

COMMITTENTE:

EDILSAMAR SRL  
Rue des Forges, 5; 11013 Courmayeur  
(AO) - Italia

OGGETTO:

OPERE DI RIPRISTINO E RISTRUTTURAZIONE DI DERIVAZIONE  
DALLA DORA BALTEA PER USI IDROELETTRICI  
IMPIANTO "EX CIMA"

LOCALITÀ DELL'INTERVENTO:

TORRE BALFREDO - IVREA"

FASE PROGETTUALE:

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	RIESAMINATO
8	.	.	.	.	.
7	.	.	.	.	.
6	.	.	.	.	.
5	.	.	.	.	.
4	.	.	.	.	.
3	.	.	.	.	.
2	aprile 2021	Relazione geologica e geotecnica	PC	GO	GO
1	settembre 2017	Relazione geologica e geotecnica	PC	GO	GO

TITOLO:

Relazione geologica e geotecnica

ARCHIVIO:

4073

FILE N°:

TESTALINO

DATA:

TAVOLA N°

SCALA:



**SERTEC** s.r.l.  
ENGINEERING CONSULTING

31 Strada Provinciale 222  
10010 Loranze (TO)  
TEL. 0125.561001 FAX 0125.564014  
e-mail:  
info.sertec@ilquadrifoglio.to.it  
[www.sertec-engineering.it](http://www.sertec-engineering.it)

IL DIRETTORE TECNICO:  
Dott. Ing. Gianluca ODETTO

PROGETTISTA:

Dott. Ing. Gianluca ODETTO  
N° 7261 T ALBO INGEGNERI  
PROVINCIA DI TORINO

TIMBRO:



ALTRA FIGURA:

TIMBRO:

PROGETTISTA:  
Dott. Geol. Paolo CAMBULI  
N° 626 ORDINE GEOLOGI  
REGIONE SARDEGNA



## Sommario

Premessa .....	2
1 Normativa .....	2
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	2
3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO .....	5
3.1 Inquadramento geomorfologico .....	5
3.1 Caratteristiche idrogeologiche .....	10
4 Inquadramento geologico .....	11
5 Storico indagini geognostiche .....	12
5.1 Indagini del 2003 .....	12
5.1.1 Sondaggio P1 2003 .....	13
5.1.2 Sondaggio P2 2003 .....	19
5.2 Aprile 2006 – n.3 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, prove penetrometriche statiche e indagini geofisiche: .....	20
5.2.1 Sondaggio S1 2006.....	22
5.2.2 Sondaggio S2 2006.....	27
5.2.3 Sondaggio S3 2006.....	33
5.2.4 Prova penetrometrica statica P1 .....	37
5.2.5 Prova penetrometrica statica P2 .....	40
5.2.6 Prova penetrometrica statica P3 .....	41
5.2.7 Indagine sismica a rifrazione .....	43
5.2.8 Indagine sismica down-hole .....	44
5.3 Indagini Aprile – Maggio 2017 .....	46
5.3.1 Sondaggio S4 2017 – in alveo a valle della traversa .....	47
5.3.2 Sondaggio S5 2017.....	51
5.3.3 Sondaggio S6 2017.....	55
5.3.4 Indagini Geofisiche .....	56
6 Assetto litologico stratigrafico.....	65
7 Caratterizzazione geotecnica.....	73
7.1 Caratterizzazione geotecnica 1° strato – Ghiaie.....	76
7.1.1 Analisi delle prove SPT.....	77
7.2 Caratterizzazione geotecnica 2° strato limi.....	87

7.2.1	RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA $S_u$ .....	87
7.2.2	Modulo elastico .....	89
7.2.3	Indagini di laboratorio .....	90
8	Conclusioni .....	101

## Premessa

Scopo della presente relazione è di ricostruire le condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche locali a supporto della progettazione esecutiva delle opere riguardanti la ricostruzione della centrale idroelettrica in disuso denominata “CIMA”, nel Comune di Ivrea.

L’incarico prevede l’analisi del sito con particolare riguardo alla caratterizzazione geologica e geotecnica del terreno.

## 1 Normativa

La relazione è stata redatta secondo la normativa vigente, con particolare riguardo a:

- Decreto Ministeriale 14.01.2008 Testo Unitario –Norme Tecniche per le Costruzioni Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M.14 gennaio 2008. Circolare2 febbraio 2009;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007;
- D.G.R. 15/31 del 30/03/2004 in attuazione del O.P.C.M. 3274/2003;
- Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) R.D. 3267/23.

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L’area d’intervento, territorialmente compresa nel comune di Ivrea, interessa la piana alluvionale del Fiume Dora Baltea, racchiusa all’interno dell’anfiteatro morenico d’Ivrea, e i rilievi collinari che delimitano, al suo margine occidentale, la piana alluvionale stessa. Il centro abitato di Ivrea è sito nel settore nord orientale del Piemonte, a circa 50 Km a nord-est della città di Torino, ai piedi dell’anfiteatro morenico omonimo.

Tabella 1: Inquadramento sito

Regione		<b>PIEMONTE</b>
<b>Provincia</b>		<b>TORINO</b>
Comune		<b>Ivrea</b>
Coordinate Geografiche del cantiere	Latitudine	<b>44.845600 N</b>
	Longitudine	<b>7.902922E</b>
Altitudine		<b>230 m s.l.m.</b>

Zona sismica	<b>ZONA 4</b>
--------------	---------------



Figura 1: Inquadramento geografico

Nella figura seguente è presentata l'esatta ubicazione della traversa in progetto situata a circa 2,5 Km a sud della città di Ivrea lungo la Dora Baltea.



Figura 2: Ortofoto

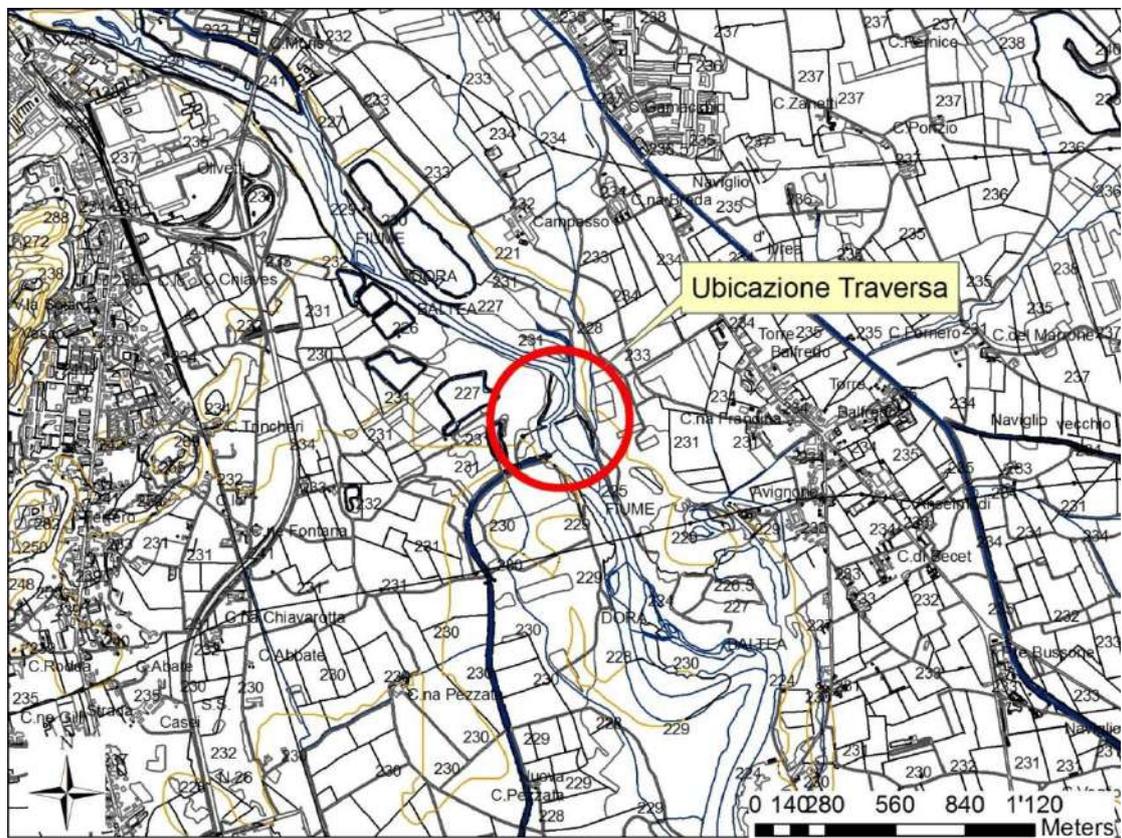


Figura 3: Inquadramento da CTR

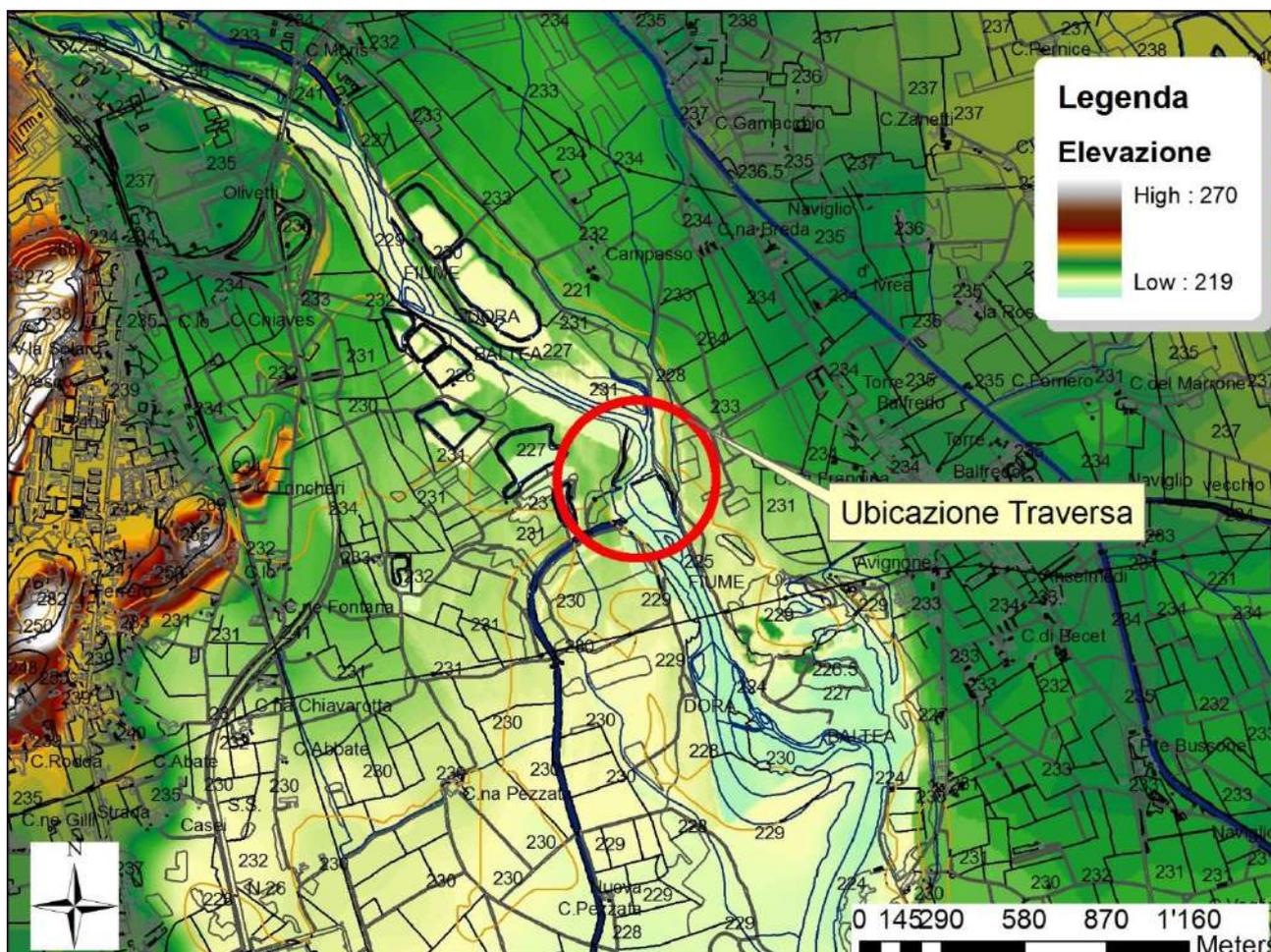


Figura 4: Carta altimetrica

La carta altimetrica evidenzia che nel settore esaminato l'altimetria media è di circa 230 m s.l.m., diminuendo gradatamente passando dal settore settentrionale a quello meridionale.

### 3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

#### 3.1 Inquadramento geomorfologico

L'area vasta presa in esame, che include il sito in progetto, è compresa tra il corso della Dora Baltea ad Est, il rilevato della bretella autostradale A4/A5 ad Ovest ed i rilievi pedemontani comprendenti gli abitati di Pavone Canavese e la periferia sud-occidentale di Ivrea, rispettivamente a NO e N. L'area, nel suo complesso, è costituita da depositi alluvionali recenti legati alla Dora Baltea, situati in posizione prossimale all'attuale alveo fluviale.

Si tratta di aree pianeggianti, con lievi ondulazioni ad una quota compresa tra 220 e 235 mt. s.l.m. che ad Est tendono a degradare verso l'incisione fluviale. In posizione più distale (ad Ovest), invece, vi sono i depositi alluvionali antichi, separati dai precedenti da un terrazzo morfologico, il cui bordo, di altezza



compresa tra 3 e 5 m, è ben visibile nell'area compresa tra le case costituenti la periferia orientale di S.Bernardo di Ivrea e il tracciato della tangenziale del terzo ponte.

Più ad Ovest, tale terrazzo morfologico, è riconoscibile attraverso le scarpate che passano in corrispondenza dei nuclei urbani di Case Sogliatti, Fraz. Molla e Fraz. Dossi, compiendo un arco da ONO verso NE (circa). Più a Nord vi sono i rilievi pedemontani, acclivi, costituiti essenzialmente da substrato roccioso affiorante, slegato geneticamente e geologicamente dal materasso più o meno terrazzato sopradescritto.

Alla scala locale degli interventi invece sono ben riconoscibili gli orli ed i ripiani fluviali legati alla dinamica fluviale recente: sono infatti deboli terrazzamenti prodotti dall'innescarsi del regime erosionale del Quaternario. Dal rilievo topografico dell'area investigata e dalle relative sezioni topografiche trasversali all'asta della Dora Baltea si riconoscono almeno due ordini di terrazzi superiori all'attuale sede dell'alveo di magra del fiume. Sul settore terrazzato più alto (antico) si colloca l'edificio della nuova centrale di progetto. Si tratta di deboli terrazzamenti con un'evidenza morfologica che solo il dettaglio del rilievo topografico evidenzia, in genere con dislivelli di qualche metro tra i diversi ripiani individuati.

L'evoluzione morfologica dell'alveo negli ultimi decenni è stata ricostruita mediante l'analisi delle ortofoto relative al 1988 – 2000 e 2012. A monte della traversa esistente sino al 1988 era presente, in corrispondenza della confluenza con il canale tributario un meandro, con lato deposizionale in destra idrografica e sponda in erosione in sinistra idrografica; nel corso degli anni successivi, si è assistito al progressivo taglio del meandro con uno spostamento continuo dell'alveo attivo verso ovest:



**Figura 5: Ortofoto 1994**

Nella precedente figura si evidenzia come a monte della traversa, in corrispondenza del meando il lato in erosione fosse localizzato in sponda sinistra, in corrispondenza dell'immissione del canale tributario. A monte del meandro il lato in erosione è localizzato in sponda destra, con la presenza di una pronunciata barra deposizionale in sponda sinistra.

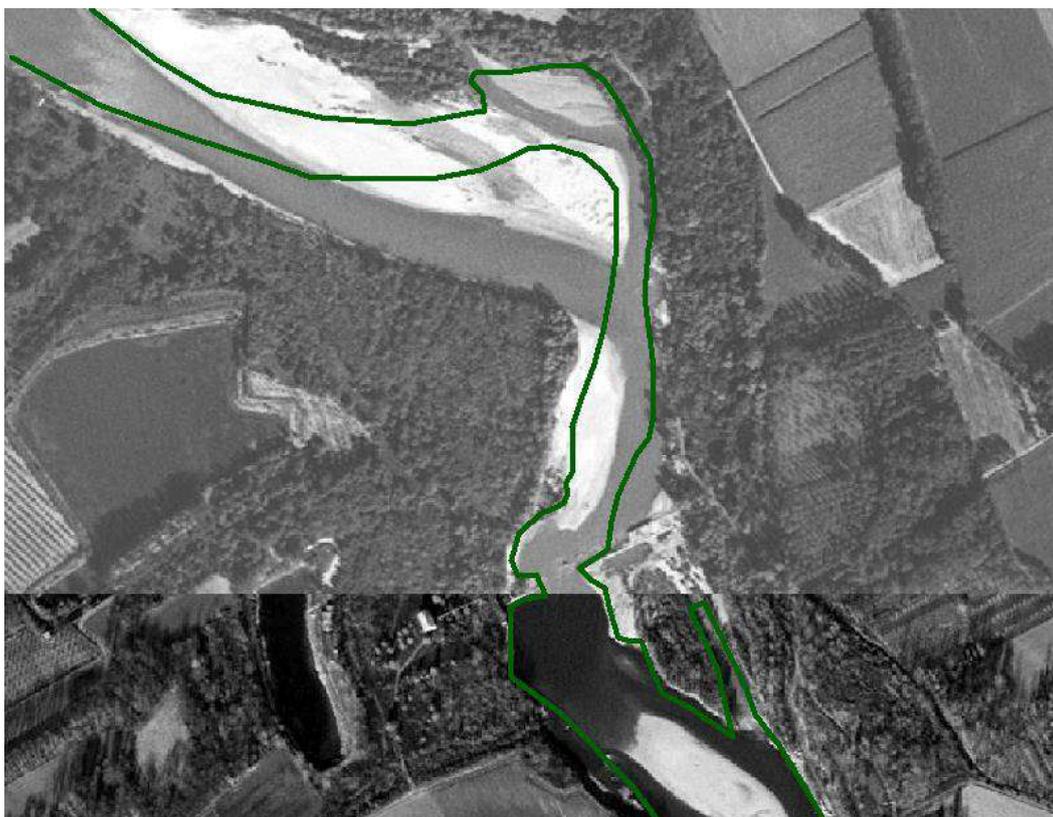
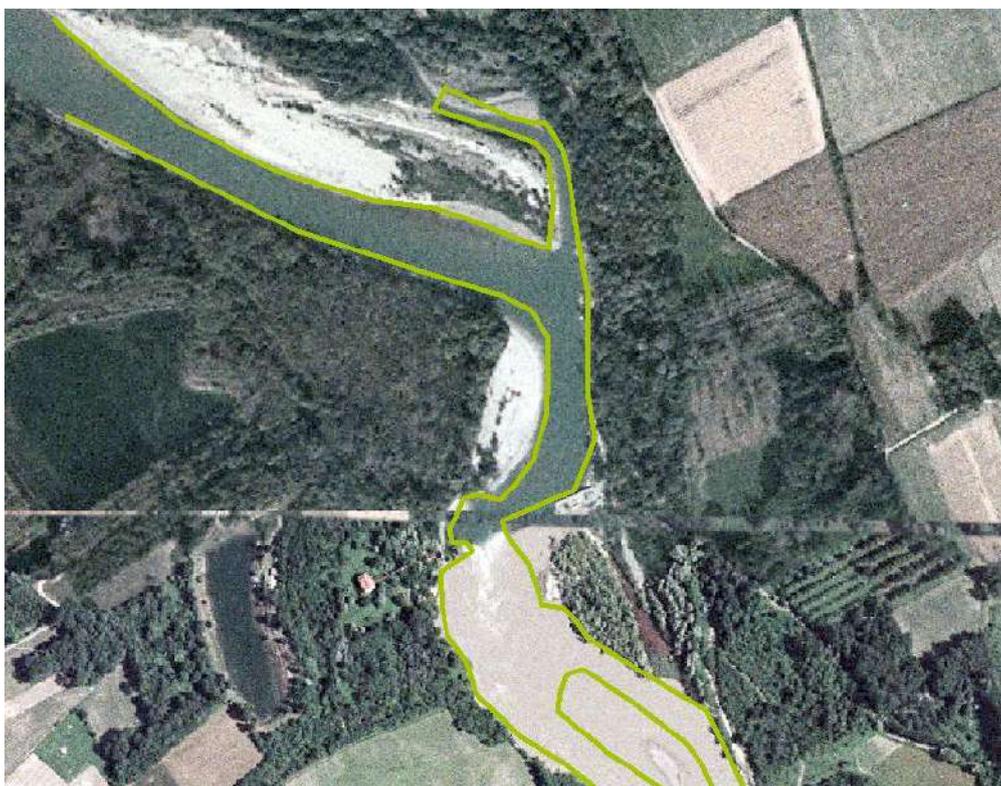


Figura 6: Ortofoto 1994- in verde l'alveo attivo nel 1988

Nell'ortofoto del 1994 si evidenzia come l'alveo attivo abbia rettificato il suo percorso a monte del meandro, con un netto spostamento verso ovest.



**Figura 7: Ortofoto 2000- in verde l'alveo attivo nel 1994**

Tra il 1994 ed il 2000 l'evoluzione dell'alveo è stata molto limitata.



**Figura 8: Ortofoto 2006- in arancione l'alveo attivo nel 2000**

La migrazione dell'alveo a monte della traversa continua nel periodo tra il 2000 e il 2006, sempre in direzione est-ovest. A valle della traversa si assiste ad una marcata erosione della sponda in destra idrografica, con apertura di un canale secondario.


**Figura 9:Ortofoto 2012**

Tra il 2006 ed il 2012 l'evoluzione dell'alveo è stata molto limitata.

### 3.1 Caratteristiche idrogeologiche

Sotto il profilo idrogeologico, l'area studiata è abbastanza omogenea essendo caratterizzata dalla presenza di sedimenti a granulometria da grossolana a fine, di origine fluviale, aventi, quindi, condizioni di permeabilità variabili. La pianura eporediese costituisce un complesso sistema idrico multifalda, nel quale le buone caratteristiche di permeabilità degli acquiferi, in gran parte formati da ghiaie e sabbie, si coniugano con un elevato tasso di rinnovamento delle acque. La falda della pianura è infatti alimentata dalle importanti precipitazioni, sia sotto forma di piogge, sia per lo scioglimento del manto nevoso durante il periodo primaverile ed estivo, che interessano il settore alpino settentrionale; le acque di ruscellamento e le numerose emergenze idriche, alimentano un complesso sistema di torrenti montani che a loro volta, soprattutto nei settori pedemontani, alimentano costantemente ed abbondantemente le falde idriche sotterranee, la falda idrica più superficiale è inoltre alimentata dalle precipitazioni dirette ricadenti nel settore di pianura ed in parte anche dall'infiltrazione proveniente dai corpi idrici superficiali presenti.

Da un punto di vista litologico il settore esaminato è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali, depositi in strati o lenti caratterizzati da diverse granulometrie. Le differenze granulometriche sono originate dalle mutevoli condizioni deposizionali dei corsi d'acqua principali, che si sono susseguite nel corso di centinaia di migliaia di anni. Il risultato è un deposito caratterizzato da strati più grossolani, formati da ghiaie e sabbie, i quali costituiscono l'acquifero superficiale, spesso limitati nella parte superiore e/o inferiore da strati o lenti di materiale più fine, granulometricamente costituito da sabbie fini, limi e argille, il quali, ai fini pratici, risultano praticamente impermeabili. La presenza di strati limoso argillosi, dal punto di

vista idrogeologico, confina la falda profonda nella parte superiore e nella parte inferiore. Questo fenomeno genera quella che possiamo considerare la conformazione idrogeologica più comune nella pianura padana in genere: presenza di due o più acquiferi, di cui uno superficiale, sostenuto alla base da uno strato di limi e argille e uno o più acquiferi *profondi* delimitati superiormente e spesso anche inferiormente dalla presenza di strati impermeabili limoso argillosi. L'acquifero superficiale ha un comportamento freatico (superficie della falda coincidente con la piezometrica).

I depositi costituenti l'acquifero superficiale possono essere descritti come:

- Depositi alluvionali antichi, recenti e attuali, per lo più ghiaiosi, costituenti un acquifero praticamente indifferenziato, di età complessiva Pleistocene medio - Olocene, contenente la falda superficiale o falda idrica a superficie libera. Le caratteristiche e la presenza di tale falda sono condizionate sia dalla posizione altimetrica rispetto al reticolo idrografico, sia dalla presenza in superficie di paleosuoli argillosi praticamente impermeabili che, di fatto, impediscono o diminuiscono il fenomeno d'infiltrazione dell'acqua di precipitazione;

#### 4 Inquadramento geologico

Il quadro geologico dell'area è dominato dall'Anfiteatro Morenico di Ivrea che dai contrafforti della Colma di Monbarone e da quelli del M.te Gregorio allo sbocco della Valle della Dora Baltea, si protende sulla Pianura Padana verso il Po. L'anfiteatro morenico appoggia (a Nord) a quella che nella letteratura geologica è nota come Zona Sesia-Lanzo. Essa forma un corpo allungato SO-NE dalla Valle Stura di Lanzo alla Valle Ossola.

Le litologie che caratterizzano il substrato roccioso affiorante in modo discontinuo nel tratto collinare, appartengono all'estremo tratto Sud-Occidentale della zona Ivrea-Verbanò, ovvero ad una delle tre all'unità tettoniche che compongono il basamento permiano del sistema Sudalpino. La Zona Ivrea-Verbanò rappresenta la sezione di crosta continentale profonda delle Alpi e comprende due unità principali: (a) l'unità più recente e profonda del corpo gabbro stratificato e (b) l'unità superiore del complesso Kinzigitico. Nel settore oggetto di studio affiorano i litotipi appartenenti al complesso gabbro di età permiana inferiore. Essi sono costituiti, in particolare, da prevalenti rocce gabbroiche e gabbro-dioritiche, a grana medio-fine, di colore grigio-nerastro, a plagioclasio calcico (ricco in anortite) ed ortopirosseno dominanti e, talora, sono solcate da zone di shear ad epidoto giallastro ed anfibolo calcico verde scuro [2]. In associazione a tale litotipo, spesso si osservano delle rocce gabbrodioritiche leucocratiche, di colore bianco-verdino, a grana grossa, localmente listate.

Per quanto riguarda la natura dei terreni quaternari appartenenti alle unità di copertura che ricoprono il substrato cristallino, si distinguono:

- (a) depositi alluvionali recenti prossimi al corso d'acqua Fiume Dora Baltea;
- (b) depositi alluvionali terrazzati più antichi;

I depositi alluvionali di cui al punto (a), nella piana a valle di Ivrea, sono caratterizzati da alternanze di ghiaie e sabbie e da ghiaie sabbiose con rare intercalazioni di livelli poco potenti di limi-argillosi e torbe. Lo spessore del deposito indagato è risultato essere, in media, di circa 6-7 metri con valori massimi rilevati pari a 8 metri. Proseguendo nella successione stratigrafica, a letto dei depositi alluvionali a ghiaie e sabbie, si rilevano i limi, in alternanza a livelli sabbiosi, appartenenti alla serie lacustre post-glaciale.

## 5 Storico indagini geognostiche

Dal 2003 ad oggi, sono state eseguite 3 campagne di indagine geognostica, nel 2003, nel 2006 e nel 2017.

### 5.1 Indagini del 2003

Gennaio 2003 – n.2 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo:

- Sondaggio P1 (12.0 m di profondità da p.c.), n. 4 prove SPT (6.0 m, 7.5 m, 9.0 m, 10.5 m da p.c.);
- Sondaggio P2 (8.0 m di profondità da p.c.), n.1 prova SPT (3.0 m da p.c.).

I sondaggi del 2003 sono stati spinti a profondità contenute, è sono stati ubicati esclusivamente in sponda destra in prossimità ai ruderi della traversa esistente.



Figura 10: Ubicazione dei sondaggi del 2003

### 5.1.1 Sondaggio P1 2003

Tabella 2: Sondaggio P1 – stratigrafia originale

0	0,3	Terreno di copertura vegetale.
0,3	3,3	Ghiaia eterometrica con sabbia, scarsa matrice fine limosa, rari ciottoli (diam. max. 8-10 cm), addensata, colore grigio.
3,3	3,9	Ghiaia sabbiosa con limo, rari ciottoli (diam. max. 8-10 cm), discreto grado di ossidazione, moderatamente addensata, colore nocciola.
3,9	5,2	Sabbia eterometrica, moderatamente addensata, colore nocciola-grigiastro.
5,2	6,5	Siltite debolmente argillosa, moderatamente consistente, colore grigio.
6,5	8	Siltite sabbiosa fine, da poco a moderatamente consistente, colore grigio.
8	12	Argilla siltosa e/o siltite argillosa con intercalati subordinati livelli siltoso-sabbiosi, generalmente poco consistente, colore grigio.

## EX CENTRALE CIMA – IVREA (TO)



Cassetta 1 da m 0.00 a m 4.00

Cassetta 2 da m 4.00 a m 8.00

Cassetta 3 da m 8.00 a m 12.00

**SONDAGGIO n° 1**
**Figura 11: Sondaggio P1**

Nella fotografia precedente si evidenzia il netto contatto tra le ghiaie superficiali e le sabbie alla profondità di circa 4 metri, il successivo livello sabbioso localizzato tra circa 4 e 5 metri e il rinvenimento dello strato limoso ad una profondità di circa 5 metri dal p.c. Sempre analizzando la fotografia precedente si evidenzia lo scarso recupero dell'orizzonte limoso, caratterizzato da una totale inconsistenza.

Il livello statico della falda misurato in questo sondaggio è a 2.9 m da p.c.

**5.1.1.1 Prova di permeabilità in foro**

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio P1 sono state eseguite n° 4 prove di permeabilità in foro a carico variabile, volte a valutare il coefficiente di permeabilità dello strato limoso sottostante le ghiaie.

Le 4 prove hanno dato i seguenti risultati

Quota di prova	Coefficiente di permeabilità
6-7.5 da p.c.	9.68E-07 cm/sec
7.5-9 da p.c.	4.4E-06 cm/sec
9-10.5 da p.c	9.11E-08 cm/sec
10.5-12 da p.c	3.76E-07 cm/sec
Media	1.46E-06 cm/sec







**PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE**

CANTIERE: EX CENTRALE CIMA - IVREA (TO)

PROVA n° 4

SONDAGGIO n° 1

Litologia: Argilla siltosa e/o siltite argillosa.

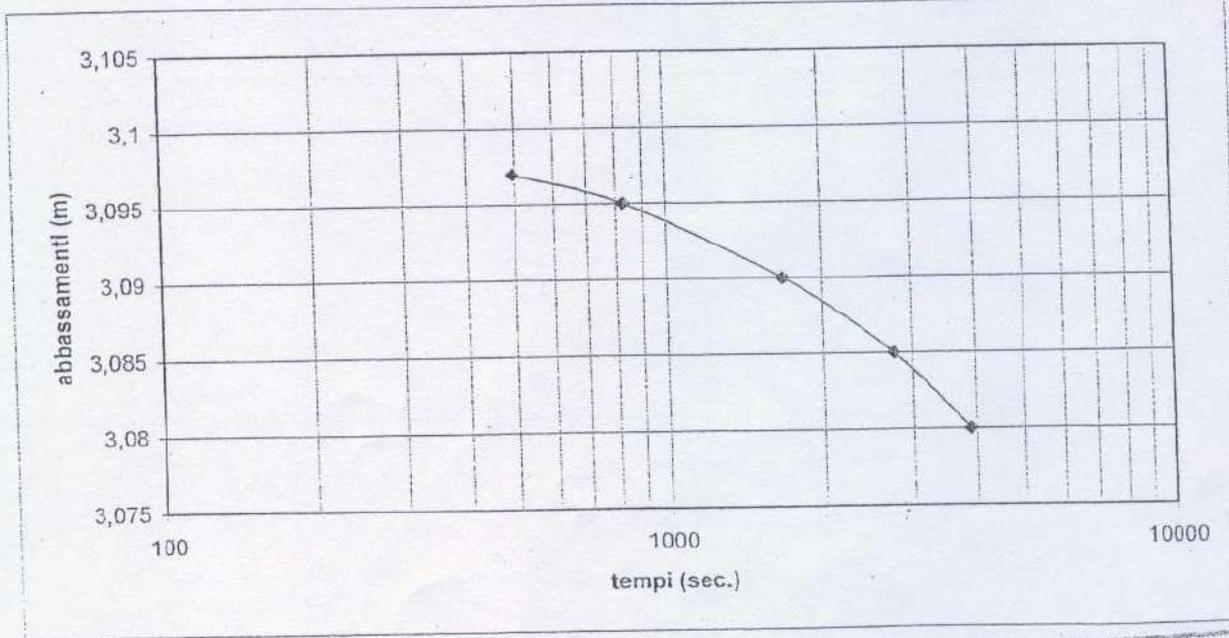
tempi		abbassamenti	permeabilità
(min)	(sec)	(cm)	(cm/s)
8	15	0,3	4,209E-07
13	45	0,5	4,213E-07
28	0	1,0	4,069E-07
46	0	1,5	3,227E-07
65	0	2,0	3,062E-07

geometria della sezione di prova	
profondità foro:	12,00 m
profondità rivestimento:	10,50 m
diametro foro:	101 mm
diametro rivestimento:	127 mm
altezza rivestim. oltre p.c.:	20 cm
durata della prova:	65 min

lunghezza camera:	1,50 m
livello statico da p.c.:	2,90 m
carico idraulico iniz.:	3,10 m

**COEFFICIENTE MEDIO DI PERMEABILITA'**

**K = 3,76E-07 cm/s**



### 5.1.2 Sondaggio P2 2003

Tabella 3: Sondaggio P2 – stratigrafia originale

0	0,2	Terreno di copertura costituito da sabbia ghiaiosa con apparati radicali.
0,2	2,6	Ghiaia eterometrica con sabbia, scarsa matrice fine limosa, rari ciottoli (diam. max. 8-10 cm), addensata, colore grigio.
2,6	3,5	Ghiaia sabbiosa con limo, rari ciottoli (diam. max. 8-10 cm), discreto grado di ossidazione, moderatamente addensata, colore nocciola.
3,5	4,4	Sabbia eterometrica, moderatamente addensata, colore nocciola-grigiastro.
4,4	5,6	Siltite sabbiosa fine, da poco a moderatamente consistente, colore grigio.
5,6	8	Argilla siltosa e/o siltite argillosa con intercalati subordinati livelli siltoso-sabbiosi, generalmente poco consistente, colore grigio.

Analizzando il sondaggio si evidenzia che in questo settore possono essere riconosciute 2 tipologie di depositi principali, uno strato superficiale costituito da ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa, la cui profondità si attesta a circa 4 metri dal piano di campagna; al di sotto del primo strato francamente ghiaioso è presente una transizione verso granulometrie più fini con un passaggio netto a sabbie eterometriche di spessore contenuto (inferiore al metro) e successivamente a limi e sabbie fini in profondità; il redattore della stratigrafia riconosce visivamente, in sede di stesure della stratigrafia, una componente argillosa, che tuttavia, a seguito delle ulteriori indagini si attesta su percentuali estremamente basse.

## EX CENTRALE CIMA – IVREA (TO)



Cassetta 1 da m 0.00 a m 4.00



Cassetta 2 da m 4.00 a m 8.00

### SONDAGGIO n° 2

Figura 12: Sondaggio P2 – 2003

Nella fotografia precedente si evidenzia il netto contatto tra le ghiaie superficiali e le sabbie alla profondità di circa 3.5 metri, il successivo livello sabbioso localizzato tra circa 3.5 e 4.5 metri e il rinvenimento dello strato limoso ad una profondità di circa 4.5 metri dal p.c. Sempre analizzando la fotografia precedente si evidenzia lo scarso recupero dell'orizzonte limoso, caratterizzato da una totale inconsistenza.

Il livello statico della falda misurato in questo sondaggio è a 2.6 m da p.c.

### 5.2 Aprile 2006 – n.3 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, prove penetrometriche statiche e indagini geofisiche:

- Sondaggio S1 (30.0 m di profondità da p.c.), equipaggiato con piezometro di Casagrande, n.5 prove SPT (1.5 m, 3.0 m, 4.5 m, 6.0 m, 27.0 m da p.c.);

- Sondaggio S2 (35.0 m di profondità da p.c.), n. 4 prove SPT (1.5 m, 3.0 m, 4.5 m, 6.0 m da p.c.)
- Sondaggio S3 (25.0 m di profondità da p.c.), n.2 prove SPT (3.0 m, 6.0 m da p.c.).

I sondaggi del 2006 sono stati spinti a profondità elevate, è sono stati ubicati, in sponda destra, in sponda sinistra ed in alveo a monte della traversa.

Durante la campagna del 2006, in adiacenza ad ogni sondaggio, sono state eseguite prove penetrometriche statiche CPT:

CPT 1: spinta fino alla profondità di 25.2 m da p.c., i primi 5.8 m non sono stati indagati;

CPT 2: spinta fino alla profondità di 25.2 m da p.c., i primi 5.4 m non sono stati indagati;

CPT 3: spinta fino alla profondità di 27.0 m da p.c., i primi 6.8 m non sono stati indagati.

Il sondaggio S2 è stato incamiciato in modo tale da permettere l'esecuzione di prove geofisiche sismiche di tipo down hole.

È stata inoltre eseguita un'indagine sismica a rifrazione con elaborazione tomografica. A tal fine è stato predisposto uno stendimento di n. 24 geofoni in destra idrografica, distanziati di 10 m in maniera tale da poter indagare il terreno ad una profondità sufficiente.



Figura 13: Sondaggi ed indagini del 2006

### 5.2.1 Sondaggio S1 2006

Tabella 4: Stratigrafia sondaggio S1 - 2006

0	5	Ghiaia eterometrica a tratti ciottolosa (diam. max 6-8 cm) in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa, da addensata a scarsamente addensata, presenza di sporadici fenomeni di alterazione, a tratti decimetrici debolmente cementata; colore grigio chiaro.
5	7	Sabbia limosa addensata, debolmente organica; colore grigio scuro.
7	26,3	Limo debolmente sabbioso fine, totalmente inconsistente, a trattidecimetricidebolmenteconsistente,atrattidebolmenteorganico, a tratti decimetrici moderatamente plastico; colore grigio chiaro grigio scuro.
26,3	28	Limo sabbioso fine debolemente consistente; colore grigio scuro.
28	30	Sabbia medio fine debolemente limosa, da scarsamente addensata a sciolta; colore grigio scuro

Analizzando il sondaggio S1 si evidenzia che in questo settore possono essere riconosciute 3 tipologie di depositi principali; uno strato superficiale costituito da ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa, la cui profondità si attesta a circa 5 metri dal piano di campagna; al di sotto del primo strato francamente ghiaioso è presente una transizione verso granulometrie più fini con un passaggio netto a sabbie eterometriche di spessore contenuto (inferiore a 2 metri) e successivamente a limi e sabbie fini in profondità; Il terzo strato è costituito da sabbie fini limose, riconosciute a fondo del sondaggio da 28 metri a 30 metri. Analizzando le immagini dei testimoni sotto riportate si evidenzia la totale inconsistenza dei limi presenti tra 7 e 26 metri da p.c. Il livello della falda si è stabilizzato a -5.8 m da p.c.

**Sondaggio 1 – Cassa 1**



**Sondaggio 1 – Cassa 2**



### Sondaggio 1 – Cassa 3



### Sondaggio 1 – Cassa 4



### Sondaggio 1 – Cassa 5



### Sondaggio 1 – Cassa 6



Sondaggio 1 – cassa 7



Sondaggio 1 – cassa 8



### 5.2.2 Sondaggio S2 2006

Tabella 5: Stratigrafia sondaggio S2 - 2006

0	1	Ghiaia eterometrica ciottolosa (diam. max 6-8 cm) in scarsa matrice sabbiosa addensata; colore grigio chiaro
1	4	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa debolmente limosa, addensata; colore bruno grigio.
4	6,2	Ghiaia eterometrica debolmente ciottolosa (diam. max 6-8 cm) in matrice sabbiosa debolmente limosa, presenza di sporadici fenomeni di cementazione; colore grigio chiaro, grigio scuro.
6,2	14,5	Limo debolmente sabbioso fine, totalmente inconsistente, a tratti decimetrici debolmente consistente, a tratti debolmente organico, a tratti decimetrici moderatamente plastico; colore grigio scuro.
14,5	17,2	Limo sabbioso fine debolmente consistente; colore grigio scuro
17,2	33,5	Limo debolmente sabbioso fine, totalmente inconsistente, a tratti decimetrici debolmente consistente, a tratti debolmente organico, a tratti decimetrici moderatamente plastico; colore grigio scuro.
33,5	35	Limo sabbioso medio fine, da debolmente consistente a moderatamente consistente, a tratti centimetrici sabbioso prevalente; colore grigio scuro

Il sondaggio S2 è localizzato circa in alveo, 50 metri a monte dei ruderi della traversa.



Figura 14: Residui del sondaggio S2, Gennaio 2017



**Figura 15: Sondaggio S2**

Analizzando il sondaggio S2 si evidenzia che in questo settore possono essere riconosciute 3 tipologie di depositi principali, uno strato superficiale costituito da ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa, la cui profondità si attesta a circa 6 metri dal piano di campagna; al di sotto è presente una transizione netta a granulometrie più fini con passaggio a limi e sabbie fini, sino a 33,5 metri di profondità dove la frazione sabbiosa aumenta sino a fondo foro.

Il livello della falda si è stabilizzato al termine della perforazione a  $-1.5$  m da p.c.

### Sondaggio 2 – Cassa 1



### Sondaggio 2 – Cassa 2



### Sondaggio 2 - Cassa 3



### Sondaggio 2 - Cassa 4



**Sondaggio 2 – Cassa 5**



**Sondaggio 2 – Cassa 6**



Sondaggio 2 – cassa 7



Sondaggio 2 – cassa 8



**Sondaggio 2 – Cassa 9**

**5.2.3 Sondaggio S3 2006**

Il sondaggio S3 è localizzato in corrispondenza della spalla sinistra della traversa, ad una quota di circa 4 metri superiore ai ruderi della stessa in alveo, a tergo del muro di sostegno. Questo sondaggio si è spinto sino a 25 metri da p.c., individuando uno strato di ghiaie eterometriche debolmente ciottolose in matrice sabbiosa addensata sino a circa 7,5 metri di profondità; al di sotto di questo strato è stato rinvenuto un orizzonte di sabbie medio fini da quota 7.5. a quota 15.5 da pc, per uno spessore complessivo di 8 metri, da scarsamente addensata a sciolta con sottostante lo strato di limi totalmente inconsistenti di colore grigio scuro.

**Tabella 6: Stratigrafia sondaggio S3 - 2006**

0	0,3	Terreno rimaneggiato sabbioso ghiaioso misto a terreno vegetale.
0,3	6	Ghiaia eterometrica ciottolosa (diam. max 8-10 cm) in abbondante matrice sabbiosa, da addensata a mediamente addensata; colore grigio.
6	7,5	Ghiaia eterometrica debolmente ciottolosa (diam. max 6-8 cm) in matrice sabbiosa limosa a tratti addensata; colore grigio brunastro.
7,5	15,5	Sabbia medio fine limosa, a tratti laminata, da scarsamente addensata a sciolta; colore grigio scuro.
15,5	25	Limo debolmente sabbioso fine totalmente inconsistente o a tratti decimetrici debolmente consistente, moderatamente plastico; colore grigio scuro.

### Sondaggio 3 – Cassa 1



### Sondaggio 3 – Cassa 2



### Sondaggio 3 – Cassa 3



### Sondaggio 3 – Cassa 4



**Sondaggio 3 – Cassa 5**



**Sondaggio 3 – Cassa 6**

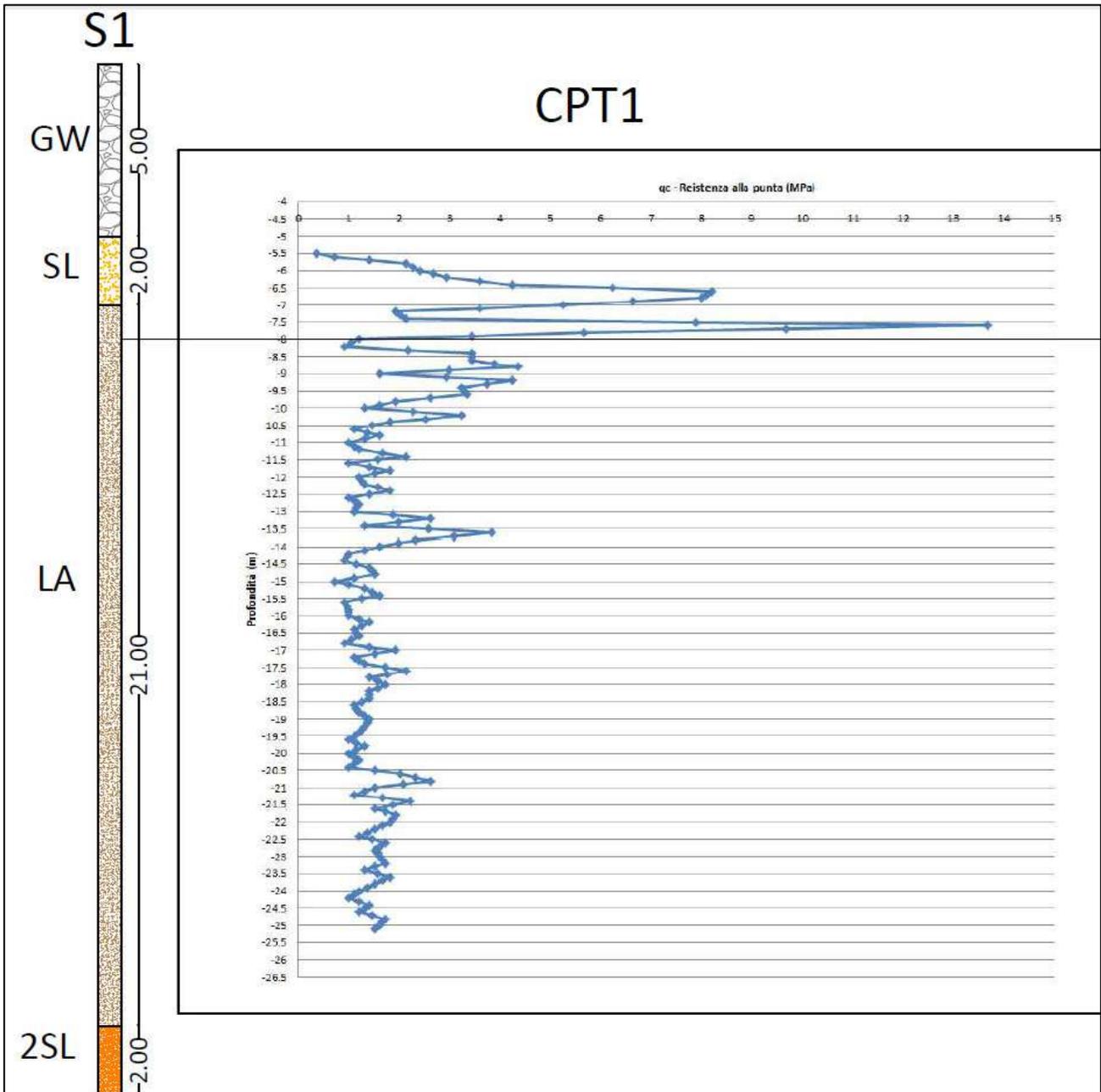


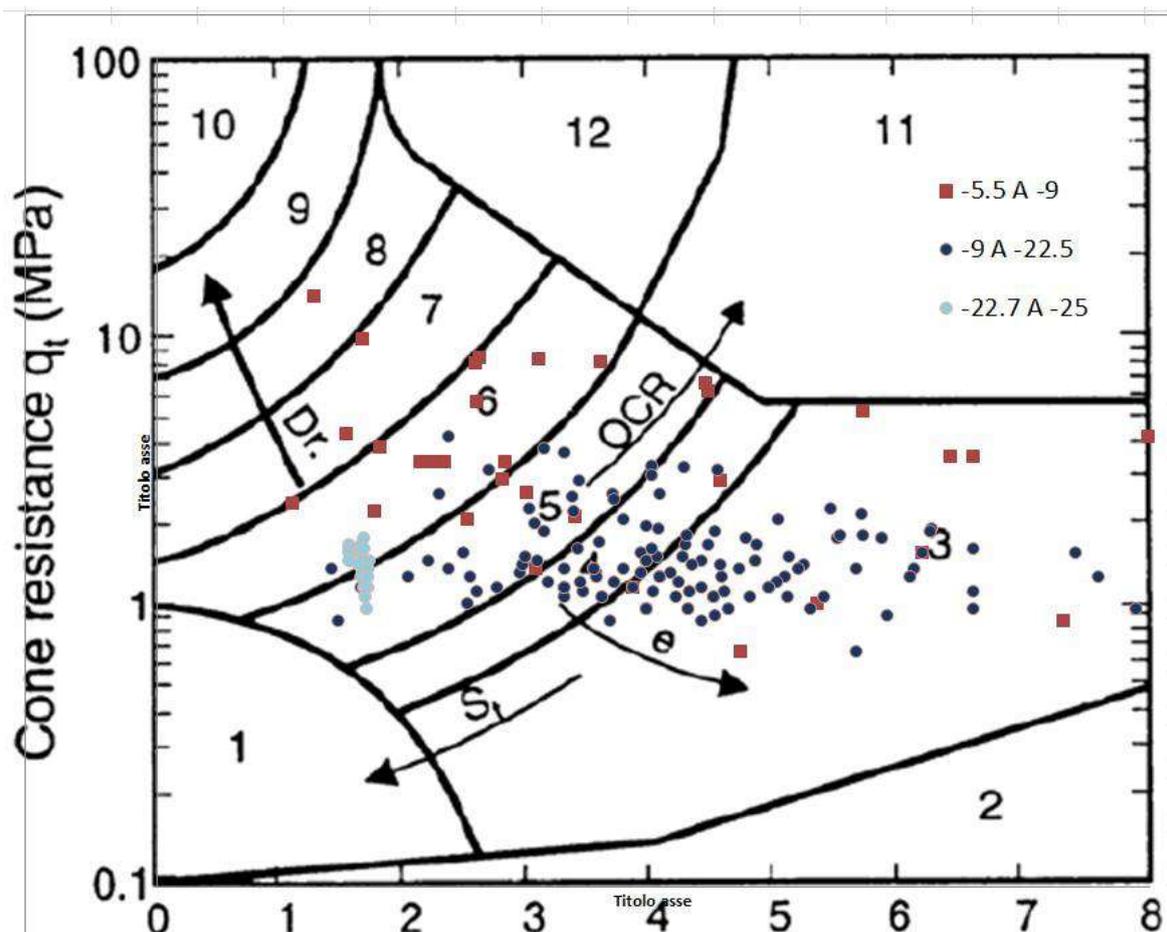
### Sondaggio 3 – cassa 7



#### 5.2.4 Prova penetrometrica statica P1

Al fine di effettuare un ulteriore confronto tra le risultanze del sondaggio S1 e quelle della prova CPT1, sulla base di questi primi parametri misurati e calcolati, si è fatto ricorso al grafico di Robertson et al (1986) che, sulla base dei valori di Resistenza alla punta  $q_c$  e del Rapporto d'attrito  $F_r$ , classifica il terreno in 12 tipi di suolo.





Zone	Soil Behavior Type
1	Sensitive fine grained
2	Organic material
3	Clay
4	Silty Clay to clay
5	Clayey silt to silty clay
6	Sandy silt to clayey silt
7	Silty sand to sandy silt
8	Sand to silty sand
9	Sand
10	Gravelly sand to sand
11	Very stiff fine grained*
12	Sand to clayey sand*

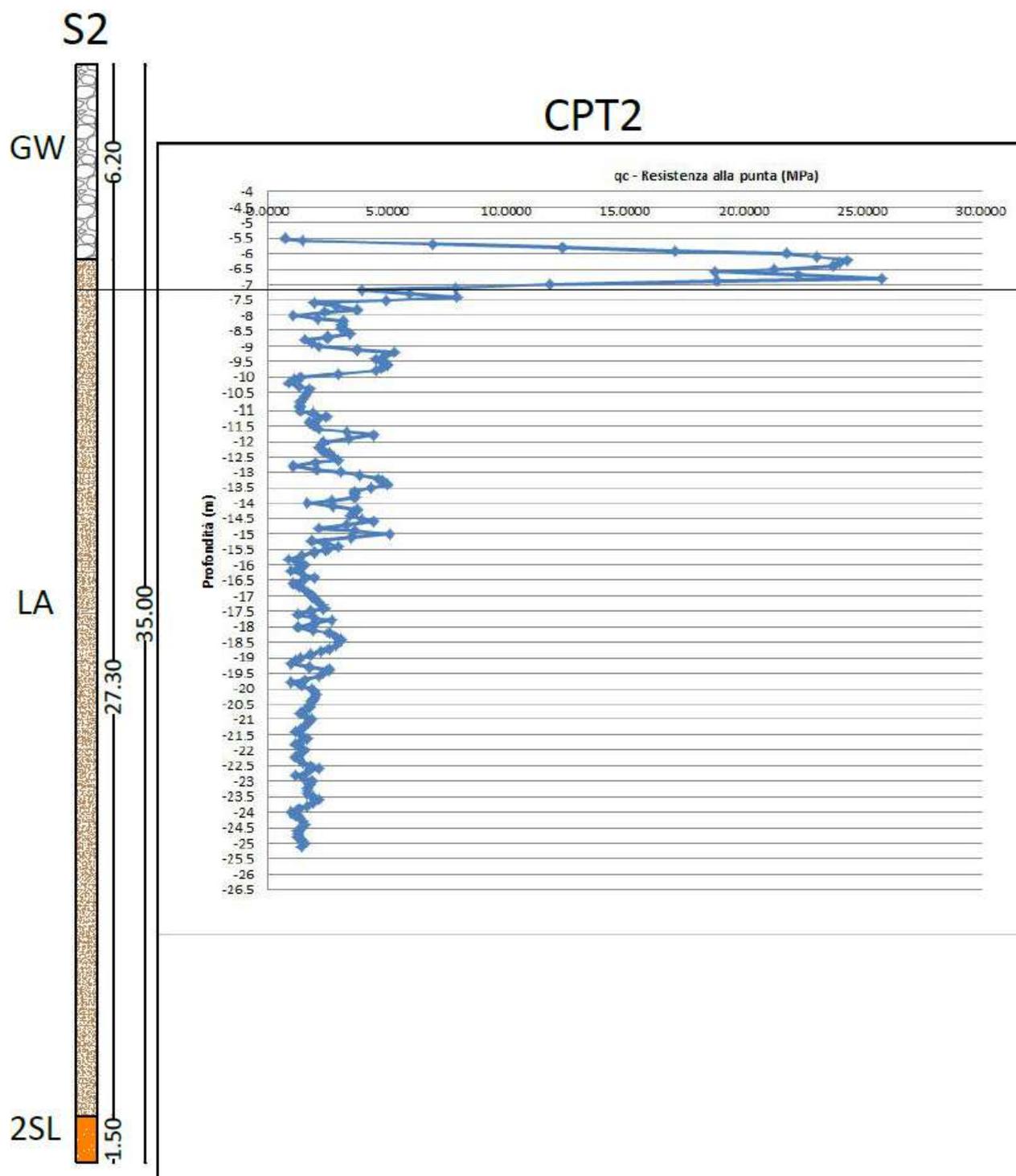
\* Overconsolidated or cemented

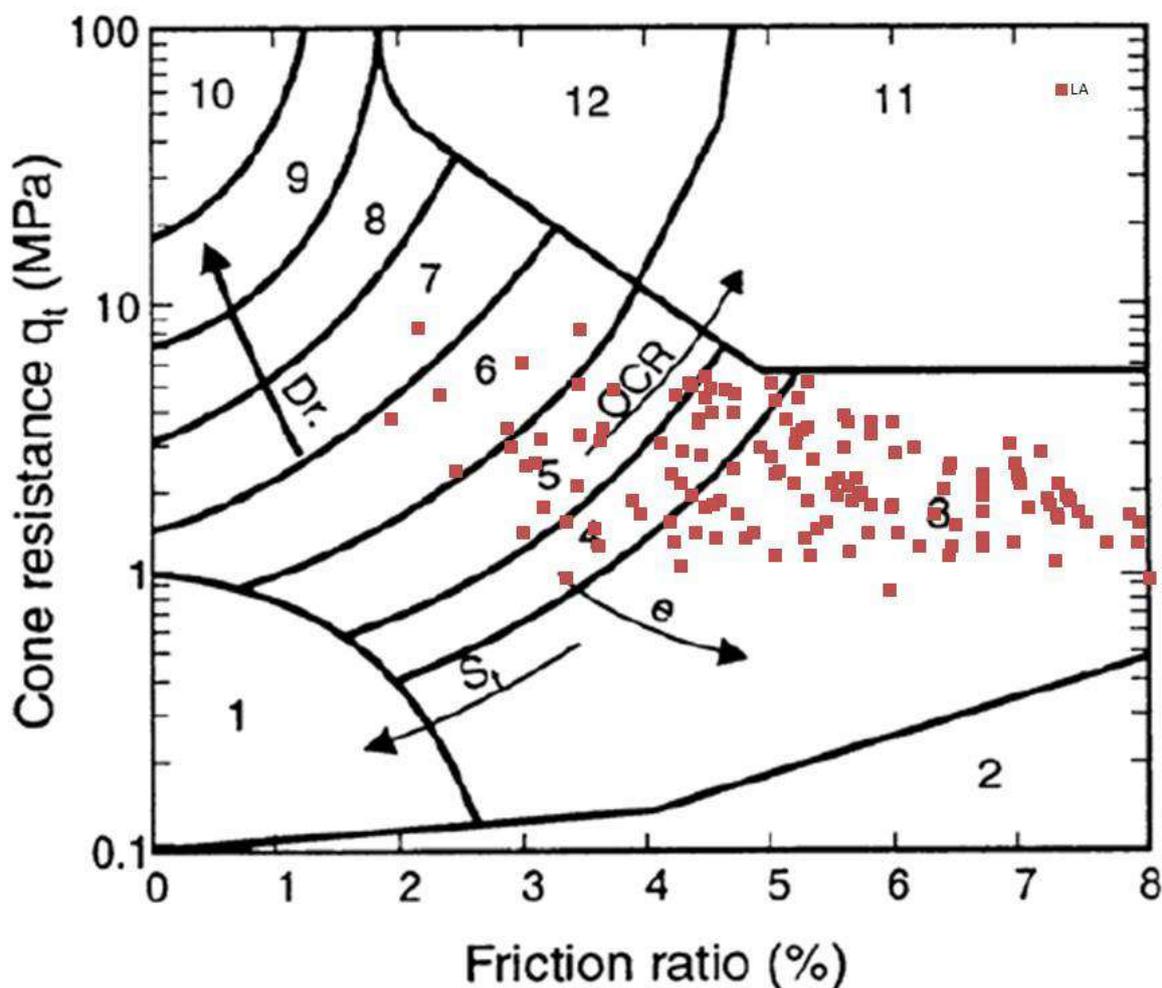
Figura 16 Grafico di Robertson et al (1986) : Classificazione suoli basata sulla resistenza alla punta e il rapporto d'attrito –CPT1

Per una migliore comprensione il grafico è stato suddiviso in 3 tratti, corrispondenti a diverse profondità; il tratto tra -5.5 e -9 è classificabile prevalentemente come sabbia limosa; i valori compresi nell'intervallo tra -9 e -22.5 da pc ricadono prevalentemente tra i settori 3, 4 e 5 del grafico, ovvero classificabili come argille, argille limose e limi argillosi. A chiusura, dalla profondità di 22.5 in poi, è ravvisabile un orizzonte con un contenuto di sabbia più elevato.

### 5.2.5 Prova penetrometrica statica P2

Al fine di effettuare un ulteriore confronto tra le risultanze del sondaggio S2 e quelle della prova CPT2, sulla base di questi primi parametri misurati e calcolati, si è fatto ricorso al grafico di Robertson et al (1986) che, sulla base dei valori di Resistenza alla punta  $q_c$  e del Rapporto d'attrito  $F_r$ , classifica il terreno in 12 tipi di suolo.





Zone	Soil Behavior Type
1	Sensitive fine grained
2	Organic material
3	Clay
4	Silty Clay to clay
5	Clayey silt to silty clay
6	Sandy silt to clayey silt
7	Silty sand to sandy silt
8	Sand to silty sand
9	Sand
10	Gravelly sand to sand
11	Very stiff fine grained*
12	Sand to clayey sand*

\* Overconsolidated or cemented

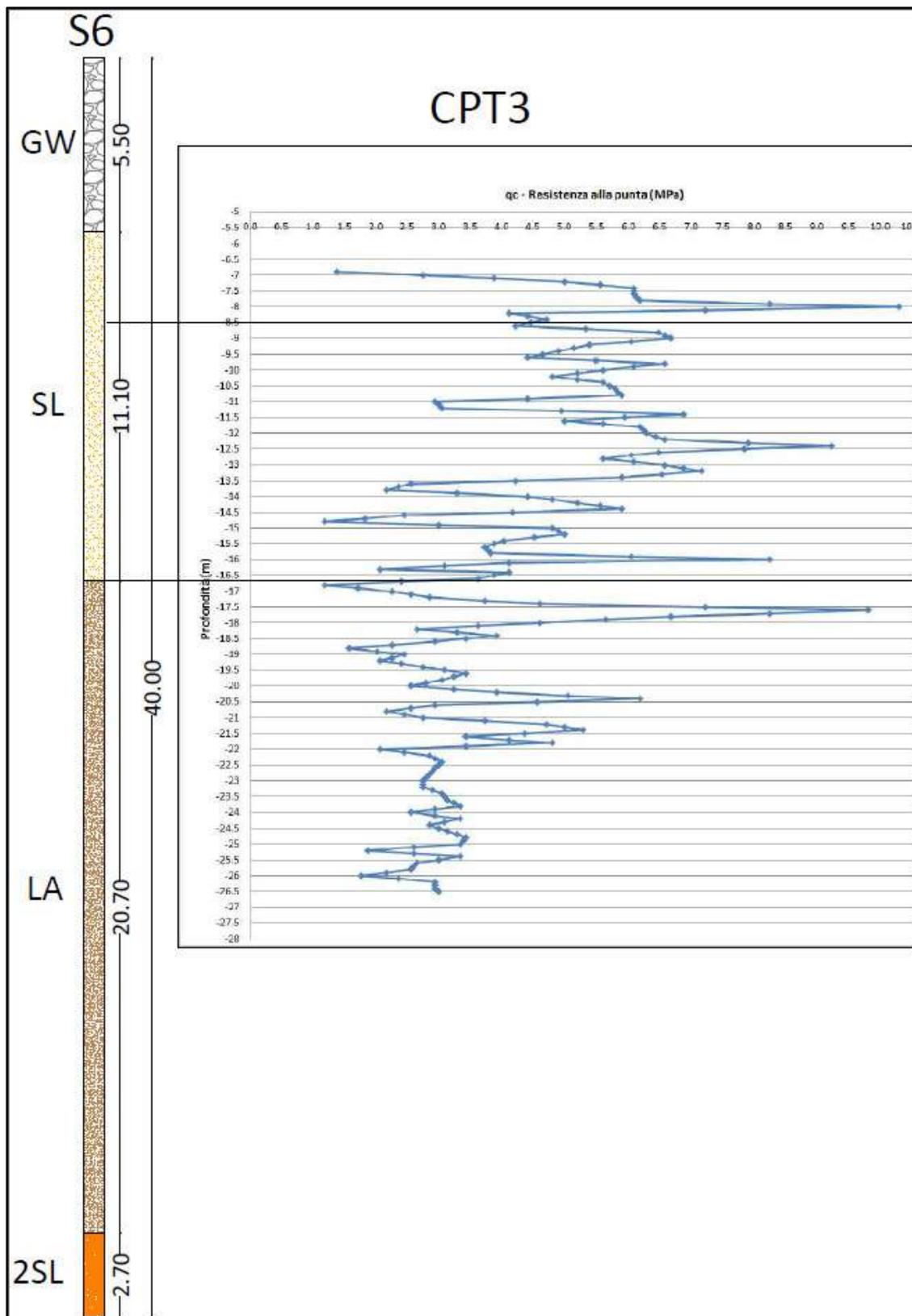
Figura 17 Grafico di Robertson et al (1986) : Classificazione suoli basata sulla resistenza alla punta e il rapporto d'attrito –CPT1

I punti nel grafico si pongono prevalentemente nella regione 3 e 4 ovvero argille e argille limose. Il grafico evidenzia anche una certa tendenza alla sovraconsolidazione.

### 5.2.6 Prova penetrometrica statica P3

Al fine di effettuare un ulteriore confronto tra le risultanze del sondaggio S6 e quelle della prova CPT3, sulla base di questi primi parametri misurati e calcolati, si è fatto ricorso al grafico di

Robertson et al (1986) che, sulla base dei valori di Resistenza alla punta  $q_c$  e del Rapporto d'attrito  $F_r$ , classifica il terreno in 12 tipi di suolo.



<i>Zone</i>	<i>Soil Behavior Type</i>
1	<i>Sensitive fine grained</i>
2	<i>Organic material</i>
3	<i>Clay</i>
4	<i>Silty Clay to clay</i>
5	<i>Clayey silt to silty clay</i>
6	<i>Sandy silt to clayey silt</i>
7	<i>Silty sand to sandy silt</i>
8	<i>Sand to silty sand</i>
9	<i>Sand</i>
10	<i>Gravelly sand to sand</i>
11	<i>Very stiff fine grained*</i>
12	<i>Sand to clayey sand*</i>

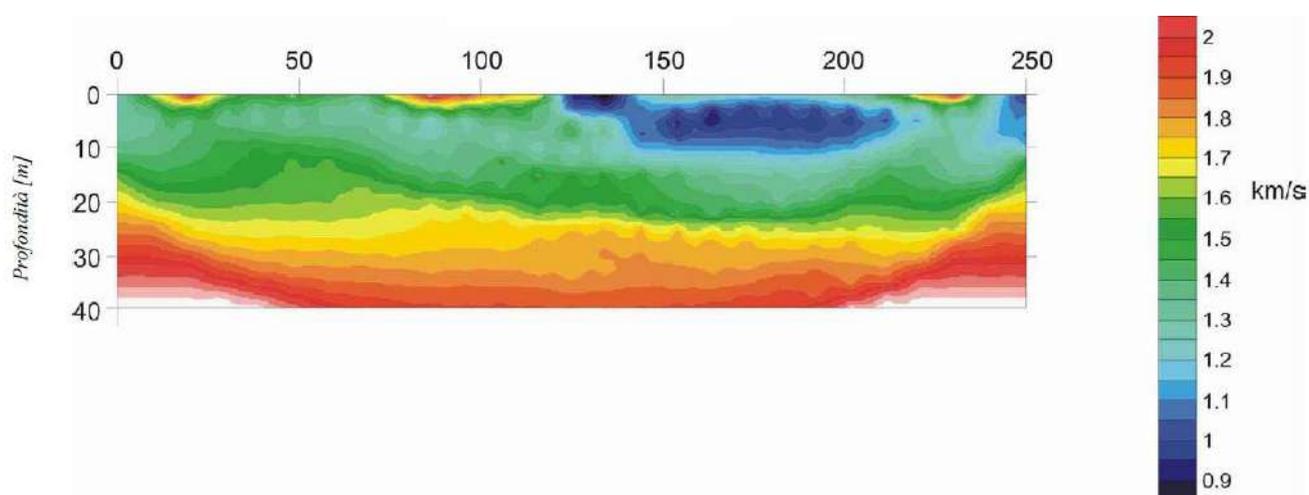
\* *Overconsolidated or cemented*

**Figura 18 Grafico di Robertson et al (1986) : Classificazione suoli basata sulla resistenza alla punta e il rapporto d'attrito –CPT1**

I punti nel grafico si pongono prevalentemente nella regione 3 e 4 ovvero argille e argille limose. Il grafico evidenzia anche una certa tendenza alla sovraconsolidazione.

### 5.2.7 Indagine sismica a rifrazione

Allo scopo di verificare le principali caratteristiche meccaniche dei terreni che costituiscono il settore in esame è stata eseguita una campagna di indagine sismica a rifrazione con elaborazione tomografica realizzando sia uno stendimento superficiale particolarmente esteso, sia eseguendo una prova con metodologia down hole all'interno di un foro di sondaggio appositamente predisposto.



**Figura 19: Tomografia sismica a rifrazione in onde Vp**

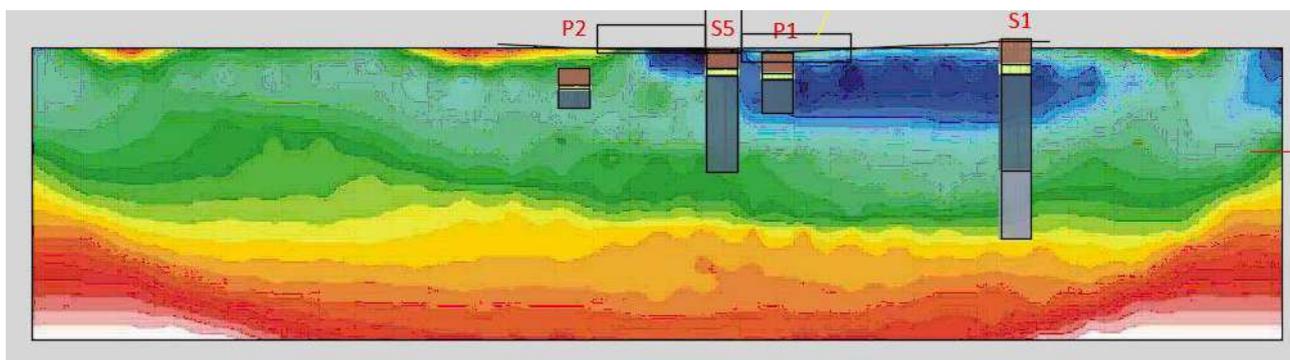
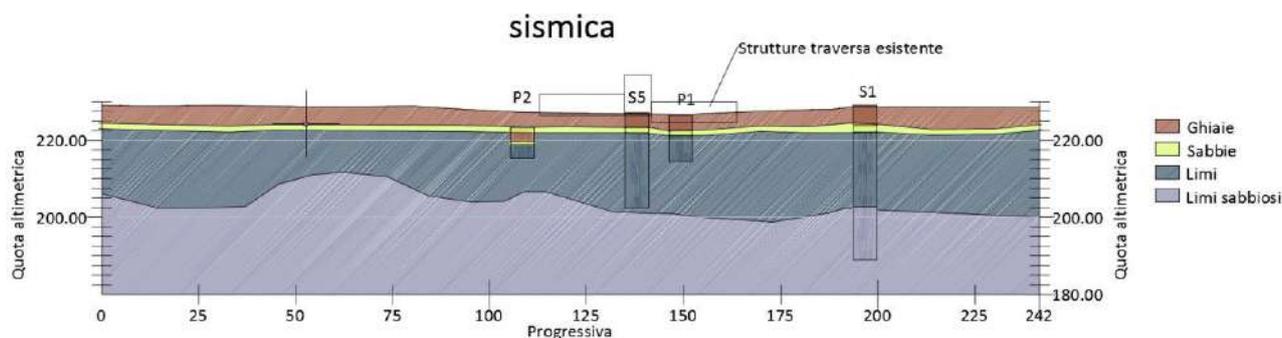


Figura 20: Tomografia sismica a rifrazione in onde Vp



La stesa sismica a rifrazione, correlata con i sondaggi permette di ricostruire in questo settore il contatto tra limi e limi sabbiosi, identificabile indicativamente nell'intervallo di Vp tra 1.2 e 1.3 Km/sec.

### 5.2.8 Indagine sismica down-hole

La metodologia down-hole consente la valutazione delle velocità sismiche delle onde P e S lungo la verticale data da un foro di sondaggio opportunamente preparato.

Le correlazioni tra le velocità delle onde di taglio e di compressione, acquisibili mediante le indagini di sismiche, consentono di ottenere nel contempo una buona determinazione dei parametri geotecnici medi dei terreni, estesa ad una vasta area di indagine, riferendoli al loro stato naturale e rappresentativi de

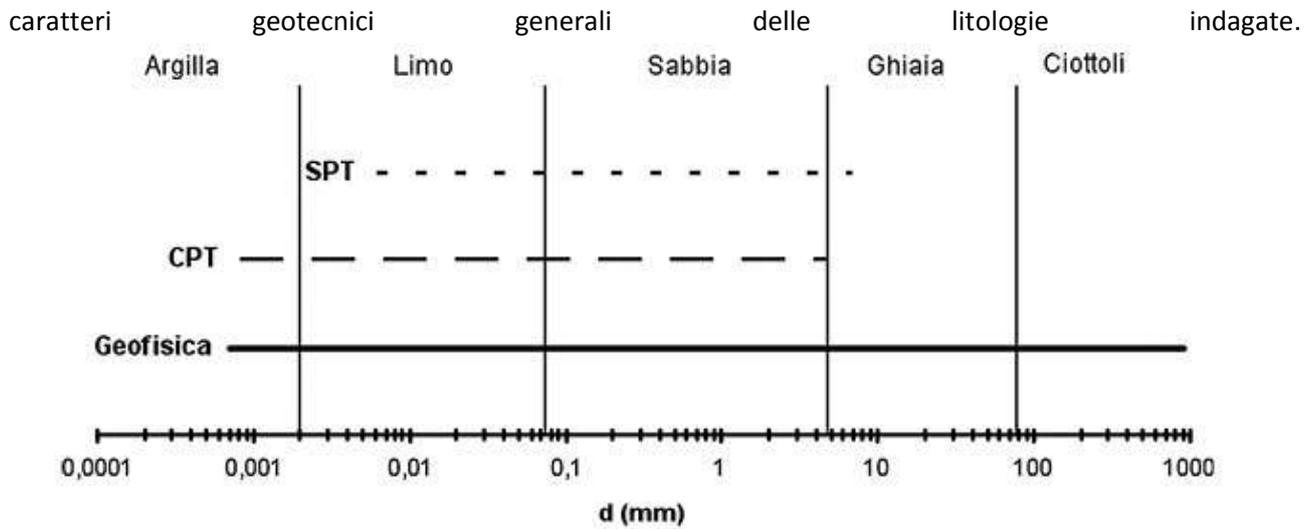


Figura 1.1. Campi di utilizzo delle prove in situ per tipi di terreno

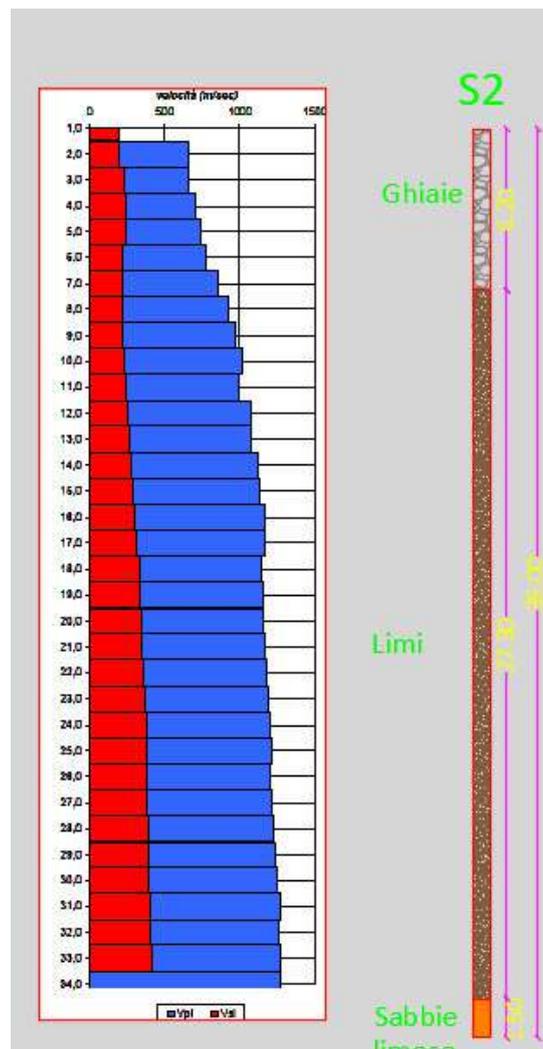


Figura 21: Velocità onde sismiche confrontate con stratigrafia sondaggio S2

Analizzando la figura si evidenzia una buona correlazione tra il rapporto delle velocità delle onde di compressione su quelle di taglio e la stratigrafia del sondaggio corrispondente.

### 5.3 Indagini Aprile – Maggio 2017

Nell'aprile maggio del 2017 è stata eseguita una ulteriore campagna geognostica volta a integrare quelle precedenti attraverso ulteriori sondaggi geognostici (di cui uno in alveo a valle della traversa) e a consentire il prelievo di campioni indisturbati da sottoporre ad indagini di laboratorio.



Figura 22: Planimetria indagini 2016

La campagna è stata integrata attraverso l'esecuzione di 3 stese geofisiche elettriche, elaborate mediante la tecnica della tomografia elettrica. Non è stato possibile eseguire un ulteriore sondaggio in corrispondenza del precedente S2 del 2006 in quanto sono sopraggiunti livelli idrometrici tali da non consentire un sicuro accesso all'area; **si ritiene di poter comunque dichiarare che l'esecuzione di un ulteriore sondaggio non avrebbe comportato alcuna modifica nella ricostruzione dell'assetto stratigrafico e non avrebbe migliorato sensibilmente i risultati ottenuti attraverso il prelievo di campioni indisturbati e le successive analisi di laboratorio.**

### 5.3.1 Sondaggio S4 2017 – in alveo a valle della traversa.



Figura 23: Esecuzione del sondaggio S4, in alveo, a valle della traversa.

Il sondaggio S4 è stato ubicato circa 90 metri a valle della traversa esistente.

Tabella 7: Sondaggio S4 2017

0	0,9	Ghiaia ciottolosa (diam. max 15-20 cm) in scarsa matrice sabbiosa grossolana, sciolta; colore bruno chiaro.
0,9	2	Ghiaia eterometrica con sporadici piccoli ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbiosa medio grossolana, sciolta, a tratti abbondante; colore bruno grigiastro.
2	9,2	Alternanza di orizzonti pluridecimetrici di limo, limo argilloso ed argilla limosa, saturi, estremamente plastici ed inconsistenti; colore grigio plumbeo. Presenza di vari orizzonti pluricentimetrici sabbioso fini.
9,2	19,2	argilla limosa e limo argilloso, plastico e saturo, poco consistente (colore grigio plumbeo) con occasionali sottili livelli millimetrici limoso torbosi (colore bruno scuro).
19,2	21	alternanza di livelli decimetrici di sabbia fine e molto fine, mediamente addensata, e di limi sabbiosi; colore grigio scuro.
21	30	Alternanze pluridecimetriche di sabbia medio fine, sciolta, sabbia limosa e limo sabbioso. Presenza di rari livelli decimetrici argilloso limosi. Colore grigio plumbeo

Questo sondaggio si è spinto sino a 30 metri da p.c.,. Analizzando il sondaggio S4 si evidenzia che in questo settore possono essere riconosciute 3 tipologie di depositi principali, uno strato superficiale costituito da ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa, la cui profondità si attesta a circa 2 metri dal piano di campagna; al di sotto è presente una transizione netta a granulometrie più fini con passaggio a limi e sabbie fini, sino a 21 metri di profondità; successivamente la frazione sabbiosa diventa preponderante con un alternanza di livelli decimetrici di sabbie fini limose e sabbie medio fini.



**Foto 1:** Sondaggio S4 - cassa 1 - da 0.00 m a 5.00 m.





**Foto 3:** Sondaggio S4 - cassa 3 - da 10.00 m a 15.00 m.



**Foto 4:** Sondaggio S4 - cassa 4 - da 15.00 m a 20.00 m.



**Foto 5:** Sondaggio S4 - cassa 5 - da 20.00 m a 25.00 m.



**Foto 6:** Sondaggio S4 - cassa 6 - da 25.00 m a 30.00 m.

### 5.3.2 Sondaggio S5 2017

Il sondaggio S5 è ubicato in destra idrografica della dora, in asse ai ruderi della traversa.

**Tabella 8: Sondaggio S5 2017**

0	0,2	Coltre vegetale.
0,2	3	Ghiaia eterometrica con piccoli ciottoli (diam. max 6-8 cm) in matrice sabbiosa eterometrica, sciolta, a tratti abbondante; colore bruno chiaro.
3	3,7	Ghiaia media in matrice sabbiosa medio grossolana, sciolta; colore grigio bruno chiaro
3,7	5,2	Sabbia fine, a tratti debolmente limosa, da sciolta ad addensata; colore bruno.
5,2	10,5	Alternanze decimetriche di sabbia fine e molto fine, da sciolta a debolmente addensata, e di sabbia limosa e limo sabbioso; colore grigio plumbeo.
10,5	35	Argilla limosa e limo argilloso, plastiche, sature e prive di consistenza, con presenza di orizzonti pluridecimetrici di limo e limo sabbioso più consistente; colore grigio plumbeo. Presenza di un orizzonte centimetrico di limo torboso nerastro a m 28.10.



**Figura 24: Esecuzione del sondaggio S5**

Analizzando il sondaggio si evidenzia che in questo settore possono essere riconosciute 2 tipologie di depositi principali, uno strato superficiale costituito da ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa, la cui profondità si attesta a circa 4 metri dal piano di campagna; al di sotto del primo strato francamente ghiaioso è presente una transizione verso granulometrie più fini con un passaggio netto a sabbie

eterometriche di spessore contenuto (inferiore al metro) e successivamente a limi e sabbie fini in profondità; il redattore della stratigrafia riconosce visivamente, in sede di stesure della stratigrafia, una componente argillosa, che tuttavia, a seguito delle ulteriori indagini si attesta su percentuali estremamente basse.



**Foto 8:** Sondaggio S5 - cassa 1 - da 0.00 m a 5.00 m.



**Foto 9:** Sondaggio S5 - cassa 2 - da 5.00 m a 10.00 m.



**Foto 10:** Sondaggio S5 - cassa 3 - da 10.00 m a 15.00 m.



**Foto 11:** Sondaggio S5 - cassa 4 - da 15.00 m a 20.00 m.



**Foto 12:** Sondaggio S5 - cassa 5 - da 20.00 m a 25.00 m.



**Foto 13:** Sondaggio S5 - cassa 6 - da 25.00 m a 30.00 m.



**Foto 14:** Sondaggio S5 - cassa 7 - da 30.00 m a 35.00 m.

### 5.3.3 Sondaggio S6 2017

0	0,2	Coltre vegetale sabbiosa; colore bruno.
0,2	5,5	Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 10-12 cm) in matrice sabbiosa e sabbioso limosa, sciolta, probabilmente rimaneggiata al tetto; colore bruno chiaro.
5,5	7	Sabbia eterometrica, sciolta, con sporadica ghiaia fine e rari ciottoli; colore bruno chiaro grigiastro.
7	12,5	Sabbia fine e molto fine, debolmente limosa, da sciolta a poco addensata; colore grigio plumbeo. Presenza di locali orizzonti millimetrico centimetrici torbosi nerastri.
12,5	16,6	Sabbia molto fine limosa, plastica e priva di consistenza, saturo; colore grigio plumbeo.
16,6	37,3	Limo, limo argilloso ed argilla limosa, plastica e privo di consistenza, con orizzonti decimetrici di limo sabbioso a maggiore consistenza; colore grigio plumbeo.
37,3	40	Sabbia fine e sabbia limosa, da sciolta a moderatamente addensata, con livelli pluridecimetrici di limi argillosi ed argille limose; colore grigio plumbeo. Presenza di sottili orizzonti centimetrici di sabbia torbosa nerastra.



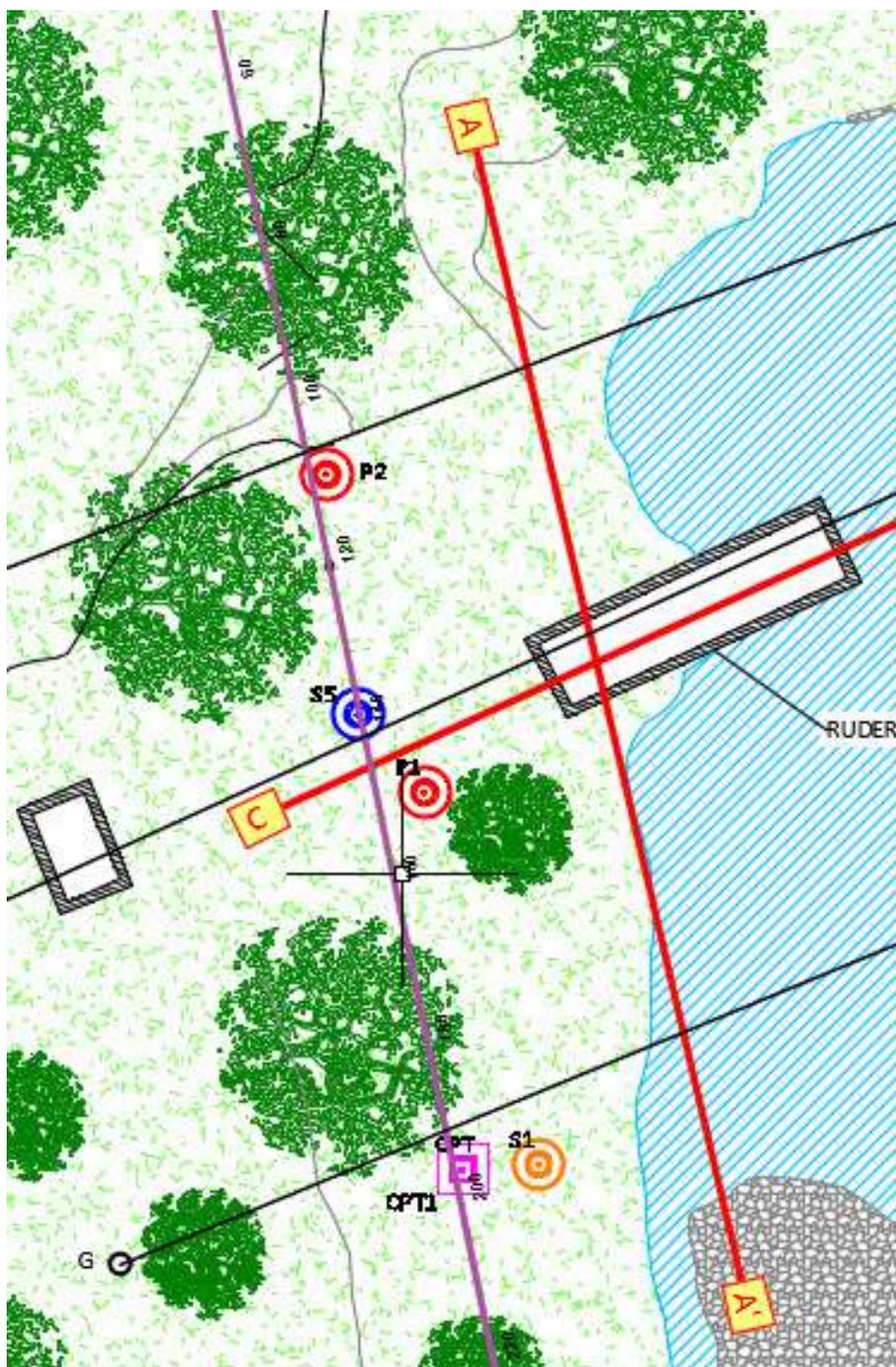


Figura 26: Pianta sezione A-A' con sondaggi ad essa correlabili

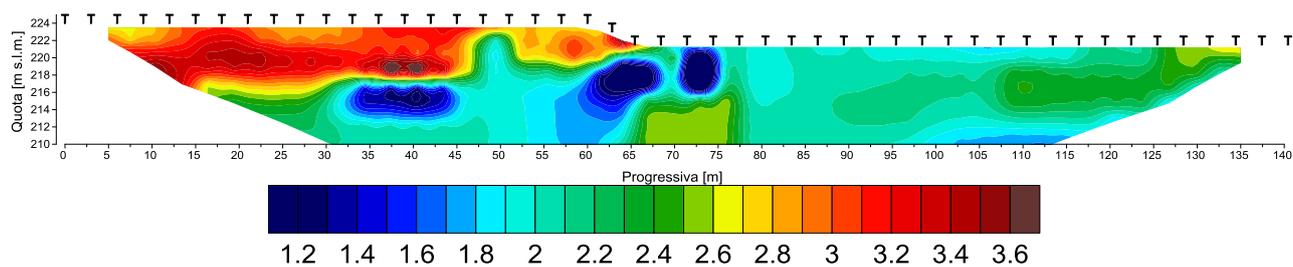


Figura 27: Sezione tomografica A-A'

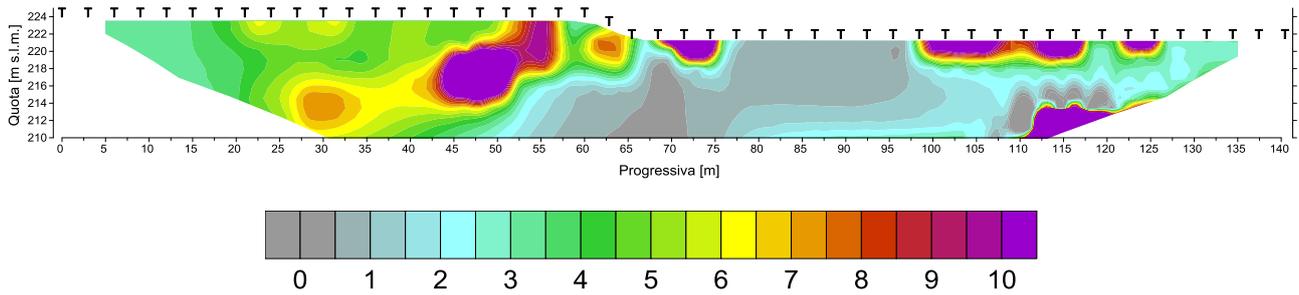


Figura 28: Sezione tomografica A-A' in polarizzazione indotta

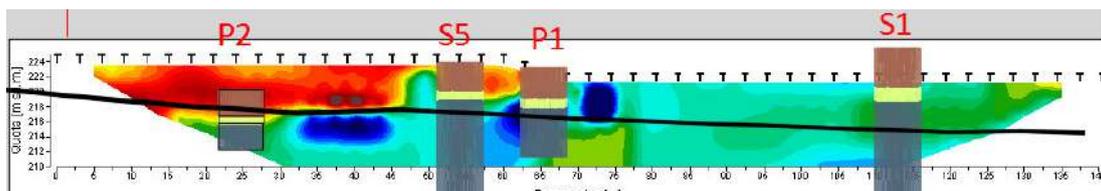


Figura 29: Sezione tomografica A-A' con proiezione dei sondaggi (marrone – Ghiaie; verde pallido sabbie; Grigio plumbeo Limi)

Analizzando la sezione tomografica elettrica, nella parte sinistra si osserva un'ottima correlazione con i dati stratigrafici (n.b. i sondaggi sono proiettati sulla sezione), ove si evidenzia il contatto tra le ghiaie e i limi correlato con la repentina diminuzione della resistività. Nella parte destra, la sezione era completamente in alveo, non evidenziando un contatto evidente tra le ghiaie ed i sottostanti limi.

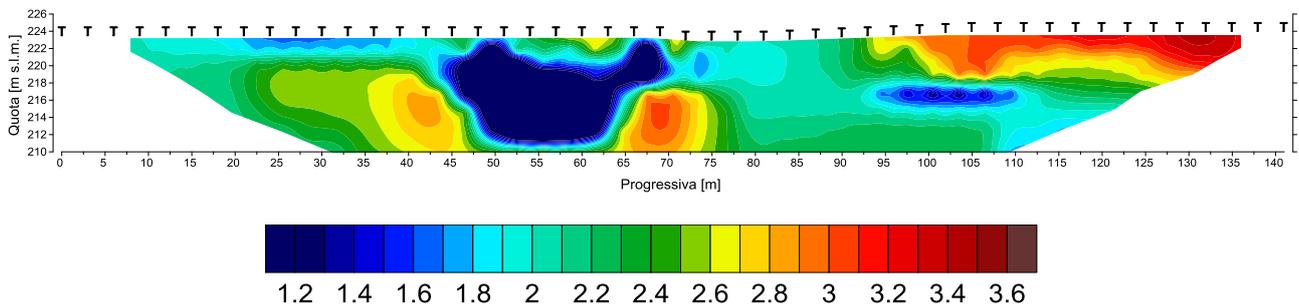


Figura 30: Sezione tomografica B-B'

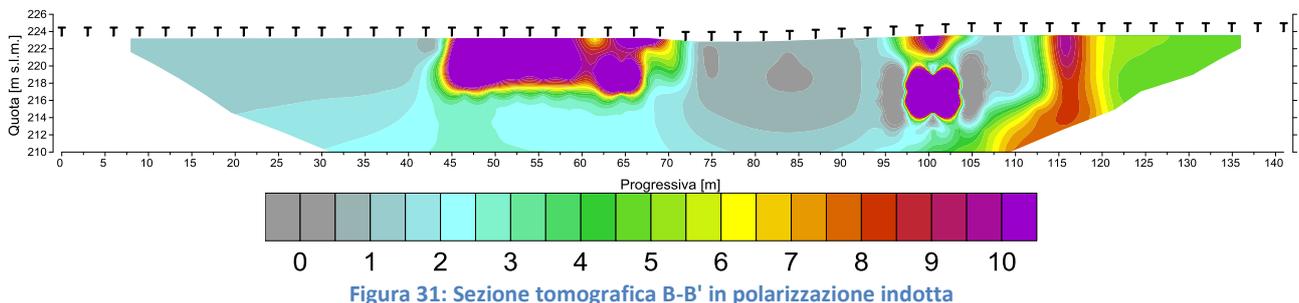


Figura 31: Sezione tomografica B-B' in polarizzazione indotta

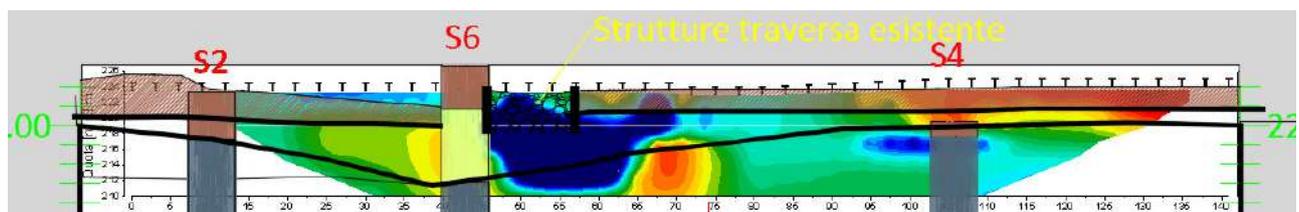


Figura 32: Sezione tomografica B-B' con proiezione dei sondaggi (marrone – Ghiaie; verde pallido sabbie; Grigio plumbeo Limi)

Nella sezione B-B1 è evidente a valle della traversa, all'altezza del sondaggio S4 il contatto tra le ghiaie e le sabbie ed i sottostanti limi.

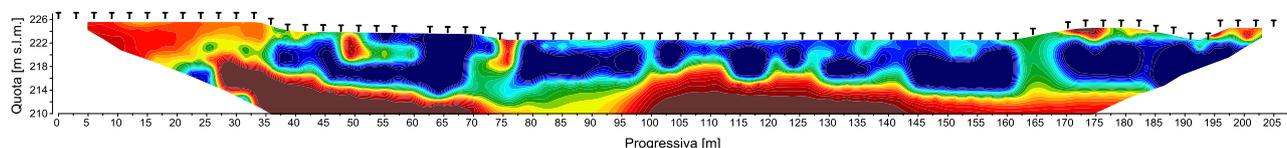


Figura 33: Sezione tomografica C-C'

La sezione tomografica C-C' non viene analizzata poiché troppo influenzata dalla presenza delle strutture della traversa esistente per consentire una qualsiasi correlazione stratigrafica.

### 5.3.4.1 Residui strutturali rilevati

Gli stendimenti sono stati progettati per adattarsi al meglio alla disposizione della struttura e con lo scopo di descrivere dettagliatamente lo sviluppo e la profondità raggiunta dagli elementi in c.a. della traversa. La spaziatura inter-elettrodica degli stendimenti è stata sempre mantenuta pari a 3 m, per garantire un buon grado di dettaglio dei dati misurati e raggiungere una profondità di indagine adeguata ad interessare le strutture anche al di sotto della loro base (stimata in max. 10 m da p.c. o dal pelo dell'acqua in alveo).

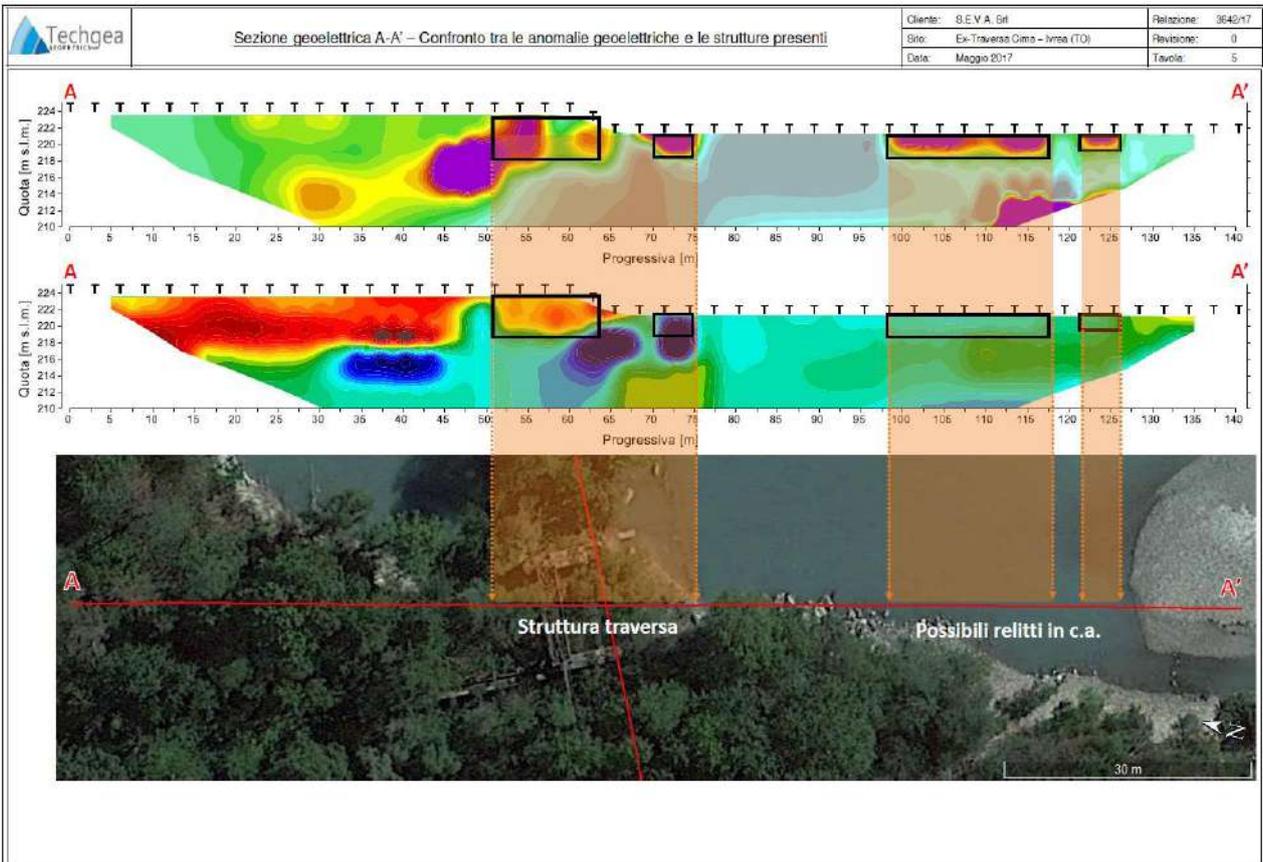
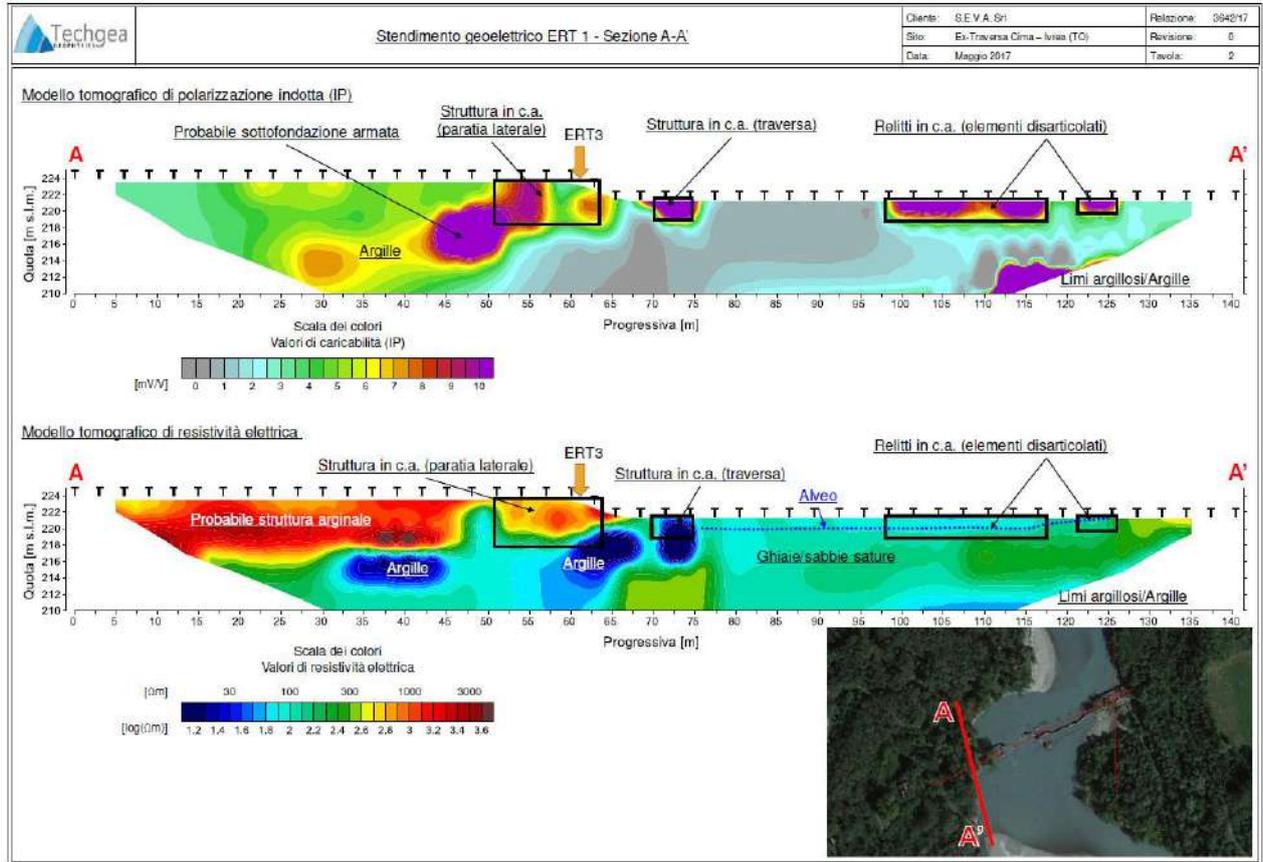
In Tabella seguente si riportano le caratteristiche geometriche dei diversi stendimenti geoelettrici (ERT 1 = stendimento A-A'; ETR 2 = Stendimento B-B'; ETR 3 = Stendimento C-C').

Tabella 9 Caratteristiche geometriche degli stendimenti effettuati

Sezione	Direzione	N. elettrodi	Interasse elettr. [m]	Lunghezza tot. [m]	Quadripoli di misura
ERT 1	N-S	48	3	141	592
ERT 2	N-S	48	3	141	592
ERT 3	SO-NE	72	3	210	1224

Nei tratti sulle sponde, gli elettrodi sono stati infissi nel terreno o nelle strutture in cemento (mediante esecuzione di pre-fori con trapano a percussione), mentre nei tratti in acqua gli elettrodi sono stati mantenuti poco al di sotto del pelo libero, per garantire un adeguato contatto galvanico ed un ottimale passaggio della corrente elettrica. Nel caso in cui, come per lo stendimento ERT 3 (Sezione C-C'), i cavi fossero mantenuti in tensione a circa 1 m al di sopra del pelo libero, il contatto tra ciascun elettrodo è stato garantito mediante connessione con singoli cavi elettrici in rame, fino a raggiungere l'acqua del fiume.

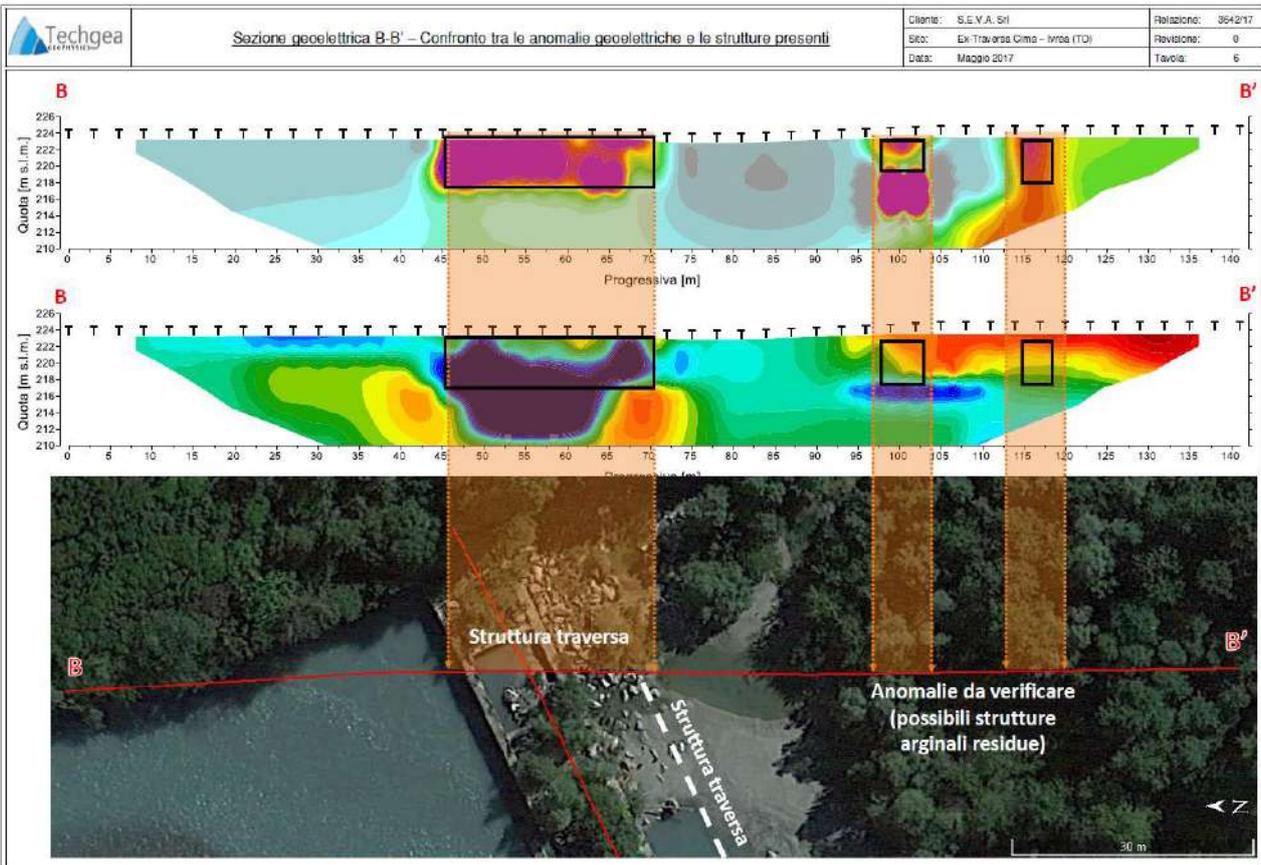
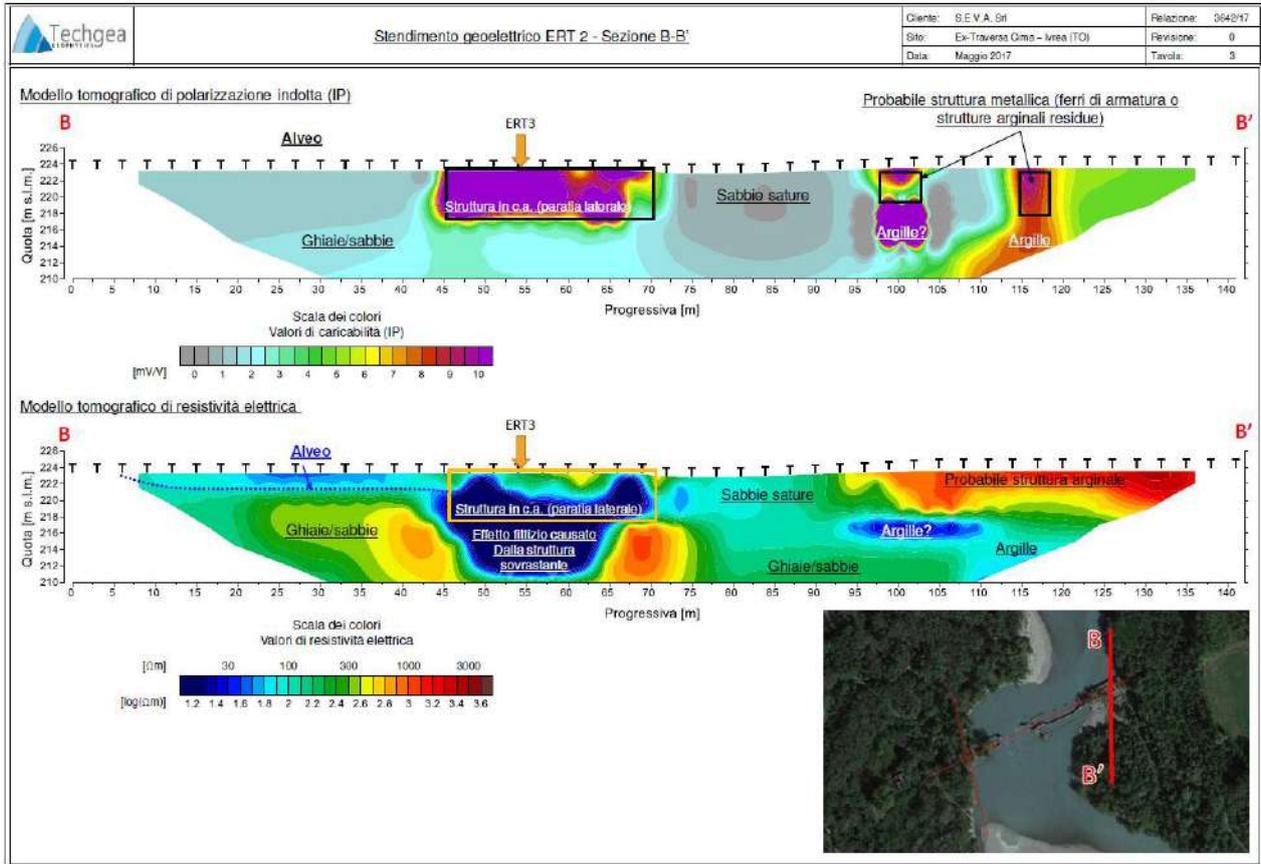
**Si riportano e commentano di seguito i risultati delle indagini forniti dalla società Techgea s.r.l.:**



Il modello tomografico di resistività elettrica e polarizzazione indotta relativo allo stendimento **ERT 1 (A-A')** consente di identificare:

- Alcune anomalie localizzate di resistività elettrica (valori inferiori a 10  $\Omega\text{m}$ , tonalità di colore blu scuro) e di polarizzazione indotta (valori superiori a 10 mV/V, tonalità di colore viola), che identificano la struttura laterale della traversa, tra le progressive 50 e 65 m, e alla progressiva 72 m. Si notano inoltre una forte anomalia più profonda, alle progressive 45-55 m (valori di polarizzazione indotta maggiori di 10 mV/V), associabile ad una probabile sottofondazione armata, e due anomalie superficiali alle progressive 100-120 m e 125 m, che corrispondono verosimilmente a relitti in c.a. della struttura arginale o della traversa (disarticolati ed aventi armatura metallica), trasportati dalla corrente del fiume.
- Una zona ad alta resistività (valori maggiori di 500  $\Omega\text{m}$ , tonalità di colore aranciorosso), in corrispondenza delle progressive 0÷45 m, che può essere ascritta alla presenza di sedimenti compatti e asciutti, ed alla concomitante presenza di probabili strutture arginali residue in cls. In questa zona, i valori di IP sono medio-bassi (inferiori a 5 mV/V, tonalità di colore verde).
- Un livello più profondo, a circa 8-9 m da p.c. (216-217 m s.l.m.) tra le progressive 25 e 65 e, alla quota di circa 214 m s.l.m. tra le progressive 80 e 120 m, che appare interrotto in corrispondenza della struttura della traversa (alle progressive 65-80 m) per un effetto della struttura in c.a. in acqua, la quale devia il campo di corrente e crea una anomalia spuria che interrompe la continuità dell'orizzonte sottostante.

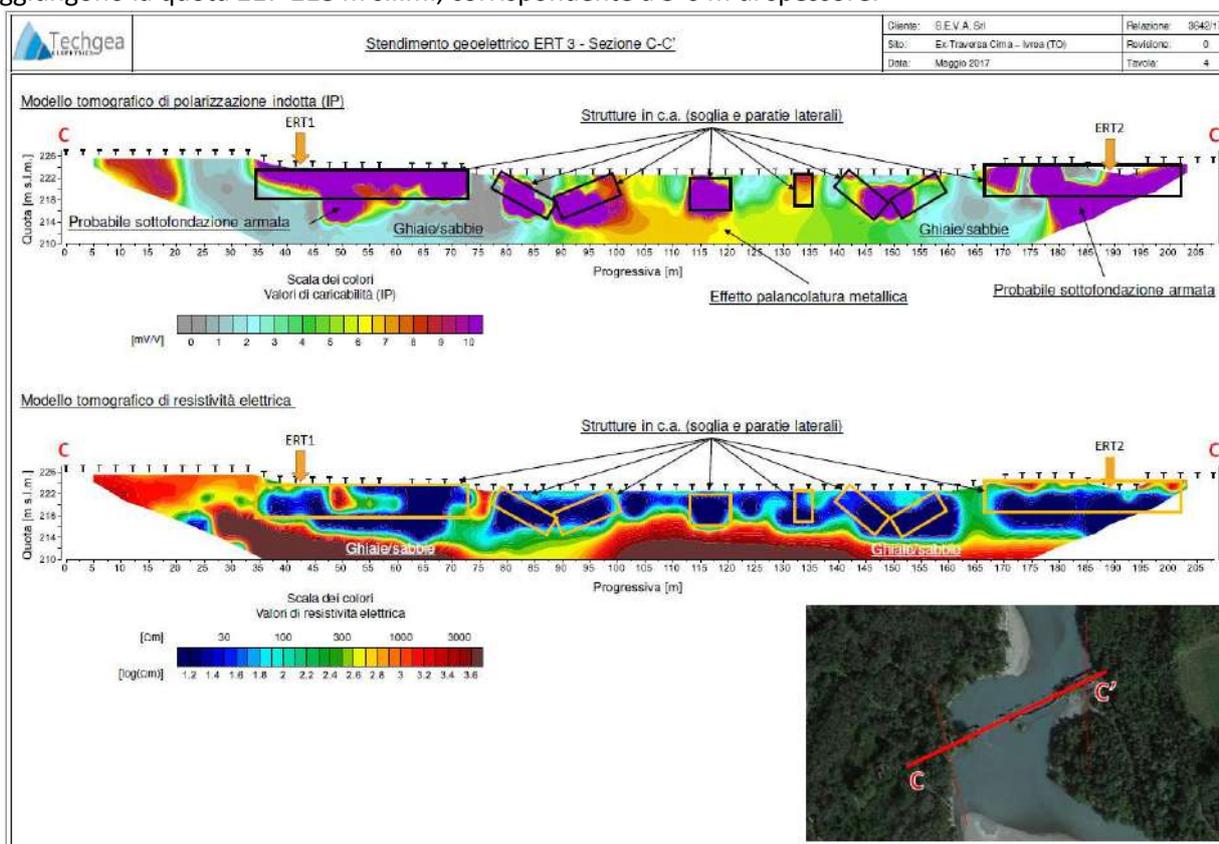
Gli elementi in c.a. della struttura, evidenziati nel modello di polarizzazione indotta e resistività elettrica, raggiungono la quota 218 m s.l.m., corrispondente a 5-6 m di spessore, mentre l'anomalia associata alla probabile sottofondazione armata raggiunge i 9-10 m di spessore (fino a quota 214 m s.l.m.)

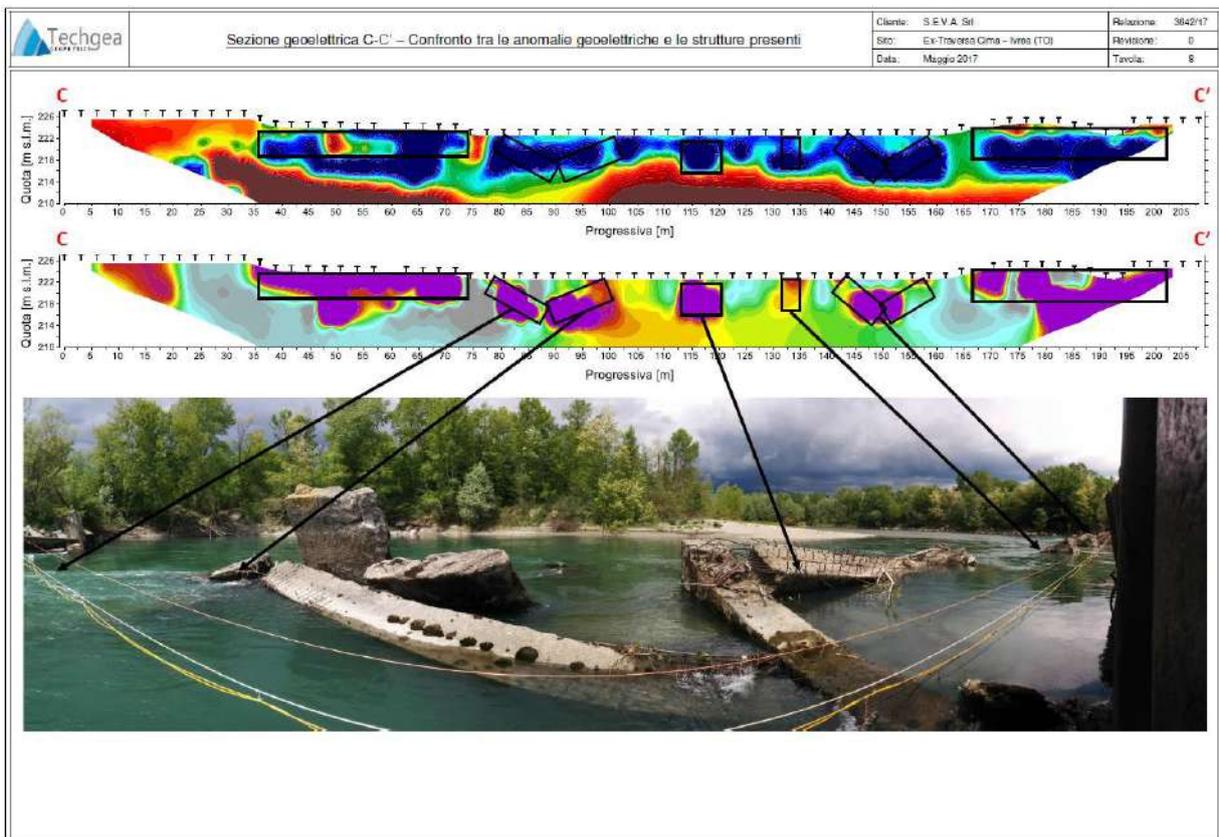
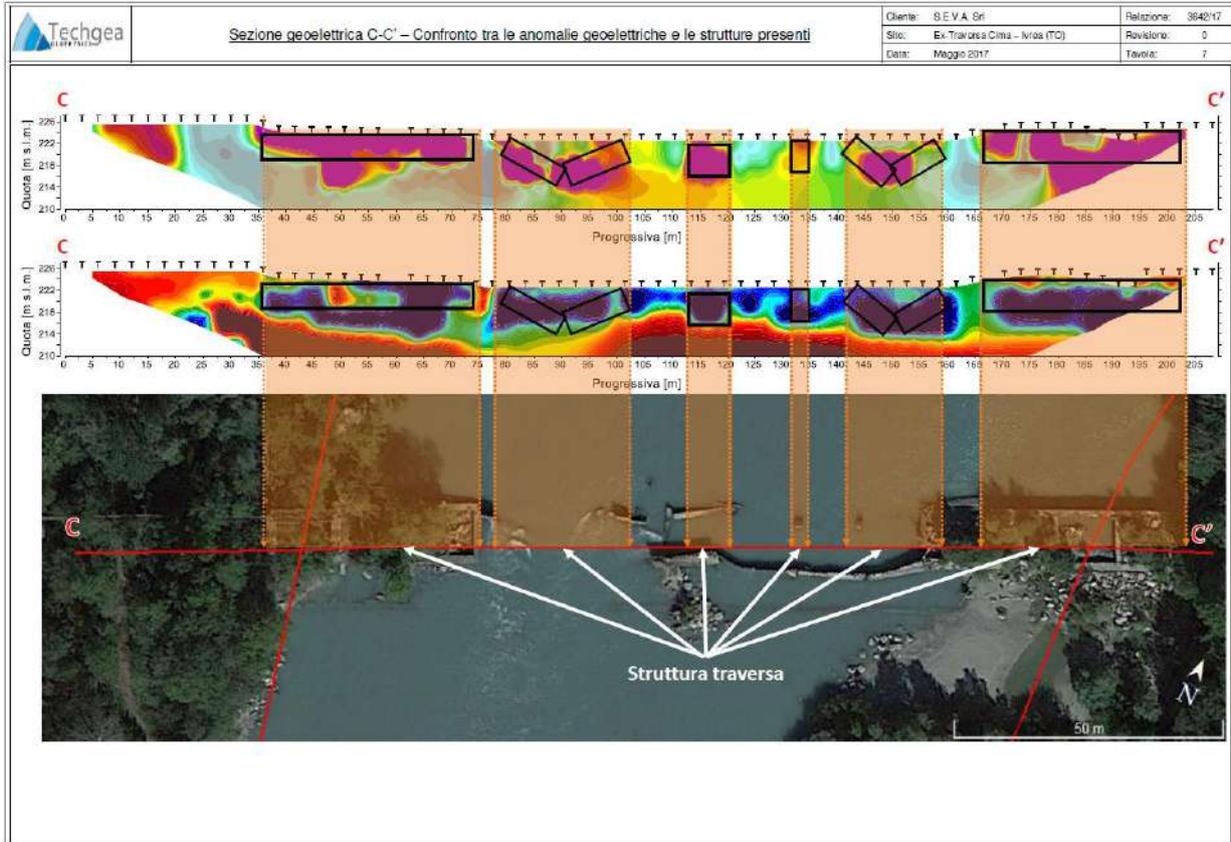


Il modello tomografico di resistività elettrica e polarizzazione indotta relativo allo stendimento ERT 2 (B-B'), analogamente a quanto detto a commento del modello tomografico lungo lo stendimento AA', consente di identificare:

- Una forte anomalia di resistività elettrica (valori inferiori a 10  $\Omega$ m, tonalità di colore blu scuro) e di polarizzazione indotta (valori superiori a 10 mV/V, tonalità di colore viola), che identifica la struttura laterale della traversa, tra le progressive 45 e 70 m,
- Un'anomalia di resistività elettrica tra le progressive 45 e 70 generata dalla presenza della traversa.
- Una zona ad alta resistività (valori maggiori di 500  $\Omega$ m, tonalità di colore aranciorosso), in corrispondenza delle progressive maggiori di 95 m, che può essere ascritta alla presenza di sedimenti compatti e asciutti, ed alla concomitante presenza di probabili strutture arginali residue in cls. In corrispondenza delle progressive 100 m e 118 m, sono presenti due anomalie di polarizzazione indotta superficiali e localizzate (valori di IP maggiori di 10 mV/V, tonalità di colore rosso-viola), che possono essere associate alla presenza di una struttura contenente metallo (probabili residui di strutture arginali).

Gli elementi in c.a. della struttura, evidenziati nel modello di polarizzazione indotta e resistività elettrica, raggiungono la quota 217-218 m s.l.m., corrispondente a 5-6 m di spessore.





Il modello tomografico di resistività elettrica e di polarizzazione indotta relativo allo stendimento ERT 3 (C C'), effettuato lungo tutto lo sviluppo della traversa, ha consentito di localizzare:

- Numerose anomalie di resistività elettrica (valori inferiori a 10  $\Omega$  m, tonalità di colore blu scuro) e di polarizzazione indotta (valori superiori a 10 mV/V, tonalità di colore viola), in corrispondenza degli elementi in c.a. che compongono la traversa. Tali elementi possono essere estesi, come per le strutture arginali (progressive 35-75 m e 167-205 m) o di dimensione più contenuta, come ad esempio alla progressiva 133 m. la profondità raggiunta da queste anomalie è generalmente di 5-6 m (da p.c. o da pelo libero dell' acqua). Inoltre, dall' analisi delle anomalie di polarizzazione indotta, si nota come le anomalie alle progressive 80-105 m e 142-160 m, che raggiungono profondità maggiori, anche di 8-9 m, corrispondono ai tratti di struttura inclinati e ruotati dalla forza della corrente durante il processo deformativo.
- Al centro della sezione, i valori di polarizzazione indotta sono maggiori anche a profondità fino a 12-14 m dal pelo libero dell' acqua, per effetto della presenza della palancatura metallica che crea questo tipo di risposta.

Riassumendo, si è potuto stabilire con ragionevole accuratezza che:

- la base delle strutture si trova generalmente tra 217 e 218 m s.l.m., ad una profondità di circa 5-6 m dal p.c. (sulle sponde) o dal pelo libero dell'acqua (in alveo). Lo spessore delle strutture, per quanto riguarda la parte interrata/sommersa, è quindi pari a circa 5-6 m;
- Nel centro della traversa, sono presenti anomalie che raggiungono profondità maggiori (8-9 m dal pelo libero dell'acqua), che sono state associate agli elementi della struttura che hanno subito significative rotazioni e ribaltamenti;
- Al di sotto delle strutture laterali della traversa, in particolar modo lungo la sponda destra (verso il punto A), pare essere presente una sottofondazione in c.a. fino a circa 9-10 m da p.c., identificabile a partire da una forte anomalia di polarizzazione indotta, sia lungo la sezione A-A' (progressiva 45-50 m) sia lungo la sezione C-C' (progressiva 45-60 m).

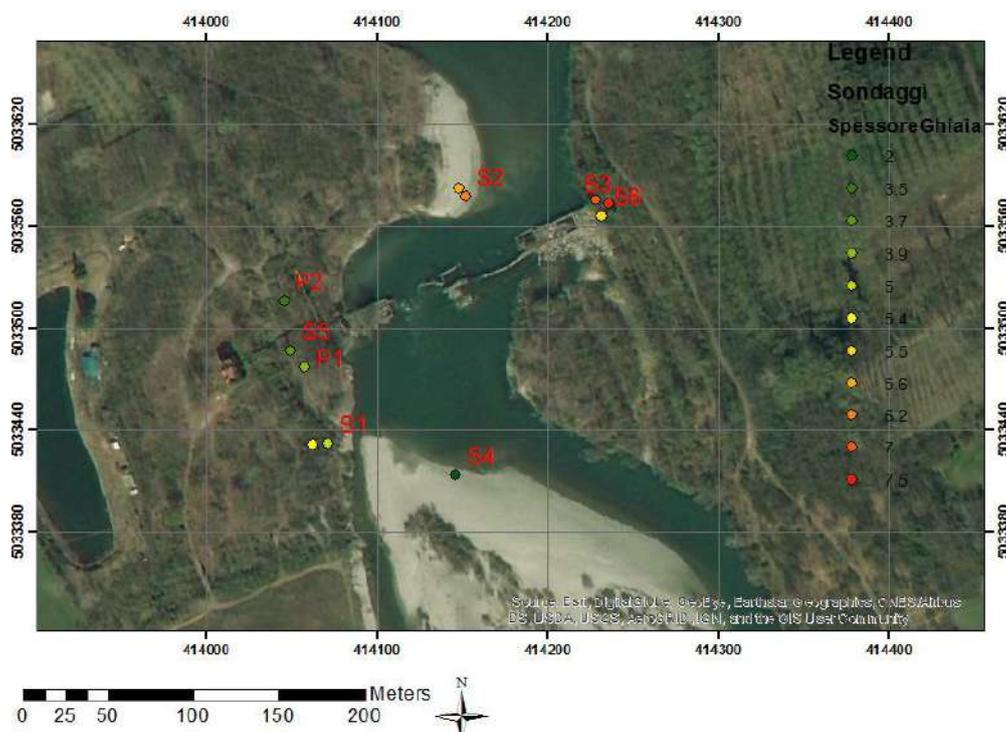
Si fa comunque notare che, la realizzazione dell'impianto Ex Cima prevede la completa demolizione dei residui strutturali rilevati, pertanto questi non costituiranno alcun ostacolo ai moti di filtrazione nel subalveo.

## 6 Assetto litologico stratigrafico

L'analisi ed i rilievi condotti consentono di definire precisamente l'assetto litologico stratigrafico che generalmente è caratterizzato dall'alto verso il basso da:

Presenza di uno strato ghiaioso –ciottoloso in matrice sabbiosa grossolana con potenza variabile da circa 6 metri a monte della traversa, in alveo, a circa 2 metri a valle della traversa in alveo; in sponda destra la potenza si riduce a circa 5 metri con sottostante transizione verso sedimenti a granulometria più fine caratterizzata da uno strato di sabbie medie di spessore pari a circa 2 metri. Nella sponda sinistra lo strato di ghiaie è caratterizzato da uno spessore complessivo di circa 5,5 metri e dalla presenza di un sottostante orizzonte sabbioso grossolano, evolvente in profondità in sabbie fini limose con spessore pari a circa 8-10 metri. Al letto degli strati sabbiosi è sempre stato rinvenuto, in tutti i sondaggi, uno strato di limi con sabbie

fini, di colore grigio plumbeo, da poco consistente a totalmente inconsistente, di potenza sempre superiore a 20 metri ed inferiore a 30 metri. Al letto dello strato limoso è stato individuato nei sondaggi S2, S4 e S6, uno strato di sabbie medie sciolte di potenza non determinata.



**Figura 34: Potenza media dello strato ghiaioso**

Nella precedente figura è evidenziata la potenza media dello strato ghiaioso tende a diminuire passando dal settore nordorientale a quello sudoccidentale. Tale diminuzione è correlabile con l'evoluzione olocenica dell'alveo, in quanto prima della costruzione della traversa l'alveo era di tipo *braided* con assenza del meandro a monte della stessa. L'alveo era spostato ad est è questo ha comportato una incisione più marcata dei depositi lacuali ed una successiva deposizione di depositi ghiaiosi sensibilmente più potente rispetto a quanto rilevabile attualmente in sponda destra. Nella seguente figura è evidenziato in blu l'alveo ricavato dalla *cartografia degli Stati Sardi* redatta prima del 1900, in verde l'alveo attuale.

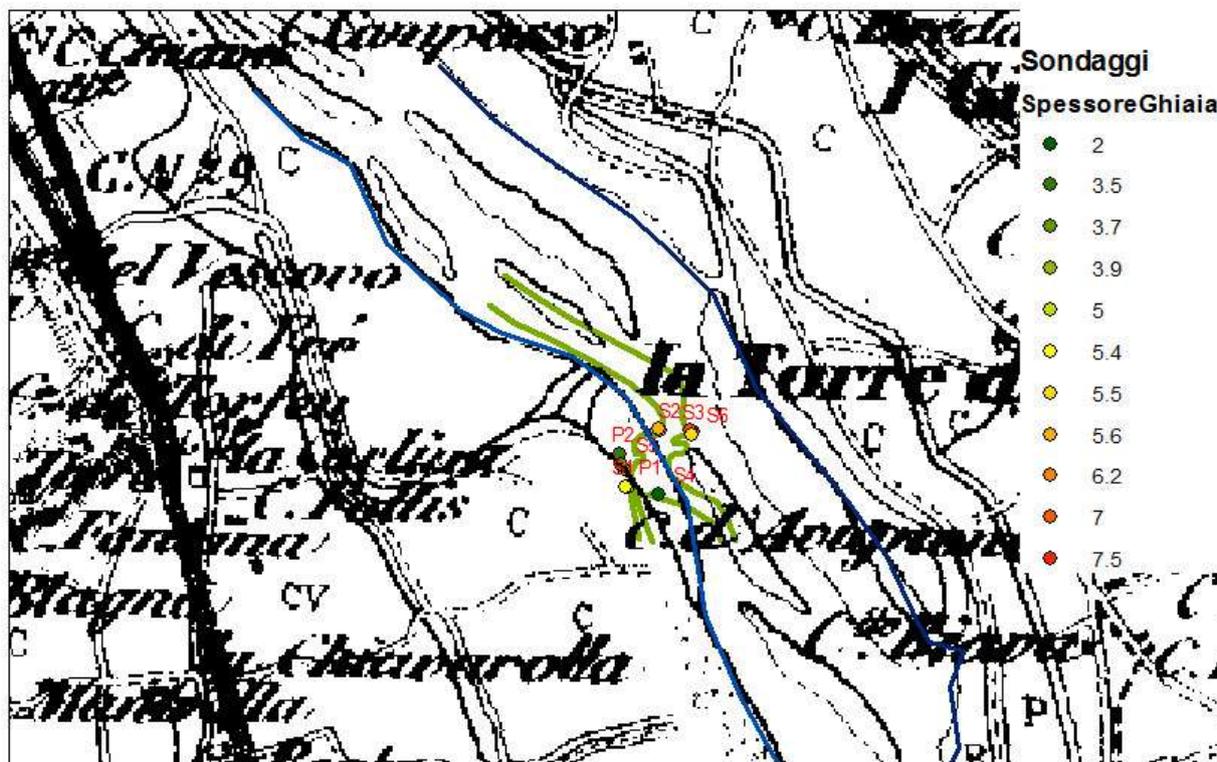


Figura 35: Carta degli stati sardi.

Analizzando la seguente figura risulta ben evidente in sinistra idrografica a valle della traversa la presenza di del terrazzo più recente, evidenziato nella figura successiva.

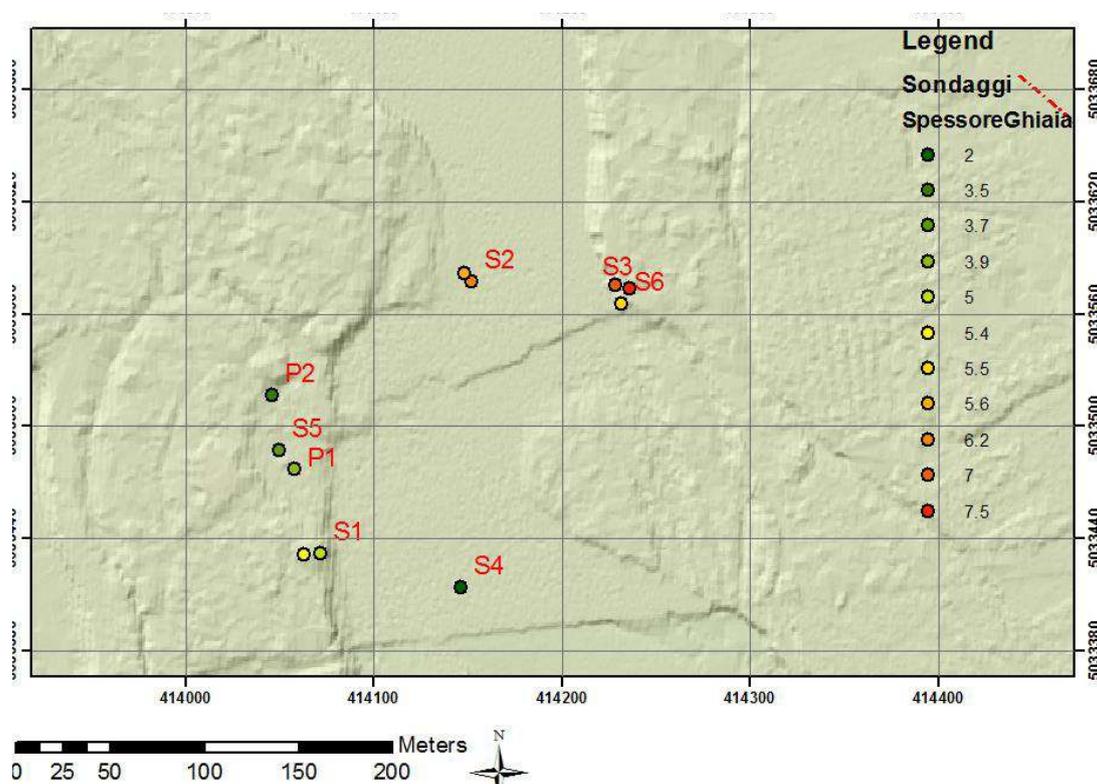
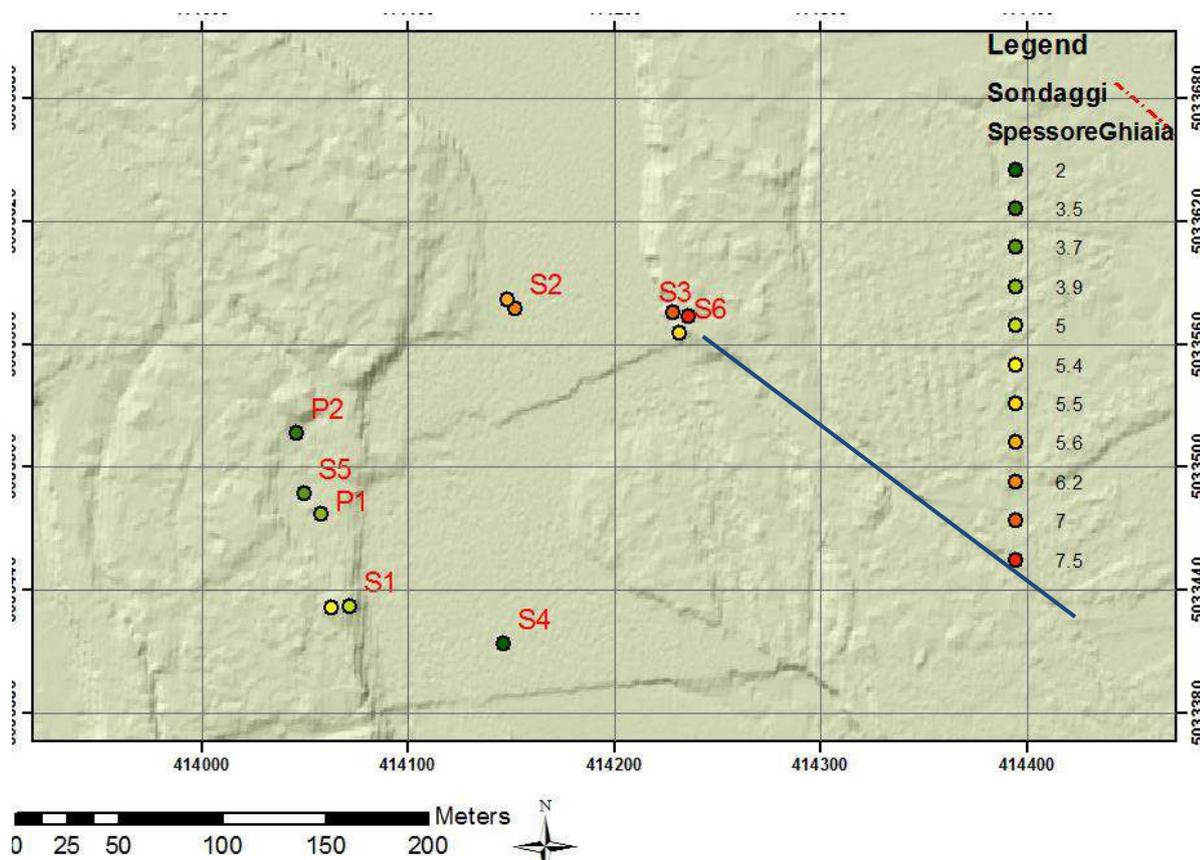


Figura 36: Dtm Lidar passo un metro



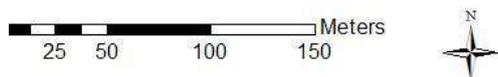
**Figura 37: Dtm Lidar passo un metro con evidenziato il terrazzo in sinistra idrografica**

Lo strato limoso sottostante è caratterizzato da uno spessore che, ad un analisi dei sondaggi effettuati, è maggiore a monte della traversa e minore a valle della stessa, passando da più di 25 metri nel sondaggio S2, a circa 20 metri in corrispondenza della traversa ed a circa 17 metri a valle della stessa; lo strato limoso risulta avere una maggiore potenza in destra idrografica, influenzato anche esso dal precedente tracciato della Dora nel settore, ovvero dalla maggiore erosione esercitata dal paleoalveo nella attuale sponda sinistra. La diminuzione dello spessore in senso longitudinale al corso del fiume è collegabile con la maggiore pendenza dell'alveo precedente all'attuale assetto, connessa con la differente tipologia (alveo a canali intrecciati *braided*).



**Figura 38: Spessore rilevato dello strato limoso**

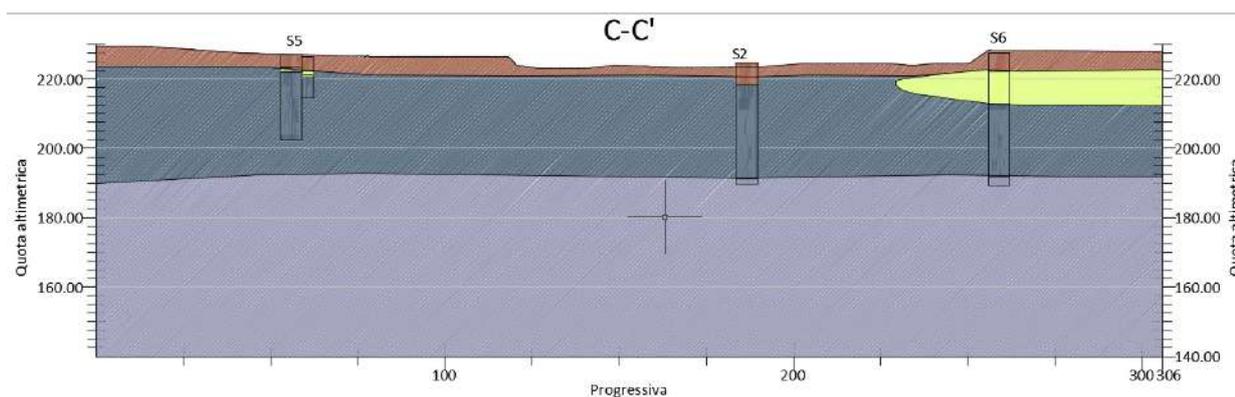
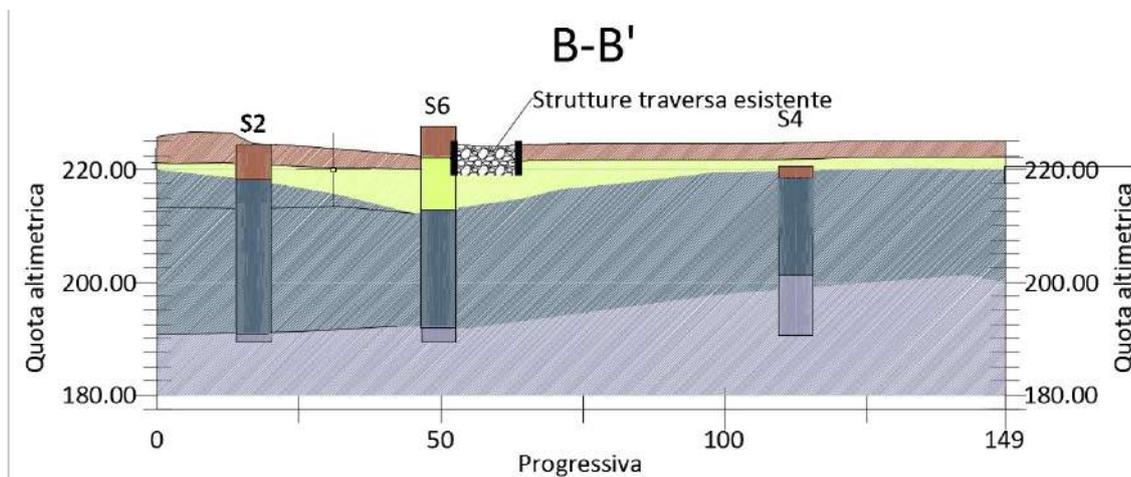
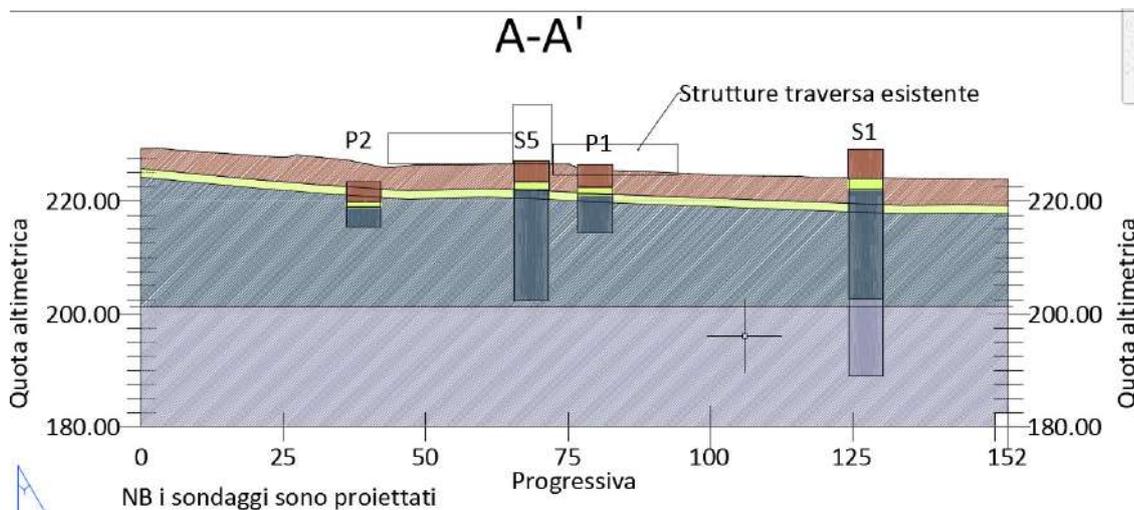
La quota assoluta del tetto dello strato limoso è direttamente collegata al suo spessore ed alla storia fluviale del settore così come descritta in precedenza, la seguente figura evidenzia che in destra idrografica esso risulta più elevato, non essendo stato eroso nel passato. In sinistra idrografica il tetto risulta altimetricamente più basso attestandosi ad una quota di circa 210 m s.l.m., sormontato da un orizzonte di sabbie medie di spessore pari a circa 8 metri connesse con il precedente assetto idraulico (paleo alveo), vedi sondaggi S3 e S6.

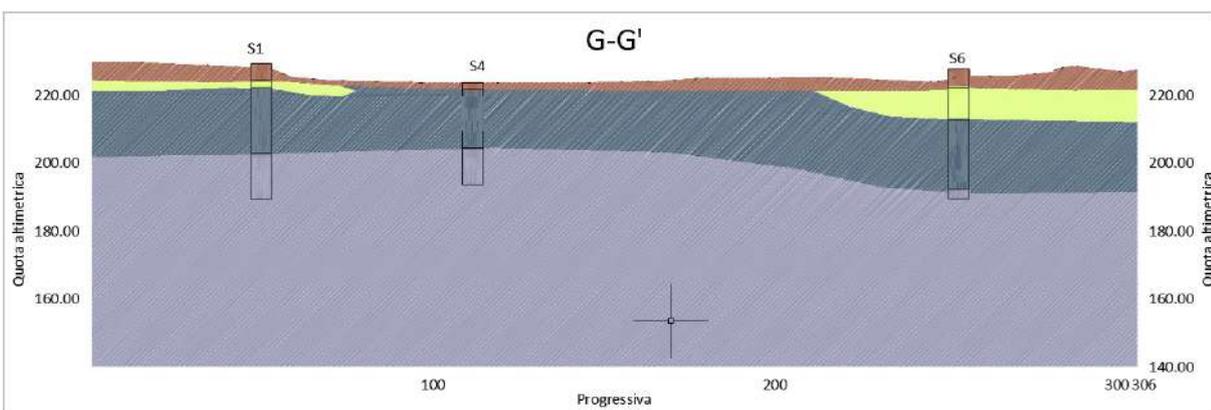
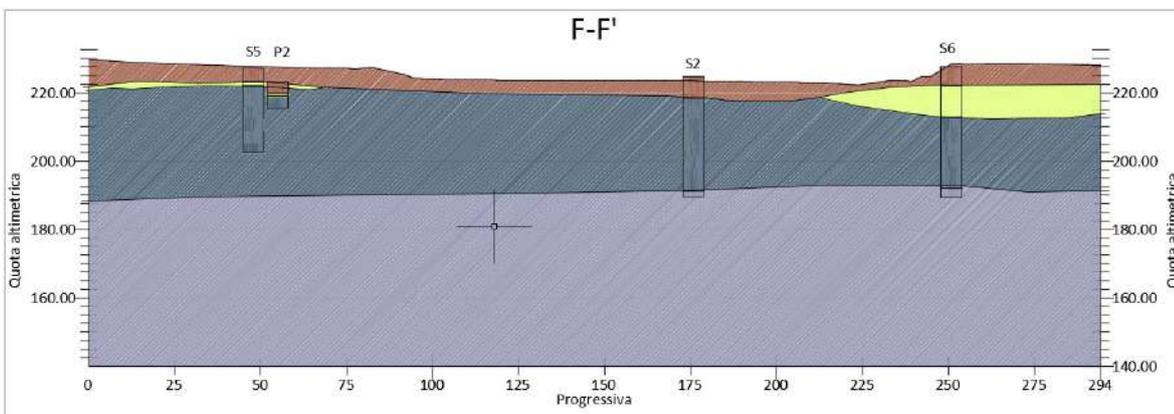
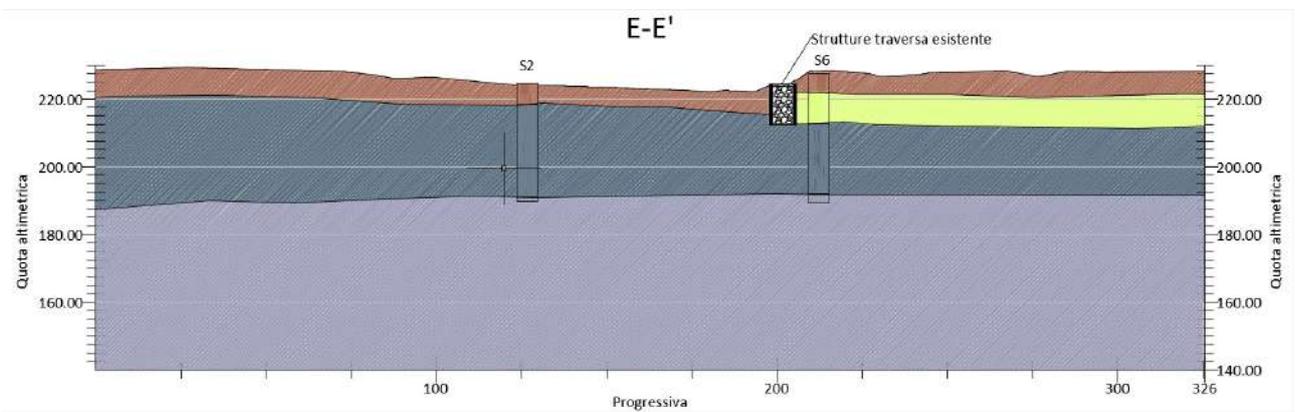
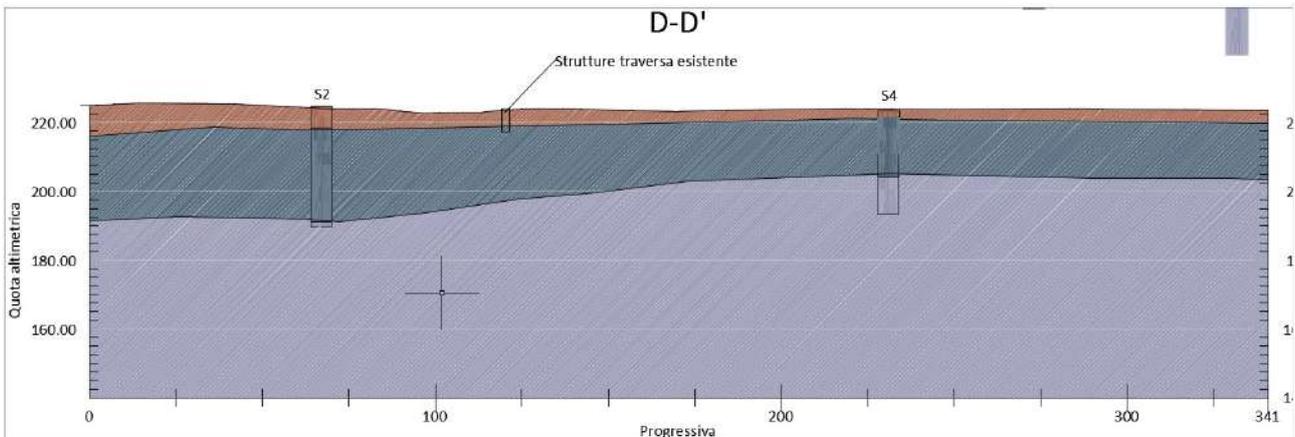


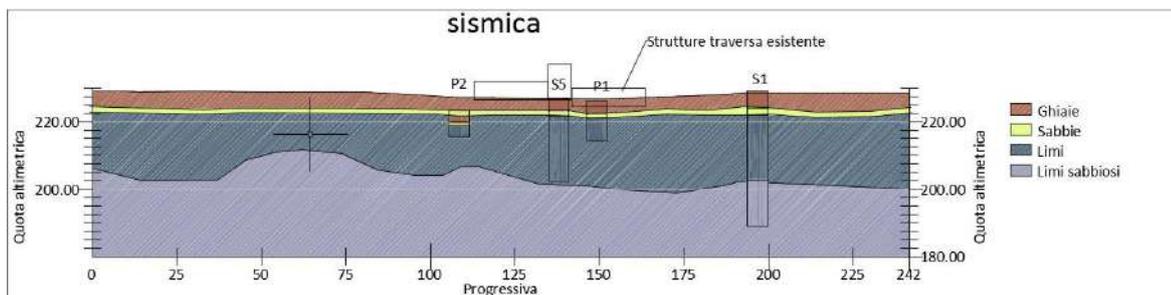
Sulla base delle indagini sono state redatte una serie di sezioni litologiche tali da consentire una accurata ricostruzione dell'assetto stratigrafico dell'area, esse sono rappresentate nelle seguenti figure ed allegate alla presente.



Figura 39: Pianta sezioni litologico stratigrafiche

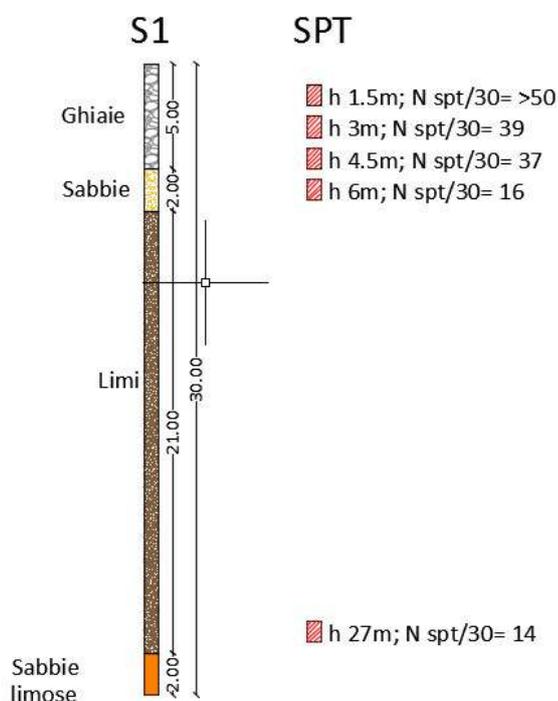


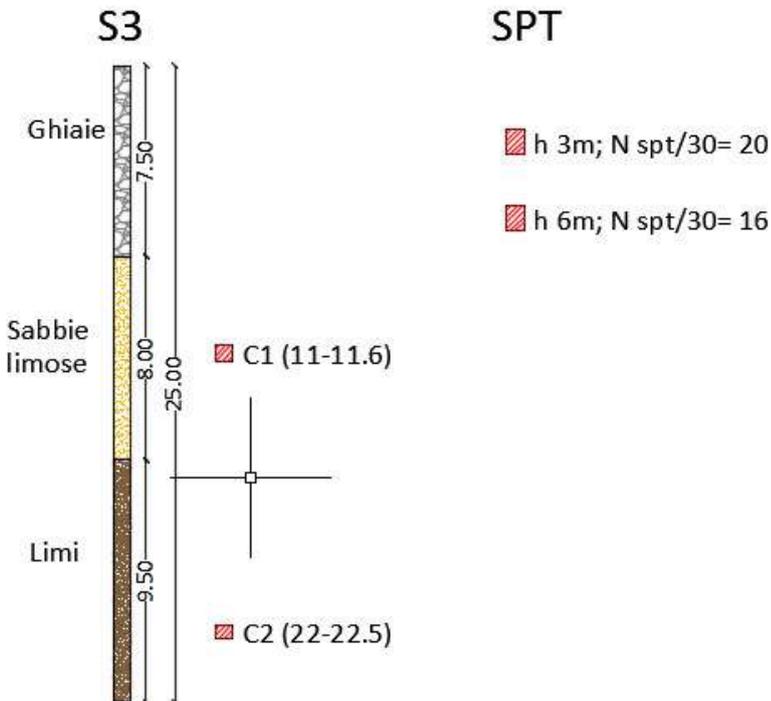
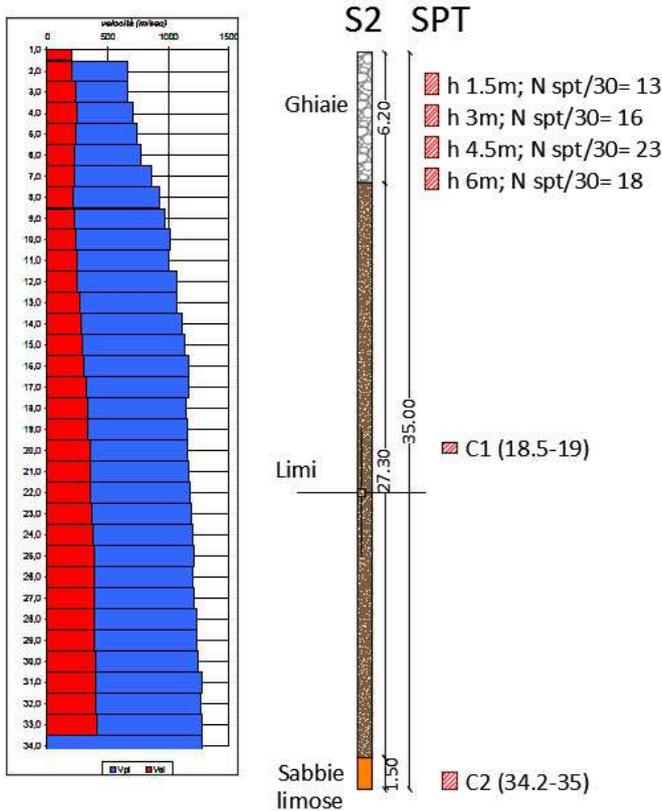


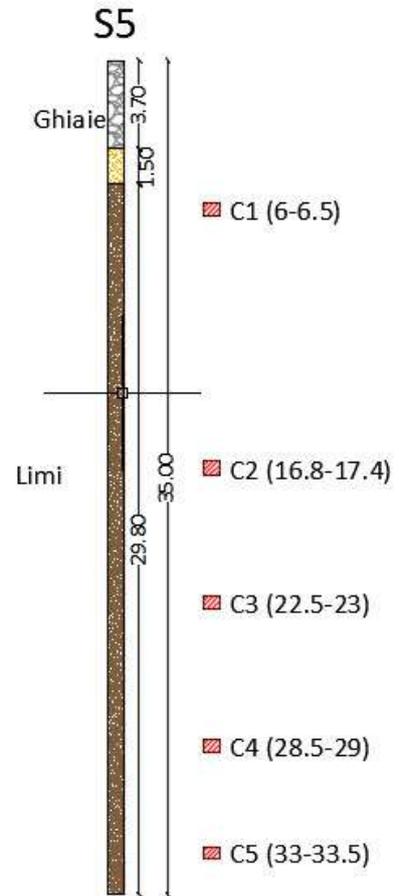
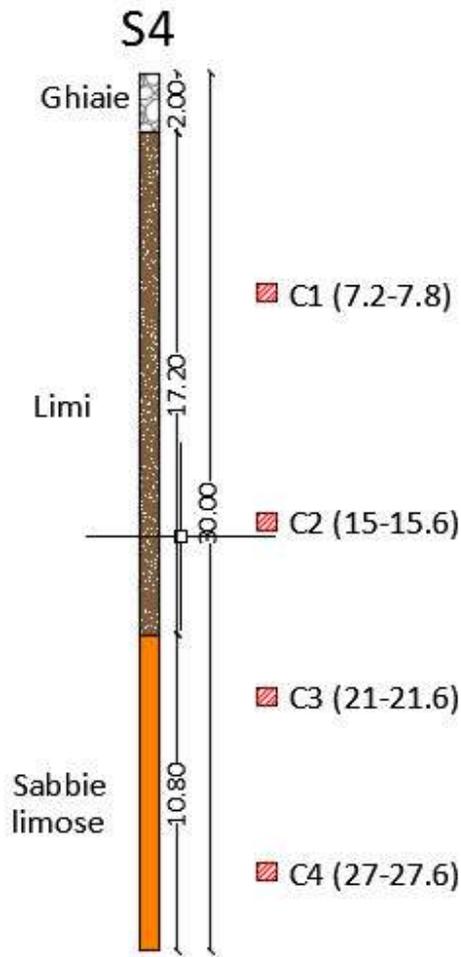


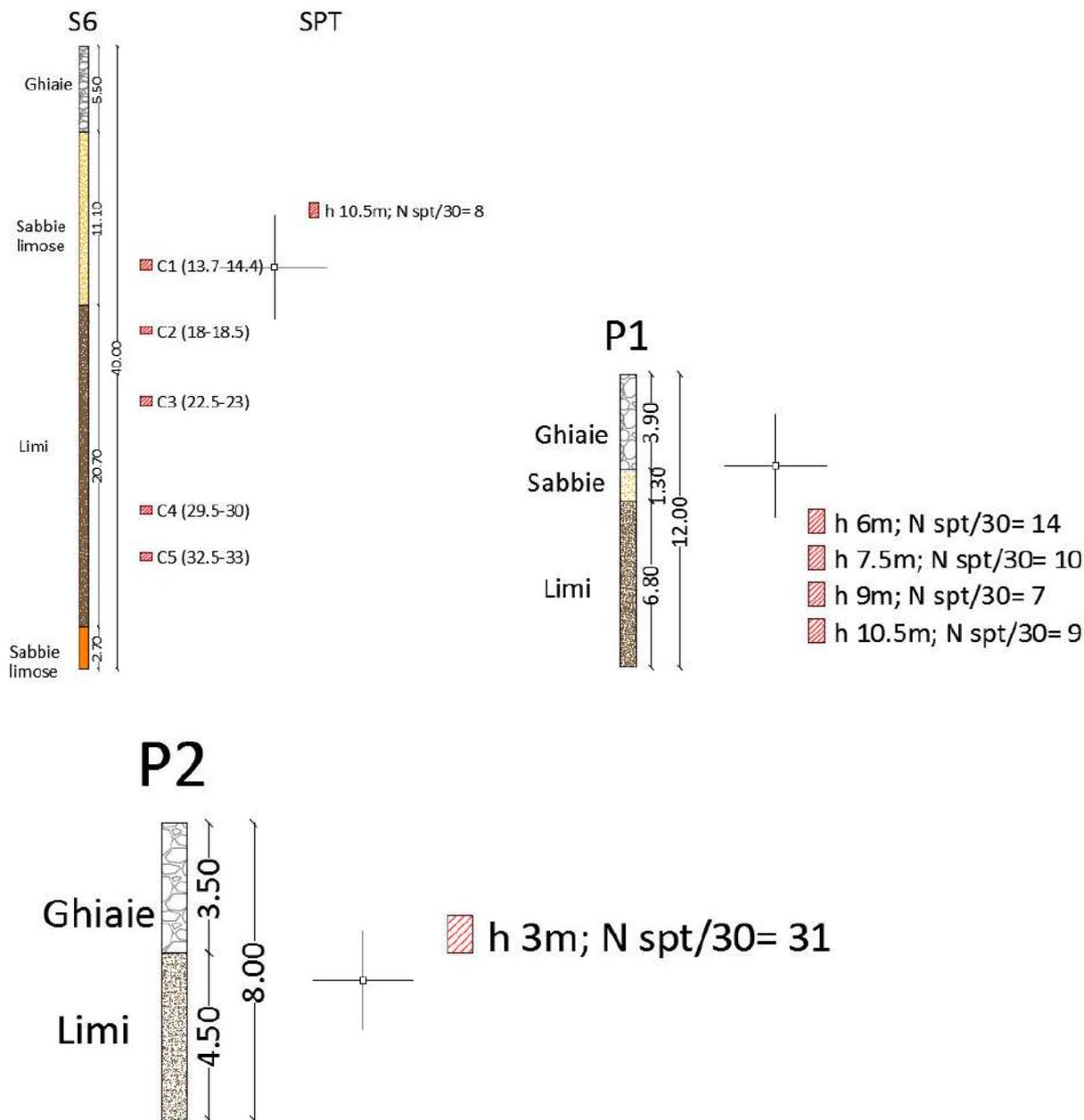
## 7 Caratterizzazione geotecnica

Per la caratterizzazione geotecnica si utilizzeranno tutti i dati disponibili riferiti alle indagini eseguite. Si presentano un riassunto grafico delle prove eseguite in sito e dei campioni prelevati.









### 7.1 Caratterizzazione geotecnica 1° strato – Ghiaie

Per la caratterizzazione geotecnica del primo strato, incontrato in tutti i sondaggi sono disponibili delle prove in foro SPT.

Le prove SPT sono state eseguite secondo le prescrizioni stabilite dalle specifiche AGI 1977 e approfondite dalla norma UNI EN ISO 22476-3:2012.

La sottostante tabella riporta le caratteristiche del dispositivo di battuta con maglio a sganciamento automatico (tipo “Nenzi”) utilizzato per l’esecuzione delle prove in foro di tipo SPT:

<b>CARATTERISTICHE TECNICHE DEL MARTINO A SGANCIO AUTOMATICO (PROVE “SPT”)</b>	
Peso totale dispositivo di battitura	115,00 kg
Massa maglio	63,50 kg
Altezza di caduta libera	760,00 mm
Diametro esterno aste di infissione	50,00 mm
Peso aste di infissione (tipo B)	7,00 kg/m
Lunghezza campionatore Raymond (comprendente scarpa e raccordo per le aste)	813,00 mm
Diametro esterno campionatore Raymond	51,00 mm
Diametro interno campionatore Raymond	35,00 mm
Angolo di spoglia della punta aperta	20°
Angolo di apertura della punta conica	60°

**Tabella 10 Caratteristiche tecniche del martinetto utilizzato per la prova SPT**

Le risultanze e le quote di esecuzione delle prove SPT eseguite sono riportate nelle stratigrafie allegate.

### 7.1.1 Analisi delle prove SPT

Nella tabella seguente sono riportati i risultati relativi alle prove SPT eseguite durante le perforazioni in termini di colpi ogni 30 cm di penetrazione del campionatore (Nspt). Questi verranno nel seguito utilizzati per la caratterizzazione geotecnica:

Profondità (m)	S1	S2	S3	P2
	Nspt (colpi/30 cm)			
1.5	>50	13		
3	39	16	20	31
4.5	37	23		
6	16	18	16	
7.5				
9				
10.5				
27	14			

**Tabella 11 Risultati relativi alle prove SPT**

Lo scopo delle prove penetrometriche dinamiche è quello di determinare il numero di colpi (NSPT) necessari ad infiggere, per una data profondità (tipicamente 30 cm), un tubo campionatore o una punta chiusa di dimensioni standard mediante battitura. Nel caso delle prove SPT eseguite nella discarica Cretaz è stata utilizzata la punta chiusa, così come previsto e consentito dalle raccomandazioni AGI 1977. Come è noto nei terreni a grana grossa il prelievo dei campioni a basso disturbo rappresenta un'operazione problematica o decisamente costosa. Per tale motivo è diffuso il ricorso a prove in sito, specialmente a prove penetrometriche dinamiche. I valori misurati nel corso della prova consentono una stima qualitativa dello stato di addensamento del terreno.

### 7.1.1.1 DENSITÀ RELATIVA

Nspt	Addensamento	Densità relativa ( $D_r$ )
0 - 4	Molto sciolti	0 - 15%
4 - 10	Sciolti	15 - 35%
10 - 30	Mediamente addensati	35 - 65%
30 - 50	Addensati	65 - 85%
> 50	Molto addensati	85 - 100%

Tabella 12: Relazione tra SPT e densità relativa secondo Terzaghi e Peck

Un'altra correlazione è quella proposta da **Meyerhof (1957)** sulla base dei dati di Gibbs & Holtz:

$$N_{spt} = \left( 17 + 24 \frac{\sigma_{vo}}{P_A} \right) D_r^2$$

Dove:

$D_r$  = densità relativa

$\sigma_{vo}$  = Stato tensionale alla quota considerata

$P_A$  = pressione atmosferica

Il metodo è stato implementato per l'analisi di depositi costituiti granulometricamente da sabbie da fini a grossolane pulite, per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di  $D_r$ (%) viene sovrastimato, nel caso di depositi limosi viene sottostimato.

**Skempton (1986)**, rianalizzando una notevole mole di dati sperimentali disponibili in letteratura, ha riformulato l'equazione sulla base delle seguenti assunzioni:

- è conveniente normalizzare i valori di SPT misurati rispetto alla tensione verticale efficace di 98 KPa
- è necessario normalizzare i valori rispetto all'effettivo rendimento energetico del sistema di battitura utilizzato

Con le suddette assunzioni la formula precedente diventa:

$$(N_1)_{60} / D_r^2 = (a + b)$$

per le sabbie grosse il coefficiente ( $a + b$ ) è uguale a 65

$$(N_1)_{60} = N_{spt} \text{ relativo ad un rendimento energetico del 60\%}$$

**Metodo di Schultze & Mezembach (1961):**

Il metodo è valido per le sabbie da fini a ghiaiose normalmente consolidate, nel caso dei depositi ghiaiosi esso sovrastima la densità relativa:

$$\ln(D_r \%) = 0,478 \ln(N_{spt}) - 0,262 \ln(\sigma) + 2,84$$

**Metodo di Bazaraa (1969):**

$$D_r^2 = \frac{N_{spt}}{20(3,24 + 1,024\sigma_{v0})}$$

**Metodo di Marcuson e Bieganousky (1977):**

$$D_r(\%) = 12,2 + 0,75 \sqrt{222N_{spt} + 1600 - 711 \times OCR - 754 \left(\frac{\sigma_{v0}}{P_A}\right) - 50U^2}$$

dove:

U= coefficiente di uniformità

**Metodo di Cubrinovski e Ishihara (1999):**

$$D_r = \sqrt{\frac{N(e_{max} - e_{min})^{1,7}}{9}} \times \sqrt{\frac{98}{\sigma}}$$

dove:

$e_{max}$  ed  $e_{min}$  rappresentano l'indice dei vuoti massimo e minimo

In considerazione della numerosità di correlazioni proposte, si ritiene che per il calcolo della densità relativa sia proponibile una media dei valori ottenuti dai metodi soprariportati, escludendo i valori massimi e minimi:

**Ghiaie con ciottoli**

	S1		S2				S3		P2
	SPT2	SPT3	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4	SPT1	SPT2	SPT1
quota dal p.c. (m)	3.00	4.5	1.50	3.00	4.50	6.00	3.00	6.00	3.00
falda	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Nspt	39	37	13	16	23	18	20	16	31
<b>Litologia</b>	<b>Ghiaie con ciottoli</b>								
Gibbs & Holtz	93	86	75	76	77	68	79	67	88
Meyerhof	96	87	72	72	75	67	77	65	88
Schultze & Menzebach	95	86	77	73	74	67	77	65	88
Bazaraa	63	56	52	48	48	44	51	43	58
Skempton	73	67	54	55	57	52	64	50	68
Cubrinowski & Ishihara	51	47	41	39	40	36	41	35	47
Max	96	87	77	76	77	68	79	67	88
Min	51	47	41	39	40	36	41	35	47
Media	79	71	62	60	62	56	65	54	73
dev.st	17	16	14	14	14	13	14	12	16

Dall'osservazione della tabella sovrastante non sembra vi sia una correlazione diretta tra la profondità e la densità relativa, la quale probabilmente, a causa della *giovane età geologica del deposito*, è più verosimilmente correlata con le modalità di deposizione e con variazioni locali della granulometria. Il valore della densità relativa caratteristica delle Ghiaie con ciottoli, per strati di terreno dove il parametro geotecnico considerato non mostra una rilevante e sistematica variabilità in direzione orizzontale o con la profondità, senza la presenza di significative zone di terreno con proprietà più scadenti, può essere determinato, con la seguente espressione (Frank et al., 2004):

$$X_c = X_{med} \times (1 - K_{med} \times S)$$

**Xc = valore caratteristico della variabile considerata**

**Xmed = valore medio della variabile considerata**

**Kmed =  $6.891 \times e^{(-0.6661x)} + 0.8315 \times e^{(-0.03509x)}$  con  $x = n^\circ$  campioni**

**S=dev.st/Xmed**

**Xmed=62%**

**Dev.st=17%**

Utilizzando la formula precedente il valore caratteristico della densità relativa nell'orizzonte ghiaioso sabbioso è pari a 62 %.

### 7.1.1.2 ANGOLO DI ATTRITO INTERNO

Come per la densità relativa, esistono in letteratura numerose correlazioni per ricavare il valore dell'angolo di attrito interno sulla base dei risultati delle prove SPT:

#### Hatanaka M. e Uchida A. (1996)

Hatanaka e Uchida (1996), analizzando i risultati ottenuti da altri autori su campioni indisturbati di ghiaia (ottenuti mediante congelamento in sito) provenienti da 4 siti giapponesi diversi per i quali erano disponibili i risultati di prove SPT. La correlazione che propongono è la seguente:

$$\varphi = \sqrt{20 \times N_{cor}} + 20$$

dove:

$$N_{cor} = C_N \times N_{SPT} \text{ con } C_N = \frac{3}{2 + \frac{\sigma_{vo}}{P_A}}$$

$\sigma_{vo}$  = Stato tensionale alla quota considerata

$P_A$  = pressione atmosferica

**Schertmann (1978).** Questo metodo correla  $\phi'$  con la densità relativa dello strato in funzione della sua composizione granulometrica. Il metodo è valido per le sabbie e ghiaie in genere.

1.  $\phi' = 28 + 0.14 \text{ DR}$  Sabbia fine
2.  $\phi' = 31.5 + 0.115 \text{ DR}$  Sabbia media
3.  $\phi' = 34.5 + 0.10 \text{ DR}$  Sabbia grossa
4.  $\phi' = 38 + 0.08 \text{ DR}$  Ghaia

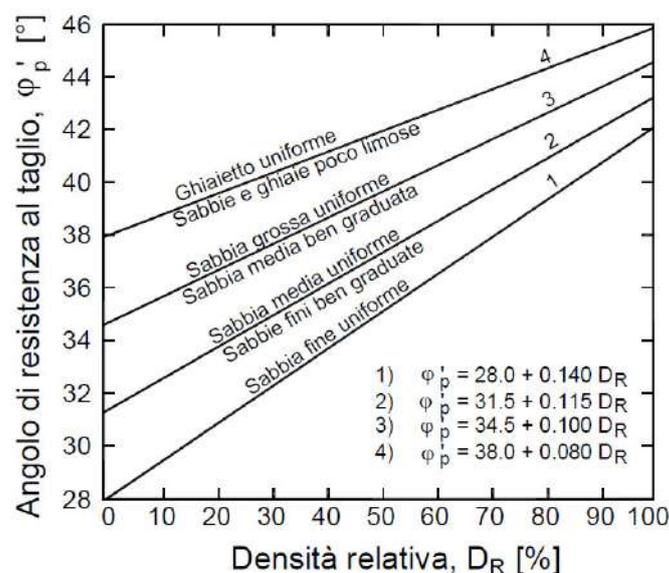


Figura: Correlazione di Schertmann

R.B.S. Road Bridge Specification



Il metodo è valido per sabbie fini o limose.

$$\phi = 0.3Nspt + 27$$

### **De Mello**

Il metodo è valido per sabbie in genere:

$$\phi = 19 - 0.38\sigma + 8.73 \log(Nspt)$$

### **Sowers**

Il metodo è valido per sabbie in genere:

$$\phi = 0.28Nspt + 28$$

### **Peck-Hanson & Thornburn**

Il metodo è valido per sabbie in genere:

$$\phi = 0.28Nspt + 27.2$$

### **Meyerhof**

Il metodo è valido per sabbie in genere:

$$\phi = 0.57Nspt + 23.7 - 0.006(Nspt)^2 \quad (>5\% \text{ limo})$$

### Ghiaie con ciottoli

Per questo strato saranno utilizzate esclusivamente le correlazioni di Hatanaka e Uchida e Schertmann, adatte per le granulometrie ghiaiose:

### Ghiaie con ciottoli

	S1		S2				S3		P2
	SPT2	SPT3	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4	SPT1	SPT2	SPT1
quota dal p.c. (m)	3.00	4.5	1.50	3.00	4.50	6.00	3.00	6.00	3.00
falda	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Nspt	39	37	13	16	23	18	20	16	31
<b>Litologia</b>	<b>Ghiaie con ciottoli</b>								
Hatanaka & Uchida	41.6	40.5	35.2	36.4	37.6	36.2	37.4	35.7	39.9
Schmertmann (DR)	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Max	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
Min	41.6	40.5	35.2	36.4	37.6	36.2	37.4	35.7	39.9
Media	42.3	41.7	39.1	39.7	40.3	39.6	40.2	39.3	41.4
dev.st	1.0	1.7	5.5	4.7	3.8	4.8	3.9	5.2	2.1

Il valore dell'angolo di attrito caratteristico delle *Ghiaie con Ciottoli*, per strati di terreno dove il parametro geotecnico considerato non mostra una rilevante e sistematica variabilità in direzione orizzontale o con la profondità, senza la presenza di significative zone di terreno con proprietà più scadenti, può essere determinato, con la seguente espressione (Frank et al., 2004):

$$X_c = X_{med} \times (1 - K_{med} \times S)$$

$X_c$  = valore caratteristico della variabile considerata

$X_{med}$  = valore medio della variabile considerata

$$K_{med} = 6.891 \times e^{(-0.6661x)} + 0.8315 \times e^{(-0.03509x)} \text{ con } x = n^\circ \text{ campioni}$$

$S = dev.st / X_{med}$

$X_{med} = 40.4^\circ$

$Dev.st = 3.1^\circ$

Utilizzando la formula precedente il valore caratteristico dell'angolo di attrito interno per lo strato *Ghiaie con Ciottoli* è pari a  $38.5^\circ$ .

#### 7.1.1.3 MODULO ELASTICO E

Il modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young è una grandezza caratteristica dei materiali che esprime il rapporto tra sforzi e deformazioni ipotizzando un comportamento perfettamente elastico del materiale sottoposto a carico monoassiale.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dove

$\sigma$ =sforzo di compressione

$\varepsilon$ =deformazione elastica

La misura di questo parametro nei terreni granulari è molto complessa in quanto gli stessi manifestano un comportamento elastico solo a bassi regimi deformativi; il modulo elastico nei terreni è influenzato dalla storia tensionale del deposito, dalla forma e dalla dimensione dei granuli, dal grado di cementazione, dalla struttura del deposito e da altri ancora, se a questo si aggiungono le difficoltà di campionare in maniera indisturbata terreni caratterizzati da granulometrie grossolane e da bassi valori di coesione. Alla luce delle difficoltà di una determinazione diretta del modulo di elasticità nei terreni si preferisce ricavare questo parametro attraverso l'utilizzo di formule empiriche che lo correlano con i risultati delle prove SPT.

Come per gli altri parametri (densità e angolo di attrito interno), esistono in letteratura numerose correlazioni per ricavare il valore modulo elastico sulla base dei risultati delle prove SPT, tra le principali sono state utilizzate le seguenti:

#### **D'Appolonia ed altri (1968, 1970)**

$$E = 16,2 + 0,73 \times N_{spt} \text{ in MPa}$$

#### **Schmertmann**

$$E = 2B \times N_{spt} \text{ in Kg/cm}^2$$

dove

B= costante variabile in funzione della granulometria

Litologia	B
Sabbia fine	4
Sabbia media	6
Sabbia grossolana	10

#### **Tornaghi et Al.**

$$E = 7MPa \times \sqrt{N_{spt}} \text{ in MPa}$$

#### **Schultze e Menzebach**

Valido per sabbie sotto falda

$$E = (5.27 \times N_{spt} + 76) \times 0.0981 \text{ MPa}$$

**Webb**

Valido per sabbie sotto falda

$$E = (4.87 \times N_{spt} + 73) \times 0.0981 \text{ MPa}$$

**Ghiaie con ciottoli (valori inMPa)**

	S1		S2				S3		P2
	SPT2	SPT3	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4	SPT1	SPT2	SPT1
quota dal p.c. (m)	3.00	4.5	1.50	3.00	4.50	6.00	3.00	6.00	3.00
falda	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Nspt	39	37	13	16	23	18	20	16	31
<b>Litologia</b>	<b>Ghiaie con ciottoli</b>								
D'Appolonia	38.1	37.7	27.3	29.8	32.6	31.0	31.3	38.1	37.7
Schmertmann	35.5	35.1	23.6	26.9	30.0	28.3	28.5	35.5	35.1
Tornaghi et Al.	50.3	49.4	22.3	28.9	36.1	31.9	32.6	50.3	49.4
Max	50.3	49.4	27.3	29.8	36.1	31.9	32.6	50.3	49.4
Min	35.5	35.1	22.3	26.9	30.0	28.3	28.5	35.5	35.1
Media	41.3	40.7	24.4	28.5	32.9	30.4	30.8	41.3	40.7
dev.st	7.9	7.6	2.6	1.5	3.0	1.9	2.1	7.9	7.6

Il valore del modulo elastico caratteristico delle *Ghiaie con Ciottoli*, per strati di terreno dove il parametro geotecnico considerato non mostra una rilevante e sistematica variabilità in direzione orizzontale o con la profondità, senza la presenza di significative zone di terreno con proprietà più scadenti, può essere determinato, con la seguente espressione (Frank et al., 2004):

$$X_c = X_{med} \times (1 - K_{med} \times S)$$

**Xc** = valore caratteristico della variabile considerata

**Xmed** = valore medio della variabile considerata

$$K_{med} = 6.891 \times e^{(-0.6661x)} + 0.8315 \times e^{(-0.03509x)} \text{ con } x = n^\circ \text{ campioni}$$

$$S = \text{dev.st}/X_{med}$$

$$X_{med} = 32.7 \text{ MPa}^\circ$$

$$\text{Dev.st} = 7 \text{ MPa}^\circ$$

Utilizzando la formula precedente il valore caratteristico del modulo elastico per lo strato *Ghiaie con Ciottoli* è pari a 29.9 MPa

#### 7.1.1.4 MODULO DI TAGLIO G<sub>0</sub>

Il modulo di taglio a piccole deformazioni G<sub>0</sub> è una grandezza caratteristica dei materiali che esprime la resistenza che essi oppongono allo sforzo di taglio. Il modulo di taglio a piccole deformazioni G<sub>0</sub> è, alla stregua del modulo elastico E, un parametro del terreno che dipende da numerose variabili, tra le principali si ricordano: tensione efficace, grado di sovraconsolidazione, indice dei vuoti, mineralogia ed altre. Per la determinazione del modulo di taglio, in questo elaborato è stata preferita la correlazione con il modulo elastico ed il coefficiente di Poisson rispetto alle numerose correlazioni presenti in letteratura con i risultati delle prove SPT, questo poiché è stata sperimentata dagli scriventi una certa incongruenza nei risultati di tali correlazioni.

$$E=(n+1)2G$$

$$G=E/(n+1)2$$

Dove:

n=0.2 per le ghiaie

n=0.3 per le sabbie

n=0.4 per argille

#### **Modulo di taglio G<sub>0</sub> 1° strato Ghiaie con Ciottoli**

$$G=E/(n+1)2$$

$$n=0.2$$

$$E=32.7 \text{ MPa}$$

$$G=32.7/(0.2+1)2=32.7/2.4=13.6 \text{ MPa}$$

## 7.2 Caratterizzazione geotecnica 2° strato limi

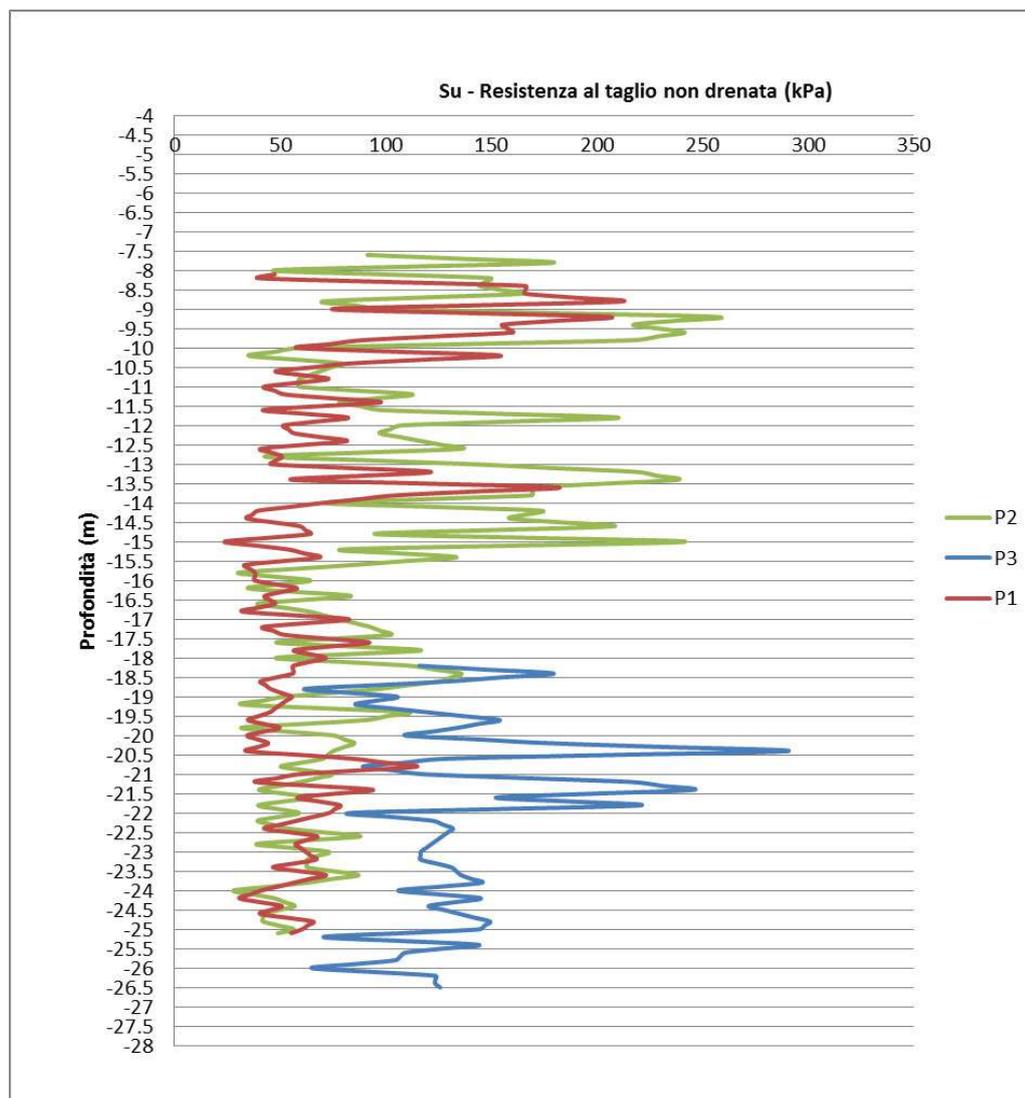
### 7.2.1 RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA $S_u$

La resistenza al taglio in condizioni non drenate, per terreni fini, è stata determinata mediante l'espressione di Baligh (1975):

$$S_u = \frac{(q_c - \sigma'_v)}{N_k}$$

dove:

- $q_c$  è la resistenza alla punta del penetrometro statico,
- $\sigma'_v$  è la tensione verticale efficace,
- $N_k$  è una costante sperimentale, assunta pari a 20.



Risulta:

- Valore medio P1:  $\bar{S}_u = 69 \text{ kPa}$
- Valore medio P2:  $\bar{S}_u = 87 \text{ kPa}$
- Valore medio P3:  $\bar{S}_u = 130 \text{ kPa}$

Analizzando i valori e considerando che il valore caratteristico può essere espresso come:

L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di X uguale a  $-1,645$ .

Di conseguenza i valori caratteristici sono determinabili con le relazioni:

$$c'k = c'm (1 - 1,645 Vc)$$

$$c'm = 95 \text{ KPa}$$

PHOON et al. (1995) hanno raccolto dalla letteratura geotecnica, e presentato sinteticamente, i risultati di studi inerenti alla stima dei coefficienti di variabilità intrinseca calcolando per la covarianza ( $Vc$ ) della  $Cu$  dedotta da prove CPT un valore di 0.424.

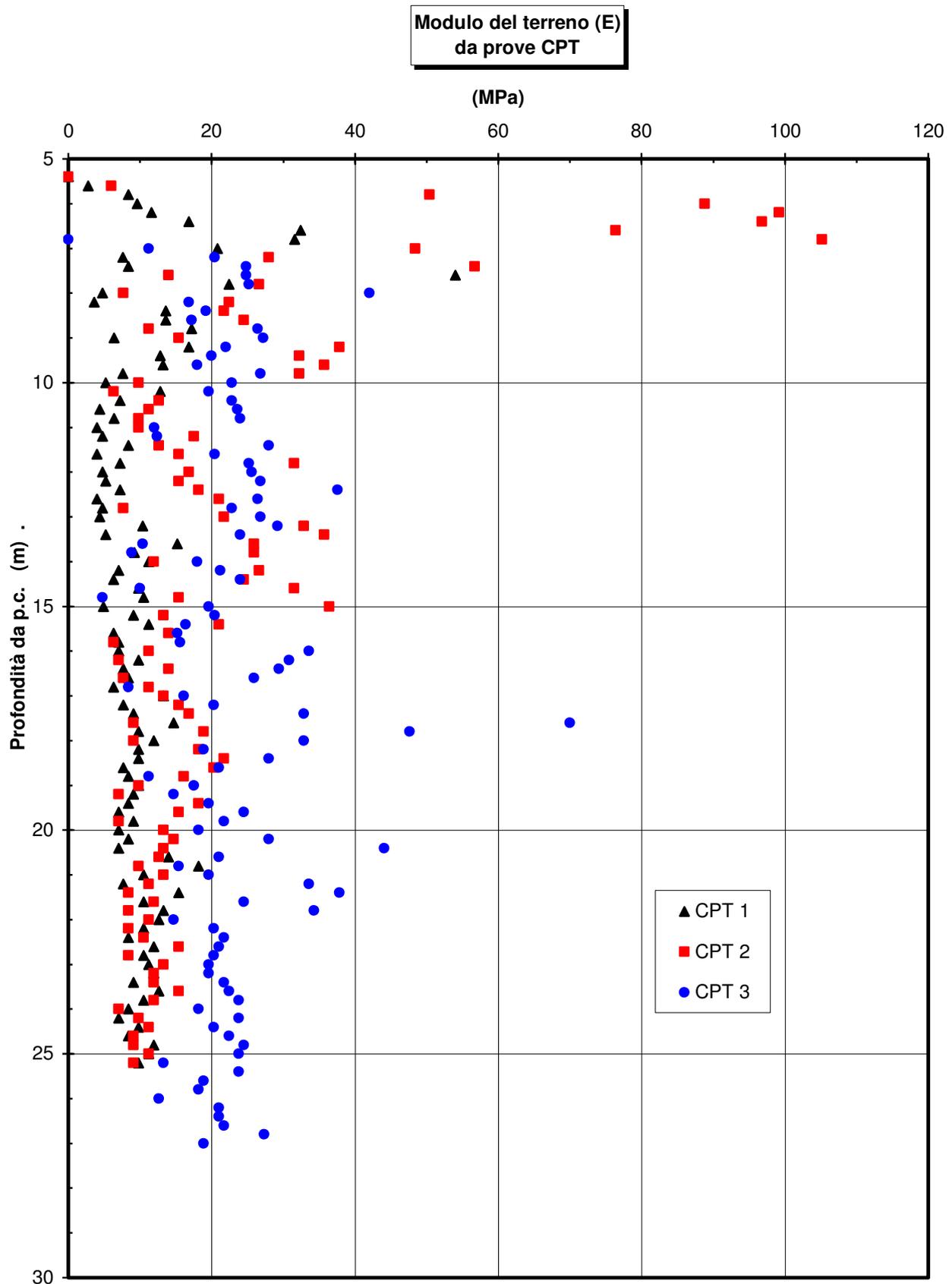
$$c'k = 95 \text{ kPa} \times (1 - 1.645 \times 0.424) = 28 \text{ Kpa}$$

**Tuttavia trattandosi di opera dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti che coinvolge un elevato volume di terreno appare giustificato il riferimento a valori medi.**

**Per il calcolo dei valori medi si ritiene di considerare cautelativamente solo i risultati delle P1 e P2.**

$$Cu = 78 \text{ KPa}$$

### 7.2.2 Modulo elastico



### 7.2.3 Indagini di laboratorio

Rispetto al programma prove iniziale concordato, sono state apportate alcune modifiche rese necessarie a causa della natura del materiale: in particolare non è stato possibile eseguire le prove triassiali CD e CU.

I campioni in oggetto sono composti prevalentemente da limi, talvolta debolmente sabbiosi o debolmente argillosi, poco consistenti o inconsistenti, rammollenti. A causa di tali caratteristiche intrinseche ai materiali non è stato possibile preparare i provini per eseguire le prove triassiali. Infatti durante i tentavi effettuati, si è riscontrato che i provini tendono a crollare sotto il loro stesso peso dopo pochi secondi dal momento del defustellamento) Per questo motivo si è concordato di sostituire tali prove con prove di taglio diretto CD su provini parzialmente ricostituiti.

Per la caratterizzazione degli altri parametri fisici meccanici dello strato di limi si utilizzeranno i risultati relativi alle indagini di laboratorio eseguite su 14 campioni indisturbati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi S4 – S5 e S6

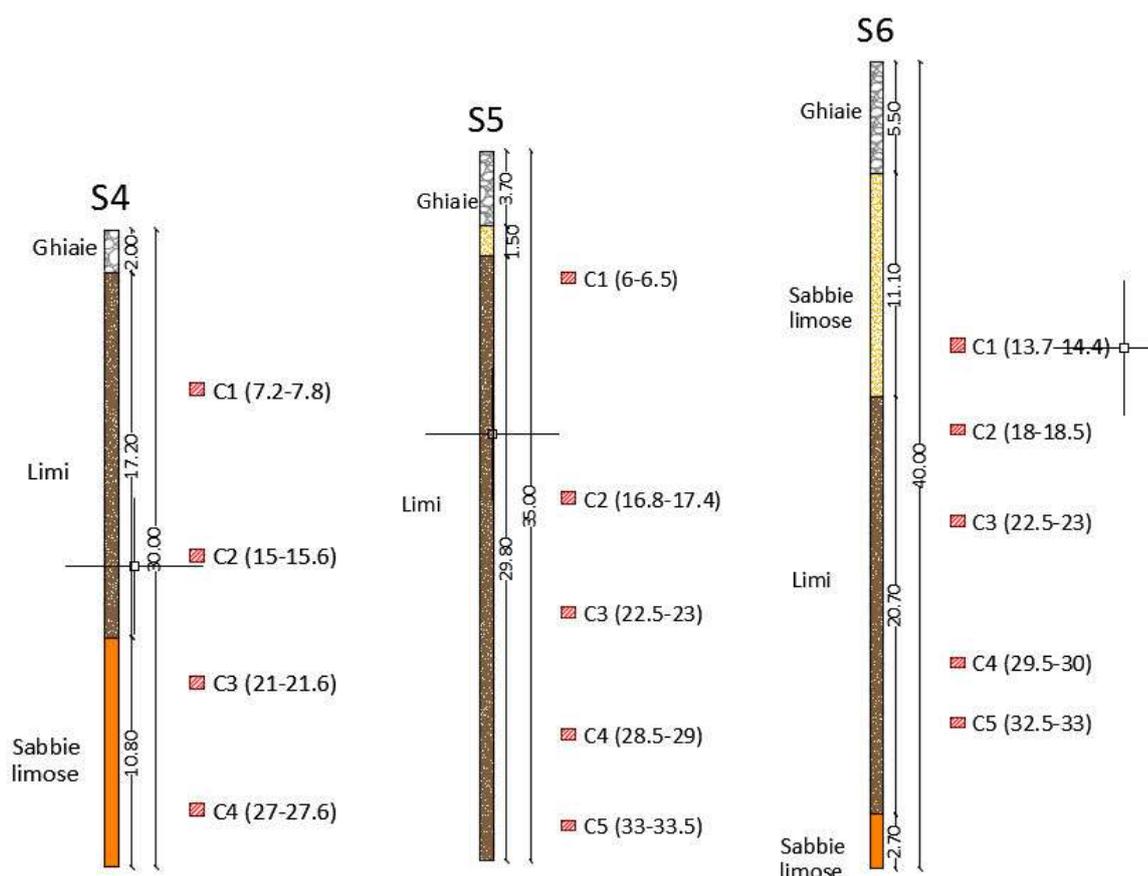


Figura 40: Stratigrafie schematiche dei sondaggi S4, S5 e S6 con evidenziate le quote di prelievo dei campioni indisturbati.

Ad una prima analisi si evidenzia che tranne i campioni C3 e C4 di S4 ed il campione C1 di S6 i restanti campioni sono stati prelevati nello strato limoso sottostante l'orizzonte ghiaioso, ovvero la litologia che rispetto alle opere in progetto sarà interessata principalmente dalle opere di fondazione. Si ritiene in prima analisi verificare la correttezza stratigrafica in quanto lo strato di sabbie limose identificato alla base dei limi

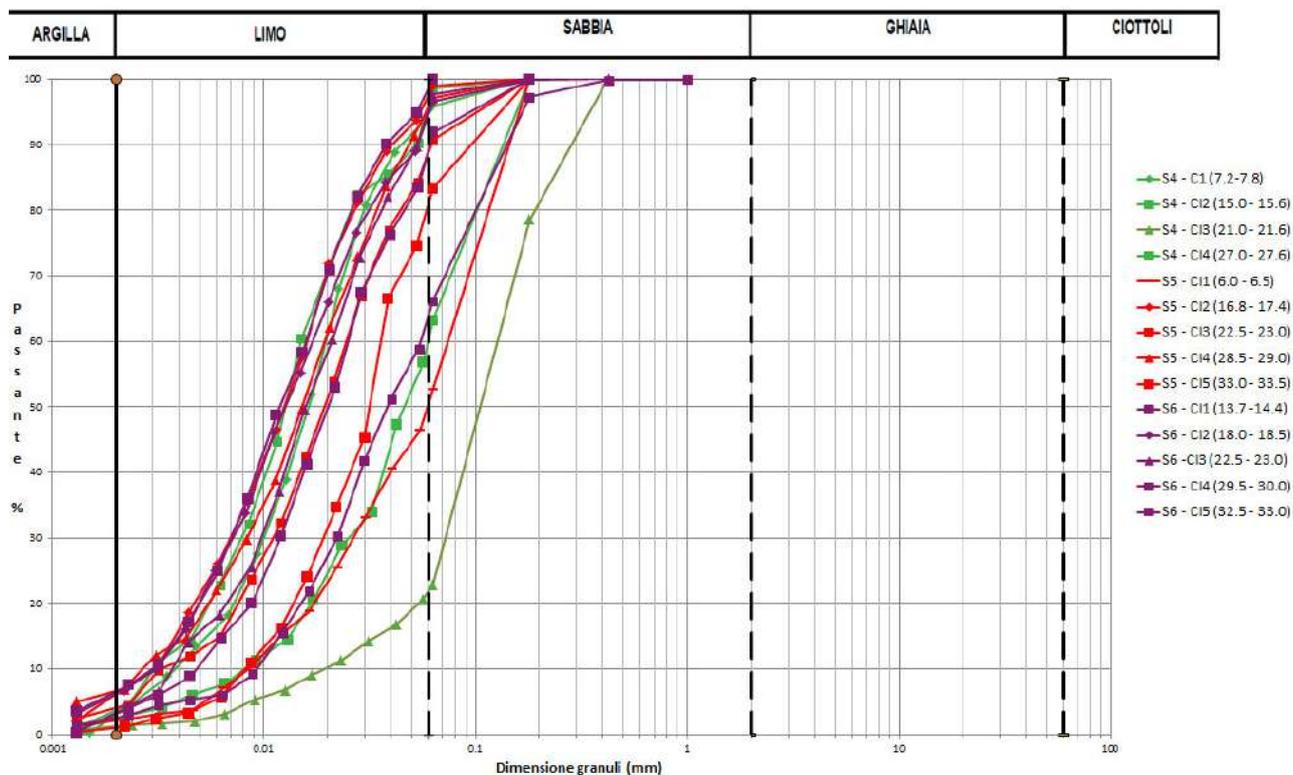
è costituito principalmente da sabbie fini con un alta percentuale di limi, tale da non rendere agevole il riconoscimento in sito della esatta quota di transizione tra i due orizzonti litologici.

### 7.2.3.1 Granulometria

Nella seguente figura sono evidenziati i fusi granulometrici di tutti campioni prelevati, evidenzianti che la maggioranza dei campioni sono afferenti ai limi, tre campioni (S4C4 – S5C1 e S6C1) sono classificabili come limi con sabbia, solo un campione può essere classificato come Sabbia Limosa (S4C3). Possiamo quindi procedere ad un'analisi più precisa dei dati, escludendo il campione S4 C3, dalla analisi relativa allo strato limoso.

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Analisi Granulometrica					Classificazione AGI
			Ciottoli	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	
			%	%	%	%	%	
S4	C1	7,20-7,80	0,0	0,0	4,1	91,1	4,8	LIMO
S4	C2	15,00-15,60	0,0	0,0	1,3	94,2	4,5	LIMO
S4	C3	21,00-21,60	0,0	0,0	77,1	21,4	1,4	SABBIA LIMOSA
S4	C4	27,00-27,60	0,0	0,0	36,7	60,3	3,0	LIMO CON SABBIA
S5	C1	6,00-6,50	0,0	0,0	47,4	50,2	2,4	LIMO CON SABBIA
S5	C2	16,80-17,40	0,0	0,0	1,0	91,5	7,5	LIMO DEBOLMENTE ARGILLOSO
S5	C3	22,50-23,00	0,0	0,0	9,2	86,3	4,5	LIMO DEBOLMENTE SABBIOSO
S5	C4	28,50-29,00	0,0	0,0	2,9	90,2	6,9	LIMO DEBOLMENTE ARGILLOSO
S5	C5	33,00-33,50	0,0	0,0	16,6	82,2	1,2	LIMO SABBIOSO
S6	C1	13,70-14,40	0,0	0,0	33,8	63,3	2,9	LIMO CON SABBIA
S6	C2	18,00-18,50	0,0	0,0	3,5	89,8	6,7	LIMO DEBOLMENTE ARGILLOSO
S6	C3	22,50-23,00	0,0	0,0	2,3	93,4	4,3	LIMO
S6	C4	29,50-30,00	0,0	0,0	0,0	92,5	7,5	LIMO DEBOLMENTE ARGILLOSO
S6	C5	32,50-33,00	0,0	0,0	8,1	87,9	4,0	LIMO DEBOLMENTE SABBIOSO

**CURVE GRANULOMETRICHE**



**Sabbia**

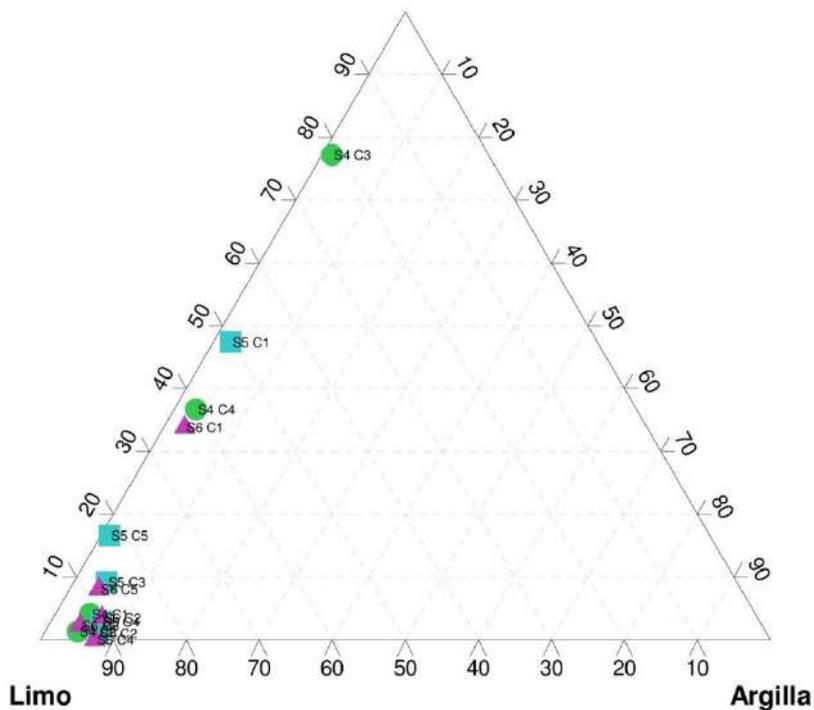


Figura 41: Riassunto analisi granulometriche

**7.2.3.2 Peso unità di volume**

Campione	Peso di volume naturale $\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Peso di volume secco $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
<b>S4 - C1 (7.2 - 7.8)</b>	18.80	11.21
<b>S4 - C2 (15.0 - 15.6)</b>	17.92	10.77
<b>S4 - C4 (27.0 - 27.6)</b>	18.15	12.74
<b>S5 - C1 (6.0 - 6.5)</b>	17.76	12.86
<b>S5 - C2 (16.8 - 17.4)</b>	17.74	11.89
<b>S5 - C3 (22.5 - 23.0)</b>	18.44	13.04
<b>S5 - C4 (28.5 - 29.0)</b>	18.58	12.10
<b>S5 - C5 (33.0 - 33.5)</b>	18.22	12.55
<b>S6 - C1 (13.7 - 14.4)</b>	17.95	11.74
<b>S6 - C2 (18.0 - 18.5)</b>	18.26	12.52
<b>S6 - C3 (22.5 - 23.0)</b>	18.26	11.78
<b>S6 - C4 (29.5 - 30.0)</b>	18.15	11.14
<b>S6 - C5 (32.5 - 33.0)</b>	17.46	11.08
<b>Media</b>	<b>18.13</b>	<b>11.96</b>
<b>Dev.St</b>	<b>0.37</b>	<b>0.75</b>

Il peso di volume naturale è pari a 18.1 Kn/m<sup>3</sup>.

Il peso di volume secco è pari a 12 Kn/m<sup>3</sup>.

Per il calcolo del peso di volume saturo, si anticipa il risultato del calcolo dell'indice dei vuoti medio  $E_0$  pari a 0.79. Assumendo pari a 2.6 il peso specifico dei granuli si ottiene:

$$\gamma_{sat} = \left( \frac{G_s + e}{1 + e} \right) \gamma_w = \left( \frac{2.6 + 0.79}{1 + 0.79} \right) \times 9.81 \text{ kN/m}^3 = 18.6 \text{ kN/m}^3$$

### 7.2.3.3 Contenuto d'acqua

Le caratteristiche fisiche di maggiore interesse, determinate per ogni campione, sono:

- **Contenuto d'acqua naturale "W"**, calcolato come segue:

$$W = \frac{W_w}{W_s} 100\%$$

dove:

$W_w$  = peso dell'acqua nel campione;

$W_s$  = peso netto del campione secco = peso lordo del campione secco – peso tara.

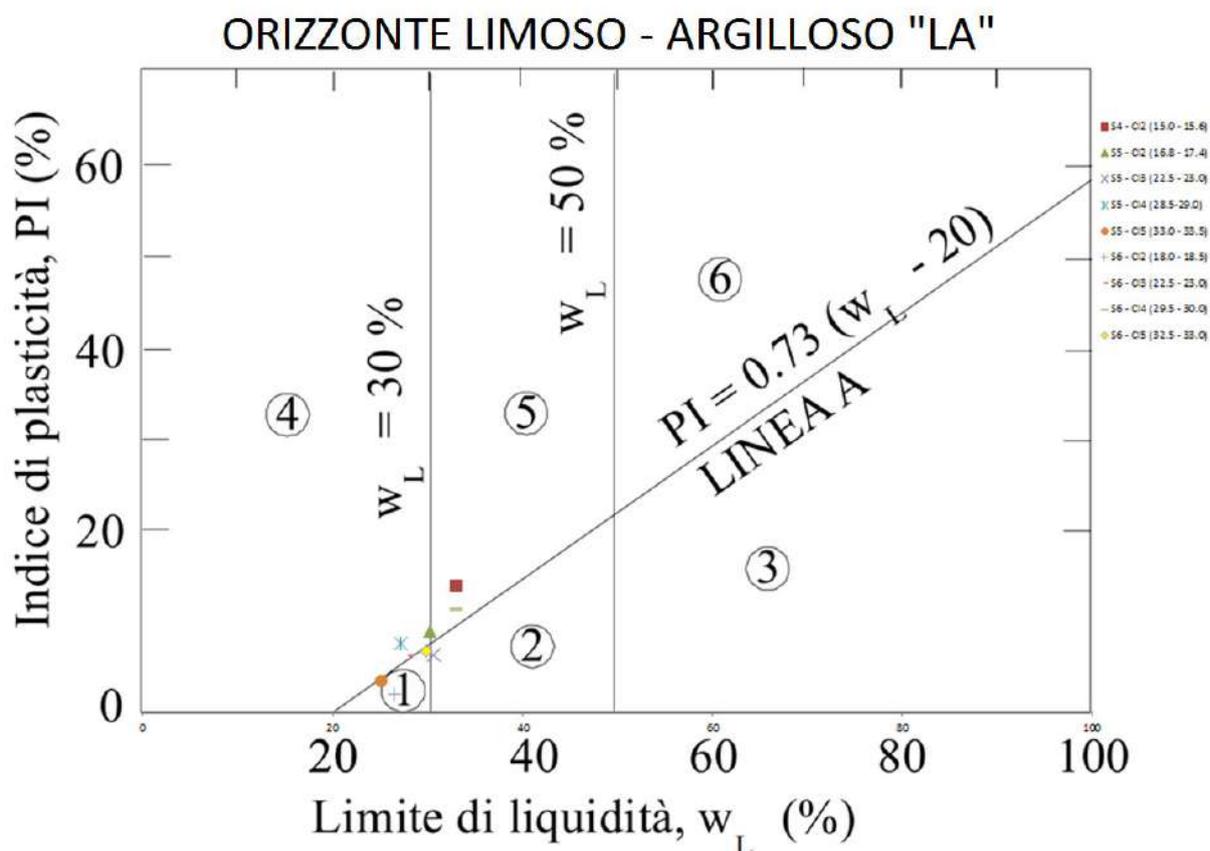
Campione	Umidità W (%)
S4 - C1 (7.2 - 7.8)	40.04
S4 - C2 (15.0 - 15.6)	33.9
S4 - C4 (27.0 - 27.6)	29.8
S5 - C1 (6.0 - 6.5)	27.6
S5 - C2 (16.8 - 17.4)	33
S5 - C3 (22.5 - 23.0)	29.3
S5 - C4 (28.5 - 29.0)	34.8
S5 - C5 (33.0 - 33.5)	31.2
S6 - C1 (13.7 - 14.4)	34.6
S6 - C2 (18.0 - 18.5)	31.4
S6 - C3 (22.5 - 23.0)	35.5
S6 - C4 (29.5 - 30.0)	38.69
S6 - C5 (32.5 - 33.0)	36.5
<b>Media</b>	<b>33.56</b>
<b>Dev.St</b>	<b>3.67</b>

Il contenuto d'acqua naturale medio è pari al 33.5 %.

#### 7.2.3.4 Limiti di Atterberg

I limiti di Atterberg, non sono stati determinati per tutti i campioni, rendendosi impossibile tale analisi per i campioni con frazione sabbiosa significativa. I risultati a cui si è pervenuti in laboratorio per ogni singolo campione sono riportati nelle schede allegate. Di seguito si riportano i risultati raggruppati sulla carta di plasticità di Casagrande:

Sondaggio	Campione	Profondità	Wl	Wp%	Ip%	Wn%	Ic
S4	C1	7,20-7,80	32.3	23.76	8.54	40.04	-0.90632
S4	C2	15,00-15,60	33.1	19.7	13.3	33.9	-0.06015
S5	C2	16,80-17,40	30.3	21.58	8.72	33	-0.30963
S5	C3	22,50-23,00	30.6	24.47	6.13	29.3	0.212072
S5	C4	28,50-29,00	27.1	19.79	7.31	34.8	-1.05335
S5	C5	33,00-33,50	25.1	21.81	3.29	31.2	-1.8541
S6	C2	18,00-18,50	26.5	24.58	1.92	31.4	-2.55208
S6	C3	22,50-23,00	28	22.04	5.96	35.5	-1.25839
S6	C4	29,50-30,00	33	22	11	38.69	-0.51727
S6	C5	32,50-33,00	29.8	23.24	6.56	36.5	-1.02134
S6	C1	13,70-14,40	n.d.	n.d.	n.d.		
S4	C3	21,00-21,60	n.d.	n.d.	n.d.		
S4	C4	27,00-27,60	n.d.	n.d.	n.d.		
S5	C1	6,00-6,50	n.d.	n.d.	n.d.		
		Media	29.6	22.3	7.3	34.4	-0.9
		dev.st	2.8	1.7	3.4	3.4	



- 1) Limi inorganici di bassa compressibilità;
- 2) Limi inorganici di media compressibilità e limi organici;
- 3) Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche;
- 4) Argille inorganiche di bassa plasticità;
- 5) Argille inorganiche di media plasticità;
- 6) Argille inorganiche di alta plasticità.

L'analisi dei dati evidenzia l'appartenenza della maggior parte dei campioni sono afferenti ai settori dei limi a bassa compressibilità ovvero ad argille di bassa plasticità.

In tabella seguente vengono riportati i risultati di laboratorio delle prove di Atterberg (Limite liquido "W<sub>L</sub>", Limite plastico "W<sub>p</sub>" e Indice di plasticità "I<sub>p</sub>") per ogni campione, indicando sondaggio e profondità di prelievo. Se ne è calcolata in fine la media e la deviazione standard.

Limite liquido medio = 29.6%

Limite plastico medio = 22.3%

Indice plastico medio = 7.3%

Mediamente il terreno è quindi dotato di bassa plasticità, bassa compressibilità, classificabile secondo la CNR-UNI10006 in classe A6 **Argille poco compressibili**.

I valori dell'indice di consistenza  $I_c$  (mediamente  $=-0.9$ ) evidenziano un terreno caratterizzato da uno stato fluido plastico.

L'indice di attività medio è pari a:

$$I_A = \frac{W_L - W_P}{C_f} = \frac{29.6 - 22.3}{4.4} = 1.66$$

#### 7.2.3.4.1.1 Correlazioni geotecniche Limiti di Atterberg

Indice plastico e coefficiente di spinta a riposo

La correlazione tra Indice plastico e coefficiente di spinta a riposo è la seguente (Massarsch 1979)

$$K_o = 0.44 + 0.42 \left( \frac{IP}{100} \right) = 0.44 + 0.42 \left( \frac{7.3}{100} \right) = 0.47$$

#### 7.2.3.5 Prova di taglio diretto

Le prove di taglio diretto CD (prova consolidata drenata) sono state eseguite, su provini parzialmente ricostituiti, sui campioni S5 – CI2 (16.8 – 17.4), S5 – CI3 (22.5 -23.0), S6 – CI1 (13.7 - 14.4), S6-CI2 (18.0 – 18.5). Tale prova, portata a termine con velocità di taglio adeguate, permette di definire i parametri caratteristici di resistenza al taglio drenati di terreni di tipo granulare e coesivo, utilizzati in genere per verifiche a lungo termine.

Si riportano in allegato i certificati delle prove eseguite, in cui si esplicano anche le caratteristiche della macchina utilizzata e dei provini.

Di seguito il diagramma “Resistenza al taglio/Pressione di consolidazione” che raggruppa i risultati per tutte le prove eseguite.

	S5-CI2	S5-CI3	S6-CI2	S6-CI1
Angolo di resistenza al taglio ( $\varphi'$ )	22.8°	24.7°	23.3°	25.2°
Coesione ( $c'$ )	5.1 kPa	14.3 kPa	7.0kPa	1.6 kPa

Potendosi assumere come valori rappresentativi medi i seguenti:

$$\varphi' = 24^\circ$$

$$c' = 7 \text{ kPa}$$

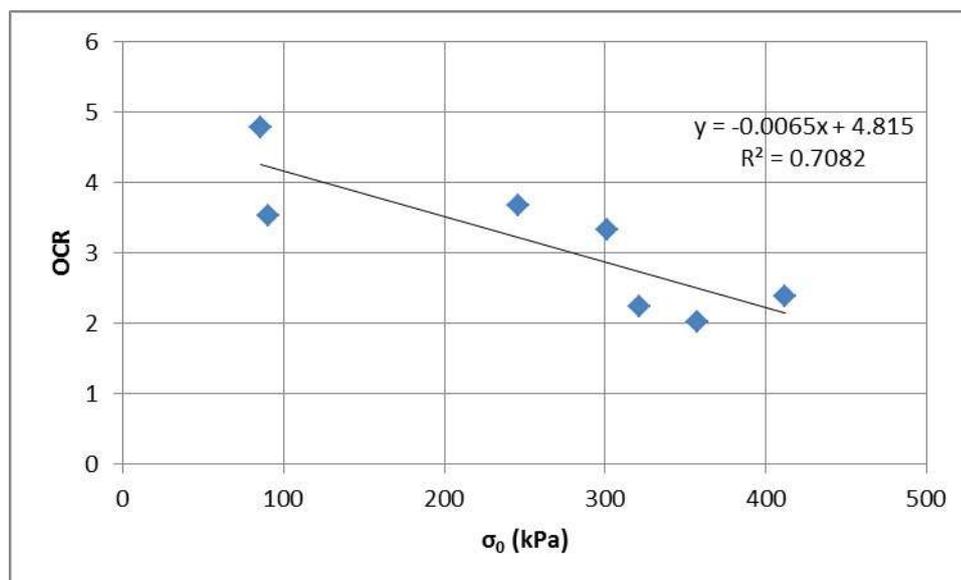
**7.2.3.6 Prova di compressione edometrica ad incrementi di carico**

	S4-C1 (7.2-7.8)	S4-C3 (21.0 - 21.6)	S4-C4 (27.0-27.6)	S5-C1 (6.0 -6.5)	S5-C3 (22.5-23.0)	S5-C4 (28.5-29.0)	S5-C5 (33.0-33.5)	S6-C2 (18.0-18.5)	MEDIA
$\sigma_0$ (kPa)	91	246	322	86	301	357	412	233	259
Pressione di sovraconsolidazione $\sigma'_c$ (kPa)	320	900	720	410	1000	720	980	NON VALUTABILE	721
OCR	3.53	3.66	2.24	4.78	3.32	2.02	2.38	NON VALUTABILE	3.1
Modulo edometrico (Mpa) - 200 kPa	6.06	9.52	5.41	10.26	7.41	6.06	7.02	3.85	6.9
Modulo edometrico (Mpa) - 400 kPa	11.11	12.12	12.7	16.67	12.12	9.09	9.64	8.33	11.5
Modulo edometrico (Mpa) - 800 kPa	14.81	21.92	18.82	21.92	20.25	14.68	15.09	14.29	17.7
Coefficiente di consolidazione primaria $C_v$ (cm <sup>2</sup> /s) - 200 kPa	1.72E-03	9.10E-03	8.64E-03	1.06E-03	6.70E-03	1.15E-02	1.32E-03	1.24E-02	6.56E-03
Coefficiente di consolidazione primaria $C_v$ (cm <sup>2</sup> /s) - 400 kPa	1.12E-02	1.59E-03	6.05E-03	6.75E-03	7.77E-03	1.19E-02	1.09E-02	1.34E-02	8.70E-03
Coefficiente di consolidazione primaria $C_v$ (cm <sup>2</sup> /s) - 800 kPa	1.26E-02	8.89E-03	9.01E-03	8.78E-03	7.35E-03	1.27E-02	1.11E-02	1.28E-02	1.04E-02
Coefficiente di permeabilità $k$ (cm/s) - 200 kPa	2.70E-08	9.81E-08	1.53E-07	1.04E-08	8.54E-08	1.92E-07	1.82E-08	1.70E-07	9.43E-08
Coefficiente di permeabilità $k$ (cm/s) - 400 kPa	9.88E-08	1.25E-08	4.75E-08	3.97E-08	6.10E-08	1.28E-07	1.07E-07	1.31E-07	7.82E-08
Coefficiente di permeabilità $k$ (cm/s) - 800 kPa	8.67E-08	4.36E-08	4.42E-08	4.30E-08	3.61E-08	8.72E-08	7.65E-08	8.80E-08	6.32E-08

**7.2.3.6.1 Pressione di sovraconsolidazione e OCR**

La pressione di sovraconsolidazione è stata calcolata attraverso la costruzione geometrica di Casagrande.

I limi presentano un certo grado di sovraconsolidazione, pari a circa 2.5 per i campioni più profondi, ed ovviamente tendente ad aumentare in superficie sino a valori pari a 3.5-4. Nel seguente grafico è evidenziata una buona correlazione che permette di correlare il grado di sovraconsolidazione con la pressione geostatica efficace attuale.



#### 7.2.3.6.2 Modulo edometrico

	S4-C1 (7.2- 7.8)	S4-C3 (21.0 - 21.6)	S4-C4 (27.0- 27.6)	S5-C1 (6.0 -6.5)	S5-C3 (22.5- 23.0)	S5-C4 (28.5- 29.0)	S5-C5 (33.0- 33.5)	S6-C2 (18.0-18.5)	MEDIA
Modulo edometrico (Mpa) - 200 kPa	6.06	9.52	5.41	10.26	7.41	6.06	7.02	3.85	6.9
Modulo edometrico (Mpa) - 400 kPa	11.11	12.12	12.7	16.67	12.12	9.09	9.64	8.33	11.5
Modulo edometrico (Mpa) - 800 kPa	14.81	21.92	18.82	21.92	20.25	14.68	15.09	14.29	17.7

**Il modulo edometrico medio cautelativo da utilizzarsi sulla base dei risultati di cui alle prove di laboratorio è pari a 10 MPa.**

#### 7.2.3.6.3 Coefficiente di permeabilità

Coefficiente di permeabilità k (cm/s) - 200 kPa	2.70E-08	9.81E-08	1.53E-07	1.04E-08	8.54E-08	1.92E-07	1.82E-08	1.70E-07	9.43E-08
Coefficiente di permeabilità k (cm/s) - 400 kPa	9.88E-08	1.25E-08	4.75E-08	3.97E-08	6.10E-08	1.28E-07	1.07E-07	1.31E-07	7.82E-08
Coefficiente di permeabilità k (cm/s) - 800 kPa	8.67E-08	4.36E-08	4.42E-08	4.30E-08	3.61E-08	8.72E-08	7.65E-08	8.80E-08	6.32E-08

Il coefficiente di permeabilità da medio nell'intervallo è pari a 9E-8 cm/sec.

Il coefficiente di permeabilità calcolato con le prove *Lefranc* in sito sul sondaggio S1 è di 1.46E-06 cm/sec ovvero leggermente superiore.

**Per le verifiche si ritiene di poter utilizzare un valore medio pari a 5E-07 cm/sec**

#### 7.2.3.6.4 Modulo elastico

La relazione tra il modulo elastico e il modulo edometrico è la seguente:

$$E = \frac{E_{ed}(1 + \nu) \times (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Ponendo  $\nu=0.3$

$$E = \frac{10MPa(1 + 0.3) \times (1 - 0.6)}{(1 - 0.3)} = 7.4MPa$$

#### 7.2.3.6.5 Modulo elastico non drenato

La relazione tra il modulo elastico non drenato e il modulo edometrico è la seguente:

$$E_u = \frac{E_{ed} \times 3(1 - 2\nu)}{2(1 - \nu)}$$

Ponendo  $\nu=0.3$

$$E_u = \frac{10MPa \times 3(1 - 0.6)}{2(1 - 0.3)} = 8.6MPa$$

## 8 Conclusioni

Nella presente relazione sono stati analizzati i risultati delle tre campagne geognostiche eseguite, nel 2003, nel 2006 e nel 2017. Le indagini eseguite hanno previsto l'esecuzione di 8 sondaggi geognostici, un'indagine sismica a rifrazione, un'indagine sismica con metodologia down-hole, tre prove penetrometriche statiche, l'esecuzione di n° 3 indagini tomografiche elettriche, prove in sito (Lefranc – SPT), prelievo ed analisi di campioni indisturbati con le relative indagini di laboratorio.

Il modello litologico stratigrafico e geotecnico complessivo che è stato possibile ricostruire attraverso l'analisi comparata di tutti i dati disponibili possiede un notevole grado di affidabilità, verificata mediante interpretazioni incrociate dei dati ottenuti con le tecniche dirette e quelle indirette ed attraverso l'analisi geomorfologica e storico evolutiva dell'alveo.

Nel sito, nel volume significativo interessato dall'opera in progetto, sono presenti fondamentalmente tre litologie caratterizzate da un diverso comportamento geotecnico.

Dall'alto verso il basso si riconoscono:

Alluvioni recenti:

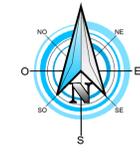
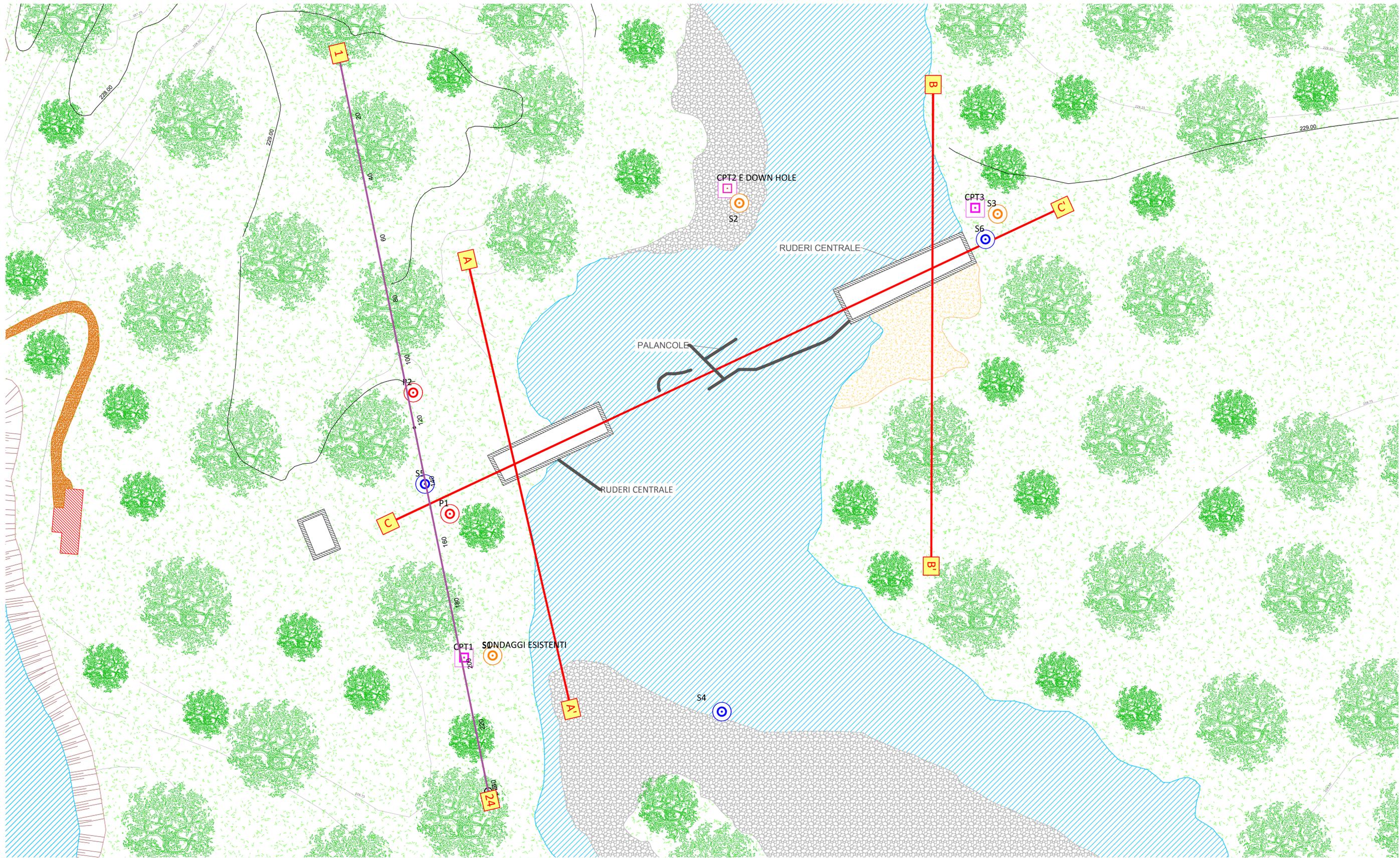
Depositi detritici costituiti da ciottoli ben arrotondati in matrice ghiaiosa sabbiosa grossolana caratterizzati da un grado di addensamento medio, dall'assenza di coesione e da una buona permeabilità, la potenza media è variabile da un massimo di 6-8 metri sulle sponde a un minimo di circa 2 metri nell'alveo attivo.

In sinistra idrografica è stata riscontrata la presenza di uno strato di sabbioso grossolano, evolvente in profondità in sabbie fini limose con spessore pari a circa 8-10 metri.

Al letto degli strati sabbiosi è sempre stato rinvenuto, in tutti i sondaggi, uno strato di limi con sabbie fini, di colore grigio plumbeo, da poco consistente a totalmente inconsistente, di potenza sempre superiore a 20 metri ed inferiore a 30 metri. Al letto dello strato limoso è stato individuato nei sondaggi S2, S4 e S6, uno strato di sabbie medie sciolte di potenza non determinata.

Geotecnicamente sono stati caratterizzati mediante utilizzo di diverse correlazioni i principali parametri di interesse relativi alle due litologie che occupano la gran parte del volume di terreno significativo interessato dalle opere in progetto. Rispetto alle caratterizzazioni precedenti, la possibilità di effettuare delle analisi di laboratorio ha consentito di definire meglio i parametri relativi allo strato limoso sempre presente al di sotto dello strato di alluvioni recenti. La caratterizzazione dello strato superficiale (ghiaie con ciottoli) non ha subito modifiche sostanziali rispetto alle precedenti analisi. Da un punto di vista idraulico, i parametri di permeabilità delle principali litologie incontrate sono stati sostanzialmente confermati dalla presente indagine.

Le indagini tomografiche elettriche hanno consentito una estensione del modello litologico stratigrafico ad aree non indagate puntualmente, consentendo nel contempo una ottima individuazione dei residui strutturali presenti, non visibili in superficie.



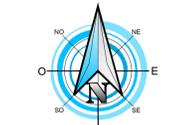
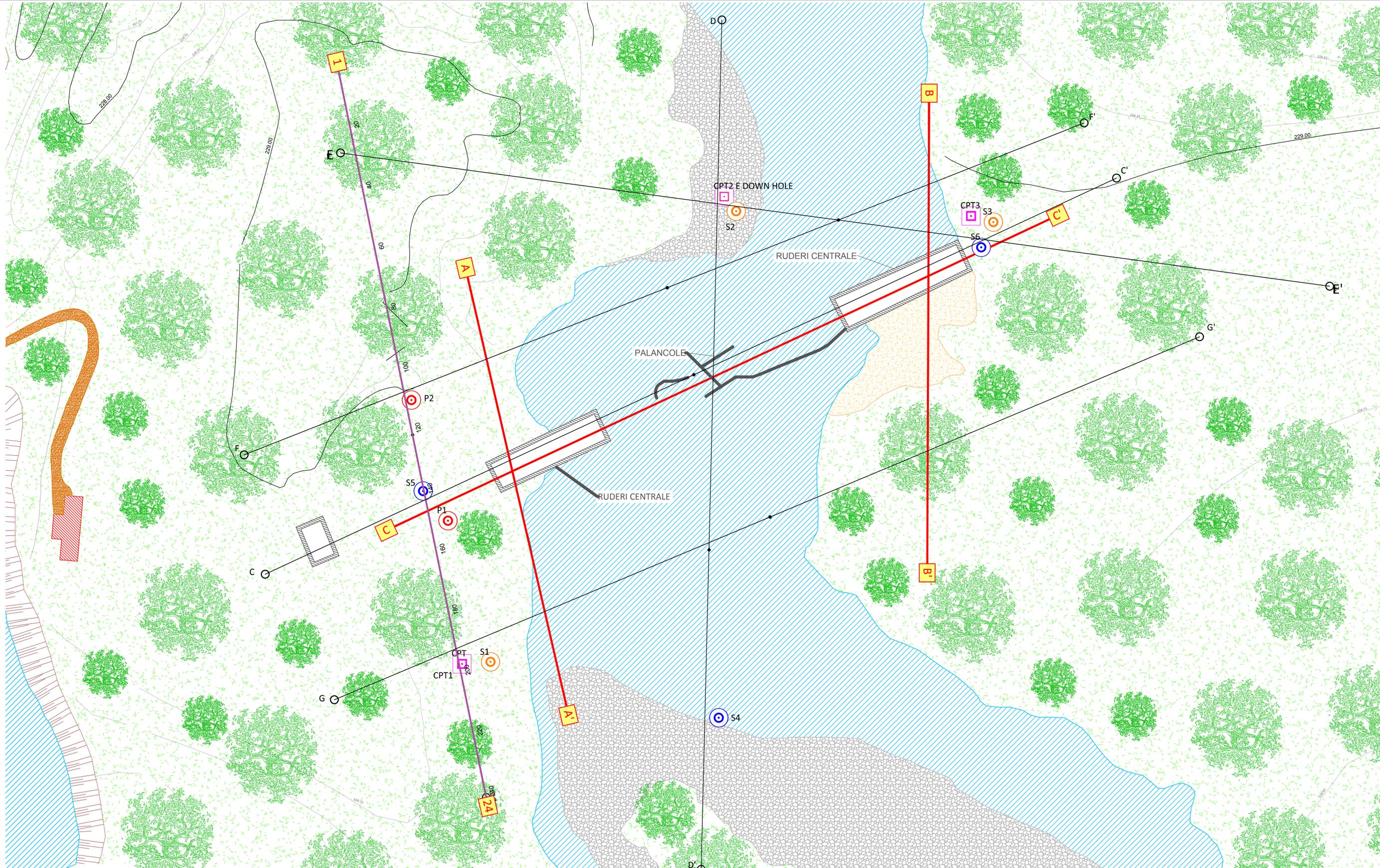
**LEGENDA**

- SONDAGGI ESISTENTI
- SONDAGGI NUOVI
- SONDAGGI DEL 2003
- CTP
- SEZIONI GEOFISICHE ELETTRICHE
- SEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE
- FIUME DORA BALTEA

COMMITTENTE:		EDILSAMAR SRL Rue des Forges, 5; 11013 Courmayeur (AO) - Italia	
OGGETTO:		OPERE DI RIPRISTINO E RISTRUTTURAZIONE DI DERIVAZIONE DALLA DORA BALTEA PER USI IDROELETTRICI IMPIANTO "EX CIMA"	
LOCALITÀ DELL'INTERVENTO:			
FASE PROGETTUALE:			
8			
7			
6			
5			
4			
3			
2			
1	settembre 2017	MP	GO

TITOLO:		ARCHIVIO:	FILE N°:
PLANIMETRIA DI RILIEVO		4073	11013/PALANCOLE_RRVE
		DATA:	Loranzè, ottobre 2017
		TAVOLA N°:	01
		SCALA:	1:500

<p><b>SERTEC</b> s.r.l. ENGINEERING CONSULTING 31 Strada Provinciale 222 10018 Loranzè (TO) TEL. 0125.561001 FAX 0125.564014 e-mail: info.sertec@sqquadriglio.to.it www.sertec-engineering.it</p>	PROGETTISTA: Dott. Ing. Gianluca ODETTO N° 7261 T ALBO INGEGNERI PROVINCIA DI TORINO	ALTRA FIGURA:	TIMBR0:
	IL DIRETTORE TECNICO: Dott. Ing. Gianluca ODETTO		ALTRA FIGURA:



**LEGENDA**

- SONDAGGI ESISTENTI
- SONDAGGI NUOVI
- SONDAGGI DEL 2003
- CTP
- SEZIONI GEOFISICHE ELETTRICHE
- SEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE
- TRACCIA SEZIONI LITOLOGICHE
- FIUME DORA BALTEA

COMMITTENTE:  
**EDILSAMAR SRL**  
 Rue des Forges, 5; 11013 Courmayeur  
 (AO) - Italia

OGGETTO:  
**OPERE DI RIPRISTINO E RISTRUTTURAZIONE DI DERIVAZIONE  
 DALLA DORA BALTEA PER USI IDROELETTRICI  
 IMPIANTO "EX CIMA"**

LOCALITÀ DELL'INTERVENTO:

FASE PROGETTUALE:

8									
7									
6									
5									
4									
3									
2									
1	settembre 2017								
REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	MAP	GO	GO	REMATO	VERIFICATO	RESAMINATO	

TITOLO: <b>PLANIMETRIA SEZIONI LITOLOGICHE</b>		ARCHIVIO: <b>4073</b>	FILE N°: TRACIA PARAMETRIZZAZIONE GEOLOGICA
DATA: Loranzè, ottobre 2017		TAVOLA N°: <b>02</b>	
SCALA: 1:500		TIMBRIO:	

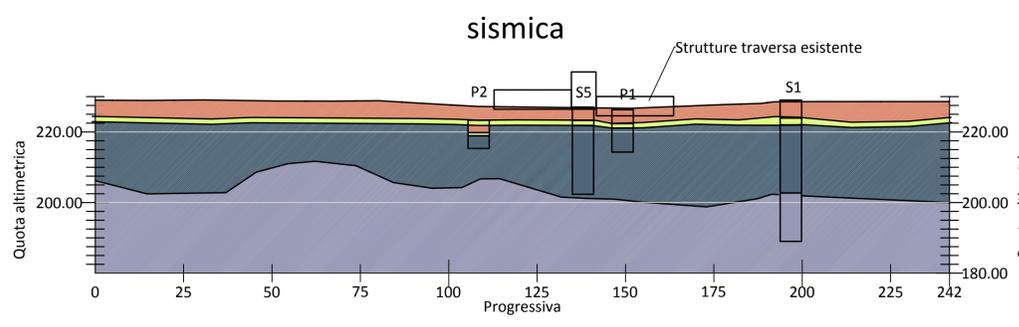
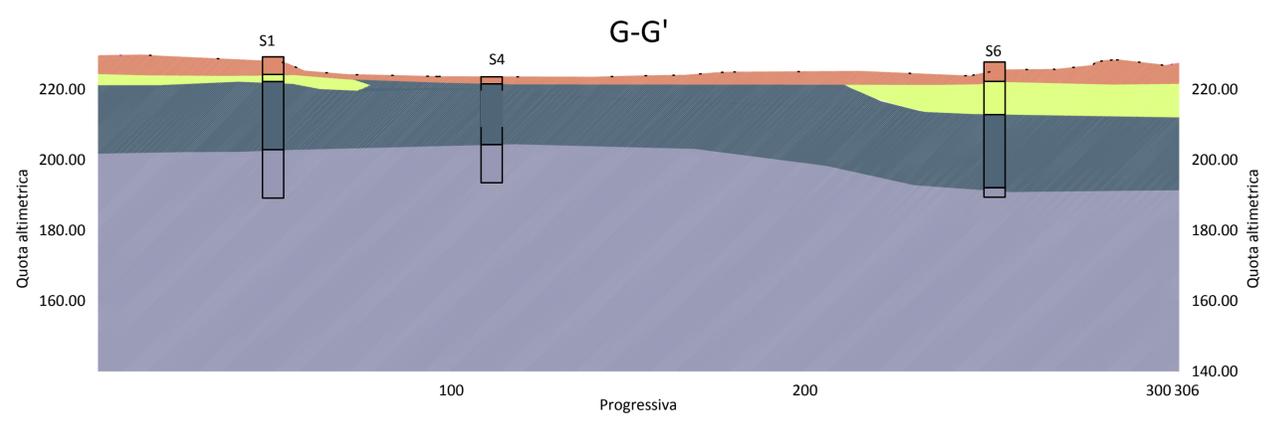
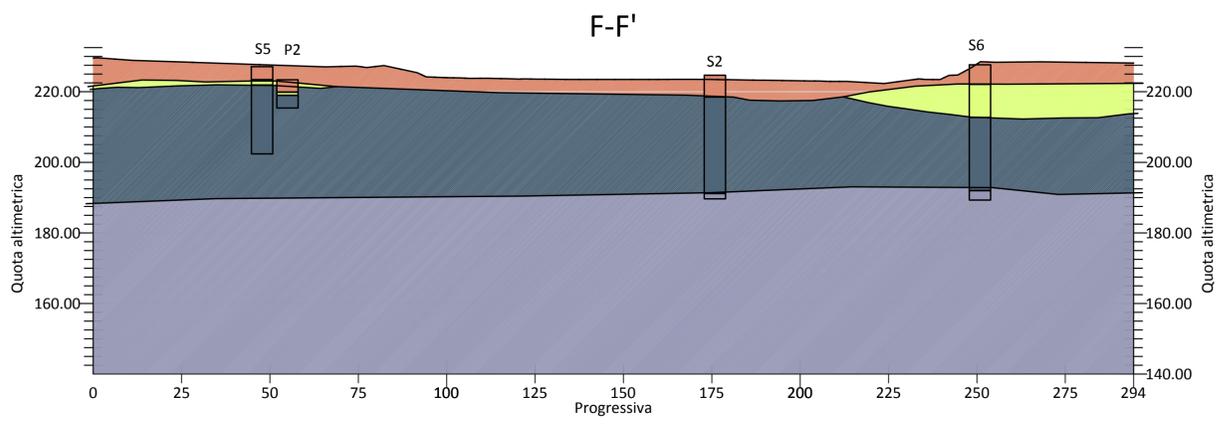
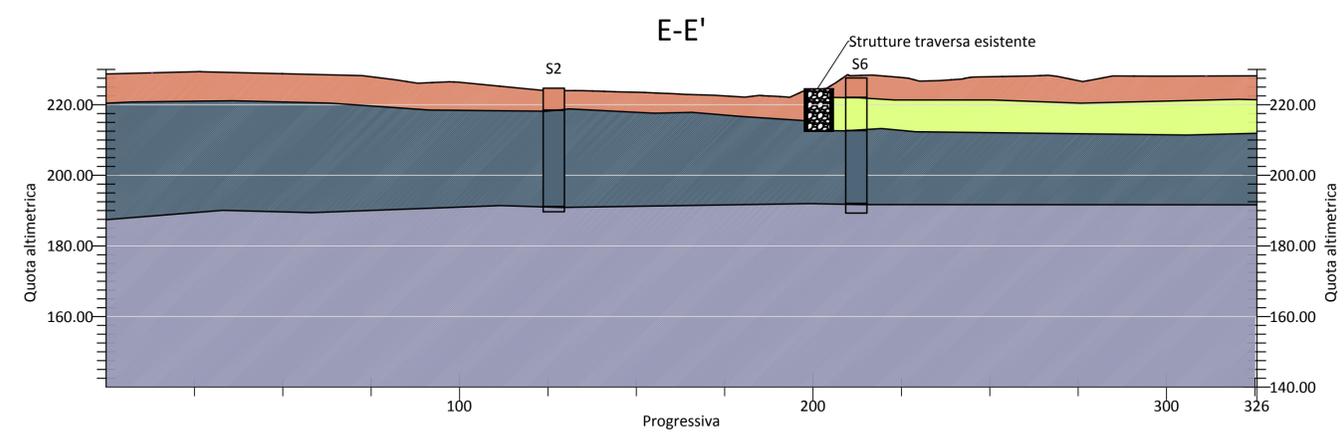
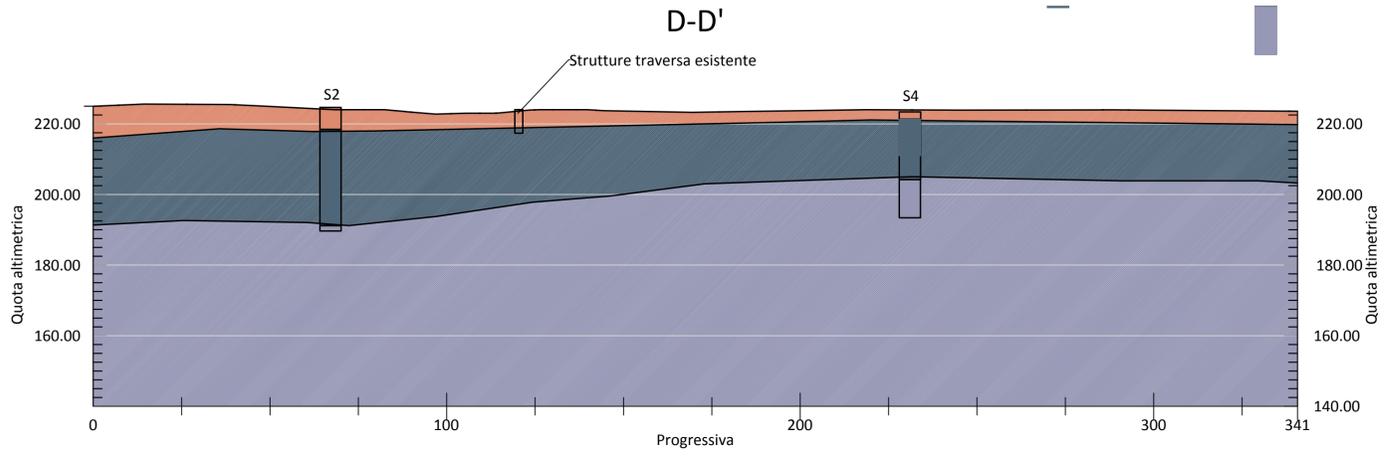
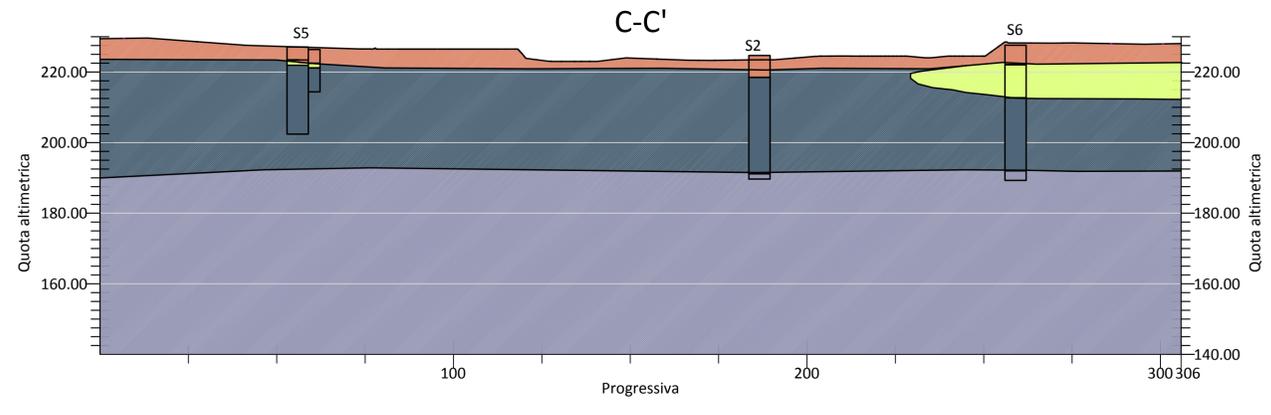
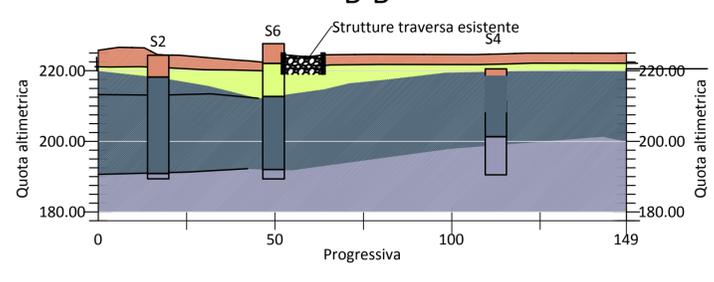
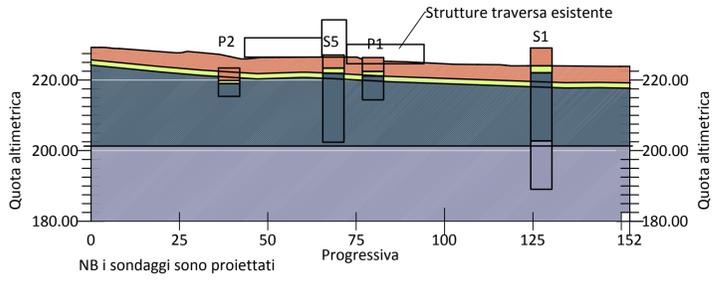
**SERTEC** s.r.l.  
 ENGINEERING CONSULTING  
 31 Strada Provinciale 222  
 10018 Loranzè (TO)  
 TEL. 0125.561001 FAX 0125.564014  
 e-mail: info.sertec@sqquadriglio.to.it  
 www.sertec-engineering.it

IL DIRETTORE TECNICO:  
 Dott. Ing. Gianluca ODETTO

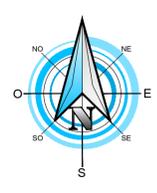
PROGETTISTA:  
 Dott. Ing. Gianluca ODETTO  
 N° 7261 T ALBO INGEGNERI  
 PROVINCIA DI TORINO

TIMBRIO:

ALTRA FIGURA:  
 TIMBRIO:



- Ghiaie
- Sabbie
- Limi
- Limi sabbiosi



COMMITTENTE:  
**EDILSAMAR SRL**  
Rue des Forges, 5; 11013 Courmayeur (AO) - Italia

OGGETTO:  
**OPERE DI RIPRISTINO E RISTRUTTURAZIONE DI DERIVAZIONE DALLA DORA BALTEA PER USI IDROELETTRICI IMPIANTO "EX CIMA"**

LOCALITÀ DELL'INTERVENTO:

FASE PROGETTUALE:

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	RIESAMINATO
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2					
1					

TITOLO:  
**SEZIONI LITOLOGICHE**

ARCHIVIO: **4073** FILE N°: TAVOLA SCHEMATOLOGICHE  
DATA:

TAVOLA N° **03**  
SCALA: **1:500**

PROGETTISTA: **Dot. Ing. Gianluca ODETTO N° 7261 T ALBO INGEGNERI PROVINCIA DI TORINO**

ALTRA FIGURA: TIMBRO:

**SERTEC** s.r.l.  
ENGINEERING CONSULTING  
31 Strada Provinciale 222  
10010 Loranze (TO)  
TEL. 0125.561001 FAX 0125.564014  
e-mail: info.sertec@liquadri-foglio.it  
www.sertec-engineering.it

IL DIRETTORE TECNICO:  
**Dot. Ing. Gianluca ODETTO**

TIMBRO:

ALTRA FIGURA: TIMBRO: