

**S.S. 398 "Via Val di Cornia"**  
Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12  
e il Porto di Piombino  
LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **FI2**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**  
Dott. Ing. Nando Granieri  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**  
**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**



Dott. Ing. N. Granieri  
Dott. Arch. N. Kamenicky  
Dott. Ing. V. Truffini  
Dott. Arch. A. Bracchini  
Dott. Ing. F. Durastanti  
Dott. Geol. G. Cerquiglini  
Geom. S. Scopetta  
Dott. Ing. L. Sbrenna  
Dott. Ing. E. Sellari  
Dott. Ing. E. Bartolucci  
Dott. Ing. L. Dinelli  
Dott. Ing. L. Nani  
Dott. Ing. F. Pambianco  
Dott. Agr. F. Berti Nulli

Dott. Ing. D. Carliaccini  
Dott. Ing. S. Sacconi  
Dott. Ing. G. Cordua  
Dott. Ing. V. De Gori  
Dott. Ing. C. Consorti  
Dott. Ing. F. Dominici

Dott. Ing. V. Rotisciani  
Dott. Ing. F. Macchioni  
Geom. C. Vischini  
Dott. Ing. V. Piunno  
Dott. Ing. G. Pulli  
Geom. C. Sugaroni

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Luca Nani  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A2445

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**IL R.U.P.:**

Dott. Ing. Antonio Scalamandrè

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

MARZO 2019



**GEOLOGIA E GESTIONE MATERIE**

**Report indagini geognostiche**

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

DPFI12 E 1801

NOME FILE

T00-GE00-GE0-RE02

CODICE ELAB.

T00GE00GE0RE02

REVISIONE

SCALA:

A

-

A

Emissione

29/03/2019

A. Lisetti

G. Cerquiglini

N. Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA .....	2
2. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	3
2.1 INDAGINI BIBLIOGRAFICHE (ANNI 1980-2007).....	3
2.2 CAMPAGNA DI INDAGINE PROGETTO PRELIMINARE 2007 (SPEA).....	4
2.3 CAMPAGNA DI INDAGINE 2010-2012 (SPEA) .....	8
2.4 CAMPAGNA DI INDAGINE 2017- DIMMS .....	12

## 1.PREMESSA

Il presente Rapporto Tecnico sulle Indagini, riporta il quadro delle campagne geognostiche realizzate nelle diverse fasi progettuali condotte per la progettazione della S.S.398 "Via Val di Cornia" – Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12 e il Porto di Piombino Lotto 1 – Svincolo di Geodetica-Gagno".

Nel rapporto si riporta la descrizione sintetica delle diverse campagne geognostiche eseguite a partire dal 1980 fino al 2017, in particolare:

- Raccolta di Indagini Bibliografiche (anni 1980-1994);
- Indagini di Progetto Preliminare (2007);
- Indagini di Progetto Definitivo (2010);
- Indagini per la redazione del Progetto definitivo (2017);

La documentazione relativa ai sondaggi, alle prove penetrometriche, alle campagne sismiche, alle prove di permeabilità in sito, alle misure piezometriche, a quelle inclinometriche ed alla campagna di prove di laboratorio, sono contenuti nei relativi allegati.

Si specifica che sono state selezionate solo le prove realizzate nell'area di interesse e quelle ritenute più significative per la definizione del modello geologico strutturale e geotecnico.

Tutti i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche realizzate sono riportate nei seguenti elaborati di progetto:

Codice Elaborato	Nome elaborato
T00-GE00-GEO-RE03	Indagini geognostiche pregresse: Stratigrafie
T00-GE00-GEO-RE04	Indagini geognostiche pregresse: Prove di laboratorio
T00-GE00-GEO-RE05	Indagini geognostiche pregresse: Indagini geofisiche
T00-GE00-GEO-RE06	Indagini geognostiche 2017: Stratigrafie
T00-GE00-GEO-RE07	Indagini geognostiche 2017: Prove in sito
T00-GE00-GEO-RE08	Indagini geognostiche 2017: Prove di laboratorio
T00-GE00-GEO-RE09	Indagini geognostiche 2017: Indagini geofisiche
T00-GE00-GEO-RE010	Indagini geognostiche 2017: Analisi chimiche

L'ubicazione di tutte le indagini suddivise per campagne geognostiche, è riportata nell'elaborato "Planimetria ubicazione indagini geognostiche" in scala 1:2000 (n°3 tavole).

## 2.INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 2.1 Indagini Bibliografiche (Anni 1980-2007)

Le indagini pregresse, eseguite tra gli anni 1980 e 2007, sono state ottenute dalle seguenti fonti:

- Database geognostico del Circondario Val di Cornia: si tratta di dati acquisiti per la redazione del Piano strutturale d'Area della Val di Cornia. Comprendono indagini in sito, realizzate in tutta l'area del Bacino del fiume Cornia, in periodi differenti e con diverse finalità, e consistono in stratigrafie di sondaggio, pozzetti geognostici superficiali, prove penetrometriche statiche (CPT) e dinamiche (DP, DPSH). La documentazione è estremamente eterogenea, di qualità e livello di approfondimento variabile; solo una minima parte delle indagini è ubicata in prossimità degli assi stradali di progetto;
  - alcune stratigrafie di sondaggio sono stati considerate e cartografati nella documentazione di progetto.
- Lucchini Piombino s.p.a.: indagini varie eseguite con finalità geotecniche: stratigrafie di sondaggio e prove penetrometriche statiche realizzate in periodi differenti ed in varie zone dell'ex area siderurgica.
- Lucchini Piombino s.p.a.: (2007) Indagini eseguite con finalità chimico-ambientali, costituite da stratigrafie di sondaggi poco profondi, da dati piezometrici e da analisi chimiche condotte sui terreni e sulle acque di falda. Queste attività sono state condotte internamente all'area siderurgica in accordo al Testo Unico ambientale. Sono presenti numerosi punti di indagine, prossimi all'asse di progetto e provvisti, in alcuni casi, di strumentazione piezometrica. Le risultanze delle analisi chimiche sulle terre e sulle acque sono state acquisite per gli studi di monitoraggio e analisi ambientale.

Nella tabella seguente si riassumono i sondaggi bibliografici

Sondaggio	Anno	Profondità m da p.c.
M-S1	1980	40
M-S2	1980	35.5
S2IR	1994	20
S10	2005	5
S4	2005	6
S5	2005	4.5
S8	2005	4.5
PZ-01	2007	3.5

PZ-02	2007	2.3
PZ10	2007	sconosciuta
PZ96	2007	6.5
PZ98	2007	6
PZ99	2007	7.5
PZ100	2007	6
PZ101	2007	6
PZ102	2007	6.5
PZ104	2007	6.5
PZ107	2007	6
PZ110	2007	6
PZ111	2007	6
PZ114	2007	6
PZ118	2007	6

## 2.2 Campagna di Indagine Progetto Preliminare 2007 (Spea)

Nell' ambito della progettazione preliminare, sono state eseguite nel periodo Aprile - Giugno 2007 delle indagini geognostiche realizzate su un tracciato ben più lungo rispetto all'attuale, compreso tra la SS 398 e l'attuale Porto di Piombino, per un lunghezza in assedi circa 5 km.

In particolare:

- n. 6 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (SP01, SP02, SP03, SP04, SP05, SP07) all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
  - n. 11 prove penetrometriche dinamiche SPT;
  - n. 17 campioni indisturbati;
  - n. 30 campioni rimaneggiati;
  - n. 2 pozzetti esplorativi (Pz01, Pz02), nell'ambito dei quali sono state eseguite e prelevati:
    - n. 2 prove di carico su piastra;
    - n. 7 campioni rimaneggiati;

La Tabella 2.1 riassume le principali caratteristiche dei sondaggi, il numero di campioni prelevati, il numero di prove geotecniche eseguite in foro ed il tipo di strumentazione piezometrica installata.

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	S.P.T.	Strumentazione
SP01	3.03	C.C.	32.2	4	4	1	Piezometro T.A. 3.5-15.0 m Piezometro Cas. 23-25 m
SP02	2.16	C.C.	35	3	7	-	Piezometro T.A. 3.5-35.0 m
SP03	1.49	C.C.	40	4	4	2	Piezometro Cas. 34-36.5 m
SP04	4.14	C.C.	30	3	5	1	Piezometro T.A. 6-10.5 m
SP05	1.02	C.C.	15	-	3	1	Piezometro T.A. 3-15 m
SP07	4.54	C.C.	41.7	3	7	3	Piezometro T.A. 3-15 m Piezometro Cas. 23-41.7 m
C.C. perforazione a carotaggio continuo D.N. perforazione a distruzione di nucleo D profondità del sondaggio (in metri da piano campagna) C.I. n. di campioni indisturbati C.R. n. di campioni rimaneggiati S.P.T. n. prove penetrometriche dinamiche in foro di sondaggio CH prova Cross Hole							

Tabella 2.1 – Tabella riassuntiva dei sondaggi della campagna geognostica 2007.

La Tabella 2.2 elenca le principali caratteristiche dei pozzetti esplorativi e delle prove di carico su piastra (PLT), eseguite all'interno degli stessi.

sigla	quota (m s.l.m.)	D (m)	prof. prove PLT (m)	C.R.
Pz01	2.5	3.3	0.7	4
Pz02	1.21	2.2	0.8	3
D (m) : profondità massima in metri da p.c. raggiunta dallo scavo del pozzetto C.R. n. di campioni rimaneggiati Prove PLT (m) : profondità esecuzione prove di carico su piastra, metri da p.c.				

Tabella 2.2 – Tabella riassuntiva dei pozzetti della campagna geognostica 2007.

Per la caratterizzazione delle arenarie di suvereto è stato calcolato anche il parametro RQD, i cui valori sono riassunti nella tabella seguente

Sondaggio	da	a	RQD
	m	m	%
SP1	26.3	27.3	92
SP1	27.3	28.3	97
SP1	28.3	29.3	96
SP1	29.3	30.3	97
SP1	30.3	31.3	67

SP1	31.3	32.4	74
SP4	28	29	78
SP4	29	30	71
SP5	9	10	85
SP5	10	11	81
SP5	11	12	88
SP5	12	13	80
SP5	13	14	100
SP5	14	15	90
SP7	39.3	40	95
SP7	40	41	100
SP7	41	41.6	50

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2007, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

prove di classificazione:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
- contenuto naturale d'acqua;
- peso di volume naturale;
- peso specifico dei grani;

prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:

- prove di compressione monoassiale (*ELL*);
- prove triassiali non consolidate non drenate (*TX-UU*);
- prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (*TX-CIU*);
- prove di taglio diretto (*TD*);
- prove edometriche ad incrementi di carico (*ED-IL*).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati all'interno dei pozzetti sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*).

Nelle tabelle sottostanti si riportano i risultati delle prove di laboratorio realizzate, delle prove edometriche, di carico su piastra ed taglio diretto.

SONDAGGIO	CAMPIONE	DA	A	Granulometria (ASTM D422)				Limiti di Atterberg					
				ghiaia	sabbia	limo	ARGILLA	WL	Wp	Ip	Ic	Ia	IL
				%	%	%	%	%	%	%			
SP1	CA	4.4	5		1	63	36	47	23	24	0.7	0.67	0.3
SP1	CB	7.5	8.1		8	35	57	46	25	21	0.97	0.37	0
SP1	CC	13.9	14.5	1	23	46	30	43	21	22	0.34	0.73	0.7
SP1	CD	19	19.6	10	40	25	25	27	14	13	0.75	0.52	0.3
SP2	CA	2.7	3.3	0	2	43	55	53	27	26	0.53	0.47	0.5
SP2	CB	9.2	9.8	0	34	33	33	35	27	18	0.72	0.55	0.3

SP2	CC	21.2	21.8	2	35	29	34	31	14	17	0.69	0.5	0.3
SP3	CA	4	4.6	0	80	15	5						
SP3	CB	7.5	8.1	1	12	56	31	##	50	51	0.47	1.65	0.5
SP3	CC	12.1	12.7	0	1	36	63	64	30	34	0.25	0.54	0.8
SP3	CD	24.3	24.9	0	3	58	39	36	22	14	0.89	0.36	0.1
SP3	2	33.3	33.5	0	24	38	38	43	22	21	>1	0.55	<0
SP4	CA	5.3	5.9	0	1	39	60	53	29	24	0.69	0.4	0.3
SP4	CB	13.2	13.8	0	13	36	51	57	33	24	0.47	0.47	0.5
SP4	CC	15.2	15.8	0	57	24	19	23	17	6	0.5	0.32	0.5
SP4	4	21.5	21.8	10	47	40	3						
SP5	1	2	2.2	0	3	35	62	58	28	30	0.63	0.48	0.4
SP5	2	6	6.3	33	43	18	6	23					
SP7	CA	20.6	21.2	0	52	34	14						
SP7	CB	27.1	27.7	0	44	40	16						
SP7	CC	32.6	33.2	0	69	21	10						
SP7	1	3	3.15	17	41	27	15	25	16	9		0.6	
SP7	2	13	13.3	1	91	3	5						
SP7	3	18	18.2	0	1	63	36	64	27	37		0.67	
Pz-01	campione 1	0.8	1	0	25	60	15	34	22	12	>1	0.8	<0
Pz-01	campione 2	1.5	1.8	0	70	22	8	24					
Pz-01	campione 3	2.3	2.5	0	4	60	36	42	24	18	0.86	0.5	0.1
Pz-01	campione 4	3	3.3	8	45	20	27	26	16	10	0.36	0.37	0.6
Pz-02	Campione 1	0.7	1	27	21	28	24	44	23	21	>1	0.88	<0
Pz-02	Campione 2	1.2	1.5	1	6	56	37	48	27	21	0.84	0.57	0.2
Pz-02	Campione 3	2.3	2.5	0	9	70	21	34	23	11	0.38	0.52	0.6
Sp1	SPT n1	2.75	3.1	0	14	61	25	38	22	16		0.64	
Sp1	1 AMB	0	1.5	72	27	1	0						
Sp4	1 AMB	1	2	0	12	65	23	36	22	14		0.61	
Sp2	SPT n1	4.6	5.05	0	62	17	21	24	19	5		0.24	
Sp2	SPT n2	12.2	12.7	12	59	19	13	24	19	5		0.38	
Sp2	SPT n3	16.7	17.2	29	45	13	13	25	19	6		0.46	
Sp3	SPT n1	19.7	20.2	12	48	24	16						
Sp3	SPT n2	27.2	27.7	0	73	15	12						
Sp3	AMB	0	1.5	3	11	58	28	48	28	20		0.71	
Sp4	SPT n1	7.7	8.15	3	52	27	18						
Sp5	SPT n2	5.3	5.75	4	66	14	16	27					
Sp7	SPT n1	7.6	8.05	1	44	38	17	91	41	50		2.94	
Sp7	SPT n2	10.7	11.2	2	94	2	2						
Sp7	SPT n3	15	15.5	0	71	20	9	51	24	27		3	

Tabella 2.3 granulometrie e limiti di Atterberg indagini 2007

SONDAGGIO / pozzetto	CAMPIONE	DA	A	Cv	K
		m	m	cm <sup>2</sup> /sec	m/sec
P1	A	4.4	5	2.93E-04	1.40E-12
P1	B	7.5	8.1	4.92E-04	6.80E-13
P1	C	13.9	14.5	3.94E-04	1.20E-12
P2	A	2.7	3.3	4.54E-04	2.00E-12
P2	B	9.2	9.8	1.55E-03	1.50E-12
P3	B	7.5	8.1	1.41E-04	1.60E-12

P3	C	12.1	12.7	3.11E-04	2.10E-12
P3	D	24.3	24.9	5.33E-04	6.40E-13
P4	B	13.2	13.8	3.44E-04	1.60E-12

Tabella 2.4 prove edometriche-indagini 2007.

Pozzetto	Profondità da p.c	Dpiastra	Md1	Md2	Md1/Md2
	m	mm	MPa	MPa	
Pz-01	-0.8	300	7.353	37.5	0.20
Pz-02	-0.7	300	9.375	43.478	0.22

Tabella 2.5 carico su piastra indagini-2007.

SONDAGGIO	CAMPIONE	DA	A	Taglio Diretto CD (Racc.AGI 1994)	
				c'	φ'
		m	m	KPa	°
SP1	CD	19	19.6	9	29
SP3	CA	4	4.6	0	32
SP3	CB	7.5	8.1	0	21
SP4	4	21.5	21.8	26	24
SP7	CA	20.6	21.2	3	31
SP7	CC	32.6	33.2	0	31

Tabella 2.6 prove di taglio diretto-indagini 2007

### 2.3 CAMPAGNA DI INDAGINE 2010-2012 (SPEA)

La campagna di indagine realizzata per la redazione del progetto definitivo è consistita nell'esecuzione di una prima campagna di indagini, tra novembre 2010 e febbraio 2011, per la prima emissione del progetto definitivo e di quelle integrative, realizzate nel novembre 2011 per investigare un tratto di variante all'inizio del tracciato. In particolare:

- 8 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (*SD01, SD01bis, SD02, SD03, SD04, SD05, SD06, SE07*) all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
- 80 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- 25 campioni indisturbati;
- 39 campioni rimaneggiati;
- 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (*CPTE1, CPTE2, CPTE3*);
- 4 prove dilatometriche con punta piatta tipo "Marchetti";
- 1 prova con cono sismico, realizzata nell'ambito della verticale penetrometrica CPTE2.
- 2 pozzetti esplorativi (*PzD01, PzD02*), all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
- 2 prove di carico su piastra;
- 7 campioni rimaneggiati;
- n. 1 prospezione sismica "Cross-Hole" in corrispondenza del sondaggio SD04.

La Tabella 2.7 riassume le principali caratteristiche dei sondaggi, il numero di campioni prelevati, il numero di prove geotecniche eseguite in foro ed il tipo di strumentazione piezometrica installata nell'ambito della campagna di indagine del 2010-2012.

Sondaggio / Prova	quota mslm	Profondità m da p.c.	Tipo	D.	C.I.	C.R.	SPT	Strumentazione
S-D1	2,8	35.0	C.C	35	4	9	14	Pz. Tubo aperto 35m
S-D1 bis	1	35.0	C.C	35	5	7	12	-
S-D2	3,9	40.0	C.C	40	5	8	14	Pz. Tubo aperto 30m
S-D3*	5,1	35.0	C.C	40	1	8	15	Pz. Tubo aperto 35m
S-D4	4,4	35.0	C.C	35	3	8	10	Tubo cieco per geofisica
S-D5*	25,8	15.0	C.C	15	-	3	3	Pz. Tubo aperto 15m
S-D6*	36,5	6.5	C.C	6,5	7	2	-	-
S-E1	3,9	35.0	C.C	35		2	14	Pz. Tubo aperto 35m
S-D6 bis*		3.2						-
CPT-D1	2.5	31.9						-
CPT-D2	2.0	32.0						-
CPT-D3*	-	18.7						-
Pz-D1*	1.0	4.0						-
Pz-D2	1.0	0.5						-
DMT-E1	3.9	8.0						-
DMT-E2	4.0	8.8						-
DMT-E3	3.9	22.8						-
DMT-E4	3.5	20.4						-

Tabella 2.7 – Tabella riassuntiva dei sondaggi della campagna geognostica 2010-2012.

Dove:

C.C= perforazione a carotaggio continuo

D.N= perforazione a distruzione di nucleo

D= profondità del sondaggio

C.I.= n°di campioni indisturbati

C.R.= n°di campioni rimaneggiati

C.H= Prova Cross Hole

SPT= n° di prove penetrometriche dinamiche in foro

Nella Tabella 2.8 sono riportate le caratteristiche salienti delle prove penetrometriche CPT-Dn.

Codice	anno	Profondità m da p.c.
CPT-D1	2010-2011	31.9
CPT-D2	2010-2011	32
CPT-D3	2010-2011	18.7

Tabella 2.8 – Tabella riassuntiva delle prove penetrometriche CPT della campagna geognostica 2010-2012.

Nella Tabella 2.8 sono riportate le prove di Lefrnac realizzate

Sondaggio	Tipo	Da	A	Prof. Falda	K
		m	m	m	m/sec
S-D1	carico variabile	22	23	1.45	2.56E-06
S-D1bis	carico variabile	27	27	1.1	3.77E-04
D-D4	carico variabile	15.5	16.5	3.25	4.08E-06

Tabella 2.9 – prove LeFranc indagini 2010/2011.

Nella Tabella 2.8 è riportato il valore di RQD ricavato per il sondaggio preso in esame

Sondaggio	Da	A	RQD
	m	m	%
SD1	33	34	14
SD1	34	35	80

Tabella 2.10 – valori dell'indice RQD-indagini 2010/2011.

Nella Tabella 2.11 sono riportate le caratteristiche salienti delle prove con dilatometro piatto.

sigla	quota (m s.l.m.)	D (m)
DMT 1	3.9	12.5
DMT 2	4.0	13
DMT 3	3.9	27
DMT 4	3.5	27

Tabella 2.11 – Tabella riassuntiva delle prove dilatometriche della campagna geognostica 2010-2012.

Infine nella tabella seguente si riportano le prove di carico su piastra realizzate

Prova	Anno	Profondità da p.c	Dpiastra	Md1	Md2	Md1/Md2
		m	mm	Mpa	Mpa	
P2	2010	-1	300	4.045	22.786	0.18

Tabella 2.12 – Prove di carico su piastra-indagini 2010/2011.

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2010-2012, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

Prove di classificazione:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
- contenuto naturale d'acqua;
- peso di volume naturale;
- peso specifico dei grani;

Prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:

- prove di compressione monoassiale (*ELL*);
- prove triassiali non consolidate non drenate (*TX-UU*);
- prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (*TX-CIU*);
- prove di taglio diretto (*TD*);
- prove edometriche ad incrementi di carico (*ED-IL*).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati all'interno dei pozzetti sono state eseguite le seguenti prove:

- Analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*).

SONDAGGIO	CAMPIONE	DA	A	Granulometria (ASTM D422)				Limiti di Atterberg		
				ghiaia	sabbia	limo	ARGILLA	WL	Wp	Ip
				%	%	%	%	%	%	%
PZ-D1	PZ-D1	0.5	0.6							
SD01	SD1 CI1	3	3.6	0	0.7	44.7	54.6	60.5	29.2	31.4
SD01	SD1 CI2	8	8.6	0	21.5	44.1	34.4	51.4	22.9	28.5
SD01	SD1 CI3	14.5	15.1	0	11.3	55.6	33.1	43.6	19.1	24.5
SD01	SD1 CI4	17.5	18.1	0	3.5	42.9	53.5	70.9	30.8	40.1
SD01	SD1 CRE	24.6	24.9	0	27.5	36.1	36.4	56.3	22.6	33.7
SD01	SD1 CRF	28	28.3	0	6.6	59.9	33.5	50.1	22.6	27.5
SD01bis	SD1bis CI1	3	3.35	0	7.1	45.7	47.2	61.8	29.2	32.7
SD01bis	SD1bis CI2	6	6.5	4.7	16.5	57.4	21.4	101	40.7	60.5
SD01bis	SD1bis CI3	13	13.6	0	0.1	39.8	60	79	33.3	45.6
SD01bis	SD1bis CI4	18	18.5	0	36.5	47.2	16.3	43.2	19.6	23.6
SD01bis	SD1bis CI5	21	21.5	0	2.3	48.5	49.3	60.3	27.8	32.5
SD01bis	SD1bis CRG	32	32.3	2.6	21.8	51.6	24	33.1	17.8	15.3
SD01bis	SD1bis CRE	25.7	26	21.6	68.2	10.2	0			
SD02	SD02 CI1	7.4	8	0	64.3	33.8	1.8	32.4	21.7	10.7
SD02	SD02 CI2	10.5	11	0	6.3	67.8	25.8	105	42	63.1
SD02	SD02 CI3	18	18.6	0	0.5	61.6	37.9	43	22.8	20.2
SD02	SD02 CI4	21	21.6	0.4	1.5	56.8	41.3	63.1	25	38.1
SD02	SD02 CI5	25.6	26.2	0	7.9	44.6	47.6	42.2	20.7	21.5
SD02	SD02 CRF	32	32.3	0	56.7	40.5	2.8			
SD02	SD02 CRG	37.7	38	3.1	23.5	51.2	22.2	35.9	19.5	16.4
SD03	SD03 CBR	6.7	7	0	44.3	48.5	7.2	56.8	37.8	19.1
SD03	SD03 CRC	12.7	13	0	45.4	49.8	4.8	55.4	33.3	22.1

SD03	SD03 CRD	17.1	17.4	3.8	29.2	32.7	34.3	36.7	18.7	18
SD03	SD03 CRE	24.5	24.8	0	69.7	27.7	2.6	30.6	18.9	11.7
SD03	SD03 CRF	27.7	28	0	66.3	32.2	1.6	35.4	28.4	7
SD03	SD03 CI1	33	34.5	35.7	14.3	25.2	24.8	39.4	22.3	17.1
SD03	SD03 CRH	36.5	36.8	5.1	31.5	59.5	3.9	29.5	16.9	12.6
SD04	SD04 CRB	6	6.3	57.8	33.5	8.8	0			
SD04	SD04 CRC	9.6	9.9	0	29.1	47.3	23.6	40.7	22.4	18.3
SD04	SD04 CRD	14	14.3	0	66.3	32.7	1			
SD04	SD04 CI1	15	15.5	0	74.8	24.6	0.6			
SD04	SD04 CI2	18	18.5	0	22.6	62.6	14.8	31.7	18.1	13.6
SD04	SD04 CI3	21	21.5	0	0.2	42.5	57.3	52.6	23.5	29
SD04	SD04 CRF	27	27.3	65.6	29.4	5	0	18.4	14.9	3.5
SD04	SD04 CRH	32.7	33	74.6	24.2	1.2	0	18.4	14.9	3.5
SD05	SD05 CRA	3.1	3.4	53	24.3	14.5	8.3	24.1	16.1	8
SD05	SD05 CRB	5.4	5.7	5.4	43.3	33.8	17.5	32.7	22.9	9.8
SD05	SD05 CRC	12.7	13	27.3	30.4	34.9	7.4	24.7	16.2	8.5
PzD1	DS1	0.5	0.6	0.5	15.8	53	30	42	22	19
PzD1	CR2	1	1.1	0	5.7	53.9	40.4	44	23	21

Tabella 2.13 – Tabella riassuntiva delle granulometrie e limiti di Atterberg-indagini 2010/2011.

## 2.4 CAMPAGNA DI INDAGINE 2017- DIMMS

La campagna di indagine attivata per la redazione del progetto definitivo è consistita nella realizzazione di:

- 5 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (SA1DH, SA2PZ, SA3DH, SA4PZ, SA5DH) all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
- 21 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- 31 campioni indisturbati;
- 10 campioni rimaneggiati;
- 3 sismiche a rifrazione in onde P e SH e 3 prove geofisiche Down-hole (SA1DH, SA3DH, SA5DH).
- 8 prove penetrometriche statiche con misura delle pressioni neutre (CPTU1, CPTU2, CPTU2bis, CPTU3, CPTU4, CPTU5, CPTU6, CPTU7).
- analisi chimiche sui campioni prelevati dai pozzetti e sondaggi in particolare: caratterizzazione sul tal quale e test di cessione, valutazione dell' aggressività dei terreni al calcestruzzo.

Le tabelle seguenti riassumono le caratteristiche principali dei sondaggi con i risultati delle relative prove in situ.

Sondaggio / Prova	Profondità m da p.c.	Strumentazione
SA1DH	30	Tubo in PVC per down hole
SA2PZ	40.5	Pz. Tubo aperto 40.5 m
SA3DH	45	Tubo in PVC per down hole
SA4PZ	40	Pz. Tubo aperto 40 m

**REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE**

SA5DH	46.5	Tubo in PVC per down hole
-------	------	---------------------------

Tabella 2.14 –sondaggi eseguiti nelle indagini integrative 2017

Sondaggio	Tipo	da	a	Nspt
		m	m	Colpi/piede
SA1DH	punta aperta	3.2	3.65	0
SA1DH	punta aperta	6.3	6.75	14
SA1DH	punta aperta	8.6	9.05	25
SA1DH	punta aperta	12.5	12.95	18
SA2PZ	punta aperta	2.3	2.75	5
SA2PZ	punta aperta	6	6.45	7
SA2PZ	punta aperta	9	9.45	21
SA2PZ	punta aperta	12	12.45	21
SA2PZ	punta aperta	20	20.45	28
SA2PZ	punta aperta	25	25.45	45
SA3DH	punta aperta	1.5	1.95	87
SA3DH	punta aperta	21	21.45	28
SA3DH	punta aperta	28.2	28.65	12
SA3DH	punta aperta	29.7	30.15	40
SA3DH	punta aperta	31.3	31.75	78
SA4PZ	punta aperta	27.5	27.95	31
SA5DH	punta aperta	5	5.45	35
SA5DH	punta aperta	27	27.45	24
SA5DH	punta aperta	28	28.45	34
SA5DH	punta aperta	31.55	32	44
SA5DH	punta aperta	36	36.45	63

Tabella 2.15 –Prove SPT-indagini 2017.

I sondaggi SA1DH e SA2 PZ incontrano le arenarie di Suvereto rispettivamente a profondità di 18 e 34 metri. Di seguito vengono riportati i valori di RQD misurati che variano tra 0 e 72% con valore medio pari a 45%.

Sondaggio	da	a	RQD
	m	m	%
SA1DH	18	19	46
SA1DH	19	20	14
SA1DH	20	21	49
SA1DH	21	22	49
SA1DH	22	23	40
SA1DH	23	24	30

SA1DH	24	25	30
SA1DH	25	26	72
SA1DH	26	27	72
SA1DH	27	28	0
SA1DH	28	29	50
SA1DH	29	30	33
SA2PZ	34	35	52
SA2PZ	35	36	50
SA2PZ	36	37	61
SA2PZ	37	38	33
SA2PZ	38	39	60
SA2PZ	39	40	60
SA2PZ	40	40.5	60

Tabella 2.16 – valori di RQD nei sondaggi SA1DH e SA2PZ.

Prova	Anno	Profondità m	Dpiastra mm	Md1 Mpa	Md2 Mpa	Md1/Md2
PZA1	2017	-0.15	300	15	52	0.29
PZA2	2017	-0.15	300	11	29	0.38
PZA3	2017	-0.2	300	15	21	0.71
PZA4	2017	-0.15	300	17	23	0.74
PZA5	2017	-0.3	300	28	71	0.39
PZA6	2017	-0.3	300	8	17	0.47
PZA7	2017	-0.3	300	77	167	0.46
PZA8	2017	-0.2	300	33	40	0.83
PZA9	2017	-0.2	300	167	250	0.67
PZA10	2017	-0.2	300	40	48	0.83
PZA11	2017	-0.2	300	30	41	0.73

Nella tabella seguente si riportano le prove CPTU realizzate

Prova	Profondità m
CPTU1	13.1
CPTU2	4.78
CPTU2bis	20
CPTU3	12.22
CPTU4	27.42
CPTU5	32
CPTU6	17.72
CPTU7	27.88

Durante la loro esecuzione sono state eseguite prove di dissipazione i cui risultati sono riassunti nella Tabella di seguito

Codice	Prova n°	Profondità da p.c	Kh/Kv	$\alpha$ (Mitchell 1978)	Ch	K
		m			cm <sup>2</sup> /min	m/s
CPTU1	D1	10.1	1	4	0.27	5.96E-10
CPTU2	D1	10	1	0.4	14.33	1.47E-07
CPTU2	D2	15.06	1	0.4	3.73	3.00E-08
CPTU2	D3	20	1	1	0.32	2.58E-09
CPTU3	D1	10.1	1	3	5.32	1.07E-08
CPTU4	D1	10	1	2	0.27	3.55E-09
CPTU4	D2	15	1	4	0.39	5.59E-10
CPTU4	D3	20	1	4	0.7	1.01E-09
CPTU4	D4	25	1	4	0.75	1.74E-09
CPTU5	D1	10	1	2	3.11	3.04E-08
CPTU5	D2	15	1	4	0.53	2.67E-09
CPTU5	D3	20	1	2	0.16	1.14E-09
CPTU5	D4	25	1	0.5	1.86	n.d
CPTU6	D1	10	1	5	0.93	n.d
CPTU6	D2	15	1	5	0.16	6.60E-10
CPTU7	D1	16.02	1	0.5	18.63	6.74E-07
CPTU7	D2	19	1	4	0.17	9.85E-10
CPTU7	D3	24.9	1	0.5	5.32	1.82E-07

Codice	Prova n°	Profondità da p.c	Kh/Kv	$\alpha$ (Mitchell 1978)	Ch	K
		m			cm <sup>2</sup> /min	m/s
CPTU1	D1	10.1	1	4	0.27	5.96E-10
CPTU2	D1	10	1	0.4	14.33	1.47E-07
CPTU2	D2	15.06	1	0.4	3.73	3.00E-08
CPTU2	D3	20	1	1	0.32	2.58E-09
CPTU3	D1	10.1	1	3	5.32	1.07E-08

Sono inoltre state effettuate 3 indagini geofisiche di Sismica a rifrazione (SR1, SR2, SR3) Nei sondaggi SA2PZ e SA4PZ sono stati installati piezometri a tubo aperto della profondità di 40 m. Sono infine stati realizzati pozzetti esplorativi (PzA1÷PzA13) della profondità massima di 3 m all'interno dei quali sono state eseguite 11 prove di carico su piastra (PzA1÷PzA11).

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2017, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

prove di classificazione:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
- contenuto naturale d'acqua;
- peso di volume naturale;

- peso specifico dei grani;

prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:

- prove di compressione monoassiale (*ELL*);
- prove triassiali consolidate drenate (*TX-CID*);
- prove triassiali non consolidate non drenate (*TX-UU*);
- prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (*TX-CIU*);
- prove di taglio diretto (*TD*);
- prove edometriche ad incrementi di carico (*ED-IL*).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati all'interno dei pozzetti sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
- prove di taglio diretto (*TD*).

SONDAGGIO	CAMPIONE	DA	A	Granulometria (ASTM D422)				Limiti di Atterberg (ASTM D4318 D4943)				
				ghiaia	sabbia	limo	ARGILLA	WL	Wp	Ip	Ic	Ia
		m	m	%	%	%	%	%	%	%		
SADH1	CI1	2.7	3	2	48	23	27	36	18	18.1	0.78	0.67
SADH1	CI2	5.1	5.6	11	28	31	30	34	17	16.9	0.76	0.56
SADH1	CI3	8	8.6	0	17	32	51	37	18	19.3	0.78	0.38
SADH1	CI4	13.5	14	6	47	28	19	26	15	10.7	0.56	0.57
S2APZ	CI1	4	4.5	2	48	22	28	36	18	18	0.78	0.64
S2APZ	CI2	7.4	7.9	20	32	31	17	25	12	13	0.43	0.76
S2APZ	CI3	10.7	11.2	0	23	29	48	44	19	25.2	0.87	0.53
S2APZ	CI4	15	15.6	4	19	45	32	52	17	35	0.83	1.1
S2APZ	CI5	18	18.5	1	13	63	23	52	17	35	0.66	1.5302
S2APZ	CI6	22.5	23	1	51	23	25	29	15	14.6	0.62	0.58
S2APZ	CI7	27	27.6	1	64	22	13	27	13	13.5	0.69	1.04
S2APZ	CI8	30	30.6	3	28	30	39	44	20	24.2	1.13	0.6205
SA3DH	CI1	3.8	4	2	6	80	12	34	22	12	0.31	1.01
SA3DH	CI2	6	6.5	14	9	63	14	38	24	14	0.27	1
SA3DH	CI3	8	8.5	4	12	63	21	73	41	32.2	0.25	1.53
SA3DH	CI4	12	12.7	1	4	33	62	66	32	33.9	0.67	0.55
SA3DH	CI5	16.5	17.2	1	5	42	52	60	32	27.3	0.56	0.52
SA3DH	CI6	22.6	23.2	1	32	42	25	32	18	14.6	0.82	0.58
SA3DH	CR1	29.4	29.6	14	39	28	19	31	17	13.3	0.94	0.7
SA3DH	CR2	39.4	39.6	13	39	28	20	31	19	11.8	0.6	0.59
SA4PZ	CI1	4	4.6	0	16	60	24	33	21	12	0.33	0.5
SA4PZ	CI2	6.9	7.6	16	17	44	23	60	35	25.6	0.27	1.11
SA4PZ	CI3	10.5	11.2	1	5	30	64	78	33	45.3	0.33	0.71
SA4PZ	CI4	13.5	14.2	0	1	31	68	68	31	36.5	0.44	0.54
SA4PZ	CI5	18.7	19.4	0	1	54	45	54	26	27.4	0.46	0.61
SA4PZ	CI6	25	26.7	1	3	52	44	43	23			
SA4PZ	CR1	31	31.4	0	20	50	30	39	22	16.9	1.1	0.56
SA4PZ	CR2	38.6	39	11	62	15	12	27	16	10.4	0.51	0.87
SA5DH	CI1	6.2	6.8	0	1	50	49	66	32	33.8	0.9	0.69

SA5DH	CI2	9	9.6	6	13	60	21	65	39	26.1	0.36	1.24
SA5DH	CI3	12	12.6	1	1	29	69	71	34	37.2	0.28	0.54
SA5DH	CI4	15	15.6	0	0	48	52	63	33	29.7	0.31	0.57
SA5DH	CI5	18	18.6	0	0	42	58	61	29	32.3	0.67	0.56
SA5DH	CI6	21	21.6	1	1	54	44	47	24	22.5	0.77	0.51
SA5DH	CI7	24	24.6	9	0	57	34	52	25	27	0.94	0.79
SA5DH	CR1	35.5	36	25	16	33	26	37	21	15.1	1.25	0.58
SA5DH	CR2	46	46.2	24	24	31	21	41	18	23.5	1.15	1.12
PzA1	CR1	0.3	0.8	0	8	68	24	40	23	17.2	-	0.72
PzA1	CR2	0.8	1.3	0	12	65	23	37	19	17.9	-	0.78
PzA2	CR1	0.3	0.8	1	18	42	39	44	21	20.3	-	0.52
PzA2	CR2	0.8	1.3	5	17	43	35	46	20	26	-	0.74
PzA3	CR1	0.3	0.8	26	28	30	16	34	18	15.4	-	0.96
PzA3	CR2	0.8	1.3	17	24	43	16	32	17	14.6	-	0.91
PzA4	CR1	0.3	0.8	27	32	28	13	37	21	16.2	-	1.25
PzA4	CR2	0.8	1.3	4	26	53	17	38	22	15.3	-	0.9
PzA5	CR1	0.3	0.8	61	29	7	3	35	25	9.5	-	3.16
PzA5	CR2	0.8	1.3	48	19	28	5	37	19	17.6	-	3.51
PzA6	CR1	0.3	0.8	60	30	10	35	35	31	4.5	-	-
PzA6	CR2	0.8	1.3	65	35	0	-	-	-	-	-	-
PzA7	CR1	0.3	0.8	59	30	9	2	-	-	-	-	-
PzA7	CR2	0.8	1.3	48	40	10	2	-	-	-	-	-
PzA8	CR1	0.3	0.8	42	51	7	-	-	-	-	-	-
PzA8	CR2	0.8	1.3	51	40	9	-	-	-	-	-	-
PzA9	CR1	0.3	0.8	48	41	10	1	-	-	-	-	-
PzA9	CR2	0.8	1.3	49	39	11	1	-	-	-	-	-
PzA10	CR1	0.3	0.8	45	35	18	2	25	24	4.2	-	-
PzA10	CR2	0.8	1.3	67	27	6	-	-	-	-	-	-
PzA11	CR1	0.3	0.8	49	35	16	0	-	-	-	-	-
PzA11	CR2	0.8	1.3	52	37	10	1	-	-	-	-	-

Tabella 2.17: Granulometrie e limiti di Atterberg-indagini 2010/2011.

SOND AGGIO	CAMPIONE	DA	A	TD ASTM	
		m	m	c' kPa	$\phi^\circ$
SADH1	CI3	8	8.6	23.71	21.55
SA3DH	CR1	29.4	29.6	15.13	27.38
SA3DH	CR2	39.4	39.6	13.33	28.34
SA4PZ	CR1	31	31.4	20.18	23.82
SA4PZ	CR2	38.6	39	10.35	28.06
SA5DH	CR1	35.5	36	20.14	25.1
SA5DH	CR2	46	46.2	18.61	26.62

Tabella 2.18: Prove di taglio diretto secondo norme Astm D 3080 indagini 2017

SONDAGGIO	CAMPIONE	DA	A	Cv	K	C $\alpha$
-----------	----------	----	---	----	---	------------

		m	m	cm <sup>2</sup> /sec	m/sec	kN/m <sup>2</sup>
SA1DH	CI1	2.7	3			
SA1DH	CI2	5.1	5.6			
SA1DH	CI3	8	8.6			
SA1DH	CI4	13.5	14	4.60E-04	7.47E-11	1.60E-03
S2APZ	CI1	4	4.5			
S2APZ	CI2	7.4	7.9			
S2APZ	CI3	10.7	11.2			
S2APZ	CI5	18	18.5			
S2APZ	CI7	27	27.6			
SA3DH	CI1	3.8	4	2.30E-03	5.73E-10	0.0026
SA3DH	CI2	6	6.5	1.35E-03	2.44E-10	0.0032
SA3DH	CI3	8	8.5	8.24E-05	1.86E-11	0.0048
SA3DH	CI4	12	12.7	2.01E-04	1.03E-10	0.0053
SA3DH	CI5	16.5	17.2	8.48E-04	1.81E-10	0.0046
SA3DH	CI6	22.6	23.2			
SA4PZ	CI1	4	4.6	1.10E-04	4.30E-10	0.004
SA4PZ	CI2	6.9	7.6	8.31E-04	5.37E-10	0.0078
SA4PZ	CI3	10.5	11.2	2.48E-04	1.01E-10	0.0046
SA4PZ	CI4	13.5	14.2	3.67E-04	1.59E-10	0.0047
SA4PZ	CI5	18.7	19.4	6.37E-04	2.41E-10	0.0027
SA4PZ	CI6	25	26.7	4.85E-04	6.53E-10	0.0018
SA5DH	CI1	6.2	6.8			
SA5DH	CI2	9	9.6	1.30E-03	1.54E-09	0.0106
SA5DH	CI3	12	12.6	2.24E-04	1.27E-10	0.0049
SA5DH	CI4	15	15.6	2.51E-04	1.19E-10	0.0058
SA5DH	CI5	18	18.6	3.00E-04	1.1E-10	0.0039
SA5DH	CI6	21	21.6	1.92E-03	6.97E-10	0.0018
SA5DH	CI7	24	24.6			

Tabella 2.19: Prove edometriche-indagini 2017.

SONDAGGIO	CAMPIONE	DA	A	Prova compressione triassiale CD (racc. AGI)		
		m	m	c' a	σ <sub>v</sub>	CU kPa
SADH1	CI1	2.7	3	21.5	19.5	-
SADH1	CI4	13.5	14	-	-	54.1
S2APZ	CI1	4	4.5	18.8	23.8	-
S2APZ	CI2	7.4	7.9	-	-	61.1
S2APZ	CI3	10.7	11.2	-	-	87.5
S2APZ	CI4	15	15.6	19.3	24	-
S2APZ	CI5	18	18.5	-	-	50.5
S2APZ	CI6	22.5	23	20.7	25	-

S2APZ	CI7	27	27.6	14.7	27	-
S2APZ	CI8	30	30.6	20.02	23	-
SA3DH	CI1	3.8	4	-	-	44
SA3DH	CI2	6	6.5	-	-	42.5
SA3DH	CI3	8	8.5	14.8	27.7	-
SA3DH	CI4	12	12.7	-	-	41.4
SA3DH	CI5	16.5	17.2	-	-	52.2
SA3DH	CI6	22.6	23.2	13.5	26.4	-
SA4PZ	CI1	4	4.6	-	-	44.9
SA4PZ	CI2	6.9	7.6	-	-	62.3
SA4PZ	CI3	10.5	11.2	22.2	24.1	-
SA4PZ	CI4	13.5	14.2	-	-	64.2
SA4PZ	CI5	18.7	19.4	-	-	74
SA4PZ	CI6	25	26.7	28.8	26.7	-
SA5DH	CI1	6.2	6.8	-	-	48.5
SA5DH	CI2	9	9.6	-	-	41
SA5DH	CI3	12	12.6	18.1	25.6	-
SA5DH	CI4	15	15.6	-	-	61
SA5DH	CI5	18	18.6	28.2	25.2	-
SA5DH	CI6	21	21.6	-	-	82.7
SA5DH	CI7	24	24.6	-	-	95.8

Tabella 2.20: Prove di compressione triassiale terreni-indagini 2017

Sondaggio	Provino	Da m	a m	MASSA VOLUMICA KN/m3	Comp.monoassiale Mpa
SA1DH	CL1	20.4	20.7	25.95	60.3
SA1DH	CL2			25.86	40.52
SA1DH	CL3			25.66	42.66
SA5DH	CL1	42.8	43	26.72	29.09

Tabella 2.21: Prove di compressione monoassiale su campioni di roccia-indagini 2017

Infine nella tabella seguente sono raccolte indagini geofisiche realizzate nell'ambito della campagna 2017

Codice	Tipo	Lunghezza/Profondità m	Spaziatura intergeofonica m
SR1	Rifrazione	192	8
SR2	Rifrazione	192	8
SR3	Rifrazione	192	8
SA1-DH	Down Hole	30	1
SA3-DH	Down Hole	45	1
SA5-DH	Down Hole	46	1

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati con 24 canali di acquisizione tramite geofoni sia verticali che orizzontali utilizzando 7 punti di energizzazione mediante battitura con mazza da 8 kg. Il sismografo utilizzato è di marca Geometrics-Geode. Per le prove DH è stato utilizzato un

geofono triassiale (xyz) calato all'interno di un foro rivestito con tubazione in pvc e opportunamente cementato.