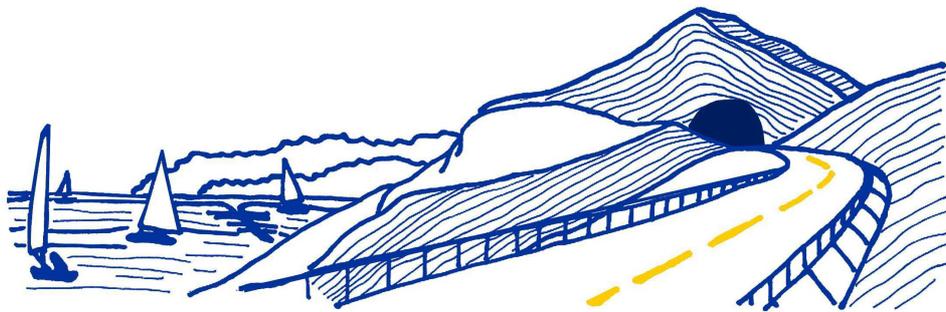


**VARIANTE ALLA S.S.1 AURELIA (AURELIA BIS)  
VIABILITA' DI ACCESSO ALL' HUB PORTUALE DI LA SPEZIA  
INTERCONNESSIONE TRA I CASELLI DELLA A-12 E IL PORTO DI LA SPEZIA  
3° LOTTO TRA FELETTINO E IL RACCORDO AUTOSTRADALE**

**PROGETTO ESECUTIVO DI STRALCIO E COMPLETAMENTO C - 3° TRATTO**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**GE265**



**CESI**  
Shaping a Better Energy Future  
Mandante

**TECHINT**  
Engineering & Construction  
Mandataria

**IGEOG**  
ENGINEERING S.r.l.  
SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA  
Mandante

VISTO: IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO

Ing. Fabrizio CARDONE

RESPONSABILE  
DELL'INTEGRAZIONE DELLE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Alessandro RODINO

GEOLOGO

Dott. Giulio ZAPPA

IL COORDINATORE DELLA  
SICUREZZA IN FASE DI  
PROGETTAZIONE

Dott. Domenico TRIMBOLI

**GALLERIA ARTIFICIALE LE FORNACI II**

**Geologia, Geotecnica e Sismica:**

**Relazione descrittiva delle indagini geologiche e geotecniche di progetto**

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. N. PROG.

DPGE0265 E 20

NOME FILE

P00GA03GEORE01\_B

CODICE  
ELAB.

P00GA03GEORE01

REVISIONE

B

SCALA:

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C					
B	REVISIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS	Ottobre 2021	P.Vendrame	G.Zappa	A.Nardi
A	EMISSIONE	Aprile 2021	P.Vendrame	G.Zappa	A.Nardi

<b>INDICE</b>	<b>pag.</b>
1. PREMESSA .....	4
2. INTRODUZIONE .....	5
3. INQUADRAMENTO DELL' AREA .....	6
3.1 Fisiografia .....	6
3.2 Inquadramento geologico.....	6
4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE DI LABORATORIO .....	8
4.1 Dati disponibili.....	8
4.2 Prove SPT in foro.....	9
4.3 Prove di laboratorio.....	12
5. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA .....	17
5.1 Caratterizzazione Stratigrafica.....	17
5.2 Caratterizzazione geotecnica .....	20
6. IDROGEOLOGIA.....	22
1.1 Prove di permeabilità .....	22
1.2 Monitoraggio falda acquifera.....	26
7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	30

## Elenco tabelle

TABELLA 1 – ELENCO SONDAGGI ZONA MELARA, FASE PE.....	8
TABELLA 2 – ELENCO SONDAGGI CAMPAGNA INDAGINI INTEGRATIVA – FASE PERIZIA INTEGRATIVA.....	9
TABELLA 3 – PROVE SPT SONDAGGI P.E. ....	10
TABELLA 4 - PROVE SPT SONDAGGI P.E. ....	10
TABELLA 5 - PROVE SPT SONDAGGI P.E. ....	10
TABELLA 6 - PROVE SPT SONDAGGI P.E. ....	10
TABELLA 7 - <i>PROVE DI LABORATORIO SU CAMPIONI INDISTURBATI (FORMAZIONE DEL VERRUCANO) – FASE P.E.</i> .....	13
TABELLA 8 - PROVE DI LABORATORIO SU CAMPIONI INDISTURBATI (COLTRI SUPERFICIALI) – FASE P.E. ...	14
TABELLA 9– PARAMETRI GEOTECNICI UNITÀ DEL VERRUCANO – FASE P.E. ....	20
TABELLA 10– PARAMETRI GEOTECNICI DEPOSITI ALLUVIONALE – FASE P.E. ....	20
TABELLA 11 – PARAMETRI GEOTECNICI DELLE UNITÀ INDAGATE – FASE PERIZIA INTEGRATIVA .....	21
TABELLA 12 – PARAMETRI GEOTECNICI DELLE UNITÀ – AGGIORNAMENTO PERIZIA INTEGRATIVA.....	21
TABELLA 13 – PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO .....	23
TABELLA 14 - VALORI MEDI DI PERMEABILITÀ DELLE UNITÀ GEOTECNICHE, FASE PERIZIA INTEGRATIVA	25
TABELLA 15 – DATI DI MONITORAGGIO FALDA, MISURAZIONI DICEMBRE 2014.....	26
TABELLA 16 – DATI DI MONITORAGGIO FALDA, MISURAZIONI DICEMBRE 2015 .....	27
TABELLA 17 – QUOTA FALDA SONDAGGI PERIZIA INTEGRATIVA.....	28
TABELLA 18 – QUOTA FALDA POZZI DI CONTROLLO – PIANO ESECUTIVO.....	28
TABELLA 19 – QUOTA FALDA PIEZOMETRI GIÀ ESISTENTI.....	28
TABELLA 20 – RISULTATI, IN TERMINI DI VS30, DELLE INDAGINI MASW EFFETTUATE IN ZONA MELARA E PIÙ PROSSIME ALLA GALLERIA IN PROGETTO .....	30

## Elenco Figure

FIGURA 1 – GALLERIA FORNACI II, PLANIMETRIA DI PROGETTO .....	5
FIGURA 2 – ESTRATTO DELLA CARTA GEOLOGICA CARG IN SCALA 1:5000 DEL FOGLIO “LA SPEZIA” CON INDICAZIONE DELL’ AREA DI PROGETTO (ELLISSE ARANCIO) .....	7
FIGURA 3 – GRAFICO NSPT SONDAGGI – FASE INTEGRATIVA. L’UNITÀ AL RAPPRESENTA INDICATIVAMENTE LA COLTRE SUPERFICIALE ATTUALMENTE INDICATA CON V1 .....	12
FIGURA 4 – COESIONE – PROFONDITÀ .....	15
FIGURA 5 – ANGOLO D’ ATTRITO - PROFONDITÀ .....	15
FIGURA 6 – COESIONE-PROFONDITÀ .....	16
FIGURA 7 – ANGOLO D’ ATTRITO-PROFONDITÀ .....	16
FIGURA 8 – PARTICOLARE DELLA CASSETTA N°1 (0-5 M) DEL SONDAGGIO S4 IN CUI SONO VISIBILI LE CARATTERISTICHE GRANULOMETRICO-TESSITURALI DELL’UNITÀ V1 .....	17
FIGURA 9 – CASSETTA N°3 (10-15 M) DEL SONDAGGIO S1 IN CUI SI PRESENTA L’UNITÀ V2.....	18
FIGURA 10. CASSETTA N°3 (10-15 M) DEL SONDAGGIO S4. PASSAGGIO DA UNITÀ V2 A UNITÀ V3A (11,9 M) CON CHIARO AUMENTO DELLA COMPONENTE GHIAIOSA E DIMINUZIONE DELLA MATRICE PIÙ FINE. .	19
FIGURA 11 – CASSA N°5 (20-25 M), SONDAGGIO S5. TROVANTE LAPIDEO COMPATTO CON CARATTERISTICHE IDENTICHE A QUELLE DEL SOTTOSTANTE SUBSTRATO QUARZITICO VERRUCANO	20
FIGURA 12 – GRAFICO DEI VALORI DI PERMEABILITÀ PER LE DIVERSE UNITÀ GEOTECNICHE, OTTENUTI MEDIANTE PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO (LEFRANC E LUGEON).....	24

---

FIGURA 13 – ANDAMENTO DEI LIVELLI DI FALDA RELATIVO AI PIEZOMETRI INSTALLATI NEI FORI DI SONDAGGIO ESEGUITI IN FASE DI INDAGINE INTEGRATIVA .....	27
FIGURA 14 – CATEGORIE SISMICHE DI SOTTOSUOLO SULLA BASE DEL DM 14/01/2008 .....	30
FIGURA 15 – MASW 651 .....	31
FIGURA 16 – MASW 652A – 652B .....	31
FIGURA 17 – GRAFICO DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE S RELATIVO AL DOWN-HOLE 602 .....	32

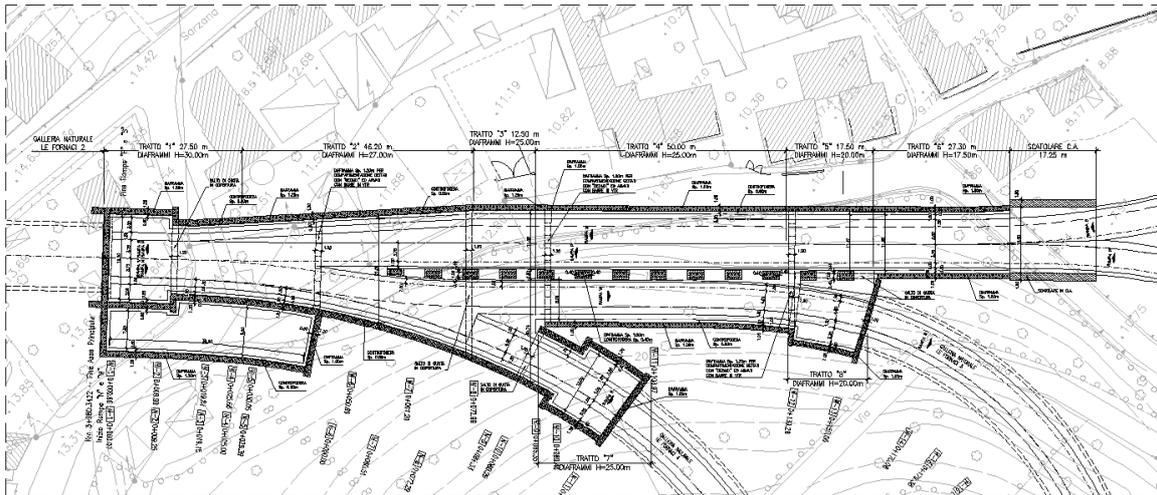
## 1. Premessa

Il presente documento è integralmente mutuato dal documento di PVT che è stato allegato al presente progetto di completamento nel documento avente codifica T00GA03GEORE01\_A con lo scopo di fornire un quadro completo sulle conoscenze geognostiche acquisite durante le campagne di indagini eseguite in fase di progetto esecutivo “Variante alla SS n°1 Aurelia, Viabilità di accesso all’Hub portuale di La Spezia, Interconnessione tra i caselli dell’A 12 e il porto di La Spezia” ed in fase di Perizia Integrativa.

Per le considerazioni inerenti la parametrizzazione geotecnica dei terreni coinvolti nello scavo della galleria si rimanda integralmente alla relazione geotecnica generale T00GE00GETRE07\_B che discute le indagini che verranno di seguito presentate e definisce i parametri di calcolo per le strutture della galleria.

## 2. Introduzione

L'area di studio si colloca nel tratto finale dell'interconnessione, in corrispondenza dell'attuale svincolo "Melara" e sarà caratterizzato dalla presenza di una galleria scatolare artificiale denominata *Fornaci II*. Lo sviluppo dell'opera in progetto è indicato in Figura 1.



**Figura 1 – Galleria Fornaci II, planimetria di progetto**

Nei seguenti capitoli verranno descritte le caratteristiche geologico-geotecniche e idrogeologiche dei terreni interferenti con l'opera in progetto, ricavate dalle prove in situ e dai test di laboratorio, nonché quelle sismiche derivate dalle prove geofisiche.

### 3. Inquadramento dell'area

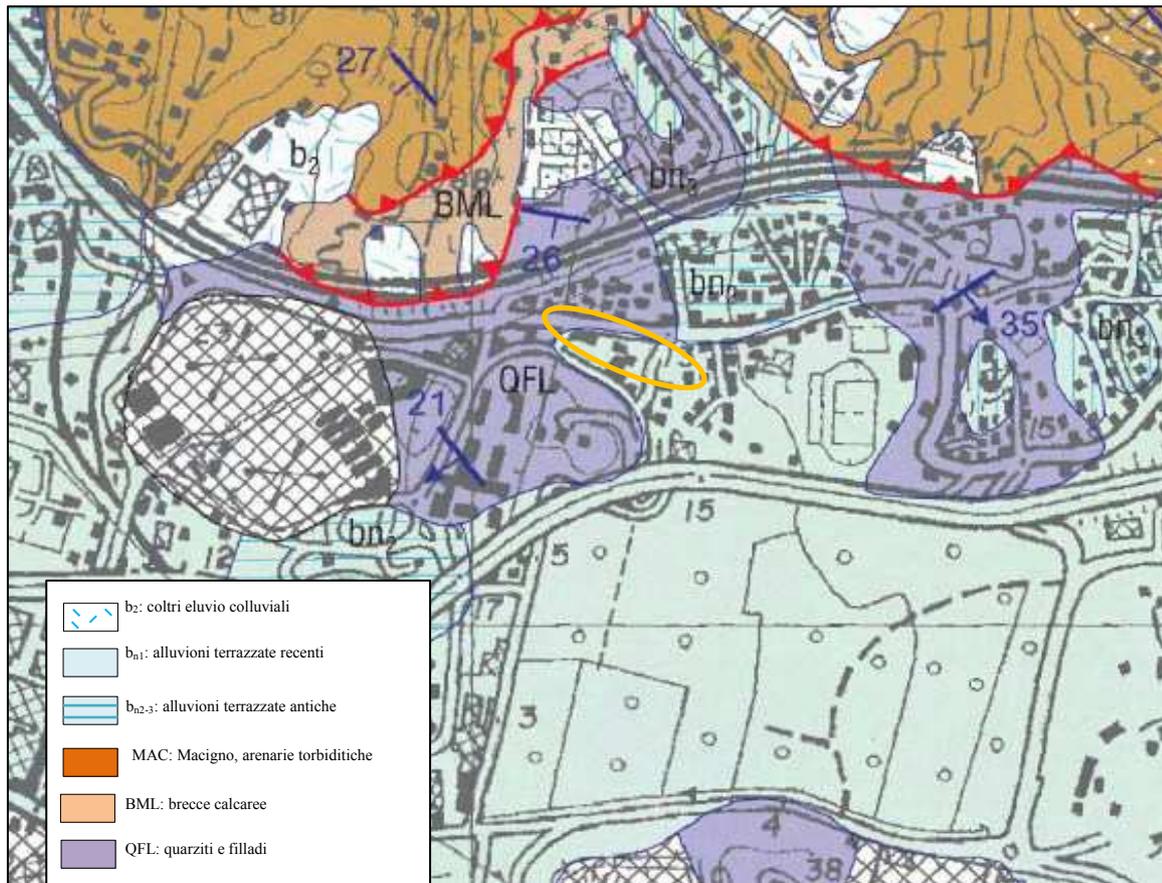
#### 3.1 Fisiografia

L'area in esame è posta ad una quota variabile tra i 5 e i 30 m s.l.m. e si trova al margine nord occidentale della piana alluvionale ove sorge la città di La Spezia. La morfologia è caratterizzata da modesti rilievi collinari che costituiscono le propaggini più meridionali delle alture poste subito a monte dell'abitato. In particolare l'opera in progetto si colloca in corrispondenza del versante nord-orientale di un piccolo rilievo isolato emergente dalla piana alluvionale (altezza max. 30 m s.l.m.) e da questa separato rispetto ai rilievi retrostanti. Per quanto concerne la presenza di insediamenti antropici, l'area di progetto vede la presenza di una zona urbanizzata posta oltre l'adiacente via di Melara e chiaramente visibile nella parte alta di Figura 1.

#### 3.2 Inquadramento geologico

L'area di studio, collocata alle pendici dei monti che circondano l'area del golfo di La Spezia, è caratterizzata dall'affioramento di formazioni appartenenti al gruppo del Verrucano (Dominio Toscano), con particolare riferimento ai termini quarziticici e filladici del Carnico (QFL). Questa formazione, di età triassica superiore (Carnico) rappresenta la sequenza più antica affiorante nell'area che circonda il golfo di La Spezia. Essa è caratterizzata da quarziti a grana da medio-grossolana a fine, generalmente piuttosto cernite e di color grigio e grigio rosato, in strati di spessore centimetrico-decimetrico (max 70-80 cm) e con geometrie piano parallele alla scala degli affioramenti. Sono presenti interstrati metasiltitici che localmente possono formare anche dei corpi essenzialmente pelitici dello spessore massimo di alcuni metri. Gli strati quarziticici, la porzione superiore dei quali può risultare verdastra-arrossata, mostrano localmente laminazioni piano-parallele ed incrociate. Lo spessore complessivo di questa unità non è facilmente valutabile a causa delle frequenti laminazioni tettoniche che interessano il tetto e per deformazioni plicative polifasiche. Inoltre i terreni risultano caratterizzati da un elevato grado di eterogeneità e da un'alterazione sempre più spinta approssimandosi al piano campagna.

Nelle zone prospicienti la stretta piana alluvionale, posta tra l'area di progetto e i monti di La Spezia, è inoltre possibile individuare una copertura di materiali alluvionali recenti, con spessori variabili, caratterizzati da limi, sabbie e ghiaie, frammisti in misura variabile, interpretati, nell'area di studio, come "alluvioni corte", ovvero materiale ridepositato a seguito di fenomeni di trasporto su distanze molto ridotte rispetto al luogo di origine.



**Figura 2 – Estratto della carta geologica CARG in scala 1:5000 del foglio “La Spezia” con indicazione dell’area di progetto (ellisse arancio)**

Nel presente capitolo ci si limita ad una generale descrizione delle unità, utile a comprendere meglio i risultati delle prove in sito, di seguito indicate. La suddivisione stratigrafica generale individuata è la seguente:

- Coltre alterata e meteorizzata, limi sabbioso-argillosi con clasti (V1);
- Verrucano alterato, coltre eluvio-colluviale (V2);
- Verrucano quarzítico alterato, ghiaia e clasti quarzíticos (V3a);
- Verrucano compatto (V3).

Nei capitoli riguardanti la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica verranno indicati con precisione i caratteri delle diverse unità, definiti sulla base delle prove in sito eseguite.

## 4. indagini geognostiche e prove di laboratorio

### 4.1 Dati disponibili

Di seguito vengono elencati i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in “Zona Melara” in fase di progetto esecutivo (Tabella 1). Durante l’esecuzione di tali prove sono stati prelevati campioni indisturbati per le analisi di laboratorio e sono state eseguite alcune prove SPT (*Standard Penetration Test*) sui vari litotipi incontrati. I risultati di queste prove sono riportati nei paragrafi successivi. L’ubicazione dei sondaggi è riportata nella planimetria allegata (Allegato 1)

#### ❖ SVINCOLO MELARA

Sond. n°	Data	Localizzazione	Quota presunta s.l.m.	Sonda utilizzata	Perforazione m.
601	27-30/09	44°07' 00" N 9°51' 43" E	15.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	22.5
602	01-05/10	44°06' 57" N 9°51' 53" E	9.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	26.0
603	25-30/11	44°06' 52" N 9°51' 51" E	3.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	30.0
604	11-13/10	44°06' 55" N 9°52' 03" E	6.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
605	14-15/10	44°06' 52" N 9°52' 13" E	8.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	25.0
606	15-20/10	44°06' 55" N 9°51' 50" E	6.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
607	07-11/10	44°06' 54" N 9°51' 57" E	6.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
608	19-24/11	44°06' 50" N 9°51' 42" E	8.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
609	02-05/11	44°07' 02" N 9°51' 43" E	16.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
610	27-29/10	44°06' 57" N 9°51' 49" E	17.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	25.0

**Tabella 1 – Elenco sondaggi Zona Melara, fase PE**

In particolare, la ricostruzione stratigrafica, in corrispondenza della galleria Fornaci II, si è avvalsa dei soli sondaggi 602 e 610 che risultano quelli più prossimi all’opera.

La campagna indagini ha successivamente previsto, in fase di Perizia Integrativa, l’esecuzione di ulteriori 8 sondaggi a carotaggio continuo e di uno a distruzione di nucleo (SA) così come indicato in Tabella 2.

Sondaggio	Profondità [m]	n. campioni indisturbati	Piezometro	n. Prove SPT	n. Prove permeabilità Lefranc	n. Prove permeabilità Lugeon
S1	30.0	1	CC [15 m]	5	5	-
S2	35.0	1	CC [10 m]	4	3	-
S4	30.0	2	CC [23.5 m]	4	5	-
S5	25.0	2	CC [15 m]	6	3	-
S6	35.0	1	TA [20-30 m]	-	3	-
S7	35.0	-	CC [15 m]	5	3	-
S8	40.0	1	TA [10-14 m]	5	6	-
S9	36.0	1	CC [35 m]	-	4	1
SA	35.0	-	TA [25-35 m]	-	2	-
CC [cella Casagrande] [profondità di installazione] TA [tratto filtrante tubo aperto]						

**Tabella 2 – Elenco sondaggi campagna indagini integrativa – Fase Perizia Integrativa**

#### 4.2 Prove SPT in foro

Durante le fasi di perforazione sono state eseguite alcune prove SPT (*Standard Penetration Test*) sia nella coltre superficiale che nei termini appartenenti alla formazione del Verrucano in profondità. Di seguito vengono riportati i risultati delle prove sotto forma di tabella per i sondaggi eseguiti in fase di progetto esecutivo e sotto forma di grafico per i sondaggi della campagna integrativa. Bisogna ricordare inoltre come la suddivisione delle unità geotecniche in fase di progetto esecutivo e di perizia, a cui fanno riferimento le seguenti tabelle e grafici, fosse leggermente diversa, ma comunque coerente e confrontabile, con quella attualmente adottata.

Sondaggio n°	505	505	505	505
S.P.T. n°	1	2	3	4
Profondità da m (p.c.)	4,00	9,00	12,50	14,70
Litotipo	V2	V2	V2	V3
N° colpi 0 – 15 cm	28	R(6 cm)	R(10 cm)	R(5 cm)
N° colpi 15 – 30 cm	R(11 cm)			

Sondaggio n°	505	505	505	505
N° colpi 30 – 45 cm	/			
N <sub>SPT</sub>	Rif	Rif	Rif	Rif

**Tabella 3 – Prove SPT sondaggi P.E.**

Sondaggio n°	601	601	605
S.P.T. n°	1	2	1
Profondità da m (p.c.)	5,0	8,0	10,0
Litotipo	V2	V2	V2
N° colpi 0 – 15 cm	16	15	25
N° colpi 15 – 30 cm	21	17	R(4 cm)
N° colpi 30 – 45 cm	27	38	
N <sub>SPT</sub>	48	55	Rif

**Tabella 4 - Prove SPT sondaggi P.E**

	606	606	606	607	607
S.P.T. n°	1	2	4	1	2
Profondità da m (p.c.)	4,50	7,50	17,70	7,00	11,30
Litotipo	V2	V3	V3	V2	V2
N° colpi 0 – 15 cm	23	21	46	26	43
N° colpi 15 – 30 cm	36	43	R(7 cm)	29	R(11 cm)
N° colpi 30 – 45 cm	44	R(11 cm)		31	
N <sub>SPT</sub>	80	Rif	Rif	60	Rif

**Tabella 5 - Prove SPT sondaggi P.E.**

Sondaggio n°	609	609	609	610	610
S.P.T. n°	1	2	4	1	2
Profondità da m (p.c.)	4,00	6,50	18,00	3,00	7,30
Litotipo	Alluv.	V1	V3	V2	V2
N° colpi 0 – 15 cm	5	6	41	25	31
N° colpi 15 – 30 cm	8	7	R(11 cm)	39	46
N° colpi 30 – 45 cm	9	13		46	R(9 cm)
N <sub>SPT</sub>	17	20	Rif	85	Rif

**Tabella 6 - Prove SPT sondaggi P.E.**

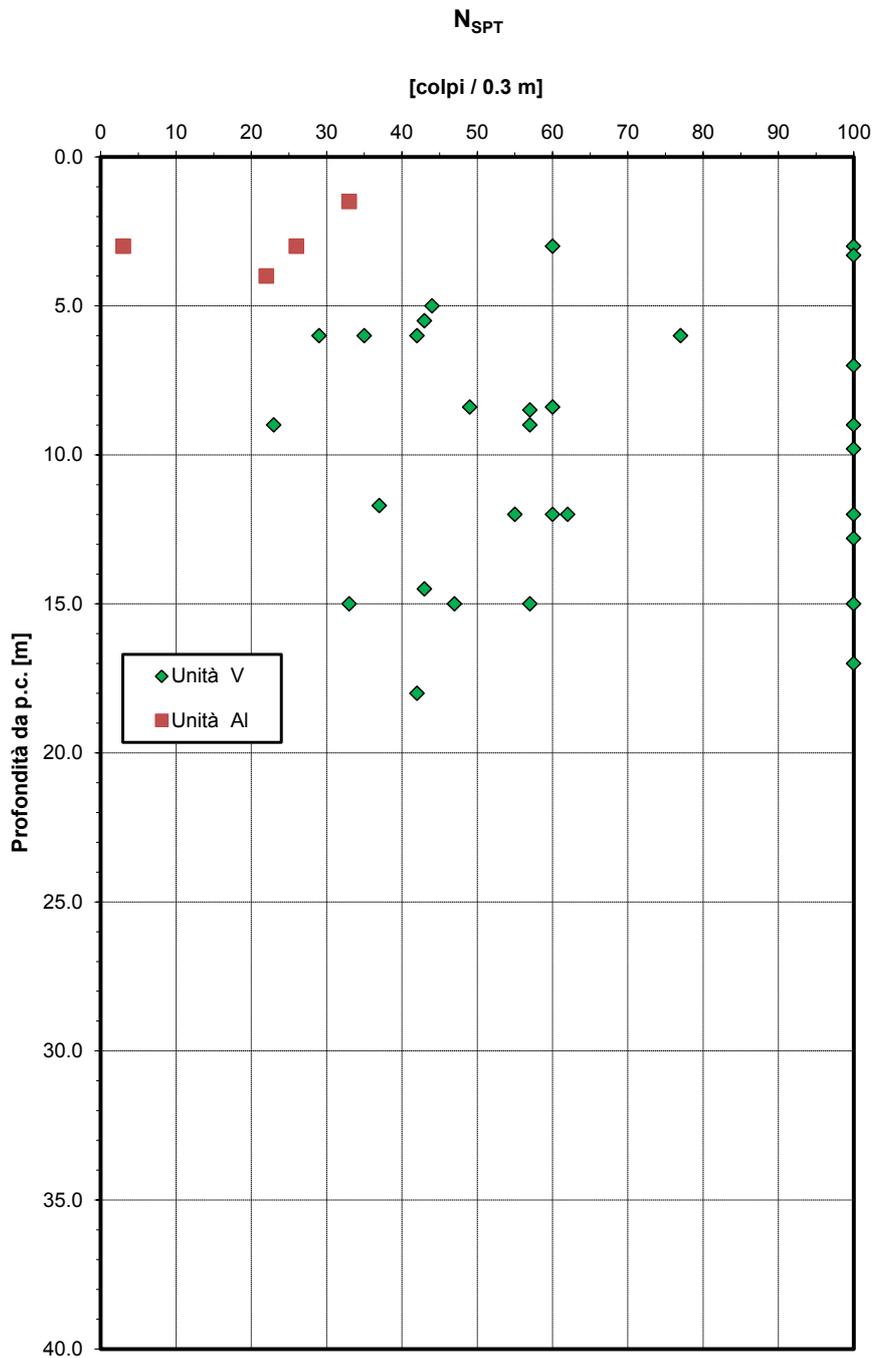
L'unità del Verrucano alterato ha mostrato un valore medio di circa 40 colpi (con alcune prove che sono però andate a rifiuto). Questo è dovuto all'estrema eterogeneità dei terreni indagati e alla presenza di lenti di ghiaie o materiale roccioso alterato.

Per quanto riguarda l'unità di substrato più compatta V3, le prove SPT sono andate a rifiuto.

L'unica prova eseguita all'interno delle coltri superficiali ha indicato un valore N di 17 colpi.

Passando alle indagini integrative recenti, il grafico mostra come i valori N<sub>spt</sub> per i materiali più superficiali, indicati come coltri superficiali (A1), siano contenuti in un intervallo compreso tra 20 e 35 colpi (con un unico risultato inferiore a 5 colpi).

L'unità Verrucana (considerata nei suoi termini V2 e V3a) mostra una maggior concentrazione di valori tra 40 e 60 colpi, ma sempre a causa dell'elevato grado di eterogeneità si possono notare valori più bassi (inferiori a 30 colpi), così come prove che sono giunte a rifiuto prima del completamento.



**Figura 3 – Grafico Nspt sondaggi – Fase integrativa. L'unità AI rappresenta indicativamente la coltre superficiale attualmente indicata con V1**

#### 4.3 Prove di laboratorio

Le prove di laboratorio sono state eseguite per le indagini inerenti al Progetto Esecutivo e ne vengono di seguito riportati i risultati sotto forma tabellare per i sondaggi eseguiti nell'area dello svincolo di Melara.

CAMPIONE	S60SR1	S60SR2	S60SR3	S60SR4	S60SR1	S60SR2	S60SR3	S60SR4	S60SR5	S60SR6	S60SR7	S60SR8	S60SR9	S60SR10
Profondità (m)	47-50	34.4-34.7	33.1-33.4	32.0-32.3	48-50	35-37	40-42	30.0-30.0	24.0-25.0	34-40	40-45	31.1-31.4	34.2-34.5	
Prova R.L.L.														
Cs (Pa)	566	973	369	195.1	50.7	15.9	53.9	118.0	50.0	30.2	1279	125.5	38.4	
Indice	1490	4881	159	17801	283	1928	168	2651	338	4435	488	1627		
Prova di taglio														
C (Pa)	9.9	128	19	44	23	17.1	9.2	11.4		17.3	483	38.4	63	
tan(°)	28.2	32.3	32.3	33.9	34.9	32.3	30.3	31.0		31.0	31.6	29.0	33.9	
Parametri fluidi														
Porosità assoluta (Void)	18.4	189	21.0	21.2	21.9	21.2	22.0	21.1	21.7	19.1	16.4-18.9	19.0-20.1	22.9	
Porosità (Void)	16.1	169	18.6	18.6	18.9	18.2	18.1	18.6	18.2	15.0	13.9-15.8	14.7-16.1	20.0	
Peso specifico dei granuli (kN/m³)	27.17			27.22			27.07	26.79	27.13	27.17	27.34	27.06	26.35	
Indici di vuoto	0.70			0.69			0.69	0.68	0.69	0.67	0.73	0.69	0.68	
Indice di struttura (SI)	38.70			73.84			105.08	34.95	91.92	95.61	100.49	90.44	95.97	
Indici di Atterraggio														
Indice di consistenza (SI)	14.28	1490	12.78	12.82	12.54	9.91	34.39	31.45	12.78	34.71	35.98	14.49	12.21	
Indice di consistenza (SI)	24.6	22.7	22.1	20.5	24.3	25.9	21.7	30.2	28.7	42.2	44.1	25.9	17.8	
Indice di consistenza (SI)	18.3	160	17.3	15.4	15.6	13.0	16.1	24.2	17.1	28.4	23.4	18.9	12.9	
Indice di consistenza (SI)	6.1	6.2	4.9	5.1	3.6	3.9	5.6	5.9	5.6	13.8	18.2	6.9	4.9	
Indice di consistenza	1.65	0.88	2.01	1.55	0.78	5.44	1.15	2.97	1.77	1.13	0.97	1.51	1.04	
Indice di consistenza	0.39	0.33	0.35	0.38	0.37	0.38	0.38	0.34	0.39	0.40	0.72	0.48	0.38	
Classificazione Casagrande	ML-CL	ML-CL	ML-CL	ML-CL	CL	ML-CL	ML-CL	ML-CL	ML-CL	ML-CL	CL	ML-CL	ML-CL	
Granulometria														
Urtica (SI)	25.1	4.8	28.2	18.0	20.5	34.9	10.5	33.0	18.6	3.6	6.7	11.5	34.5	
Urtica (SI)	28.4	28.7	41.7	41.4	37.8	37.8	49.8	34.1	30.4	25.4	24.1	44.9	38.0	
Urtica (SI)	28.6	37.5	25.6	27.1	31.7	21.8	20.0	23.1	24.8	40.8	34.4	32.3	20.4	
Urtica (SI)	8.3	17.9	10.1	11.1	14.1	11	10.7	7.8	6.2	30.2	20.3	11.6	9.1	
Classificazione UNI 9946														
Gruppo	A4	A4	A4	A4	A4	A2-4	A4	A2-4	A4	A2-4	A2-4	A4	A2-4	
Indice di stato	1	4	1	1	3	0	3	0	1	10	9	2	0	
Classificazione di consistenza	O4	O4	O4	O4	O4	O5	O4	O4	O4	O5	O5	O4	O4	
Tipo litologico	A	T	A	A	A	A	AT	A	A	T	T	TA	A	

Tipo litologico: Roccia (R); Alluvione (A); Terra (T)

Tabella 7 - Prove di laboratorio su campioni indisturbati (formazione del Verrucano) – Fase P.E.

CAMPIONE	S603C1	S604C2	S604C3	S605C1	S607C1	S608C1	S608C2
Profondità metri	4.5 - 5.0	10.0 - 10.5	15.0-15.5	5.5 - 6.0	3.0 - 3.4	7.4 - 7.8	12.0 - 12.5
<b>Prova E.L.L.</b>							
Cu (kPa)	20,6	73,6	64,8	112,7	122,9	36,9	31,7
Eti (kPa)	5724	12101	6355	4346	3918	6850	4686
<b>Prova di taglio</b>							
C (kPa)	36,2	32,4	16,6	18,9	18,0	41,2	15,9
( °)	31,7	30,1	29,4	30,2	32,6	24,5	27,3
<b>Parametri fisici</b>							
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19,2	19,4	18,3 - 19,6	20,4	19,3	18,9	18,2 - 20,1
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	15,8	15,2	13,9 - 15,4	16,9	16,3	15,1	13,5 - 16,0
Peso specifico dei grani (kN/m <sup>3</sup> )			26,51		26,26		
Indice dei vuoti			0,861		0,606		
Grado di saturazione (%)			98,91		83,57		
<b>Limiti di Atterberg</b>							
Umidità naturale (%)	18,75	26,71	27,46	20,70	13,79	24,70	31,51
Limite liquido (%)	30,3	40,7	33,4	31,1	26,9	38,6	44,0
Limite plastico (%)	20,3	29,0	25,0	17,9	17,1	23,4	30,5
Indice di plasticità (%)	10,0	11,7	8,4	13,2	9,8	15,2	13,5
Indice di consistenza	1,16	1,20	0,71	0,79	1,34	0,92	0,92
Indice di attività	1,16	0,66	0,68	0,45	0,42	0,64	0,53
Classificaz. Casagrande	CL	ML-OL	ML-OL	CL	CL	ML	ML-OL
<b>Granulometria</b>							
Ghiaia (%)	11,9	0,4	18,0	0,2	48,4	2,9	0,1
Sabbia (%)	45,4	23,8	37,0	33,2	28,9	28,3	13,5
Limo (%)	35,6	59,1	36,5	38,9	14,7	48,0	60,9
Argilla (%)	7,0	16,8	8,5	27,8	8,1	20,8	25,4
<b>Classificazione UNI 10006</b>							
Gruppo	A4	A7-6	A4	A6	A2-4	A6	A7-5
Indice di gruppo	2	9	3	8	0	9	10
Classe di qualità dei campioni	Q.5	Q.5	Q.5	Q.5	Q.5	Q.5	Q.5
Tipo litologico	A/T	T	A	T	A	T	T

Tipo litologico: Roccia ( R ); Alterazione ( A ), Terra ( T )

## Tabella 8 - Prove di laboratorio su campioni indisturbati (Coltri superficiali)

### – Fase P.E.

Di seguito si riportano i grafici relativi alla variazione dei parametri di angolo d'attrito e coesione per le due formazioni incontrate (Verrucano e coltri superficiali) – Grafici da relazione di Perizia.

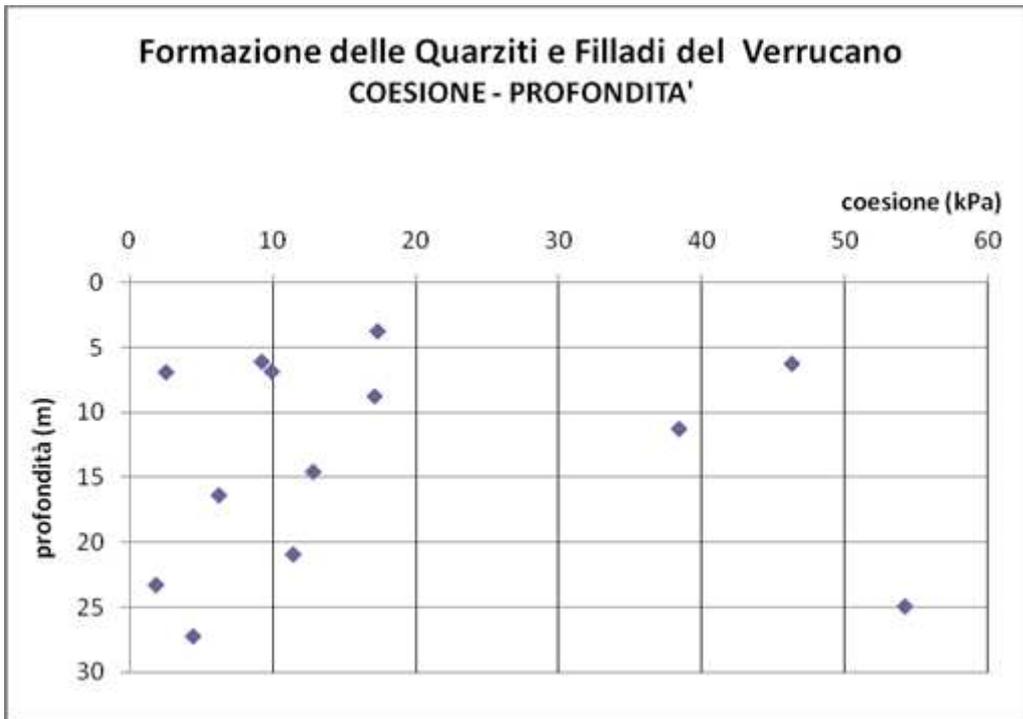


Figura 4 –coesione – profondità

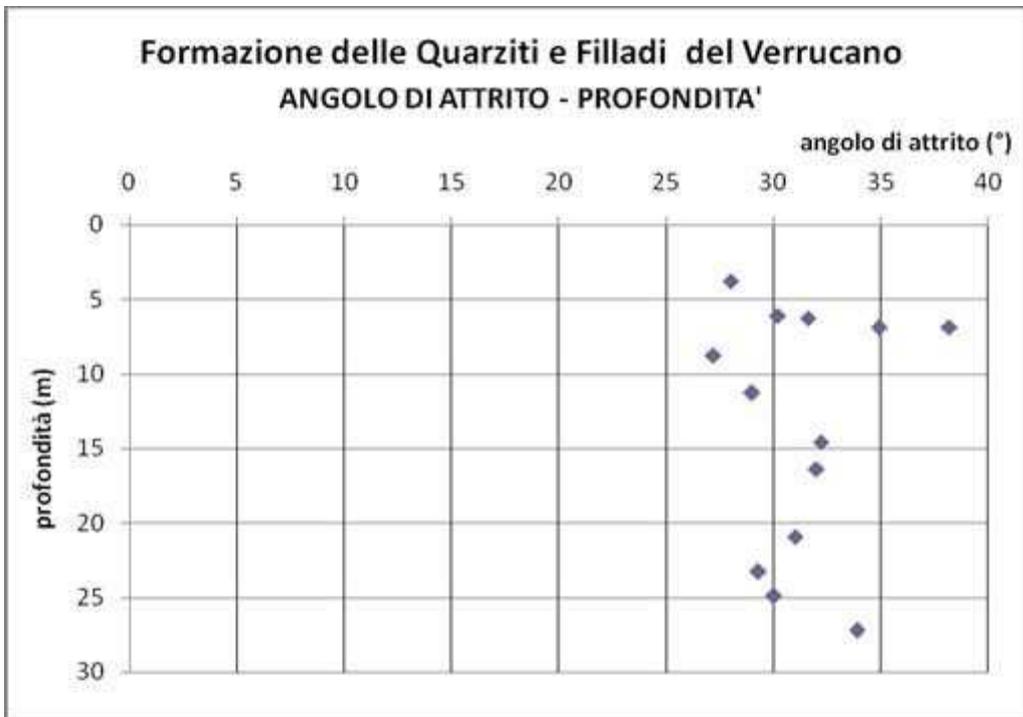


Figura 5 –angolo d'attrito - profondità

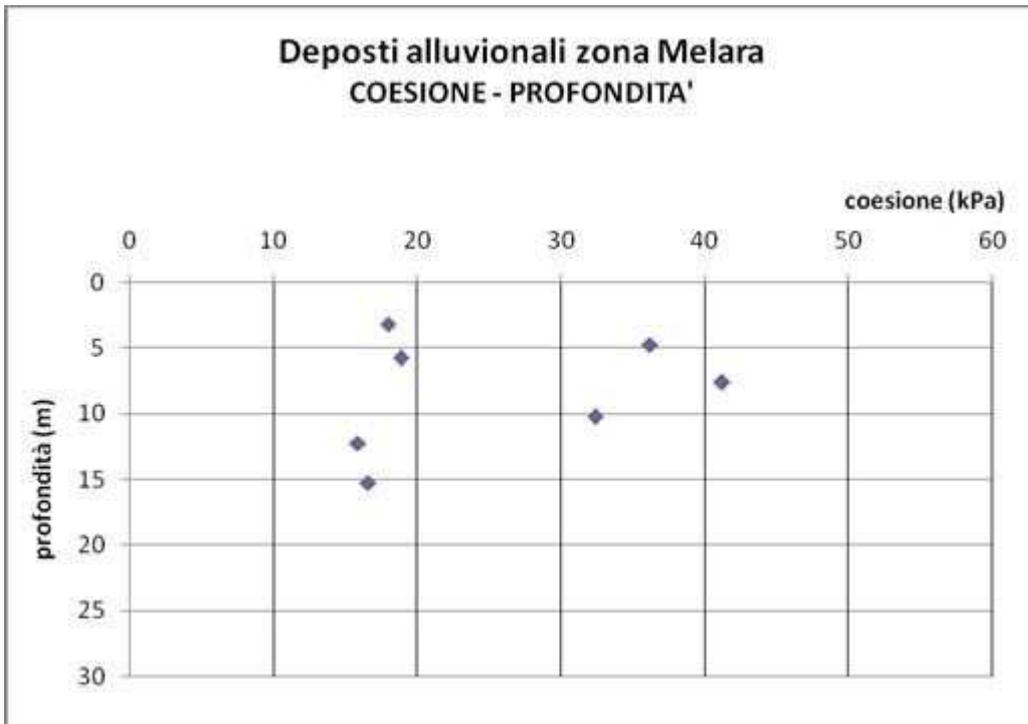


Figura 6 –coesione-profondità

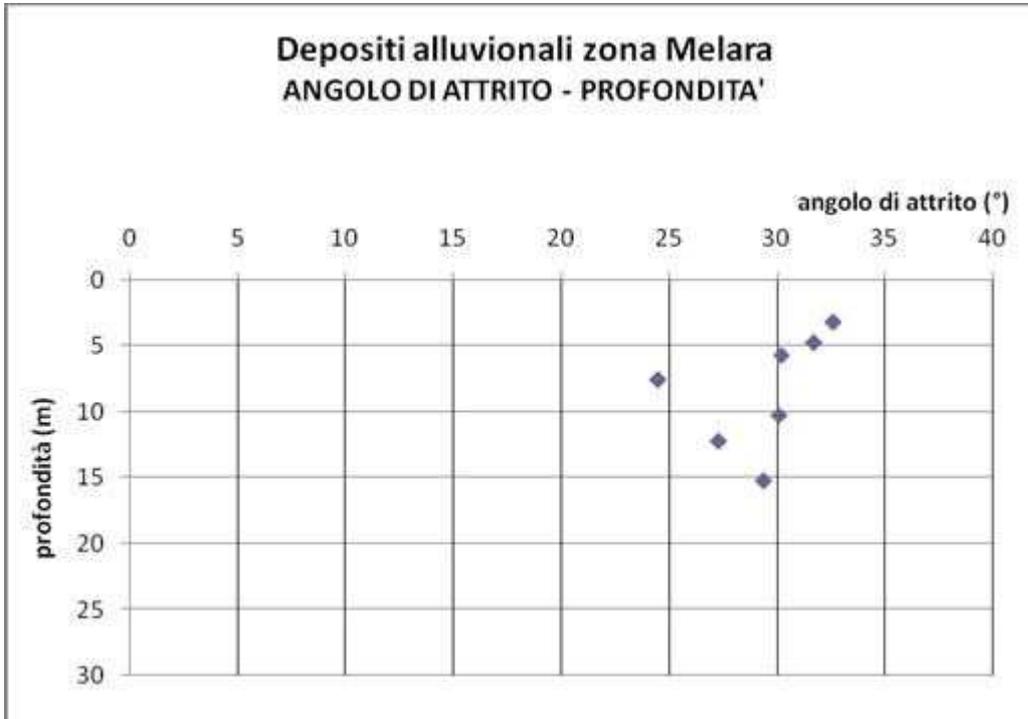


Figura 7 –angolo d'attrito-profondità

## 5. Caratterizzazione stratigrafica e geotecnica

### 5.1 Caratterizzazione Stratigrafica

Sulla base dei dati disponibili si è cercato di definire un modello geologico-geotecnico quanto più coerente possibile con le caratteristiche geomorfologiche e con gli ipotizzati meccanismi deposizionali agenti nell'area di studio.

Nonostante ciò risulta ancora di complessa definizione il limite stratigrafico tra i materiali maggiormente alterati e meteorizzati e le unità sottostanti.

In base a questa interpretazione si è definita la seguente stratigrafia:

- **UNITA' V1:** E' stata interpretata come una coltre di materiale completamente meteorizzato caratterizzato da una matrice limoso-sabbiosa debolmente argillosa con inclusi quarzatici appartenenti al substrato Verrucano (Figura 8) che, a causa della loro forma da angolare a sub-angolare non possono avere subito fenomeni di trasporto su lunghe distanze e sono state per questo identificate come "alluvioni corte". L'unità presenta uno spessore variabile tra 7 e 9 metri nella zona di valle, ai piedi del piccolo rilievo, fino ad esaurirsi nelle aree più elevate dello stesso.



Figura 8 – Particolare della cassetta n°1 (0-5 m) del sondaggio S4 in cui sono visibili le caratteristiche granulometrico-tessiturali dell'Unità V1

- **UNITA' V2:** Presenta anch'essa caratteristiche di alterazione, ma meno spinta rispetto all'unità V1. Ciò induce a pensare che si tratti un deposito eluvio-colluviale in posto. Anche l'unità V2 presenta una matrice limoso-sabbiosa

debolmente argillosa di fondo, con una maggior componente clastica quarzifica derivante dal substrato (Figura 9). L'unità presenta uno spessore variabile che arriva fino al contatto col substrato più compatto.



**Figura 9 – Cassette n°3 (10-15 m) del sondaggio S1 in cui si presenta l'unità V2**

- **UNITA' V3A:** E' rappresentata da breccie quarzifiche debolmente alterate talvolta in presenza di matrice limoso-argillosa, talvolta in assenza di quest'ultima. Queste lenti, presenti in abbondanza all'interno dell'unità V2, sono probabilmente il frutto di processi di alterazione e fratturazione del substrato meno spinti, dovuti alla presenza di porzioni di roccia maggiormente resistenti.



**Figura 10. Cassetta n°3 (10-15 m) del sondaggio S4. Passaggio da unità V2 a unità V3a (11,9 m) con chiaro aumento della componente ghiaiosa e diminuzione della matrice più fine.**

- **UNITA' V3:** L'ultima unità, rappresentata dal substrato compatto non interessato direttamente dalle lavorazioni, si presenta come un' arenaria quarzatica fratturata. Talvolta si rinvengono, come nel caso del sondaggio S5, delle lenti di materiale compatto sotto forma di trovanti lapidei all'interno della sequenza di alterazione. L'orizzonte del substrato affiora quasi sempre oltre i 30 metri di profondità dal piano campagna e non risulta raggiunto in tutti i sondaggi effettuati ma solo in alcune perforazioni a profondità maggiore di 26.7 (S2) m, 38.6 m (S8), 28 m (S9), 33 m (S7).
-



**Figura 11 – Cassa n°5 (20-25 m), sondaggio S5. Trovante lapideo compatto con caratteristiche identiche a quelle del sottostante substrato quarzítico Verrucano**

Tale classificazione, aggiornata rispetto a quella eseguita in fase di perizia integrativa, come già indicato precedentemente, differisce in parte da quella operata in sede di Piano Esecutivo. In questa fase, infatti, non era stata discriminata l'unità denominata V3a, successivamente inserita.

## 5.2 Caratterizzazione geotecnica

In fase di Piano Esecutivo la caratterizzazione dei parametri geotecnici ha dunque previsto l'uso di 3 unità (V1, V2, V3), oltre ai depositi alluvionali (Al), così come riportato nelle tabelle seguenti:

QUARZITI E FILLADI DEL VERRUCANO

Unità	$\gamma$	$c'$	$\phi'$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[°]
V1	20-21	15-20	31-32
V2	21-22	25-40	30-31
V3	21-22	35-50	31-32

**Tabella 9– Parametri geotecnici unità del Verrucano – Fase P.E.**

DEPOSITI ALLUVIONI

Unità	$\gamma$	$c'$	$\phi'$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[°]
Al	18-20	23-30	29-31

**Tabella 10– Parametri geotecnici depositi alluvionale – Fase P.E.**

In sede di Perizia Integrativa di variante è stata eseguita una correlazione dei risultati delle prove di laboratorio del P.E. con i dati della campagna geognostica integrativa. Di seguito è riportata la tabella relativa ai parametri e alle profondità medie delle corrispondenti unità geotecniche:

<b>Stratigrafia [m] da p.c.</b>	<b>Unità geotecnica</b>	<b><math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>c'</math> [kPa]</b>	<b><math>\phi'</math> [°]</b>
<b>Da 0.0 a 5.0</b>	<b>Depositi alluvionali - AI</b>	19	5	30
<b>Da 5.0 a 28÷39</b>	<b>Verrucano alterato V1/V2/V3a</b>	20	15	31
<b>Profondità maggiore di 28÷39</b>	<b>Verrucano compatto - V3</b>	21	40	31

**Tabella 11 – Parametri geotecnici delle unità indagate – Fase Perizia Integrativa**

I valori di coesione, per quanto riguarda i depositi alluvionali sono stati considerati più bassi, a favore di sicurezza, vista l'elevata eterogeneità stratigrafica che li caratterizza. Allo stesso modo anche i valori di coesione delle unità Verrucane alterate sono stati considerati inferiori ai valori medi derivanti dalle indagini di laboratorio del P.E., tenendo in conto la presenza di strati a maggior componente quarzítico-ghiaiosa caratterizzati da minor presenza di matrice fine.

L'ultima analisi, effettuata riorganizzando e reinterpretando i dati disponibili, ha condotto ad un'ulteriore aggiustamento dei parametri geotecnici, in funzione di un aggiornamento delle unità discriminate. Nella seguente tabella si riportano i valori dei principali parametri geotecnici.

Unità	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]
V1	19	5	30
V2	20	15	31
V3a	21	15	35
V3	22	40	45

**Tabella 12 – Parametri geotecnici delle unità – Aggiornamento Perizia Integrativa**

## 6. Idrogeologia

### 1.1 Prove di permeabilità

Le formazioni interferenti con le lavorazioni sono state indagate, durante la campagna integrativa, con prove LeFranc/Lugeon.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei dati disponibili, derivati dalla campagna di indagine effettuata in fase di Perizia Integrativa.

SONDAGGIO	PROFONDITA' DA P.C. (m)	UNITA' GEOTECNICA	PERMEABILITA' (cm/s)
S1	4.5-6.0	V2	3,02E-05
S1	9.0-10.0	V2	4,02E-04
S1	15.0-16.5	V2	2,01E-03
S1	21.0-22.0	V2	5,32E-04
S1	25.5-27.0	V3	3,32E-03
S2	6.0-7.0	V1	4,44E-04
S2	13.5-14.5	V2	8,68E-04
S2	24.0-25.0	V2	1,42E-03
S4	4.0-5.0	V1	7,12E-04
S4	9.0-10.0	V2	1,17E-03
S4	12.0-13.0	V3a	6,24E-03
S4	19.5-21.0	V3a	1,51E-03
S4	25.5-26.5	V3a	1,05E-02
S5	4.0-5.0	V1	2,17E-04
S5	7.0-8.0	V1	6,37E-04
S5	14.0-15.0	V2	2,09E-03
S5	20.0-24.0	V3	2,10E-04
S6	15.0-16.0	V2	1,34E-03
S6	20.0-21.0	V3a	7,69E-03
S6	25.0-26.1	V2	1,04E-02
S7	9.0-10.0	V2	1,39E-03
S7	20.0-21.0	V2	3,19E-03
S7	30.0-31.0	V3a	1,33E-03
S8	4.5-5.5	V1	8,23E-04
S8	9.0-10.0	V2	1,62E-03
S8	14.0-15.0	V2	5,68E-03
S8	19.5-20.5	V2	1,15E-02
S8	24.0-25.0	V3a	2,14E-03
S8	31.0-32.0	V2	6,46E-04
S9	4.5-5.5	V1	2,39E-04
S9	10.5-12.0	V2	1,55E-03
S9	15.0-16.5	V3a	2,95E-03
S9	24.0-25.5	V3a	1,50E-03
S9	32.0-35.0	V3	1,94E-04

## Tabella 13 – Prove di permeabilità in foro

Nel seguente grafico sono riassunti i valori di permeabilità riferiti alle diverse unità geotecniche all'aumentare della profondità e i valori medi di conducibilità idraulica ed esse riferiti.



carattere eterogeneo delle formazioni), di aumento di conducibilità idraulica con la profondità.

In generale, i valori medi di permeabilità, determinati dalle prove in foro sono i seguenti:

Valori medi permeabilità k (cm/s)			
V1	V2	V3a	V3
5.12E-04	2.70E-03	4.23E-03	1.24E-03

**Tabella 14 - Valori medi di permeabilità delle unità geotecniche, Fase Perizia Integrativa**

In base alle prove di emungimento, effettuate in fase di Progetto Esecutivo, da due pozzi collocati in prossimità del raccordo tra le gallerie Fornaci I e II, si sono identificati due acquiferi, di cui uno più superficiale nei materiali superficiali ed alterati ed uno profondo nel substrato.

L'acquifero più superficiale è caratterizzato dalla presenza litologica di alternanze di sedimenti prevalentemente fini limosi con elementi ciottolosi ghiaiosi e sabbiosi.

L'acquifero in pressione del Verrucano è invece confinato al tetto dalla componente filladica ed è costituito da frazione litoide brecciata, molto fratturata. I valori di permeabilità e trasmissività definiti sulla base delle prove di emungimento del pozzo 640 (che intercetta l'acquifero in pressione) hanno indicato i seguenti valori:

$$T = 1,7 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 1,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Valori molto simili sono descritti anche per il pozzo 641 che intercetta anch'esso il substrato compatto Verrucano a 25 metri di profondità.

Il pozzo 643 intercetta invece la falda ospitata nei materiali più superficiali. Dalle prove di emungimento su questo pozzo si definisce una trasmissività:

$$T = 1,22 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

e una conducibilità idraulica:

$$k = 1,74 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Si può notare come il dato di permeabilità, pur mostrando valori elevati, risulti di circa 2 ordini di grandezza inferiore rispetto a quella dell'acquifero Verrucano, dimostrando, così, la tendenza, già emersa precedentemente dall'analisi delle prove di permeabilità in foro, ad un aumento della permeabilità con la profondità.

Un dato importante è rappresentato dai valori medi di permeabilità riscontrati per le unità geotecniche definite in sede di perizia integrativa (Tabella 14). Infatti, si può notare come le coltri superficiali (seppur rappresentate da pochi dati) presentino permeabilità mediamente più basse di circa un ordine di grandezza rispetto alle unità del substrato alterato.

Inoltre non si riscontra una differenza di conducibilità idraulica importante tra l'unità V2 (Verrucano alterato) e V3a (Verrucano quarzítico alterato – ghiaie e clasti quarzíticos). Queste ultime risultano solo leggermente più permeabili.

Questo dato è meritevole di approfondimento poiché, durante la fase di posa dei diaframmi, si potrebbe verificare l'esigenza di eseguire iniezioni cementizie volte a stabilizzare il terreno nell'intorno delle opere, al fine di salvaguardare gli edifici presenti sul lato nord della galleria.

Infine è utile notare come il valore medio di conducibilità idraulica dell'acquifero Verrucano determinato sulla base delle prove Lugeon, eseguite in campagna integrativa, risulti inferiore di circa 2 ordini di grandezza (Tabella 14) rispetto a quello determinato mediante prove di pompaggio.

Questa differenza potrebbe essere dovuta al diverso grado di fratturazione dell'ammasso nei vari punti d'indagine, come già riscontrato nei differenti sondaggi.

Per questa ragione non risulta possibile definire in maniera univoca i valori idraulici caratteristici del substrato ma solo fornire un range di permeabilità che va da  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  m/s.

## 1.2 Monitoraggio falda acquifera

I dati più recenti a disposizione per il monitoraggio delle altezze piezometriche derivano da tre misure (2 e 11 dicembre 2014, 10 dicembre 2015) effettuate su piezometri installati all'interno dei fori di sondaggio della campagna integrativa. Ulteriori misure a campione sono state eseguite durante il sopralluogo effettuato da ENSER il 18/12/2015.

Altri dati provengono da letture piezometriche effettuate a cavallo fra ottobre 2010 (piezometri già esistenti) e febbraio 2011 (piezometri in fori dei sondaggi P.E. e pozzi di controllo).

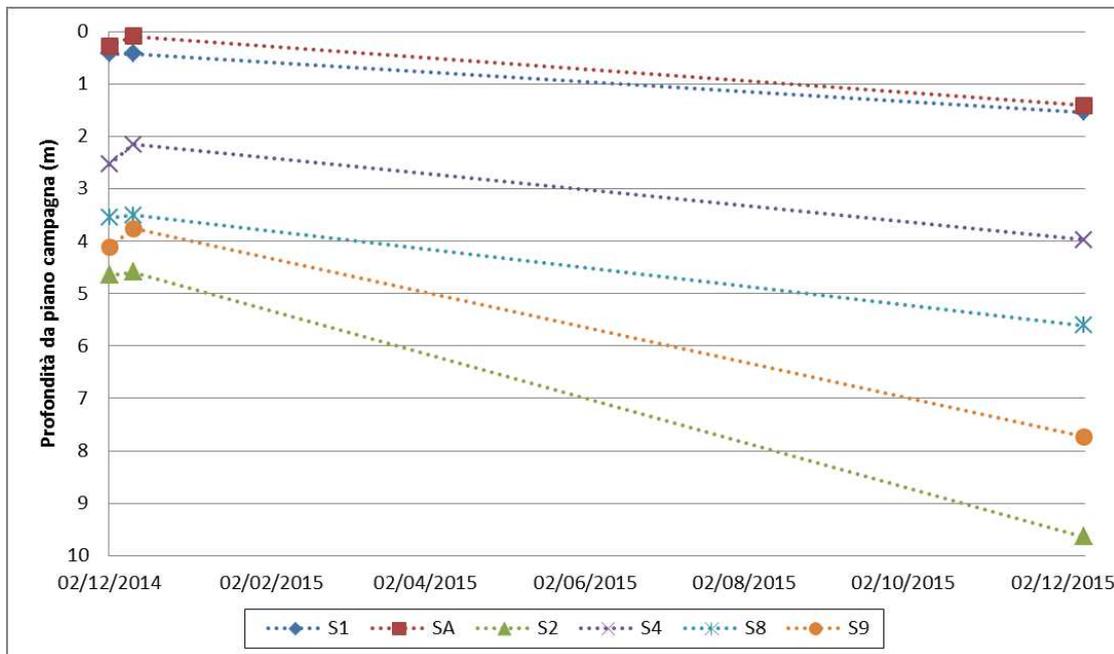
Le misure del dicembre 2014 e 2015 sono riportate rispettivamente in Tabella 15 e Tabella 16:

PIEZOMETRO	TIPO	Prof. (m)	02/12/2014	02/12/2014	11/12/2014	11/12/2014
			Prof. falda da p.c. (m)	Quota falda da p.c. (m slm)	Prof. falda da p.c. (m)	Quota falda da p.c. (m slm)
S1	casagrande	15	0.42	7.57	0.42	7.57
SA	tubo aperto	35	0.28	7.88	0.09	8.07
S2	casagrande	10	4.65	6.81	4.59	6.87
S4	casagrande	23.5	2.54	8.65	2.15	9.04
S5	casagrande	15	4.04	7.38	3.68	7.74
S6	tubo aperto	30	-	-	-	-
S7	casagrande	15	3.1	9.87	3.24	9.73
S8	tubo aperto	14	3.55	10.04	3.5	10.09
S9	casagrande	35	4.12	9.84	3.76	10.2
PZ3	casagrande	23	-	-	-	-
PZ2	tubo aperto	28.5	-	-	-	-

**Tabella 15 – Dati di monitoraggio falda, misurazioni dicembre 2014**

PIEZOMETRO	TIPO	10/12/2015		18/12/2015	
		Prof. (m)	Prof. falda da p.c. (m)	Quota falda da p.c. (m slm)	Prof. falda da p.c. (m)
S1	casagrande	15	1.54	6.45	-
SA	tubo aperto	35	1.41	6.75	-
S2	casagrande	10	9.64	1.82	-
S4	casagrande	23.5	3.97	7.22	4.2
S5	casagrande	15	ostruito	-	-
S6	tubo aperto	30	-	-	5.85
S7	casagrande	15	ostruito	-	-
S8	tubo aperto	14	5.61	7.98	-
S9	casagrande	35	7.73	6.23	-
PZ3	casagrande	23	-	-	4.8
PZ2	tubo aperto	28.5	-	-	5

**Tabella 16 – Dati di monitoraggio falda, misurazioni dicembre 2015**



**Figura 13 – Andamento dei livelli di falda relativo ai piezometri installati nei fori di sondaggio eseguiti in fase di indagine integrativa**

In Figura 13 sono stati riportati quei piezometri per i quali si hanno a disposizione almeno 3 misure effettuate tra il 2014 e il 2015. Pur non essendo questi dati significativi per stabilire un trend affidabile di variazione della falda è importante notare come i valori di altezza della superficie piezometrica, al dicembre 2015, risultino costantemente inferiori rispetto a quelli del 2014. Questo comportamento è dovuto alla scarsità di precipitazioni intervenute nel periodo precedente la misurazione.

Proprio a causa di questa penuria di dati a disposizione, i calcoli effettuati, a favore di sicurezza, hanno considerato la situazione idrogeologicamente più sfavorevole in termini di altezza della tavola d'acqua.

Per completezza, di seguito si riportano anche i dati relativi alle misure di falda registrati durante il Progetto Esecutivo nei pozzi/piezometri con ubicazione più prossima a quella della galleria Fornaci II:

03-04/02/2011			
PIANO ESECUTIVO			
SONDAGGIO	Prof. Sondaggio (m)	Prof. Falda da p.c. (m)	Quota falda m s.l.m.
601	22.5	0	11.7
604	40	-2.2	6.6
605	25	-1.5	6.4
606	40	-2.5	6.4
607	40	0	4.7
610	25	-16.5	7.8

**Tabella 17 – Quota falda sondaggi perizia integrativa**

GEN-FEB 2011			
PIANO ESECUTIVO			
POZZO	Prof. Pozzo (m)	Prof. Falda da p.c. (m)	Quota falda m s.l.m.
640	35	-3.9	11.7
641	25	-1.8	11.8
643	15	-3.4	11.6

**Tabella 18 – Quota falda Pozzi di controllo – Piano Esecutivo**

20/10/2010		
PIANO ESECUTIVO		
PIEZOMETRO	Prof. Falda da p.c. (m)	Quota falda m s.l.m.
S30	-3.4	10.6
S31bis	-18.6	10.4

**Tabella 19 – Quota falda piezometri già esistenti**

I dati ottenuti, pur essendo cronologicamente distanti da quelli più recenti mostrati in Tabella 15 e in Tabella 16, forniscono risultati compatibili con le altezze piezometriche precedentemente definite.

Nonostante ciò, a causa delle diverse interpretazioni relative al comportamento idrogeologico dei terreni oggetto di studio e della scarsità di dati di monitoraggio, risulta estremamente complesso acquisire una piena comprensione delle caratteristiche di variabilità nel tempo ed estensione dei corpi idrici sotterranei nonché delle possibili interferenze tra l'acquifero più superficiale e quello profondo Verrucano.

Relativamente a quest'ultimo aspetto, in base agli studi disponibili in bibliografia, effettuati in aree adiacenti a quella di studio, si è definita la possibilità di interferenze tra

i due acquiferi a causa della risalita, attraverso zone a maggior fratturazione, di flussi profondi a carattere termale.

Nonostante ciò, dai dati derivanti dai sondaggi della perizia integrativa viene indicato come non si sia verificata l'intercettazione della falda profonda e come possa, dunque, ragionevolmente escludersi che gli scavi possano intercettare l'acquifero artesiano profondo.

Durante le successive fasi di lavoro sarà necessario prevedere un monitoraggio del livello piezometrico così da mantenere sotto controllo i livelli di falda in risposta agli interventi di dewatering nell'area di cantiere.

## 7. Caratterizzazione Sismica

Nell'area di studio sono state eseguite alcune prove MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) che hanno permesso di individuare un modello medio stratigrafico delle onde S e in funzione di ogni singola sismo-stratigrafia è stato calcolato il relativo valore di Vs30. In Tabella 20 sono riportati gli stendimenti più significativi, in termini di prossimità rispetto alla galleria Fornaci II, eseguiti nell'area, in fase di Progetto Esecutivo. Di seguito si ricordano le caratteristiche delle diverse classi di sottosuolo distinte sulla base del DM 14/01/2008 (Figura 14).

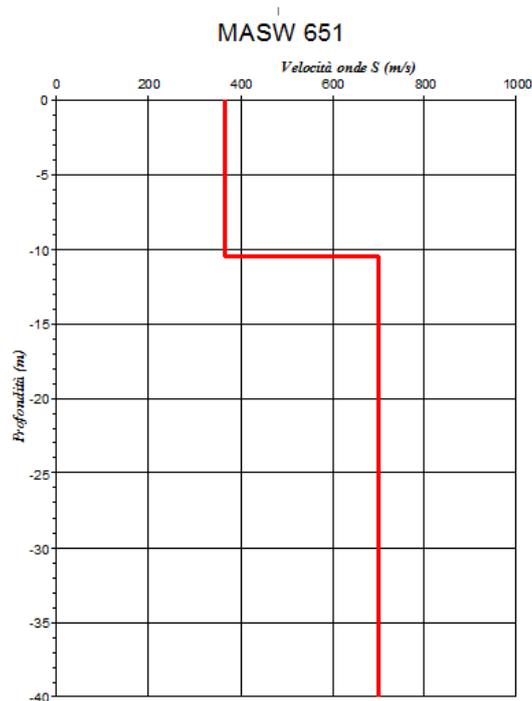
A19.a - VALUTAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO			Ss
	A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m</i>	1.0
	B	<i>Rocce 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 e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina)</i>	1.0-1.2
	C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina)</i>	1.0-1.5
	D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina)</i>	0.9-1.8
	E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s)</i>	1.0-1.6
	S1	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di <math>V_{s30}</math> inferiori a 100 m/s (ovvero <math>10 &lt; c_{u30} &lt; 20</math> kPa), che inducono 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</i>	Specifiche analisi
	S2	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti</i>	Specifiche analisi

**Figura 14 – Categorie sismiche di sottosuolo sulla base del DM 14/01/2008**

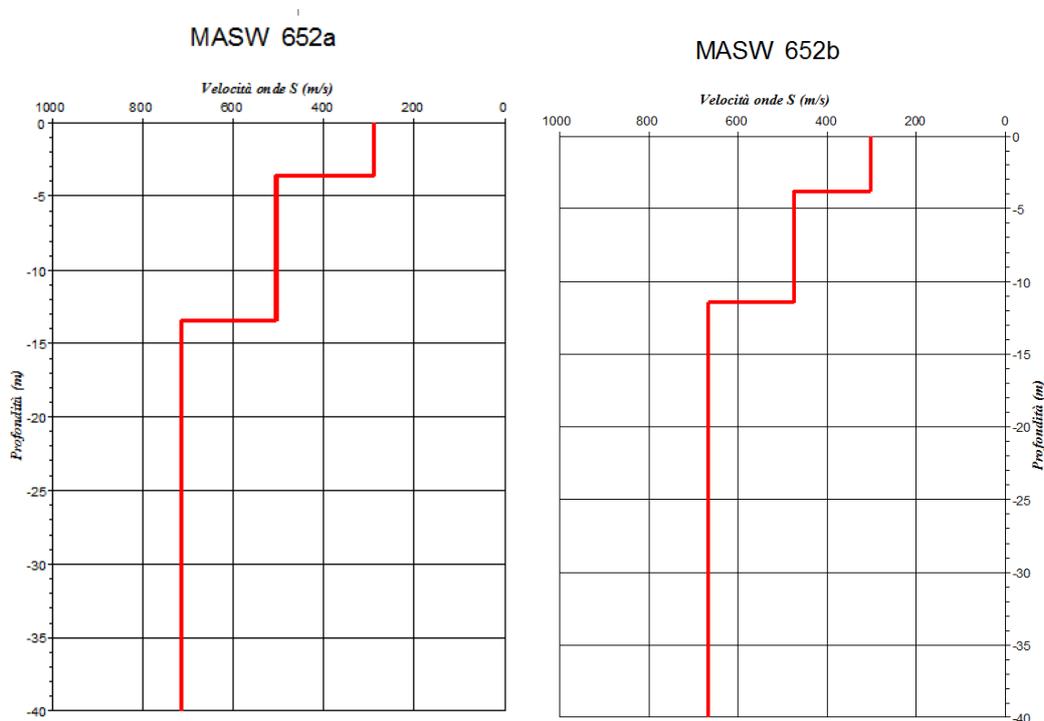
prova MASW n°	valore Vs30 (m/s)	Categoria di sottosuolo
651	530	B
652a	539	B
652b	547	B

**Tabella 20 – Risultati, in termini di Vs30, delle indagini MASW effettuate in zona Melara e più prossime alla galleria in progetto**

Di seguito si riportano i grafici di variazione della velocità delle onde di taglio per il calcolo del valore di Vs30 per gli stendimenti di Tabella 20.



**Figura 15 – MASW 651**

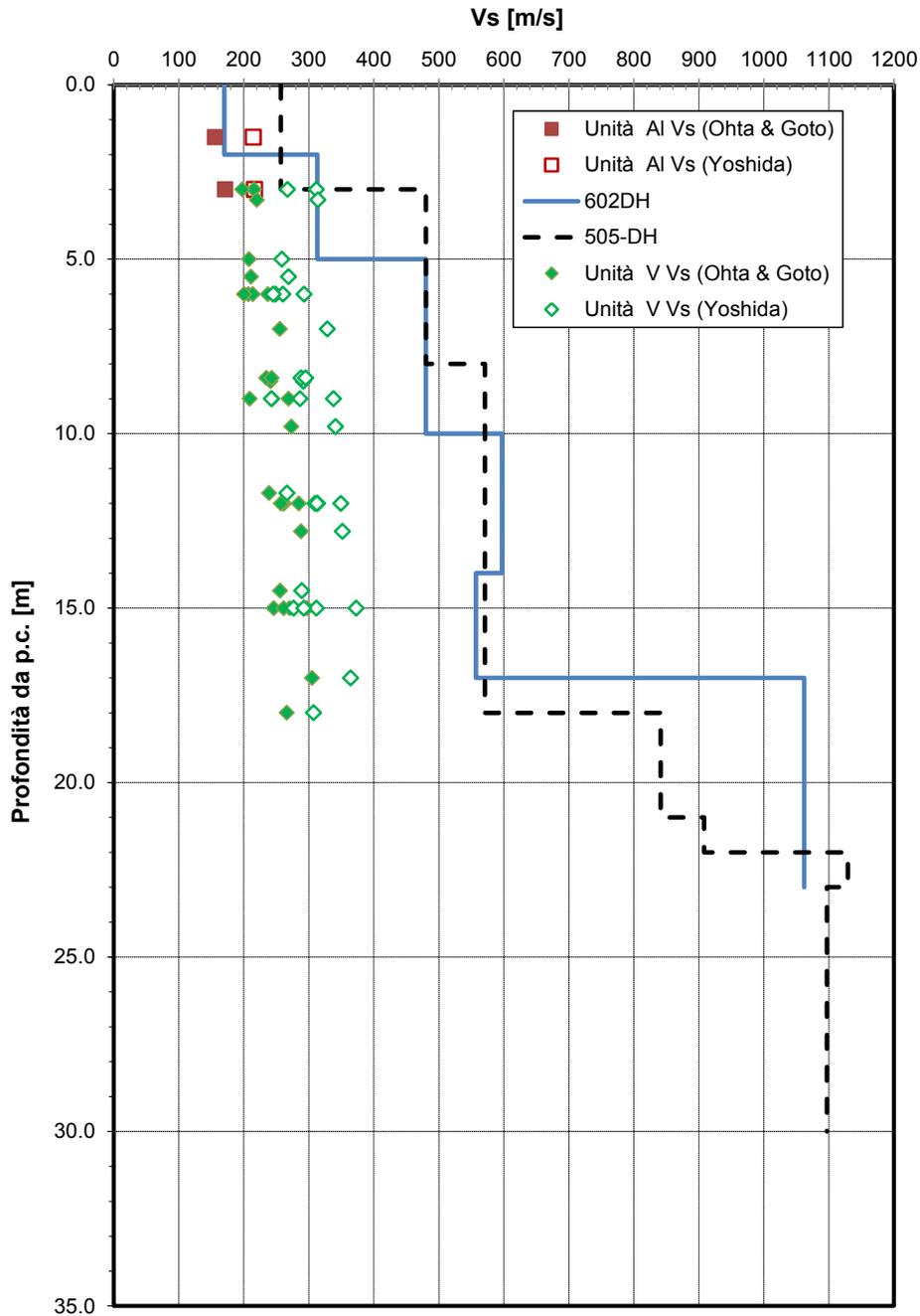


**Figura 16 – MASW 652a – 652b**

Oltre alle suddette prove si ha a disposizione un'indagine di tipo Down-hole eseguita nel foro di sondaggio 602 e 505, di cui verrà considerata la sola verticale 602 e l'elaborazione

delle Vs mediante correlazione di Ohta e Goto (Figura 17).

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e prove DH**



**Figura 17 – Grafico delle velocità delle onde S relativo al Down-hole 602**

L'andamento della velocità delle onde di taglio identifica la presenza di un bedrock sismico posto a circa 17 metri di profondità dal piano campagna con  $V_s$  di 1060 m/s, sottostante ad una coltre di materiale alterato ed allentato con  $V_s$  pari a 534 m/s. Sulla base delle conoscenze stratigrafiche, che pongono il substrato Verrucano a profondità

maggiori, e della considerazione che il rapporto tra velocità del bedrock sismico e velocità media della copertura risulta  $V_{sbed}/V_{scoop} = 1060/534 = 1,98 < 2,2$ , quindi inferiore al rapporto minimo considerato nella definizione della Categoria di sottosuolo E, si è optato per la Categoria di sottosuolo **B**. Questo dato risulta dunque coerente con i risultati dell'analisi tramite sismica delle onde di superficie (MASW).

Diversamente da quanto indicato sia in sede di Piano esecutivo che, a seguito dell'analisi del materiale a disposizione, nel presente documento, nella relazione redatta in fase di Perizia Integrativa la categoria di sottosuolo considerata è stata la **C**.

La ragione di tale scelta progettuale, adottata anche nei calcoli geotecnici della presente fase esecutiva di dettaglio, può essere spiegata con la volontà di porsi in una situazione di maggior sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e della loro influenza sulla struttura, vista anche l'estrema eterogeneità dei terreni interessati dall'opera in progetto.

Per concludere si indicano i parametri sismici caratteristici dell'area di progetto in relazione alle caratteristiche della struttura:

Vita nominale della costruzione	<b><math>V_N = 50</math> anni</b>
Classe d'uso della costruzione	<b>III</b>
Coefficiente d'uso della costruzione	<b><math>C_U = 1.5</math></b>
Categoria di suolo	<b>C</b>
Categoria topografica	<b>T1</b>

La pericolosità sismica di progetto del territorio in esame risulta definita da una accelerazione:

$$a_g = 0.142g$$

Le condizioni locali del sito di costruzione dell'opera determinano:

il coefficiente di amplificazione stratigrafica	<b><math>S_S = 1.496</math></b>
il coefficiente di amplificazione topografica	<b><math>S_T = 1.0</math></b>

Tali coefficienti consentono di individuare l'accelerazione massima di progetto secondo la seguente espressione:

$$a_{max} = a_g \cdot S_S \cdot S_T = 0.212g$$

## Allegato 1 – Planimetria indagini

