PROVINCIA DI GENOVA

Mediterranea delle Acque

iren

PROGETTO PRELIMINARE

OPERE DI COMPLETAMENTO DEL DEPURATORE ACQUE REFLUE DEL COMUNE DI RAPALLO

RELAZIONE DI SCREENING

Allegato 2

Analisi Modellistica Tridimensionale di Deflusso di Falda per la Valutazione delle Conseguenze di un Potenziale Sversamento nel torrente Boate a carico del campo pozzi di Sant'Anna.

Annesso 1

Indagini geognostiche su un tratto del Torrente Boate

(Marzo Aprile 2010)

Coordinamento del progetto per Mediterranea delle Acque s.p.a.:
Ing. Gianluca Fontana

Data emissione: Giugno 2011

Preparato da:

Dott. Geol. Federico Pittaluga
Dott. Geol. Luciano Minetti
Dott. Geol. Carlo Baracco

Annesso 1.

Indagini su un tratto d'alveo del Torrente Boate (Indagini marzo 2010):

- Ubicazione delle indagini
  - Prescavo e Auger con prelievo campioni
  - Prospezione Sismica
- Stratigrafie relative
- Analisi geotecniche di laboratorio
- Dettaglio Prospezione sismica.

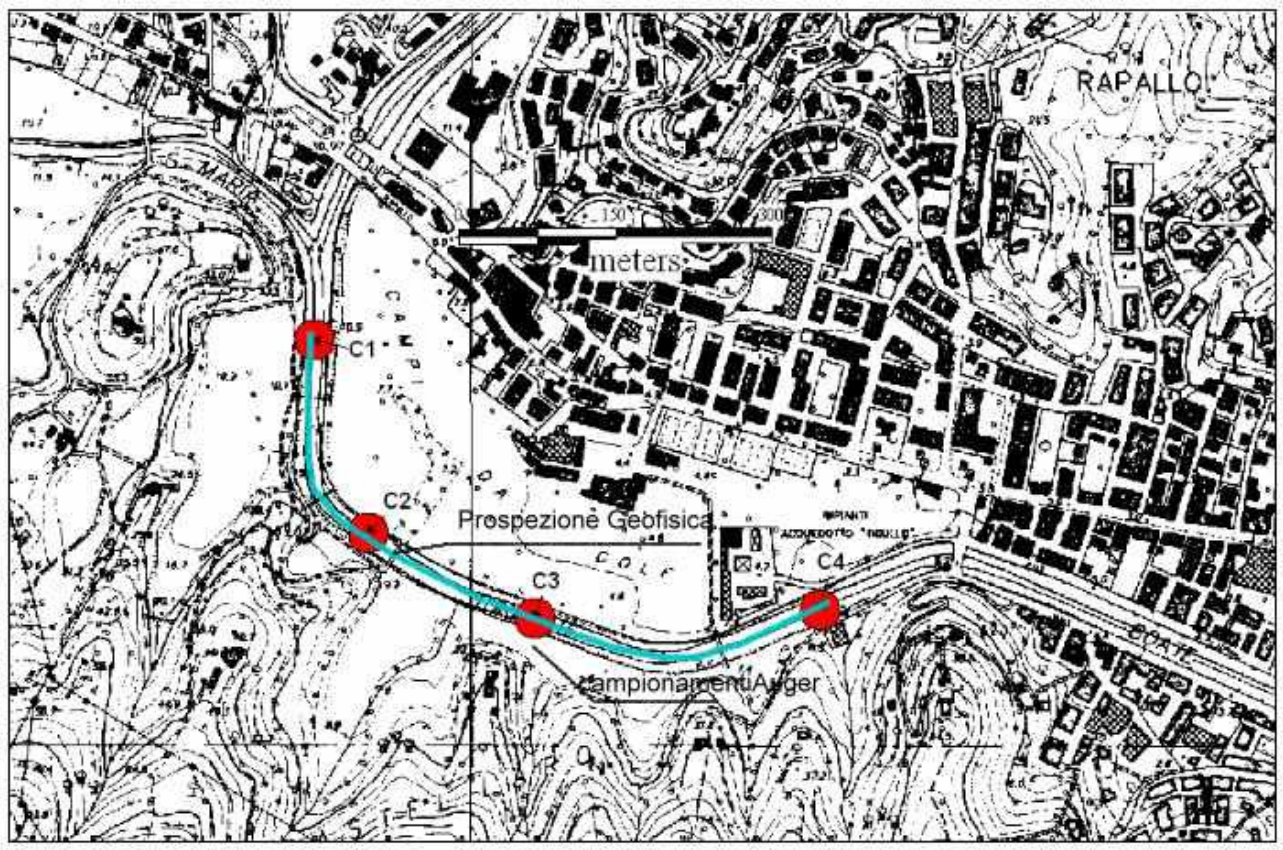


Figura. 1 Posizione delle indagini in alveo

Stratigrafie dei punti di indagine

Auger 1

Profondità Da m a m	C1	Campione	Caratterizzazione geotecnica (USCS)
0.00 - 0,30	Ghiaie sabbiose ben gradate	1 - 1	GW
0.30 - 2.50	Argille a bassa plasticità sabbiose brunastre	1 - 2	CL
da 2.50	Sabbie argillose con ghiaia	1 – 3	SC

Auger 2

Profondità Da m a m	C2	Campione	Caratterizzazione geotecnica (USCS)
0.00 - 1,00	Ghiaie sabbiose ben gradate		
1.00 - 3,50	Argille a bassa plasticità sabbiose brunastre	2 - 1	CL
Da 3,50 circa	sabbie ghiaiose con limo	2 - 2	GW

Auger 3

Profondità Da m a m	C3	Campione	Caratterizzazione geotecnica (USCS)
0.00 - 2.50	Ghiaie sabbiose ben gradate	3 - 1	GW
2.50 - 3.00	Ghiaie commiste ad argille limose a bassa plasticità	3	GC

Auger 4

Profondità Da m a m	C4	Campione	Caratterizzazione geotecnica (USCS)
0,00 - 0,40	Ghiaie sabbiose ben gradate		
0.40 - 3,00	Argille a bassa plasticità sabbiose brunastre	4	CL

Prove di permeabilità su campione ricostruito di ghiaie (campioni 1-3) a diversi livelli di densità

Prova	Densità Secca Ds (kN/m^3)	Indice dei vuoti e	Permeabilità K (cm/s)
1	15.18	0.712	1.0×10^{-2}
2	15.5	0.677	7.2×10^{-3}
3	16.12	0.612	4.6×10^{-3}

Profondità (m)		Vs (m/s)
0,00		
-0,5-1	Alluvioni poco addensate	300
1.00 -3,5-4,0	Depositi addensati scarsamente saturi uniformabili a depositi argillosi	420-450
4.00-12,5	Alluvioni mediamente addensate sature	390-400
12.50 -22	Alluvioni molto addensate e/o substrato roccioso estremamente fratturato e alterato	620
> 22	Substrato roccioso	920

Stratigrafia derivata dalla prospezione sismica

Prove di laboratorio su campioni prelevati presso l'alveo del torrente Boate.

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-01
Data 10/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	Boate 1-1
Profondità (m) :	-
Tipo del Campione :	Rimaneggiato
Descrizione del Materiale :	Ghiaia ben gradata con sabbia
Colore :	Grigio
Classificazione U.S.C.S. :	GW

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	9 marzo 2010

Denominazione Prova :	Riferimenti Normativi :	Allegato
ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO	A.S.T.M. D 422-63	**X**
FRAZIONE PASSANTE AL SET ASTM N. 200	A.S.T.M. D 1140-00	
CONTENUTO NATURALE IN ACQUA	A.S.T.M. D 2216-05	
LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG	A.S.T.M. D 4318-05	
PESO DI VOLUME	B.S. 1377-2:1990	
PESO SPECIFICO ASSOLUTO	A.S.T.M. D 854-06	
DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE FISICHE	-	

Note :

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-01
Data 10/03/2010

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 1-1
Profondità (m) : -

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	77.79
Sabbia (%)	21.30
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
P_{200} (%)	0.91
Diam. max (mm)	65.0

GHIAIA E SABBIA

Forma : arrotondata
Durezza : dura e resistente

ALTRI PARAMETRI

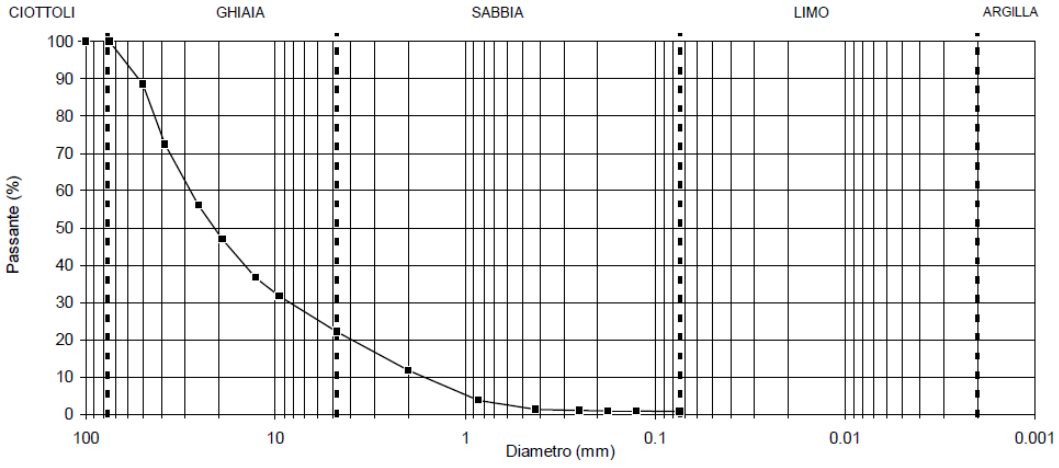
D_{60} (mm)	27.98
D_{30} (mm)	8.37
D_{10} (mm)	1.629
C_c	1.54
C_u	17.18

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
75.00	100.00
50.00	88.54
38.10	72.34
25.40	56.13
19.00	47.06
12.70	36.75
9.50	31.74
4.75	22.21
2.00	11.93
0.85	3.88
0.425	1.38
0.250	1.10
0.177	1.03
0.125	0.98
0.075	0.91

AEROMETRIA

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : SVO

Operatore : GO

Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-02
Data 10/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	Boate 1-2
Profondità (m) :	-
Tipo del Campione :	Rimaneggiato
Descrizione del Materiale :	Argilla sabbiosa di bassa plasticità
Colore :	Bruno
Classificazione U.S.C.S. :	CL

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	9 marzo 2010

Denominazione Prova :	Riferimenti Normativi :	Allegato
ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO	A.S.T.M. D 422-63	**X**
FRAZIONE PASSANTE AL SET ASTM N. 200	A.S.T.M. D 1140-00	
CONTENUTO NATURALE IN ACQUA	A.S.T.M. D 2216-05	
LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG	A.S.T.M. D 4318-05	**X**
PESO DI VOLUME	B.S. 1377-2:1990	
PESO SPECIFICO ASSOLUTO	A.S.T.M. D 854-06	
DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE FISICHE	-	

Note :

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-02
Data 10/03/2010

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 1-2
Profondità (m) : -

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	6.27
Sabbia (%)	33.74
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
P_{200} (%)	59.99
Diam. max (mm)	21.7

GHIAIA E SABBIA

Forma : angolare
Durezza : dura e resistente

ALTRI PARAMETRI

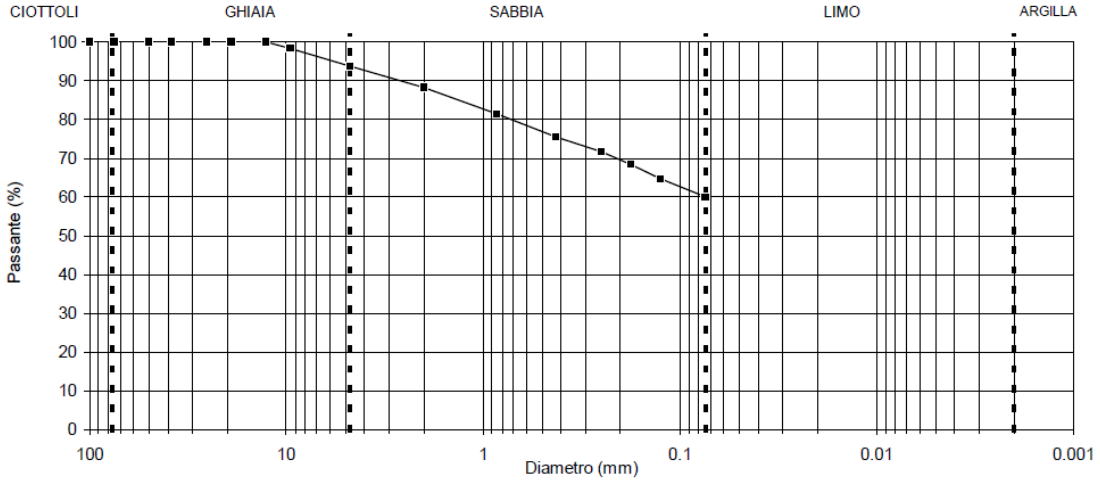
D_{60} (mm)	0.07
D_{30} (mm)	N.D.
D_{10} (mm)	N.D.
C_c	N.D.
C_u	N.D.

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
75.00	100.00
50.00	100.00
38.10	100.00
25.40	100.00
19.00	100.00
12.70	100.00
9.50	98.24
4.75	93.73
2.00	88.25
0.85	81.41
0.425	75.50
0.250	71.74
0.177	68.48
0.125	64.76
0.075	59.99

AEROMETRIA

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : SVO

Operatore : GO

Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-02
Data 10/03/2010

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO - INDICE DI PLASTICITA' - ASTM D4318-05

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 1-2
Profondità (m) : -

LIMITE LIQUIDO (METODO A - MULTIPOINT)

Numero colpi (N)	35	25	15
Peso lordo umido (g)	99.27	103.80	91.03
Peso lordo secco (g)	91.48	94.57	84.57
Tara (g)	69.77	70.01	68.79
Peso netto secco (g)	21.71	24.56	15.78
Peso acqua (g)	7.79	9.23	6.46
Contenuto acqua (%)	35.9	37.6	40.9

DATI REGRESSIONE LINEARE

Pendenza	-0.25
Intercetta	44.45
Coeff. Correl.	-0.98

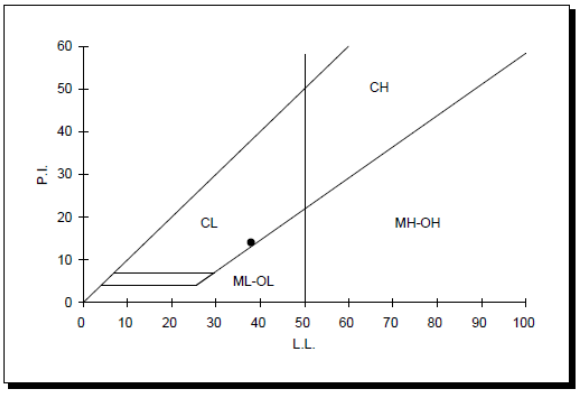
w % (per N=25) 38.1

LIMITE PLASTICO

Peso lordo umido (g)	80.33	84.35
Peso lordo secco (g)	78.60	81.74
Tara (g)	71.35	70.64
Peso netto secco (g)	7.25	11.10
Peso acqua (g)	1.73	2.61
Contenuto acqua (%)	23.9	23.5

w % medio 23.7

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



LIMITE DI LIQUIDITA' 38

LIMITE DI PLASTICITA' 24

INDICE PLASTICITA' 14

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO
Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-03
Data 10/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	Boate 1-3
Profondità (m) :	-
Tipo del Campione :	Rimaneggiato
Descrizione del Materiale :	Sabbia argillosa con ghiaia
Colore :	Bruno
Classificazione U.S.C.S. :	SC

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	9 marzo 2010

Denominazione Prova :	Riferimenti Normativi :	Allegato
ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO	A.S.T.M. D 422-63	**X**
FRAZIONE PASSANTE AL SET ASTM N. 200	A.S.T.M. D 1140-00	
CONTENUTO NATURALE IN ACQUA	A.S.T.M. D 2216-05	
LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG	A.S.T.M. D 4318-05	
PESO DI VOLUME	B.S. 1377-2:1990	
PESO SPECIFICO ASSOLUTO	A.S.T.M. D 854-06	
DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE FISICHE	-	

Note :

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-03
Data 10/03/2010

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO - INDICE DI PLASTICITA' - ASTM D4318-05

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 1-3
Profondità (m) : -

LIMITE LIQUIDO (METODO A - MULTIPOINT)

Numero colpi (N)	31	21	15
Peso lordo umido (g)	41.70	57.73	51.96
Peso lordo secco (g)	34.60	46.22	41.74
Tara (g)	14.80	16.02	16.34
Peso netto secco (g)	19.80	30.20	25.40
Peso acqua (g)	7.10	11.51	10.22
Contenuto acqua (%)	35.9	38.1	40.2

DATI REGRESSIONE LINEARE

Pendenza	-0.27
Intercetta	44.07
Coeff. Correl.	-0.99

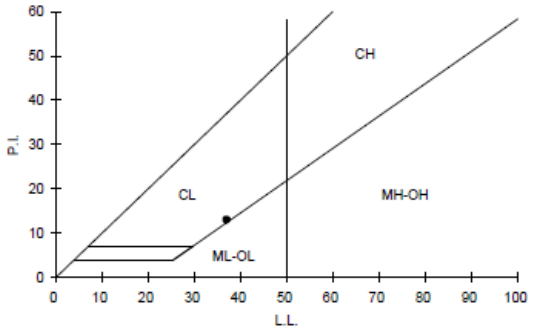
w % (per N=25) 37.4

LIMITE PLASTICO

Peso lordo umido (g)	23.75	24.70
Peso lordo secco (g)	22.34	23.01
Tara (g)	16.44	15.95
Peso netto secco (g)	5.90	7.06
Peso acqua (g)	1.41	1.69
Contenuto acqua (%)	23.9	23.9

w % medio 23.9

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



LIMITE DI LIQUIDITA' 37

LIMITE DI PLASTICITA' 24

INDICE PLASTICITA' 13

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO
Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-03
Data 10/03/2010

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO - INDICE DI PLASTICITA' - ASTM D4318-05

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 1-3
Profondità (m) : -

LIMITE LIQUIDO (METODO A - MULTIPOINT)

Numero colpi (N)	31	21	15
Peso lordo umido (g)	41.70	57.73	51.96
Peso lordo secco (g)	34.60	46.22	41.74
Tara (g)	14.80	16.02	16.34
Peso netto secco (g)	19.80	30.20	25.40
Peso acqua (g)	7.10	11.51	10.22
Contenuto acqua (%)	35.9	38.1	40.2

DATI REGRESSIONE LINEARE

Pendenza	-0.27
Intercetta	44.07
Coeff. Correl.	-0.99

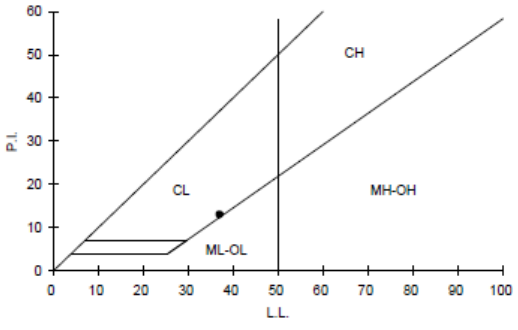
w % (per N=25) 37.4

LIMITE PLASTICO

Peso lordo umido (g)	23.75	24.70
Peso lordo secco (g)	22.34	23.01
Tara (g)	16.44	15.95
Peso netto secco (g)	5.90	7.06
Peso acqua (g)	1.41	1.69
Contenuto acqua (%)	23.9	23.9

w % medio 23.9

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



LIMITE DI LIQUIDITA' 37

LIMITE DI PLASTICITA' 24

INDICE PLASTICITA' 13

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO
Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-04
Data 10/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	Boate 2-1
Profondità (m) :	-
Tipo del Campione :	Rimaneggiato
Descrizione del Materiale :	Argilla di bassa plasticità con sabbia
Colore :	Bruno
Classificazione U.S.C.S. :	CL

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	9 marzo 2010

Denominazione Prova :	Riferimenti Normativi :	Allegato
ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO	A.S.T.M. D 422-63	
FRAZIONE PASSANTE AL SET ASTM N. 200	A.S.T.M. D 1140-00	X
CONTENUTO NATURALE IN ACQUA	A.S.T.M. D 2216-05	
LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG	A.S.T.M. D 4318-05	
PESO DI VOLUME	B.S. 1377-2:1990	
PESO SPECIFICO ASSOLUTO	A.S.T.M. D 854-06	
DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE FISICHE	-	

Note :

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-04
Data 10/03/2010

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 2-1
Profondità (m) : -

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	0.00
Sabbia (%)	26.93
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
P_{200} (%)	73.07
Diam. max (mm)	21.7

GHIAIA E SABBIA

Forma : angolare
Durezza : dura e resistente

ALTRI PARAMETRI

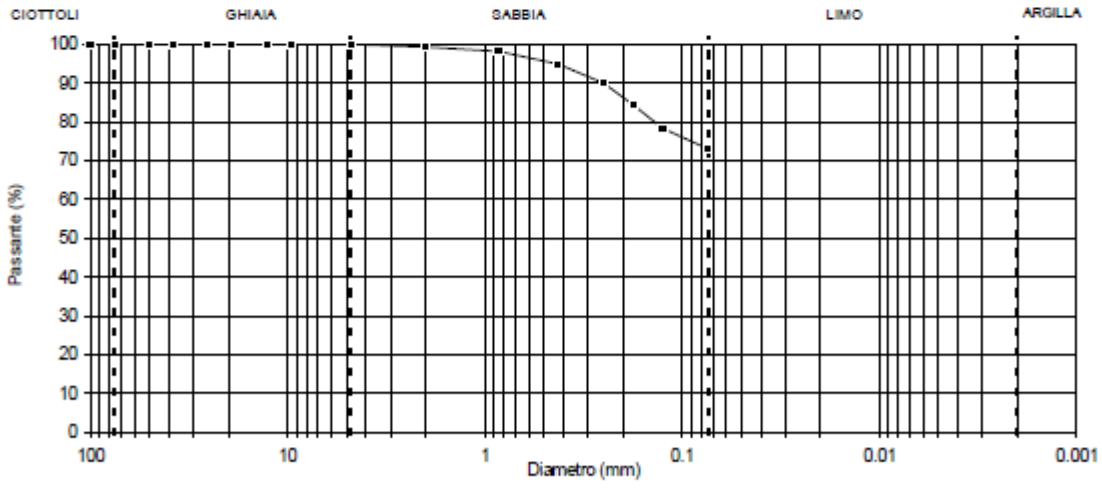
D_{60} (mm)	N.D.
D_{30} (mm)	N.D.
D_{10} (mm)	N.D.
C_c	N.D.
C_u	N.D.

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
75.00	100.00
50.00	100.00
38.10	100.00
25.40	100.00
19.00	100.00
12.70	100.00
9.50	100.00
4.75	100.00
2.00	99.32
0.85	98.20
0.425	94.91
0.250	89.97
0.177	84.45
0.125	78.26
0.075	73.07

AEROMETRIA

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : SVO

Operatore : GO

Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-04
Data 10/03/2010

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO - INDICE DI PLASTICITA' - ASTM D4318-05

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 2-1
Profondità (m) : -

LIMITE LIQUIDO (METODO A - MULTIPOINT)

Numero colpi (N)	35	25	18
Peso lordo umido (g)	103.87	101.23	96.53
Peso lordo secco (g)	95.02	92.15	89.49
Tara (g)	69.80	67.38	71.37
Peso netto secco (g)	25.22	24.77	18.12
Peso acqua (g)	8.85	9.08	7.04
Contenuto acqua (%)	35.1	36.7	38.9

DATI REGRESSIONE LINEARE

Pendenza	-0.22
Intercetta	42.50
Coeff. Correl.	-0.98

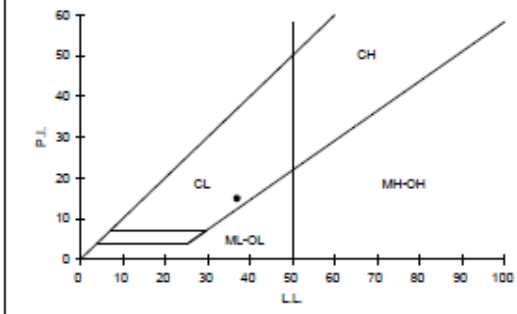
w % (per N=25) 37.1

LIMITE PLASTICO

Peso lordo umido (g)	80.04	84.84
Peso lordo secco (g)	78.42	82.34
Tara (g)	71.34	70.98
Peso netto secco (g)	7.08	11.36
Peso acqua (g)	1.62	2.50
Contenuto acqua (%)	22.9	22.0

w % medio 22.4

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



LIMITE DI LIQUIDITA' 37

LIMITE DI PLASTICITA' 22

INDICE PLASTICITA' 15

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO
Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-05
Data 10/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	Boate 3 - 1
Profondità (m) :	-
Tipo del Campione :	Rimaneggiato
Descrizione del Materiale :	Ghiaia ben gradata
Colore :	Bruno
Classificazione U.S.C.S. :	GW

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	9 marzo 2010

Denominazione Prova :	Riferimenti Normativi :	Allegato
ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO	A.S.T.M. D 422-63	**X**
FRAZIONE PASSANTE AL SET ASTM N. 200	A.S.T.M. D 1140-00	
CONTENUTO NATURALE IN ACQUA	A.S.T.M. D 2216-05	
LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG	A.S.T.M. D 4318-05	
PESO DI VOLUME	B.S. 1377-2:1990	
PESO SPECIFICO ASSOLUTO	A.S.T.M. D 854-06	
DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE FISICHE	-	

Note :

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-05
Data 10/03/2010

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 3 - 1
Profondità (m) : -

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	85.39
Sabbia (%)	11.89
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
P_{200} (%)	2.72
Diam. max (mm)	67.0

GHIAIA E SABBIA

Forma : arrotondata
Durezza : dura e resistente

ALTRI PARAMETRI

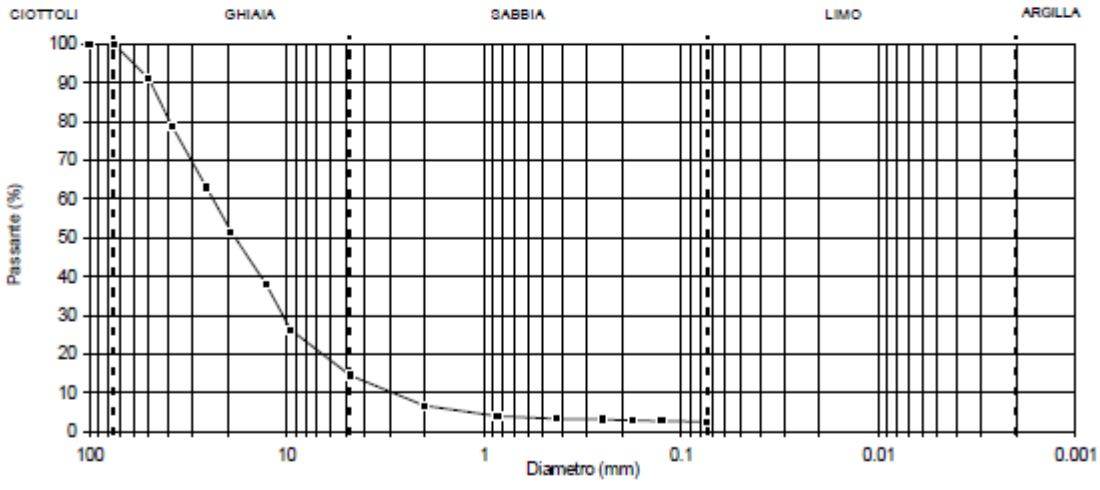
D_{60} (mm)	23.50
D_{30} (mm)	10.39
D_{10} (mm)	2.851
C_c	1.61
C_u	8.24

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
75.00	100.00
50.00	91.07
38.10	78.88
25.40	63.08
19.00	51.56
12.70	38.16
9.50	26.34
4.75	14.61
2.00	6.81
0.85	4.10
0.425	3.34
0.250	3.28
0.177	2.99
0.125	2.89
0.075	2.72

AEROMETRIA

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : SVO

Operatore : GO

Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-05
Data 10/03/2010

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO - INDICE DI PLASTICITA' - ASTM D4318-05

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 3 - 1
Profondità (m) : -

LIMITE LIQUIDO (METODO A - MULTIPOINT)

Numero colpi (N)	35	26	16
Peso lordo umido (g)	43.25	60.01	52.22
Peso lordo secco (g)	37.12	49.20	43.16
Tara (g)	16.23	14.37	16.62
Peso netto secco (g)	20.89	34.83	26.54
Peso acqua (g)	6.13	10.81	9.06
Contenuto acqua (%)	29.3	31.0	34.1

DATI REGRESSIONE LINEARE

Pendenza	-0.25
Intercetta	38.01
Coeff. Correl.	-0.99

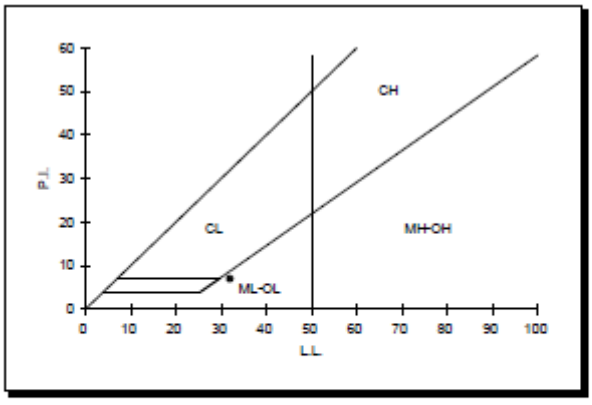
w % (per N=25) 31.7

LIMITE PLASTICO

Peso lordo umido (g)	22.42	23.54
Peso lordo secco (g)	21.22	22.07
Tara (g)	16.40	16.07
Peso netto secco (g)	4.82	6.00
Peso acqua (g)	1.20	1.47
Contenuto acqua (%)	24.9	24.5

w % medio 24.7

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



LIMITE DI LIQUIDITA' 32

LIMITE DI PLASTICITA' 25

INDICE PLASTICITA' 7

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO
Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-06
Data 10/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	Boate 3
Profondità (m) :	-
Tipo del Campione :	Rimaneggiato
Descrizione del Materiale :	Ghiaia limosa
Colore :	Bruno
Classificazione U.S.C.S. :	-

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	9 marzo 2010

Denominazione Prova :	Riferimenti Normativi :	Allegato
ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO	A.S.T.M. D 422-63	X
FRAZIONE PASSANTE AL SET ASTM N. 200	A.S.T.M. D 1140-00	
CONTENUTO NATURALE IN ACQUA	A.S.T.M. D 2216-05	
LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG	A.S.T.M. D 4318-05	
PESO DI VOLUME	B.S. 1377-2:1990	
PESO SPECIFICO ASSOLUTO	A.S.T.M. D 854-06	
DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE FISICHE	-	

Note : Determinazione limiti di consistenza non possibile per mancanza materiale adeguato

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-06
Data 10/03/2010

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 3
Profondità (m) : -

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	73.71
Sabbia (%)	12.57
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
P_{200} (%)	13.72
Diam. max (mm)	62.0

GHIAIA E SABBIA

Forma : arrotondata
Durezza : dura e resistente

ALTRI PARAMETRI

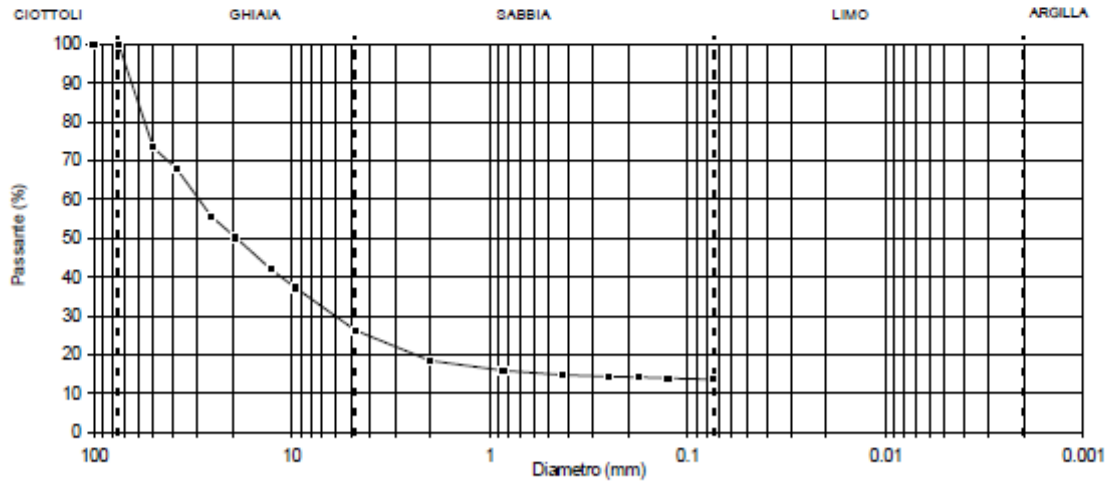
D_{60} (mm)	29.32
D_{30} (mm)	6.01
D_{10} (mm)	N.D.
C_c	N.D.
C_u	N.D.

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
75.00	100.00
50.00	73.35
38.10	68.01
25.40	55.61
19.00	50.14
12.70	42.00
9.50	37.26
4.75	26.29
2.00	18.60
0.85	15.95
0.425	14.93
0.250	14.49
0.177	14.25
0.125	14.03
0.075	13.72

AEROMETRIA

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : SVO

Operatore : GO

Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-07
Data 10/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	Boate 4
Profondità (m) :	-
Tipo del Campione :	Rimaneggiato
Descrizione del Materiale :	Argilla di bassa plasticità con sabbia
Colore :	Bruno
Classificazione U.S.C.S. :	CL

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	9 marzo 2010

Denominazione Prova :	Riferimenti Normativi :	Allegato
ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO	A.S.T.M. D 422-63	X
FRAZIONE PASSANTE AL SET ASTM N. 200	A.S.T.M. D 1140-00	
CONTENUTO NATURALE IN ACQUA	A.S.T.M. D 2216-05	
LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG	A.S.T.M. D 4318-05	X
PESO DI VOLUME	B.S. 1377-2:1990	
PESO SPECIFICO ASSOLUTO	A.S.T.M. D 854-06	
DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE FISICHE	-	

Note :

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-07
Data 10/03/2010

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 4
Profondità (m) : -

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	0.00
Sabbia (%)	18.12
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
P_{200} (%)	81.88
Diam. max (mm)	67.0

GHIAIA E SABBIA

Forma : arrotondata
Durezza : dura e resistente

ALTRI PARAMETRI

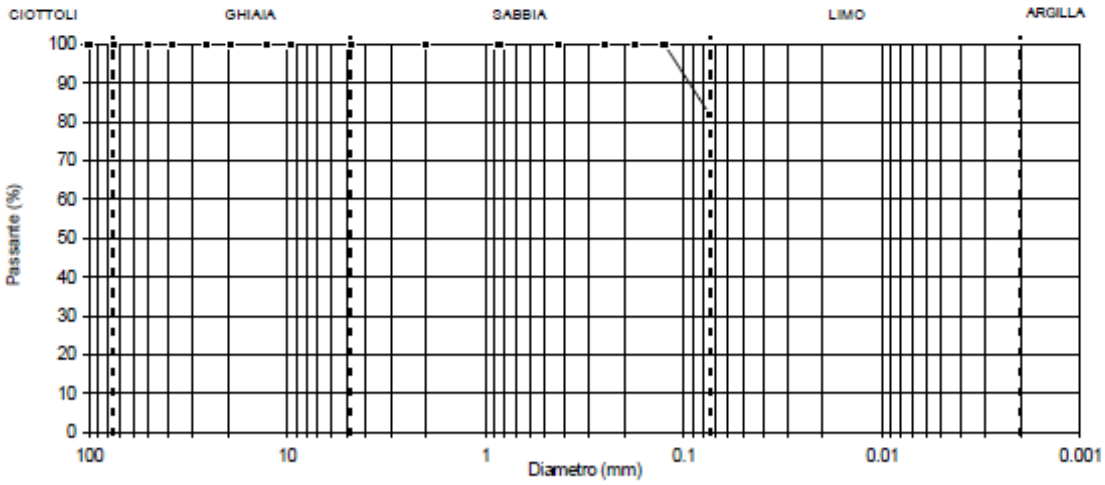
D_{60} (mm)	N.D.
D_{30} (mm)	N.D.
D_{10} (mm)	N.D.
C_c	N.D.
C_u	N.D.

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
75.00	100.00
50.00	100.00
38.10	100.00
25.40	100.00
19.00	100.00
12.70	100.00
9.50	100.00
4.75	100.00
2.00	100.00
0.85	100.00
0.425	100.00
0.250	100.00
0.177	100.00
0.125	100.00
0.075	81.88

AEROMETRIA

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : SVO
Operatore : GO

Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL AND ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via Renata Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-07
Data 10/03/2010

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO - INDICE DI PLASTICITA' - ASTM D4318-05

Cliente : Mediterranea delle Acque Spa
Località : Rapallo - Torrente Boate
Id. campione : Boate 4
Profondità (m) : -

LIMITE LIQUIDO (METODO A - MULTIPOINT)

Numero colpi (N)	32	20	15
Peso lordo umido (g)	42.70	45.52	36.99
Peso lordo secco (g)	35.92	37.54	30.58
Tara (g)	16.55	16.31	14.51
Peso netto secco (g)	19.37	21.23	16.07
Peso acqua (g)	6.78	7.98	6.41
Contenuto acqua (%)	35.0	37.6	39.9

DATI REGRESSIONE LINEARE

Pendenza	-0.27
Intercetta	43.62
Coeff. Correl.	-0.98

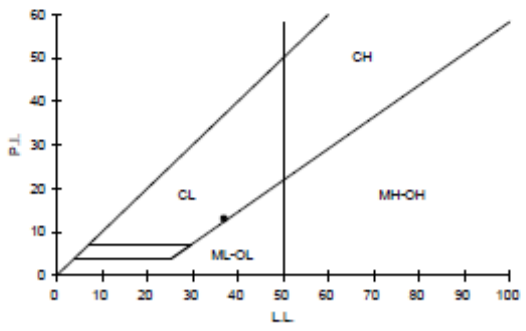
w % (per N=25) 36.8

LIMITE PLASTICO

Peso lordo umido (g)	23.08	24.23
Peso lordo secco (g)	21.77	22.64
Tara (g)	16.37	16.04
Peso netto secco (g)	5.40	6.60
Peso acqua (g)	1.31	1.59
Contenuto acqua (%)	24.3	24.1

w % medio 24.2

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



LIMITE DI LIQUIDITA' 37

LIMITE DI PLASTICITA' 24

INDICE PLASTICITA' 13

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO
Note :

G.E.T.
GEOTECHNICAL and ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via R. Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-08
Data 23/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	1-1 / 3-1
Profondità (m) :	-
Tipo del Campione :	Rimaneggiato
Descrizione del Materiale :	Ghiaia ben gradata con sabbia

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	15 marzo 2010
Denominazione Prova :	**DETERMINAZIONE DENSITA' MINIMA E MASSIMA**
Riferimenti Normativi :	**ASTM D4254-00 - D4253-00**

Note :

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Cristiano Pastore

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	1-1 / 3-1
Profondità (m) :	-
Descrizione materiale :	Ghiaia ben gradata con sabbia

DENSITA' MINIMA DI UN TERRENO - ASTM 4254-00

Metodo utilizzato : A

	TEST 1	TEST 2
Massa campione secco (g) :	4790.0	4790.0
Volume della fustella (cm^3) :	3240.9	3240.9

Densità minima media (kN/m^3) : 14.50

DENSITA' MASSIMA DI UN TERRENO CON TAVOLA VIBRANTE - ASTM 4253-00

Metodo utilizzato : 1B (Metodo Umido)

Dimensioni fustella (cm) : diametro 15.21 altezza 15.63

	TEST 1	TEST 2
Massa campione secco (g) :	3740.0	3740.0
Volume terreno addensato (cm^3) :	2191.0	2192.4

Densità massima media (kN/m^3) : 16.74

NOTE :

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO

G.E.T.
GEOTECHNICAL and ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via R. Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-09
Data 23/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	1-1 / 3-1
Profondità :	-
Tipo del Campione :	Ricostruito
Descrizione del Materiale :	Ghiaia ben gradata con sabbia

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	18 marzo 2010
Denominazione Prova :	**PROVA DI PERMEABILITÀ A CARICO COSTANTE**
Riferimenti Normativi :	**A.S.T.M. D 5084-00**

Note : Campione ricostruito con densità relativa pari al 30%

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

PROVA DI PERMEABILITÀ A CARICO COSTANTE - A.S.T.M. D 5084-00

Cliente:	Mediterranea delle Acque Spa				
Località:	Rapallo - Torrente Boate				
Identificazione campione:	1-1 / 3-1				
Dimensioni provino (cm)		Altezza:	17.75	Diam:	15.24

CONDIZIONI INIZIALI

Peso di volume (kN/m^3)	=	17.13
Contenuto in acqua (w%)	=	12.86
Densità secca (kN/m^3)	=	15.18
Peso specifico assoluto	=	2.650
Indice dei vuoti (e)	=	0.712
Grado di saturazione (Sr%)	=	47.8

Portata (cm^3)	=	1150.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	75
Coeff.perm. K (cm/s)	=	9.95E-03
Portata (cm^3)	=	1210.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	75
Coeff.perm. K (cm/s)	=	1.05E-02
Portata (cm^3)	=	905.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	60
Coeff.perm. K (cm/s)	=	9.78E-03

VALORE MEDIO DI K = 1.01E-02 cm/s TEMP.°C : 20.5

VALORE DI K (20°C) = 9.94E-03 cm/s

NOTE : Prova eseguita in cella triassiale

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO

G.E.T.
GEOTECHNICAL and ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via R. Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-10
Data 23/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	1-1 / 3-1
Profondità :	-
Tipo del Campione :	Ricostruito
Descrizione del Materiale :	Ghiaia ben gradata con sabbia

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	18 marzo 2010
Denominazione Prova :	**PROVA DI PERMEABILITÀ A CARICO COSTANTE**
Riferimenti Normativi :	**A.S.T.M. D 5084-00**

Note : Campione ricostruito con densità relativa pari al 50%

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

PROVA DI PERMEABILITÀ A CARICO COSTANTE - A.S.T.M. D 5084-00

Cliente:	Mediterranea delle Acque Spa				
Località:	Rapallo - Torrente Boate				
Identificazione campione:	1-1 / 3-1				
Dimensioni provino (cm)		Altezza:	17.75	Diam:	15.24

CONDIZIONI INIZIALI

Peso di volume (kN/m^3)	=	17.55
Contenuto in acqua (w%)	=	13.23
Densità secca (kN/m^3)	=	15.50
Peso specifico assoluto	=	2.650
Indice dei vuoti (e)	=	0.677
Grado di saturazione (Sr%)	=	51.8

Portata (cm^3)	=	985.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	90
Coeff.perm. K (cm/s)	=	7.10E-03
Portata (cm^3)	=	998.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	90
Coeff.perm. K (cm/s)	=	7.19E-03
Portata (cm^3)	=	846.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	75
Coeff.perm. K (cm/s)	=	7.32E-03

VALORE MEDIO DI K = 7.20E-03 cm/s TEMP.°C : 20.5
VALORE DI K (20°C) = 7.11E-03 cm/s

NOTE : Prova eseguita in cella triassiale

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO

G.E.T.
GEOTECHNICAL and ENGINEERING TESTING srl
Laboratorio Geotecnico - Via R. Bianchi 38 - Genova

Cert. N°. 10-026-011
Data 23/03/2010

Cliente :	Mediterranea delle Acque Spa
Località :	Rapallo - Torrente Boate
Identificazione Campione :	1-1 / 3-1
Profondità :	-
Tipo del Campione :	Ricostruito
Descrizione del Materiale :	Ghiaia ben gradata con sabbia

Data Ricevimento :	2 marzo 2010
Data Esecuzione Prova :	18 marzo 2010
Denominazione Prova :	**PROVA DI PERMEABILITÀ A CARICO COSTANTE**
Riferimenti Normativi :	**A.S.T.M. D 5084-00**

Note : Campione ricostruito con densità relativa pari al 75%

I risultati relativi al presente certificato sono riferiti esclusivamente al campione in oggetto

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Sergio Vergano

Operatore : Dott. Geol. Giuseppe Ottonello

PROVA DI PERMEABILITÀ A CARICO COSTANTE - A.S.T.M. D 5084-00

Cliente:	Mediterranea delle Acque Spa			
Località:	Rapallo - Torrente Boate			
Identificazione campione:	1-1 / 3-1			
Dimensioni provino (cm)	Altezza:	17.75	Diam:	15.24

CONDIZIONI INIZIALI

Peso di volume (kN/m^3)	=	18.34
Contenuto in acqua (w%)	=	13.74
Densità secca (kN/m^3)	=	16.12
Peso specifico assoluto	=	2.650
Indice dei vuoti (e)	=	0.612
Grado di saturazione (Sr%)	=	59.4

Portata (cm^3)	=	725.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	105
Coeff.perm. K (cm/s)	=	4.48E-03
Portata (cm^3)	=	886.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	120
Coeff.perm. K (cm/s)	=	4.79E-03
Portata (cm^3)	=	778.0
Carico Idraulico (cm)	=	150.0
Tempo (sec)	=	105
Coeff.perm. K (cm/s)	=	4.81E-03

VALORE MEDIO DI K = 4.69E-03 cm/s TEMP.°C : 20.5
VALORE DI K (20°C) = 4.63E-03 cm/s

NOTE : Prova eseguita in cella triassiale

Direttore Tecnico : SVO Operatore : GO

Dettaglio Prospezione sismica

Geofisica e Ambiente sas
di G. Baudoino & C.
INDAGINI GEOGNOSTICHE • INDAGINI GEOFISICHE

INDAGINE GEOFISICA DI TIPO NOISE ANALYSIS SURFACE WAVES NASW E TOMOGRAFIA SISMICA SU ONDE DI TAGLIO ESEGUITA NEL COMUNE DI RAPALLO

COMMITTENTE: Mediterranea delle Acque spa

Genova, dicembre 2009

Indice

1. Premessa **pag. 2**

2. Descrizione del metodo NASW **pag. 2**

3. Acquisizione ed Elaborazione del Noise sismico **pag. 4**

3.1 Strumentazione **pag. 4**

4. Risultati **pag. 5**

5. Tomografia sismica **pag. 7**

5.1 Descrizione del metodo **pag. 7**

5.2 Modalità operative **pag. 8**

5.3 Principali "step" d'analisi **pag. 8**

5.4 Geometria di acquisizione e tempi di arrivo **pag. 9**

5.5 Parametri d'elaborazione delle sezioni topografiche **pag. 13**

6. Conclusioni **pag. 13**

1. Premessa

In data 14/10/2009 è stata eseguita nel Comune di Rapallo, un'indagine sismica di tipo Noise Analysis Surface Waves NASW e di tomografia sismica su onde di taglio (onde S).

2. Descrizione del metodo NASW

Il metodo d'indagine sismica passiva denominato NASW (Noise Analysis of Surface Waves), si basa sulle particolari leggi fisico-matematiche, che governano la propagazione delle onde sismiche superficiali, in mezzi stratificati (monodimensionali o 1-D). In tali condizioni, sia le onde di Love sia le onde di Rayleigh, hanno carattere dispersivo: si ha una forte dipendenza della velocità di propagazione (V_R per le onde di Rayleigh e V_R per le onde di Love) dalla frequenza del moto sismico. In ipotesi di mezzo stratificato, le caratteristiche della "curva di dispersione" $V_R = V_R (f)$ sono strettamente collegate alle caratteristiche stratigrafiche dell'area indagata: la struttura della curva di dispersione dipende quasi esclusivamente dal profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio $Vs = Vs(z)$. Ad esempio, nel caso di un aumento di velocità di propagazione delle onde di taglio con la profondità, la curva di dispersione assume un andamento caratteristico, evidenziando bassi valori di velocità di propagazione delle onde di Rayleigh in corrispondenza di alte frequenze ed alti valori di tale velocità in corrispondenza di basse frequenze. La totalità dei metodi d'indagine sismologica basati sull'analisi delle onde superficiali, sia essi passivi sia attivi, prevedono specifiche tecniche di acquisizione dei segnali sismici, identificazione delle onde superficiali, stima della curva di dispersione ed inversione o modeling di questa ultima, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs.

La peculiare caratteristica che differenzia in modo sostanziale il metodo NASW dai metodi d'indagine attivi, basati su un'artificiale energizzazione sismica del terreno (SASW Nazarena and Stokoe 1984; MASW Park et al., 1999), risiede nell'utilizzo del rumore sismico di fondo ("noise sismico" o "microtremore") come sorgente d'onde superficiali. L'analisi sperimentale dei microtremori ha, infatti, evidenziato che il noise sismico possiede, in genere, caratteristiche spettrali particolarmente adatte all'esplorazione del primo sottosuolo (significativa densità di energia nella banda 3 – 25 Hz). L'utilizzo di sorgenti sismiche "naturali" rende il metodo NASW particolarmente idoneo per indagini in contesti urbani rumorosi, dove l'utilizzo di

efficaci sorgenti sismiche comporterebbe, un proibitivo aumento dei costi dell'indagine geofisica.

Per una dettagliata ed esaustiva descrizione delle tecniche di misura e delle metodologie d'analisi del noise sismico si rimanda a:

- NaKamura Y. 1989. A method for dynamic characteristics extimation of subsurface using microtremor on ground surface. QR Raylw Tech. Res.Inst., 30, 25-33.
- Nazarian S. e Stokoe K. H. 1984. In situ shear wave velocities from spectral analysis of surface waves in Proceedings of the world Conference on Earthquake Engineering, Vol. 8, San Francisco, 21-28.
- Louie J. N. 2001 "shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arreys" Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 2 347-364 pp.
- Okada 2004, Saito M. 1979 "Computation of reflectivity and surface wave dispersion curves for layered media" Butsuri-Tanko 32, n° 5 15-26pp

3. Acquisizione ed elaborazione del "Noise" sismico

3.1 Strumentazione

- sismometro Abem Terraloc Mark 6 - 24 canali, le cui specifiche tecniche sono riportate in Appendice.
- 24 geofoni, di frequenza caratteristica pari a 4.5 Hz.
- 2 cavi geofonici da 12 prese l'uno.

Le tracce sismiche sono state acquisite lungo un profilo secondo la geometria riportata di seguito:

- interdistanza geofonica 3.0 m lunghezza totale dello stendimento 69 m;

Il segnale sismico è stato acquisito con passo di campionamento di 2 ms e con numero di campioni di 16384, tali parametri hanno consentito di registrare segnali sismici di lunghezza pari a 32768 ms. Sono state registrate per ogni sezione 10 "finestre" di rumore sismico.

Senza entrare nei dettagli operativi relativi all'elaborazione del noise le principali fasi di "processing" possono essere riassunti nei seguenti punti:

1. Pre-processing dei records di noise sismico (analisi delle caratteristiche medie del "noise", per verificarne la qualità sia in termini di stazionarietà spazio-temporale e sia in termini di coerenza spettrale) che consente di individuare il range di frequenze ottimale 3 – 25 Hz) da utilizzare nelle fasi successive di elaborazione.
2. Trasformazione dei records di noise sismico secondo due passaggi successivi. In primo luogo è stata operata la trasformazione dal dominio T-X (tempo – distanza) al dominio tau-p (tempo intercetta -"slowness" o reciproco della velocità apparente) e successivamente dal dominio tau-p al dominio f-p (frequenza - "slowness") "p-f Image" (un'elaborazione statistica di tutti i records di tipo p-f ed una procedura di normalizzazione hanno consentito di ottenere il diagramma indicato come "p-f image").
3. "picking" della curva di dispersione, (è associato ad un certo numero di punti una o più "slowness" 1/V per alcune frequenze.

Nell'immagine "slowness-frequency" (p-f) (spettro di potenza normalizzato in funzione della frequenza f e del parametro p), sono messi in evidenza gli andamenti

che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa ed è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo, da quelle associabili ad altri tipi di onde (onde di Rayleigh di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

La curva di dispersione $V_R = V_R(f)$ è stata in seguito utilizzata per stimare il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio, adottando una metodologia di modeling diretto (Saito 1984), che consente di ottenere, attraverso approssimazioni successive ("trial and error"), una funzione $Vs = Vs(z)$, tale da minimizzare il misfit tra la curva di dispersione teorica e curva di dispersione osservata.

4. Risultati

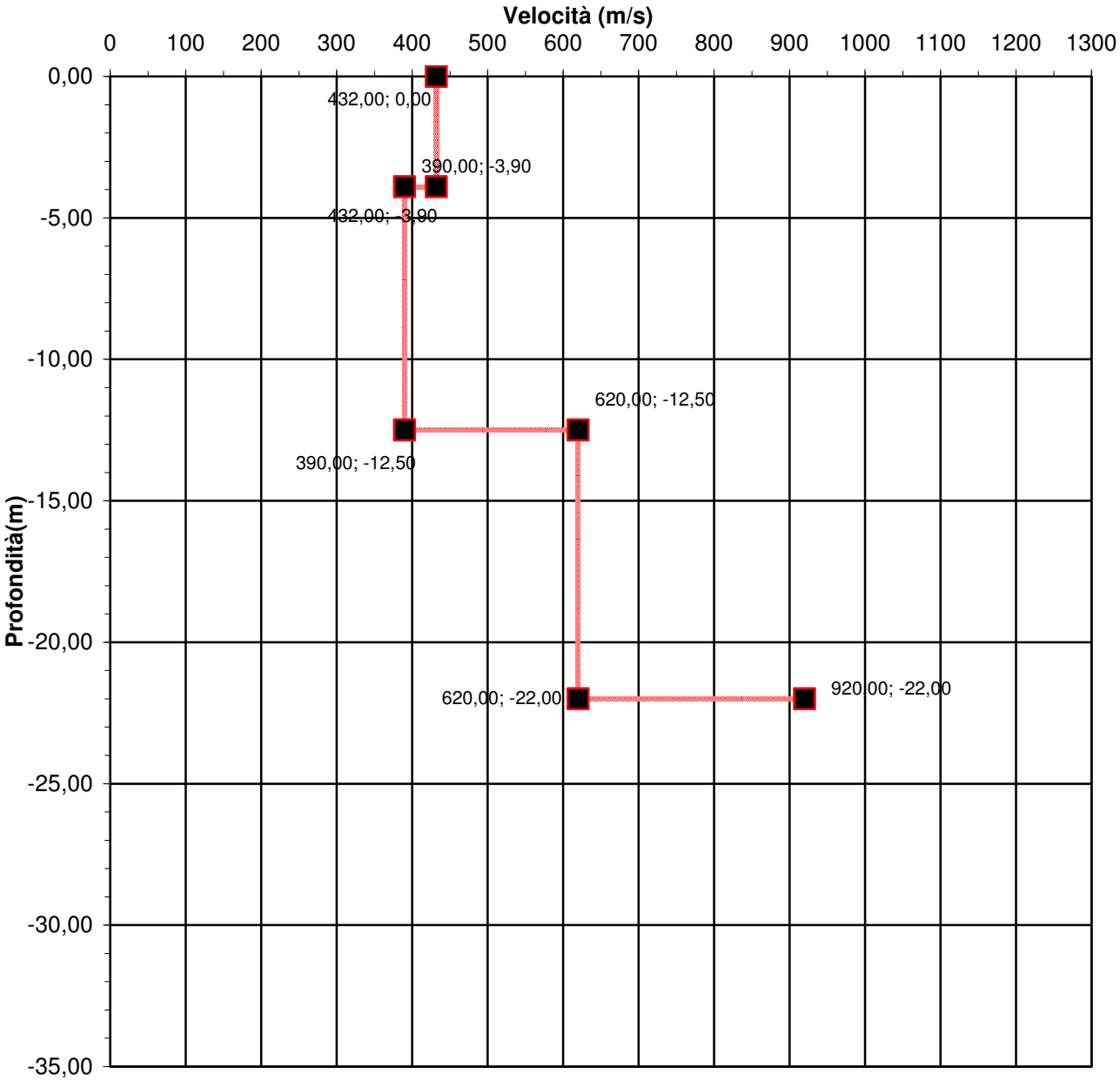
Per ogni indagine di tipo NASW verranno di seguito riportati:

a) Rappresentazione in scala cromatica dello spettro di potenza "p-f Image" utilizzato per fare il "picking" della curva di dispersione sperimentale.

b) Profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio $Vs = Vs(z)$.

Profilo - NASW

Velocità delle onde di taglio Vs (m/s)



PROFILO	
Profondità (m)	**Vs (m/s)**
0,00	432
-3,90	432
-3,90	390
-12,5	390
-12,5	620
-22	620
-22	920

5. Tomografia sismica

Tramite questo tipo d'indagine si ottiene una sezione "tomografica" bidimensionale, e cioè un grafico in cui ad ogni coppia distanza/profondità, corrisponde un valore di velocità sismica. Tale campo di velocità sismiche (V=(x,z)), rappresentato mediante una gamma di colori, viene associato alle caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo indagato in relazione alle informazioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito stesso.

5.1 Descrizione del metodo

Come ogni prospezione geofisica, anche per l'esecuzione della tomografia sismica di superficie su onde P si possono distinguere due fasi: 1) l'acquisizione dei dati sul terreno; 2) l'elaborazione degli stessi. La prima fase prevede l'utilizzo di ricevitori (**geofoni**) infissi sulla superficie del terreno lungo un allineamento e comunicanti con un registratore (**sismometro**); il sismometro registra le onde elastiche generate mediante una energizzazione impulsiva del terreno (in genere il colpo di una mazza su di una piastra) ripetuta più volte lungo la linea dei geofoni (tali punti vengono denominati "**shot point**"). La posizione nello spazio dei geofoni e degli shot point costituiscono la "**geometria di acquisizione**", che nel nostro caso risulta essere bidimensionale. Sempre in questa fase occorre impostare i corretti parametri per l'acquisizione che sono in funzione della geometria, dello scopo dell'indagine, del disturbo ambientale.

L'elaborazione si svolge secondo i seguenti passi: trasformazione della geometria di acquisizione in un profilo topografico; lettura dei tempi di arrivo delle onde sismiche (dati reali); costruzione di un "**modello di velocità**" ; impostazione dei parametri per l'esecuzione del programma di "inversione"; esecuzione iterativa del programma di inversione (vedi nel seguito).

Il risultato della tomografia viene presentato sotto forma di una sezione bidimensionale in cui ad ogni coppia distanza/profondità, corrisponde un valore di velocità sismica. Tale campo di velocità sismiche (V=(x,z)), rappresentato mediante una gamma di colori.

5.2 Modalità operative

L'indagine è stata sviluppata mediante l'esecuzione di un profilo tomografico, realizzato con l'ausilio di 24 geofoni e 2 "shot point".

L'acquisizione dei dati è stata eseguita con la seguente attrezzatura:

- sismografo abem Terraloc Mark 6, 24 canali, le cui caratteristiche tecniche sono fornite in allegato;
- 24 geofoni per il Profilo1 e 21 geofoni per il Profilo2
- geofoni di frequenza centrale di 10 Hz;
- energizzatore per onde di taglio
- massa battente da 10 kg

Dopo la fase d'acquisizione in campagna, si è proceduto alla lettura dei tempi d'arrivo delle onde di compressione (picking) di tutti gli "shot" eseguiti. L'elaborazione dei dati è svolta utilizzando una metodologia non-lineare al fine di modelizzare correttamente la potenziale presenza di eterogeneità laterali di velocità all'interno della sezione tomografica.

L'elaborazione dei dati è stata condotta utilizzando il software commerciale Seis Opt Pro della SeisOpt

5.3 Principali "step" d'analisi

- Scelta del modello di propagazione iniziale che risulta non critico con il metodo Generalized Simulatet – Annealing, in quanto il modello finale ottenuto non dipende dal modello iniziale (*A generalized-Annealing Optimization for Inversio of First-Arrival Times, Sathish K. Pullammanappallil and John N. Louie- Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84 n. 5 pp. 1397, October 1994*)

- una soluzione alle differenze finite dell'equazione eikonal calcola il percorso dei raggi attraverso il modello di velocità prescelto, attraverso la suddivisione del sottosuolo in griglie di una determinata dimensione e determina il least-square error E_0.

- partendo da un modello di velocità costante e definita una griglia 2D, il modello è perturbato casualmente, cioè, vengono inserite casualmente aree con differenti velocità e di conseguenza parte del modello è variato.

- I tempi sono calcolati utilizzando l'algoritmo del simulated-anealling. Viene calcolato l'errore least-square-error E_1 tra i tempi misurati e quelli teorici .Nel caso in cui l'errore è minore della ripetizione precedente il modello perturbato è accettato. Anche se il modello ha errore più grande, potrebbe essere condizionatamente accettato basato sui criteri di probabilità dati nella carta di riferimento. Questo processo (di perturbazione e d'accettazione) è eseguito per

numerose mila ripetizioni (50.000 e più), fino a quando il modello non converge ad una soluzione. Con il programma Pro SeisOpt (2D), vengono provati vari parametri nei modelli per assicurare una buona convergenza del risultato.

5.4 Geometria di acquisizione e Tempi di arrivo

DISTANZA INTERGEOFONICA (DI) 3,0 m

LUNGHEZZA TOTALE DELLA STESA 69,00 m

```
Creator: TERRALOC MK6  Ver 2.22   Serial number: 4981451

Record:                 1
Sampling interval:      0.100  ms
Number of samples:      1024  (102.4 ms)
Delay:                  0      ms
Highpass filter:        Off
Notch filter:           Off
Digital filter:         None


================================================================================

SHOT LOCATION:              X = 0.000 m   Y = 0.000 m   Z = 0.000 m
```

RECEIVER LOCATIONS AND FIRST ARRIVALS:

Trace	X (m)	Y (m)	Z (m)	First arrivals (ms)
1	0	0	0	
2	3	0	0	11,4
3	6	0	0	30,2
4	9	0	0	50,4
5	12	0	0	53
6	15	0	0	83,8
7	18	0	0	77,3
8	21	0	0	80
9	24	0	0	83,3
10	27	0	0	84,7
11	30	0	0	86
12	33	0	0	87,3
13	36	0	0	88
14	39	0	0	89,4
15	42	0	0	90
16	45	0	0	90,7
17	48	0	0	91,4
18	51	0	0	92,7
19	54	0	0	94
20	57	0	0	
21	60	0	0	
22	63	0	0	

23	66	0	0
24	69	0	0

Creator: TERRALOC MK6 Ver 2.22 Serial number: 4981451

Record: 2
Sampling interval: 0.100 ms
Number of samples: 1024 (102.4 ms)
Delay: 0 ms
Highpass filter: Off
Notch filter: Off
Digital filter: None

==========

SHOT LOCATION: X = 4.500 m Y = 0.000 m Z = 0.000 m

RECEIVER LOCATIONS AND FIRST ARRIVALS:

Trace	X (m)	Y (m)	Z (m)	First arrivals (ms)
1	0	0	0	14,96
2	3	0	0	3,4
3	6	0	0	4,08
4	9	0	0	10,2
5	12	0	0	25,16
6	15	0	0	33,32
7	18	0	0	54,4
8	21	0	0	62,56
9	24	0	0	72,08
10	27	0	0	74,12
11	30	0	0	77,52
12	33	0	0	78,88
13	36	0	0	79,56
14	39	0	0	80,92
15	42	0	0	82,96
16	45	0	0	82,96
17	48	0	0	85
18	51	0	0	85
19	54	0	0	86,36
20	57	0	0	0
21	60	0	0	0
22	63	0	0	0
23	66	0	0	0
24	69	0	0	0

Creator: TERRALOC MK6 Ver 2.22 Serial number: 4981451

Record: 4
Sampling interval: 0.100 ms

Number of samples: 1024 (102.4 ms)
Delay: 0 ms
Highpass filter: Off
Notch filter: Off
Digital filter: None

==========

SHOT LOCATION: X = 61.500 m Y = 0.000 m Z = 0.000 m

RECEIVER LOCATIONS AND FIRST ARRIVALS:

Trace	X (m)	Y (m)	Z (m)	First arrivals (ms)
1	0	0	0	88,9
2	3	0	0	87,1
3	6	0	0	85,6
4	9	0	0	83,2
5	12	0	0	81,3
6	15	0	0	79,4
7	18	0	0	78,5
8	21	0	0	74
9	24	0	0	69,3
10	27	0	0	66,4
11	30	0	0	64,2
12	33	0	0	60,3
13	36	0	0	56,8
14	39	0	0	55,3
15	42	0	0	53,4
16	45	0	0	52,9
17	48	0	0	45,3
18	51	0	0	33,7
19	54	0	0	22,1
20	57	0	0	14,2
21	60	0	0	5
22	63	0	0	0
23	66	0	0	0
24	69	0	0	0

Creator: TERRALOC MK6 Ver 2.22   Serial number: 4981451

Record: 5
Sampling interval: 0.100 ms
Number of samples: 1024 (102.4 ms)
Delay: 0 ms
Highpass filter: Off
Notch filter: Off
Digital filter: None

==========

SHOT LOCATION: X = 37.500 m Y = 0.000 m Z = 0.000 m

RECEIVER LOCATIONS AND FIRST ARRIVALS:

Trace	X (m)	Y (m)	Z (m)	First arrivals (ms)
1	0	0	0	66,98
2	3	0	0	64,43
3	6	0	0	59,33
4	9	0	0	56,78
5	12	0	0	54,74
6	15	0	0	53,38
7	18	0	0	51
8	21	0	0	53,38
9	24	0	0	47,94
10	27	0	0	34,34
11	30	0	0	21,08
12	33	0	0	13,94
13	36	0	0	5,1
14	39	0	0	5,78
15	42	0	0	16,32
16	45	0	0	23,8
17	48	0	0	39,44
18	51	0	0	50,66
19	54	0	0	54,4
20	57	0	0	57,63
21	60	0	0	58,82
22	63	0	0	60,01
23	66	0	0	0
24	69	0	0	0

5.5 Parametri d'elaborazione delle sezioni topografiche

I parametri utilizzati per le tre stese sono indicati di seguito:

Modello di velocità iniziale crescente con la profondità da 150 m/s a 1500 m/s.

Le celle utilizzate per il calcolo dei tempi teorici hanno lato di 0,50 m.

Numero d'iterazioni pari a 101.000

6. Conclusioni

In allegato sono riportati la sezione ottenuta dall'interpretazione della tomografia sismica.

I ricevitori (geofoni) e gli shot utilizzati per l'interpretazione sono quelli indicati nelle sezioni allegate.

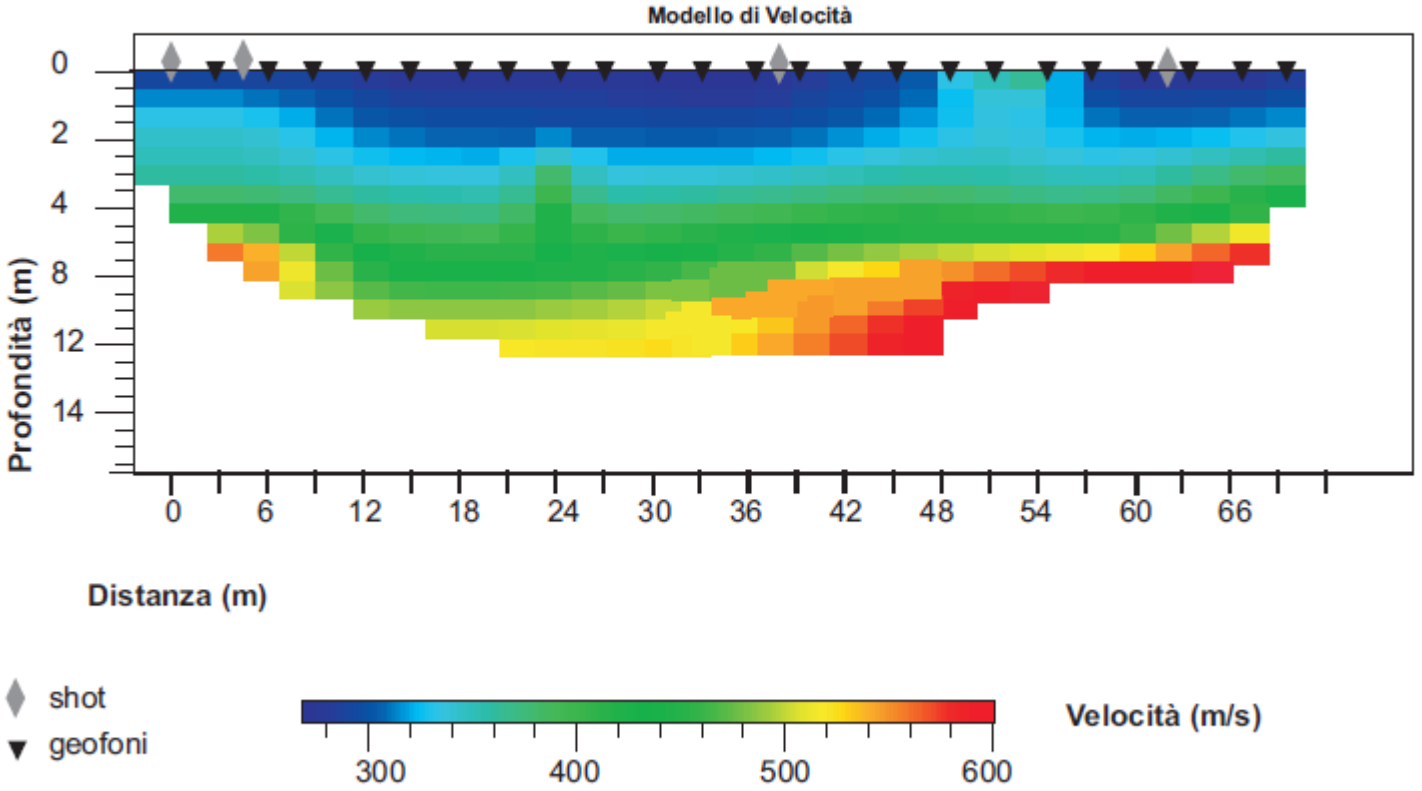
Nella sezione di tomografia sismica sono indicate le variazioni di velocità con la profondità e con la distanza.

I due profili quello ottenuto con la tomografia su onde di taglio e quello con il metodo del "noise" sono tra loro confrontabili con una sola differenza che il primo metodo mostra velocità sempre crescenti mentre il secondo mostra una diminuzione di velocità al di sotto dei 3,9 m che potrebbe essere imputabile alla maggiore saturazione dei depositi presenti, in quanto le onde di taglio non si propagano in acqua ma solo nello scheletro solido. Viene di seguito riportata una indicazione di stratigrafia in relazione alle velocità delle onde di taglio ed alle conoscenze geologiche del sito indagato.

Profondità (m)		**Vs (m/s)**
0,00		
-0,5-1	Alluvioni poco addensate	300
1.00 -3,5-4,0	Depositi addensati scarsamente saturi ad es. depositi argillosi	420-450
4.00-12,5	Alluvioni mediamente addensate sature	390-400
12.50 -22	Alluvioni molto addensate e/o substrato roccioso estremamente fratturato e alterato	620
> 22	Substrato roccioso	920

Geofisica e Ambiente

Tomografia sismica su onde di taglio (ondeS)



Geofisica e Ambiente sas - sede legale:via Delle Peschiere, 4 - 17025 Loano (SV) - Tel/Fax 0194508117- Uff:Via Nino Franchi 4r - 16148 Genova
Tel 0103990226 - Fax 0108631917 - P.I.03852810104 - Iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. N° 131468