosa e debolmente ghiaiosa (clasti eterogenei subarrotondati con ø fino a 2cm); tendente, verso 29,20m, a sabbia limosa, di colorazione marrone chiaro-ocra, con ghiaia (clasti eterogenei subarrotondati con ø fino a 2cm)	28						
29				28,6	1,8		29						
30				29,8 30,0	1,2 0,2	Limo sabbioso-argilloso, di colorazione marrone-grigiastro ed alterazioni arancio e nerastre	30						

- INSTALLAZIONE E POSA IN OPERA DI TUBO Ø 90mm IN PVC E CAVO CON SENSORI PER SUCCESSIVE PROVE GEOELETTRICHE E SISMICHE.

- IL LIVELLO DELLA FALDA E' STATO MISURATO A FINE PERFORAZIONE (LIVELLO RINVENUTO E NON LIVELLO STABILIZZATO) ED IN UN PERIODO STAGIONALE DI SICCAITA'.



Certificato n° 1182 del 30/08/2012	Verbale di accettazione n° 0593 del 30/08/2012	Commessa: 297-12
Committente: TECNIC SPA		Sondaggio: SOND-261-12 (S1)
Riferimento: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST		Data: 29-30/08/2012
Fotografie - Pagina 1/1		Pagina 1



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00



Postazione



Postazione



TRIVEL SONDAGGI Srl
 Strada Prov. Le Castella - Crispiano, 27
 80020 - Crispiano (BA)
 Tel/Fax 0803345997
 guida@trivelsondaggi.it
 www.trivelsondaggi.it



Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture n. 1271 del 08/02/2011
 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni
 e prove in sito art. 59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 7619/STC del 08/09/10

CERTIFICATO N°: 1180 del 30/08/2012
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 0593 del 30/08/2012
DATA DI ESECUZIONE DELLA PROVA: 30/08/2012

COMMESSA: 297-12
SIGLA SONDAGGIO: SOND-261-12
SIGLA PROVA S.P.T.: SPT-360-12

COMMITTENTE: TECNIC SPA
RIFERIMENTO: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST
SONDAGGIO: SOND-261-12 (S1)

STANDARD PENETRATION TEST (A.G.I. 1977)

PROVA N°: 1	TIPO DI PUNTA: <input checked="" type="radio"/> APERTA <input type="radio"/> CHIUSA
PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
16,80	16,95	6
16,95	17,10	8
17,10	17,25	12
NSPT		20

NOTE:

Il Responsabile di sito
 DOTT. GEOL. SANDRO VITALE



Il Direttore
 DOTT. GEOL. ROBERTO ROLANDI





TRIVEL SONDAGGI Srl
 Strada Prov.le Cardano - Ortopasso, 27
 00127 - Città del Vaticano
 Tel/Fax: 0113145697
 guida@trivelsondaggi.it
 www.trivelsondaggi.it



Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture n. 1271 del 08/02/2011
 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni
 e prove in sito art. 59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 7619/STC del 08/09/10

CERTIFICATO N°: 1181 del 30/08/2012
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 0593 del 30/08/2012
DATA DI ESECUZIONE DELLA PROVA: 30/08/2012

COMMESSA: 297-12
SIGLA SONDAGGIO: SOND-261-12
SIGLA PROVA S.P.T.: SPT-361-12

COMMITTENTE: TECNIC SPA
RIFERIMENTO: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST
SONDAGGIO: SOND-261-12 (S1)

**STANDARD PENETRATION TEST
(A.G.I. 1977)**

PROVA N°: 2	TIPO DI PUNTA: <input checked="" type="radio"/> APERTA <input type="radio"/> CHIUSA
PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
25,30	25,45	7
25,45	25,60	9
25,60	25,75	16
NSPT		25

NOTE:

Il Responsabile di sito
 DOTT. GEOL. SANDRO VITALE



Il Direttore
 DOTT. GEOL. ROBERTO ROLANDI





Certificato n° 1186 del 31/08/2012	Verbale di accettazione n° 0594 del 31/08/2012	Commessa: 297-12
Committente: TECNIC SPA		Sondaggio: SOND-262-12 (S2)
Riferimento: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST		Data: 30-31/08/2012
Coordinate: 4853973 N - 621547 E		Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO		

SCALA 1:100 **STRATIGRAFIA - SOND-262-12 (S2)** Pagina 1/2

o mm	R v	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	A metri	Campioni	Standard Penetration Test		Prel. 0	% 100	Pz
									m	S.P.T.			
1				0.6	0.6	Terreno vegetale e di riporto, sabbioso limoso debolmente ghiaioso (clasti millimetrici eterogenei e laterizi), con colorazione marrone	1						
2				2.6	2.0	Sabbia debolmente sabbiosa, di colorazione marrone-giallastra, con rari clasti millimetrici eterogenei e con alterazioni color ruggine, marroni e grigie; con struttura caotica a tratti laminata e con frequenti filamenti vegetali	2						
3						Argilla limo-sabbiosa, a struttura caotica e laminata, con colorazione variabile tra il grigiastro-marrone-arancio; con presenza di rari filamenti vegetali e rari clasti eterogenei millimetrici	3						
4							4						
5				5.2	2.6		5						
6				6.2	1.0	Alternanze di sabbie limo-argillose ed argille limo-sabbiose con colorazioni variabili tra grigio-marrone giallastro e con alterazioni di colorazione marrone scuro ed arancio-ruggine, a tratti debolmente ghiaiose (clasti eterogenei subarrotondati con ϕ fino a 3cm e rari laterizi); con struttura caotica e laminare e con presenza di filamenti vegetali; si rinvencono altresì, intercalati, livelli di sabbie medio-grossolane	6						
7						Sabbia, a tratti limo-argillosa, di colore marrone-grigiastro, ghiaiosa (clasti eterogenei, sia appiattiti ed allungati che sub-arrotondati, con ϕ fino a 8cm)	7						
8							8						
9							9						
10							10						
11							11						
12							12						
13							13						
14				13.8	7.6	Argilla limo-sabbiosa, a struttura caotica a tratti laminata, con colorazione variabile tra marrone-giallastra-grigiastro ed alterazioni color ruggine-arancio-nerastre; a tratti debolmente ghiaiosa (clasti eterometrici centimetrici subarrotondati); passante, verso 18.60m, a colorazione marrone-grigiastro con alterazioni color ruggine	14		14,0	7-9-11	20		
15							15						
16							16						
17							17		16,8	5-9-7	16		
18							18						
19						Argilla limo-sabbiosa, a tratti più sabbiosa, con colorazione grigio scuro; passante, verso 22,80m, a colorazione grigio-verdastro; e, verso 23,20, a colorazione caotica di grigio scuro grigio-verdastro; con intercalato, tra 24,50÷25,00m, strato di argilla limosa, di colorazione grigio scuro; passante, infine, verso 25,20m, a sabbia medio-grossolana, a tratti limo-argillosa, con colorazione grigio-verdastro	19						
20				19,7	5,9		20						





TRIVEL SONDAGGI Srl
 Strada Pieve Le Carle - Crispino, 27
 56026 - Grosseto (GR)
 Tel/Fax 0578345697
 guida@trivelsondaggi.it
 www.trivelsondaggi.it



Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture n. 1271 del 08/02/2011
 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni
 e prove in sito art. 59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 7619/STC del 08/09/10

Certificato n° 1186 del 31/08/2012	Verbale di accettazione n° 0594 del 31/08/2012	Commessa: 297-12
Committente: TECNIC SPA		Sondaggio: SOND-262-12 (S2)
Riferimento: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST		Data: 30-31/08/2012
Coordinate: 4853973 N - 621547 E		Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO		

SCALA 1:100 **STRATIGRAFIA - SOND-262-12 (S2)** Pagina 2/2

o mm	R V	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	A metri	Campioni	Standard Penetration Test		Prel. % 0 --- 100	Pz
									m	S.P.T.		
		21				Argilla limo-sabbiosa, a tratti più sabbiosa, con colorazione grigio scuro; passante, verso 22,80m, a colorazione grigio-verdastro; e, verso 23,20, a colorazione caotica di grigio scuro grigio-verdastro; con intercalato, tra 24,50+25,00m, strato di argilla limosa, di colorazione grigio scuro; passante, infine, verso 25,20m, a sabbia medio-grossolana, a tratti limo-argillosa, con colorazione grigio-verdastro	21					
		22					22	2) She < 21,50 22,00	22,0	7-10-15	25	
		23					23					
		24					24					
		25		25,4	5,7		25					
		26				Sabbia limosa, a tratti argillosa e debolmente argillosa, di colorazione giallastro-arancio e tratti marroni e grigiastri, con ghiaia eterogenea, sia subarrotondata che piatta ed allungata, con ø fino a 2cm;	26					
		27		26,9	1,5		27					
		28				Sabbia limo-argillosa, marrone a tratti scuro, con ghiaia eterogenea, sia subarrotondata che piatta ed allungata, con ø fino a 4cm; spesso in alternanza con argilla limo-sabbiosa con ghiaia	28					
		29					29					
101		30		29,6	2,7	Argilla limo-sabbiosa, a tratti più sabbiosa, di colorazione marrone-grigiastro ed alterazioni arancio e nerastre	30	3) Rim < 29,50 29,80				

- INSTALLAZIONE E POSA IN OPERA DI TUBO Ø 90mm IN PVC E CAVO CON SENSORI PER SUCCESSIVE PROVE GEOELETTRICHE E SISMICHE.

- IL LIVELLO DELLA FALDA E' STATO MISURATO A FINE PERFORAZIONE (LIVELLO RINVENUTO E NON LIVELLO STABILIZZATO) ED IN UN PERIODO STAGIONALE DI SICCAITA'.

MD.Cert.ST

Il Responsabile di sito
 DOTT. GEOL. SANDRO VITALE



Il Direttore
 DOTT. GEOL. ROBERTO ROLANDI



Certificato n° 1186 del 31/08/2012	Verbale di accettazione n° 0594 del 31/08/2012	Commessa: 297-12
Committente: TECNIC SPA		Sondaggio: SOND-262-12 (S2)
Riferimento: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST		Data: 30-31/08/2012
Fotografie - Pagina 1/1		Pagina 1



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00



Postazione



Postazione



TRIVEL SONDAGGI S.r.l.
 Strada Prov.le Caserta - Origgio, 27
 80020 - Origgio (VA)
 Tel. 0331/45697
 guida@trivelsondaggi.it
 www.trivelsondaggi.it



Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture n. 1271 del 08/02/2011
 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni
 e prove in sito art. 59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 7619/STC del 08/09/10

CERTIFICATO N°: 1183 del 31/08/2012
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 0594 del 31/08/2012
DATA DI ESECUZIONE DELLA PROVA: 31/08/2012

COMMESSA: 297-12
SIGLA SONDAGGIO: SOND-262-12
SIGLA PROVA S.P.T.: SPT-362-12

COMMITTENTE: TECNIC SPA
RIFERIMENTO: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST
SONDAGGIO: SOND-262-12 (S2)

STANDARD PENETRATION TEST (A.G.I. 1977)

PROVA N°: 1	TIPO DI PUNTA: <input checked="" type="radio"/> APERTA <input type="radio"/> CHIUSA
PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
14,00	14,15	7
14,15	14,30	9
14,30	14,45	11
NSPT		20

NOTE:

Il Responsabile di sito
 DOTT. GEOL. SANDRO VITALE



Il Direttore
 DOTT. GEOL. ROBERTO ROLANDI





TRIVEL SONDAGGI S.r.l.
 Strada D'ora In Casale - Crispiano, 27
 05020 - Crispiano (GR)
 Tel/Fax 011345697
 guida@trivelsondaggi.it
 www.trivelsondaggi.it



Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture n. 1271 del 08/02/2011
 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni
 e prove in sito art. 59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 7619/STC del 08/09/10

CERTIFICATO N°: 1184 del 31/08/2012
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 0594 del 31/08/2012
DATA DI ESECUZIONE DELLA PROVA: 31/08/2012

COMMESSA: 297-12
SIGLA SONDAGGIO: SOND-262-12
SIGLA PROVA S.P.T.: SPT-363-12

COMMITTENTE: TECNIC SPA
RIFERIMENTO: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST
SONDAGGIO: SOND-262-12 (S2)

**STANDARD PENETRATION TEST
(A.G.I. 1977)**

PROVA N°: 2	TIPO DI PUNTA: <input checked="" type="radio"/> APERTA <input type="radio"/> CHIUSA
PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
16,80	16,95	5
16,95	17,10	9
17,10	17,25	7
NSPT		16

NOTE:

Il Responsabile di sito
 DOTT. GEOL. SANDRO VITALE



Il Direttore
 DOTT. GEOL. ROBERTO ROLANDI





TRIVEL SONDAGGI S.r.l.
Strada Prov. Le Castella - Crispiano, 27
80020 - Crispiano (BA)
Tel/Fax 081234567
guida@trivelsondaggi.it
www.trivelsondaggi.it



Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture n. 1271 del 08/02/2011
esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni
e prove in sito art. 59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 7619/STC del 08/09/10

CERTIFICATO N°: 1185 del 31/08/2012

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 0594 del 31/08/2012

DATA DI ESECUZIONE DELLA PROVA: 31/08/2012

COMMESSA: 297-12

SIGLA SONDAGGIO: SOND-262-12

SIGLA PROVA S.P.T.: SPT-364-12

COMMITTENTE: TECNIC SPA

RIFERIMENTO: SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA - ASSE OVEST-EST

SONDAGGIO: SOND-262-12 (S2)

STANDARD PENETRATION TEST (A.G.I. 1977)

PROVA N°: 3

TIPO DI PUNTA: APERTA CHIUSA

PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
22,00	22,15	7
22,15	22,30	10
22,30	22,45	15
NSPT		25

NOTE:

Il Responsabile di sito
DOTT. GEOL. SANDRO VITALE



Il Direttore
DOTT. GEOL. ROBERTO ROLANDI



ALLEGATO 2
Rapporto di indagine geofisica



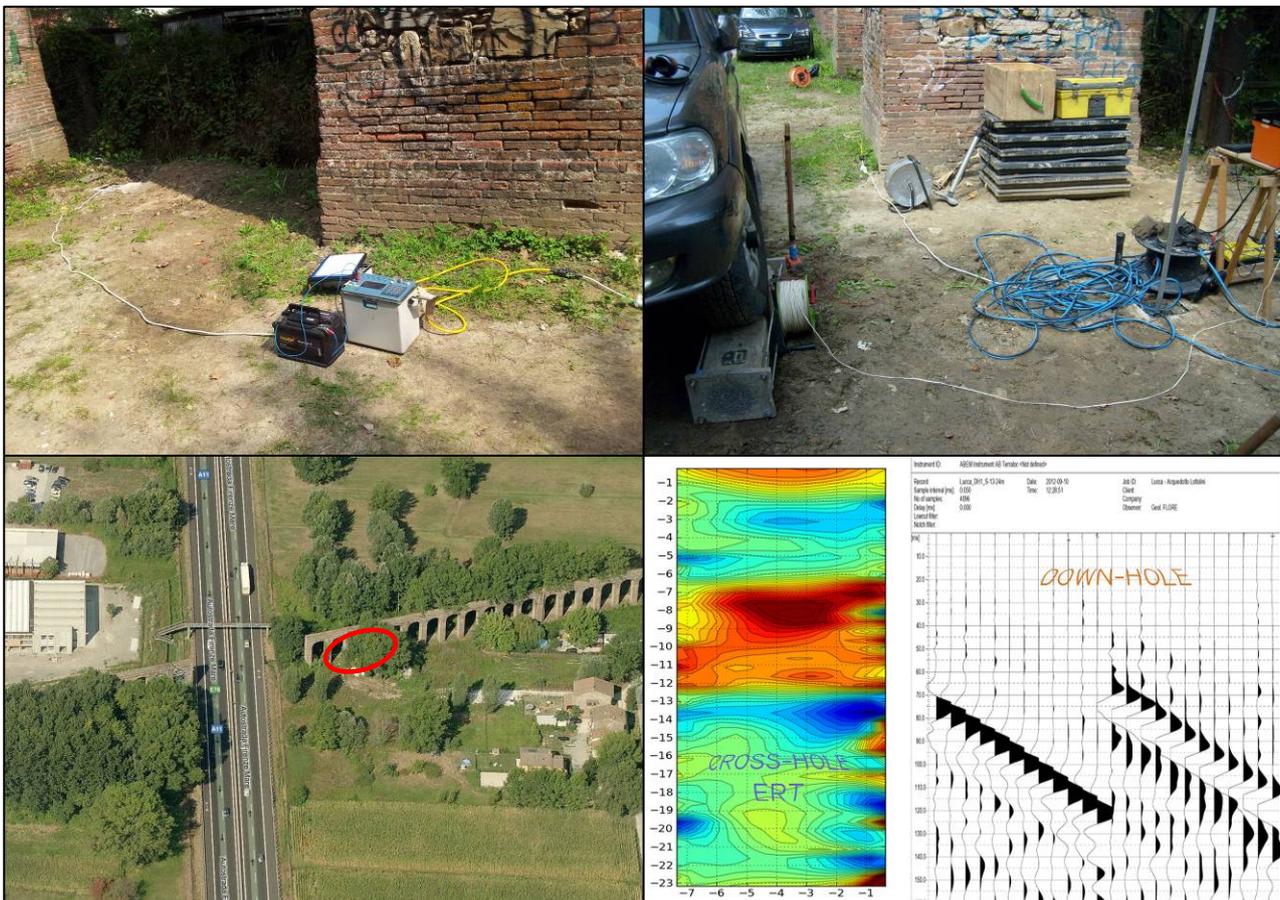
POLOGEOLOGICO srl
servizi nel campo della geologia applicata

COMUNE DI LUCCA



PROGETTO DEL SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA ASSE OVEST-EST

Località: LUCCA, via del Barchino



RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA

Committente: **TECNIC S.p.A. – Via Panama 86 Roma (Italy)**

- Settembre 2012 -





INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
3. SISMICA IN FORO - PROVA DOWN-HOLE	4
3.1 - Strumenti per l'acquisizione dati	4
3.2 - Modalità operative	5
3.3 - Analisi dei dati	5
4. CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI IN TERMINI DI VS30	6
5. ELETTRICA IN FORO – PROVA CROSS HOLE TOMOGRAFICO	8
5.1 - Strumenti per l'acquisizione dati	8
5.2 - Analisi dei dati	9
6. CONCLUSIONI	10
APPENDICE - SISMICA IN FORO.....	11
Principi generali	11
Correlazione tra le velocità delle onde sismiche ed i parametri elastici	11
Metodo Down-Hole	14
APPENDICE - ELETTRICA IN FORO - CROSS HOLE TOMOGRAFICO.....	15

ALLEGATI IN TESTO

Allegato 1 - Ubicazione area d'indagine
Allegato 2 - Tabella riassuntiva dati del DH
Allegato 3 - Dromocrone velocità Vp sul grafico tempo - profondità del DH
Allegato 4 - Dromocrone velocità Vs sul grafico tempo - profondità del DH
Allegato 5 - Grafico delle velocità Vp e Vs del DH
Allegato 6 - Grafico coefficiente Poisson del DH
Allegato 7 - Grafico parametri elastici (E e G) del DH
Allegato 8 - Vs30 e Categoria di suolo del DH
Allegato 9 - Sismogrammi del DH
Allegato 10 - Sezione geoelettrica interpretativa del CH ERT
Allegato 11 - Documentazione Fotografica



1. PREMESSA

La società Polo Geologico srl di Roma, su incarico della TECNIC S.p.A. (Via Panama 86, Roma-Italy) che segue il progetto del “Sistema Tangenziale di Lucca Asse Ovest-Est”, ha eseguito nei pressi dell’Acquedotto Nottolini un’indagine geofisica consistente in una prova sismica tipo down-hole, per calcolare la Vs30 e la categoria di suolo dei terreni di fondazione, e una prova elettrica tipo cross-hole tomografico, per individuare la natura (supposta presenza di pali in legno) della fondazione dei pilastri dell’acquedotto e determinarne la profondità massima.

Il risultato del down-hole è rappresentato dalle velocità delle onde P ed S dei terreni di fondazione, da cui sono stati calcolati i moduli elastici in regime dinamico (E e G), il coefficiente di Poisson e la Vs30; la categoria di suolo come definita nella tabella del parag. 3.2.3 delle NTC2008 è stata determinata tenendo conto della Vs30, del profilo verticale di velocità delle onde S e del log litostratigrafico.

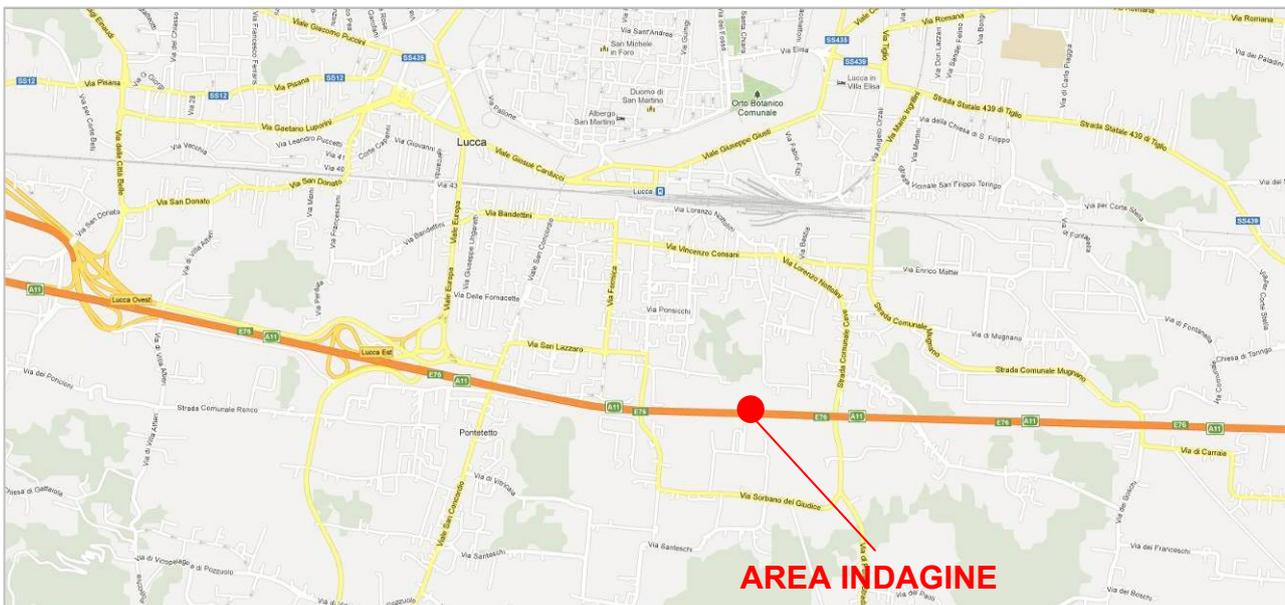
I valori dei parametri della prova sono esposti nei grafici e nelle tabelle degli Allegati in Testò.

Il risultato del cross-hole elettrico tomografico è rappresentato dalla sezione di resistività dei terreni, tra i sondaggi S01 e S02, fino alla profondità di circa 23 metri; in questa sezione le variazioni di resistività sembrano associate sostanzialmente più ai cambiamenti di tipo granulometrico osservati nei sondaggi che non alla presenza degli elementi strutturali che si prefiggeva di individuare con l’indagine elettrica.

La sezione di resistività con i log stratigrafici è visibile negli Allegati in Testò.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La zona d’indagine ricade nel comune di Lucca, nei pressi della strada vicinale del Barchino; il punto del DH realizzato nel foro di sondaggio S1 si trova al di sotto delle arcate dell’acquedotto, a circa 20m a Nord dell’Autostrada A11. I riferimenti cartografici sono le tavolette (scala 1:25000) IGM Serie 25 n. 261 II (Lucca) e III (Massarosa).



Ubicazione area d’indagine da mappa stradale via web



Di seguito si riportano le coordinate geografiche e piane in *datum* WGS84 del punto del Down-hole, rilevato attraverso GPS palmare con accuratezza circa 4m

Position Type	Lat Lon
Degrees Lat Long	43.8288139°, 010.5117361°
Degrees Minutes	43°49.72883', 010°30.70417'
Degrees Minutes Seconds	43°49'43.7300", 010°30'42.2500"
UTM	32T 621550mE 4853970mN





3. SISMICA IN FORO - PROVA DOWN-HOLE

3.1 - Strumenti per l'acquisizione dati

- Sismografo digitale "ABEM Instrument AB" (Allén 1, S-172 66 Sundbyberg – Sweden – www.abem.se) modello **Terraloc MK8** (matricola n.4091971) a 24 canali dotato di:

- possibilità di visualizzazione istantanea delle tracce su display 8,4" TFT LCD attivo;
- possibilità di registrazione ad incremento di segnale (stacking);
- funzione di monitoring dei disturbi;
- dispositivi di filtraggio selettivo;
- ritardo di acquisizione preselezionabile;
- zoom delle tracce video;
- computer interno Low power AMD LX800 500 MHz/1 GB RAM (OS Windows XP) con software di acquisizione SeisTW;
- interfaccia USB 2.0 per lo scaricamento dei dati;
- Convertitore A/D 21Bits;
- Intervallo minimo di campionamento 25µs e numero massimo di campioni 16392.



- Geofono da foro "AMBROGEO" (www.ambrogeo.com) composto da:

- n. 2 geofoni tridimensionali intervallati di un metro e solidali tramite supporto rigido in teflon;
- ancoraggio dei geofoni al foro con sistema pneumatico;
- cavo geofonico di 100 metri;
- sistema di orientamento dei geofoni orizzontali di tipo meccanico mediante aste quadre in alluminio.



La possibilità di allineare i geofoni orizzontali con la direzione di propagazione delle onde di taglio permette di riconoscere l'onda S rispetto alla P che risulterà smorzata.

Invertendo il verso di vibrazione, attraverso l'esecuzione di energizzazioni trasversali opposte, si ottiene un'onda S con fase positiva e negativa, mentre l'onda P normalmente non si polarizza. Quindi il riconoscimento del primo arrivo dell'onda S risulterà evidente con l'arrivo contemporaneo delle due fasi.

L'inizio della registrazione al sismografo è dato da un impulso di tipo elettrico che si attiva al contatto tra piastra di battuta e massa battente. L'impulso sismico è generato meccanicamente, attraverso la percussione di una piastra in alluminio, solidale col terreno, ad opera di una massa battente di 5kg.



3.2 - Modalità operative

La fase di acquisizione consiste nel registrare l'arrivo delle onde elastiche che si propagano nel terreno, opportunamente generate attraverso una massa battente. Le onde longitudinali (P) sono ottenute con un colpo verticale della massa battente sulla piastra di alluminio, ubicata a distanza fissa dal foro. Le onde trasversali (S) sono generate da un colpo orizzontale su di una trave solidale col terreno. L'operazione viene ripetuta su entrambi i lati della trave per riconoscere, sul sismogramma l'inversione di fase delle onde trasversali (picco positivo - picco negativo).

La prova down-hole in esame è stata eseguita effettuando misure ogni metro, a partire da un metro sotto il piano campagna e fino a fondo foro (30m).

L'allineamento dei geofoni da pozzo è stato mantenuto lungo tutta la verticale del foro grazie all'utilizzo di aste quadre.

La tabella in basso riporta lo schema di misura dei down-hole.

DOWN-HOLE				
Sondaggio	Profondità (m)	Numero misure	Distanza foro/punto energizzazione (m)	Data esecuzione
DH-S01	30	30	2,0	10se12

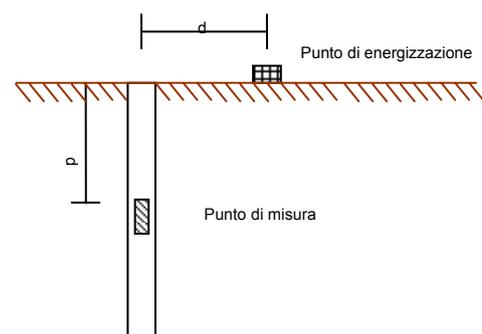
L'intervallo di campionamento utilizzato (sample interval) è stato di $0,025 \mu s$ per le onde P e $0,050 \mu s$ per le onde S, con un numero di campioni (number of samples) di 4096.

La scelta è stata effettuata sulla base della stratigrafia e attraverso la comparazione di più acquisizioni fatte con diverse modalità di campionamento.

3.3 – Analisi dei dati

I sismogrammi acquisiti e registrati su hard disk sono stati successivamente analizzati per l'acquisizione dei tempi di arrivo delle onde longitudinali (P) e trasversali (S).

Per il miglioramento del rapporto segnale rumore è stata utilizzata, nella fase di acquisizione, la modalità (stacking). Essa consiste nella possibilità di migliorare il rapporto segnale/rumore del sismogramma di una misura con la sommatoria di più energizzazioni.



I tempi dell'onda P e S sono stati "normalizzati" rispetto alla verticale del foro tramite semplici calcoli trigonometrici che tengono conto della distanza del punto di energizzazione rispetto alla quota del geofono nel foro di sondaggio.

Il segnale registrato è risultato buono, controllando il rumore ambientale ed eventualmente procedendo a qualche ripetizione, anche in sommatoria.

L'unico tratto con qualche disturbo si è avuto tra 9 e 13m dal pc.

I valori di peso specifico dei terreni per il calcolo dei moduli elastici sono stati desunti da dati bibliografici.



Il modello sismostratigrafico che emerge dall'analisi dei dati presenta una buona corrispondenza con quello litostratigrafico.

In particolare da pc a 3m si hanno velocità basse (sia P che S) che si incrementano notevolmente (soprattutto le P) fino a 7metri. Da questa quota sino a 12m le onde P presentano un diminuzione di velocità (fino a circa 1000m/s), mentre le S aumentano al valore di circa 380m/s: si tratta di un sedimento composto da sabbie e ghiaie.

Segue un sismostrato che per le Vs mostra valori costanti di circa 250m/s sino a 22m, mentre le Vp mostrano valori prima di circa 1680m/s e poi circa 1470m/s da 19 a 22m (si tratta di materiali sciolti fini a principale componente limoso argillosa).

Successivamente, e sino alla profondità di 25m le velocità crescono entrambe, Vp circa 1900m/s e Vs circa 300m/s.

Infine l'ultimo strato di sabbie ghiaiose e limi presentano le massime Vs misurate (377m/s), mentre le Vp decrescono decisamente sino a 1280m/s circa.

Per la definizione dell'andamento delle velocità delle onde P ed S e dei relativi parametri elastici si rimanda agli allegati.

4. CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI IN TERMINI DI Vs30

La nuova normativa sismica italiana O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche ed integrazioni, la normativa tecnica europea (Eurocodici EC 7 e EC 8) e le più avanzate normative internazionali, attribuiscono la giusta importanza alla caratterizzazione sismica del terreno su cui dovranno essere realizzate opere di qualunque natura (edifici residenziali e industriali, opere di sostegno e di stabilizzazione di versanti, rilevati stradali, opere infrastrutturali, argini, dighe e opere idrauliche, gallerie, ponti e opere strutturali di grandi dimensioni).

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico in particolare e dinamico in generale, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio Vs degli strati di terreno presenti nel sito, fino alla profondità di almeno 30 m dal piano campagna, secondo quanto richiesto dalle sopraccitate normative. Il profilo delle onde di taglio Vs nei primi 30 m di profondità risulta necessario per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura;
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito;
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno;
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici.

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m di profondità è possibile determinare una velocità equivalente Vs30 rappresentativa del sito in esame, che consente di classificare il sito come suolo di tipo A, B, C, D, E, S1, S2 secondo la nuova normativa sismica italiana o secondo la normativa europea Eurocodice 8.



Il calcolo viene sviluppato utilizzando la stratigrafia Vs e la seguente formula:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Si riporta la tabella contenuta nell'OPCM 3274/2003 in base allo schema di classificazione dei siti.

Classificazione del tipo di suolo secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC 14/01/2008		
Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30 (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360÷800
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	180÷360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180
E	Terreni dei sottosuoli tipo C e D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs>800 m/s)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s 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
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	

Di seguito vengono riassunte la Categoria di suolo e la Vs30 riferite al piano campagna.

Vs30 E CATEGORIA DI SUOLO		
Down hole	Vs30 m/s	Categoria di suolo
DH-S01	237	C



5. ELETTRICA IN FORO – PROVA CROSS HOLE TOMOGRAFICO

5.1 - Strumenti per l'acquisizione dati

Le misure sono state eseguite con un georestivimetro IRIS SYSCAL PRO alimentato da batteria 12 V, in grado di immettere nel terreno, mediante il generatore interno, fino a 800 volt di tensione e una corrente continua di 1A.



Lo strumento opera sia con sistema operativo interno sia l'interfaccia al pc portatile per mezzo di programmi complementari di acquisizione e di salvataggio dei dati, ELECTRE II e PROSYS II.

La strumentazione descritta consente, mediante opportune elaborazioni matematiche, la misura della resistività elettrica apparente del sottosuolo.



La misura cross-hole si effettua tra 2 fori di sondaggio, in ciascuno dei quali si installa un cavo multielettrodo (24 elettrodi) solidale con una tubazione in PVC che ha la funzione di bloccare il cavo.

L'anello creato tra la tubazione e le pareti del foro viene riempito con una miscela bilanciata di acqua, cemento e bentonite.

L'acquisizione dei dati avviene utilizzando un polo di corrente remoto cioè a distanza di molto superiore a quella tra elettrodi (70m) per evitare fenomeni di polarizzazione degli elettrodi che possano inficiare parte delle misure.

Per una ridondanza di dati, la prova è stata acquisita con la configurazione dipolo-dipolo verticale, dipolo-dipolo orizzontale e polo-dipolo, per un totale di circa 5500 misure (reciproci inclusi).

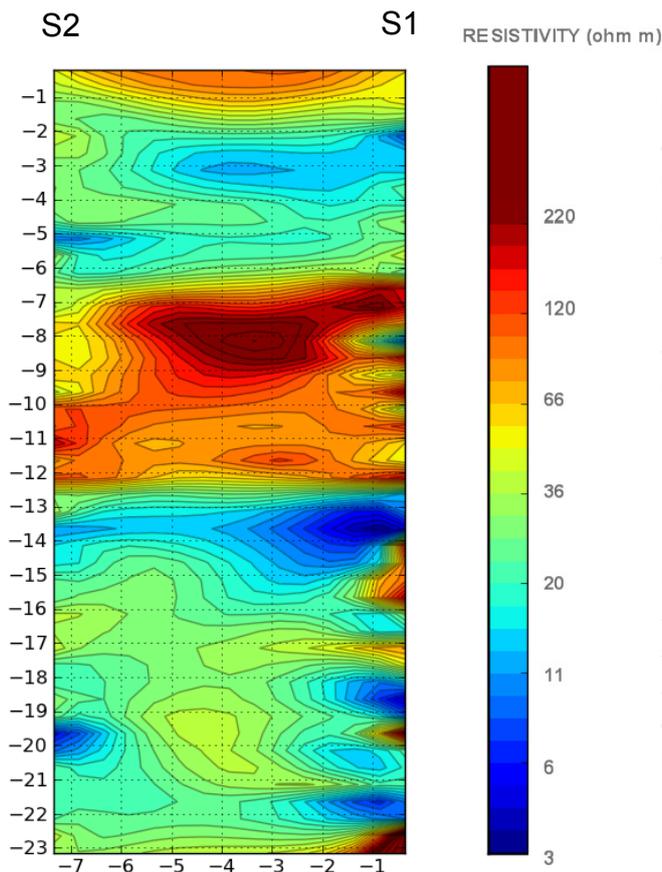
Dall'analisi dei reciproci è emersa una discreta rumorosità del sito, che causa una peggiore definizione della sezione tomografica, in particolare negli strati più conduttivi superficiali, dove la combinazione di misure è minore.



5.2 – Analisi dei dati

I dati delle misure effettuate all'interno di fori di sondaggio S1 e S2 sono stati dapprima uniti in un unico datafile e, dopo essere stati opportunamente filtrati, sono stati elaborati mediante processo di inversione a mezzo del software ERTlab 3D.

Il risultato è rappresentato dalla sezione tomografica di resistività delimitata dalle verticali dei sondaggi.



La resistività dei terreni ha una distribuzione stratificata, caratterizzata da materiali a bassa resistività ai quali si interpone un mezzo con valori decisamente maggiori.

Questa successione corrisponde con la stratigrafia del sottosuolo che presenta uno strato di sedimenti grossolani compreso tra depositi di sedimenti più fini.

In questa sezione non emergono anomalie di resistività associabili ai supposti elementi di fondazione che secondo quanto riportato in letteratura dovrebbero essere rappresentati da pali in legno infissi sotto il pilastro in esame.

Tuttavia, anche se non vi è evidenza della presenza dei pali e soprattutto della loro profondità, si può ipotizzare la quota base analizzando opportunamente la sezione di resistività rispetto alla stratigrafia.

La sezione di resistività mostra i valori maggiori in corrispondenza del banco sabbioso-ghiaioso, che sono, peraltro, distribuiti nella zona centrale, esattamente dove ci si aspetta di trovare le fondazioni.

Questi valori elevati sicuramente corrispondono a terreni con una maggiore percentuale dello scheletro ghiaioso e quindi possono considerarsi uno strato molto resistente alla penetrazione di un palo in legno, che all'epoca della costruzione dell'acquedotto (1812-1853) era messo in opera con sistemi di battuta azionati e sollevati a mano o a manovella.

Nella sezione di resistività inclusa negli Allegati in Testa, sono riportate la stratigrafia dei sondaggi S1 e S2, la posizione del pilastro dell'acquedotto con la sua proiezione



verticale e la posizione della zona maggiormente resistiva che potrebbe per le ragioni enunciate rappresentare la base dei pali di fondazione.

6. CONCLUSIONI

Il Down-Hole eseguito per il progetto del “Sistema Tangenziale di Lucca Asse Ovest-Est” ha permesso di caratterizzare dal punto di vista sismostratigrafico i terreni rinvenuti nel sondaggio geonostico S01.

Il modello sismostratigrafico dell’area ottenuto dall’elaborazione si può riassumere nel seguente schema:

Intervallo di profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0 ÷ 3	342	114
3 ÷ 6	1691	170
6 ÷ 12	1006	388
12 ÷ 18	1679	248
18 ÷ 22	1468	248
22 ÷ 25	1888	298
25 ÷ 30	1281	377

I risultati evidenziano una buona corrispondenza con il modello litostratigrafico.

Sulla base del profilo di velocità delle onde S è stato calcolato il valore della Vs30 che è stata riferita al piano campagna. Questo è risultato essere di **273 m/s** che permette di attribuire i terreni alla classe di suolo **C** ai sensi delle NTC 2008.

I valori di Poisson mostrano generalmente valori molto alti compresi tra 0,48 e 0,49 per i terreni a maggiore componente fine, mentre gli strati più ghiaiosi hanno valori compresi tra 0,41 e 0,45.

L’indagine elettrica eseguita per individuare l’eventuale presenza di pali di fondazione del pilastro in esame non ha evidenziato questi elementi strutturali, però la presenza di una pseudolente molto resistiva, che testimonia una maggiore percentuale dello scheletro clastico, può considerarsi un livello molto resistente all’infissione di un palo di legno.

Settembre 2012



Polo Geologico Srl



APPENDICE - SISMICA IN FORO

Principi generali

L'obiettivo delle indagini geofisiche in foro è quello di ottenere dalla determinazione delle velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S) i parametri elasto-meccanici quali il coefficiente di Poisson (ν), il Modulo di Young (**E**) ed il modulo di Taglio (**G**) attraverso l'ausilio di formule matematiche.

Il Coefficiente di Poisson è un numero dimensionale ed è senza dubbio il parametro che consente la più rapida valutazione della qualità meccanica dei litotipi investigati. A parità di litologia un aumento o una diminuzione del modulo ν indica rispettivamente un peggioramento o un miglioramento delle qualità geomeccaniche.

Tra i fattori che influenzano la velocità di propagazione delle onde longitudinali e trasversali, e quindi il valore del coefficiente di Poisson, vanno ricordati la fratturazione, la presenza di fluidi, la porosità, la facies mineralogica e petrografica, il carico litostatico e l'età geologica.

Correlazione tra le velocità delle onde sismiche ed i parametri elastici

La liberazione istantanea di energia nel terreno genera un sistema di onde sismiche la cui propagazione è regolata dalle classiche leggi della fisica.

Le deformazioni e le tensioni generate da una sollecitazione artificiale impulsiva sono abbastanza complesse, ma nell'ambito di queste note è sufficiente far riferimento ai due tipi principali di onde sismiche, dette anche onde di volume (body waves): le onde sismiche di compressione (longitudinali, onde prime) e le onde sismiche di taglio (trasversali, onde seconde).

Le onde di volume si propagano nel terreno in ogni direzione ed intercettando il piano topografico danno origine sullo stesso ad onde di natura diversa (Rayleigh, Love) che si propagano esclusivamente in superficie.

Nel loro complesso, le onde sismiche creano sollecitazioni, e conseguenti deformazioni, nel mezzo attraversato, che generalmente ricadono nel campo elastico del diagramma sforzi/deformazioni; in questo ambito, sono pertanto applicabili le relazioni classiche della teoria dell'elasticità.

Le onde sismiche longitudinali sono deformazioni che si propagano in linea retta, con un'alternanza continua di compressioni e dilatazioni della materia lungo il percorso di propagazione. Ogni particella di materia oscilla attorno al suo punto di quiete lungo un asse coincidente con il raggio di propagazione dell'onda sismica.

Le onde sismiche di taglio sono invece deformazioni che si propagano nella stessa direzione delle precedenti, ma con un'oscillazione delle particelle ortogonale alla direzione di propagazione della perturbazione.

La velocità di propagazione delle onde sismiche dipende dalle costanti elastiche e dalla densità del mezzo attraversato, pertanto risulterà variabile in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche del terreno interessato.

In uno stesso tipo di materiale le velocità di propagazione dei vari tipi di onde differiscono tra loro: le più veloci sono le onde di compressione, a cui seguono le onde di taglio e successivamente le diverse onde superficiali.

Poiché le tensioni e le deformazioni che si generano nel campo sismico sono di modestissima entità, anche il terreno e le rocce sollecitate in questo ambito possono essere considerate in prima approssimazione come materiali omogenei, isotropi ed



elastici. E' applicabile quindi la legge di Hooke (proporzionalità tra lo sforzo applicato (σ) e la deformazione prodotta (ε):

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

La costante **E**, definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale, rappresenta il modulo elastico (o di Young) del materiale. E' importante sottolineare che in campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico (e non statico), ricavandosi tale modulo da prove dinamiche (o sismiche).

Il modulo di Young ha le dimensioni di una pressione; nei terreni e nelle rocce è molto variabile con valori massimi dell'ordine di 10^5 MPa.

In relazione alla variabilità di E le rocce sono suddivise in: quasi elastiche quelle che presentano un E compreso tra 6 e 11×10^4 MPa (rocce a grana fine massicce e metamorfiche); semi-elastiche le rocce con E compreso tra 4 e 6×10^4 MPa (rocce a grana fine con buona coesione e bassa porosità); non elastiche con E minore di 4×10^4 MPa si intendono terreni e rocce caratterizzate da grana grossolana, porosità medio alta e medio-bassa coesione.

Il rapporto tra la sollecitazione ortogonale (trasversale o di taglio) e la deformazione definisce il modulo di elasticità tangenziale (taglio) **G**.

Anche questo parametro ha le dimensioni di una pressione ed il suo valore dipende, come si nota nella seguente formula (9), dalla velocità delle onde di Taglio (S) e densità del materiale; nei terreni e nelle rocce è quindi molto variabile con valori normalmente compresi tra 10 e 1×10^5 MPa.

Il rapporto tra la tensione idrostatica e la deformazione cubica (o di volume) definisce il modulo di compressione cubica (o di Bulk) **k**.

Infine il modulo (o rapporto) di Poisson ν è definito come il rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale.

Tale modulo varia da 0 a 0,5, con valore medio di 0,25 per molte rocce: i valori tendono a 0,05 per materiali estremamente duri ed a 0,45 per i materiali incoerenti.

Per i fluidi il modulo assume il valore limite di 0,5.

In senso più generale possono ancora essere definite le costanti di Lamè, **l** e **m**, come caratteristiche elastiche indipendenti dalle direzioni lungo cui vengono registrate le deformazioni. Queste due costanti sono definite dalle relazioni:

$$l = (\nu E) / [(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)] \quad (1)$$

$$m = E / [2 \cdot (1 + \nu)] \quad (2)$$

Analogamente i due moduli E e ν possono essere espressi in funzione delle costanti di Lamè l e m:

$$E = m \cdot (3l + 2m) / (l + m) \quad (3)$$

$$\nu = l / [2 \cdot (l + m)] \quad (4)$$

La seconda costante di Lamè m ha lo stesso significato fisico del modulo di elasticità tangenziale **G** prima definito.

Come dimensione il modulo elastico e le due costanti di Lamè esprimono il rapporto tra una forza ed una superficie mentre il modulo di Poisson è adimensionale.

Un ultimo parametro entra a far parte delle relazioni tra caratteristiche elastiche e velocità: si tratta della densità ρ espressa come rapporto tra massa e volume.

Le velocità longitudinale V_p e trasversale V_s si correlano alle costanti elastiche con le relazioni:



$$V_p = [(1 + 2m) / \rho]^{1/2} \quad (5)$$

$$V_s = [m / \rho]^{1/2} \quad (6)$$

Pertanto, avendo determinato i valori di V_p e V_s con rilievi sismici ed il valore della densità con prove di laboratorio, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche che caratterizzano i terreni esaminati con le espressioni:

$$\nu = 0,5 \cdot [(V_p/V_s)^2 - 2] / [(V_p/V_s)^2 - 1] \quad (7)$$

$$E = \rho \cdot V_p^2 \cdot [(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)] / (1 - \nu) = 2 \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu) \quad (8)$$

$$G = \rho V_s^2 \quad (9)$$

L'analisi delle varie relazioni illustrate permette una serie di considerazioni che si traducono in altrettanti comportamenti fisici riscontrabili nell'applicazione pratica.

Il confronto fra le espressioni (5) e (6) delle velocità conferma come per uno stesso materiale la velocità longitudinale abbia sempre un valore superiore a quello trasversale.

Per i fluidi il modulo di Poisson vale 0,5 e la seconda costante di Lamè $m = 0$: ne risulta che nei fluidi non possono essere trasmessi sforzi di taglio e quindi la velocità longitudinale ha sempre un valore superiore a quello della velocità trasversale.

Il rapporto tra le velocità di propagazione V_s/V_p è solo funzione del modulo di Poisson: al variare del modulo da 0 a 0,5, il rapporto varia da 0,7 a 0. Per il valore medio delle rocce ($\nu = 0,25$) il rapporto vale $V_s/V_p = 0,58$.

Va ricordato infine che i parametri ricavati per via dinamica hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche in laboratorio, proprio per il diverso campo di sollecitazione applicata e la diversa deformazione raggiunta.

I valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali variano da poche centinaia di metri al secondo sino ad alcune migliaia (7-8) di metri al secondo.

Velocità inferiori alla velocità del suono nell'aria (344 m/s) sono misurabili in terreni soffici superficiali anidri con elevato contenuto di materiali organici.

Gli stessi materiali, saturi d'acqua, incrementano i loro valori sino a 500-800 m/s.

I terreni incoerenti alluvionali presentano valori variabili tra 600 e 1800 m/s, con prevalenza di velocità superiori a 1400 m/s per quelli saturi d'acqua.

Si ricorda che il valore della velocità nell'acqua varia tra 1480 e 1520 m/s al variare della temperatura e della salinità.

La velocità nelle rocce sedimentarie spazia tra valori di 2000 e 5000 m/s, incrementandosi sia con la profondità dei sedimenti che con la loro età geologica.

Le rocce metamorfiche si attestano tra i valori di 3000 e 5000 m/s, mentre le rocce ignee intrusive ed effusive salgono sino ai massimi valori di 8000 m/s.

Per l'anisotropia delle rocce questi valori cambiano in funzione della direzione di propagazione rispetto alla stratificazione, con differenze variabili dal 5 al 25%.

Analogamente, questi valori, che si riferiscono a rocce sane, compatte ed omogenee, tendono a decrescere in funzione dell'alterazione dei loro componenti mineralogici, del grado di fratturazione e delle discontinuità stratigrafiche.

Da tutte queste premesse scaturisce che tramite la sismica è possibile definire le caratteristiche di un ammasso roccioso, o comunque di un grande volume di roccia, ottenendo valori caratteristici per l'insieme, piuttosto che puntuali e quindi meno significativi.

Per quanto riguarda i terreni sciolti si deve considerare che la grande variabilità delle caratteristiche elastiche, anche nell'ambito di una stessa unità litologica, dovuta alla



naturale eterogeneità di tipo strutturale, tessiturale e chimico-fisica, porta ad accentuate diversità dei parametri elastici calcolati.

Metodo Down-Hole

Il metodo DOWN-HOLE prevede la sorgente energizzante in superficie ed i sensori all'interno di un foro di sondaggio opportunamente attrezzato.

I sensori che si utilizzano sono assemblati in modo da essere calati e ancorati a profondità crescenti. Energizzando in superficie e misurando i tempi di arrivo del primo impulso ai geofoni si ha la possibilità di determinare la velocità verticale dei litotipi incontrati durante la perforazione. Il fronte d'onda ed il relativo raggio sismico non subiranno fenomeni di rifrazione per un angolo di incidenza normale alle superfici di discontinuità elastica e quindi sarà possibile ottenere le velocità dell'onda diretta senza le limitazioni della sismica a rifrazione, per la quale è indispensabile che la velocità di propagazione delle onde aumenti con la profondità; eventuali inversioni di velocità all'interno dei terreni indagati non costituiscono perciò elemento di incertezza in fase di interpretazione.

In genere la sorgente, pur essendo molto vicina al foro, se ne discosta sia per motivi logistici che per la necessità di non far propagare l'onda lungo il materiale di condizionamento; è quindi necessario correggere i tempi di arrivo in modo da ottenere i valori che si riscontrerebbero lungo la verticale.

L'analisi dei dati permette la determinazione delle velocità delle onde P ed S lungo la verticale del foro e quindi il calcolo dei moduli elastici in regime dinamico, (Young-Taglio-Bulk) e del coefficiente di Poisson.

L'interpretazione dei dati avviene calcolando le velocità medie delle onde longitudinali e trasversali tra il punto d'energizzazione posto in superficie ed il punto di registrazione, posizionato a profondità gradualmente crescenti. In questo modo, la velocità che si ottiene può essere condizionata dalle eventuali differenze di comportamento elastico degli strati e può discostarsi dalla velocità reale, quanto più si procede in profondità e quanto più sarà articolata la stratigrafia del sottosuolo.

Per avere una elaborazione dei dati che si approssimi maggiormente a quelle che sono le reali caratteristiche elastiche dei terreni, si procede al computo delle velocità "intervallari", alle quali si arriva dividendo l'interdistanza tra le misure per il tempo che si ottiene sottraendo i tempi di arrivo di due posizioni geofoniche successive. La precisione è naturalmente maggiore quanto più è piccola l'interdistanza tra le misure.



APPENDICE - ELETTRICA IN FORO - CROSS HOLE TOMOGRAFICO

La tomografia di resistività elettrica (ERT) è una tecnica diagnostica che consente di determinare la distribuzione di resistività elettrica nel sottosuolo a partire da un gran numero di misure di potenziale elettrico compiute mediante elettrodi posti sulla superficie del terreno. L'utilizzo di elettrodi in configurazione non convenzionale, lungo il perimetro di edifici o di manufatti in genere, rappresenta uno sviluppo di ultimissima generazione della tecnica (Fischanger et al., 2007). Ciò consente di analizzare con buon dettaglio le strutture di fondazione dell'edificio oltre che, ovviamente, le caratteristiche locali del terreno di appoggio (tipologie litologiche, zone umide o accumuli di acqua, anomalie resistive attribuibili a cavità o a disomogeneità del terreno al di sotto dell'edificio). Questa metodologia di indagine consente dunque il superamento di quei vincoli che il contesto urbano pone alle tradizionali indagini geotecniche (prove penetrometriche e altro) e nel contempo consente di acquisire una informazione non puntuale ma sulle caratteristiche volumetriche del terreno investigato.

La misura delle resistività del terreno viene effettuata, nella maggior parte dei casi, utilizzando dispositivi riconducibili ad uno schema di configurazione a quadripolo. Uno strumento, denominato georesistivimetro, immette nel sottosuolo mediante due elettrodi - in genere indicati con A e B - una corrente nota I e misura, tramite due altri elettrodi - M e N - la differenza di potenziale ΔV che tale corrente produce nei punti del terreno nel quale sono stati posti gli elettrodi stessi.

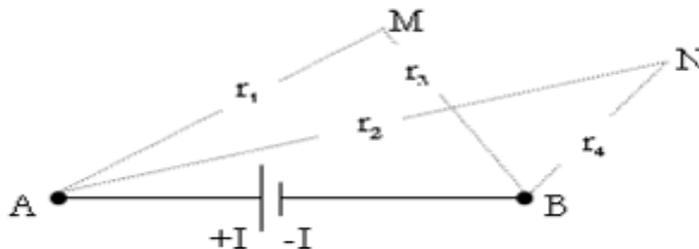


Figura 1. Configurazione elettrodica generica per la misura delle resistività del sottosuolo.

Se il sottosuolo fosse omogeneo e isotropo, la sua resistività ρ sarebbe calcolata attraverso la seguente relazione:

$$\rho = K \cdot \Delta V / I,$$

dove K , fattore geometrico, funzione solo della posizione reciproca degli elettrodi, è dato da:

$$K = 2\pi / (1/r_1 - 1/r_3 - 1/r_2 + 1/r_4).$$

Se il terreno è disomogeneo, la differenza di potenziale ΔV è funzione, oltre che della distanza tra gli elettrodi, anche della distribuzione di resistività nel sottosuolo: di conseguenza il valore di ρ calcolato mediante le espressioni sopra scritte non coincide con il valore di resistività di uno dei mezzi presenti, ma è una funzione della resistività e della posizione dei mezzi stessi nel sottosuolo. Tale valore viene chiamato resistività apparente e può essere pensato come la resistività di un mezzo omogeneo e isotropo che, energizzato con la stessa corrente, dia luogo alla stessa differenza di potenziale tra gli elettrodi. Al variare della posizione degli elettrodi rispetto ai mezzi presenti, la



resistività apparente varia, indicando la presenza di tali mezzi: obiettivo della tomografia di resistività

elettrica è dunque quello di ricostruire al meglio forma, posizione e resistività dei mezzi a partire da più misure di resistività apparente.

Per illustrare le ragioni che rendono percorribile nell'indagine geoelettrica 3D l'utilizzo di geometrie "non convenzionali", come quella anulare, sono riprodotte in figura 2 le mappe ricavate dall'analisi di *sensitività* per un modello resistivo omogeneo, sottoposto a indagine con stendimento di elettrodi superficiali a forma di L. Tali mappe indicano le regioni dello spazio che influenzano ciascuna misura di potenziale, dando dunque un'idea circa la risoluzione spaziale del metodo. Nella sezione a) è rappresentata la mappa di *sensitivity* per un piano orizzontale - profondità del piano campagna pari a 1,5 metri; nella sezione b) della figura è presente una sezione verticale che interessa gli elettrodi del quadripolo in esame (misura polo dipolo *cross cable*, cioè con trasmettitore su un ramo della L e dipolo di ricezione sull'altro ramo). Le immagini mettono bene in evidenza come per un tale quadripolo ci sia un ottimo grado copertura e di risoluzione della misura, anche in quelle zone che non sono direttamente occupate da elettrodi.

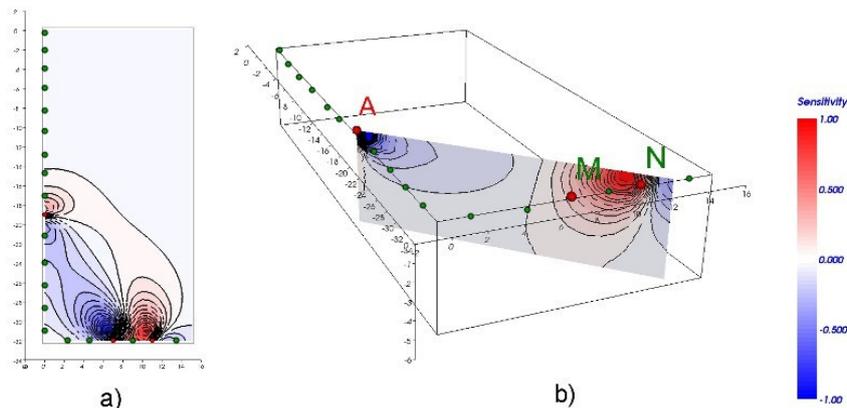


Figura 2. Esempio di mappe di sensitività per un quadripolo di geometria a L.

La restituzione dei dati avviene mediante sezioni o blocchi tridimensionali di resistività (espressa in $\text{ohm}\cdot\text{m}$) con rappresentazione a colori: le tonalità blu-viola rappresentano le porzioni meno resistive (quindi elettricamente più conduttive), quelle rosso-arancio quelle più resistive infine le giallo-verdi quelle intermedie in relazione ai valori massimo e minimo di resistività riportati in legenda.

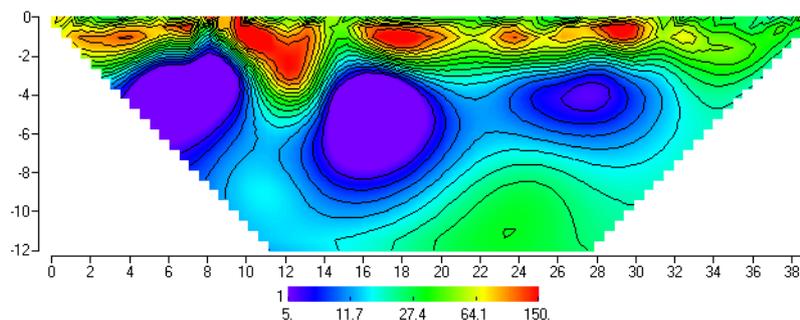


Figura 1 esempio generico di un elaborato geoelettrico che evidenzia le zone conduttive (colorazione blu-viola) da quelle resistive (colorazione rosso-arancio).

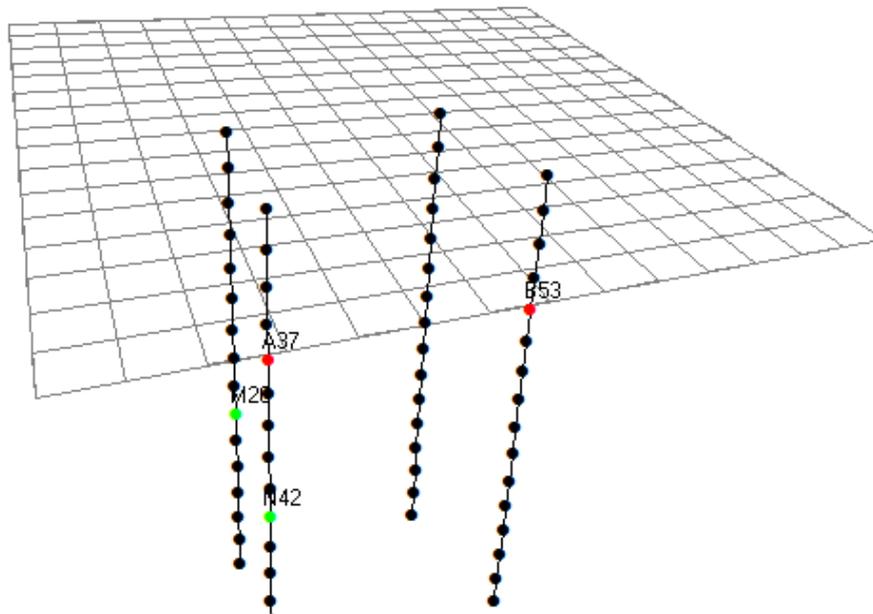


Per quanto riguarda l'interpretazione delle sezioni geoelettriche, in funzione dei terreni presenti nelle aree indagate, è possibile schematizzare nel modo seguente:

Alta resistività (colorazione rosso-arancio)	Bassa resistività (colorazione blu-viola)
Terreni di riporto asciutti, sabbie e ghiaie, materiali elettricamente isolanti, guaine, solette e condutture in cemento, trovanti, frammenti litoidi, massicciate stradali e ferroviarie, cavità, fluidi resistivi	Terreni limo-argillosi, argille, strutture elettricamente conduttive, masse metalliche, griglie elettrosaldate, cisterne metalliche, serbatoi, binari ferroviari, zone umide, fluidi conduttivi

Schema interpretativo di massima delle sezioni di resistività elettrica.

Tali misure possono essere effettuate anche all'interno di fori di sondaggio o piezometri opportunamente attrezzati con cavo geoelettrico a perdere; questi cavi possono essere attrezzati ciascuno con 16 o 24 elettrodi speciali in acciaio inox con la possibilità di misure *cross cable* tra due, tre o quattro cavi a seconda del numero di canali che la strumentazione è in grado di gestire. Questa modalità di acquisizione, per quanto più onerosa di quella che operata dalla superficie a causa delle necessità di perforazioni in loco, offre il vantaggio di mantenere sempre la stessa risoluzione costante fino alla base della sezione indagata (fondo foro).



Array: Dipole-dipole
Cross Cable
TX and RX: Horizontal
Cable Group: 2 3 4

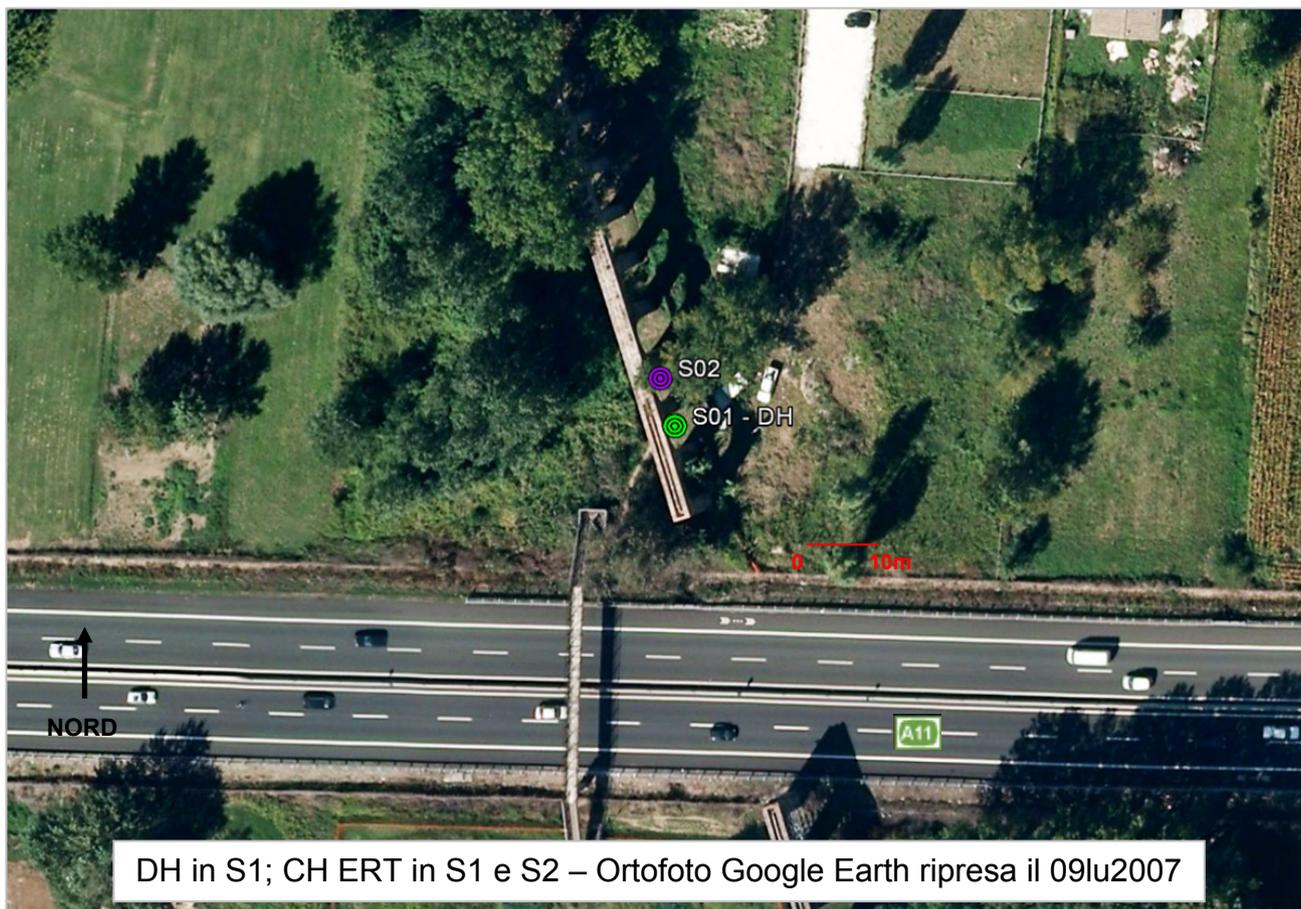
Tutti i dati acquisiti vengono raccolti in un unico *datafile*, opportunamente filtrati ed infine elaborati mediante processo di inversione a mezzo software ERTlab 3D.



ALLEGATI

Committente: **TECNIC S.p.A.** – Via Panama 86, Roma (Italy)
Progetto: Sistema Tangenziale di Lucca Asse Ovest-Est Lotto 2
Località: Lucca, via del Barchino – Acquedotto Nottolini
Data: Settembre 2012


**UBICAZIONE INDAGINI
GEOFISICHE**



Committente:	TECNIC S.p.A. – Via Panama 86, Roma (Italy)
Progetto:	Sistema Tangenziale di Lucca Asse Ovest-Est Lotto 2
Località:	Lucca, via del Barchino – Acquedotto Nottolini
Data:	Settembre 2012



SISTEMA TANGENZIALE DI LUCCA ASSE OVEST-EST Lotto 2

Visualizzazione del tracciato di progetto, delle prove geofisiche del settembre 2012 ed alcune indagini geognostiche del novembre 2004

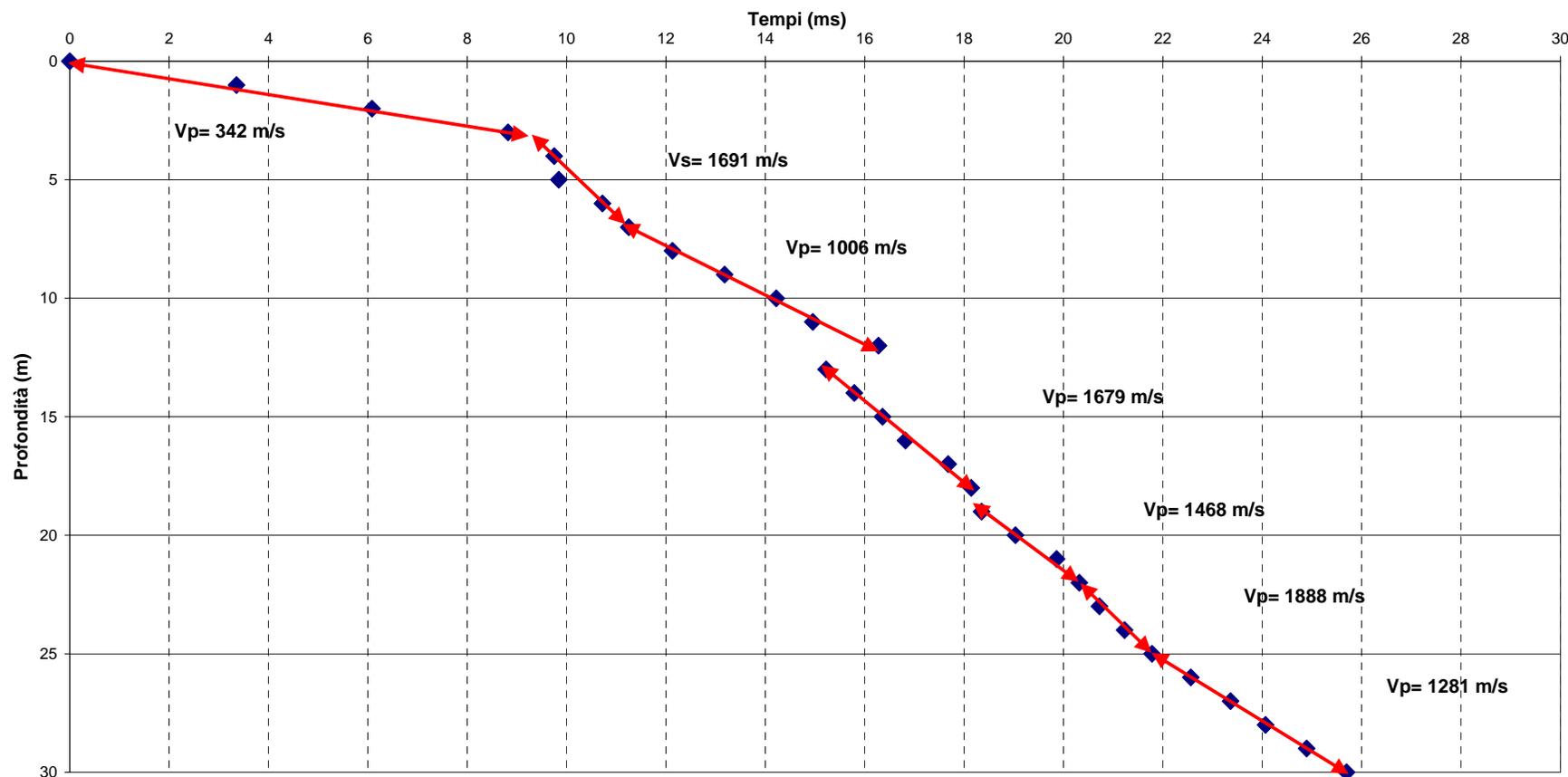


Committente:	TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)	Tabella dei Tempi e Velocità
Progetto:	Sistema Tangenziale di Lucca - Asse Ovest-Est	
Prova:	DH-S01 Profondità 30m	
Località:	Lucca - Strada vicinale Mannini e del Barchino (Acquedotto del Nottolini)	
Data:	10-set-12	

Prof. m	Dist.Piastra m	Dist.Trave m	T(p) ms	T(p)cor ms	T(s) ms	T(s)cor ms	Vp m/s	Vs m/s	Stratigrafia
1	2	2	7,50	3,35	16,80	7,51	342	114	Sabbia limosa
2	2	2	8,60	6,08	25,60	18,10	342	114	
3	2	2	10,60	8,82	30,80	25,63	342	114	Argilla limo-sabbiosa Sabbia limo argillosa e argille sabbiosa
4	2	2	10,90	9,75	33,00	29,52	1691	170	
5	2	2	10,60	9,84	38,20	35,47	1691	170	Sabbia ghiaiosa a tratti limo-argillosa
6	2	2	11,30	10,72	44,20	41,93	1691	170	
7	2	2	11,70	11,25	48,80	46,92	1006	170	
8	2	2	12,50	12,13	48,80	47,34	1006	388	
9	2	2	13,50	13,18	52,40	51,15	1006	388	
10	2	2	14,50	14,22	54,80	53,74	1006	388	
11	2	2	15,20	14,95	56,40	55,49	1006	388	
12	2	2	16,50	16,28	58,60	57,80	1006	388	
13	2	2	15,40	15,22	61,20	60,49	1679	248	
14	2	2	15,95	15,79	64,50	63,85	1679	248	
15	2	2	16,50	16,36	69,00	68,39	1679	248	
16	2	2	16,95	16,82	72,10	71,54	1679	248	
17	2	2	17,80	17,68	77,00	76,47	1679	248	
18	2	2	18,25	18,14	80,50	80,01	1679	248	Argilla limo-sabbiosa
19	2	2	18,45	18,35	84,75	84,28	1468	248	
20	2	2	19,13	19,03	89,00	88,56	1468	248	
21	2	2	19,95	19,86	92,55	92,13	1468	248	
22	2	2	20,40	20,32	97,00	96,60	1468	248	Sabbia limosa
23	2	2	20,80	20,72	100,75	100,37	1888	298	
24	2	2	21,30	21,23	104,40	104,04	1888	298	Sabbia con ghiaia
25	2	2	21,85	21,78	107,40	107,06	1888	298	
26	2	2	22,63	22,56	110,40	110,07	1281	377	Sabbia con ghiaia
27	2	2	23,43	23,36	112,20	111,89	1281	377	
28	2	2	24,13	24,06	115,40	115,11	1281	377	Sabbia con ghiaia
29	2	2	24,95	24,89	118,20	117,92	1281	377	
30	2	2	25,75	25,69	120,50	120,23	1281	377	



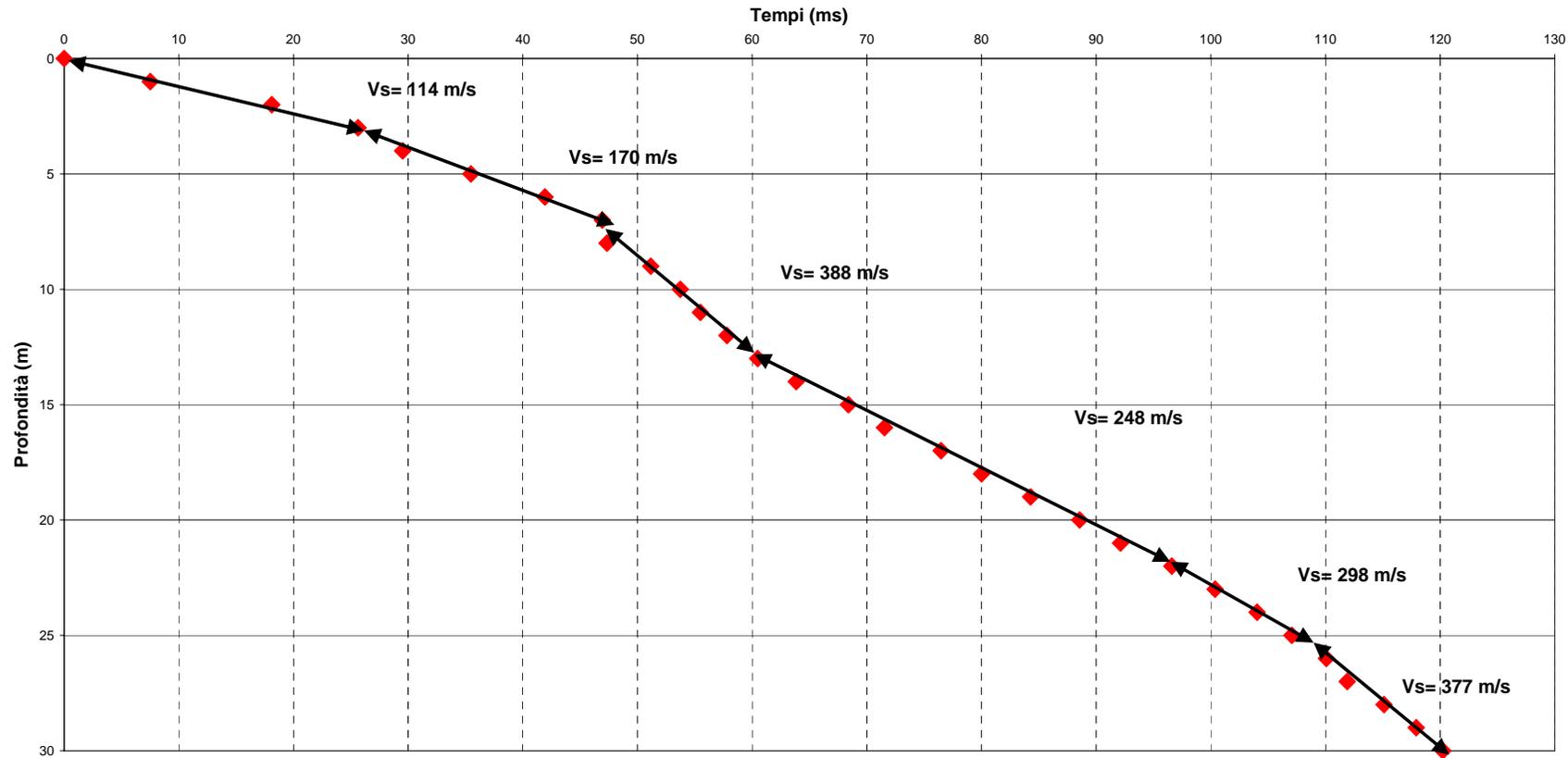
Committente:	TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)	Dromocrone onde P
Progetto:	Sistema Tangenziale di Lucca - Asse Ovest-Est	
Prova:	DH-S01 Profondità 30m	
Località:	Lucca - Strada vicinale Mannini e del Barchino (Acquedotto del Nottolini)	
Data:	10-set-12	



Strato	Prof. (m) da	Prof. (m) a	Vp (m/s)
1	0	3	342
2	3	6	1691
3	6	12	1006
4	12	18	1679
5	18	22	1468
6	22	25	1888
7	25	30	1281



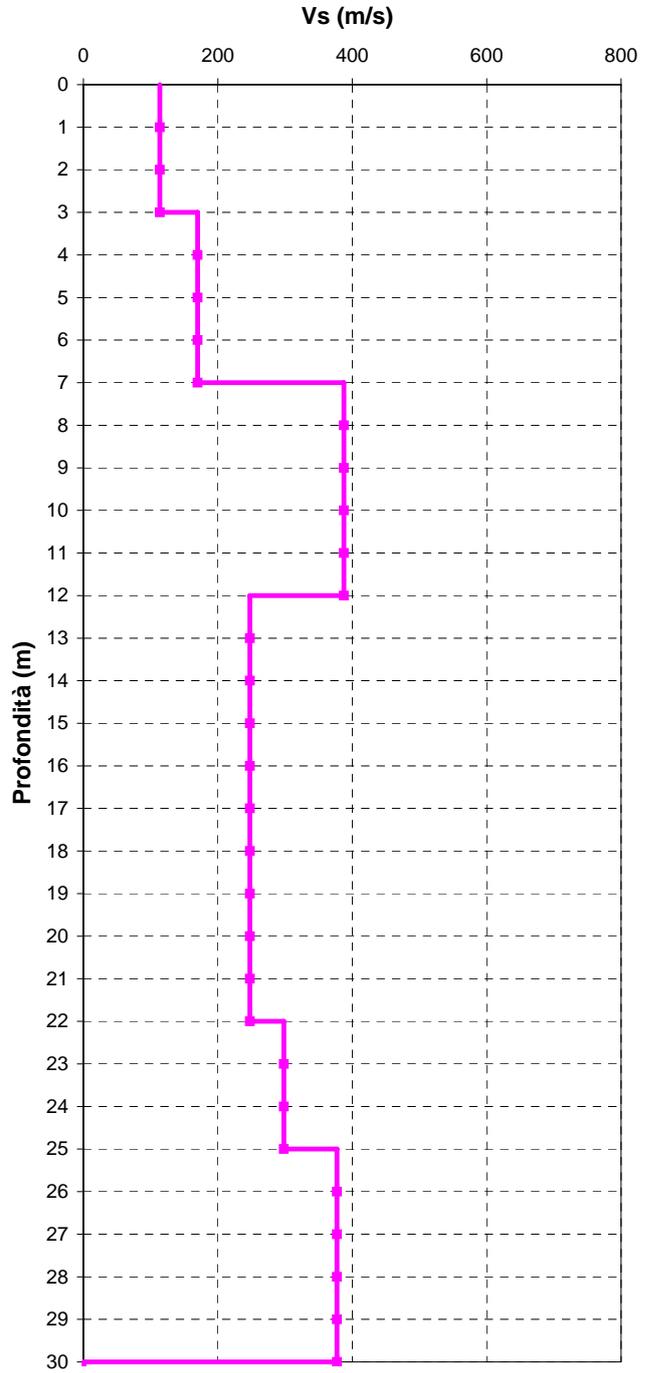
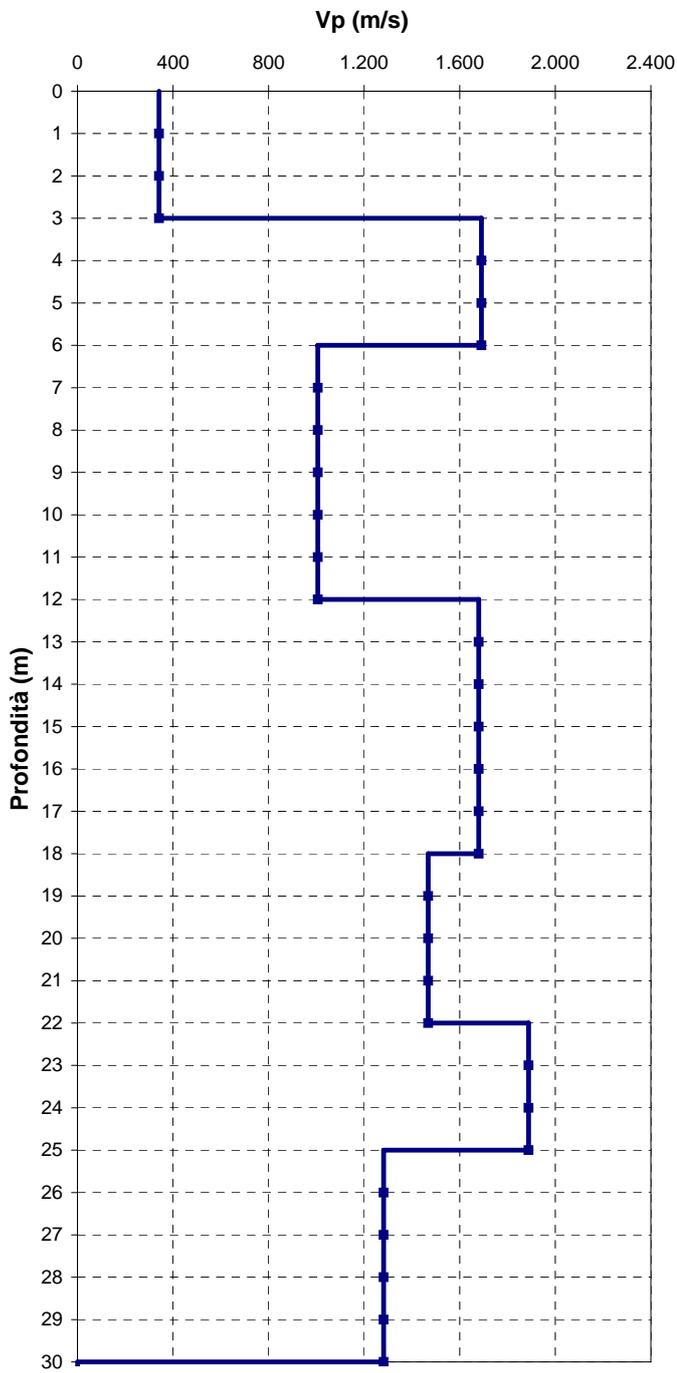
Committente:	TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)	Dromocrone onde S
Progetto:	Sistema Tangenziale di Lucca - Asse Ovest-Est	
Prova:	DH-S01 Profondità 30m	
Località:	Lucca - Strada vicinale Mannini e del Barchino (Acquedotto del Nottolini)	
Data:	10-set-12	



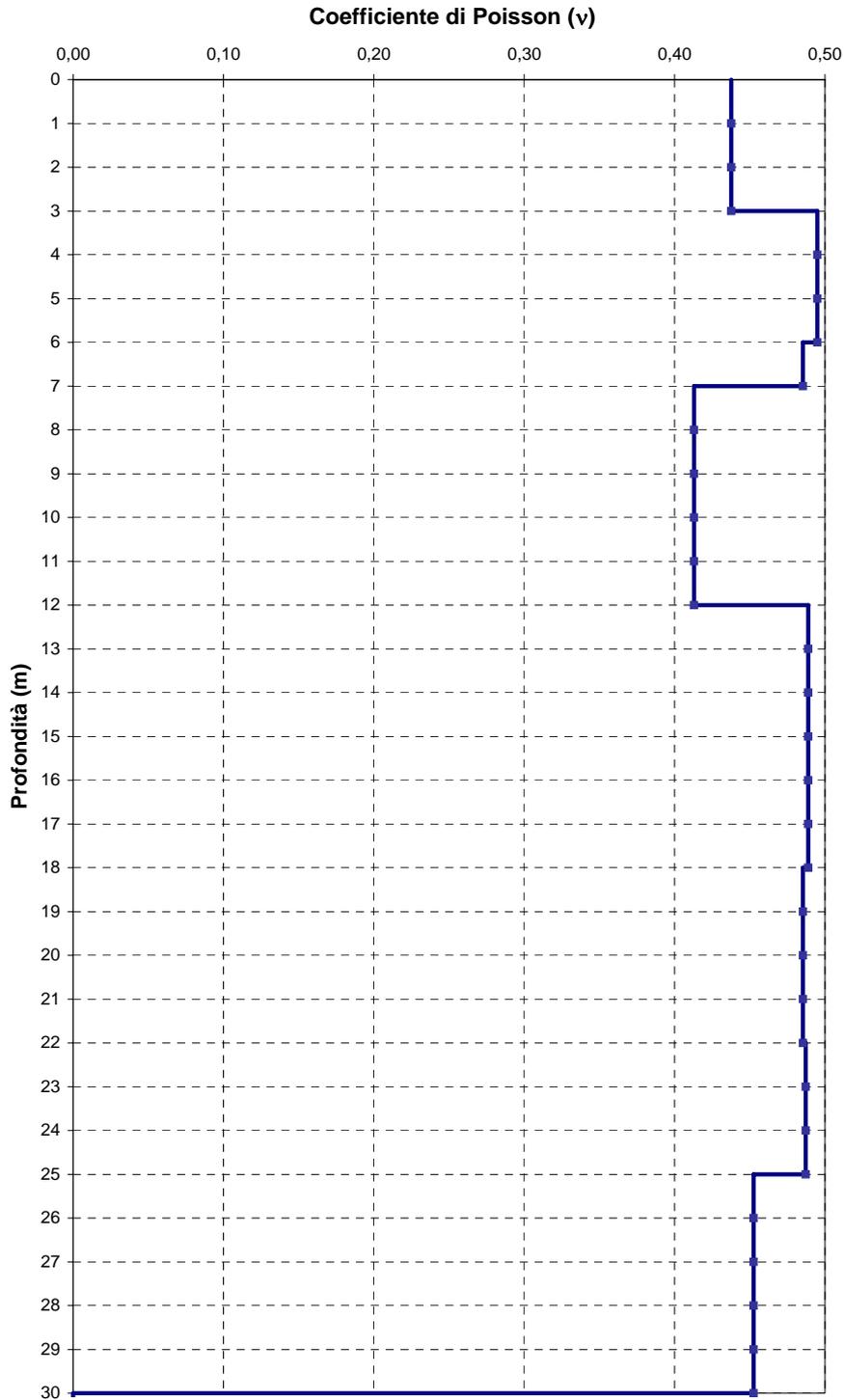
Strato	Prof. (m)	Vs (m/s)
da	a	
1	0 - 3	114
2	3 - 7	170
3	7 - 12	388
4	12 - 22	248
5	22 - 25	298
6	25 - 30	377



Committente: TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)	Grafico Vp e Vs
Progetto: Sistema Tangenziale di Lucca - Asse Ovest-Est	
Prova: DH-S01 Profondità 30m	
Località: Lucca - Strada vicinale Mannini e del Barchino (Acquedotto del Nottolini)	
Data: 10-set-12	



Committente: TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)	Coefficiente di Poisson
Progetto: Sistema Tangenziale di Lucca - Asse Ovest-Est	
Prova: DH-S01 Profondità 30m	
Località: Lucca - Strada vicinale Mannini e del Barchino (Acquedotto del Nottolini)	
Data: 10-set-12	

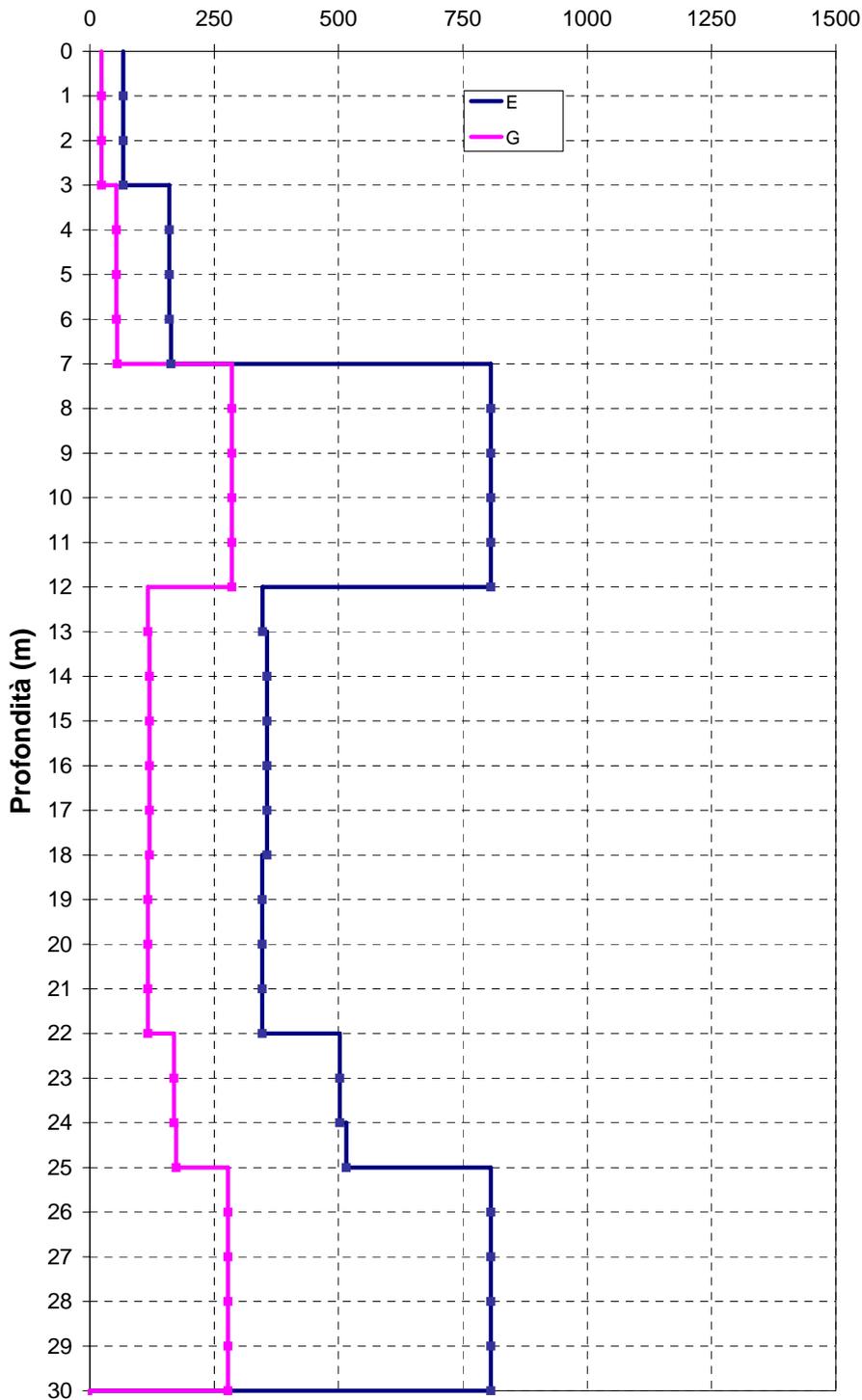


Prof. m	v
1	0,44
2	0,44
3	0,44
4	0,49
5	0,49
6	0,49
7	0,49
8	0,41
9	0,41
10	0,41
11	0,41
12	0,41
13	0,49
14	0,49
15	0,49
16	0,49
17	0,49
18	0,49
19	0,49
20	0,49
21	0,49
22	0,49
23	0,49
24	0,49
25	0,49
26	0,45
27	0,45
28	0,45
29	0,45
30	0,45



Committente: TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)	Modulo di Young (E) Modulo di Taglio (G)
Progetto: Sistema Tangenziale di Lucca - Asse Ovest-Est	
Prova: DH-S01 Profondità 30m	
Località: Lucca - Strada vicinale Mannini e del Barchino (Acquedotto del Nottolini)	
Data: 10-set-12	

Moduli Elastici (MPa)



Prof. m	ρ T/mc	E MPa	G MPa
1	1,80	67	23
2	1,80	67	23
3	1,80	67	23
4	1,85	160	53
5	1,85	160	53
6	1,85	160	53
7	1,90	163	55
8	1,90	806	285
9	1,90	806	285
10	1,90	806	285
11	1,90	806	285
12	1,90	806	285
13	1,90	347	117
14	1,95	356	120
15	1,95	356	120
16	1,95	356	120
17	1,95	356	120
18	1,95	356	120
19	1,90	346	117
20	1,90	346	117
21	1,90	346	117
22	1,90	346	117
23	1,90	502	169
24	1,90	502	169
25	1,95	516	173
26	1,95	806	278
27	1,95	806	278
28	1,95	806	278
29	1,95	806	278
30	1,95	806	278



Committente:	TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)	V_{S30} 0 - 30 metri
Progetto:	Sistema Tangenziale di Lucca - Asse Ovest-Est	
Prova:	DH-S01 Profondità 30m	
Località:	Lucca - Strada vicinale Mannini e del Barchino (Acquedotto del Nottolini)	
Data:	10-set-12	

SISMOSTRATIGRAFIA

Prof. (m)		ΔH	Vs (m/s)
da	a		
0	3	3	114
3	7	4	170
7	12	5	388
12	22	10	248
22	25	3	298
25	30	5	377

SISMOSTRATIGRAFIA USATA PER IL CALCOLO DELLE VS30

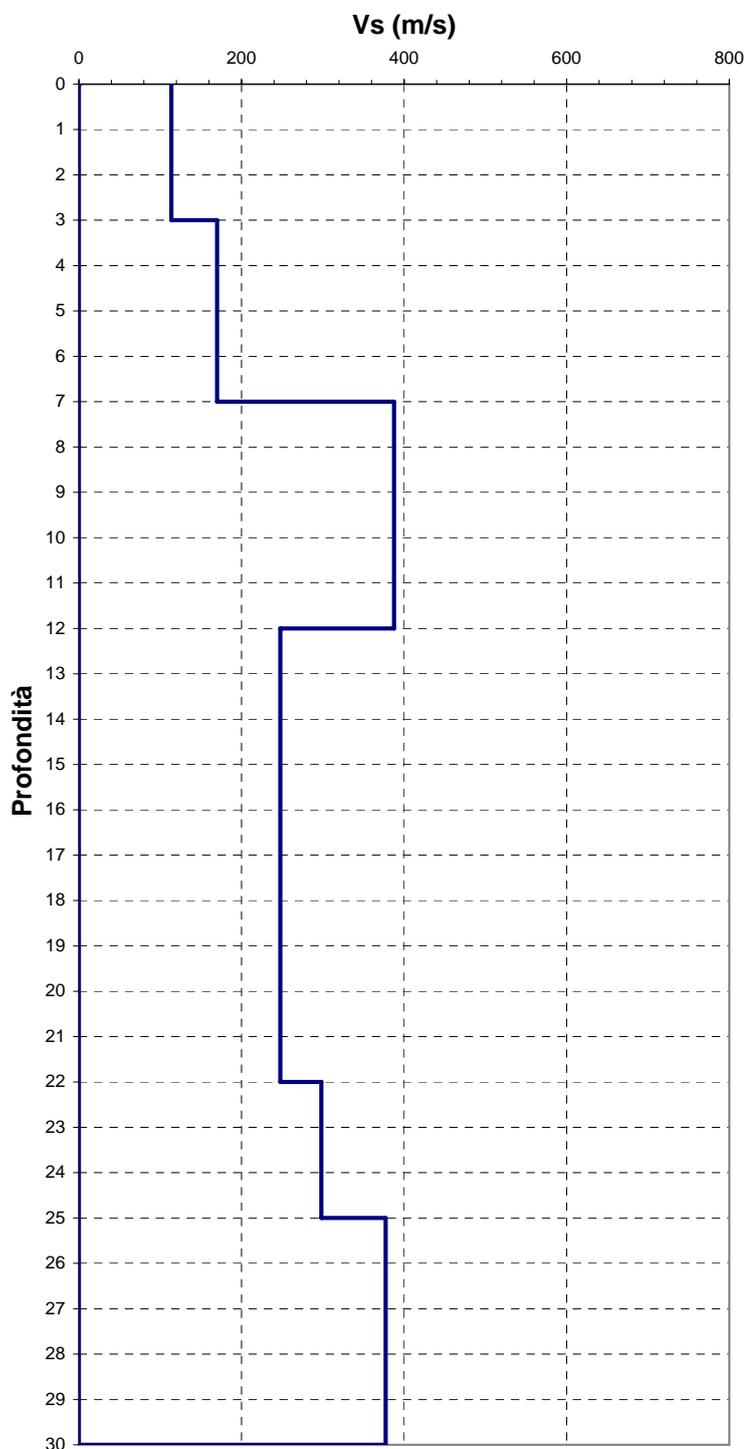
Prof. (m)		ΔH	Vs (m/s)
da	a		
0	3	3	114
3	7	4	170
7	12	5	388
12	22	10	248
22	25	3	298
25	30	5	377

VALORE DELLA V_{S30} (m/s)

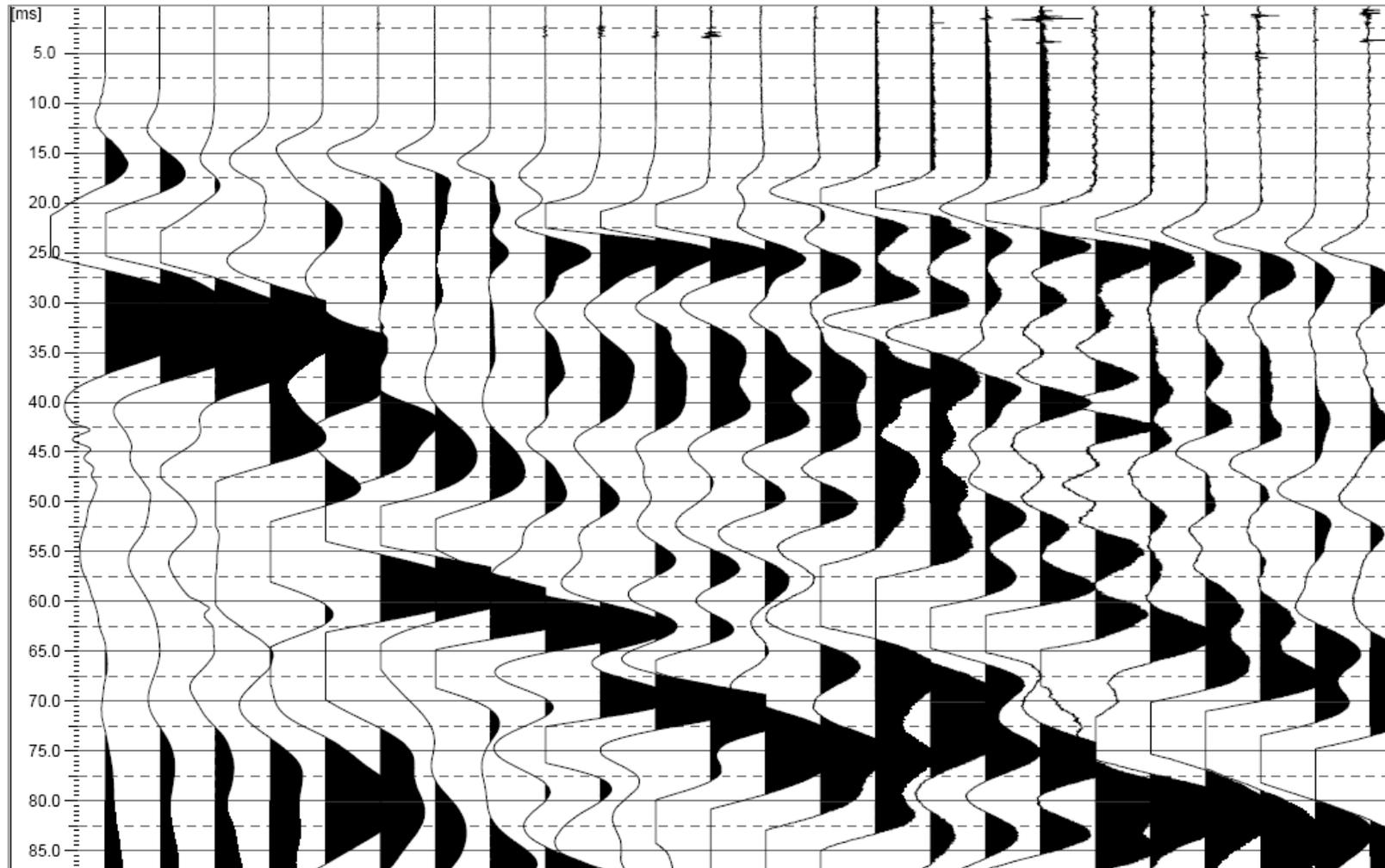
237

CATEGORIA DEL SUOLO ai sensi del DM 14.01.2008

C



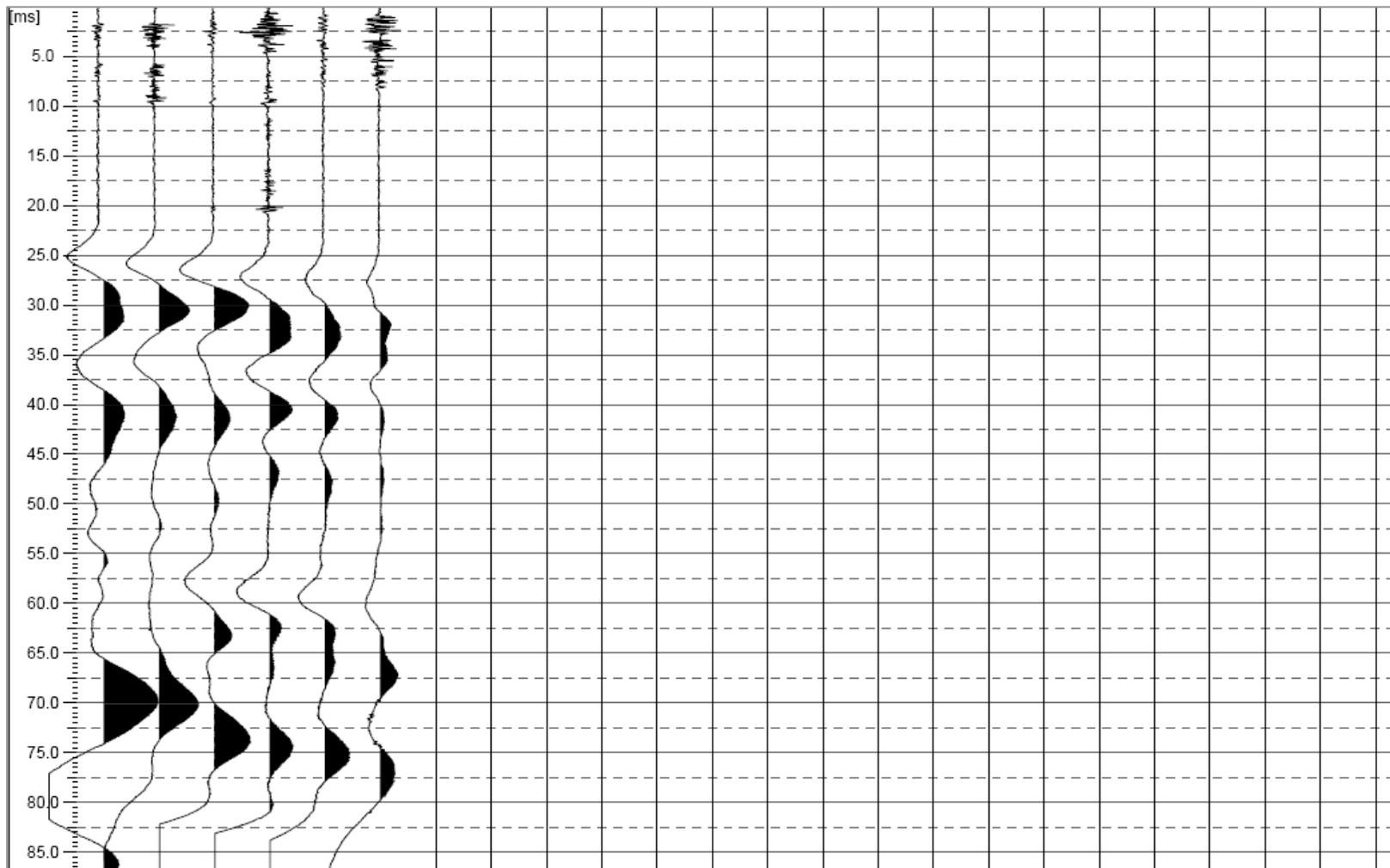
Committente: TECNIC S.p.A. – Via Panama 86, Roma (Italy)	SISMOGRAMMI
Progetto: SISTEMA TANGENZIALE di LUCCA ASSE OVEST-EST	
Prova: DH S01 - Profondità 30m	
Località: Lucca, via del Barchino – Acquedotto Nottolini	
Data: Settembre 2012	



Sismogramma onde P
Profondità: 01 - 24 metri



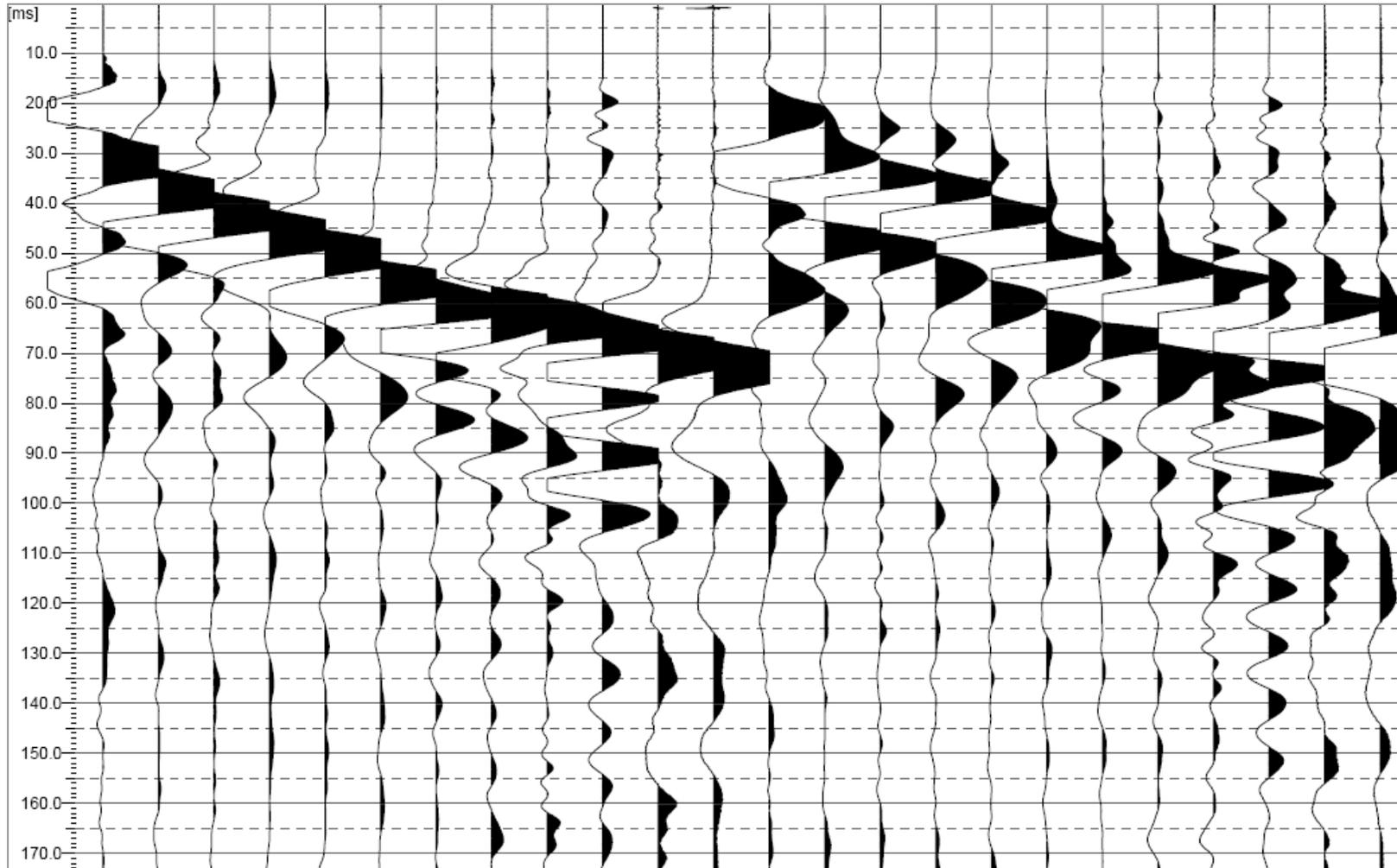
Committente: TECNIC S.p.A. – Via Panama 86, Roma (Italy)	SISMOGRAMMI
Progetto: SISTEMA TANGENZIALE di LUCCA ASSE OVEST-EST	
Prova: DH S01 - Profondità 30m	
Località: Lucca, via del Barchino – Acquedotto Nottolini	
Data: Settembre 2012	



Sismogramma onde P
Profondità: 25 - 30 metri



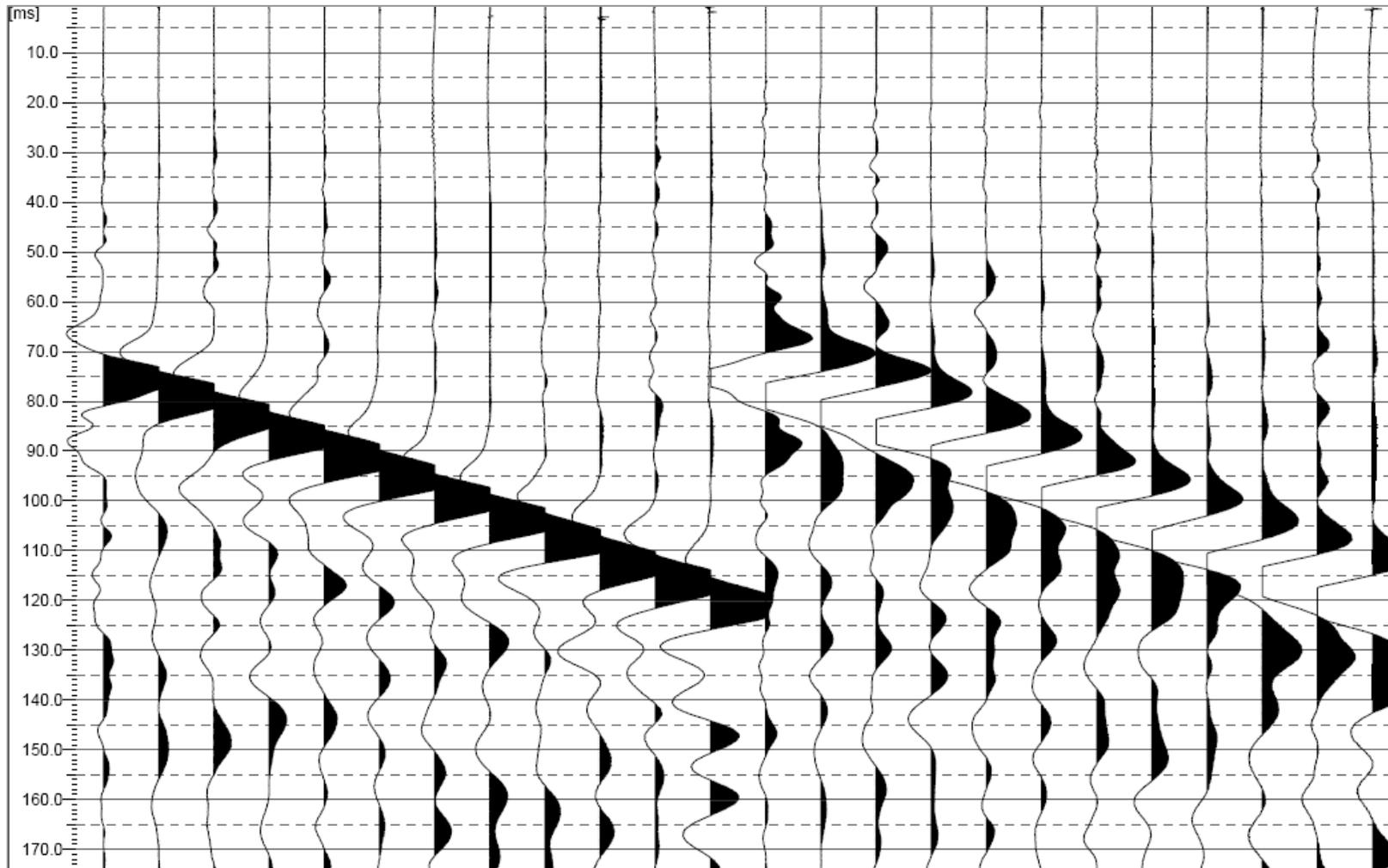
Committente: TECNIC S.p.A. – Via Panama 86, Roma (Italy)	SISMOGRAMMI
Progetto: SISTEMA TANGENZIALE di LUCCA ASSE OVEST-EST	
Prova: DH S01 - Profondità 30m	
Località: Lucca, via del Barchino – Acquedotto Nottolini	
Data: Settembre 2012	



Sismogramma onde S
Profondità: 01 - 12 metri



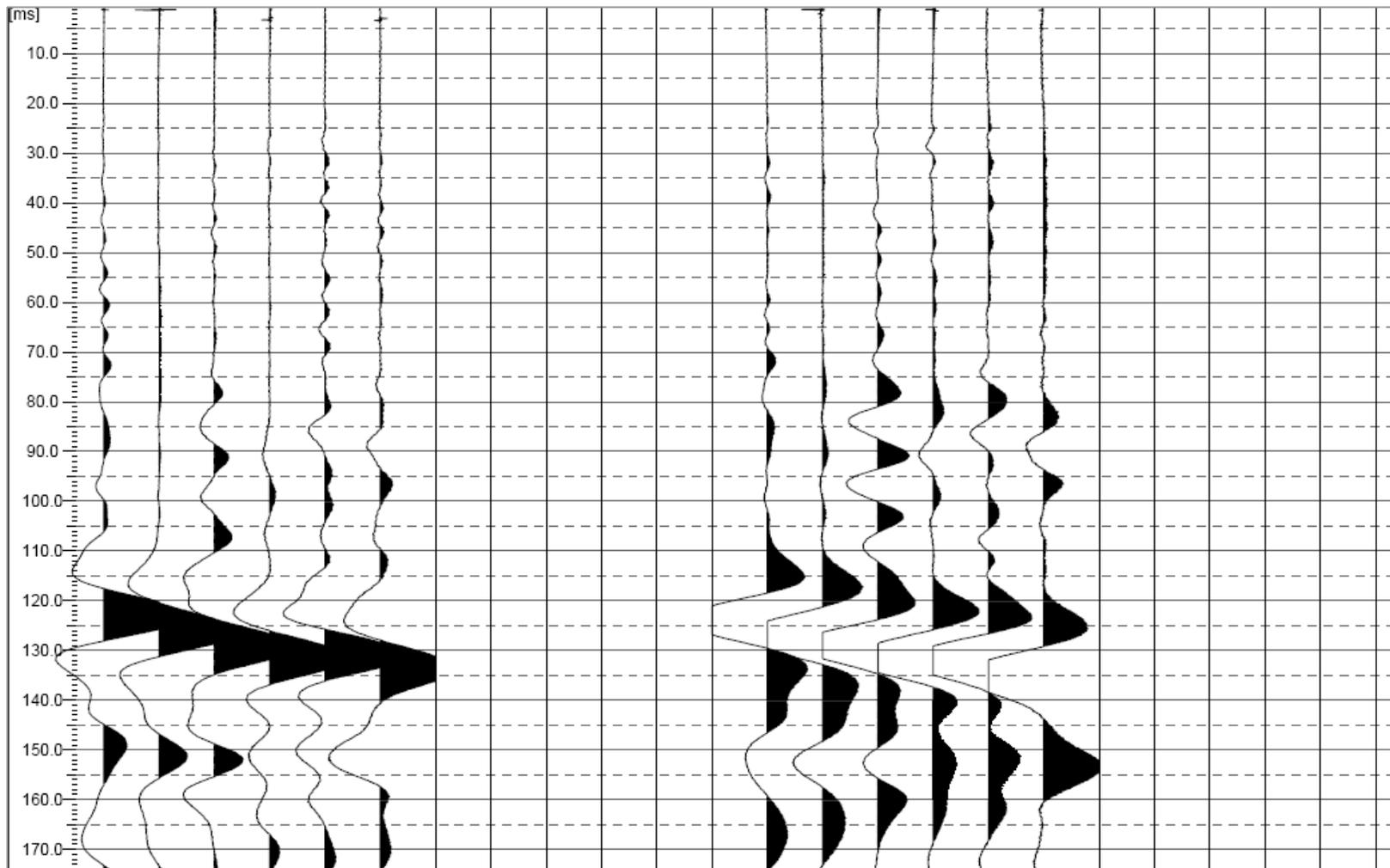
Committente: TECNIC S.p.A. – Via Panama 86, Roma (Italy)	SISMOGRAMMI
Progetto: SISTEMA TANGENZIALE di LUCCA ASSE OVEST-EST	
Prova: DH S01 - Profondità 30m	
Località: Lucca, via del Barchino – Acquedotto Nottolini	
Data: Settembre 2012	



Sismogramma onde S
Profondità: 13 - 24 metri



Committente: TECNIC S.p.A. – Via Panama 86, Roma (Italy)	SISMOGRAMMI
Progetto: SISTEMA TANGENZIALE di LUCCA ASSE OVEST-EST	
Prova: DH S01 - Profondità 30m	
Località: Lucca, via del Barchino – Acquedotto Nottolini	
Data: Settembre 2012	



Sismogramma onde S
Profondità: 25 - 30 metri



Committente: **TECNIC S.p.A.** – Via Panama 86, Roma (Italy)

Progetto: SISTEMA TANGENZIALE di LUCCA ASSE OVEST-EST

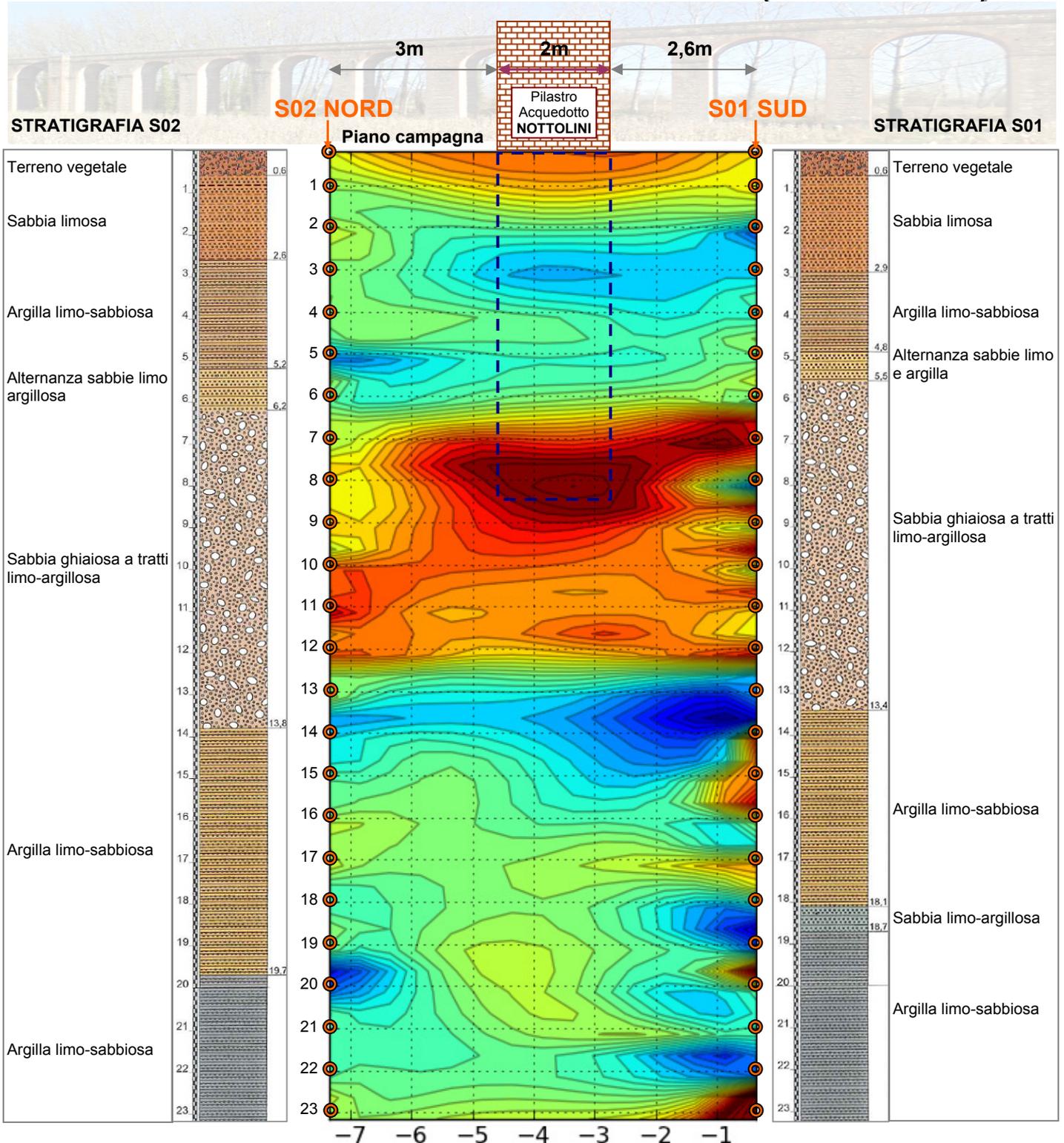
Località: Lucca, via del Barchino – Acquedotto Nottolini

Data: Settembre 2012



CH ERT

SEZIONE 2D DI TOMOGRAFIA ELETTRICA IN FORO (Cross Hole ERT)



Profondità in metri



Proiezione dell'ipotetica fondazione su pali

⊙ Elettrodi in foro

RESISTIVITY (ohm*m)



3

6

11

20

36

66

120

220

Committente: TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)

Progetto: Sistema Tangenziale di Lucca - Asse Ovest-Est Lotto 2

Località: Lucca - Strada del Barchino (Acquedotto del Nottolini)

Data: Settembre 2012



**DOCUMENTAZIONE
FOTOGRAFICA**



DH S01: Energizzazione verticale, vista da Ovest



DH S01: Foro attrezzato con tubo per down hole



DH S01: Postazione sismografo



DH S01: Approntamento trave per energizzazione trasversale



DH S01: Energizzazione trasversale, vista da Sud



DH S01: Energizzazione trasversale, vista da Est

Committente: TECNIC S.p.A. - Via Panama 86, Roma (Italy)

Progetto: SISTEMA TANGENZIALE di LUCCA – ASSE OVEST-EST Lotto 2

Località: Lucca - Strada del Barchino (Acquedotto del Nottolini)

Data: Settembre 2012



**DOCUMENTAZIONE
FOTOGRAFICA**



CH ERT: Postazione georesistivimetro IRIS Syscal



CH ERT: Collegamento agli elettrodi in S1



CH ERT: Collegamento agli elettrodi in S2



CH ERT: Vista da nord verso il pilastro indagato