autostrade per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema
A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

PARTE GENERALE

Relazione di caratterizzazione ambientale

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 **RESPONSABILE PROGETTO GENOVA**	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 **RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA**	Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 **RESPONSABILE FUNZIONE STP**

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO				DATA:	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE			n.	data
–	codice commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo	MAGGIO 2011	1	APRILE 2016
–	1107 1205		APG	0006 – 1	SCALA: –		

spea ENGINEERING gruppo Atlantia	**RESPONSABILE PROGETTO GENOVA** Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	Dott. Francesco Cipolli
	CONSULENZA A CURA DI :	IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	

	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia R.U.P. – Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.
THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.

INDICE

1 PREMESSA 3
2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO PROGETTUALE 5
3 CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEI TERRENI 7
3.1 Letteratura scientifica 7
3.1.1 Dati analitici degli stream sediments (DipTeRis – Università di Genova) 8
3.2 Caratterizzazione ambientale di progetto 14
3.2.1 Individuazione degli ambiti di intervento 14
3.2.2 Indagini campagna 2006-2007 15
3.2.3 Indagini campagna 2010-2011-2012 17
3.2.4 Indagini campagna 2015-2016 23
3.2.5 Indagini amianto 24
3.2.6 Risultati delle indagini ambientali suddivisi per ambiti 28
4 CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI IN SCAVO MECCANIZZATO 42
4.1 Le tecniche di scavo meccanizzato e il processo di condizionamento dei terreni 44
4.2 Indicazioni sul condizionamento dei terreni interessati da scavo EPB 46
4.2.1 Tipologia di additivi 49
4.2.2 Valutazioni sul condizionamento dei terreni 50
4.2.3 Prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione 52
4.2.4 Valutazioni sul comportamento delle serpentiniti 53
4.3 Contenuto residuo di bentonite nei terreni interessati da scavo HDS 53
4.3.1 La bentonite 54
4.3.2 Studio sul contenuto residuo 55
4.3.3 Prove di slump con bentonite 56
5 PROVE SPERIMENTALI DI CARATTERIZZAZIONE CHIMICA SUI TERRENI DI RISULTA DELLO SCAVO MECCANIZZATO 57
5.1 Nota sull'attività svolta 57
5.2 Metodologia di indagine 58
5.2.1 Caratterizzazione chimica dei terreni 58
5.2.2 Prove di lisciviazione sui materiali rocciosi in acqua deionizzata ed in acqua di mare 59
5.3 Analisi di laboratorio 60
5.3.1 Caratterizzazione chimica 60
5.3.2 Test di cessione su eluato 61
6 INDAGINI AMBIENTALI SUI SEDIMENTI MARINI 68
7 INDAGINI AMBIENTALI SULLE ACQUE DI FALDA 74
7.1 Conoscenza dello stato qualitativo degli acquiferi interessati 74

8 MONITORAGGIO DELLE FIBRE AERODISPERSE 80

8.1 Campagna di rilievo delle fibre di amianto in aria nelle aree di interesse progettuale 81

9 SIGNIFICATO DEL FONDO NATURALE NELLE MATRICI AMBIENTALI 85

9.1 Fondo naturale nei terreni 86

9.2 Fondo naturale nei sedimenti marini 87

9.3 Fondo naturale delle fibre aerodisperse in aria 88

10 PROVE SPERIMENTALI SULLE OPERAZIONE DI SVERSAMENTO NEL DEPOSITO DEFINITIVO DELL'OPERA A MARE 90

10.1 Modellazione del potenziale rilascio nell'interfaccia tra acqua di mare e aria 90

10.1.1 Obiettivi della sperimentazione con modellazione fisica 91

10.1.2 Elementi principali della simulazione 91

10.1.3 Misure e rilievi eseguiti durante le prove sperimentali 93

10.1.4 Sintesi dei risultati sperimentali 94

10.2 Studio ecotossicologico su organismi marini 96

10.2.1 Sintesi dei risultati 98

11 COMMENTO CONCLUSIVO DI ANALISI AI DATI SPERIMENTALI 99

ALLEGATO 1: Relazione sul condizionamento dei terreni

ALLEGATO 2: Studio sul contenuto residuo in bentonite

ALLEGATO 3: Prove sperimentali di laboratorio sulla lisciviazione dei materiali rocciosi

ALLEGATO 4: Monitoraggio delle fibre di amianto aerodisperse, campagna di monitoraggio, Gennaio 2011

ALLEGATO 5: Modellazione del possibile rilascio di fibre di amianto durante le operazioni di sversamento a mare del materiale di smarino

ALLEGATO 6: Indagine ecotossicologica su organismi marini con campioni di rocce da scavo

ALLEGATO 7: Tabelle di sintesi con le analisi di caratterizzazione chimica ambientale sui terreni di scavo

1 PREMESSA

La presente relazione si riferisce al progetto definitivo dell'intervento di adeguamento del sistema autostradale A7 – A10 – A12 nell'area genovese.

Nel documento vengono descritte tutte le attività di indagine ambientale e i criteri di analisi per supportare una corretta gestione dei materiali provenienti dagli scavi meccanizzati e tradizionali, in particolare al loro riutilizzo come sottoprodotti, in accordo alla vigente normativa in termini di terre e rocce da scavo, D.M. 161/2012 a supporto del Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo (APG0010).

In virtù della complessità geologica e delle caratteristiche delle litologie interessate dal progetto del nodo autostradale genovese, è stata eseguita un'analisi per la caratterizzazione ambientale, a partire dalla campagna di prospezione geognostica, sfruttando le conoscenze pregresse e le indagini effettuate per il Progetto Preliminare Avanzato, PPA.

È stata organizzata e completata un'attività di campionamento ed analisi chimica delle matrici coinvolte, con prelievo di campioni di terreno, in affioramento e a quota scavo, e di aliquote d'acqua da verticali piezometriche, installate lungo il tracciato individuato, da sorgenti e da pozzi.

È stata eseguita una ricerca, con la collaborazione di centri di ricerca di eccellenza universitari (DITAG del Politecnico di Torino e CESISP dell'Università di Genova) per valutare gli effetti del condizionamento dei materiali durante le fasi di scavo e la loro compatibilità ambientale.

Una volta valutata l'ammissibilità del processo di gestione dello smarino, è stata eseguita una procedura di prova sperimentale per la verifica delle interazioni tra le geomatrici interessate, con riferimenti anche al comportamento in acqua di mare.

La problematiche considerate, in relazione alla diverse delle caratteristiche litologiche interessate, hanno dovuto tenere conto dei contenuti importanti in amianto e in metalli pesanti per definirne l'effettiva pericolosità e qualificarne, in virtù del riconosciuto fondo naturale, la possibile ricollocazione in deposito definitivo. Quest'ultimo può essere identificato sia nell'opera a mare prevista nella zona prospiciente l'area aeroportuale del canale di calma sia nella parte di arco rovescio in galleria lungo il tracciato interessato dallo scavo meccanizzato.

In tal senso un'importante valutazione è data dallo studio dell'analisi di rischio per l'impiego dei materiali di smarino per l'ampliamento a mare del rilevato aeroportuale (APG0007). La presente relazione infatti fa esplicito riferimento ad alcuni documenti progettuali presentati (ad es. relazione generale, relazione geologica, relazione specialistica sull'amianto, relazione sulle procedure di

gestione smarino), anche per ciò che riguarda l'ubicazione di prelievi, in corrispondenza di sondaggi ed affioramenti.

Vengono riportati i dati del primo monitoraggio di fibre di amianto aerodisperse su 15 siti individuati lungo la tratta prevista a progetto e nelle zone densamente urbanizzate. Questo tipo di attività è finalizzata alla valutazione dello stato di qualità ambientale attuale delle aree di intervento, riferito alle diverse stagioni annuali. Lo scopo principale è quello di fornire, in condizioni di ante operam, un quadro di riferimento del livello di fondo naturale dell'ambiente nelle aree interessate dal progetto, evidenziando alcune criticità e l'ulteriore capacità di carico dell'ambiente stesso.

Infine sono riportati i risultati delle prove sperimentali eseguite in collaborazione con il DICAT dell'Università di Genova, per la modellazione chimica e fisica delle operazioni di riempimento nel deposito definitivo dell'opera a mare. L'obiettivo di tale ricerca, a scala ridotta, è per studiare il possibile rilascio di fibre di amianto durante le operazioni di sversamento a mare del materiale di smarino, in considerazione delle particolari condizioni al contorno, come ad esempio l'influenza dell'aerosol marino.

Il documento è sviluppato sulla base dei principi individuati dalla normativa nazionale, con particolare riferimento al D. Lgs. 152/06 ss.mm.ii.

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

La presente relazione è stata redatta utilizzando come supporto i documenti di seguito elencati. Alcuni di questi sono già riferimenti di base per la valutazione delle caratteristiche ambientali dei siti, altri sono procedure di gestione delle terre e rocce da scavo già utilizzate in analoghe opere autostradali ed infrastrutturali:

- Relazione generale progettuale, APG0002;
- Piano di Utilizzo delle terre da scavo ai sensi del D.M. 161/2012, APG0010;
- Linee guida per la gestione del rischio amianto negli scavi, all'aperto e in galleria. Studio metodologico e procedurale in merito alle problematiche ambientali indotte dagli scavi in ambiente amiantifero, APG0004.
- Analisi delle criticita' indotte dalla previsione progettuale di scavo di materiali amiantiferi nella realizzazione della Gronda di ponente di Genova e delle problematiche inerenti il massimo riutilizzo delle rocce e terre di risulta, APG0005;
- Analisi di rischio per l'impiego dei materiali di smarino provenienti dall'escavazione delle gallerie per l'ampliamento a mare del rilevato aeroportuale, APG0007.
- Indagini geognostiche comprensive di analisi ambientali eseguite nel corso della campagna 2007-08, 2010-11 e 2015-2016 a supporto della progettazione preliminare avanzata e definitiva, GEO001 e GEO084, GEO109.
- Indagini specialistiche sulla problematica dell'amianto con lo studio geologico-ambientale inerente gli aspetti connessi alla presenza di amianto naturale nella zona ad ovest del Polcevera tra Vesima e Bolzaneto (Gronda di Ponente), GEO179 e GEO180.
- Relazione sullo scavo meccanizzato, SCM001;
- Studio idrogeologico del Nodo stradale ed autostradale di Genova Gronda di Ponente basato su quadro di riscontri sperimentali e misure in campo, IDR0301.

In allegato alla presente relazione, oltre alle tabelle riassuntive con i dati di laboratorio sulla caratterizzazione dei materiali di scavo, sono riportate alcuni documenti, che completano la presente relazione sulla caratterizzazione ambientale delle diverse matrici coinvolte.

Si tratta di elaborati progettuali, presentati inizialmente all'interno dello Studio di Impatto Ambientale, che descrivono studi sperimentali ed attività di indagini, eseguite con enti universitari di ricerca e laboratori qualificati. Lo scopo di queste attività è stato quello di approfondire tematiche o esplorare aspetti di interazione con l'ambiente, sinora mai indagati vista la peculiarità di alcune soluzione progettuali, con il fine di evitare possibili impatti, prevenendo con soluzioni atte a mitigare.

Le relazioni in allegato sono:

1) Relazione sul condizionamento dei terreni, Politecnico di Torino;
2) Studio sul contenuto residuo in bentonite, Politecnico di Torino;
3) Prove sperimentali di laboratorio sulla lisciviazione dei materiali rocciosi, Laboratorio CESISP del Dipartimento di Ingegneria Chimica e di Processo dell'Università di Genova;
4) Monitoraggio delle fibre di amianto aerodisperse, prima campagna di monitoraggio con l'ausilio del Laboratorio CSA di Rimini;
5) Modellazione del possibile rilascio di fibre di amianto durante le operazioni di sversamento a mare del materiale di smarino; Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio dell'Università di Genova;
6) Indagine ecotossicologica su organismi marini con campioni di rocce da scavo, Laboratorio CRESIS del Dipartimento di Biologia dell'Università di Genova;

3 CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEI TERRENI

Nei paragrafi seguenti sarà descritta l'attività di campionamento ed analisi eseguita nell'ambito del progetto e finalizzata alla caratterizzazione chimica ed ambientale dei terreni e delle litologie principali interessate dallo scavo, così come previsto dalla normativa vigente. Le valutazioni di carattere ambientale partono dalle considerazioni e dalle elaborazioni dei dati analitici pregressi rinvenuti nella letteratura scientifica.

3.1 Letteratura scientifica

Molti studi in letteratura scientifica segnalano alcune peculiarità da un punto di vista chimico dell'area interessata dal tracciato. Si sottolinea che la zona del genovesato in esame si inserisce in un settore di grande complessità geologica e strutturale, caratterizzato oltremodo da una importante variabilità nel contenuto mineralogico e quindi chimico-elementale.

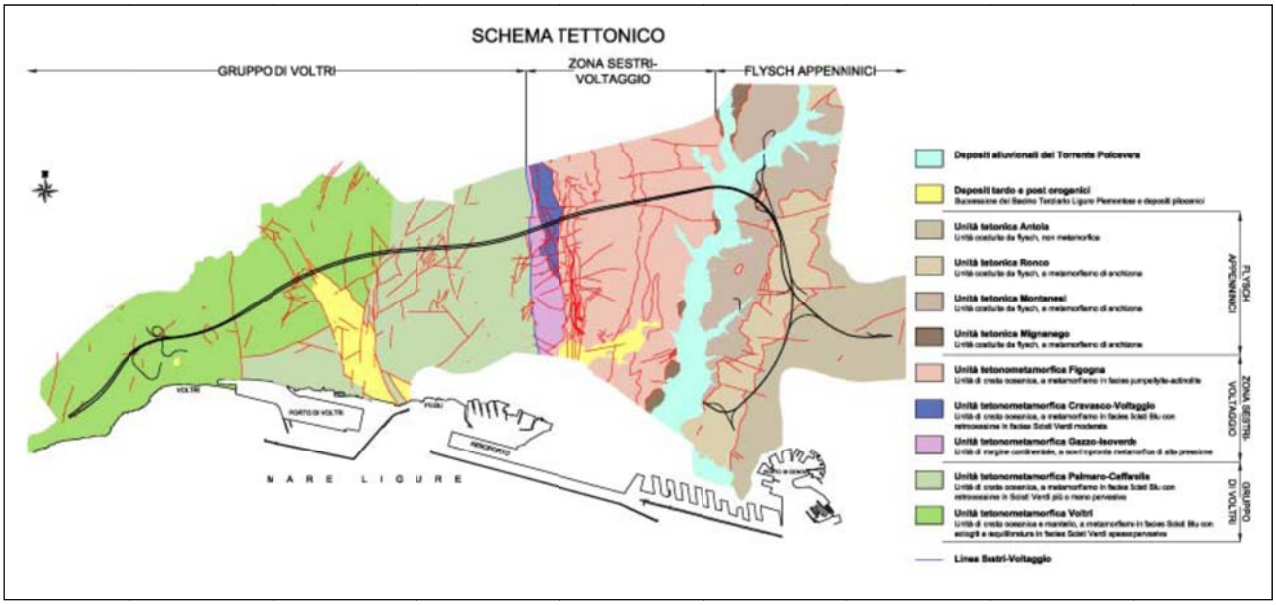


Figura 1 Schema tettonico dell'area di studio (da Progetto CARG modificato)

Divisi dalla valle del Torrente Polcevera, che definisce in qualche modo il confine tra il dominio orogenico alpino da quello appenninico, si ritrovano perciò 2 contesti:

- il Dominio dei Flysch Appenninici, collocato nella zona orientale del tracciato, in sinistra Polcevera, costituito da differenti unità tettoniche, principalmente da unità argillitiche e flyschoidi;
- la Zona Sestri Voltaggio ed il Gruppo di Voltri, con la presenza di unità costituite prevalentemente da rocce metagabbriche e serpentinitiche, da dolomie e calcari

triassici, e da zone con prevalenza di a calcescisti, metabasiti, peridotiti, argilloscisti e scisti filladici.

Come detto, questa variabilità chimica è riconosciuta a livello tecnico e scientifico, attraverso la produzione di una grande quantità di documenti, in cui sono descritte le caratteristiche mineralogiche estremamente differenti delle unità che costituiscono le 2 macro aree individuate.

Alcuni testi rilevano l'importante diversità chimica, sottolineando soprattutto come la zona occidentale, caratterizzata dalla presenza delle rocce ofiolitiche (denominate Pietre Verdi), mostri alcune criticità ambientali. Queste criticità sono ricondotte principalmente al contenuto elevato in metalli pesanti, tipico del fondo naturale in presenza di rocce serpentinitiche (soprattutto di brecce e lherzoliti serpentinizzate), e del particolare contenuto mineralogico che determina la presenza di amianto. In tal senso la stessa normativa regionale, prima con la DGR 859/2008 e poi con gli aggiornamenti delle successive DGR 89/2013 e 1423/2013, fa propria l'evidenza del contenuto anomalo naturale, definendo, sulla base di ciò, alcune indicazioni operative e tecniche.

3.1.1 *Dati analitici degli stream sediments (DipTeRis – Università di Genova)*

Un'indicazione fondamentale è data dalla prospezione geochimica eseguita dall'Università di Genova (2002) con la raccolta e l'analisi di stream sediments prelevati sul territorio ligure, finalizzati alla definizione della cartografia geochimica regionale e nazionale. Questo studio della composizione chimica del materiale sciolto risulta di fondamentale importanza, dal punto di vista pratico, perché permette di stabilire che "le concentrazioni rilevate nei sedimenti ricadenti in regioni geochimiche che "presentano livelli di fondo superiori a quelli stabiliti dalla normativa sono sostituite dalle concentrazioni del fondo naturale". I dati geochimici relativi ai sedimenti fluviali attivi (stream sediments), ipoteticamente rappresentativi del chimismo medio del territorio a monte del punto di prelievo, sono considerati dati primari o dati di base, in quanto non è possibile derivare questi da altri, con una attendibilità accettabile. I sedimenti fluviali rappresentano pertanto il materiale preferito nell'investigazione mineraria a scala di riconoscimento perchè ben rappresentativi delle rocce affioranti nel bacino. Questo materiale è ritenuto infatti molto efficace per individuare anomalie di molti metalli pesanti.

Le carte di distribuzione dei contenuti elementali rilevati negli stream sediments riportate nell'Atlante degli acquiferi della Liguria, Volume III dell'Università di Genova (2002), o a scala minore in Geochemical Baselines of Italy (2003), evidenziano i contenuti anomali in alcuni metalli pesanti (soprattutto Cromo, Nichel, Cobalto e Vanadio) nelle aree caratterizzate dalla presenza di rocce ofiolitiche. Nel presente testo viene riportata la carta di distribuzione del Nichel, (Figura 2), e la carta di distribuzione del Cromo, in forma di triossido (Cr_2O_3, Figura 3).

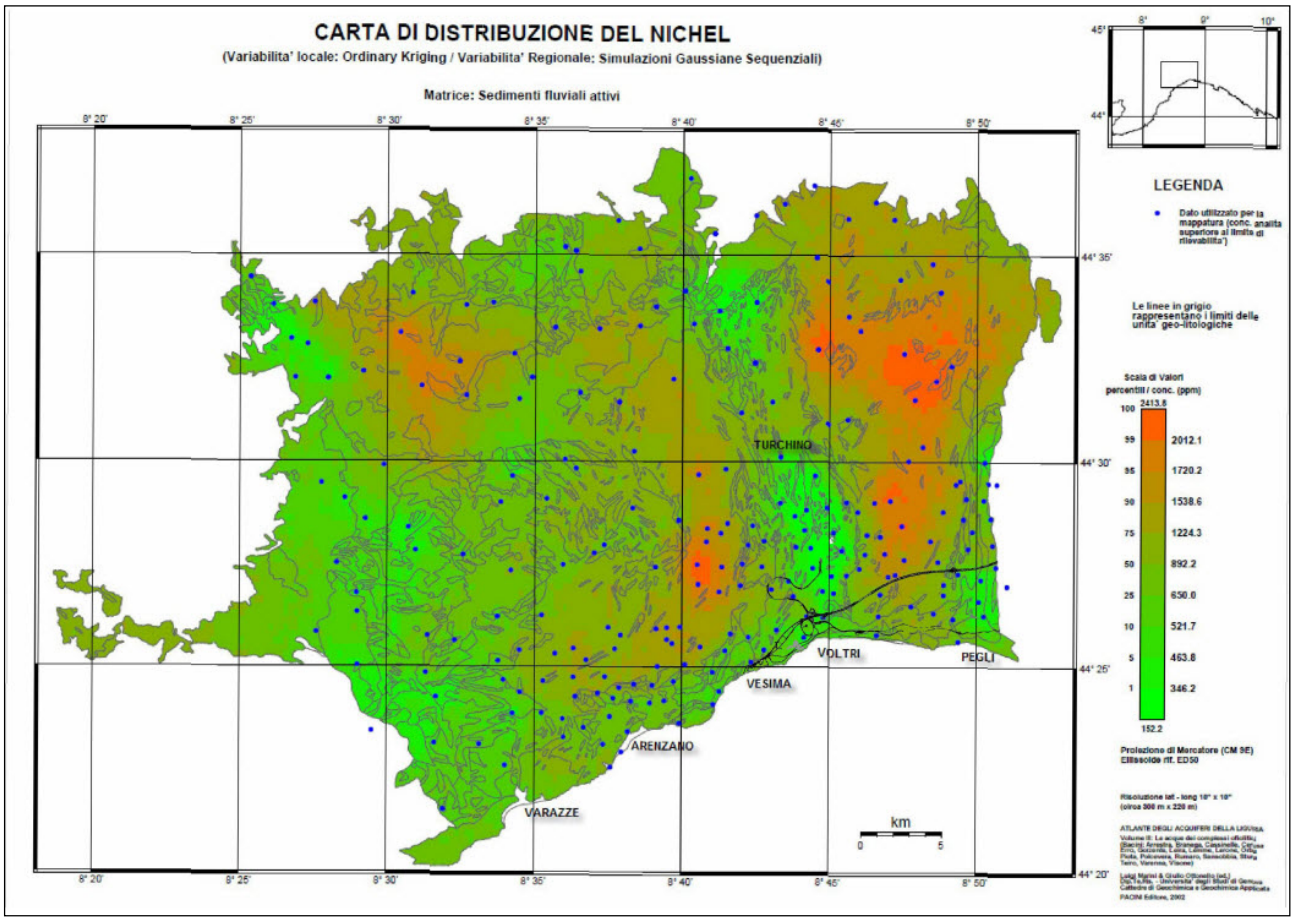


Figura 2 Carta di distribuzione del Nichel (da Atlante degli acquiferi della Regione Liguria, vol.3, modificata e con l'evidenza del tracciato attuale ed in progetto)

I valori del Cromo totale, presentati nell'istogramma di frequenza in Figura 4, evidenziano un elevato numero di campioni al di sopra dei limiti stabiliti per le CSC ad uso residenziale ed industriale giungendo in alcuni punti a oltre 2000 ppm. Tali valori (244 dei quali indicati in Tabella 1) sono da ricercare nella distribuzione areale delle rocce ofiolitiche metamorfiche, dove il cromo è un elemento presente nelle fasi minerali in quantità di gran lunga maggiori rispetto ad altre litologie presenti nella regione, in primis le rocce sedimentarie-carbonatiche. Quindi non deve sorprendere che la distribuzione del cromo e degli affioramenti di rocce ofiolitiche siano pressochè coincidenti lasciando spazio nelle altre zone a valori di concentrazione di diversi ordini di grandezza inferiori. Per la grande affinità chimica con il Cromo, essendo un metallo di transizione dello stesso gruppo, il Nichel ricopre la stessa distribuzione.

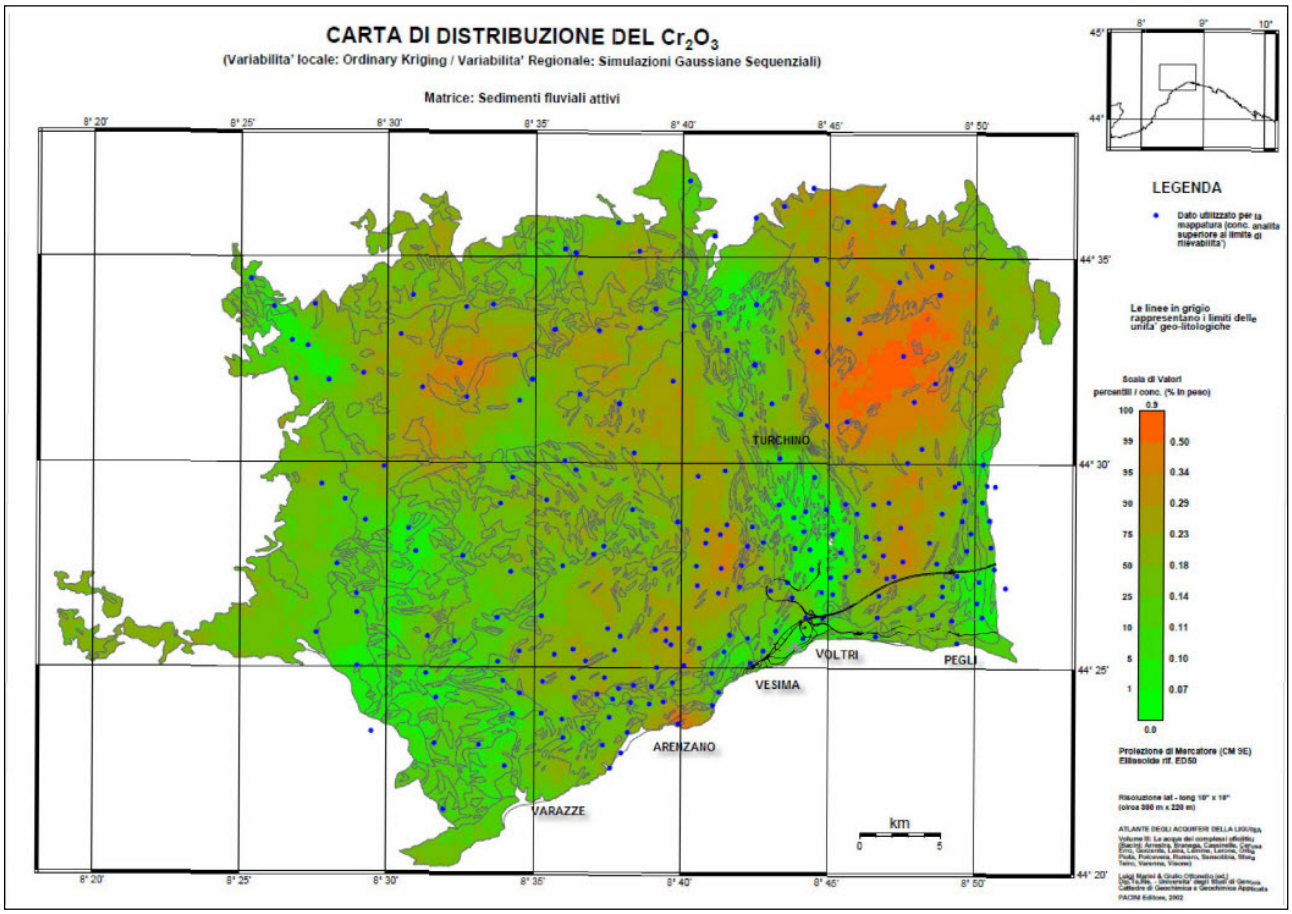


Figura 3 Carta di distribuzione del Cromo (da Atlante degli acquiferi della Regione Liguria, vol.3, modificata e con l'evidenza del tracciato attuale ed in progetto)

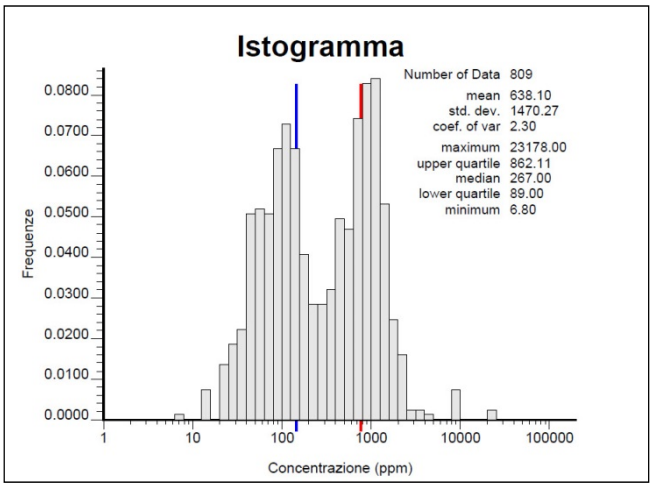


Figura 4 Istrogramma di frequenza del Cromo contenuto negli stream sediments campionati in Liguria, con il riferimento dei limiti normativi per col. A, in blu, e col. B, in rosso (da Geochemical Baselines of Italy,estratto dal foglio Genova – Cromo)

Per maggior chiarezza si riporta di seguito una tabella con un set di 244 dati della citata ricerca scientifica universitaria. Si tratta di una sintesi con l'analisi degli stream sediments provenienti da bacini liguri, drenanti su versante tirrenico e padano, con prevalente litologia serpentinitica e con l'evidenza dei superamenti di legge (l'ubicazione indicativa dei punti di prelievo è rintracciabile con i segni blu nelle Figure 2 e 3).

Tabella 1 Dati analitici di 244 stream sediments, insistenti su litologie serpentinitiche, relativi agli elementi Cromo, Nichel, Vanadio e Cobalto (Università di Genova, Atlante degli acquiferi liguri vol 3, 2002). In evidenza i superamenti dei limiti tabellari del D. Lgs. 152/06: giallo, col. A residenziali, rosso, col. B industriali.

Punto	Cr	Ni	Co	V	Punto	Cr	Ni	Co	V
81-46113-285	800,53	528,00	39,20	59,00	**82-46115-275**	3995,79	1664,00	113,50	53,00
81-46553-321	677,37	562,00	39,50	49,00	**82-46116-279**	2107,37	1978,00	109,60	60,00
81-46554-372	561,05	388,00	27,60	45,00	**82-46117-293**	2080,00	1637,00	101,60	59,00
82_103_44573	1327,37	1124,00	68,50	52,00	**82-46118-230**	923,68	561,00	38,70	67,00
82_112_45011	677,37	629,00	41,60	79,00	**82-46119-276**	971,58	656,00	47,80	69,00
82_115_45235	937,37	786,00	41,60	104,00	**82-46120-280**	1580,53	768,00	46,80	119,00
82_125_44789	526,84	411,00	33,30	46,00	**82-46121-262**	1306,84	1132,00	56,40	100,00
82_126_44791	773,16	636,00	44,00	62,00	**82-46122-287**	1669,47	1385,00	72,10	57,00
82_128_45231	800,53	557,00	37,40	73,00	**82-46123-264**	903,16	784,00	64,50	61,00
82_134_45234	766,32	609,00	45,30	93,00	**82-46124-245**	1115,26	766,00	49,70	50,00
82_135_44793	910,00	776,00	61,70	60,00	**82-46125-211**	2298,95	1443,00	84,60	46,00
82_138_45010	581,58	460,00	33,60	58,00	**82-46126-205**	3133,68	937,00	75,60	47,00
82_140_44570	711,58	590,00	44,50	56,00	**82-46127-272**	2688,95	2424,00	154,50	57,00
82_156_45232	1279,47	733,00	37,40	41,00	**82-46128-253**	2777,89	2228,00	146,00	51,00
82_162_44792	759,47	604,00	39,30	55,00	**82-46335-215**	567,89	437,00	30,80	50,00
82_175_44790	773,16	454,00	42,30	62,00	**82-46336-248**	1826,84	1610,00	83,60	68,00
82_179_45233	875,79	599,00	30,90	51,00	**82-46337-233**	1532,63	1885,00	95,80	64,00
82_191_45230	957,89	620,00	50,00	70,00	**82-46338-209**	2271,58	1977,00	111,80	58,00
82_193_45012	581,58	351,00	29,00	48,00	**82-46339-267**	1717,37	1274,00	67,30	50,00
82_203_45672	738,95	419,00	32,10	54,00	**82-46340-238**	1361,58	777,00	48,00	80,00
82_204_45456	1224,74	794,00	35,00	70,00	**82-46341-258**	1847,37	1554,00	80,90	38,00
82_208_45899	1046,84	816,00	58,50	125,00	**82-46342-223**	1594,21	1398,00	77,30	53,00
82_210_45458	1163,16	724,00	65,10	172,00	**82-46343-229**	1101,58	537,00	39,00	40,00
82_218_45452	800,53	479,00	37,20	68,00	**82-46344-214**	1320,53	607,00	45,80	60,00
82_225_45673	786,84	479,00	44,30	72,00	**82-46345-236**	643,16	441,00	34,70	43,00
82_234_45457	1217,89	835,00	46,00	82,00	**82-46346-200**	2476,84	2345,00	150,20	45,00
82_237_45894	1696,84	961,00	57,70	73,00	**82-46347-242**	2326,32	1891,00	118,20	45,00
82_240_45674	547,37	402,00	35,90	59,00	**82-46348-239**	3085,79	1999,00	146,50	52,00
82_249_45451	855,26	529,00	44,40	67,00	**82-46349-257**	2100,53	2018,00	118,30	51,00
82_251_45676	1060,53	636,00	65,70	74,00	**82-46350-296**	1813,16	1682,00	109,70	51,00
82_252_45453	492,63	405,00	37,50	78,00	**82-46557-394**	1217,89	850,00	50,00	59,00
82_260_45897	923,68	439,00	52,80	118,00	**82-46558-354**	1135,79	871,00	51,40	57,00
82_271_45678	1245,26	841,00	76,20	113,00	**82-46559-334**	1498,42	927,00	48,70	65,00
82_273_45679	1053,68	917,00	51,10	118,00	**82-46560-392**	1313,68	851,00	44,80	50,00
82_281_45677	1300,00	767,00	47,90	84,00	**82-46561-310**	1614,74	748,00	44,30	76,00
82_282_45893	1197,37	481,00	43,80	57,00	**82-46562-322**	1286,32	934,00	51,00	53,00

Punto	Cr	Ni	Co	V	Punto	Cr	Ni	Co	V
82_290_45455	1320,53	987,00	43,10	66,00	82-46563-389	1176,84	517,00	35,90	43,00
82_292_45454	677,37	545,00	28,50	48,00	82-46564-388	520,00	347,00	26,80	43,00
82-45680-263	1211,05	655,00	53,20	172,00	82-46565-325	431,05	336,00	21,50	39,00
82-45898-277	978,42	754,00	46,70	104,00	82-46566-342	1970,53	1797,00	100,80	54,00
82-45900-268	1553,16	998,00	56,80	95,00	82-46567-330	1833,68	1453,00	85,10	64,00
82-45901-291	1991,05	1871,00	87,40	52,00	82-46568-393	1902,11	1338,00	89,30	53,00
82-45902-241	1751,58	1206,00	80,90	55,00	82-46569-370	2210,00	1574,00	112,90	51,00
82-45903-246	608,95	400,00	45,90	70,00	82-46778-386	650,00	477,00	33,70	38,00
82-45904-256	691,05	392,00	42,50	79,00	82-46779-337	1258,95	898,00	49,90	74,00
82-45905-243	2162,11	1700,00	111,20	65,00	82-46780-307	1826,84	1171,00	81,60	53,00
82-45906-269	1772,11	1612,00	103,20	95,00	82-46781-383	1040,00	873,00	50,80	37,00
82-45907-201	1915,79	1849,00	114,50	59,00	82-46782-347	971,58	1083,00	53,30	38,00
82-46114-254	492,63	374,00	26,40	49,00	82-46783-302	1388,95	1286,00	72,60	46,00
82-46114-254R	492,63	339,00	26,10	45,00	82-46784-352	1724,21	1166,00	69,00	44,00
82-46785-397	1662,63	1634,00	80,80	49,00	A6	1676,32	1270,00	110,80	94,00
82-46786-327	2134,74	1378,00	87,50	47,00	A7	2442,63	1742,00	126,70	88,00
82-46787-345	2435,79	1846,00	112,00	48,00	A8	1806,32	1545,00	127,50	115,00
82-46999-387	916,84	672,00	41,10	48,00	A9	2025,26	1499,00	113,00	89,00
82-47001-318	1813,16	1333,00	70,50	56,00	P36	841,58	602,00	58,00	66,00
82-47002-319	2066,32	1532,00	87,20	51,00	P37	1977,37	1890,00	115,00	51,00
82-47003-300	2182,63	1445,00	86,80	50,00	P38	574,74	452,00	46,00	98,00
A1	684,21	471,00	50,30	81,00	P39	1224,74	1005,00	72,00	92,00
A10	1375,26	1331,00	81,60	80,00	P41	1546,32	1355,00	100,00	0,45
A11	1402,63	1133,00	66,50	114,00	P42	786,84	594,00	47,00	1,14
A12	1306,84	1017,00	76,10	93,00	P43	650,00	393,00	38,00	2,43
A13	1115,26	729,00	60,60	88,00	P44	1785,79	1526,00	156,00	1,00
A14	1053,68	629,00	62,90	67,00	P45	1279,47	882,00	49,00	0,64
A15	1122,11	1048,00	105,50	73,00	P46	711,58	531,00	46,00	0,67
A16	554,21	546,00	55,20	74,00	P47	656,84	451,00	35,00	0,89
A17	786,84	537,00	52,00	62,00	P50	718,42	612,00	44,00	1,35
A18	759,47	405,00	42,70	61,00	P51	684,21	574,00	48,00	3,22
A19	1648,95	1229,00	54,40	72,00	P91	561,05	430,00	59,00	1,77
A2	1655,79	1453,00	104,40	101,00	P95	574,74	99,00	30,00	1,16
A20	1170,00	1096,00	75,90	89,00	V1	2175,79	2090,00	131,90	44,00
A21	1279,47	1058,00	60,30	94,00	V10	1163,16	1061,00	71,10	67,00
A22	1676,32	1476,00	97,70	67,00	V11	492,63	358,00	28,10	47,00
A23	1806,32	1243,00	98,20	65,00	V13	561,05	357,00	31,00	50,00
A24	1388,95	1156,00	88,10	70,00	V14	773,16	556,00	35,30	59,00
A25	1772,11	1211,00	92,60	75,00	V15	478,95	358,00	28,10	43,00
A27	1313,68	878,00	77,00	66,00	V16	109,47	115,00	22,70	36,00
A28	841,58	492,00	45,50	56,00	V17	458,42	316,00	32,60	54,00
A3	1040,00	617,00	71,60	71,00	V18	472,11	293,00	27,40	44,00
A31	1518,95	1836,00	209,90	86,00	V19	218,95	179,00	23,90	36,00
A32	944,21	681,00	50,60	80,00	V2	1676,32	1529,00	87,40	33,00
A33	1053,68	689,00	44,30	71,00	V20	225,79	149,00	23,60	35,00
A34	1033,16	730,00	46,90	69,00	V21	314,74	205,00	26,20	39,00
A35	1142,63	751,00	49,30	63,00	V22	1272,63	1109,00	63,20	54,00
A36	1313,68	722,00	54,90	62,00	V23	588,42	441,00	39,20	46,00
A37	1320,53	829,00	60,00	79,00	V24	396,84	258,00	26,80	43,00

Punto	Cr	Ni	Co	V	Punto	Cr	Ni	Co	V
A38	581,58	409,00	36,70	82,00	**V25**	526,84	358,00	32,80	45,00
A39	1361,58	1131,00	80,30	75,00	**V26**	2292,11	1777,00	146,30	52,00
A4	1108,42	677,00	68,20	71,00	**V27**	2025,26	1645,00	129,70	54,00
A40	882,63	644,00	36,10	73,00	**V28**	2333,16	1467,00	148,40	60,00
A41	677,37	467,00	35,70	75,00	**V29**	1566,84	1168,00	85,30	54,00
A42	923,68	723,00	48,80	54,00	**V3**	1005,79	811,00	58,10	76,00
A43	821,05	726,00	70,70	63,00	**V30**	348,95	300,00	34,00	35,00
A44	684,21	464,00	43,10	47,00	**V31**	417,37	362,00	29,10	35,00
A45	540,53	411,00	36,10	56,00	**V32**	184,74	160,00	25,80	41,00
A46	1197,37	1230,00	71,90	58,00	**V33**	814,21	777,00	60,10	56,00
A47	1272,63	1185,00	66,80	48,00	**V34**	280,53	225,00	27,00	33,00
A48	1450,53	1157,00	83,10	50,00	**V35**	1176,84	1284,00	79,20	48,00
A49	1347,89	892,00	54,50	167,00	**V36**	2025,26	1885,00	160,90	60,00
A5	1546,32	1433,00	101,50	84,00	**V37**	1081,05	1265,00	81,80	51,00
A50	561,05	430,00	36,80	72,00	**V38**	875,79	771,00	55,20	47,00
V39	485,79	489,00	39,20	31,00	**V59**	444,74	337,00	32,40	62,00
V4	2059,47	1938,00	137,10	48,00	**V6**	1778,95	2047,00	127,10	44,00
V40	916,84	830,00	64,80	50,00	**V60**	1388,95	909,00	65,30	70,00
V41	1313,68	1195,00	71,20	33,00	**V61**	1156,32	855,00	61,70	63,00
V42	1122,11	1001,00	65,30	50,00	**V62**	1347,89	1181,00	69,80	77,00
V43	882,63	798,00	61,10	49,00	**V63**	1293,16	968,00	66,70	66,00
V44	752,63	535,00	41,00	44,00	**V64**	1792,63	1667,00	151,60	115,00
V45	1094,74	1183,00	96,50	53,00	**V65**	2743,68	1825,00	144,80	105,00
V46	745,79	708,00	63,10	51,00	**V66**	1560,00	1484,00	113,50	83,00
V47	725,26	700,00	56,80	49,00	**V67**	1430,00	1055,00	73,60	117,00
V48	273,68	205,00	25,70	32,00	**V68**	834,74	574,00	37,60	63,00
V49	1477,89	1138,00	80,40	54,00	**V69**	1908,95	1435,00	124,30	102,00
V5	1258,95	1086,00	69,70	55,00	**V7**	1874,74	1918,00	142,30	55,00
V50	1046,84	761,00	54,70	57,00	**V70**	2086,84	1595,00	114,90	94,00
V51	916,84	705,00	60,00	59,00	**V71**	2141,58	2198,00	173,70	72,00
V52	1224,74	860,00	66,10	65,00	**V72**	1991,05	1569,00	149,00	67,00
V53	1553,16	1652,00	129,90	55,00	**V73**	889,47	701,00	47,80	68,00
V54	1224,74	999,00	68,30	62,00	**V74**	2189,47	1306,00	96,90	83,00
V55	1293,16	1102,00	76,70	56,00	**V75**	1211,05	2838,00	136,40	57,00
V56	773,16	620,00	46,70	50,00	**V76**	1867,89	2052,00	163,50	68,00
V57	1320,53	1362,00	103,80	64,00	**V8**	923,68	893,00	62,60	59,00
V58	930,53	1239,00	73,00	51,00	**V9**	1108,42	914,00	59,70	71,00

Anche in alcuni documenti redatti da ARPAL (Modalità operative per l'individuazione dei Fondi Naturali sul territorio ligure, 2006; Valutazione del contenuto in amianto nelle rocce ofiolitiche liguri, 2009), viene esplicitamente indicato che i limiti del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii possono essere superati naturalmente nelle situazioni già descritte per i seguenti metalli: Co, Cr, Ni, V e Tl. Viene infatti confermato che questi elementi chimici si possono rinvenire in tenori importanti nei complessi metaofiolitici, nelle Unita' cristalline continentali, nelle Unita' sedimentarie a carattere ofiolitico e in misura minore nelle Successioni vulcano-sedimentarie.

Come evidenziato, le anomalie che sono state riscontrate in ambito scientifico e nella fase del presente progetto, di seguito descritte, e che probabilmente saranno riscontrate in fase di corso d'opera mostreranno un sostanziale superamento dei limiti di colonna A e probabili superamenti in colonna B, soprattutto per ciò che riguarda i materiali scavati nelle litologie serpentiniche.

3.2 Caratterizzazione ambientale di progetto

3.2.1 *Individuazione degli ambiti di intervento*

Le caratteristiche sia tecnologiche che di tracciato sono nettamente distinte tra le opere poste a destra o a sinistra del torrente Polcevera, che rappresenta infatti lo spartiacque geologico tra i terreni potenzialmente amiantiferi (sponda destra) e quelli non amiantiferi (sponda sinistra). Inoltre, mentre il tracciato dei rami sul lato sinistro – che si occupano di assicurare l'interconnessione tra i vari tratti autostradali esistenti e la nuova infrastruttura – è tortuoso ed articolato, quello della sponda destra - da dove parte la "Gronda" che si occupa essenzialmente di trasferire il traffico fino a Vesima, raddoppiando l'A10 esistente - è più lineare.

Questa netta divisione del tracciato ha influenzato vari elementi della cantierizzazione, primo fra tutti l'uso di sistemi di scavo meccanizzato in destra Polcevera e di avanzamento tradizionale (con esplosivo o martelloni) in sponda sinistra.

Sono stati individuati 8 ambiti lungo l'intero tracciato, la cui disposizione è esplicitata negli elaborati grafici allegati al Piano di Utilizzo (APG0010). Tale suddivisione risulta funzionale alla descrizione riportata di seguito. Gli 8 ambiti individuati sono:

1. Genova Ovest, zona Est Polcevera
2. Torbella e Genova Est, zona Est Polcevera
3. Bolzaneto, zona Est Polcevera
4. Monterosso, zona Ovest Polcevera
5. Varenna, zona Ovest Polcevera
6. Amandola, zona Ovest Polcevera
7. Vesima e Voltri, zona Ovest Polcevera
8. Opera a mare

3.2.2 *Indagini campagna 2006-2007*

Nell'ambito del Progetto Preliminare, su un tracciato solo parzialmente coincidente con l'attuale, è stata eseguita una campagna geognostica che ha compreso le seguenti attività:

- 18 sondaggi (di cui 2 inclinati di 45°) a carotaggio continuo per un totale di 1490 m di perforazione;
- 29 analisi ambientali (al fine di determinare il "fondo naturale" dei vari litotipi presenti nell'area);
- prelievi finalizzati alla definizione del contenuto d'amianto naturale negli ammassi rocciosi.

La seguente tabella riporta la tipologia e la profondità dei sondaggi effettuati, nonché l'ambito di riferimento in cui ricade ciascun sondaggio.

Tabella 2 Sondaggi campagna 2006-2007

Sondaggio	Tipologia	Profondità (m)	Ambito
SP01	verticale	40	Genova Ovest
SP02	verticale	40	Genova Ovest
SP03	verticale	30	Genova Ovest
SP04	verticale	50	Genova Ovest
SP05	verticale	40	Genova Ovest
SP06	verticale	45	Genova Ovest
SA7-1	verticale	165	Torbella e Genova Est
SGGA1	verticale	15	Genova Ovest
SGG0	verticale	45	Genova Ovest
SGG1	verticale	65	Genova Ovest
SGG2	verticale	80	Genova Ovest
SGG3	verticale	240	Genova Ovest
SGG4	verticale	150	Monterosso
SGG5	Inclinato 45°	190	Varenna
SGG6	Inclinato 45°	150	Amandola
SGG7	verticale	40	Amandola
SGG9	verticale	70	Amandola
SGG10	verticale	55	Voltri e Vesima

Per quanto attiene alla caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, sono stati eseguiti n° 75 rilievi in sito, che hanno previsto anche l'esecuzione di prove di resistenza a carico puntuale

(PLST) e cioè di una metodologia di prova speditiva, utile a stimare sperimentalmente la resistenza della matrice rocciosa.

Gli affioramenti rocciosi prescelti sono statisticamente rappresentativi delle condizioni geomeccaniche che interessano le opere di progetto e per ciascuno di essi sono state determinate:

- le orientazioni delle famiglie di discontinuità e le caratteristiche fondamentali di ciascuna famiglia (spaziatura, persistenza, apertura, alterazione, JCS, JRC) e la loro variabilità;
- le classi di appartenenza degli affioramenti rocciosi, con riferimento alle principali classificazioni geomeccaniche (RMR, GSI, Q);
- i parametri fondamentali d'ammasso riferiti al singolo affioramento attraverso le formule di correlazione di letteratura (mb, s, σcm, E, c, Φ);
- la variabilità indotta nei parametri d'ammasso dalla variabilità naturale dei dati d'ingresso (simulazione statistica tipo Monte Carlo).

Al fine di determinare le caratteristiche chimiche dei materiali presenti nella zona interessata dal progetto, è stata eseguita una serie di analisi per determinare il "fondo naturale" caratteristico dei differenti litotipi. Sono stati quindi analizzati i seguenti 29 campioni:

- 8 campioni lapidei prelevati dai sondaggi (SGG2, SGG3 e SGG5);
- 2 campioni di terreno prelevati nei sondaggi eseguiti nel Polcevera (SP01);
- 2 campioni di terreno prelevati nella zona dell'imbocco est della Galleria Borzoli (SGGA1);
- 17 campioni lapidei prelevati da affioramenti (punti da A1 a A17 – vedi tabella seguente).

Tabella 3 Prelievi da affioramenti campagna 2006-2007

Punto	Ambito	Punto	Ambito
A1	Genova Ovest	A9	Monterosso
A2	Genova Ovest	A10	Monterosso
A3	Genova Ovest	A11	Monterosso
A4	Genova Ovest	A12	Voltri e Vesima
A5	Genova Ovest	A13	Monterosso
A6	Genova Ovest	A14	Varenna
A7	Monterosso	A15	Amandola
A8	Monterosso	A16	Amandola
		A17	Amandola

3.2.3 *Indagini campagna 2010-2011-2012*

Nell'ambito del Progetto Definitivo è stata eseguita una campagna geognostica che ha compreso le seguenti attività:

- Sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione
- Pozzi con piezometri di controllo per la realizzazione di prove di pompaggio a gradini e di lunga durata, volti a definire nel modo più preciso possibile le caratteristiche idrogeologiche
- Prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi, per definire le caratteristiche meccaniche dei materiali
- Indagini geofisiche a rifrazione tomografica con acquisizione sia di Vp sia di Vs e prove Cross Hole in fori di sondaggio
- Rilievi geomeccanici associati a Point Load Strenght Test
- Analisi ambientali su campioni prelevati dai sondaggi (al fine di determinare le caratteristiche dei vari litotipi presenti nell'area)
- Prelievi finalizzati alla definizione del contenuto d'amianto naturale negli ammassi rocciosi.

La campagna geognostica è stata finalizzata a:

- indagare le principali problematiche geologiche, strutturali ed idrogeologiche presenti lungo i tracciati interessati dal progetto;
- consentire la ricostruzione della geologia nel sottosuolo;
- eseguire prove in sito per definire le caratteristiche geotecniche, geomeccaniche ed idrogeologiche dei materiali del sottosuolo;
- prelevare campioni da sottoporre alle prove di laboratorio (geotecnico, geomeccanico e chimico-ambientale);
- installare strumentazione per misurare le variazioni dei livelli di falda nel tempo;
- definire il contenuto di amianto delle "pietre verdi";
- definire le caratteristiche sismiche dei materiali (Vs30) in accordo con Il D.M. del 14/01/08 "Nuove norme tecniche per le costruzioni".

Le macro-aree indagate sono tre:

- Est Polcevera, in cui ricadono gli ambiti Genova Ovest, Torbella e Genova Est e Bolzaneto (parte);
- Ovest Polcevera, in cui ricadono gli ambiti Bolzaneto (parte), Monterosso, Varenna, Amandola e Voltri e Vesima;

- Canale di calma, in cui ricade l'ambito Opera a mare.

Le seguenti tabelle riportano la tipologia e la profondità dei sondaggi effettuati nelle tre macro-aree, nonché l'ambito di riferimento in cui ricade ciascun sondaggio.

Per quanto riguarda il canale di calma, si precisa che sono stati eseguiti sia sondaggi a terra sul sedime dell'aeroporto, che indagini a mare effettuate da pontone.

Tabella 4 Sondaggi campagna 2010-2011-2012 - Zona Est Polcevera

Sondaggio	Profondità (m)	Tipologia	Inclinazione	Ambito
MB1	25	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest
MB4	105	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest
MB7	115	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest
MB8	215	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest
MB9	240	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest
MB11	210	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest, Torbella e Genova Est
MB15	25	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
MB16	30	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
MB16bis	30	distruzione di nucleo	verticale	Torbella e Genova Est
MB16ter	30	distruzione di nucleo	verticale	Torbella e Genova Est
MB17	25	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
MB20	150	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
MB23	135	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
MB24	100	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
MB26	135	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
MB28	130	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
MB29	115	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
MB30	130	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
MB31	90	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
MB33	120	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
RE1	300	100 m a distruzione e 200 a carotaggio	verticale	Torbella e Genova Est

Sondaggio	Profondità (m)	Tipologia	Inclinazione	Ambito
RE02	25	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
RE04	30	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
RE6	65	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest
RE09	35	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
RE10	50	carotaggio continuo	orizzontale	Torbella e Genova Est
RE11	50	carotaggio continuo	orizzontale	Torbella e Genova Est
RE12	30	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
RE13	140	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
RE15	35	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
RE16	35	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
RE17	35	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
RE18	25	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
RE19	25	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
RE23	25	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
MS1	140	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
MS3	260	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
MS5	25	carotaggio continuo	verticale	Torbella e Genova Est
PO1	50	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
PO2	50	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
PO2bis	50	distruzione di nucleo	verticale	Bolzaneto
PO2ter	50	distruzione di nucleo	verticale	Bolzaneto
PO3	40	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto

Tabella 5 Sondaggi campagna 2010-2011-2012 - Zona Ovest Polcevera

Sondaggio	Profondità (m)	Tipologia	Inclinazione	Ambito
VB1	35	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
VB1 bis	35	distruzione di nucleo	verticale	Bolzaneto
VB1ter	35	distruzione di nucleo	verticale	Bolzaneto

Sondaggio	Profondità (m)	Tipologia	Inclinazione	Ambito
VB6	450	200 m a distruzione e 250 a carotaggio	verticale	Monterosso
VB7	280	carotaggio continuo	inclinato	Monterosso
VB7bis	350	carotaggio continuo	inclinato	Monterosso
VB8	205	carotaggio continuo	verticale	Monterosso
VB10	285	carotaggio continuo	verticale	Monterosso
VB11	195	carotaggio continuo	inclinato	Monterosso
VB12	235	carotaggio continuo	verticale	Monterosso
VB14	240	carotaggio continuo	orizzontale	Varenna
VB15	30	carotaggio continuo	verticale	Varenna
VB16	30	carotaggio continuo	verticale	Varenna
VV1	350	carotaggio continuo	orizzontale	Varenna
VV4	200	carotaggio continuo	inclinato	Amandola
VV5	180	carotaggio continuo	verticale	Amandola
VV7	70	carotaggio continuo	verticale	Amandola
VV8	90	carotaggio continuo	verticale	Amandola
VV9	115	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV10	50	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV10bis	50	distruzione di nucleo	verticale	Voltri e Vesima
VV10ter	50	distruzione di nucleo	verticale	Voltri e Vesima
VV11	50	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV12	50	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV16	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV16bis	35	distruzione di nucleo	verticale	Voltri e Vesima
VV16ter	35	distruzione di nucleo	verticale	Voltri e Vesima
VV17	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV18	30	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV19	70	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV20	75	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima

Sondaggio	Profondità (m)	Tipologia	Inclinazione	Ambito
VV24	25	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV25	25	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV26	25	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
RO1	40	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
R01bis	40	distruzione di nucleo	verticale	Voltri e Vesima
RO1ter	40	distruzione di nucleo	verticale	Voltri e Vesima
RO2	62	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
RO3	95	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
RO4	90	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV3	-	prelievi con microcarotiere	orizzontale	Amandola
VV22	210	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
Pozzo 1	200	distruzione di nucleo	verticale	Monterosso
Piezo 1	200	distruzione di nucleo	verticale	Monterosso
Piezo 2	200	distruzione di nucleo	verticale	Monterosso
Pozzo 2	255	100 m a distruzione e 155 a carotaggio	verticale	Monterosso
Piezo 3	100	distruzione di nucleo	verticale	Monterosso
Piezo 4	100	distruzione di nucleo	verticale	Monterosso
VV27	150	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV29	175	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
VV30	200	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima

Tabella 6 Sondaggi campagna 2010 - Zona Canale di calma

Sondaggio	Profondità (m)	Tipologia	Inclinazione	Ambito
SJ1	48	carotaggio continuo	verticale	Opera a mare
SJ2	60	carotaggio continuo	verticale	Opera a mare
SJ3	49	carotaggio continuo	verticale	Opera a mare
SJ4	50	10 m a distruzione e 40 a carotaggio	verticale	Opera a mare
SJ5	33	carotaggio continuo	verticale	Opera a mare

Sondaggio	Profondità (m)	Tipologia	Inclinazione	Ambito
SJ5bis	42	25 m a distruzione e 17 a carotaggio	verticale	Opera a mare
SJ6	60	carotaggio continuo	verticale	Opera a mare
SJ7	50	carotaggio continuo	verticale	Opera a mare
SJ8	30	carotaggio continuo	verticale	Opera a mare
SJ8bis	60	28 m a distruzione e 32 a carotaggio	verticale	Opera a mare
SJ9	50	carotaggio continuo	verticale	Opera a mare
SJ9bis	60	45 m a distruzione e 15 a carotaggio	verticale	Opera a mare

Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove SPT, prove dilatometriche e pressiometriche, prove Lefranc e Lugeon.

In alcuni dei sondaggi, posti in corrispondenza sia degli imbocchi che di importanti opere all'aperto (Viadotto Genova), sono state realizzate prove Cross Hole in foro per la definizione del Vs30.

Al fine di estendere le informazioni geomeccaniche derivate dai rilievi eseguiti nel 2006-2007 alla nuova area interessata dal progetto, sono stati effettuati ulteriori rilievi geomeccanici associati a Point Load Strength Test. Tali rilievi sono stati condotti con le stesse modalità della precedente campagna d'indagine e hanno interessato la zona non coperta dal precedente progetto preliminare.

Durante la campagna geognostica sono stati eseguiti prelievi di campioni ambientali a quota scavo. Altri campioni invece sono a carattere superficiale perché prelevati in corrispondenza delle rampe autostradali. Sono stati analizzati 44 campioni ambientali, così distribuiti in tipologia e ubicazione:

- nella parte occidentale del progetto:
- 17 campioni lungo i tratti in galleria (VB1, VB6, VB7, VB7bis, VB8, VB10, VB11, VB12, VB14, VV5, VV16, VV22, VV27, VV29, VV30, R01, Pozzo 2);
- nella parte orientale del progetto:
- 17 campioni lungo i tratti in galleria (MB1, MB4, MB7, MB8, MB9, MB11, MB20, MB23, MB24, MB26, MB28, MB29, MB30, MB31, MB33, MS1, MS3);
- 1 campione in corrispondenza di una pila del viadotto sul Polcevera (P03);
- 9 campioni in corrispondenza delle rampe autostradali (RE02, RE04, RE09, RE11, RE15, RE16, RE18, RE19, RE23).

Nel canale di calma, al fine di meglio caratterizzare i materiali dal punto di vista geotecnico, sono state anche eseguite prove CPTU e prove con il dilatometro Marchetti. Inoltre, sono stati prelevati 28 campioni di terreno (4 per ciascuno dei sondaggi SJ1, SJ2, SJ3, SJ5, SJ6, SJ8 ed SJ9), per eseguire una serie di analisi e determinare le caratteristiche chimiche dei materiali presenti nella zona interessata dal progetto.

3.2.4 *Indagini campagna 2015-2016*

Nell'ambito degli approfondimenti del Progetto Definitivo è stata eseguita una campagna geognostica con particolare attenzione alle zone degli imbocchi e dei versanti propensi al dissesto interferenti o prossimi al tracciato. Le attività hanno compreso l'esecuzione di:

- Sondaggi a carotaggio continuo
- Prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi, per definire le caratteristiche meccaniche dei materiali
- Indagini geofisiche a rifrazione tomografica con acquisizione sia di Vp sia di Vs e prove Cross Hole in fori di sondaggio
- Rilievi geomeccanici associati a Point Load Strenght Test
- Analisi ambientali su campioni prelevati dai sondaggi

La campagna geognostica è stata finalizzata a:

- indagare le principali problematiche geologiche, strutturali ed idrogeologiche presenti lungo i tracciati interessati dal progetto;
- consentire la verifica della ricostruzione della geologia nel sottosuolo del PD raffinando alcune situazioni;
- prelevare campioni da sottoporre alle prove di laboratorio (geotecnico, geomeccanico e chimico-ambientale);
- installare strumentazione per misurare le variazioni dei livelli di falda nel tempo;

Le macro-aree indagate sono due:

- Est Polcevera, in cui ricadono gli ambiti Genova Ovest, Torbella e parte di Bolzaneto, soprattutto sulle zone di imbocco;
- Ovest Polcevera, nell'ambito di Voltri e Vesima, sia per le zone di imbocco sia per i versanti in dissesto interferenti con il tracciato;

Le seguenti tabelle riportano la tipologia e la profondità dei sondaggi effettuati nelle tre macro-aree, nonché l'ambito di riferimento in cui ricade ciascun sondaggio.

Tabella 7 Sondaggi campagna 2015-2016

Sondaggio	Profondità (m)	Tipologia	Inclinazione	Ambito
IG1	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG3	50	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG4	55	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG5	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG6	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG8	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F2	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F3	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F4	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F6	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F7	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG7	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG9	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG10	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG11	75	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IG12	45	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F8	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F9	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F10	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F11	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
F12	35	carotaggio continuo	verticale	Voltri e Vesima
IE1	35	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest
IE2	35	carotaggio continuo	verticale	Genova Ovest
IE3	35	carotaggio continuo	verticale	Torbella
IE4	35	carotaggio continuo	verticale	Torbella
IE5	35	carotaggio continuo	verticale	Torbella
IE6	35	carotaggio continuo	verticale	Torbella
IE7	35	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
IE8	35	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
IE9	45	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto
IE10	40	carotaggio continuo	verticale	Bolzaneto

3.2.5 *Indagini amianto*

Sull'importante aspetto dell'amianto, si rimanda agli approfondimenti tecnico-scientifici, alle relazioni geologiche (GEO001, GEO170, GEO179 e GEO180) e alle linee guida di gestione dello smarino (APG0004), eseguiti appositamente per il progetto del nodo stradale genovese, con il supporto di centri di eccellenza universitari. In questo testo si riprenderà la problematica relativa al

contenuto di fibre di amianto, unicamente per la descrizione ed il comportamento durante l'attività di laboratorio e ricerca. Tuttavia si riportano di seguito i criteri principali presi in considerazione per l'esecuzione dello studio sulle fibre di amianto, per rendere esaustiva la comprensione delle scelte operative e tecniche di laboratorio per l'esecuzione di alcuni test ed analisi, successivamente descritti nel presente documento.

Si ricorda che il Polcevera, oltre a costituire la maggiore incisione del tracciato, caratterizzata quindi dalla realizzazione del viadotto Genova che risulta l'opera d'arte all'aperto di maggiore impatto sul territorio, rappresenta lo spartiacque geologico tra i terreni potenzialmente amiantiferi della sua sponda destra e quelli non amiantiferi del lato sinistro, con forti implicazione sulla scelte tecnologiche degli scavi in sotterraneo, e con determinanti influenze quali-quantitative sulle attività di ricerca e di studio.

Dall'esame della bibliografia geologica e delle normative della Regione Liguria, risulta nota la presenza di minerali di amianto all'interno di alcuni litotipi che interessano il tratto di progetto tra il Polcevera e Vesima. Al fine di acquisire maggiori informazioni circa la presenza di amianto all'interno delle litologie segnalate come a rischio, si è proceduto (come sul tracciato del 2008 così sul tracciato individuato dal dibattito pubblico ed oggetto del presente progetto) all'esecuzione di studi specialistici suddivisi in due fasi:

1. Fase preliminare: definizione degli ambiti geologico-strutturali favorevoli alla presenza di amianto, oltre che di definire le tipologie di minerali asbestoidi presenti.
2. Fase di approfondimento: eseguita fase di approfondimento con la definizione quali - quantitativa delle fibre di amianto presenti lungo il tracciato della Gronda.

Le attività sono state basate:

- sulla definizione dei dati di input necessari allo svolgimento dello studio e verifica dello stato dell'arte delle conoscenze scientifiche e delle specifiche tecniche nel campo della gestione delle terre da scavo contenenti anche asbesto;
- ricerca delle normative vigenti (a livello nazionale e regionale) e delle tecniche di analisi previste per definire il contenuto di amianto naturale nelle rocce;
- analisi dello studio 2008 e verifica della rispondenza di quanto a suo tempo eseguito alle eventuali nuove normative e/o nuovi indirizzi legislativi e di studio;
- validazione dell'approccio seguito nello studio 2008 per quanto riguarda la scelta dei siti di rilievo e di campionamento e delle tecniche analitiche adottate per la caratterizzazione mineralogico-petrografica e strutturale.
- analisi ed eventuale ottimizzazione della campagna geognostica in sito già predisposta;

- predisposizione ed esecuzione di rilievi geologico-strutturali in sito, con prelievo di campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio;
- definizione - tipologia e quantità - delle analisi minero-petrografiche di laboratorio necessarie per la determinazione del contenuto in minerali fibrosi dei litotipi, in accordo con le normative vigenti;
- analisi delle carote di sondaggio e prelievo di campioni di carota necessari per le analisi di laboratorio;
- esecuzione delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati in sito e dalle cassette di sondaggio;

La redazione di una relazione illustrativa e relativi allegati, tra cui, in particolare, profili geologici longitudinali hanno permesso di evidenziare:

- i volumi rocciosi contenenti amianto;
- stime della localizzazione e pervasività delle associazioni litostrutturali sede di minerali fibrosi (faglie, zone di taglio, sistemi di vene, ecc.);
- suddivisione del profilo del tracciato in zone omogenee e con distinzione in classi a diversa concentrazione di minerali fibrosi, riportanti i valori puntuali e i valori medi sulle tratte omogenee;

Da queste valutazioni è stato inoltre possibile definire i possibili scenari relativi alla gestione delle operazioni di scavo ed i possibili scenari relativi alla gestione delle terre di scavo.

Gli accurati studi petrografici condotti hanno confermato che alcune zone del tracciato sono incompatibili con la presenza di rocce contenenti minerali fibrosi e di conseguenza possono essere considerate con totale sicurezza a rischio amianto nullo (ad esempio metabasalti e metasedimenti come calcari, argilloscisti e metapeliti). Per quanto riguarda invece le rocce amiantifere, è stata effettuata una riclassificazione dei litotipi, con la definizione di alcune classi petrografiche a rischio amianto crescente (facies petro-strutturali), distinte utilizzando frequenza e distribuzione delle vene e tipo di minerale fibroso presente. Le analisi mineralogico-petrografiche hanno permesso inoltre di stimare il contenuto in fibre nelle diverse facies petro-strutturali. Queste stime, riportate sulle tratte omogenee delle sezioni geologiche, hanno consentito di definire una zonazione del tracciato di progetto relativa al contenuto di amianto, con i relativi margini di incertezza, dovuti sia al grado di affidabilità delle previsioni geologiche generali (posizione e tipologia dei corpi geologici), sia alle problematiche connesse alla densità (distribuzione areale) e qualità delle informazioni disponibili sulle rocce amiantifere.

Le analisi hanno inoltre consentito, in alcuni casi, di modificare il valore di "rischio amianto" inizialmente attribuito ai singoli litotipi su base strettamente petrografica. Il caso più significativo di tali variazioni è rappresentato dai cosiddetti SAC, considerati su base petrografica una categoria ad alto rischio, in funzione del loro elevato contenuto in anfibolo della serie tremolite-actinoto. I dati analitici al SEM su queste rocce hanno invece indicato contenuti in minerali fibrosi inaspettatamente bassi o medio-bassi. Questa apparente anomalia è stata attribuita alla forma dell'anfibolo, che si presenta con abito aciculare e non veramente fibroso, quindi meno adatto a sviluppare frammenti classificabili come fibre.

È stata applicata una metodica analitica per la rilevazione del contenuto in massa che risulta essere più cautelativa rispetto alla rilevazione dell'indice di rilascio, la cui formulazione ed il cui procedimento tecnico è oggetto di critiche e perplessità da parte di istituti scientifici e di autorità pubbliche di controllo. L'analisi dei campioni per la valutazione quantitativa dell'amianto è stata eseguita per commisurare il tenore di amianto totale, sottoponendo a macinazione totale l'intero provino analitico, proponendo comunque quanto previsto dalla normativa e riferendosi perciò ai campioni in cui l'aliquota con granulometria < 2 cm sia presente in quantità superiore all'1% in peso: assimilando il materiale ad un suolo, si seguono i criteri di analisi previsti dall'allegato 1 al Decreto Ministero della Sanità 6 settembre 1994, conteggio fibre e successiva valutazione del peso, considerando contaminato il materiale con contenuto in amianto superiore ai limiti previsti dalla tabella 1 dell'allegato 5 del Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/06, 1000 ppm.

È stata poi redatta una tabella riassuntiva denominata "Calcolo dei volumi di rocce a rischio amianto" (Tab. 3 in GEO179) nella quale sono stati calcolati i volumi di rocce potenzialmente amiantifere, per le classi a rischio elevato e a rischio medio, separati per domini e tratte omogenee.

Ai volumi così definiti è stato applicato un fattore di correzione, per tenere conto del fatto che in ogni tratta l'amianto è distribuito nella roccia in maniera eterogenea. In altre parole, dagli studi svolti emerge chiaramente che per ciascuna tratta a rischio amianto "medio" o "elevato" non tutto il volume roccioso può essere considerato omogeneo, visto che i dati analitici dei campioni esaminati indicano che solo una parte di essi contiene valori di amianto superiori alla soglia di 1000 mg/kg.

Questo è dovuto essenzialmente ai seguenti fattori:

- eterogeneità nella distribuzione delle vene e delle fratture amiantifere;
- eterogeneità nelle modalità di crescita dell'amianto, anche in un mezzo roccioso omogeneamente fratturato, legata alle modalità di circolazione e diffusione dei fluidi;

- eterogeneità litologica e strutturale: per una medesima tratta possono essere presenti intercalazioni di litotipi amiantiferi (es. serpentiniti) e litotipi non amiantiferi (es. calcescisti).

3.2.6 *Risultati delle indagini ambientali suddivisi per ambiti*

Le indagini ambientali nel sito sono state effettuate secondo le prescrizioni della normativa (D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, Allegato 2) con metodi di scavo a secco, in modo idoneo a prelevare campioni incontaminati ed evitando l'immissione nel sottosuolo di composti estranei, adottando particolari accorgimenti durante ogni manovra (uso di rivestimenti, scarpe non verniciate, eliminazione di gocciolamenti, pulizia dei contenitori, pulizia di tutti le parti delle attrezzature tra un campione e l'altro).

L'ubicazione dei punti di campionamento, la profondità di scavo e, soprattutto, la profondità dei campioni di terreno prelevati è stata definita in base al volume di terreno da movimentare in funzione del progetto stradale.

La seguente tabella riporta i punti di indagine, con le relative profondità di campionamento e la campagna di indagine di riferimento, nonché l'ambito di riferimento in cui ricade ciascun punto e l'opera prevista.

Tabella 8 Indagini ambientali – campagne 2006-2007, 2010-2011-2012 e 2015-2016

Punto	Profondità (m dal pc)	Campagna	Opera prevista
Ambito Genova Ovest			
SP01	CA1: 0.3; CA2: 23	2006-07	Slurrydotto
SGGA1	CA1: 2.0-2.4; CA2: 5.0-5.4	2006-07	Campo base CB.01
SGG2	CA1: 50-55; CA2: 75-80	2006-07	-
SGG3	CA1: 205-210; CA2: 220-225	2006-07	-
A1	Affioramenti	2006-07	-
A2	Affioramenti	2006-07	-
A3	Affioramenti	2006-07	-
A4	Affioramenti	2006-07	-
A5	Affioramenti	2006-07	Campo base CB.01
A6	Affioramenti	2006-07	-
MB1	CA1: 0.60-0.80	2010-11-12	Gallerie Moro 1 e Moro 2
MB4	CA1: 91.4-91.7	2010-11-12	Galleria Granarolo
MB7	CA1: 102.35-102.65	2010-11-12	Galleria Granarolo
MB8	CA1: 198-198.45	2010-11-12	Galleria Granarolo

Punto	Profondità (m dal pc)	Campagna	Opera prevista
MB9	CA1: 227-227.3	2010-11-12	Galleria Granarolo
MB11	CA1: 194.45-194.75	2010-11-12	Galleria Granarolo
IE1	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Moro-GE
IE2	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Granarolo-GE
Ambito Torbella e Genova Est			
MB20	CA1: 137.00	2010-11-12	Galleria Forte Diamante
MB23	CA1: 121.35-121.70	2010-11-12	Galleria Torbella Ovest
MB24	CA1: 87.30	2010-11-12	Galleria Bric du Vento
RE02	CA1: 0.00-1.00	2010-11-12	Galleria Forte Diamante
RE04	CA1: 0.00-0.90	2010-11-12	Galleria Torbella Ovest
RE09	CA1: 0.00-1.00	2010-11-12	Viadotto Rovena
RE11	CA1: 0.00-0.50	2010-11-12	Galleria Campursone
MS1	CA1: 126-127	2010-11-12	Galleria Monte Sperone
MS3	CA1: 246.00-246.60; CA2: 246.60-247.00	2010-11-12	Galleria Monte Sperone
IE3	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Granarolo-MI
IE4	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Monte Sperone-SV
IE5	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Bric du Vento - LI
IE6	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Forte Diamante-GE
Ambito Bolzaneto			
MB26	CA1: 123.00	2010-11-12	Galleria Forte Diamante
MB28	CA1: 113.0-113.34	2010-11-12	Galleria Forte Diamante
MB29	CA1: 102.00	2010-11-12	Gallerie Bric du Vento e San Rocco
MB30	CA1: 116.00	2010-11-12	Galleria Forte Diamante
MB31	CA1: 75.0-75.3	2010-11-12	Galleria Baccan
MB33	CA1: 104.00	2010-11-12	Galleria Bric du Vento
RE15	CA1: 0.00-1.00	2010-11-12	Viadotto Orpea
RE16	CA1: 0.00-1.00	2010-11-12	Viadotto Orpea
RE18	CA1: 0.00-1.00	2010-11-12	Galleria Morego
RE19	CA1: 0.00-0.90	2010-11-12	Galleria Morego
RE23	CA1: 0.00-1.00	2010-11-12	Viadotto Mercantile
PO3	CA1: 0.00-1.00; CA2: 2.00-3.00; CA3: 4.00-5.00; CA4: 7.00-8.00	2010-11-12	Viadotto Genova
VB1	CA1: 13.0-13.3	2010-11-12	Gallerie Monterosso
IE7	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Bric du Vento - SV

Punto	Profondità (m dal pc)	Campagna	Opera prevista
IE8	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Polcevera-SV
IE9	CA1: 0,0-2,0; CA2: 18,0-21,0; CA3: 40-45	2015-16	Opere di imbocco San Rocco N
IE10	CA1: 0,0-2,0; CA2: 18,0-20,0; CA3: 35-40	2015-16	Opere di imbocco Forte Diamante-N
Ambito Monterosso			
A7	Affioramenti	2006-07	-
A8	Affioramenti	2006-07	Galleria Monterosso
A9	Affioramenti	2006-07	-
A10	Affioramenti	2006-07	-
A11	Affioramenti	2006-07	-
A13	Affioramenti	2006-07	-
VB6	CA1: 433-433.20	2010-11-12	Gallerie Monterosso
VB7	CA1: 258.0-258.3	2010-11-12	Gallerie Monterosso
VB7bis	CA1: 345-345.30	2010-11-12	Gallerie Monterosso
VB8	CA1: 190.0-190.3	2010-11-12	Gallerie Monterosso
VB10	CA1: 269-269.30	2010-11-12	Gallerie Monterosso
VB11	CA1: 185	2010-11-12	Gallerie Monterosso
VB12	CA1: 224	2010-11-12	Gallerie Monterosso
Pozzo 2	CA1: 215-215.25	2010-11-12	Gallerie Monterosso
Ambito Varenna			
SGG5	CA1: 15-20; CA2: 36-40; CA3: 130-135; CA4: 145-150	2006-07	Viadotti Varenna, Gallerie Amandola
A14	Affioramenti	2006-07	Viadotti Varenna
VB14	CA1: 52.2-52.5	2010-11-12	Gallerie Amandola
Ambito Amandola			
A15	Affioramenti	2006-07	Gallerie Amandola
A16	Affioramenti	2006-07	Gallerie Amandola
A17	Affioramenti	2006-07	Gallerie Amandola
VV5	CA1: 152-152.3	2010-11-12	Gallerie Amandola
Ambito Voltri e Vesima			
A12	Affioramenti	2006-07	Gallerie Borgonuovo
VV16	CA1: 25.0-25.2	2010-11-12	Gallerie Voltri
RO1	CA1: 30.0-30.2	2010-11-12	Galeria Delle Grazie
VV22	CA1: 210	2010-11-12	Gallerie Borgonuovo
VV27	CA1: 125.5-125.65	2010-11-12	Gallerie Borgonuovo
VV29	CA1: 149.70-149.90	2010-11-12	Gallerie Borgonuovo
VV30	CA1: 181.00-181.30	2010-11-12	Gallerie Borgonuovo

Punto	Profondità (m dal pc)	Campagna	Opera prevista
IG1	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Borgonuovo-SV
IG3	CA1: 0,0-2,0; CA2: 20,0-25,0; CA3: 43-48	2015-16	Opere di imbocco Borgonuovo-SV
IG4	CA1: 0,0-2,0; CA2: 20,0-25,0; CA3: 48-53	2015-16	Opere di imbocco Borgonuovo-SV
IG5	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Borgonuovo-GE
IG6	CA1: 0,0-2,0; CA2: 16,0-18,0; CA3: 33-35	2015-16	Opere di imbocco Bric del Carmo -N
IG8	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Borgonuovo-GE
F2	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	VS01
F3	CA1: 0,0-2,0; CA2: 20.0-21.0; CA3: 30-35	2015-16	VS01
F4	CA1: 0,0-2,0; CA2: 30-35;	2015-16	VS01
F6	CA1: 1,0-3,0; CA2: 15,0-16,0; CA3: 34-35	2015-16	VS02
F7	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	galleria Borgonuovo
IG7	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Bric del Carmo -S
IG9	CA1: 3.0-4.0; CA2: 10,0-11,0; CA3: 15,0-16.0	2015-16	Opere di imbocco Voltri-GE
IG10	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Ciocia-GE
IG11	CA1: 0,0-1,0; CA2: 2,0-3,0; CA3: 3,0-4,0;	2015-16	Opere di imbocco Ciocia-AL
IG12	CA1: 2,0-3.0; CA2: 6,0-7,0; CA3: 11.0-12.0;	2015-16	Opere di imbocco Delle Grazie S
F8	CA1: 0,0-2,0; CA2: 15,0-17,0; CA3: 30-35	2015-16	Opere di imbocco Borgonuovo GE
F9	CA1: 0,0-1,0; CA2: 3.0-4.0; CA3: 6.0-7.0	2015-16	Opere di imbocco Voltri GE
F10	CA1: 0,0-1,0; CA2: 4.0-5.0; CA3: 6.0-7.0	2015-16	versante imbocco Delle Grazie S
F11	CA1: 0,0-1,0; CA2: 3.0-4.0; CA3: 7.0-8.0;	2015-16	versante imbocco Delle Grazie S
F12	CA1: 0,0-1,0; CA2: 2.0-3.0; CA3: 4.0-5.0;	2015-16	versante imbocco Delle Grazie S
Ambito Opera a mare			
SJ1	CA1: 0.50-1.00; CA2: 2.70-3.00; CA3: 6.00-6.30; CA4: 8.40-8.80	2010-11-12	Opera a mare
SJ2	CA1: 0.50-1.50; CA2: 2.80-3.00; CA3: 4.50-4.85; CA4: 8.00-8.20	2010-11-12	Opera a mare
SJ3	CA1: 1.00-1.40; CA2: 2.80-3.00; CA3: 5.00-5.30; CA4: 8.00-8.30	2010-11-12	Opera a mare
SJ5	CA1: 0.50-1.00; CA2: 2.50-2.90; CA3: 5.00-5.20; CA4: 8.00-8.40	2010-11-12	Opera a mare
SJ6	CA1: 0.50-1.00; CA2: 2.70-3.00; CA3: 5.40-5.60; CA4: 8.40-8.60	2010-11-12	Opera a mare
SJ8	CA1: 0.50-1.00; CA2: 3.60-4.00; CA3: 5.00-5.40; CA4: 7.00-7.20	2010-11-12	Opera a mare

Punto	Profondità (m dal pc)	Campagna	Opera prevista
SJ9	CA1: 0.70-1.00; CA2: 2.70-3.00; CA3: 5.50-5.80; CA4: 8.50-8.80	2010-11-12	Opera a mare

Per quanto riguarda l'analisi dei risultati della caratterizzazione ambientale ed il confronto con i limiti di contaminazione previsti dalla normativa va evidenziato che, poiché l'opera in progetto è una infrastruttura viaria, essa determina un uso del territorio assimilabile a quello che la normativa (D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii., Allegato 5 alla parte IV) indica come uso commerciale o industriale. Di conseguenza come limiti di contaminazione di riferimento per le varie sostanze inquinanti possono essere assunti quelli della colonna B della Tabella 1 dell'Allegato 5 della Parte IV al Titolo V del D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. Per completezza di trattazione, in virtù di un ciclo di gestione delle terre che prevede il riutilizzo delle medesime anche al di fuori di pertinenze autostradali, nello studio si sono valutati come riferimento anche i limiti della colonna A della Tabella 1 dell'Allegato 5 della Parte IV al Titolo V del D. Lgs 152/2006, che si riferiscono ad aree residenziali o a verde pubblico o privato.

Dall'analisi dei dati, si evince (come già segnalato) che alcuni litotipi, nella zona Ovest Polcevera, possono presentare tenori nelle concentrazioni di alcuni metalli pesanti (cobalto e nichel soprattutto, ma anche cromo e rame), tipici del proprio fondo naturale, superiori rispetto ai limiti definiti dalla normativa. Ciò è riscontrabile per le caratteristiche proprie delle rocce ultrafemiche variamente serpentinizzate, dove più facilmente si possono ritrovare valori elementali decisamente importanti. Si conferma una differenza nei contenuti chimici tra i domini geologici interessati dal progetto (gruppo di Voltri e Flysch Appenninici).

Tuttavia anche nella parte orientale del tracciato, i campioni prelevati a quota scavo lungo i tratti di galleria compresi tra Genova Ovest, Genova Est e Bolzaneto segnalano la presenza di alcuni metalli pesanti (Cobalto, Vanadio e Arsenico) con tenori talvolta superiori ai limiti di colonna A, ma decisamente inferiori ai limiti imposti per l'uso industriale, colonna B, che denotano comunque anche in questo caso un fondo naturale tipico delle litologie di origine sedimentarie. I prelievi più superficiali, eseguiti in corrispondenza delle rampe autostradali previste a progetto, evidenziano concentrazioni in elementi (piombo e nichel) e composti chimici (idrocarburi) caratteristici dell'inquinamento da traffico stradale. Tuttavia è da segnalare che le concentrazioni rilevate sono comunque ampiamente al di sotto dei limiti indicati dalla colonna B.

Nella seguente tabella si riportano i superi di colonna A e colonna B registrati nei campioni prelevati nei diversi ambiti.

Tabella 9 Indagini ambientali – superi registrati

Punto	Campione Profondità (m dal p.c.)	Supero colonna A	Supero colonna B
Ambito Genova Ovest			
SP01	CA1: 0.3	Nichel, Stagno	
SP01	CA2: 23	Stagno	
SGGA1	CA1: 2.0-2.4	Idrocarburi pesanti C>12	
SGG2	CA1: 50-55	Stagno	
SGG2	CA2: 75-80	Stagno	
SGG3	CA1: 205-210	Cobalto, Cromo totale, Nichel, Stagno	
SGG3	CA2: 220-225	Cobalto, Selenio, Stagno	
A1	Affioramenti	Stagno	
A2	Affioramenti	Stagno	
A3	Affioramenti	Stagno	
A4	Affioramenti	Stagno	
A5	Affioramenti	Selenio, Stagno	
A6	Affioramenti	Selenio, Stagno	
MB1	CA1: 0.60-0.80	Stagno	
MB4	CA1: 91.4-91.7	Stagno	
MB7	CA1: 102.35-102.65	Cobalto	
MB8	CA1: 198-198.45	Cobalto	
MB9	CA1: 227-227.3	Cobalto, Arsenico	
Ambito Torbella e Genova Est			
RE02	CA1: 0.00-1.00	Idrocarburi pesanti C>12	
RE04	CA1: 0.00-0.90	Idrocarburi pesanti C>12	
RE09	CA1: 0.00-1.00	Stagno, Idrocarburi pesanti C>12	
RE11	CA1: 0.00-0.50	Stagno, Idrocarburi pesanti C>12	
MS3	CA2: 246.60-247.00	Cobalto, Zinco	
Ambito Bolzaneto			
MB31	CA1: 75.0-75.3	Cobalto	
MB33	CA1: 104.00	Cobalto	
RE15	CA1: 0.00-1.00	Piombo, Stagno, Idrocarburi pesanti C>12	
RE16	CA1: 0.00-1.00	Idrocarburi pesanti C>12	
RE18	CA1: 0.00-1.00	Idrocarburi pesanti C>12	
RE19	CA1: 0.00-0.90	Stagno, Idrocarburi pesanti C>12	
RE23	CA1: 0.00-1.00	Stagno	
PO3	CA1: 0.00-1.00	Stagno, Idrocarburi pesanti C>12	
PO3	CA2: 2.00-3.00	Arsenico, Stagno, Zinco, Idrocarburi pesanti C>12	
PO3	CA3: 4.00-5.00	Nichel, Stagno	

Punto	Campione Profondità (m dal p.c.)	Supero colonna A	Supero colonna B
PO3	CA4: 7.00-8.00	Cobalto, Cromo totale, Nichel, Stagno	
Ambito Monterosso			
A7	Affioramenti	Cobalto, Cromo totale, Stagno	Nichel, Rame
A8	Affioramenti	Stagno	
A9	Affioramenti	Cobalto, Cromo totale, Cromo VI, Stagno	Nichel
A10	Affioramenti	Stagno	
A11	Affioramenti	Stagno	
A13	Affioramenti	Stagno	
VB7	CA1: 258.0-258.3	Antimonio, Stagno, Tallio	
VB7bis	CA1: 345-345.30	Antimonio, Cobalto, Stagno	Cromo totale, Nichel
VB11	CA1: 185	Antimonio, Cobalto	Cromo totale, Nichel
VB12	CA1: 224	Arsenico,Cobalto	
Pozzo 2	CA1: 215-215.25	Antimonio, Cobalto, Stagno, Zinco	Cromo totale, Nichel
Ambito Varenna			
SGG5	CA1: 15-20	Cromo totale, Nichel, Stagno	
SGG5	CA2: 36-40	Stagno	
SGG5	CA3: 130-135	Cobalto, Cromo totale, Stagno	Nichel, Rame
SGG5	CA4: 145-150	Cobalto, Cromo totale, Cromo VI, Stagno	Nichel
A14	Affioramenti	Stagno	
VB14	CA1: 52.2-52.5	Antimonio, Cobalto, Cromo totale, Nichel	
Ambito Amandola			
A15	Affioramenti	Cobalto, Cromo totale, Stagno	Nichel
A16	Affioramenti	Cobalto, Cromo totale, Stagno	Nichel
A17	Affioramenti	Arsenico, Cobalto, Cromo totale, Stagno	Nichel
VV5	CA1: 152-152.3	Cobalto, Cromo totale,	Nichel
Ambito Voltri e Vesima			
A12	Affioramenti	Stagno	
VV16	CA1: 25.0-25.2	Arsenico	
VV22	CA1: 210	Antimonio, Cobalto, Stagno	Cromo totale, Nichel
VV27	CA1: 125.5-125.65	Selenio	
F3	CA1: 1,00-2,00	Cobalto, Cromo	Nichel
F3	CA2: 20,00-21,00	Cobalto, Rame	Cromo, Nichel
F3	CA3: 34,00-35,00	Cobalto, Cromo	Nichel
F6	CA1: 1,00-3,00	Cobalto, Cromo	Nichel
F6	CA2: 15,00-16,00	Cromo, Nichel	

Punto	Campione Profondità (m dal p.c.)	Supero colonna A	Supero colonna B
F6	CA3: 34,00-35,00	Cobalto, Cromo	Nichel
Ambito Opera a mare			
SJ1	CA1: 0.50-1.00	Nichel	
SJ1	CA2: 2.70-3.00	Cromo, Nichel, Cobalto	
SJ1	CA3: 6.00-6.30	Nichel	
SJ1	CA4: 8.40-8.80	Nichel	
SJ2	CA3: 4.50-4.85	Nichel	
SJ2	CA4: 8.00-8.20	Nichel	
SJ3	CA1: 1.00-1.40	Piombo	
SJ3	CA2: 2.80-3.00	Nichel	
SJ3	CA3: 5.00-5.30	Nichel	
SJ3	CA4: 8.00-8.30	Cromo, Nichel	
SJ5	CA3: 5.00-5.20	Nichel	
SJ5	CA4: 8.00-8.40	Nichel	
SJ6	CA1: 0.50-1.00	Nichel	
SJ6	CA2: 2.70-3.00	Nichel	
SJ6	CA3: 5.40-5.60	Nichel	
SJ6	CA4: 8.40-8.60	Nichel	
SJ8	CA1: 0.50-1.00	Cromo, Nichel, Piombo, Vanadio	
SJ8	CA4: 7.00-7.20	Nichel	
SJ9	CA2: 2.70-3.00	Piombo, Vanadio	
SJ9	CA3: 5.50-5.80	Nichel	
SJ9	CA4: 8.50-8.80	Nichel	

Si precisa che le concentrazioni di alcuni metalli pesanti (nichel, cromo totale e rame) che superano i limiti di colonna B sono riconducibili ai valori di fondo naturale. Nel capitolo sui siti di movimentazione terre (Capitolo 7) vengono riportati e commentati i risultati delle analisi chimiche condotte sui campioni di terreno prelevati, per ciascun ambito. Negli Allegati da 1 a 5 sono riportati i Rapporti di Prova emessi dai laboratori che hanno eseguito le analisi sui campioni, in cui sono indicati i valori dei diversi parametri ricercati, la metodica utilizzata ed i valori limite previsti dalla normativa vigente (D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, Allegato 5, tabella 1 colonne A e B) per un diretto confronto e per la verifica di eventuali superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC).

In merito alle concentrazioni di amianto nei campioni prelevati dai sondaggi e dagli affioramenti lungo il tracciato, per l'eterogeneità dei contesti e la complessità della problematica, è stato effettuato un approfondito studio geologico-ambientale inerente la presenza di amianto naturale nella zona ad ovest del Polcevera, tra Vesima e Bolzaneto.

Va precisato che dall'attività di indagine geognostica effettuata, si evince che le principali formazioni interessate nella parte orientale del Polcevera, Montoggio, Ronco e Antola, sono caratterizzate principalmente da arenarie, argille, calcari e marne, ovvero rocce di origine sedimentaria. Pertanto sia per attività di campo, sia per legittimità scientifica, sia per riferimenti bibliografici, si è esclusa la presenza naturale di fibre asbesti fere ed il parametro amianto non è stato considerato nel set analitico sui campioni prelevati nella zona ad est del Polcevera.

Dalle analisi effettuate nella zona ad Ovest del Polcevera, vengono individuati sette domini strutturali principali (cfr. figura seguente), che presentano caratteristiche distinte, in base alla loro strutturazione (geometria) interna, al grado di deformazione e ai litotipi che li costituiscono; essi possono essere ulteriormente suddivisi in zone dove la tettonizzazione è così intensa da costituire l'elemento maggiormente caratterizzante (zone di deformazione).

I limiti dei domini strutturali talora corrispondono a macrostrutture individuali quali, ad es. faglie o zone di taglio note, oppure a zone attraverso le quali si realizzano significativi cambiamenti litologici e/o geometrici. La sezione del tracciato di progetto (canna Est) è stata suddivisa in tratte omogenee relativamente all'assetto geologico-strutturale e al contenuto di amianto delle rocce (4 classi di rischio amianto: rischio alto, rischio medio, rischio basso e rischio nullo).

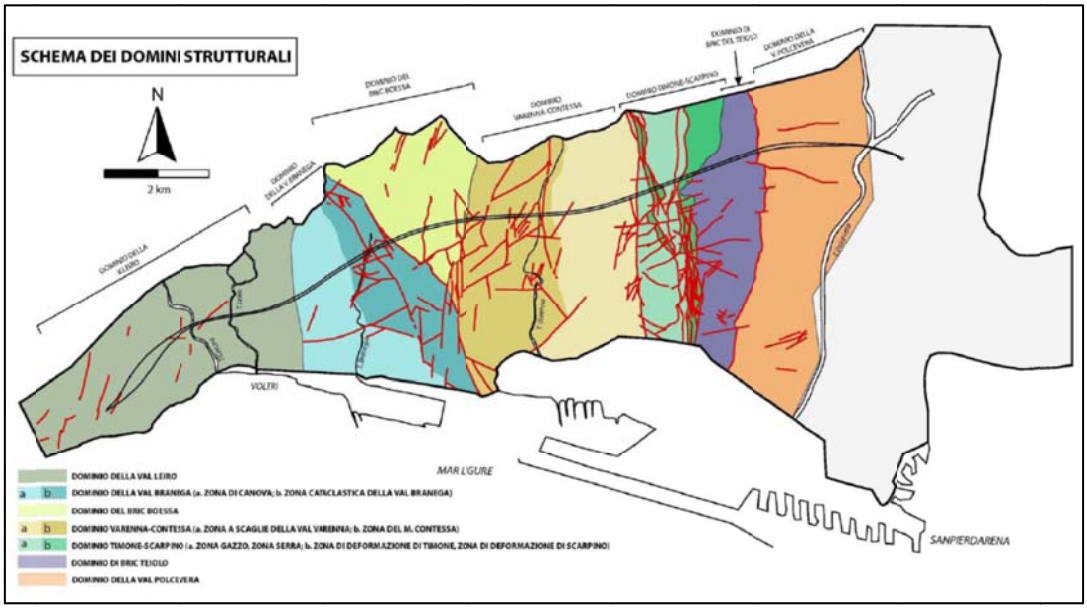


Figura 5 Schema geologico-strutturale dell'area di studio

I 7 domini strutturali sono i seguenti:

1. Dominio della Val Leiro;

2. Dominio della Val Branega (comprendente la zona di Canova e la zona cataclastica della Val Branega);
3. Dominio del Bric Boessa;
4. Dominio Varenna-Contessa (comprendente la Zona a scaglie Val Varenna e la Zona del M.Contessa);
5. Dominio Timone-Scarpino (comprendente le zone Gazzo e Serra e le zone di deformazione di Timone e di Scarpino);
6. Dominio di Bric Teiolo;
7. Dominio della Val Polcevera.

I domini strutturali raggruppano più tratte omogenee. Le tratte a rischio amianto omogeneo individuate lungo le principali gallerie (Borgonuovo, Amandola e Monterosso) sono riportate nel seguito, distinte per ambito di riferimento.

Ambito Voltri e Vesima (gallerie Borgonuovo)

Tratta 1, corrispondente al Dominio della Val Leiro: la tratta è stata considerata come un dominio omogeneo in quanto caratterizzata sempre dalla stessa associazione di litotipi (calcescisti con intercalazioni di metabasiti, serpentiniti e SAC), che presentano caratteristiche mineralogiche e strutturali costanti. Le scaglie e/o livelli di serpentiniti affioranti nel settore Ovest di questa tratta forniscono valori molto inferiori al limite di un g/kg. Nella parte orientale, invece, i valori di concentrazione di minerali fibrosi, ricavabili da campioni raccolti in superficie, sono variabili, da molto inferiori alla soglia di 1000 mg/kg a molto superiori alla stessa (6000 mg /kg) per la zona di Vesima.

Ambito Amandola (gallerie Amandola)

Tratta 2, corrispondente alla Zona Canova (Dominio della Val Branega): il Dominio della Val Branega è costituito prevalentemente da peridotiti serpentinizzate e da serpentiniti, a basso rischio amianto. Il valore ottenuto per le serpentiniti è ben al di sotto della soglia di legge; per quanto riguarda le zone cataclastiche i valori crescono fino a 3000 mg/kg.

Tratta 3, corrispondente alla “Zona Cataclastica della Val Branega” (Dominio della Val Branega): questa tratta è costituita da brecce di faglia e cataclasiti a spese di serpentiniti. Le analisi sul contentuto di minerali fibrosi in questo dominio, e in particolare nelle serpentiniti della fascia basale della “Zona Cataclastica della Val Branega”, hanno mostrato valori solo parzialmente superiori alla soglia di 1000 mg/kg. In particolare:

- i campioni del sondaggio SGG7, costituiti da serpentiniti brecciate, forniscono quattro valori ben al di sotto della soglia di riferimento, mentre due di essi danno un valore quasi doppio rispetto alla stessa;
- i nove dati analitici del sondaggio SGG6 riportano tre campioni leggermente al di sopra e sei campioni molto al di sotto della soglia;
- il sondaggio VV4 riporta tre dati analitici molto diversi tra loro: il campione più superficiale (brecce di faglia) non segnala la presenza di fibre, quello intermedio (serpentiniti) riporta un valore basso e quello profondo (brecce di serpentiniti) un valore circa due volte la soglia di riferimento.
- In questa tratta sono inoltre disponibili tre campioni di superficie (GE5a, GE6 e GE9) che danno contenuti in crisotilo estremamente bassi. I numerosi dati analitici disponibili per questa tratta indicano che la distribuzione dell'amianto è estremamente eterogenea, con valori prevalenti inferiori di un ordine di grandezza rispetto al limite di 1g/kg, e con alcuni picchi distribuiti in modo irregolare che al massimo superano di tre volte il limite.

Tratta 4, corrispondente al Dominio del Bric Boessa: il litotipo prevalente in questa tratta è rappresentato da lherzoliti da parzialmente a totalmente serpentinizzate (Lherzoliti del Monte Tobbio). I valori dei tre campioni analizzati sono omogenei e tutti di poco inferiori al limite di 1 g/kg.

Ambito Varenna

Tratta 5, corrispondente alla Zona a Scaglie della Val Varenna (Dominio Varenna-Contessa): in questa tratta le ripetizioni per piegamento e scagliamento dei litotipi sono molto frequenti. Al limite orientale di questa tratta omogenea è presente una fascia cataclastica di potenza decametrica a direzione meridiana, quindi subparallela alla direzione delle strutture regionali. I campioni di superficie raccolti in questa zona, B17C01B e AG21C01B (serpentiniti brecciate), riportano valori superiori a dieci volte la soglia di legge. I dati analitici disponibili derivano dai seguenti sondaggi:

- il sondaggio SGG5, effettuato nell'ambito del Progetto Preliminare, indica contenuti inferiori o molto inferiori alla soglia di legge, salvo una zona compresa tra le quote di -110 m circa e -140 m dove, al di sotto di una fascia di calcescisti, è presente una zona di serpentiniti brecciate e cataclastiche che mostra contenuti in fibre molto elevati, anche maggiori di 50.000 mg/kg;
- i campioni di superficie GE13A e GE13C riportano contenuti in fibre variabili da 200 mg/kg fino a oltre 1700 mg/kg;
- il sondaggio suborizzontale VV1, effettuato nell'ambito del Progetto Definitivo, campionato in metagabbri contenenti tremolite aciculare e nella fascia di serpentiniti

cataclastiche, mostra valori al di sotto della soglia per i metagabbri (da 0 a 650 mg/kg), mentre la fascia di serpentiniti cataclastiche presenta valori molto alti (> 10000 mg/kg).

Ambito Monterosso (gallerie Monterosso)

Tratta 6, corrispondente alla "zona del Monte Contessa" del Dominio Varenna-Contessa: in questa tratta sono stati analizzati i seguenti campioni:

5 campioni di superficie prelevati nell'ambito del Progetto Preliminare (GE13c, GE16a, GE17b, GE18c e GE19b);

- 10 campioni dal sondaggio SGG4, tra le quote -50 e -140 m;
- campioni di superficie (AG55C01AG, AG54C01AG e B49C01B); i campioni AG55C01AG e AG54C01AG rappresentano il contatto tra le serpentiniti e la scaglia di calcescisti e mostrano valori decisamente al di sopra della soglia consentita, mentre il campione B49C01B rappresenta il contenuto in fibre della serpentinite al contatto con la dolomia, che è di circa 30000 mg/kg;
- 2 campioni dal sondaggio VB11 su serpentiniti con valori di circa 300 mg/kg;

Tratta 7, corrispondente alla "Zona del Gazzo": questa tratta è costituita prevalentemente da dolomie e calcari della zona Gazzo, che sono privi di minerali fibrosi.

Tratta 8, corrispondente alla "Zona di deformazione di Timone": la tratta 8 si sviluppa nella Unità Cravasco-Voltaggio ed è costituita da serpentiniti intensamente fratturate. Il contatto tra i due litotipi è rappresentato da una fascia nella quale essi sono ripetuti tettonicamente. Nella tratta 8 sono stati prelevati 6 campioni di superficie (GE20b, GE20c, GE21a, GE21b, B51C01B e B52C01B) all'interno delle serpentiniti; 4 campioni hanno dato valori superiori a 1000 mg/kg (tra 1000 e 5700 mg/kg).

Tratta 9, corrispondente alla "Zona di Serra": è costituita da argilloscisti e scisti carbonatici. La tratta 9 presenta rischio amianto nullo, in quanto costituita da litotipi che non contengono minerali fibrosi.

Tratta 10, corrispondente alla "Zona di deformazione di Scarpino": è costituita serpentiniti intensamente fratturate o cataclastiche. Nella tratta sono stati prelevati:

- 1 campione di superficie prelevato nell'ambito del Progetto Preliminare (GE24b).
- campioni di superficie (B13C02B, AG49C01AG, AG56C01AG e AG02C01B).

Analogamente alla tratta 8 il contenuto di amianto è assai variabile, con picchi di concentrazione elevati (maggiori di 10000 mg/kg) in corrispondenza di zone a intensa cataclasi e a blocchi di

oficalcite. Questa fascia costituisce quindi una zona di potenza ettometrica ad elevato rischio amianto.

Tratta 11, corrispondente al Dominio di Bric Teiolo (11a) e al Dominio della Val Polcevera (11b): la tratta 11 comprende la parte orientale dell'unità tettonometamorfica di Figogna, corrispondente alle metabasalti del Dominio del Bric Teiolo (tratta 11a), e metasedimenti del Dominio della Val Polcevera (tratta 11b), comprendenti, da ovest ad est, calcari, alternanze di calcari, argilloscisti e metapeliti e argilloscisti filladici. Entrambe le tratte 11a e 11b sono costituite da litotipi che non contengono minerali fibrosi e di conseguenza sono a rischio amianto nullo.

Per quel che riguarda il rischio amianto relativo alle rampe del nodo di Voltri (Ambito Voltri e Vesima), analogamente alla Tratta 1, questa zona è molto eterogenea (calcescisti con intercalazioni di metabasiti, serpentiniti e SAC). L'intero settore del nodo di Voltri è da considerare come un dominio omogeneo in quanto caratterizzato sempre dalla stessa associazione di litotipi, che presentano caratteristiche mineralogiche e strutturali costanti. I valori di concentrazione di minerali fibrosi, ricavabili da campioni raccolti in superficie sono variabili, da molto inferiori alla soglia di 1000 mg/kg a molto superiori alla stessa (6000 mg/kg).

Si ricorda, comunque, che la determinazione del contenuto in amianto di una roccia è necessariamente una determinazione puntuale o comunque riferita ad un volume di roccia molto limitato rispetto alle dimensioni dei corpi geologici attraversati dal tracciato autostradale. Ne deriva che una valutazione previsionale del "rischio amianto" è funzione del grado di conoscenza della distribuzione dei minerali fibrosi, all'interno di un corpo roccioso ritenuto sufficientemente omogeneo.

Pertanto, nella stima dei volumi di rocce potenzialmente amiantifere è stato applicato un fattore di correzione, per tenere conto del fatto che in ogni tratta l'amianto è distribuito nella roccia in maniera eterogenea. In altre parole, dagli studi svolti emerge chiaramente che per ciascuna tratta a rischio amianto "medio" o "elevato" non tutto il volume roccioso può essere considerato omogeneo, visto che i dati analitici dei campioni esaminati indicano che solo una parte di essi contiene valori di amianto superiori alla soglia di 1000 mg/kg.

Per quanto riguarda i volumi classificabili in corso d'opera con il "codice rosso" (cfr. elaborato APG0004 del PD), cioè tenendo conto sia dei parametri geotecnici scadenti che dell'elevato contenuto in amianto, essi si riferiscono essenzialmente alle due zone di deformazione cataclastica di Timone e Scarpino.

Infine, in merito all'individuazione della pericolosità dei materiali scavati - benchè gli elaborati progettuali GEO0179÷183 forniscano un'utile indicazione preventiva sull'attraversamento di

porzioni rocciose con diverso tenore di contenuto di fibre amiantifere – si precisa che non è possibile classificare gli scavi soltanto in base a questa valutazione geologica, in quanto la destinazione finale del materiale stesso dipende dalla combinazione delle determinazioni analitiche sui tenori di amianto e sui metalli pesanti. Pertanto, i terreni con potenziale contenuto di amianto dovranno essere caratterizzati in corso d'opera.

In fase di corso d'opera infatti, a controllo e a conferma di quanto individuato, sarà comunque prevista la caratterizzazione del materiale di scavo, anche con un'azione preventiva, ove non sia possibile effettuare le operazioni a cumulo per ragioni di spazio. Nei siti dove è prevista la presenza di fibre amiantifere, la caratterizzazione del materiale di scavo avverrà principalmente attraverso un processo di controllo innovativo, che prevede in luogo della caratterizzazione dei cumuli, l'analisi chimica da prelievi eseguiti in silos di stoccaggio con principale mezzo trasporto un sistema meccanizzato. Ciò avviene proprio per mitigare il più possibile le criticità legate alla presenza di fibre amiantifere. Nello specifico a secondo delle modalità di scavo, la procedura di caratterizzazione ambientale sarà condotta:

- per le gallerie scavate con TBM, lo smarino progressivamente prodotto verrà trasportato via nastro o tubo al cantiere di Bolzaneto, dove verrà temporaneamente depositato in una serie di silos, per poi essere caratterizzato;
- per le gallerie scavate con metodi tradizionali e per gli scavi all'aperto, il materiale dovrà essere caratterizzato preventivamente o in avanzamento, prima di poter essere movimentato; lo smarino progressivamente prodotto verrà successivamente trasportato con speciali autocarri al cantiere di Bolzaneto, dove verrà frantumato e temporaneamente depositato nei silos, per poi essere eventualmente ri-caratterizzato.

Infine per maggiori approfondimento, si rimanda alla relazione specialistica dedicata allo studio sull'amianto ed annessi allegati (cfr. elaborati GEO0179 e GEO180,Tabelle 1 e 2).

4 CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI IN SCAVO MECCANIZZATO

Il processo di scavo meccanizzato proposto per la sequenza di gallerie Monterosso, Amandola e Borgonuovo (oltre 14 km di sviluppo complessivo per ciascuna carreggiata in terreni potenzialmente amiantiferi) avviene tramite due frese di tipo EPB/HYDROSHIELD (SCM001, relazione sullo scavo meccanizzato). L'applicazione in sicurezza di questa tecnologia TBM in presenza di rocce amiantifere prevede che le operazioni di scavo e rivestimento avvengano senza mai un diretto contatto con la roccia. L'unico contatto con lo smarino può avvenire solo durante il trasporto del materiale fresato dalla testa all'imbocco, quando la roccia scavata transita sul nastro installato lungo tutto lo sviluppo della galleria già eseguita. La tecnologia TBM prevista per il Nodo di Genova restituisce però uno smarino di consistenza pastosa (nel caso della EPB) o comunque umida (nel caso della HYDROSHIELD) che non consente la volatilità delle fibre di amianto e costituisce un'importante misura di sicurezza, eliminando alla fonte il pericolo di dispersione del materiale pericoloso nell'ambiente di lavoro. Il trasporto dello smarino all'interno della galleria (fino all'imbocco) può quindi avvenire su un apposito nastro trasportatore completamente stagno e dotato di sistema antipolvere per l'irrigazione del materiale in caso di soste prolungate, quando l'asciugatura dello strato superficiale del materiale potrebbe far insorgere problemi di dispersione delle fibre.

Lo smarino progressivamente prodotto dalle due TBM verrà quindi temporaneamente depositato in una particolare area di caratterizzazione: una serie di silos da 1.500 mc ciascuno (ubicati nel cantiere di Bolzaneto) che saranno sottoposti a prelievi per definire il contenuto di amianto e di metalli pesanti della loro massa.

A seconda del risultato delle prove di laboratorio e della caratterizzazione ambientale delle terre si possono porsi tre casi, definiti da codici identificativi, la cui descrizione è indicata nella Relazione Generale APG0002 e nelle linee guida per la gestione dello smarino, APG004:

- codice verde: il materiale escavato dai silos viene trasportato tramite slurrydotto con forma semiliquida, per aggiunta di acqua marina; il trasporto sarà sino al Canale di Calma, antistante l'area areoprotuale, dove – eliminata l'acqua in eccesso (recuperata nel circuito di carico dello slurryfier) viene utilizzato per il riempimento dello strato inferiore dell'opera a mare (lo strato superiore di "capping" sarà costituito invece utilizzando lo smarino non amiantifero proveniente dagli scavi in tradizionale).
- codice giallo: il materiale di scavo presentando superamenti nei parametri di caratterizzazione ambientale e di riferimento normativo (soprattutto amianto e metalli pesanti) viene riutilizzato, dopo processi di stabilizzazione a cemento e calce,

nell'ambito dello stesso processo produttivo nel riempimento dell'arco rovescio delle gallerie; si sottolinea la compatibilità ambientale del materiale qualificato e la possibilità in tal senso di poter essere riutilizzato e depositato nell'ambito dello stesso sito di produzione, con un ulteriore criterio di sicurezza, confinandolo in un ambiente chiuso.

- codice rosso: lo smarino, con caratteristiche ambientali non rispettose dei limiti normativi, presenta caratteristiche geomeccaniche estremamente scadenti. Le 2 tipologie qualitative sono corrispondenti in particolari situazioni litologiche deformative (ad es. la zona deformativa in serpentiniti brecciate di Scarpino). Per ciò il contenuto nel silos con tali caratteristiche viene smaltito direttamente in discarica attraverso una gestione in piena sicurezza per cui il materiale viene automaticamente sversato tramite coclea in un ulteriore silos (il bagger) dove additivato da speciali resine incollanti, se ne consente lo stoccaggio temporaneo in cantiere ed il successivo trasporto a discarica.

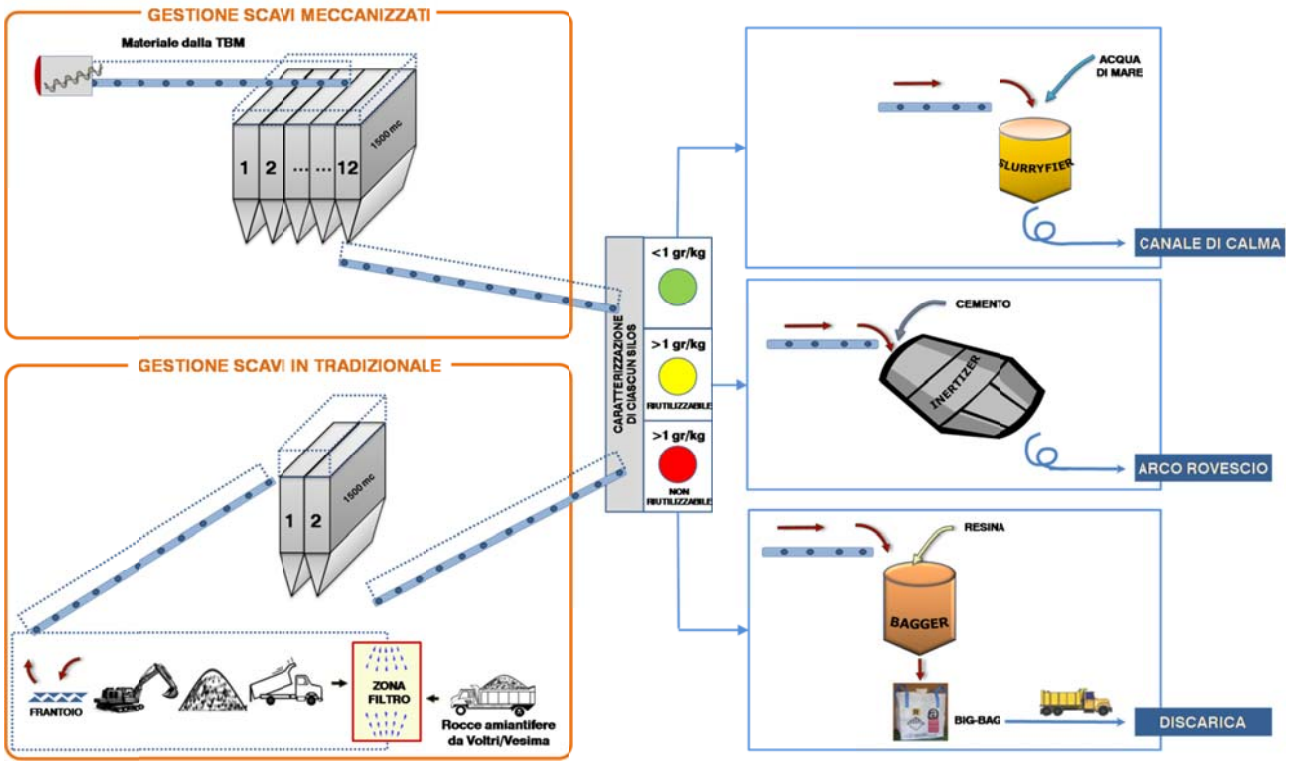


Figura 6 Gestione dello smarino qualificato secondo una codifica definita dalla caratterizzazione ambientale sulla concentrazione di amianto,dei metalli pesanti e delle caratteristiche geomeccaniche del materiale di risulta

Dall'elaborato GEO0179 del PD è possibile dedurre una previsione dei volumi attesi per le 4 diverse "zone": dall'analisi dei dati appare evidente che – anche nella peggiore delle ipotesi – le rocce con contenuto in amianto superiore ai limiti di legge interesserebbero un massimo del 20%

dell'estensione del tracciato; di conseguenza almeno l'80% del volume complessivo dello smarino risulterebbe riutilizzabile, ai sensi della normativa vigente, per la costruzione di opere d'arte.

Per cautela, nelle previsioni progettuali si è calcolato un valore medio di presenza di materiali amiantiferi, individuando i quantitativi riportati nella seguente tabella.

Tabella 10 Tipologia e quantità dei materiali scavati nel tratto potenzialmente amiantifero (Ovest Polcevera)

DESCRIZIONE	% MIN	% MAX	% MEDIA	QUANTITA' COMPLESSIVA (MC SCIOLTI)	QUANTITA' RELATIVA (MC SCIOLTI)	TOTALE GENERALE (MC SCIOLTI)
MATERIALE POTENZIALMENTE AMIANTIFERO						
MATERIALE DESTINATO AL RIEMPIMENTO DELL'ARCO ROVESCIO	11,0	19,0	15,0	6.266.480	939.972	6.266.480
MATERIALE DESTINATO ALLO SMALTIMENTO A DISCARICA SPECIALE	2,0	3,0	2,5	6.266.480	156.662	
MATERIALE DESTINATO ALL'OPERA A MARE (zona protetta da capping)	87,0	78,0	82,5	6.266.480	5.169.846	
MATERIALE NON AMIANTIFERO						
MATERIALE DESTINATO ALL'OPERA A MARE (riempimento cassoni e imbasamento)	-	-	-	544.830	544.830	544.830
				TOTALE	**6.811.310**	**6.811.310**

4.1 Le tecniche di scavo meccanizzato e il processo di condizionamento dei terreni

Come già illustrato in altre relazioni, in particolare nella Relazione Generale APG0002, il funzionamento della macchina in avanzamento prevede la realizzazione di una contropressione di terra: il terreno scavato, opportunamente "condizionato", viene spinto incontro al fronte con una certa pressione, mettendo lo stesso fronte in condizioni di stabilità.

La tipologia EPB presuppone l'utilizzo di prodotti chimici che agevolano le operazioni di sostegno del fronte, di scavo, di accumulo del materiale in camera di scavo e di trasporto in esterno dello stesso. Tale operazione, conosciuta come "Soil conditioning", viene effettuata attraverso l'ausilio di agenti schiumogeni e polimeri di varia natura. La scelta delle differenti tipologie di additivi e' in funzione della tipologia di materiale da trattare. Generalmente i differenti agenti producono i seguenti aspetti:

- **Schiume**: mantengono la stabilità del fronte, accrescono le capacità di deformazione plastica del terreno, riducono l'attrito interno e il momento torcente sulla testa di taglio;
- **Polimeri**: hanno un effetto stabilizzante del terreno e delle stesse schiume, generano un effetto di ritenzione dell'acqua;

- **Agenti disperdenti**: disgregazione della struttura coesiva di orizzonti argillosi ben consolidati, facilitano la ripresa dello scavo a seguito di prolungati fermi macchina all'interno di un ammasso con comportamento spingente o rigonfiante.

Gli agenti condizionanti permettono al materiale di raggiungere il livello di pastosità necessario per poter essere agevolmente estratto dalla coclea oltre che permettere il trasferimento della pressione di supporto dalla paratia al fronte di scavo. Inoltre questi prodotti riducono l'usura sugli utensili di scavo.

La fresa TBM modello Hydroshield, talvolta indicata con la denominazione HDS, si differenzia dalla tipologia EPB perché il bilanciamento delle pressione alla testa di scavo avviene attraverso l'utilizzo di un fluido bentonitico. In questa tipologia di macchina vi è' la presenza di una doppia camera per generare la contropressione al fronte. La prima camera retrostante la testa di scavo (camera di scavo) è completamente piena di fluido bentonitico mentre una camera retrostante, collegata alla prima attraverso una apertura nella parte inferiore, presenta una bolla d'aria nella parte superiore. Proprio questa bolla d'aria permette una precisa regolazione della pressione di supporto che, grazie al principio dei vasi comunicanti, si trasmette nella camera di scavo e quindi al fronte. Il fluido bentonitico viene recuperato da una idonea linea di aspirazione che, attraverso una serie di tubazioni e pompe centrifughe, lo trasporta fino all'impianto di separazione dove il materiale di scavo è diviso dal fluido bentonitico in modo tale che quest'ultimo possa essere reinserito nel circuito di alimentazione dei fanghi originali.

L'impianto di separazione viene diviso in due settori, il primo dei quali prevede una separazione meccanica, tramite vagli per fasi successive, dopo di che il fluido residuo può essere immesso di nuovo nel circuito di scavo della TBM, tutto o in parte, in funzione della densità richiesta. Il fluido in eccesso invece viene inviato al secondo settore dell'impianto di trattamento, costituito da centrifughe, da chiarificatori e da filtri presse, che ha il compito di restituire un fluido chiarificato. In linea generale, più aumenta la frazione grossolana nel materiale scavato e maggiore è la quota di bentonite recuperata dall'impianto di separazione.

Le sostanze considerate, detti "agenti condizionanti" (tensioattivi, polimeri, stabilizzanti, ecc.) hanno caratteristiche di compatibilità ambientale, esistendo sul mercato una ampia gamma di prodotti altamente biodegradabili le cui caratteristiche sono certificate dai test riportati nelle specifiche schede di sicurezza dei prodotti stessi.

Il condizionamento avviene attraverso l'aggiunta nella camera di spinta di additivi schiumogeni e di acqua, secondo le percentuali derivanti in prima battuta da prove sperimentali e via via ritoccate

durante l'avanzamento in funzione delle caratteristiche reali dell'ammasso e dell'interazione fra lo stesso e la fresa.

Nel caso della bentonite, con l'uso della HDS, le percentuali di utilizzo sono più rigide e variano nell'arco del 2-4% rispetto al volume complessivo.

4.2 Indicazioni sul condizionamento dei terreni interessati da scavo EPB

Per i motivi sin qui riportati, è stata effettuata, da parte del Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, una approfondita campagna di prove sperimentali (Allegato 1), atte a stabilire il contenuto ottimale di acqua e condizionante da utilizzare come "valore di progetto". Prudenzialmente e per tenere conto della differenza di "scala" tra le proporzioni delle prove e quelle reali, nonché della oggettiva difficoltà di simulare con esattezza le condizioni effettive, si considereranno contenuti di additivo superiori a quelli provenienti dallo studio.

L'esperienza, descritta in maniera più approfondita nella relazione "Prove comparative di condizionamento del terreno delle gallerie naturali inserite nei lavori di realizzazione del progetto "Gronda di Genova" per l'applicazione dello scavo meccanizzato di gallerie con tecnologia EPB" (Allegato 1), è il proseguimento di un'attività di ricerca e studio sui materiale condizionati che SPEA prosegue da alcuni anni con il Politecnico di Torino.

Le prove di laboratorio eseguite hanno seguito una procedura ampiamente consolidata e verificata per numerose gallerie scavate o in fase di scavo con la tecnologia EPB al fine di fornire indicazioni preliminari sul condizionamento dei terreni oggetto di studio.

I terreni studiati sono rappresentativi di due delle principali formazioni geologiche che le gallerie in ovest Polcevera attraverseranno e sono rispettivamente la formazione dei calcescisti e la formazione degli argilloscisti.

Inoltre l'analisi delle caratteristiche meccaniche e tecniche delle serpentiniti ha permesso di ritenere che il comportamento di questo materiale roccioso disgregato da utensili a disco possa essere del tutto analogo a quello dei calcescisti ed ipotizzare perciò una risposta identica al condizionamento. Questo dato consente di estendere alle serpentiniti i risultati in termini di condizionamento ottenuti sui calcescisti e poter perciò considerare esaminata una porzione decisamente più ampia del tratto di interesse.

Questa valutazione tecnica ha permesso di evitare alcune difficoltà ed imprevisti sopravvenuti per la gestione in laboratorio del materiale serpentinitico. Infatti, sia per le operazioni di frantumazione

e sia per le attività di analisi meccanica, sarebbe stato necessario ottenere specifiche autorizzazioni dagli enti accademici e di controllo per l'organizzazione e l'allestimento di misure di protezione, non presenti abitualmente nel laboratorio del Politecnico (ad esempio l'adozione di particolari cappe e motori di aspirazione e speciali sistemi d'isolamento). Pertanto la frantumazione del materiale è avvenuta in ambiente aperto, direttamene presso il deposito autostradale del Turchino, con sistemi di conterminazione durante le operazioni di sgretolamento e con umidificazione continua del materiale stesso. Ciò ha comportato però che la quantità di materiale serpentinitico a disposizione fosse necessaria solo per la procedura di condizionamento da sottoporre poi ad analisi chimica.

Questo tipo di scelta ha anche la possibilità di assimilare il comportamento della formazione dei calcescisti e delle serpentini a quello della formazione calcarea del "Monte Morello", già oggetto di studio in una precedente collaborazione di ricerca tra il DITAG - Politecnico di Torino e SPEA Ingegneria Europea S.p.A., riguardante lo studio del condizionamento dei materiali attraversati dallo scavo della galleria naturale "Santa Lucia".

Le prove sono state eseguite su materiale geologico prelevato dal deposito delle carote di sondaggio del Turchino, lungo l'autostrada A 26 e trasportato al laboratorio "Gallerie e opere in sotterraneo" del Politecnico di Torino. Questa campagna di prove è stata eseguita prove con un solo agente schiumogeno indicato da SPEA e sul quale il laboratorio dispone di una grande esperienza, avendolo utilizzato per molte precedenti ricerche scientifiche ed applicative, non ultima anche quella per il condizionamento degli ammassi rocciosi della formazione calcareo marnosa del Monte Morello, effettuata per lo studio del condizionamento del materiale nell'ambito del progetto autostradale Firenze Nord – Barberino, autostrada A1.

L'obiettivo delle prove è la valutazione delle migliori combinazioni di parametri di condizionamento, per ciascuna litologia considerata, al fine di stimare i quantitativi di agente condizionante presente nel materiale di scavo, per sottoporre i campioni a prove di tipo chimico al fine di verificare l'idoneità ambientale.

La fase preliminare dello studio ha richiesto lo svolgimento di una ricerca bibliografica finalizzata alla definizione della curva granulometrica del materiale prodotto dalla testa di scavo. Su questa base sono state definite le curve granulometriche dei materiali da sottoporre a prova (calcescisti del Turchino e argilloscisti di Murta) tenendo anche di riferimento le esperienze precedenti già citate sui calcari della formazione del Monte Morello e argilliti della formazione del Sillano (A1, Firenze Nord - Barberino). L'analisi della letteratura tecnica ha evidenziato come nello scavo di gallerie in roccia con TBM di medio diametro, cioè con macchine munite di utensili a disco questi

consentono di produrre nell'abbattuto una percentuale di "fine" (cioè grani con diametro < 1mm) dell'ordine del 10-15%.

Questi elementi sono stati ridotti di dimensione mediante frantumazione (manuale o con frantoio a mascelle) fino ad ottenere un contenuto di fine (< 1mm) dell'ordine del 12-15% (nella figura seguete si riporta la curva granulometrica dei calcescisti).

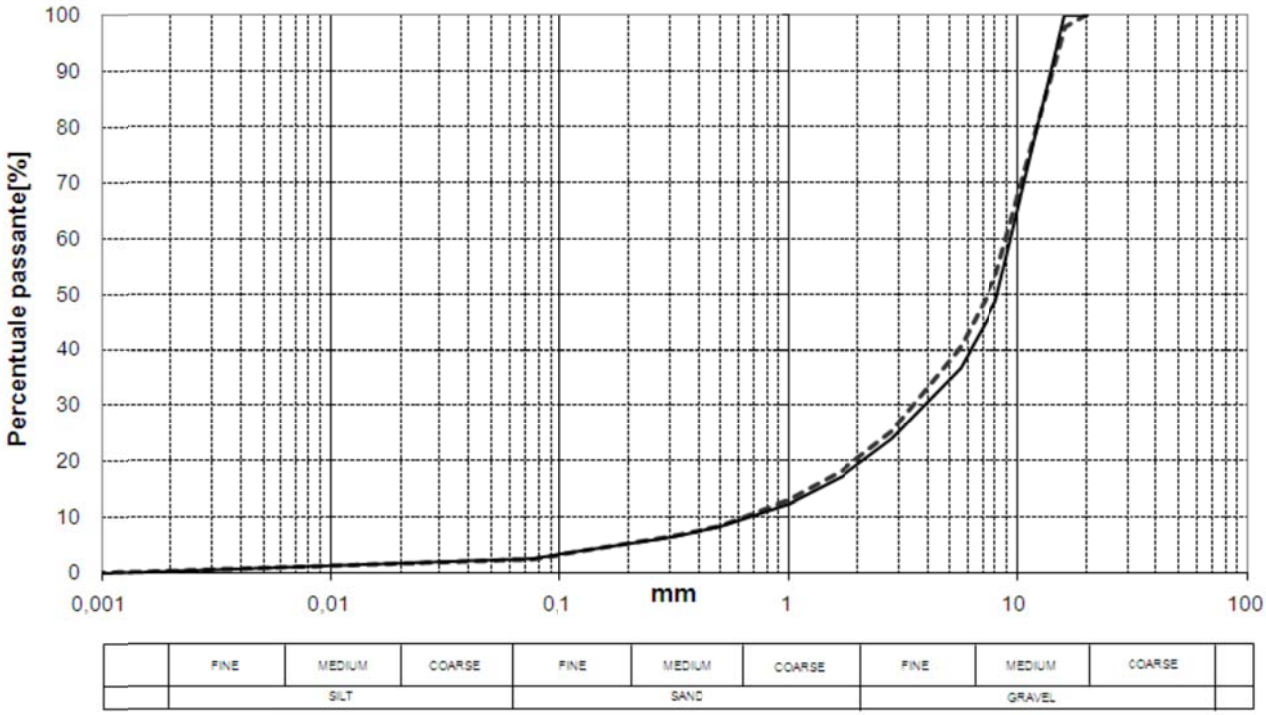


Figura 7 Curve granulometriche della formazione dei calcescisti dopo la frantumazione

La curva granulometrica utilizzata rappresenta quella che potrà essere la "matrice" di roccia demolita dagli utensili (dischi) della testa di scavo. Il contenuto di fine ottenuto mediante frantumazione è stato ritenuto, in questa prima fase della ricerca, come rappresentativo delle caratteristiche del terreno che sarà abbattuto dalla macchina. Le curve granulometriche dei campioni dopo la frantumazione sono quelle riportate nei grafici 1 e 2, mentre il contenuto d'acqua delle rocce recapitate al laboratorio è praticamente nullo per entrambe le formazioni.

Si è previsto innanzitutto di eseguire una campagna di prove per differenti livelli di condizionamento per mezzo di schiume e contenuto d'acqua mediante prove di slump che sono, nella letteratura tecnica, riconosciute come una metodologia adeguata ad una valutazione preliminare della fattibilità del condizionamento dei terreni.

Le prove hanno altresì stabilito come la prova di slump sia un utile controllo speditivo per valutare preliminarmente la consistenza accettabile del terreno condizionato per il funzionamento della macchina e ha fornito come valori ottimali dello slump un range tra 15 e 22 cm.

In una fase successiva, i calcescisti del Turchino, il terreno più rappresentativo, anche di altre litologie da un punto di vista comportamentale, in particolar modo le serpentiniti, sono state sottoposte a prove di estrazione da camera in pressione mediante attrezzatura di estrazione con coclea sviluppata dal laboratorio del Politecnico di Torino. Queste prove hanno consentito la verifica della capacità del terreno di applicare pressione nonché di riempire adeguatamente la coclea come richiesto per la corretta applicazione della tecnologia EPB.

In generale i parametri dalle prove sperimentali devono essere intesi come un solido dato di partenza che consente di definire innanzitutto la fattibilità del condizionamento, indicando altresì i valori nell'intorno dei quali si dovrebbero ragionevolmente attestare i quantitativi di condizionante utilizzato, fatto salvo l'adattamento degli stessi in ragione di fattori di temperatura nella camera di scavo, di fattori di scala e di tempistiche operative.

Il rapporto completo della campagna di prove è, come detto, riportato in Allegato 1.

4.2.1 *Tipologia di additivi*

Le sostanze considerate, detti "agenti condizionanti" (tensioattivi, polimeri, stabilizzanti, ecc.) hanno caratteristiche di compatibilità ambientale, esistendo sul mercato una ampia gamma di prodotti altamente biodegradabili le cui caratteristiche sono certificate dai test riportati nelle specifiche schede di sicurezza.

I principali prodotti condizionanti previsti nello scavo sono:

- Tensioattivi: facilitano scavo e trasporto, conferiscono al materiale di scavo plasticità, omogeneità, impermeabilità, riducono frizione e abrasione. In commercio esistono prodotti prontamente biodegradabili >60% dopo 28 giorni.
- Polimeri: si usano in situazioni di emergenza a supporto dei tensioattivi in condizioni difficili, ad es. nei tratti sottofalda, per terreni saturi contenenti sabbie fini e limi o terreni grossolani a basso tenore di fini. In commercio vi sono prodotti costituiti da polisaccaridi naturali biodegradabili >60% dopo 28 giorni.

La classe di inquinamento dell'acqua viene espressa mediante il parametro WGK (Wassergefährdungsklasse), determinato sulla base della norma tedesca VwVwS (WHC - Water Hazard Class). Il parametro WGK ha un valore compreso tra 1 e 3, secondo quanto stabilito dal German Federal Water Management Act sulle sostanze pericolose per l'acqua, che corrisponde al

pericolo relativo di un composto chimico nei confronti delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dell'acqua.

WGK	Descrizione
0	non inquinante
1	scarsamente inquinante
2	inquinante
3	altamente inquinante

Il rischio potenziale per l'acqua si basa valutazione di un set di dati di base in relazione alle sostanze contenute nel prodotto: ad es. tossicità orale acuta per i mammiferi, tossicità per gli organismi acquatici (pesci e batteri), biodegradabilità, bioaccumulazione.

Sebbene non richiesto dal U.S. OSHA (Occupational Safety & Health Administration), la classificazione WGK appare comunemente sulle schede di sicurezza dei prodotti venduti nella Comunità Europea ed anche nei prodotti che si intende utilizzare per la realizzazione del progetto.

Il progetto prevede, per prescrizione e per buona norma ambientale, che vengano utilizzati solo quei prodotti che abbiano una certificazione di appartenenza alla classe WGK 1, e che siano conformi inoltre alle indicazioni dettate dalla Dir. 1999/45/CE e ss. aa. sulla formulazione ed identificazione delle sostanze utilizzate. La stessa Normativa VwVwS stabilisce anche il massimo quantitativo in una miscela, quale in effetti è quella costituita da additivo-acqua-terreno nella fase di scavo, di componente WGK1 affinché la miscela stessa possa essere considerata a rischio nullo per l'acqua.

- WGK1: massimo contenuto in peso nel miscuglio inferiore al 3%;
- WGK2: massimo contenuto in peso nel miscuglio inferiore allo 0,2%;
- WGK3: massimo contenuto in peso nel miscuglio inferiore allo 0,2% e assenza di materiali cancerogeni.

Si sottolinea pertanto che i quantitativi di additivi in esame saranno tali da determinare una miscela a rischio nullo per l'acqua in conformità alla norma VwVwS.

4.2.2 *Valutazioni sul condizionamento dei terreni*

Non essendo note in maniera univoca le condizioni di umidità del materiale abbattuto da condizionare, le prove di slump sono state eseguite con tassi di espansione (FER) variabili, con valori compresi tra 10 e 15, aggiungendo ai diversi materiali una quantità d'acqua, oltre quella

naturale, compresa tra lo 0% e il 10% per i materiali sottoposti a prova. Nelle prove la concentrazione dell'agente schiumogeno è stata del 2%.

Dall'analisi dei risultati delle prove di slump effettuate sulla formazione dei calcescisti è stato possibile verificare che l'aggiunta di schiuma è assolutamente necessaria per il condizionamento del terreno poiché l'introduzione della sola acqua non è sufficiente per fornire al materiale un comportamento pastoso. In generale la simulazione del quantitativo d'acqua negli ammassi rocciosi, che la macchina di scavo incontrerà lungo il tracciato, è stato valutato come detto accettando un certo grado di variabilità. È comunque noto che aumentando il contenuto d'acqua, il materiale ha una maggiore fluidità e quindi una migliore condizionabilità. Questi valori sono stati ottenuti in laboratorio addizionando acqua al materiale frantumato contestualmente alla miscelazione con la schiuma. Durante lo scavo, comunque, sarà relativamente facile, se il materiale risultasse troppo asciutto, addizionare acqua dalla macchina all'interno della camera di scavo mediante le pompe che sono presenti in tutte le macchine di nuova generazione, per raggiungere le condizioni di umidità idonee.

Anche nel caso delle prove di slump effettuate sugli argilloscisti è stato possibile accertare che l'aggiunta di schiuma sia assolutamente necessaria per il condizionamento del terreno perché l'aggiunta della sola acqua non determina un comportamento pastoso del materiale.

Nell'ottica però di studiare chimicamente valori di condizionamenti il più possibile rispecchianti la realtà di uno scavo con EPB in materiali rocciosi, si deve comunque ricordare che nello scavo di gallerie con EPB di grande diametro è prassi, particolarmente in terreni con granulometria variabile e complessa quali quelli in esame, adottare valori di FIR superiori, in relazione alle specifiche problematiche che possono verificarsi durante l'uso di una macchina EPB come l'aumento di temperatura in camera (che accelera il decadimento delle bolle di schiuma) ed il tempo trascorso dal terreno in camera e l'usura degli utensili, nonché è possibile che sia necessario avere concentrazioni di agente schiumogeno più elevate al fine di ottenere bolle di maggior resistenza.

L'incremento di questi parametri aumenta il contenuto di agente condizionante nel terreno trattato che comunque rimarrebbe, per i range usualmente adottati nella pratica, nell'intorno di alcuni litri per metro cubo.

In accordo con l'esperienza maturata nelle precedenti campagne di condizionamento di materiali lapidei come nel caso della ricerca svolta per la galleria naturale "Santa Lucia" lungo la tratta Firenze Nord-Barberino dell'autostrada A1, è possibile ipotizzare un incremento del quantitativo di schiuma addizionata al materiale di circa 20%. Questo incremento di FIR inserito nel materiale è stato ritenuto opportuno quale elemento critico per una valutazione della compatiblità ambientale

dei terreni analizzati con le prove chimiche di cessione eseguite con le combinazioni di parametri di condizionamento utilizzate durante le prove.

In conclusione dalle prove dirette di slump si è ritenuto utile che le analisi chimiche di cessione venissero eseguite con i seguenti dosaggi di condizionamento:

- argilloscisti FER = 15, FIR = 70%, w = 5% e FER = 10, FIR = 40%, w = 5%;
- calcescisti FER = 15, FIR = 70%, w = 5%.

4.2.3 *Prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione*

Per la valutazione dell'idoneità del materiale condizionato ad essere estratto mediante coclea per la simulazione del comportamento durante lo scavo con EPB, presso il laboratorio del Politecnico di Torino è disponibile un idoneo apparato sperimentale appositamente progettato e costruito per l'estrazione del materiale condizionato.

L'apparato è stato realizzato in modo da riprodurre le condizioni di estrazione del materiale dalla camera di scavo di una macchina EPB anche tenendo conto della pressione presente in camera. Per la descrizione dell'impianto si rimanda alla relazione dedicata, Allegato 1.

La prova, pur avendo i limiti concatenati a tutte le prove di laboratorio a scala ridotta rispetto alla dimensione reale della macchina (cioè al così detto fattore di scala) ed operando a pressioni nel serbatoio standardizzate e comunque limitate da fattori operativi del laboratorio che possono essere differenti da quelle reali, fornisce indicazioni molto chiare sulle caratteristiche dei materiali e sulle loro proprietà di controllare e gestire la pressione nella camera di scavo con EPB.

Sono state eseguite 2 prove sui materiali meta sedimentari dei calcescisti.

Per quel che riguarda la prima delle due prove, sulla base delle prove di slump realizzate al fine di caratterizzare il materiale oggetto di studio, è stato scelto un set di condizionamento che rappresentasse un buon condizionamento ad un tempo individuato per la permanenza nella camera di scavo calcolato a partire dal momento di aggiunta della schiuma nel terreno (circa 30 min.).

Per la prova di estrazione l'umidità naturale del terreno in esame è pari a circa allo 0% misurata in laboratorio, mentre è stata aggiunta acqua pari al 5% in peso. Questo valore è stato definito sulla base e di accordo con quanto determinato ed accertato in sede di campagna di prove di slump. Il tasso di espansione della schiuma (FER) utilizzata in tutte le prove è di 15. Il tasso di iniezione FIR è stato del 70% con una concentrazione di agente schiumogeno del 2%.

Per la seconda prova è stato scelto un set di parametri di condizionamento che desse un mix più fluido per approfondire i risultati non ottimali del primo test, alla luce di una percentuale di fine

leggermente superiore alla attese granulometriche (elevata spigolosità dei grani con maggior tendenza al blocco reciproco e contenuto di fine pari al 19 %, rispetto al 12% delle prove slump). La sensibilità del sistema a questa variabilità, che comunque potrebbe verificarsi nella realtà, ha suggerito l'esecuzione di una nuova prova di estrazione nella quale sono stati aumentati i dosaggi relativi a schiuma ed acqua. Pertanto, con l'obiettivo di ottenere un mix più fluido l'acqua aggiunta al materiale è stata aumentata dal 5% al 7%. Il tasso di iniezione della schiuma FIR è stato del 75%.

La granulometria è un fattore determinante per la definizione di un corretto set di parametri di condizionamento. Per questo motivo, poiché le operazioni di scavo possono produrre un marino con caratteristiche granulometriche differenti in funzione della spinta applicata alla testa, alle condizioni di usura degli utensili e di quelle che sono le naturali variazioni della massa rocciosa, è da tenere comunque in considerazione il risultato della prova di estrazione descritta, con maggior approfondimento nella relazione alelgata. Nell'ottica di completare e rendere più attendibile il lavoro di ricerca sono state effettuate altre prove di caduta al cono di slump, sia per verificare l'effettiva differenza di comportamento tra i due campioni utilizzati, sia per definire un set di parametri di condizionamento che permetta al materiale utilizzato di dare risultati ottimali anche in una prova di estrazione. I risultati di questa seconda serie di prove di slump ha comportato che le analisi chimiche di cessione venissero eseguite anche con i seguenti dosaggi di condizionamento:

- calcescisti FER = 15, FIR = 80%, w = 5% e FER = 15, FIR = 70%, w = 7%

4.2.4 *Valutazioni sul comportamento delle serpentiniti*

Come già indicato, l'analisi delle caratteristiche meccaniche e tecniche delle serpentiniti, stante la resistenza a compressione delle serpentiniti stesse rapportate ai calcescisti e al calcare ed alla dimensione presunta dei dischi degli utensili (19"), i livelli di condizionamento individuati per i calcescisti sono da ritenersi utilizzabili con successo anche in questa formazione.

Conseguentemente, ai fini delle analisi chimiche, il dosaggio di prova degli agenti schiumogeno, in relazione alla difficoltà logistiche e di gestione del materiale potenzialmente amiantiferi in laboratori non attrezzati, è stato il seguente:

- serpentiniti FER 15%, FIR 70%, w = 5%

4.3 Contenuto residuo di bentonite nei terreni interessati da scavo HDS

Di seguito si riassumono alcune indicazioni relativamente al contenuto di bentonite residua dopo il trattamento di separazione nel detrito di scavo, quando lo scavo delle gallerie vengano eseguite mediante una macchina di tipo HydroShield.

La relazione completa sulle quantità residue di bentonite nel materiale di scavo è riportata in Allegato 2.

4.3.1 *La bentonite*

La bentonite è un minerale argilloso, della famiglia delle smectiti, principalmente costituito da montmorillonite (si veda figura seguente). Le smectiti sono un gruppo di minerali che mostrano espandibilità per assorbimento sia di acqua, sia di molecole organiche entro gli strati strutturali, ed anche notevoli proprietà di scambio cationico.

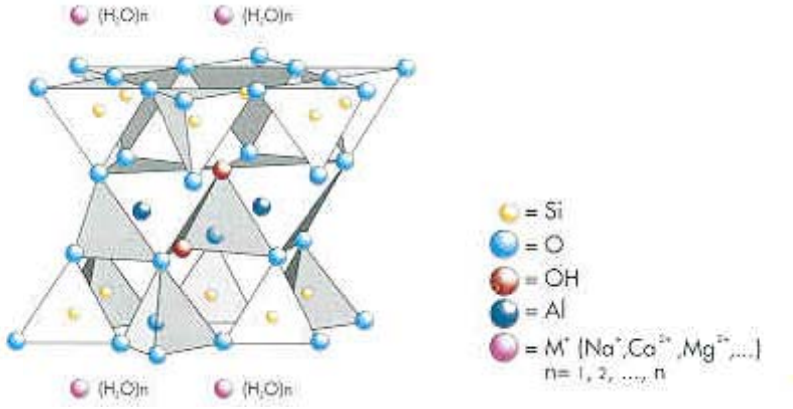


Figura 8 Struttura cristallina della montmorillonite

Il minerale argilloso che le compone allo stato cristallino deriva dalla devetrificazione e conseguente alterazione chimica di vetri di origine magmatica, generalmente tufi o ceneri vulcaniche (definizione Ross e Shannon, 1926). La natura e le origini vulcaniche dei giacimenti bentonitici danno luogo a varietà spesso fortemente eterogenee del minerale. Vengono così a formarsi bentoniti che possiamo definire sodiche, calciche e bentoniti a carattere acido. Tali minerali si trovano sotto forma di particelle appiattite che formano aggregati a grana fine.

Il principio attivo delle bentoniti è la montmorillonite, un silicato idrato di alluminio e magnesio, morfologicamente costituito da ottaedri di allumina imprigionati tra due strati di silice tetraedrica. Questa tipica struttura cristallina origina una particella elementare di montmorillonite dalla caratteristica forma di "lamella". Ciascuna lamella presenta sulla superficie esterna una distribuzione uniforme di cariche negative. Le lamelle vengono riunite in pacchetti grazie all'azione di forze di tipo elettrostatico che si instaurano tra i cationi (Na+, Ca++, K+, H+) che si possono interporre tra le lamelle e la distribuzione di cariche negative sulla superficie delle medesime.

La prevalenza di un catione rispetto agli altri determina le caratteristiche di una bentonite. Si parlerà così di bentonite sodica nel caso prevalgano i cationi Na+, di bentonite calcica nel caso prevalgano i cationi Ca++ e di bentonite acida nel caso di presenza rilevante di ioni H+.

Infine, risulta importante sottolineare che la caratteristica principale della bentonite è la sua origine naturale. Infatti si tratta di un "prodotto" naturale che e non subisce particolari trattamenti chimici per cui è da ritenersi a tutti gli effetti un materiale altamente ecologico e stabile nel tempo.

4.3.2 *Studio sul contenuto residuo*

Con la collaborazione del Politecnico di Torino, è stato realizzato uno studio sul contenuto residuo della bentonite (Allegato 2) partendo da una ricerca bibliografica relativa al settore e trovando poi indicazioni utili e dati significativi direttamente presso i produttori di macchine di scavo, i produttori di bentonite e le imprese che utilizzano macchine a contropressione di fango bentonitico per lo scavo di micro tunnel.

Questa inchiesta ha consentito di ottenere le informazioni sintetizzate nel seguito.

È stata verificata direttamente presso i produttori di macchine di scavo la perdita di slurry nell'impianto di separazione che ha permesso di fornire una base dati sulla quale è stata poi calcolata la percentuale di bentonite persa dopo il trattamento residuando nell detrito di scavo.

Dalle imprese che utilizzano macchine a contropressione di fango per microtunnelling, è stata fornita la percentuale residua di bentonite dopo il trattamento di separazione. Tale valore è dipendente dal tipo di terreno attraversato sulla base della loro esperienza e di indagini fatte su alcuni cantieri. Di seguito alcune indicazioni di massima secondo la tipologia di terreno:

- roccia compatta: 0-1%
- alluvioni ghiaiose: 1-3%
- sabbia: 5-10%
- sabbia argillosa: 8-15%
- argilla: 10-30%.

Dai produttori di bentonite, è stato richiesto il dato relativo al consumo di bentonite per m^3 di terreno scavato. sulla base dei dati ricavati dalla loro esperienza è questo valore è compreso tra i 12 e 25 kg e varia in funzione del tipo di bentonite e della natura del terreno: più il terreno è roccioso, più la separazione dallo slurry sarà buona, ciò si traduce in meno fini in sospensione e di conseguenza un minor volume di slurry perso.

Sulla base dei dati raccolti la percentuale di bentonite residua nel terreno scavato è compresa tra 0.6% e 1.25% , nell'ipotesi di una densità dello smarino di 2000 kg/m^3.

In generale, mettendo insieme tutte le informazioni raccolte e studiate, e confrontando i dati numerici dei diversi produttori e imprese, che appaiono in ottimo accordo tra di loro, si può

assumere che sia ragionevole ipotizzare, in particolare per quel che riguarda lo scavo in roccia, un quantitativo residuo di bentonite nel materiale scavato dell'ordine del 1-2% sul volume.

4.3.3 *Prove di slump con bentonite*

Al fine di poter eseguire le prove per la caratterizzazione del detrito sono stati preparati i seguenti campioni:

- AGS + 2% bentonite in 3 l d'acqua
- AGS + 4% bentonite in 5 l d'acqua
- CLS + 2% bentonite in 3 l d'acqua
- CLS + 4% bentonite in 5 l d'acqua

Sono state effettuate delle prove di slump eseguite sui materiali trattati con il 2% di bentonite notando valori comparabili a quello individuati con il condizionamento delle schiume. Tale percentuale è stata ritenuta la più idonea per il mantenimento delle caratteristiche meccaniche; con valori superiori è stato notato la perdita di tali proprietà mostrando un comportamento decisamente più fluido. Ciò nonostante la verifica chimica è stata eseguita considerando anche la percentuale pari al 4% in bentonite ritenendo un utile valore di osservazione e di approfondimento delle miscele in esame, pur non rappresentando un limite od un rischio ambientale, viste le caratteristiche naturali del minerale argilloso.

5 PROVE SPERIMENTALI DI CARATTERIZZAZIONE CHIMICA SUI TERRENI DI RISULTA DELLO SCAVO MECCANIZZATO

A proposito di quanto già indicato nei capitoli precedenti e nelle relazioni specialistiche di progetto, è stato eseguito uno studio qualitativo e quantitativo per individuare e fissare alcuni criteri da ritenersi validi nella valutazione delle caratteristiche dei materiali, del potenziale impatto degli additivi e dei condizionanti sul materiale di scavo e per verificare quanto previsto dal D. Lgs.152/06 ss.mm.ii.

L'attività di indagine svolta non è stata perciò finalizzata solo alla caratterizzazione chimica dei materiali che saranno movimentati, ma è stata sviluppata per verificare la compatibilità ambientale degli stessi anche nel tempo prevedendo il loro comportamento in fase di deposito. In tal senso, per quanto non previsto da nessuna normativa, parte dello studio è stato sviluppato esaminando i comportamenti dei materiali durante l'interazione con l'acqua di mare, il cui utilizzo è previsto nel trasporto dello smarino in slurrydotto e la cui presenza è ordinaria nel deposito del canale di calma. Il test di cessione pertanto è stato inteso non per la sua definizione di mezzo per l'identificazione di un rifiuto, ma come strumento per la determinazione delle caratteristiche del prodotto finale e per la verifica del suo valore ambientale, al fine di considerarlo come sottoprodotto e riutilizzarlo nelle opere a progetto.

Di seguito sarà descritto il processo di questo studio e saranno commentati i risultati ottenuti dalle attività di laboratorio chimico (Allegato 3).

5.1 Nota sull'attività svolta

Si segnala che i campioni sottoposti ad analisi sono rappresentativi del materiale nella stessa forma fisica in cui se ne prevede l'impiego, ma si specifica tuttavia che tutti i campioni sono stati prelevati originariamente da carote geognostiche poste in cassette catalogatrici e stoccate in ambiente aperto presso l'area di deposito del Turchino lungo l'autostrada A26.

Ciò significa che, sebbene si sia cercato di mantenere un certo rigore nell'applicazione delle normative soprattutto per ciò che riguarda le metodiche di campionamento e di laboratorio, a fronte della complessità tecnica e logistica per la gestione del materiale, non si può non far rilevare che il materiale stesso campionato possa avere subito modifiche nelle sue caratteristiche chimiche. In tal senso, come evidenziato dalle analisi di caratterizzazione delle diverse carote campionate, si fa già rilevare che alcuni contenuti in Nichel, dal tenore omogeneo in tutte le litologie, potrebbero essere riconducibili all'interferenza del materiale con le leghe di acciaio in nichel-ferro che costituiscono le aste di perforazione utilizzate durante le attività di sondaggio.

Il valore estremamente puntuale di un campione è influenzato e amplificato non poco dalle condizioni di campionamento, dalla profondità del campionamento, dalle condizioni esterne e meteorologiche nella fase di conservazione, preparazione e addizionamento. Infatti le analisi chimiche sono definite estremamente sensibili alle condizioni di campionamento, conservazione e preparazione, e perciò possono talvolta essere di relativa rilevanza qualitativa. Per questo motivo nel documento non si commenterà il dato del COD, domanda chimica di ossigeno, riportato in alcuni certificati di analisi: nel caso di materiali inerti infatti è definito come un parametro altamente sensibile e di nessun valore qualitativo, tale da non poter essere considerato tra quelli previsti per la qualificazione delle terre come sottoprodotti, così come è già stato indicato da alcune normative regionali (ad es. D.G.R. Piemonte 24/2010, “Linee guida per la gestione delle terre e rocce da scavo”; D.G.P. di Trento 1227/2009 “Linee guida e indicazioni operative per l'utilizzo di terre e rocce derivanti da operazioni di scavo”)

Il criterio adottato, e già utilizzato da SPEA in analoghe verifiche, è comunque da ritenersi utile, affidabile ed adatto a dare alcune specifiche indicazioni.

5.2 Metodologia di indagine

La metodologia qui proposta ed eseguita con la collaborazione tecnica e scientifica dell’Università di Genova, CESISP, ha avuto lo scopo, così come inteso dalla normativa di settore, di stimare sperimentalmente l’eventuale entità di emissione di inquinanti (in soluzione od in sospensione) dalle rocce e terre da scavo durante il trasporto verso la colmata o la posa entro la stessa. Sottolineando quanto anticipato in premessa sul significato dello studio e sulle modalità di campionamento, la verifica ha considerato tipologie di roccia sia potenzialmente amiantifere (serpentiniti) che non amiantifere (calcescisti, metabasalti o argilloscisti), che sono state ritenute le più significative da analizzare sia per caratteristiche chimiche, meccaniche, ma soprattutto perché rappresentative della maggior parte dei volumi interessati dallo scavo. Pur riconoscendo che la principale criticità ambientale può essere riferita alle rocce potenzialmente amiantifere, così come già indicato nel capitolo di approfondimento sulle caratteristiche chimiche dei terreni, per una ragione di completezza e di confronto sia tecnico, sia di comportamento meccanico, sia chimico è stata applicata la metodologia proposta su tutti i campioni che sono e saranno interessati dalle prove sperimentali di condizionamento effettuate con il Polito.

5.2.1 *Caratterizzazione chimica dei terreni*

Le prove sono state effettuate su campioni di materiale ricavati dai sondaggi precedentemente eseguiti ai fini della caratterizzazione geologica e geotecnica delle rocce situate in corrispondenza del tracciato. I campioni sono rappresentativi delle principali formazioni geologiche potenzialmente

amiantifere attraversate (metabasalti, serpentiniti, argilloscisti e calcescisti). Si è ritenuto utile eseguire 4 analisi di caratterizzazione chimica (1 per ogni litologia), vedi Decreto Legislativo 152/2006, Titolo V, Allegato 5, tabella 1, colonna B (composti inorganici da n.1 a n.18 e n.96) sullo stesso tipo di materiale che è stato e sarà interessato dalle prove di condizionamento e addizionamento (eccetto i metabasalti, che sono stati ritenuti simili al comportamento meccanico delle serpentiniti e dei calcescisti, in virtù della granulometria prevista dallo scavo meccanizzato). Il volume complessivo del materiale sottoposto alle procedure di miscelazione e quartatura da cui sono stati prelevati i campioni per analisi di laboratorio è stato pari a circa 10 kg per ciascun litotipo.

5.2.2 *Prove di lisciviazione sui materiali rocciosi in acqua deionizzata ed in acqua di mare*

Le prove sono state effettuate su campioni di materiale ricavati dai sondaggi precedentemente eseguiti ai fini della caratterizzazione geologica e geotecnica delle rocce situate in corrispondenza del tracciato. Su tali campioni verranno eseguite le seguenti prove del test di cessione, secondo i riferimenti legislativi del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. ed il D.M. del 5 febbraio 1998 e s.m.i. Di seguito si descriveranno in modo completo le tipologie che sono state interessate dalle prove di condizionamento (calcescisti, argilloscisti) e quelle che meccanicamente sono state associate per la verifica di comportamento analogo in fase di scavo (serpentiniti e metabasalti).

Lo schema di analisi ha previsto 3 prove per ciascuna unità:

1) test di cessione su materiale TQ;

2) test di cessione su materiale TQ+condizionante;

3) test di cessione su materiale TQ+condizionante dopo 2-3 giorni.

Nel complesso sono stati quindi eseguiti due test di cessione (tradizionale ed in acqua di mare) per ognuna delle tipologie prevalenti di roccia incontrata.

Test di cessione in acqua deionizzata

Il test è stato effettuato come prescritto dalla norma UNI 10802 (Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e fanghi) dopo aver macinato e preparato il campione con l'eventuale aggiunta degli agenti schiumogeni, in modo da riprodurre le condizioni operative generate dalla EPB, o con l'addizionamento di bentonite, come previsto nel caso di scavo con l'HDS. Sull'eluato sono state effettuate le seguenti determinazioni: arsenico, cadmio, cromo (totale), mercurio, nichel, piombo, rame, stagno, zinco, ferro, manganese, tensioattivi, amianto, COD. Per la determinazione del test di cessione si applica l'appendice A alla norma UNI 10802, secondo la metodica prevista dalla norma UNI EN 12457-2.

Test di cessione in acqua di mare

Si è proceduto come in acqua deionizzata, utilizzando nel processo di eluizione l'acqua di mare per riprodurre le condizioni operative reali. I parametri da determinare sono stati i medesimi così come le metodologie di analisi. Come detto, pur non essendo previsto a livello normativo, si è ritenuto necessario verificare e constatare da un punto di vista sperimentale gli effetti di una interazione chimica tra matrice solida e soluzione salina.

5.3 Analisi di laboratorio

5.3.1 *Caratterizzazione chimica*

I risultati delle indagini di caratterizzazione ambientale confermano quanto già indicato per le caratteristiche principali delle 4 litologie in esame. Si notano importanti contenuti in metalli pesanti soprattutto per ciò che riguarda le serpentiniti. Infatti nel campione di serpentinite sottoposto alle analisi di laboratorio sono evidenziati contenuti nel tenore elementare di Cromo e Nichel superiori ai limiti di legge riferiti all'uso industriale.

Tabella 11 Risultati di laboratorio per la caratterizzazione chimica ambientale delle 4 litologie considerate con l'evidenza dei superamenti dei limiti in tabella del Dlgs.152/06 ss.mm.ii (nr: non rilevabile perché sotto il limite di sensibilità strumentale).

	Argilloscisti	Calcescisti	Metabasalti	Serpenitini	Limiti uso residenziale	Limiti uso industriale
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Antimonio (Sb)	1,80	0,80	0,60	0,30	10	30
Arsenico (As)	3,70	1,80	0,70	0,30	20	50
Berillio (Be)	< 1	< 1	< 1	< 1	2	10
Cadmio (Cd)	0,05	0,02	0,03	0,01	2	15
Cobalto (Co)	20,19	7,55	24,75	62,87	20	250
Cromo tot (Cr tot)	76,80	48,20	44,10	894,70	150	800
Nichel	99,70	104,50	114,80	980,60	120	500
Piombo	27,80	14,80	3,90	8,10	100	1000
Rame	96,10	50,00	101,30	71,40	120	600
Selenio	nr	nr	nr	nr	3	15
Stagno	nr	nr	nr	nr	1	350
Tallio	nr	nr	nr	nr	1	10
Vanadio	56,29	116,80	121,30	93,46	90	250
Zinco	113,50	88,20	144,90	80,80	150	1500
Cianuri	nr	nr	nr	nr	1	100
Fluoruri	nr	nr	nr	nr	100	2000
Amianto	nr	nr	nr	nr	1000	1000

I contenuti omogenei in tutte le litologie in Nichel potrebbero essere riconducibili all'interferenza del materiale con le leghe di acciaio in nichel-ferro che costituiscono le aste di perforazione, utilizzate durante le attività di sondaggio. Si segnalano inoltre contenuti importanti in Cobalto e Vanadio, elementi caratteristici naturali delle litologie interessate anche di quelle metasedimentarie. Sono infine da rilevare tenori elementari in Zinco e Rame, che confermerebbero la presenza di minerali

secondari sotto forma di solfuri di origine anche idrotermale che si si ritrovano spesso in modo disperso lungo fasce tettoniche di faglia e di contatto.

Tuttavia, per quanto già esposto sulla caratterizzazione geochimica dell'area di interesse, si conferma l'elevata disponibilità in metalli pesanti in tutte le matrici considerate.

5.3.2 *Test di cessione su eluato*

Sulla base delle contenuti chimici desunti dai rilievi di caratterizzazione appena descritti, si è proseguito all'esecuzione del test di cessione per la verifica del comportamento dei materiali durante l'interazione con i prodotti condizionanti, prima, e con l'acqua di mare, poi. Questa attività di laboratorio chimico è stata effettuata prelevando alcuni campioni durante le prove di carattere geotecnico e geomeccanico sugli stessi materiali presso il Politecnico di Torino. In aggiunta a questo gruppo di campioni è stato analizzato anche l'aliquota condizionata di serpentinite, formato appositamente per questa verifica chimica adoperando particolari dispositivi di protezione individuale.

Da un confronto con i tecnici specializzati del POLITO e dalle indicazioni avute dalle prove sperimentali di condizionamento e di addizionamento, le prove di lisciviazione sono state fatte su un totale di 14 campioni (6 condizionati con schiuma, 4 addizionati con bentonite e 4 tal quale) presso il laboratorio chimico del CESISP dell'Università di Genova. Il test di cessione è stato effettuato secondo quanto descritto ed indicato dal D.M. 5 febbraio 1998 modificato con il D.M. n. 186/2006.

Per il prodotto condizionante utilizzato in questa fase, le specifiche tecniche del produttore consigliano una concentrazione in acqua dell'agente schiumogeno nell'intervallo 2-4% in peso d'acqua. Nel caso in esame la concentrazione del condizionante è stata al 2%. La scelta del valore da utilizzare in fase di generazione della schiuma dipende soprattutto dalle caratteristiche dell'agente schiumogeno stesso e da fattori tecnologici di applicazione, come descritto nella relazione emessa dal Politecnico di Torino: nel caso in esame la concentrazione del condizionante è stata sempre del 2%, sulle evidenze delle prove eseguite. Per il contenuto di bentonite si è fatto riferimento a quanto già descritto in questa relazione, considerando 2 differenti percentuali al 2 e al 4%.

Come detto per approfondire la problematica ambientale dell'uso di additivi e verificarne la loro compatibilità, si è resa necessaria una fase di verifica e controllo eseguendo le prove del test di cessione secondo il D.M. 186/06 analizzando come eluato l'acqua di mare. Quest'ultima prova è stata ripetuta, solo per i campioni condizionati con agente schiumogeno, considerando anche un tempo di deposito di circa 3 gg, ritenendo questo il tempo necessario massimo alla completa

interazione matrice solida-acqua di mare, dalla fase di stoccaggio in silos e dal trasporto in slurrydotto sino al deposito in opera a mare. I campioni analizzati presentano le seguenti caratteristiche:

1. Metabasalti naturale;
2. Calcescisti naturale;
3. Argilloscisti naturale;
4. Serpentiniti naturale;
5. Calcescisti condizionati (FER 15%–FIR 70%, acqua al 5%, aggiunta di additivo al 2%);
6. Calcescisti condizionati (FER 15%–FIR 80%, acqua al 5%, aggiunta di additivo al 2%);
7. Calcescisti condizionati (FER 15%–FIR 70%, acqua al 7%, aggiunta di additivo al 2%);
8. Argilloscisti condizionati (FER 15%–FIR 80%, acqua al 5%, aggiunta di additivo al 2%);
9. Argilloscisti condizionati (FER 10%–FIR 40%, acqua al 5%, aggiunta di additivo al 2%);
10. Serpentiniti condizionati (FER 15%–FIR 70%, acqua al 5%, aggiunta di additivo al 2%);
11. Calcescisti addizionati con bentonite al 2%;
12. Argilloscisti addizionati con bentonite al 2%;
13. Calcescisti addizionati con bentonite al 4%;
14. Argilloscisti addizionati con bentonite al 4%;

Di seguito sono mostrati tutti i dati analitici ricavati dal test di cessione effettuato sul materiale tal quale delle 4 litologie sia in acqua deionizzata sia in acqua di mare.

Considerando i contenuti dei diversi metalli pesanti individuati dall'analisi di caratterizzazione, pare molto evidente come la fase di potenziale rilascio sia contenuta per alcuni e sia importante per altri: a parte il tenore anomalo in Nichel, riconducibile come scritto all'interferenza sul chimismo dei campioni da parte delle aste di perforazione per l'estrazione delle carote e comunque in alcuni casi assai prossimo al limite normativo, si può sottolineare anche il buon comportamento del materiale in interazione con l'acqua di mare.

Si può dire che l'aggiunta di soluzione con contenuti salini più elevati non incida in modo pressoché assoluto sul comportamento solido-liquido. Questo aspetto è ritenuto di una certa importanza perché, come si vedrà più avanti, viene confermato anche dal comportamento del materiale condizionato. Tuttavia si deve anche ricordare che la solubilizzazione di sali metallici in acque di mare è solitamente sfavorita dall'elevata salinità delle acque stesse che tendono ad alterare gli equilibri dettati dal prodotto di solubilità.

Tabella 12 Risultati analitici delle prove di cessione eseguite sul materiale tal quale in eluato deionizzato e salino con l'evidenza dei superamenti dei limiti in tabella del DM 186/06 ss.mm.ii.

	Calcescisti	Calcescisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Serpentiniti	Serpentiniti	Metabasalti	Metabasalti	Limiti
	TQ	TQ	TQ	TQ	TQ	TQ	TQ	TQ	
	H20 deion	mare	H20 deion	mare	H20 deion	mare	H20 deion	mare	
	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg
As	<1	<1	<1	<1	< 1	< 1	< 1	< 1	50,000
Cd	0,870	0,910	0,920	0,842	< 1	1,100	< 1	1,100	5,000
Cr tot	0,571	1,018	0,873	1,061	< 1	< 1	< 1	1,200	50,000
Hg	0,084	nr	0,084	nr	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,000
Ni	10,330	10,120	24,100	18,000	33,000	24,000	23,000	20,000	10,000
Pb	nr	nr	nr	nr	< 1	1,800	< 1	2,400	50,000
Cu	0,001	0,009	0,006	0,010	0,010	0,006	0,022	0,019	0,050
Sn	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	
Zn	0,052	0,066	0,039	0,031	0,017	0,012	0,070	0,026	3,000
Fe	746,000	120,000	7,000	67,000	1,000	1,600	6,000	8,000	
Mn	59,000	82,000	99,000	122,000	235,000	38,000	241,000	109,000	
Tnsattivi	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	
COD	*247,000*	*1885,000*	*65,000*	*582,400*	*72,000*	*nd*	*84,000*	*nd*	*30,000*

Materiale addizionato con bentonite

Dalle analisi di laboratorio si evince come il comportamento del materiale non sia influenzato chimicamente in alcun modo dalla miscela con bentonite, argilla naturale. Aldilà dell'analisi e del significato puntuale dei campioni, si rileva che il processo di reazione è condizionato più dalle variazioni date dalla soluzione presente che da un possibile effetto di rilascio con l'argilla. Ciò non può essere diversamente, visto le caratteristiche peculiari della bentonite. I dati, pur essendo oltremodo discordanti da metallo a metallo, mostrano che, considerando le condizioni di interazione solido-liquido (soluzione deionizzata o soluzione salina), il materiale addizionato con le diverse percentuali denota capacità conservative nella maggior parte dei parametri.

Tabella 13 Test di cessione sui campioni di calcescisti addizionati con bentonite in eluato deionizzato e salino con l'evidenza dei superamenti dei limiti in tabella del DM 186/06 ss.mm.ii.

	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Limiti
	TQ	TQ	Bentonite 2%	Bentonite 4%	Bentonite 2%	Bentonite 4%	
	H20 deion	mare	H20 deion	H20 deion	mare	mare	
	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg
As	<1	<1	<1	<1	<1	<1	50,000
Cd	0,870	0,910	<1	<1	3,000	3,500	5,000
Cr tot	0,571	1,018	<1	<1	<1	<1	50,000
Hg	0,084	nr	<1	<1	<1	<1	1,000
Ni	10,330	10,120	<1	<1	48,000	49,000	10,000
Pb	nr	nr	1,600	1,200	45,000	47,000	50,000
Cu	0,001	0,009	0,026	0,025	0,033	0,036	0,050
Sn	nr	nr	<1	<1	<1	<1	
Zn	0,052	0,066	0,035	0,038	0,025	0,032	3,000
Fe	746,000	120,000	88,000	71,000	11,000	12,000	
Mn	59,000	82,000	2,000	1,400	80,000	80,000	
Tnsattivi	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	
COD	*247,000*	*1885,000*	*1924,000*	*2132,000*	*230,000*	*370,000*	*30,000*

Tabella 14 Test di cessione sui campioni di argilloscisti addizionati con bentonite in eluato deionizzato e salino con l'evidenza dei superamenti dei limiti in tabella del DM 186/06 ss.mm.ii.

	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Limiti
	TQ	TQ	Bentonite 2%	Bentonite 4%	Bentonite 2%	Bentonite 4%	
	H20 deion	mare	H20 deion	H20 deion	mare	mare	
	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg
As	<1	<1	<1	<1	<1	<1	50,000
Cd	0,920	0,842	<1	<1	2,000	3,000	5,000
Cr tot	0,873	1,061	<1	<1	<1	<1	50,000
Hg	0,084	nr	<1	<1	<1	<1	1,000
Ni	24,100	18,000	2,000	8,000	50,000	38,000	10,000
Pb	nr	nr	15,000	28,000	44,000	48,000	50,000
Cu	0,006	0,010	0,022	0,019	0,036	0,038	0,050
Sn	nr	nr	<1	<1	<1	<1	
Zn	0,039	0,031	0,030	0,037	0,020	0,028	3,000
Fe	7,000	67,000	1,600	2,400	<1	<1	
Mn	99,000	122,000	18,000	2,200	77,000	72,000	
Tnsattivi	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	
COD	*65,000*	*582,400*	*1934,400*	*1310,400*	*232,000*	*375,000*	*30,000*

Materiale condizionato con agente schiumogeno

Il materiale condizionato con agente schiumogeno permette invece di fare maggiori approfondimenti. Dal dettaglio dei risultati analitici, riportati anche in allegato, si rileva che tutti gli indicatori chimici analizzati rientrano entro i limiti di concentrazione indicati dalla tabella 1 in all. 3 del D.M. n. 186/2006 e non si registrano, per i valori di agente schiumogeno utilizzato, significative variazioni tra i campioni di terreno naturale e quelli condizionati. Il comportamento chimico delle 2 litologie metasedimentarie (calcescisti e argilloscisti) è pressoché coerente. Il campione calcitico ha evidenziato variazioni pressoché nulle tra quello condizionato e quello tal quale, con un'evidenza intorno al limite per il rilascio in Nichel.

Tabella 15 Test di cessione sui campioni di calcescisti in eluato deionizzato e salino con l'evidenza dei superamenti dei limiti in tabella del DM 186/06 ss.mm.ii.

	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Limiti
	TQ	TQ	FIR70 FER15 W5	FIR70 FER15 W5	FIR70 FER15 W5	FIR80 FER15 W5	FIR80 FER15 W5	FIR80 FER15 W5	FIR70 FER15 W7	FIR70 FER15 W7	FIR70 FER15 W7	
	H20 deion	mare	H20 deion	mare	mare a 3 gg	H20 deion	mare	mare a 3 gg	H20 deion	mare	mare a 3 gg	
	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg
As	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	50,000
Cd	0,870	0,910	1,615	0,981	1,100	<1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000
Cr tot	0,571	1,018	0,850	1,116	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	50,000
Hg	0,084	nr	0,097	nd	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,000
Ni	10,330	10,120	10,330	9,000	13,000	13,000	19,000	19,000	19,000	17,000	23,000	10,000
Pb	nr	nr	nr	nr	12,600	<1	<1	<1	<1	<1	<1	50,000
Cu	0,001	0,009	nr	0,001	0,006	0,006	0,018	0,028	0,010	0,028	0,032	0,050
Sn	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	
Zn	0,052	0,066	0,092	0,081	0,023	0,011	0,020	0,017	0,009	0,021	0,018	3,000
Fe	746,000	120,000	636,000	83,000	6,000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Mn	59,000	82,000	63,000	88,000	48,000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Tnsattivi	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	
COD	*247,000*	*1885,000*	*192,400*	*702,000*	*507,000*	*26,000*	*130,000*	*143,000*	*26,000*	*366,600*	*351,000*	30,000

Mentre il campione di argilloscisti ha mostrato differenze limitate, sempre al di sotto dei limiti, tranne per valori in Nichel superiori ai limiti, con una tenore in Piombo dovuto molto probabilmente all'analisi puntuale.

Tabella 16 Test di cessione sui campioni di argilloscisti in eluato deionizzato e salino con l'evidenza dei superamenti dei limiti in tabella del DM 186/06 ss.mm.ii.

	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Argilloscisti	Limiti
	TQ	TQ	FIR 80	FIR 80	FIR 80	FIR40	FIR40	FIR40	
	H20 deion	mare	H20 deion	mare	mare a 3 gg	H20 deion	mare	mare a 3 gg	
	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg
As	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	50,000
Cd	0,920	0,842	1,912	0,910	1,100	0,832	0,921	1,100	5,000
Cr tot	0,873	1,061	1,012	1,061	1,200	1,010	1,103	< 1	50,000
Hg	0,084	nr	0,099	nr	< 1	0,084	nr	< 1	1,000
Ni	24,100	18,000	3,210	6,080	18,000	9,080	11,140	16,000	10,000
Pb	nr	nr	nr	nr	22,800	28,000	97,600	21,600	50,000
Cu	0,006	0,010	0,007	0,018	0,014	0,019	0,022	0,012	0,050
Sn	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	
Zn	0,039	0,031	0,050	0,098	0,023	0,087	0,101	0,023	3,000
Fe	7,000	67,000	17,000	32,000	1,100	1,000	12,000	1,200	
Mn	99,000	122,000	106,000	184,000	97,000	106,000	184,000	92,000	
Tnsattivi	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	
COD	*65,000*	*582,400*	*36,400*	*592,800*	*338,000*	*59,800*	*421,200*	*353,600*	30,000

Interessante risulta essere l'analisi dei dati del test di rilascio eseguite sul campione di serpentinite. Anche in questo caso non si riscontrano particolari variazioni, se non nel contenuto del Nichel, causato in parte dall'ampia disponibilità del metallo nella roccia ma soprattutto dalla contaminazione dovuta alle lavorazioni di sondaggio, che viene "lavato" in acqua di mare. Ciò nonostante anche questo tipo di informazione è di notevole interesse perchè permette di capire come la profonda scalfitura prodotta dalla rotazione delle aste di perforazione abbia lasciato una importante traccia e permette ancor di più di apprezzare nel caso specifico la peculiarità di alcune anomalie naturali rispetto alla alterazioni indotte da attività antropiche.

Tabella 17 Test di cessione sui campioni di serpentinite in eluato deionizzato e salino con l'evidenza dei superamenti dei limiti in tabella del DM 186/06 ss.mm.ii.

	Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti	Limiti
	TQ	TQ	FIR80 FER15 W5	FIR80 FER15 W5	FIR80 FER15 W5	
	H20 deion	mare	H20 deion	mare	mare a 3 gg	
	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg	microg/kg
As	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	50,000
Cd	< 1	1,100	1,000	1,000	1,000	5,000
Cr tot	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	50,000
Hg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,000
Ni	33,000	24,000	58,000	118,000	235,000	10,000
Pb	< 1	1,800	< 1	< 1	< 1	50,000
Cu	0,010	0,006	0,020	0,029	0,022	0,050
Sn	nr	nr	nr	nr	nr	
Zn	0,017	0,012	0,012	0,026	0,026	3,000
Fe	1,000	1,600	< 1	< 1	< 1	
Mn	235,000	38,000	8,000	6,000	1,000	
Tnsattivi	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	
COD	*72,000*	*98,000*	*36,400*	*39,000*	*78,000*	30,000

In base anche a quest'ultima osservazione, queste variazioni sono indicative di possibili reazioni liquido-solido, anche se si può segnalare un comportamento idoneo del materiale in acqua di mare, paragonando i dati ricavati da questa interazione con quanto analizzato in acqua deionizzata. Si rileva che la composizione scistosa con importanti tenori in metalli influenza ovviamente in genere il contenuto dell'eluato. In generale gli scisti, per natura mineralogica e strutturale, presentano un comportamento eterogeneo dovuto ad una serie di motivazioni chimiche e fisiche, tra cui la principale è che gli argilloscisti, o i calcescisti, sono frazioni piccole con maggiore superficie specifica, con maggiori possibilità di interazione di tipo elettrostatico tra loro, con le bolle d'aria, con l'acqua, con le particelle di schiuma, ecc. Si ricorda tuttavia che alcune componenti mineralogiche delle serpentiniti o serpentinoscisti, come ad es. le cromiti, non sono facilmente solubili per loro natura se non in condizioni estremamente acide, a conferma del comportamento conservativo di alcuni metalli nel solido a contatto con soluzione neutra o, a maggior ragione, con la soluzione salina.

Si conferma inoltre la caratteristica peculiare di compatibilità ambientale dichiarata dei prodotti di condizionamento ed addizionamento utilizzati.

Considerazioni conclusive

Si sottolinea che complessivamente la tendenza al rilascio in soluzione di metalli è alquanto contenuta. Le analisi ottenute dai test di cessione, utilizzato qui non come strumento per l'identificazione di rifiuti, ma come indicatore delle caratteristiche ambientali del sottoprodotto finale, danno una precisa indicazione sul fatto che il materiale, sia tal quale sia condizionato con schiumogeno, abbia un comportamento coerente con le indicazioni date dalla caratterizzazione secondo il D. Lgs 152/06: il rilascio in soluzione, deionizzata o marina, è relativa ai contenuti del materiale tal quale, senza che il condizionamento comporti particolari variazioni qualitative e quantitative durante il processo di reazione solido-liquido. La potenziale origine del Nichel, come detto nel presente capitolo, è riconducibile all'interferenza, sul chimismo dei campioni sottoposti ad analisi, delle aste di perforazione per l'estrazione delle carote. Tuttavia. perché rilevato come dato interessante, il comportamento del metallo è stato descritto sin qui alla stessa maniera degli altri elementi. Infatti suggerisce un'importante considerazione: in generale il metallo pesante difficilmente viene rilasciato in soluzione nelle condizioni termodinamiche previste e simulate con le operazioni di laboratorio.

Inoltre è da sottolineare che un certo tipo di minerali presenti nelle serpentiniti, ad esempio le cromiti, non liberano in soluzione tenori importanti nel metallo pesante, loro principale costituente,

confermando che alcune componenti mineralogiche debbano trovarsi in condizioni estremamente aggressive ed acide per poter rilasciare elementi in soluzione. E questa eventuale ipotesi di condizioni particolarmente critiche può essere ragionevolmente scartata sia per le condizioni interne del deposito finale sia per le caratteristiche dello stesso, ma soprattutto, come dimostrato dalle analisi chimiche e come già segnalato, dal comportamento del materiale in acqua di mare.

Si ribadisce infine una condizione di principio chimico: la solubilizzazione di sali metallici in acque di mare è sfavorita dall'elevata salinità delle acque stesse che tendono ad alterare gli equilibri dettati dal prodotto di solubilità.

6 INDAGINI AMBIENTALI SUI SEDIMENTI MARINI

La descrizione delle caratteristiche chimiche dei sedimenti deriva dalle analisi svolte sui campioni prelevati dai sondaggi descritti nella relazione GEO001. Per ogni sondaggio sono presentate in allegato, i relativi dati di laboratorio dei campioni prelevati alle diverse profondità su ciascuna verticale.

Infatti sono stati prelevati 4 campioni a diverse profondità per ciascun sondaggio, in modo da caratterizzare i principali orizzonti sedimentari dei fondali. I campioni più profondi sono relativi ad un orizzonte di circa 8-9 m, ritenuto sufficiente a rappresentare condizioni attribuibili al fondo naturale o comunque a condizioni preindustriali.



Figura 9 Localizzazione dei punti di esecuzione dei sondaggi geognostici

I campioni CA1 dei sondaggi situati lungo il margine aeroportuale (SJ1, SJ3 e SJ6) sono rappresentativi degli strati limosi superficiali, con l'eccezione del punto SJ3 ove il campione è stato prelevato nell'orizzonte sabbioso per l'impossibilità di campionare lo strato sovrastante. Gli altri campioni (CA2, CA3 e CA4) sono tutti riferiti allo strato sabbioso (sabbie fini con componenti limose), seppur a differenti profondità.

Nel caso dei sondaggi situati lungo la diga foranea invece, solo i campioni superficiali dei sondaggi SJ8 e SJ9 sono rappresentativi dei sedimenti a granulometria fine presenti in superficie, gli altri due essendo collocati all'interno della struttura di imbasamento della scogliera. I campioni più profondi sono invece ricavati all'interno di strati sabbiosi o limosi a seconda delle caratteristiche stratigrafiche del sondaggio.

Tabella 18 Campioni ambientali prelevati nel canale di calma su cui sono state eseguite le analisi chimiche

Campione ambientale	SJ1	SJ2	SJ3	SJ5	SJ6	SJ8	SJ9
CA1	**0,50-1,0 m**	**0,50-1,0 m**	**1,00-1,40 m**	**0,50-1,0 m**	**0,50-1,0 m**	**0,50-1,0 m**	**0,70-1,00 m**
	Limo grigio scuro debolmente sabbioso e sabbia fine grigio scura da debolmente limosa a limosa	Trovante e ghiaia; scoglio	Sabbie, grigio-grigio scuro, da fini a medio fini, localmente limose	Trovante e ghiaia scogliera	Limo nerastro sabbioso	Argilla debolmente limosa nerastra	Argilla debolmente limosa nerastra con rari elementi di ghiaia
CA2	**2,70-3,00 m**	**2,80-3,00 m**	**2,80-3,00 m**	**2,50-2,90 m**	**2,70-3,00 m**	**3,60-4,00 m**	**2,70-3,00 m**
	Sabbia fine grigio scura da debolmente limosa a limosa	Trovante e ghiaia; scoglio	Sabbie, grigio-grigio scuro, da fini a medio fini, localmente limose	Trovante e ghiaia scogliera	Sabbie fini grigio scuro debolmente limose	Sabbia fine con limo grigia	Argilla debolmente limosa nerastra con rari elementi di ghiaia
CA3	**5,50-6,0 m**	**4,50-4,85 m**	**5,00-5,30 m**	**5,00-5,20 m**	**5,40-5,60 m**	**5,00-5,40 m**	**5,50-5,80 m**
	Sabbia fine grigio scura da debolmente limosa a limosa	Sabbie grigie limose	Sabbie, grigio-grigio scuro, da fini a medio fini, localmente limose	Limi sabbiosi grigi	Sabbie fini grigio scuro con aumento della frazione limosa	Sabbia fine con limo grigia	Sabbia fine grigia con limo
CA4	**8,40-8,80 m**	**8,00-8,50 m**	**8,00-8,30 m**	**8,00-8,40 m**	**8,40-8,60 m**	**7,00-7,20 m**	**8,50-8,80 m**
	Sabbia fine grigio scura da debolmente limosa a limosa	Limi e sabbie limose grigie con raro ghiaino	Sabbie, grigio-grigio scuro, da fini a medio fini, localmente limose	Limi sabbiosi grigi	Sabbie fini grigio scuro con aumento della frazione limosa	Limo sabbioso da argilloso a debolmente argilloso, grigio	Limo argillo-sabbioso grigio

Dall'analisi visiva l'argilla ed il limo superficiali appaiono di colore "nerastro"; ciò in genere è tipico di sedimenti fini, soggetti ad accumulo di sostanze organiche, ove prevalgono condizioni di deficit

di ossigeno e quindi la degradazione delle sostanze organiche è essenzialmente svolta da batteri anaerobi obbligati o facoltativi che portano alla formazione di composti ridotti (es. solfuri). È una situazione che si riscontra spesso in ambienti portuali o in zone a debole ricambio.

Il riferimento alla profondità del campione ed alla granulometria dello stesso riveste una notevole importanza nell'interpretazione dei dati chimici; è infatti noto in letteratura che generalmente i contenuti di elementi in traccia sono più elevati nelle zone ove sono predominanti le frazioni fini, in quanto queste hanno una maggiore capacità di adsorbire le sostanze presenti in soluzione e accumularle nel sedimento.

Per questo motivo spesso gli standard di qualità dei sedimenti vengono messi in relazione al contenuto di pelite (la frazione con granulometria inferiore a 60 micron) o al contenuto di carbonio organico, anch'esso in grado di intrappolare le sostanze organiche di sintesi presenti in soluzione, specialmente quelle non polari, a bassa solubilità in acqua.

La profondità del campione invece, come è intuibile, è generalmente un indicatore dell'età del sedimento e quindi è utile per discriminare i contributi di elementi di origine antropica da quelli di origine naturale; è infatti possibile che alcuni elementi siano presenti con concentrazioni naturali (cui si riferisce abitualmente con il termine "fondo naturale") con valori molto diversi a seconda del luogo e delle loro caratteristiche mineralogiche; tanto che a livello nazionale APAT (ora ISPRA) prevede vengano definiti valori di riferimento locali (Livelli Chimici di Base locali) per i sedimenti delle diverse aree costiere.

I risultati delle indagini condotte nel canale di calma sono riportati in modo completo in allegato.

Per valutare lo stato di qualità dei sedimenti sono state condotte due tipologie di analisi:

- la prima è finalizzata a formulare una caratterizzazione di tipo generale dei sedimenti presenti nel canale di calma, confrontandoli con gli standard di riferimento (in primis i valori riportati dal DM 56/09 per i sedimenti marini) e con altri dati sito specifici rilevati in ambiti limitrofi, allo scopo di evidenziare, nel caso dei metalli, l'eventuale presenza di livelli di fondo naturali superiori a quelli di legge;
- la seconda è volta a valutare la compatibilità dei sedimenti che si trovano nella zona di futura realizzazione della cassa di colmata. In questo secondo caso i risultati delle indagini svolte sono stati confrontati con il limite normativo indicato dal D.Lgs 152/2006 (allegato 5 del titolo V della parte quarta) per i suoli destinati ad uso industriale. Benché tale valore si riferisca a terreni emersi, è stato ritenuto corretto utilizzarlo, in primo luogo perché è lo stesso che viene adottato per valutare la qualità del materiale da impiegare per la costruzione della colmata, in secondo luogo perché è quello impiegato dalla

Regione Liguria per autorizzare il riutilizzo di sedimenti dragati per la realizzazione di casse di colmata o vasche in ambito costiero, ai sensi dell'art 109 del D.Lgs 152/06.

Nel caso specifico è stata effettuata un'analisi di rischio per dimostrare l'assenza di rischio per la salute umana e l'ambiente marino. Recependo quanto introdotto dalla normativa della Regione Liguria, che impone che l'utilizzo delle terre e rocce, provenienti da siti caratterizzati da uno o più superi di CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione), sia consentito ai sensi dell'art. 184 bis del D. Lgs. 152/06 smi, qualora non superino le soglie di qualità previste per il sito di destinazione, l'Analisi di Rischio condotta sull'opera a mare ha stabilito tali soglie tenendo conto del suo effettivo utilizzo futuro. Lo studio condotto ha dimostrato che il rischio associato agli interventi di adeguamento del rilevato aeroportuale con i materiali di scavo è assolutamente trascurabile, pur in presenza di concentrazioni di alcuni metalli pesanti superiori ai limiti indicati dalla normativa. I risultati dello studio sono contenuti nel documento APG0007.

I risultati delle indagini condotte nel canale di calma sono stati oggetto di confronto con i dati di monitoraggio eseguito dagli enti di controllo per una loro generale valutazione geochimica.

Come si è potuto notare, i valori riscontrati nel canale di calma, si mantengono generalmente nei limiti previsti dalla legge, anche se per alcuni parametri si ottengono valori superiori (soprattutto Nichel, ma in qualche caso Cromo e Cobalto).

Ciò non deve sorprendere, considerando che sia i valori di legge che i livelli chimici di base (LCB) proposti da ICRAM, seppure con finalità diverse, sono stati sviluppati per sedimenti marini costieri non soggetti ad alterazione antropica e non per aree portuali quali quella in esame.

Soprattutto non deve stupire, considerando che i valori in metalli pesanti indichino un arricchimento naturale dei sedimenti dovuto alle caratteristiche litologiche dei bacini imbriferi dei corsi d'acqua che sfociano nell'area di studio. Tale ipotesi trova una ragionevole conferma per quanto riportato nel capitolo sulla caratterizzazione chimica dei terreni e negli studi condotti da ARPAL sulle rocce che formano il Gruppo di Voltri.

È già stato messo in luce l'elevato contenuto di cromo, nichel e cobalto nei suoli su ultramafiti (principale sorgente geochimica dei metalli pesanti) del Gruppo di Voltri; in particolare nelle serpentiniti dove si raggiungono concentrazioni superiori a 1.900 mg/kg s.s. di cromo, 2.500 mg/ kg s.s. di nichel e 125 mg/kg s.s. di cobalto. Elevati valori di tali composti sono stati rilevati anche negli "stream sediments" e negli arenili originatisi dallo stesso gruppo. Riesaminando i dati ottenuti nelle stazioni situate lungo il canale di calma, si riscontrano valori del medesimo ordine di grandezza, con concentrazioni generalmente più elevate nei campioni profondi (medie di 118,5

mg/kg s.s. di cromo e 182,9 mg/kg s.s. di nichel) e inferiori nei campioni superficiali (medie di 69,6 mg/kg s.s. di cromo e 110,1 mg/kg s.s. di nichel).

Tabella 19 Dati analitici relativi a Cromo, Nichel, Cobalto e Vanadio ricavati dall'indagine ambientale eseguita nel canale di calma con l'evidenza dei rilievi sull'impronta dell'opera a mare in progetto (in azzurro) e dei superamenti dei limiti tabellari del D. Lgs. 152/06 nei parametri Cromo, Nichel, Cobalto e Vanadio (giallo, col. A residenziali; rosso, col. B industriali)

	Cr	Ni	Co	V
SJ1-CA1	124,39	290,47	17,26	59,03
SJ1-CA2	210,07	338,94	20,61	85,56
SJ1-CA3	117,61	199,51	14,11	68,3
SJ1-CA4	144,16	213,12	15,75	65,96
SJ2-CA1	20,9	30,57	4,27	17,38
SJ2-CA2	20,66	33,67	4,06	4,93
SJ2-CA3	107,02	219,88	17,01	57,6
SJ2-CA4	126,88	176,81	15,15	64,67
SJ3-CA1	33,84	54,75	6,95	42,16
SJ3-CA2	57,48	166,63	13,65	43,04
SJ3-CA3	80,22	186,53	13,08	52,92
SJ3-CA4	161,79	249,71	16,07	71,58
SJ5-CA1	10,35	56,93	10,83	22,6
SJ5-CA2	52,64	67,46	6,52	32,22
SJ5-CA3	48,45	130,13	12,01	38,95
SJ5-CA4	119,43	179,68	14,94	65,69
SJ6-CA1	103,97	146,58	13,79	81,75
SJ6-CA2	63,53	127,37	12,3	51,21
SJ6-CA3	122,87	165,06	14,59	67,94
SJ6-CA4	143,56	180,66	13,88	71,41
SJ8-CA1	173,06	122,01	10,87	98,55
SJ8-CA2	42,65	108,57	12,29	47,58
SJ8-CA3	49,32	113,08	12,74	52,99
SJ8-CA4	76,34	135,65	13,02	53,22
SJ9-CA1	20,31	69,49	12,69	40,17
SJ9-CA2	82,72	112,55	14,41	133,1
SJ9-CA3	69,63	169,92	19,07	56,76
SJ9-CA4	57,36	144,66	18,07	44,09

Un'analisi delle correlazioni esistenti fra i diversi parametri ha evidenziato rapporti lineari significative tra un gruppo di metalli (cromo, nichel e cobalto) e, in misura minore, tra vanadio e zinco ed un altro gruppo di parametri (piombo, stagno, cadmio, rame e berillio e gli idrocarburi a lunga catena (C>12). Considerando gli idrocarburi pesanti come tracciante di contaminazione di origine antropica, i risultati dell'analisi fanno ipotizzare che per questi metalli il contributo antropico sia significativo e da ricondursi alle fonti presenti nella zona, quali l'attività siderurgica e le attività

portuali. In questo caso l'analisi della distribuzione degli analiti dei sedimenti a diverse profondità evidenzia generalmente differenze significative con i valori maggiori riscontrati negli strati superficiali.

7 INDAGINI AMBIENTALI SULLE ACQUE DI FALDA

Per maggiori approfondimenti si rimanda alla relazione idrogeologica di progetto (IDR0301 relazione idrogeologica sotterranea), dove tutte le attività e i criteri di studio sono descritti in modo dettagliato al fine di ottenere un quadro conoscitivo relativo alla distribuzione delle sorgenti e dei pozzi situati nell'area investigata. Sono riportate le informazioni sui dati di analisi chimica e sulle valutazioni di commento sulle metodiche utilizzate e sui limiti di rilevabilità strumentali, e sul significato dei circuiti e degli acquiferi individuati.

7.1 Conoscenza dello stato qualitativo degli acquiferi interessati

Durante la redazione del PD è stata operata un'analisi preliminare dei dati bibliografici, seguito da un capillare censimento in sito, nell'ambito del quale i dati bibliografici sono stati verificati ed integrati. Le informazioni così ottenute sono state utilizzate principalmente alla definizione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area interessata dalla realizzazione dell'opera. Il lavoro è stato eseguito con le seguenti finalità:

- individuazione dell'assetto idrogeologico delle Unità presenti;
- stima qualitativa degli effetti che l'opera in progetto potrebbe indurre sulla circolazione idrica sotterranea.

Per ogni "punto-acqua" identificato, è stata poi eseguita una campagna di misura, con il rilievo dei parametri chimico-fisici (pH, conducibilità, solidi disciolti, temperatura) e di verifica della tipologia (sorgente, pozzo, captazione, portata, carattere solforoso, livello di falda).

Le indagini sono state svolte tra i mesi di luglio ed agosto 2010, contestualmente alla fase di esaurimento dei regimi idrologici delle falde, in un periodo quindi particolarmente rappresentativo delle effettive potenzialità delle falde idriche.

Una parte delle attività è consistita nel censimento "ex novo" di pozzi e sorgenti (captate oppure non captate) nel settore non ancora coperto dalle indagini del progetto preliminare avanzato e del S.I.A. (PPA). Tali indagini hanno interessato indicativamente un'area di circa 15 km^2 di estensione. Il censimento è stato effettuato in una fascia di 2 km a cavallo del tracciato della galleria in progetto; in diversi casi, tuttavia, sono stati censiti anche punti d'acqua più distanti in quanto ritenuti significativi nell'ambito del contesto idrologico locale, della significatività socio economica e dei rapporti di interferenza con lo scavo.

Nel corso delle attività in sito sono stati censiti 98 nuovi punti d'acqua (tutte sorgenti) rispetto alle indagini per il PPA, mentre l'attività di verifica ed integrazione delle informazioni ha interessato 258

punti. In totale l'attività di censimento nell'area di indagine ha permesso di individuare 374 sorgenti e 43 pozzi.

Contestualmente alle attività di censimento e di misura in sito dei parametri chimico - fisici sono stati eseguiti i prelievi dei campioni d'acqua per le determinazioni analitiche di laboratorio.

Lo studio del chimismo delle acque sotterranee ha la finalità di ottenere delle indicazioni che permettano la ricostruzione dei circuiti, la caratterizzazione dei bacini di alimentazione, l'individuazione di zone di alimentazione e di drenaggio preferenziali e la possibilità di confrontare o correlare tra loro le varie acque.

Di seguito si riassumono essenzialmente i dati principali.

Il set analitico individuato per la caratterizzazione idrogeochimica delle acque è stato il seguente:

- cationi: Litio, Sodio, Potassio, Ammoniaca, Calcio, Magnesio;
- anioni: Fluoruri, Cloruri, Bromuri, Nitrati, Nitriti, Fosfati, Solfati, Carbonati, Bicarbonati.

L'attività di interpretazione dei dati idrochimici e chimico-isotopici è stata finalizzata, sulla base delle usuali e consolidate tecniche in campo idrogeologico, a correlare le caratteristiche di un gruppo di acque sotterranee con quelle della roccia serbatoio e del flusso sotterraneo.

Si è potuto notare infatti come vi sia una netta linea evolutiva del chimismo delle acque, a livello complessivo, da facies tipicamente bicarbonato-calciche e magnesiache a facies più tipicamente clorurato e solfato calciche e magnesiache, ovvero, dal punto di vista idrogeologico, l'evoluzione da composizioni (in termini di anione dominante) tipiche della "zona superiore" (in facies carbonatica) a circolazioni di tipo "intermedio" (con solfati come anioni dominanti) o "profondo" (con cloruri dominanti).

Nel dettaglio, l'analisi è poi stata più correttamente riferita a gruppi litologici con chimismo in prima approssimazione omogeneo, individuando tra le differenti unità strutturali, in funzione di specifiche facies petrografiche e petrochimiche, 8 facies petrografiche omogenee.

Gli acquiferi in esame sono peraltro costituiti in larga prevalenza dai gruppi litologici omogenei dei "calcescisti" e delle "ultramafiti" nella parte occidentale, mentre nella parte orientale unicamente dalla facies carbonatica.

Il chimismo di riferimento per i campioni analizzati appartenenti ai gruppi indicati viene rappresentato sulla base delle concentrazioni delle specie ioniche principali (in meq/l) plottate su diagramma di Schoeller (si vedano le figure seguenti).

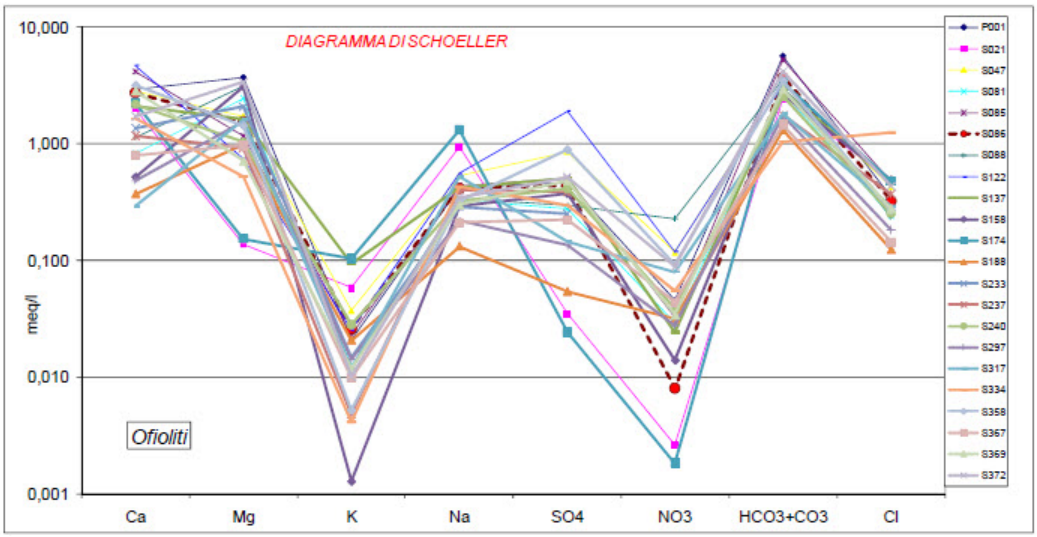


Figura 10 Diagramma di Schoeller riferita a sorgenti con circuiti di alimentazione prevalente nell'ambito dei litotipi di origine ofiolitica (facies petrochimica "metabasiti, ultramafiti")

Dall'osservazione dei due diagrammi si può notare come siano molto significative le variazioni degli anioni HCO3- e SO42-, a conferma di circolazioni idrogeologiche differenziate in termini di tempo di residenza e conseguente "zonizzazione" idrogeologica, secondo quanto specificato dalla relazione idrogeologica IDR301 e sopra indicata, e sulla base della linea evolutiva che si evidenzia a livello complessivo anche nel diagramma a Piper.

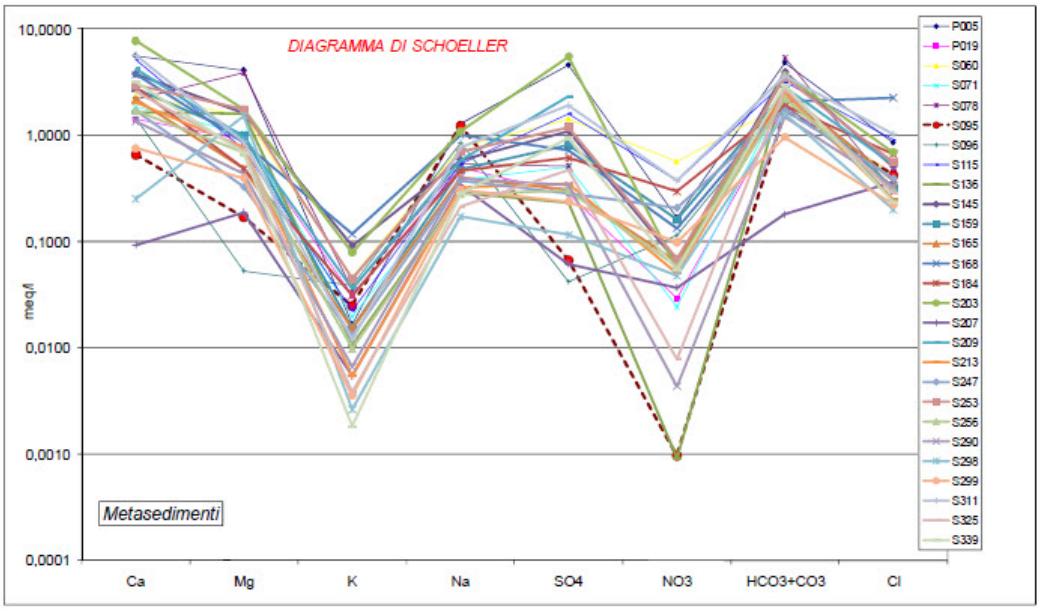


Figura 11 Diagramma di Schoeller riferita a sorgenti con circuiti di alimentazione prevalente nell'ambito dei litotipi della facies petrochimica "metasedimenti"

Viene confermata la rilevanza dell'evoluzione da facies bicarbonato calcio-magnesiache verso facies più tipicamente clorurato e solfato calciche e magnesiache e i relativi rapporti caratteristici

tra specie ioniche, indicativi della "zonalità idrochimica verticale", il cui significato in termini idrogeologici deve essere in ogni caso valutato in un quadro geologico più ampio, congiuntamente alla valutazione del ruolo degli elementi e delle lineazioni strutturali.

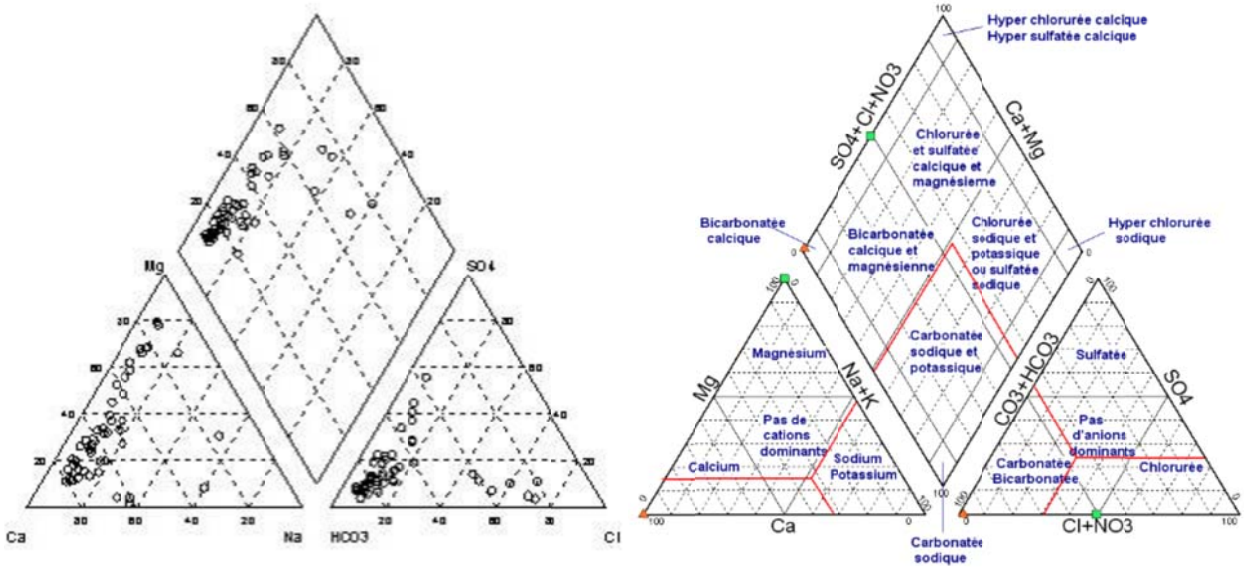


Figura 12 Rappresentazione del chimismo dei campioni analizzati sulla base del diagramma di Piper a diamante (a destra è riportato il "diagramma tipo" con l'indicazione delle facies di classificazione idrochimica delle acque). Si noti per i campioni esaminati la linea evolutiva da acque a chimismo meno "evoluto" in facies bicarbonato-calcicico e magnesiaco verso acque a chimismo clorurato e solfato calcico.

Tale evoluzione può essere evidenziata anche dall'andamento dei rapporti caratteristiche tra le specie ioniche: nelle litologie meta sedimentarie (si veda figura 13) si evidenzia la progressiva diminuzione del rapporto HCO3-/SO4-- lungo la linea evolutiva, ovvero per valori crescenti di mineralizzazione (conducibilità elettrica specifica).

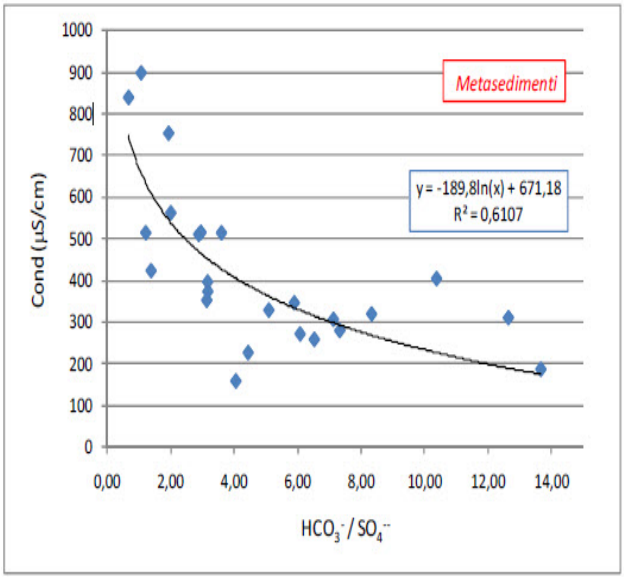


Figura 13 Rapporto HCO3-/ SO4-- , Vs. Conducibilità elettrica specifica delle acque. Evoluzione idrochimica con acque più "giovani" in basso a destra nel diagramma e più "evolute" in alto a sinistra (con progressiva riduzione del rapporto anionico ed incremento della mineralizzazione lungo la linea di flusso).

Nella figura 14, relativamente ai litotipi "ofiolitici" (metabasiti, ultramafiti), si può notare come lungo la linea evolutiva di maturazione idrochimica delle acque, oltre alla diminuzione del rapporto caratteristico SO4-- / Cl sulla base della sequenza anionica precedentemente descritta, si osservi il parallelo incremento del rapporto Mg++ / Ca++. Di norma infatti, all'interno dello stesso acquifero, il valore del rapporto Mg++ / Ca++ tende ad aumentare da monte verso valle (ovvero secondo il verso di deflusso sotterraneo delle acque) perché la dissoluzione di MgSO4 e di MgCl2 è più rapida di quella di CaSO4; inoltre l'apporto di Ca++ proveniente dalla dissoluzione del carbonato di calcio risulta nulla quando le acque diventano sature in bicarbonati. Tale rapporto, nelle acque di circolazione sub-superficiale, tende inoltre anche ad aumentare per evaporazione (a seguito della precipitazione del solfato di calcio e del carbonato di calcio).

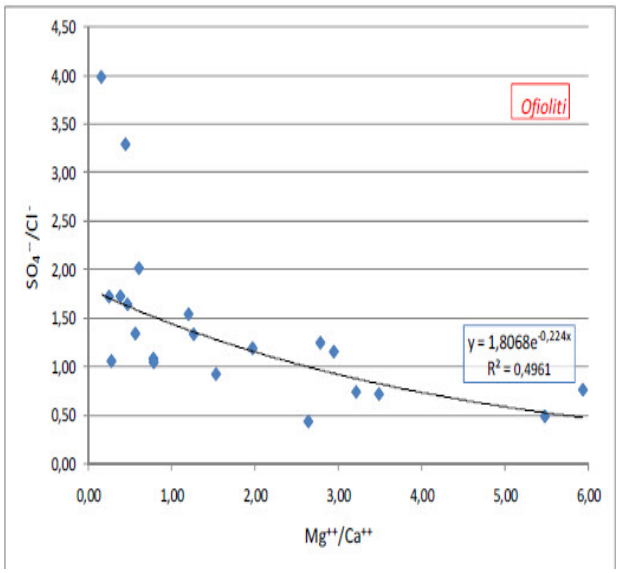


Figura 14 Rapporti caratteristici Mg++/Ca++ Vs. SO4--/Cl- (serbatoio "ofioliti"). Evoluzione idrochimica con acque più "giovani" in alto a sinistra nel diagramma e più "evolute" in basso a destra (progressiva riduzione di SO4--/Cl- e incremento di Mg++/Ca++ lungo linea di flusso)

8 MONITORAGGIO DELLE FIBRE AERODISPERSE

È stata organizzata un'attività di rilievi e monitoraggi in campo per valutare le concentrazioni di fibre di amianto aerodisperse in ambiente urbano, in 15 siti localizzati nel comune di Genova, lungo la tratta prevista a progetto e nelle zone densamente urbanizzate.

La ricerca è finalizzata alla valutazione dello stato di qualità ambientale attuale delle aree di intervento, riferito alle diverse stagioni annuali. La prima campagna, svolta nel mese di gennaio 2011, descritta nel presente paragrafo e più approfonditamente nell'Allegato 4. ha fornito un quadro di riferimento del livello di fondo naturale dell'ambiente di riferimento nelle aree interessate dal progetto evidenziando alcune criticità e l'ulteriore capacità di carico dell'ambiente.

I risultati che sono stati generati da questa primo monitoraggio sono risultati estremamente interessanti e potranno essere utili per l'organizzazione di una rete di controllo dell'aria al momento della fase di cantierizzazione. Infatti tra le principali caratteristiche del progetto nella definizione di procedure di scavo in terreni potenzialmente amiantiferi, vi sono anche l'elaborazione di piani di controllo per il trasporto dello smarino e la gestione del materiale in cantiere ed in deposito.

Il monitoraggio è stato condotto anche al fine di valutare l'influenza delle condizioni meteoclimatiche sulla possibile dispersione in aria degli inquinanti asbestiferi.

Nel caso previsto dalla normativa, utilizzando le tecniche e le metodiche indicate, un rilevamento preliminare risulta complicato a causa del carattere generalmente caotico degli ammassi ofiolitici e della presenza di fitta vegetazione, e dall'interconnessione tra i vari minerali asbestiformi, dalla presenza di altre polveri di origine antropica e non, dall'influenza degli insediamenti residenziali e industriali.

Nel caso specifico tuttavia si è voluto predisporre questo tipo di rete di monitoraggio lungo le zone aperte del tracciato e delle viabilità correlate con il preciso intento di provare ad individuare potenziali "sorgenti" di diffusione da non trascurare e prendere attentamente in considerazione.

Il prelievo è stato eseguito secondo quanto prescritto dall'allegato 2b del Decreto Ministeriale del 06 settembre 1994 con utilizzo di microscopia elettronica in SEM per identificare e contare con certezza solo le fibre di amianto e identificarne la tipologia secondo la definizione dei minerali asbestiformi indicati in normativa.

Il flusso di campionamento e il relativo volume (3000 litri) ha dovuto determinare un tempo di campionamento effettivo di otto ore eseguito durante il periodo diurno simulando l'orario lavorativo del cantiere, precisamente tra le 8.00 e le 16.00 per 3 giorni consecutivi. Infatti per la campagna di

misura, in ciascun sito individuato, sono stai previsti almeno tre campionamenti consecutivi al fine di effettuare una valutazione più completa del possibile impatto ambientale.

Tutte le attività strumentali di campionamento e rilevamento di parametri in campo, di manipolazione e preparazione dei campioni in laboratorio, di analisi e di elaborazione statistica dei dati relativi alle misure eseguite sono state effettuate secondo la vigente normativa di Legge nazionale ed in accordo con le pertinenti norme tecniche nazionali ed internazionali recepite.

8.1 Campagna di rilievo delle fibre di amianto in aria nelle aree di interesse progettuale

Le postazioni sono state collocate nel comune di Genova. Per la descrizione e la posizione si vedano la tabella e le figure seguenti.

Tabella 20 Descrizione e localizzazione dei siti di monitoraggio delle fibre aerodisperse

Codice punto:	Tipo di territorio	Comune	Località	Indirizzo	Coordinate WGS 84
ASB001	Urbano	Genova	Bolzaneto	Via al Santuario di Nostra Signora della Guardia 19	N 44°28'05,9" E 8°53'54,9"
ASB002	Urbano	Genova	Polcevera-Bolzaneto-Murta	Via Ugo Polonia 31 r	N 44°27'31,7" E 8°53'56,1"
ASB003	Urbano	Genova	Polcevera-Fegino	Via Sant' Ambrogio di Fegino	N 44°26'16,6" E 8°53'21,5"
ASB004	Urbano	Genova	Polcevera-Campi	Incrocio tra Via Benedetti e Renata Bianchi	N 44°25'19,2" E 8°53'04,4"
ASB005	Urbano	Genova	Cornigliano	Incrocio tra Via Cornegliano e Via Bertolotti	N 44°24'55,7" E 8°51'57,8"
ASB006	Urbano	Genova	Sestri Ponente	Via pionieri di Italia 129	N 44°24'53,9" E 8°50'25,6"
ASB007	Extraurbano	Genova	Pegli-Val Varenna	Via Carpenara	N 44°27'17,3" E 8°49'14,1"
ASB008	Extraurbano	Genova	Pegli-Val Varenna	Via Carpenara	N 44°26'33,9" E 8°49'19,0"
ASB009	Urbano	Genova	Pegli	Via Cialli	N 44°25'38,8" E 8°49'18,1"
ASB010	Urbano	Genova	Voltri	Via Voltri 40 r	N 44°25'43,7" E 8°45'32,4"
ASB011	Extraurbano	Genova	Voltri	Via Santuario delle Grazie 26	N 44°26'15,5" E 8°44'25,2"
ASB012	Extraurbano	Genova	Voltri	Via Ovada 13 r	N 44°26'10,7" E 8°44'45,6"
ASB013	Urbano	Genova	Voltri	Via delle Fabbriche	N 44°25'38,3" E 8°44'35,0"
ASB014	Urbano	Genova	Voltri	Via delle Fabbriche	N 44°25'57,7" E 8°44'15,1"
ASB015	Extraurbano	Genova	Vesima	Via Vesima	N 44°25'08,5" E 8°42'51,0"

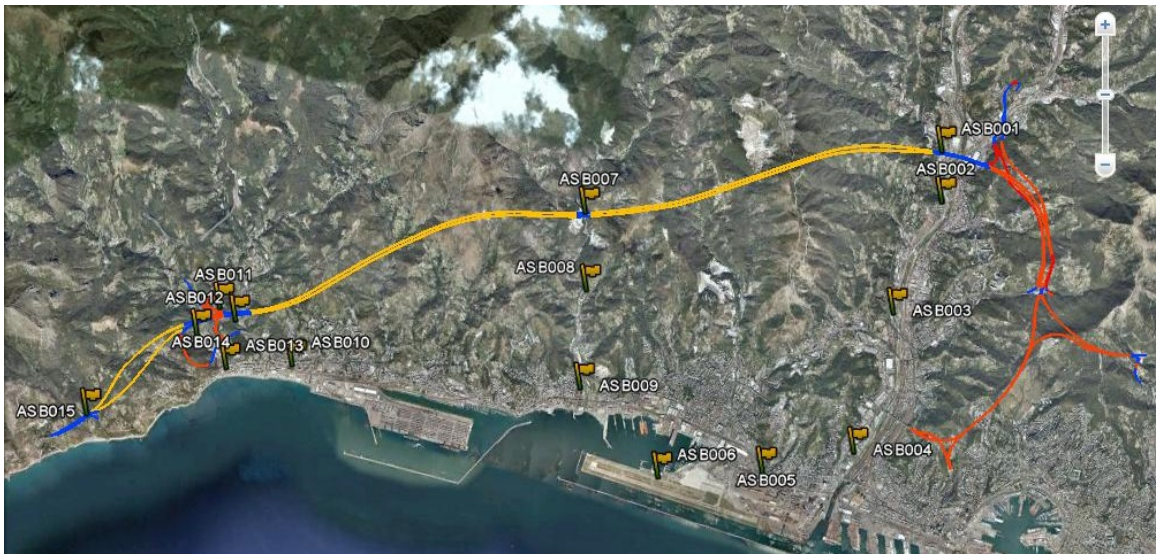


Figura 15 Distribuzione dei siti sul territorio

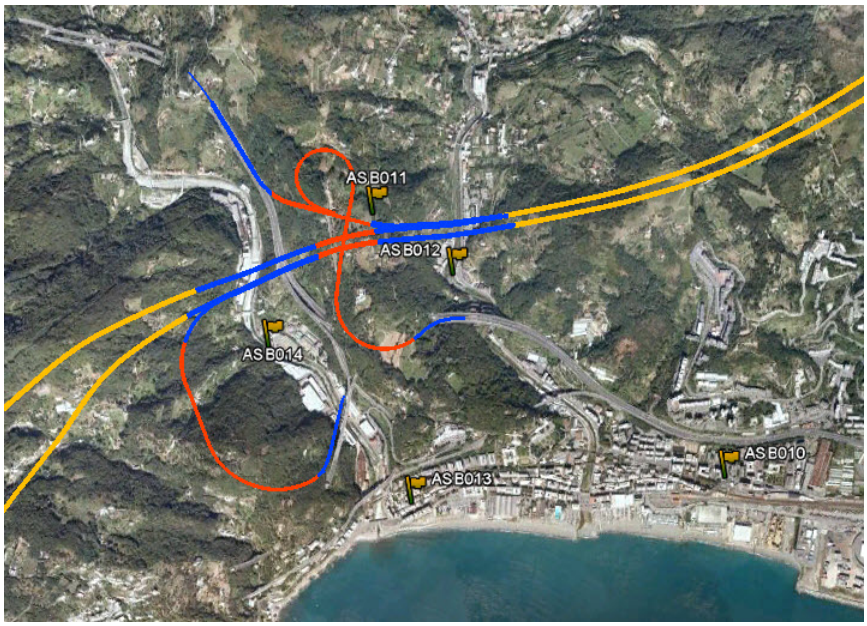


Figura 16 Dettaglio zona di Voltri

L'ubicazione dei punti è legata alle attività che si articoleranno durante la realizzazione dell'opera in progetto e quindi alle aree a maggiore rischio teorico.

In alelgato sono riportati per maggior dettaglio i valori medi di temperatura giornaliera, i valori di pressione ed umidità, le informazioni meteoclimatiche, i valori delle fibre di amianto depositate su membrana filtrate espressi in fibre per litro, oltre ad una serie di informazioni utili per la valutazione del dato, ordinate in ordine di acquisizione temporale.

Dall'analisi dei risultati, riassunti in Tabella 21, risulta evidente il superamento di 2 fibre per litro nel giorno 21/01/2011 in due postazioni nell'area Pegli-Val Varenna, ASB007 (2,7 ff/l) e ASB009 (2,3 ff/l), anche se considerando la media dei tre campionamenti si rientra al di sotto della soglia. Delle tre aree, la postazione ASB007 è quella che presenta valori più elevati, probabilmente dovuti alla presenza di importanti affioramenti di serpentino, di brecce serpentinitiche e di zone di contatto tettonico.

Tabella 21 Risultati del monitoraggio sulle fibre aerodisperse sui 15 siti individuati con l'evidenza dei superamenti dei limiti di riferimento in rosso (2 ff/l, da DM Sanità 1994)

PUNTI	DATA	Concentrazione fibre di amianto aerodisperse. FIBRE/l	PUNTI	DATA	Concentrazione fibre di amianto aerodisperse. FIBRE/l
ASB001	24/01/2011	0,2	ASB009	21/01/2011	2,3
ASB001	25/01/2011	0,2	ASB009	22/01/2011	0,7
ASB001	26/01/2011	0,1	ASB009	23/01/2011	0,9
ASB002	24/01/2011	0,2	ASB010	18/01/2011	0,3
ASB002	25/01/2011	0,3	ASB010	19/01/2011	0,2
ASB002	26/01/2011	0,0	ASB010	20/01/2011	0,1
ASB003	24/01/2011	0,1	ASB011	18/01/2011	0,0
ASB003	25/01/2011	0,1	ASB011	19/01/2011	0,1
ASB003	26/01/2011	0,0	ASB011	20/01/2011	0,0
ASB004	24/01/2011	0,4	ASB012	18/01/2011	1,4
ASB004	25/01/2011	0,2	ASB012	19/01/2011	0,7
ASB004	26/01/2011	0,1	ASB012	20/01/2011	0,4
ASB005	24/01/2011	0,3	ASB013	18/01/2011	0,2
ASB005	25/01/2011	0,2	ASB013	19/01/2011	0,5
ASB005	26/01/2011	0,2	ASB013	20/01/2011	0,5
ASB006	21/01/2011	0,3	ASB014	18/01/2011	0,2
ASB006	22/01/2011	0,0	ASB014	19/01/2011	0,0
ASB006	23/01/2011	0,1	ASB014	20/01/2011	0,2
ASB007	21/01/2011	2,7	ASB015	18/01/2011	0,2
ASB007	22/01/2011	0,7	ASB015	19/01/2011	0,0
ASB007	23/01/2011	0,4	ASB015	20/01/2011	0,1
ASB008	21/01/2011	0,2			
ASB008	22/01/2011	0,2			
ASB008	23/01/2011	0,3			

La particolare conformazione della valle molto stretta, la presenza di diversi affioramenti di serpentino, l'esistenza di cave e di attività che comportano o hanno comportato il trattamento ed il deposito di inerti, nonché il traffico pesante collegato alle attività di cui sopra, sono tutti i fattori che potrebbero giustificare le anomalie riscontrate anche nella seconda postazione della Val Varenna, favorito inoltre da un fattore, che potrebbe determinare un aumento di fibre in aria, il vento.

Per quanto riguarda l'area Voltri – Vesima la postazione ASB012 è risultata quella con maggior concentrazioni di fibre, probabilmente sempre a causa della vicinanza di affioramenti e della conformazione valliva con l'incanalamento del vento. Mentre l'area Bolzaneto-Cornigliano è caratterizzata da valori molto bassi, decisamente inferiori ai limite.

Come precedentemente ricordato la ricerca è finalizzata alla valutazione dello stato di qualità ambientale attuale delle aree di intervento, riferito alle diverse stagioni annuali. In tal senso si dovranno prevedere campagne di rilievi del livello di fondo naturale nelle aree interessate dal progetto.

9 SIGNIFICATO DEL FONDO NATURALE NELLE MATRICI AMBIENTALI

L'individuazione, come in precedenza descritto, dei contenuti anomali di origine naturale in alcuni metalli pesanti e in minerali asbestiferi permette di sottolineare come la caratteristica principale di buona parte del materiale di scavo interessato rientri nella definizione di fondo naturale.

Per le definizioni e il concetto del fondo naturale, si rimanda al documento "Analisi delle criticita' indotte dalla previsione progettuale di scavo di materiali amiantiferi", APG005, testo tecnico-normativo, a supporto del progetto e delle valutazioni di carattere ambientale. Di seguito si riportano due definizioni che permettono di inquadrare meglio il contesto di interesse:

- Valore di fondo (USEPA, 1995): concentrazione di composti inorganici nei suoli o nei sedimenti situati in prossimità di siti inquinati ma che non sono influenzati dalle attività svolte nel sito o ad esse ricollegabili.
- Valori di fondo naturale (norma ISO 19258/2005, Soil Quality – Guidance on the determination of background values): caratteristiche statistiche del contenuto naturale pedogeochimico di una sostanza nei suoli.

Il fondo naturale rappresenta un dato di partenza per il corretto intervento sulle matrici ambientali in funzione della loro corretta tutela e conservazione. In questa giusta direzione si sono mosse le Regioni e gli Enti territoriali per disciplinare le modalità di campionamento, valutazione, riconoscimento dei valori da tenersi come fondo naturale di un sito. Così la Regione Liguria ha dato corso a campagne ed indagini di approfondimento sul tema quali:

1. la "campagna per la valutazione dell'amianto nelle ofioliti liguri. Modalità operative per l'individuazione dei Fondi Naturali sul territorio ligure";
2. lo studio del "trend dei valori di concentrazione degli elementi Cr, Ni,V, Zn, Pb, Cu, Co, Cd, Mn, Cr VI e As contenuti naturalmente nelle rocce, nei terreni superficiali (coltri eluviocolluviali di versante), nei sedimenti attivi d'alveo e litorali di quattro bacini, tre di pertinenza tirrenica (T.Lerone e T.Leira in Prov. di Genova e T. Rossola in Prov. di La Spezia) e uno di pertinenza adriatica (F.Bormida di Spigno in Prov. di Savona) al fine del confronto con i limiti di concentrazione ammissibili. del D.M. 471/99, ad oggi rappresentante la normativa vigente in materia di bonifiche dei siti inquinati. (Progetto realizzato dal Settore Geologia e Idrogeologia – Direzione Scientifica in collaborazione con i Dipartimenti ARPAL Provinciali di Genova, La Spezia, Savona e il DIP.TE.RIS. dell'Università di Genova.) ";
3. il monitoraggio dell'ambiente marino costiero ligure a cura di Arpal su stato delle acque e dei fondali superficiali e profondi (2001-2008);

4. la cartografia geochimica regionale in collaborazione con il DIP.TE.RIS. dell'Università di Genova.

In generale quindi si tratta di studi riferiti al fondo naturale esteso caratterizzante una vasta area.

Nel contesto progettuale la ricerca dei valori di fondo naturale, per quegli elementi chimici che mostrano una naturale alterazione nelle concentrazioni tipiche delle rocce interessate dal tracciato, assume una particolare rilevanza per la corretta gestione dei materiali sia che essi vengano depositati in arco rovescio sia che il loro utilizzo avvenga nell'opera a mare. In quest'ultimo caso, sottolineando come l'opera a mare sia funzionale a tutto il progetto autostradale, la scelta della destinazione finale del materiale è supportata, così come delineato dalla normativa nazionale e regionale, da un'analisi di rischio sanitario ambientale eseguita e finalizzata alla verifica dell'ammissibilità del riutilizzo del materiale. Questo tipo di verifica è fatta proprio in relazione al contenuto naturale previsto, potenzialmente superiore ai limiti di legge, ai fini stessi del riempimento dell'opera a mare, in ottemperanza anche al D.M. 161/2012 e per quanto previsto dal Piano di Utiilzzo (APG0010). Le risultanze dell'analisi di rischio sanitario ambientale dell'opera a mare sono contenute nel documento "Analisi di rischio per l'impiego dei materiali di smarino provenienti dall'escavazione delle gallerie per l'ampliamento a mare del rilevato aeroportuale" APG007.

9.1 Fondo naturale nei terreni

Nel caso della caratterizzazione delle aree lungo il tracciato, è già ampiamente nota una situazione per quanto riguarda, prioritariamente, il Nichel ed il Cromo trivalente, ed analogamente una serie di metalli geochimicamente correlati (soprattutto Cobalto e Vanadio, ma anche Arsenico o Rame). Infatti il complesso geolitologico delle rocce ultramafitiche (serpentinite) presenta naturalmente delle concentrazioni di Cromo e Nichel chiaramente superiori ai limiti tabellari ministeriali (sia A che B), tanto che la problematica, come ricordato, è stata affrontata da diversi progetti di indagine guidati da Enti e Centri di Ricerca.

L'esame dei livelli di background naturale nei terreni parte dai prelievi ambientali in sondaggio eseguiti lungo il tracciato di circa 15 km. La linea di scavo è stata indagata nella caratterizzazione progettuale mediante la realizzazione di 11 campioni prelevati a quota scavo e da 8 campioni in affioramento, in virtù di una conoscenza del background chimico in letteratura scientifica acquisita come nozione di base (cap. 3.1, oltre 200 campioni di stream sediments). A rigore i campioni da utilizzare come bianco di riferimento devono provenire da zone omogenee, da profondità corrispondenti e tipi di terreno affini. Nel nostro caso le condizioni di origine omogenea dei dati raccolti pare rispettata, considerando le quote di tracciato lineare nell'ammasso roccioso

considerando quale condizione caratteristica del sottosuolo indagato le importanti interferenze tettoniche, per presenza di faglie e di venute d'acqua. Tutti i campioni hanno l'oggettiva certezza dell'assenza di contaminazione proveniente da qualsiasi tipo di attività antropica.

Come già descritto nel cap. 3.1, lo studio scientifico universitario sul background naturale può, già di per sé, stabilire che le concentrazioni superiori a quelle stabilite dalla normativa sono concentrazioni del fondo naturale. Dato che lo stream sediment rappresenta la composizione media mineralogica delle rocce sottese dal bacino, le concentrazioni di Cromo-Nichel variano, a seconda della prevalenza di rocce ultramafitiche a monte del punto di prelievo. Da un punto di vista geomorfologico i massimi contributi alla deposizione di Cromo e altri metalli pesanti provengono da quei versanti costituiti quasi essenzialmente da serpentinite. Infatti le carte di distribuzione dei contenuti elementali rilevati negli stream sediments riportate nell'Atlante degli acquiferi della Liguria, Volume III dell'Università di Genova (2002), o a scala minore in Geochemical Baselines of Italy (2003), evidenziano i contenuti anomali in alcuni metalli pesanti (soprattutto Cromo, Nichel, Cobalto e Vanadio) nelle aree caratterizzate dalla presenza di rocce ofiolitiche. Nel presente testo sono state riportate in capitolo 2 la carta di distribuzione del Nichel, e la carta di distribuzione del Cromo, in forma di triossido (Cr2O3).

I dati di analisi chimica, sui campioni prelevati durante le fasi di progetto (PPA e PD), mostrano coerenza con quanto già posto in evidenza in virtù anche della differente scala granulometrica di campionamento e ed analisi rispetto agli stream sediments (165 micron dei campioni di sedimento alluvionale rispetto ai 2 mm dei prelievi ambientali in fase di progetto). I prelievi, lungo il tratto da Bolzaneto a Vesima nel contesto geologico del gruppo di Voltri, insistenti principalmente su rocce serpentinitiche e metagabbriche, confermano tenori elementali naturali in alcuni metalli pesanti (cromo, cobalto e nichel soprattutto), superiori rispetto ai limiti definiti dalla normativa, in alcuni casi anche per quelli posti al riutilizzo industriale.

9.2 Fondo naturale nei sedimenti marini

Sulla base del piano di caratterizzazione chimica eseguito nel canale di calma è stata verificata la compatibilità dei sedimenti che si trovano nella zona di futura realizzazione della cassa di colmata (cap. 6).

Da un confronto con gli standard di riferimento (D.M. 56/09 per i sedimenti marini) e con altri dati sito specifici rilevati in ambiti limitrofi, si è voluto evidenziare, nel caso dei metalli, l'eventuale presenza di livelli di fondo naturale superiori a quelli di legge. I risultati delle indagini svolte pertanto sono stati confrontati con il limite normativo indicato dal D.Lgs 152/2006 (allegato 5 del titolo V della parte quarta) per i suoli destinati ad uso industriale. Come già indicato, i valori

tabellari dei parametri chimici del D.Lgs. 152/2006 si riferiscono a suoli e sottosuoli intendendo perciò terreni emersi; è stato ritenuto però corretto utilizzarlo per 2 motivi: è lo stesso che viene adottato per valutare la qualità del materiale da impiegare per la costruzione della colmata; è quello impiegato dalla Regione Liguria per autorizzare il riutilizzo di sedimenti dragati per la realizzazione di casse di colmata o vasche in ambito costiero, ai sensi dell'art 109 del D.Lgs 152/06.

I valori riscontrati nel canale di calma si mantengono generalmente nei limiti previsti dalla legge, anche se per alcuni parametri si ottengono valori superiori (soprattutto Nichel, ma in qualche caso Cromo e Cobalto).

L'aspetto interessante, emerso da questo tipo di analisi, è che i valori in alcuni metalli pesanti nei sedimenti marini indicano un diretto arricchimento naturale dei sedimenti dovuto alle caratteristiche litologiche dei bacini imbriferi dei corsi d'acqua che sfociano nell'area di studio.

La correlazione di alcuni elementi chimici ha permesso di evidenziare e confermare da un punto di vista geochimico, considerando precise dinamiche di trasporto e di deposizione, una matrice di fondo naturale (Nichel, Cromo e Cobalto) alterata da un contributo antropico (dato dalla correlazione secondaria tra elementi quali vanadio, zinco, piombo, cadmio e rame, con gli idrocarburi pesanti utilizzati come tracciante di contaminazione di origine antropica). Questa alterazione significativa è da ricondursi principalmente alle pressioni antropiche presenti nella zona, quali l'attività siderurgica e le attività portuali.

9.3 Fondo naturale delle fibre aerodisperse in aria

Le rocce serpentinitiche sono matrici di diversi minerali fibrosi tra cui gli amianti tremolite, actinolite e crisotilo. Questi minerali sono continuamente aerodispersi e costituiscono potenzialmente una porzione del fondo ambientale respirabile.

Il rilascio "naturale" di fibre aero disperse, che costituisce il valore di fondo, è favorito da processi di disgregazione e di alterazione fisico-meccanica, chimica e biologica. Il valore di fondo risulta inoltre essere funzione delle caratteristiche geologiche, topografiche, climatiche ed anemometriche. Infine la determinazione del valore di fondo è utile per comprendere se le fibre aerodisperse sono originatesi dalle rocce oppure se derivano da manufatti antropici, o movimentazioni ad essi correlati, presenti nella stessa area.

In considerazione anche di tutte le potenziali interferenze menzionate in premessa del cap. 8 e dei dati analitici ottenuti dalle campagne di rilievo, sebbene parziali e limitati ad una sola stagionalità, è stato già possibile verificare che il superamento di 2 ff/l, limite di riferimento normativo, è restrittivo per la presenza sul territorio di cave e di affioramenti in serpentiniti (Val Varenna, con rilievi medi

pari a 2,7 ff/l). Inoltre è stato verificato che la presenza in “abbandono” di ammassi sterili all’interno delle stesse cave e soprattutto la movimentazione di mezzi lungo percorsi dove sono affioranti rocce e terreni contenenti amianto (Pegli, con rilievi medi pari a 2,3 ff/l) può causare una dispersione delle eventuali fibre presenti in aree più vaste, rispetto a quelle nelle quali l’amianto è originariamente presente. In attesa di ulteriori conferme e valutazioni dalle prossime indagini di rilievo, si può comunque affermare che nei casi, dove sono state individuate potenziali sorgenti di fibre aerodisperse, il valore di fondo da adottare debba essere valutato sulla base dei rilievi in ante operam, discriminando le potenziali sorgenti naturali dalle antropiche.

10 PROVE SPERIMENTALI SULLE OPERAZIONE DI SVERSAMENTO NEL DEPOSITO DEFINITIVO DELL'OPERA A MARE

10.1 Modellazione del potenziale rilascio nell'interfaccia tra acqua di mare e aria

La modellazione chimica e fisica ha avuto lo scopo di verificare la dispersione ed il comportamento in acqua delle fibre d'amianto durante l'operazione di sversamento nel deposito a mare dello smarino. L'attività di studio sullo sversamento a mare dello smarino, con l'esecuzione di indagini sperimentali, è stata svolta presso il DICAT (Dipartimento di Ingegneria della Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio dell'Università di Genova). Il documento di riferimento è in Allegato 5.

Ai fini dello studio è rilevante il sistema previsto per il trasporto e lo sversamento del materiale dalla zona di scavo fino all'opera di contenimento. Si ricorda infatti che il materiale di scavo delle gallerie sarà, innanzitutto, frantumato nel caso in cui il diametro ecceda il valore di 200 mm e poi diluito con acqua di mare, proveniente dall'opera a mare stessa, in proporzioni di 5:1 per ottenere un fluido. Il fluido cosi ottenuto, la cui densità finale viene stimata intorno ai 1250 kg/m3, viene trasportato mediante un circuito (slurrydotto) lungo circa 9 km fino all'opera di contenimento. Le portate di esercizio dello slurrydotto sono state calcolate in base ad una stima della produzione dello scavo e, per quanto riguarda il materiale di smarino, si stimano valori intorno ai 437.5 m3/h. In base alla diluizione con acqua di mare assunta pari a 5 parti liquide e 1 di fase solida si utilizzato per la modellazione fisica, un valore di portata della miscela pari a 2078 m3/h. Allo sbocco dello slurrydotto, il fluido deve essere fatto fuoriuscire all'interno dell'aera di contenimento. Il riempimento sarà eseguito parzializzando l'intero volume a disposizione, in modo da dover riempire una sequenza di volumi minori. Inoltre, il fluido sarà depositato sempre in prossimità della quota del fondo attuale. Al fine di ottenere il riempimento nel modo più efficiente possibile, ovvero minimizzando il tempo di deposito dello slurry sul fondo e ridurre al minimo l'interazione con il corpo idrico recettore e il fondo, è stato ipotizzato l'utilizzo di un sistema tremie/diffuser nella parte terminale del condotto in modo da immettere il fluido verticalmente rispetto al fondo e con le minori velocita possibili. Infatti, il sistema di rilascio del fluido potrà imporre delle velocità di uscita comprese tra i 10 e 30 cm/s. Lo sversamento, partendo dalla quota più bassa quando il volume recettore e pieno solo di acqua di mare, è stato eseguito utilizzando tale diffusore fino ad una quota pari a -1 m s.l.m.. Si è deciso di simulare su modello fisico la condizione più critica per la fase di riempimento, ovvero quando il fondo e a quota -1 m s.l.m.. Il diametro del condotto dello slurry è stato scelto pari a 450 mm, in modo tale che, date le portate da smaltire, anche i diametri della frazione più grossolana del fango non sedimentino lungo il trasporto verso l'opera di mare. La velocità stimata del fluido all'interno del condotto assume valori di circa 3.8 m/s.

10.1.1 *Obiettivi della sperimentazione con modellazione fisica*

L'obiettivo è stato quello di simulare sia le condizioni di normale esercizio di sversamento sia le condizioni più pericolose delle fasi di riempimento, anche in assenza di diffusore, e misurare le concentrazioni di fibre di amianto eventualmente liberate in atmosfera.

Poiché è noto che le fibre di amianto possono rappresentare un grave rischio per la salute se inalate, per minimizzare tale rischio la metodologia di trasferimento (mediante slurrydotto) e di stoccaggio (all'interno della colmata a mare) prevedono che il materiale di scavo, potenzialmente contenente fibre libere, sia sempre immerso in un liquido. Infatti, se le fibre permangono all'interno del liquido (slurry o acqua di mare) e lo stoccaggio finale avviene all'interno della colmata in cassoni, come descritto da progetto, i rischi per la salute risultato minimizzati. Il processo di sversamento risulta, di fatto, una delle fasi più delicate dell'opera a mare, durante la quale è possibile che fibre di amianto vengano liberate in atmosfera.

10.1.2 *Elementi principali della simulazione*

Lo sversamento dello smarino a mare è stato simulato con un getto verticale in un bacino d'acqua altrimenti in quiete e in presenza di un fondo erodibile. Nell'acqua sono state disseminate fibre di vetro di opportune dimensioni, atte a simulare, in condizioni operative di sicurezza, le fibre di amianto. Durante le prove, è stato quantificato il rilascio di fibre in aria.

Per le notevoli dimensioni del prototipo di progetto, è stato necessario effettuare il modello fisico del fenomeno in scala spaziale ridotta. In particolare, il modello fisico e stato realizzato in scala 1:3. Dettagli del modello vengono forniti nel documento in Allegato 5, così come i criteri utilizzati per la modellazione in scala e i limiti associati alla sperimentazione.

L'apparato sperimentale impiegato nelle prove di laboratorio consiste in un sistema idraulico chiuso, in cui la portata d'acqua viene ricircolata. L'utilizzo di un sistema di ricircolo ha permesso di limitare il volume di acqua utilizzato, effettuare prove di lunga durata e controllare con sufficiente precisione la concentrazione di fibre presenti in acqua. L'acqua è stata prelevata dalla vasca di carico, e tramite una pompa, immessa nel circuito. La portata è stata misurata tramite un misuratore elettromagnetico. Il tratto terminale della condotta, di diametro 125 mm, genera il getto delle dimensioni desiderate.

L'acqua stramazza dal serbatoio cilindrico in un secondo serbatoio rettangolare costruito in lamiera. In questo modo il livello della superficie libera rimane costante, cosa che permette di simulare lo sversamento in un bacino di notevoli dimensioni. Dal secondo serbatoio un canale in pendenza, anch'esso in lamiera, riporta l'acqua al serbatoio di carico. Il serbatoio di misura e stato riempito con polistirolo espanso per un'altezza di 1 m circa. Al di sopra del polistirolo, separata da

esso da tessuto non tessuto, e stata sversata sabbia di opportuna granulometria, per simulare il fondo mobile del bacino. Il serbatoio e quindi stato riempito di acqua.

Il protocollo sperimentale utilizzato è stato il medesimo in tutte le prove effettuate ed è il seguente:

1. All'inizio di ogni esperimento si inserisce nel sistema la quantità di fibre di vetro che, sulla base del volume d'acqua presente nel sistema, si stima necessaria per ottenere la concentrazione desiderata, definita nel seguito come "concentrazione target".
2. La pompa idraulica viene avviata ed il sistema di circolazione mantenuto attivo per circa mezz'ora, al fine di ottenere un buon miscelamento delle fibre in tutte le componenti idrauliche del sistema. In questa fase la portata viene mantenuta relativamente bassa, al fine di limitare al massimo la formazione dello scavo al fondo in corrispondenza del getto.
3. Per ogni valore della concentrazione sono sempre state effettuate due prove, una con getto emerso ed una con getto immerso. Una volta ottenuto il miscelamento delle fibre si prelevano uno o piu campioni di acqua dal serbatoio di prova per le misure di concentrazione delle fibre.
4. Si da quindi inizio alla prova vera e propria. La portata viene portata rapidamente al valore desiderato e viene azionato il rilevatore di fibre.
5. Si effettua quindi un prelievo d'acqua per la misura della concentrazione delle fibre, ovvero la "concentrazione misurata".
6. La durata di ogni prova e stata di almeno 45 minuti (su modello), corrispondenti a circa 85 minuti alla scala del prototipo. Questa durata temporale e probabilmente significativamente superiore al tempo necessario a fermare l'impianto in caso di guasto. Tuttavia, essendo le prove effettuate stazionarie, il numero di fibre eventualmente rilevate sul filtro risulta direttamente proporzionale al tempo di prova, e questo comporta che prove di lunga durata consentano di ottenere una maggiore accuratezza nelle misure.
7. Al termine della prova, la pompa connessa al rilevatore di fibre viene fermata, il filtro estratto, numerato e archiviato.
8. A questo punto la portata viene diminuita e, senza fermare l'impianto, per evitare la sedimentazione delle fibre di vetro in particolare nel serbatoio di lamiera, si sostituisce la parte terminale del tubo di mandata per simulare condizioni di getto immerso/emerso.
9. La portata e dunque riportata al valore desiderato e si comincia la seconda prova.
10. Al termine della prova la concentrazione viene aumentata, per simulare le nuove condizioni richieste e si procede come descritto ai punti precedenti.

11. Al termine dell'ultima prova, corrispondente alla più alta concentrazione testata, il serbatoio di prova viene svuotato e si procede al rilievo altimetrico del fondo.

10.1.3 *Misure e rilievi eseguiti durante le prove sperimentali*

Misure di concentrazione delle fibre in acqua

Le misure di concentrazione di fibre in acqua sono state effettuate dal Ce.Si.S.P. All'inizio di ogni prova sono stati effettuati uno o più prelievi di acqua per la misura della concentrazione delle fibre presenti. La misura di concentrazione delle fibre in acqua è stata effettuata secondo la procedura descritta nel seguito:

a) si effettua una pesata di un filtro a membrana di 0,45 mm asciutto e pulito, utilizzando una bilancia con la precisione di 10-4 g.
b) da ogni campione d'acqua effettuato si preleva un volume pari a 100 ml che viene filtrato, utilizzando il filtro precedentemente pesato.
c) il filtro viene essiccato in forno a temperatura di 105°C.
d) il filtro viene ripesato e la concentrazione di fibre in peso viene misurata per differenza tra le due pesate.

Rilevamento delle fibre in aria

Le misure di concentrazione di fibre in aria sui filtri sono state effettuate dal Ce.Si.S.P. Il filtro rilevatore e stato in ogni prova collocato a distanza di circa 1m dall'asse del getto (3.6 m sul prototipo) e di circa 15 cm dal livello della superficie libera (54 cm sul prototipo), con il filtro orientato verso il basso. La concentrazione di fibre di vetro in aria viene effettuata analizzando i filtri relativi ad ogni prova secondo la seguente procedura.

a) Ogni filtro (a membrana di esteri misti di cellulosa) viene essiccato in forno a temperatura di 105C°.
b) Il filtro viene suddiviso in quattro porzioni che vengono montate su quattro vetrini da microscopio.
c) Ogni vetrino viene analizzato al microscopio, utilizzando un ingrandimento di 100X, e si procede alla conta ed alla misura delle fibre di vetro rilevate.

Rilievo del fondo

Il profilo del fondo e stato misurato a valle di ogni serie di prove. Il profilo del fondo osservato in ogni prova e sempre sensibilmente assialsimmetrico, con asse coincidente con l'asse del getto. Data l'assialsimmetria dell'assetto del fondo il rilievo e stato effettuato solo lungo una linea

passante per l'asse del getto. I rilievi sono stati effettuati con un'asta idrometrica con precisione di 1 mm e con un passo in pianta di 5 cm. E opportuno notare che il rilevo ha permesso di misurare lo scavo "statico". E tuttavia ragionevole ipotizzare che, durante lo svolgimento delle prove, il getto generi anche uno scavo "dinamico" di notevole entità, successivamente riempito al termine della prova. Si e tuttavia deciso di evitare di misurare lo scavo dinamico per non interferire con gli eventuali processi rilascio di fibre in prossimità del getto, essendo questi ultimi il principale obiettivo dell'analisi sperimentale.

10.1.4 *Sintesi dei risultati sperimentali*

Sono state complessivamente effettuate 14 prove. Le principali caratteristiche delle prove sono riassunte nella tabella seguente. Le prove possono essere suddivise in due serie, la prima (prove da 1 a 8) con il fondo indisturbato ad una distanza di 56 cm dalla superficie libera (corrispondente alla scala del prototipo a 2 m) e la seconda (prove da 9 a 14) con il fondo indisturbato a distanza di 25 cm della superficie (90 cm sul prototipo, a favore di sicurezza rispetto alla profondità minima prevista pari a 1 m). Alternativamente, le prove possono essere distinte in prove in cui l'estremità del tubo era al di sotto del livello della superficie libera o in cui il getto penetrava la superficie libera dall'esterno. Sono inoltre state utilizzate 3 concentrazioni target di fibre diverse, pari, rispettivamente a 30, 300 e 1000 mg/l. Nelle prove e stata utilizzata una portata compresa tra 24 e 28 l/s (ovvero tra 590 e 688 l/s a scala del prototipo e dunque, a favore di sicurezza, sempre un po' maggiore della massima prevista).

Sui risultati ottenuti dai rilievi di concentrazione di fibre in acqua e in aria, si è notato quanto segue.

Per quanto riguarda il tenore di fibre in acqua, si è potuto osservare come, presumibilmente a seguito della sedimentazione di una quota parte delle fibre immesse nel serbatoio in lamiera, le concentrazioni più alte (1000 mg/m3) non siano state raggiunte.

La normativa di riferimento vigente (Decreto Legislativo del 17 marzo 1995, n. 114, "Attuazione 37/38 della direttiva 87/217/CEE in materia di prevenzione e riduzione dell'inquinamento dell'ambiente causato dall'amianto") prevede, come limite di legge, che la concentrazione di fibre rilasciate nell'atmosfera non superi il valore limite di 0.1 mg/m^3. La stessa normativa sancisce inoltre che possa essere adottato il seguente fattore di conversione tra peso e numero di fibre rilevate: 2 fibre/ml per 0.1 mg/m^3.

Tabella 22 Descrizione sintetica delle caratteristiche delle prove. Tutte le misure sono relative alla scala del modello, I valori riportati tra parentesi del livello della superficie libera si riferiscono al prototipo

Prova n.	Concentrazione di fibre [mg/l]		Portata [l/s]		Configurazione tubo I: tubo immerso E: tubo emerso	Livello indisturbato del fondo rispetto alla superficie libera [cm]
	Target	Misurata	Modello	Prototipo		
1	30	27	24	590.2	I	-56 (-202)
2	30	29	24	590.2	E	-56 (-202)
3	300	84	24	590.2	E	-56 (-202)
4	300	76	24	590.2	I	-56 (-202)
5	300	283	27	663.9	I	-56 (-202)
6	300	213	28	688.5	E	-56 (-202)
7	1000	870	28	688.5	E	-56 (-202)
8	1000	510	27	663.9	I	-56 (-202)
9	30	72	26.5	651.6	E	-25 (-90)
10	30	43	26.5	651.6	I	-25 (-90)
11	300	320	26.5	651.6	I	-25 (-90)
12	300	148	26.6	654.1	E	-25 (-90)
13	1000	402	26.5	651.6	E	-25 (-90)
14	1000	340	26.5	651.6	I	-25 (-90)

I risultati di tutte le prove sono riassunti nella figura seguente, in cui, per ogni esperimento viene riportata la concentrazione di fibre misurata in acqua (in rosso, ordinata principale) e il numero di fibre rilevate sul filtro (in verde, ordinata secondaria). I dati ottenuti mostrano come sia stata osservata correlazione tra concentrazione di fibre in acqua e numero di fibre rilevate in aria. Una possibile spiegazione di questo fatto e che il rilascio di fibre in aria e un fenomeno statisticamente estremamente raro e il numero di fibre rilevato e molto piccolo. Inoltre soltanto un numero molto limitato di fibre viene trascinato nell'aerosol che si forma sulla superficie dell'acqua ed il fattore limitante e probabilmente la concentrazione di aerosol. In relazione a ciò, appare poco rilevante il fatto che la concentrazione di 1000 mg/kg non sia stata raggiunta.

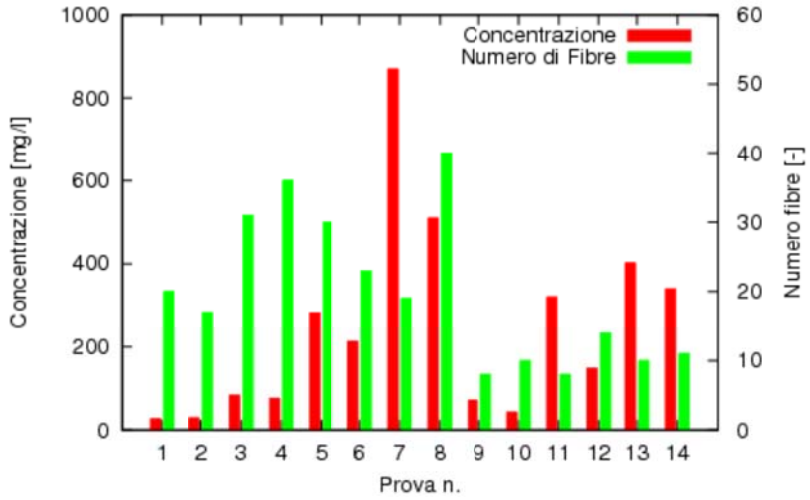


Figura 17 Numero di fibre rilevate in ogni prova e relativa concentrazione di fibre in acqua

Nell'ultima figura è infine riportato il numero di fibre rilevato sui filtri in ogni esperimento per ml di aria aspirata. Il valore massimo rilevato e pari a circa $6x10^{-4}$ fibre/ml. Tale valore appare significativamente inferiore al limite di legge (fissato a 2 fibre/ml).

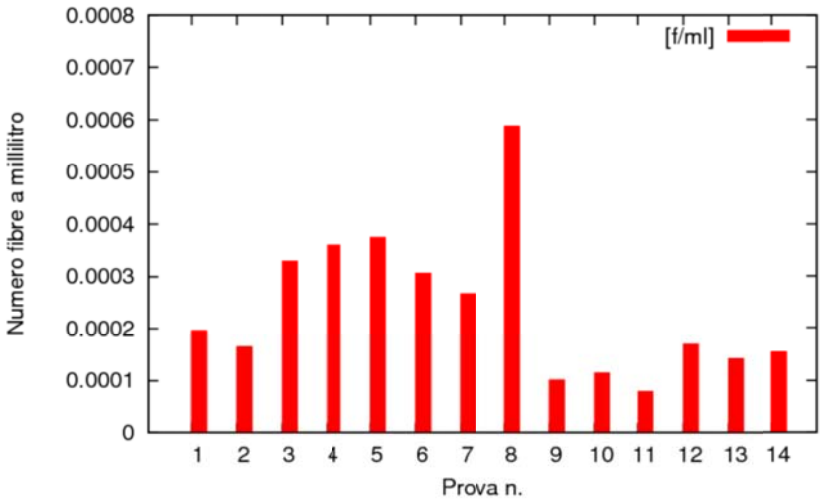


Figura 18 Numero di fibre rilevate in ogni esperimento per ml di aria

Si noti che il volume di aria aspirato varia in ogni prova sia perché vi sono lievi differenze nella durata delle prove, sia a causa delle differenti perdite di carico dei filtri in presenza di umidita. Questo fatto risulta comunque ininfluente per quanto riguarda i risultati mostrati in quanto gli stessi sono stati normalizzati rispetto ai volumi di aria aspirati.

In conclusione, le prove effettuate mostrano che, anche nel caso particolarmente sfavorevole considerato di assenza del diffusore e fondo a quota di circa -1 m dal livello della superficie libera, le concentrazioni di fibre in aria risultano di circa 4 ordini di grandezza inferiori alle massime previste dalla normativa vigente.

10.2 Studio ecotossicologico su organismi marini

L'attività è stata svolta presso il Centro di Ricerca Ecocompatibilità Sicurezza Innovazione Sostanze Chimiche (CRESIS) - Laboratorio di Ecotossicologia, dell'Università di Genova e dal Centro per lo sviluppo della sostenibilità dei prodotti - CE.Si.S.P. dell'Università degli Studi di Genova. L'elaborato è riportato in Allegato 6.

Lo studio ha riguardato l'analisi ecotossicologica su campioni di rocce rappresentativi delle principali litologie interessate dallo scavo meccanizzato (metabasalti, calcescisti e serpentiniti) e destinate al riempimento dell'opera a mare, prevista nel canale di calma.

I campioni sono stati sottoposti a macinazione e sono stati utilizzati principalmente per test di ecotossicità e prove di bioaccumulo.

Le analisi sono state effettuate utilizzando sia gli elutriati non diluiti e sia con diluizioni scalari degli stessi in quanto più rappresentativi di una situazione più realistica dei fenomeni che si verificano in natura.

Complessivamente sono stati eseguiti, per ciascun campione di materiale, i seguenti test:

- Matrice elutriato: due test di tossicità di cui uno a breve termine e uno a lungo termine, un test di bioaccumulo e tre determinazioni di biomarker;
- Matrice “tal quale”: un test di tossicità a lungo termine e un test di bioaccumulo.

Nei test di ecotossicità sulla matrice tal quale è stato impiegato il copepode marino *Tigriopus fulvus* in sostituzione dell’anfipode *Corophium orientale* in quanto, nel periodo in cui sono state effettuate le indagini, non è stato possibile reperire, nell’ambiente naturale, un numero sufficiente di organismi di questa specie da impiegare nei test ecotossicologici. Infatti, nonostante i diversi e ripetuti campionamenti effettuati nell’areale della foce del fiume Magra, che rappresenta l’habitat in cui è possibile reperire *C. orientale* (Bigongiari et al., 2001), la popolazione rinvenuta nei sedimenti è risultata numericamente scarsa e costituita da esemplari appartenenti a diverse classi di età e pertanto non idonea.

Anche per i test di bioaccumulo si è reso necessario sostituire *Hediste diversicolor* con un altro polichete marino appartenente alla stessa famiglia (*Nereididae*) perché, pur avendo ricevuto dai centri specializzati, al momento della richiesta di fornitura, risposte affermative di disponibilità di organismi, successivamente non è stato garantito l’invio di un numero adeguato di organismi maturi. Tale situazione si è rivelata critica per il verificarsi delle particolari condizioni metereologiche (basse temperature, elevata piovosità) del periodo che hanno causato un ritardato nella riproduzione e nella crescita di questi organismi.

Le prove di bioaccumulo sulla colonna d’acqua e le determinazioni dei biomarker, effettuate utilizzando il mollusco lamellibranco *Mytilus galloprovincialis*, sono state eseguite presso il laboratorio di fisiologia del Dipartimento di Biologia dell’Università degli Studi di Genova. Le determinazioni analitiche dei metalli pesanti (Cr, Ni, Co, Cu, As) sugli organismi esposti sono state effettuate presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica e di Processo “G.B. Bonino” (DICHEP) dell’Università degli studi di Genova.

10.2.1 *Sintesi dei risultati*

Dal complesso dei risultati ottenuti nel corso della sperimentazione, il cui dettaglio è nella relazione allegata a cui si rimanda, si può concludere che la tossicità dei campioni di rocce, sottoposte ad analisi ecotossicologica, si può definire non significativa nei confronti degli organismi utilizzati nei saggi; ciò si può affermare anche per quanto riguarda i test effettuati con *T. fulvus* su metabasalti e serpentiniti "tal quale", ove, dopo 10 giorni di esposizione, si può notare una variazione di mortalità intorno al 10% che tuttavia è ritenuta poco rilevante per i crostacei (Bigongiari et al, 2001).

M. galloprovincialis ha mostrato di bioaccumulare, se pur moderatamente, cromo e nichel quando esposto ai metabasalti, e cromo nelle prove di esposizione alle calcescisti; i *policheti* hanno mostrato di accumulare soprattutto rame ed arsenico quando esposti a metabasalti, calcescisti e serpentiniti.

L'analisi dei biomarker ha evidenziato che per nessun campione è stato osservato un effetto significativo sulla stabilità delle membrane lisosomiali; tutti e tre i campioni mostrano effetti genotossici con gli elutriati non diluiti (100%) mentre con quelli diluiti l'effetto è risultato non significativo.

E' opportuno ricordare che i dati ottenuti dall'analisi di biomarkers a livello cellulare e subcellulare rappresentano la misura di risposte biologiche precoci ed estremamente sensibili a sostanze eventualmente presenti nei campioni a concentrazioni che non provocano mortalità degli organismi e quindi sub-letali. Dalle analisi effettuate è risultato evidente che, in condizioni ambientali naturali, il possibile impatto biologico del rilascio di elementi potenzialmente tossici da parte di rocce di scavo su invertebrati marini, quali il mitilo, appare irrilevante.

11 COMMENTO CONCLUSIVO DI ANALISI AI DATI SPERIMENTALI

Le indagini esposte nella presente relazione, con il supporto degli studi specialistici e delle note tecniche, hanno fornito un quadro ambientale molto preciso sullo stato qualitativo delle diverse geomatrici che saranno interessate dal progetto del nodo autostradale di Genova. Partendo dai dati bibliografici e dalla letteratura scientifica, si sono affrontati alcuni temi che comportano una certa criticità di trattamento, su tutti il contenuto in minerali asbestosi e metalli pesanti presenti nella litologia delle brecce serpentinitiche e delle lherzoliti serpentinitiche, nella parte occidentale del tracciato, tra le località di Bolzaneto e Vesima.

La completezza dello studio è data inoltre dall'aver fornito interessanti indicazioni sulle tipologie chimiche degli acquiferi interferiti, sulle caratteristiche dei sedimenti marini e sulla presenza allo stato attuale di fibre d'amianto disperse in aria nell'ambito urbano.

Uno degli obiettivi di questa relazione è di aver sottolineato che il tenore anomalo in concentrazioni di alcuni parametri chimici, considerati fondo naturale nel "sistema terrestre" (tipologia delle rocce e qualità degli acquiferi), comporti particolari influenze sulle matrici ambientali sia in mare che in atmosfera.

Questa considerazione può apparire scontata, ma dovendo nell'ambito del progetto definire tutte le criticità e determinare tutte le loro potenziali cause ed origini, l'aver individuato, ad esempio, che il sedimento marino, per sua caratteristica geochimica, sia del tutto confrontabile con le caratteristiche litologiche dei bacini imbriferi dei corsi d'acqua, che sfociano nell'area di studio per l'effetto dell'arricchimento naturale del sedimento stesso, al di là delle contaminazioni antropiche rilevate e usuali nell'ambito portuale, è una fondamentale indicazione per le operazioni previste nella realizzazione dell'opera a mare.

In relazione di queste considerazioni, anche il criterio d'indagine proposto sulle fibre di amianto aerodisperse ha fornito alcune importanti indicazioni. Quest'ultime dovranno essere soggette ad ulteriori verifiche e valutazioni nel corso di campagne in ante operam condotte sulle diverse stagionalità, ma intanto questa prima campagna, qui descritta, ha permesso di comprendere che alcune potenziali criticità sono legate alla conformazione delle valli, all'effetto del vento, alla presenza di cave e relativo transito di mezzi pesanti ed in generale alla condizioni climatiche ed alle superfici degli affioramenti presenti. In tal modo, così come ipotizzato, sono state date indicazioni su quali aspetti tenere presente nella valutazione del movimento aereodisperso delle fibre a seconda dei casi, dei siti e delle diverse operazioni in cantiere (ad es. scavi all'aperto, fondovalle, versanti, ecc.) già individuate nelle Linee Guida di gestione dello smarino (APG0004).

Dal piano di rilevazioni a campione del contenuto in aria di fibre di amianto, in alcune zone si è accertato una presenza superiore al limite di 2 ff/l come media giornaliera, CSC individuata nello studio eseguito dal gruppo Scansetti (APG0004) quale limite di presenza di fibre di amianto oltre cui si originano delle azioni di contenimento della salute pubblica e di quelle dei lavoratori (livello di riferimento di inquinamento in atto all'interno degli edifici e in aree interne di lavoro è pari a 2 f/l riferito alla media di 3 campionamenti, DM SANITA'6.9.94 allegato p. 2c). Nel caso in cui il contenuto "naturale" delle fibre superi tale limite e venga confermato in sede dei successivi rilievi in ante operam, è proponibile in tema di concentrazioni soglia contaminazione, che il nuovo dato medio di concentrazione rilevato possa essere assunto quale CSC che regoli i meccanismi di attivazione di provvedimenti previsti dal protocollo sia per i lavoratori addetti che per le popolazioni esposte.

I livelli di attenzione e di allarme sono riferiti a quelli individuati dalle "Linee guida per la gestione del rischio amianto negli scavi all'aperto e in galleria". Il "limite di attenzione" è dato dalla tendenza alla crescita del numero di fibre riferita al valore di zero (valore di riferimento, nel caso 20 fibre/litro, MOCF, o 2 ff/l, SEM, o valore di fondo naturale) assunto per l'area e desunto dalle misure in ante operam. I "limiti di allarme" esterno al cantiere (50 fibre/litro) sono individuati dalla normativa DM SANITA'6.9.94 allegato p. 5a/11 e allegato p. 6b.

L'interesse particolare poi viene nel mettere insieme questo tipo di informazioni, ricavato ad esempio dall'analisi in atmosfera, collegato alle superfici di serpentiniti in affioramento, con il complesso studio di ricerca ed approfondimento effettuato sui terreni ed in genere sui materiali interessati dagli scavi, così come già individuato per i sedimenti marini con le correlazioni dirette ricavate dalle indagini a terra.

La parte di tracciato in sinistra Polcevera, tra le aree di Genova Ovest, Rivarolo, Genova Est e Bolzaneto, non presenta particolari criticità da un punto di vista ambientale sia per le caratteristiche dei terreni attraversati sia per la qualità degli acquiferi in relazione alle tipologie di scavo tradizionale previste.

Fermo restando quanto approfondito nelle relazioni specialistiche di contenuto ambientale, citate e riferite nel testo, la trattazione sui materiali di scavo della parte occidentale è ritenuta più complessa e delicata, per tre motivi semplici: il tenore elementale in alcuni metalli pesanti e la presenza di minerali asbestiferi potenzialmente al di sopra dei limiti di legge; la verifica del comportamento chimico dei materiali per l'eventuale uso di prodotti condizionanti; la verifica del comportamento ambientale per effetto dell'interazione con l'acqua di mare.

Il criterio di studio e di approfondimento è stato sviluppato partendo dall'esperienza pregressa di SPEA su ricerche analoghe eseguite, dalle conoscenze in letteratura scientifica e confermate dalle

indagine ambientali, dalle informazioni di carattere geologico e geotecnico, e dallo scambio di dati ed indicazioni con il procedere delle attività eseguite nel laboratorio del Politecnico di Torino e con il CESISP dell'Università di Genova.

Per quanto non previsto da nessuna normativa, parte dello studio è stato sviluppato esaminando i comportamenti dei materiali durante l'interazione con l'acqua di mare, il cui utilizzo è previsto nel trasporto dello smarino in slurrydotto e la cui presenza è ordinaria nel deposito del canale di calma. Il test di cessione pertanto è stato inteso non per la sua definizione di mezzo per l'identificazione di un rifiuto, ma come strumento per la determinazione delle caratteristiche del prodotto finale e per la verifica del suo valore ambientale, al fine di considerarlo come sottoprodotto e riutilizzarlo nelle opere a progetto.

Si sottolinea che le analisi di caratterizzazione e cessione chimica descritte, come già quelle geomeccaniche, possono aver risentito dei fattori di scala ed operativi ridotti utilizzati in studio rispetto a quelli da considerarsi nella situazione reale di utilizzo della fresa EPB o HDS (tempo e temperatura durante le operazioni di scavo), influenzando anche per esempio la velocità di reazione chimica.

Questo vale anche in relazione al fatto che i terreni naturali variano lungo il tracciato ed è quindi possibile, come già indicato, che il condizionamento o l'aggiunta di bentonite debbano essere adattate alle condizioni di comportamento che via via si incontreranno nella realtà per fornire un comportamento plastico adatto. Le variazioni delle percentuali di acqua e di prodotti aggiunti al materiale saranno ulteriori fattori determinanti nella chimica dei materiali stessi. Si ritiene comunque che il criterio ed il processo analitico adottato sia rappresentativo del comportamento chimico delle principali formazioni che si incontreranno. C'è tuttavia da rilevare che le analisi qui presentate sono influenzate all'origine dal tipo di prelievo effettuato e dalle modalità di campionamento (in tal senso, si è fatto rilevare gli anomali contenuti in Nichel riconducibili all'interferenza del materiale con le aste di perforazione utilizzate durante le attività di sondaggio). Il valore poi estremamente puntuale di un campione è influenzato e amplificato non poco dalle condizioni di campionamento, dalla profondità del campionamento, dalle condizioni esterne e meteorologiche nella fase di conservazione, preparazione e addizionamento. Infatti le analisi chimiche sono definite estremamente sensibili alle condizioni di campionamento, conservazione e preparazione, e perciò possono talvolta essere di relativa rilevanza qualitativa. Ciò non toglie che il criterio adottato, e già utilizzato da SPEA in analoghe verifiche, sia comunque da ritenersi utile ed affidabile e comunque adatto a dare alcune specifiche indicazioni.

Si afferma infine una condizione di principio chimico: la solubilizzazione di sali metallici in acque di mare è sfavorita dall'elevata salinità delle acque stesse che tendono ad alterare gli equilibri dettati dal prodotto di solubilità.

Le prove eseguite rappresentano un metodo efficace e corretto per individuare i parametri di eventuale criticità ambientale in fase operativa: durante le fasi esecutive di scavo verranno applicate le metodiche di analisi di caratterizzazione, in relazione a quanto indicato a livello normativo con il D. Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. In questo senso il discorso del contenuto anomalo in metalli pesanti e minerali di amianto, la cui origine è da ricercarsi nel significato di fondo naturale, è rimandato alla descrizione delle indagini, prendendo qui in esame il dato oggettivo dei tenori elementali superiori ai limiti di legge che determineranno eventualmente la gestione particolare del materiale.

In relazione a ciò, risulta importante l'introduzione nel presente progetto dei 3 codici identificativi (verde, giallo e rosso) definiti a seconda del risultato delle prove di laboratorio e della caratterizzazione ambientale delle terre, descritti nella Relazione Generale, APG0002, e nelle linee guida per la gestione dello smarino, APG0004. Pur definendoli come una novità nella normale gestione delle terre originatesi dagli scavi, sono comunque riferibili a livello normativo in virtù del loro riutilizzo dall'art. 184 bis del D. Lgs. 152/2006 smi, concetto di sottoprodotto, e dall'applicazione del D.M. 161/2012, con la presentazione del Piano di Utilizzo delle terre da scavo (APG0010). Il punto di interesse rimane quello della condizione del riutilizzo riferita alle concentrazione soglia di contaminazione stabilite dalla tabella 1 colonna A e B dell'allegato 5 alla parte IV del 152/2006.

E' opportuno sottolineare come lo scopo delle normative sia quello di ridurre il quantitativo di rifiuti da inviare a discarica, favorendo il riutilizzo salvo naturalmente il principio della salute della collettività e della conservazione dell'ambiente.

Su questo ed altri aspetti relativi alla risoluzione delle criticità ambientale in funzione delle scelte individuate per la gestione dello smarino si rimanda alla relazione di progetto APG0002 e alle linee guida per gli scavi APG0004, ma soprattutto al documento tecnico-normativo di inquadramento delle criticità (APG0005).

Gli altri 2 elementi di fondamentale importanza rilevati dall'indagine e dallo studio eseguito sono che la maggior parte del materiale proveniente dallo scavo meccanizzato, sottoposto ad analisi con aggiunta di bentonite naturale, in caso di HDS, o di prodotto condizionante, in caso di EPB, non presenta problemi di comportamento chimico, e in relazione all'interazione tra matrici solide e liquidi, problemi di compatibilità ambientale.

Il criterio di indagine, presentato nella relazione, ha permesso infatti di verificare che i tenori in eluato rilevati dalle prove del test di cessione evidenziano valori al di sotto dei limiti di concentrazione per tutti i parametri individuati nella tabella di riferimento della normativa (D.M. 186/2006). I risultati analitici ottenuti hanno messo in evidenza che tendenzialmente la concentrazione degli analiti inorganici è contenuta in un limitato range di valori al di sotto dei limiti di legge. Il comportamento in eluato dei metalli pesanti, ad esempio, non pare influenzato dal tipo di soluzione con cui lisciviano (deionizzata o marina) né da condizionamento con schiumogeno nè tantomeno da addizionamento con bentonite.

Bisogna per la verità sottolineare che, a parte lo smarino proveniente dalle brecce serpentinitiche e dalle lherzoliti serpentinizzate, per cui si dovrà rimandare alle verifiche analitiche in corso d'opera per le valutazioni necessarie, la quasi totalità dei volumi di scavo riferiti al resto delle litologie interessate non presenta criticità dovute alla caratterizzazione ambientale, riferendosi ai limiti di legge relativi all'uso industriale delle terre.

Si ritiene infine che il grado di conoscenza raggiunto del territorio interessato dal progetto, grazie anche alla raccolta di dati bibliografici e scientifici ed agli studi specialistici effettuati, sia più che sufficiente per definire un livello qualititativo e caratteristico dei materiali interessati dagli scavi previsti.

In fase di corso d'opera, così come previsto dal Piano di Utilizzo delle terre da scavo (APG0010), in riferimento alle normative nazionale, D. Lgs. 152/2006 e D.M. 161/2012, e regionale, D.G.R. Liguria 1423/2013, a controllo e a conferma di quanto individuato, sarà comunque previsto la caratterizzazione del materiale di scavo, sia in azione preventiva, ove non sia possibile effettuare le operazioni a cumulo per ragioni di spazio, sia in virtù di un processo innovativo, che prevede in luogo della caratterizzazione dei cumuli, l'analisi chimica da prelievi eseguiti in silos di stoccaggio. Questo tipo di soluzione, come detto innovativo, è stata progettata per questo procedimento e per mitigare il più possibile le criticità rilevate, legate soprattutto alla presenza di fibre amiantifere, mantenendo così il materiale non a contatto con l'atmosfera.

In riferimento a questo aspetto di interazione con l'aria, le prove sperimentali eseguite, per simulare gli effetti delle operazioni di sversamento nel deposito definitivo dell'opera a mare, hanno dimostrato l'assenza di dispersione di fibre, sia nel caso favorevole con diffusore al di sotto del livello di superficie marina sia anche nel caso particolarmente sfavorevole con sversamento al di fuori della superficie libera, per cui gli effetti di aerosol non risultano essere dominanti sulla portata di trasporto dello smarino.

ALLEGATO 1

Relazione sul condizionamento dei terreni

POLITECNICO DI TORINO

TUSC –Centro di Ricerca e Laboratorio per le Gallerie e lo Spazio Sotterraneo

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie

Contratto di Ricerca tra DITAG – Politecnico di Torino e SPEA Ingegneria Europea S.p.A.

Prove di condizionamento del terreno delle gallerie naturali inserite nei lavori di realizzazione del progetto "Gronda di Genova" per l'applicazione dello scavo meccanizzato di gallerie con tecnologia EPB

RAPPORTO FINALE

Responsabile scientifico:
Prof. Ing. Daniele Peila

Gruppo di lavoro:

Prof. Ing. Daniele Peila

Ing. Andrea Picchio

Aprile 2011

Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG)
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino, Italia

INDICE

1. Premessa 4
2. Caratteristiche del terreno indagato 5
2.1 Formazione dei calcescisti (CLS) 5
2.2 Formazione degli argilloscisti (AGS) 5
2.3 Formazione delle serpentiniti (SRP) 6
2.3.1. Commento alle caratteristiche tecniche delle serpentiniti nell'ottica del condizionamento 6
2.4 Materiale utilizzato ai fini delle prove 7
3. Prove per lo studio del condizionamento a mezzo di schiume. 9
3.1 Generatore di schiuma adottato 9
3.2 Parametri di caratterizzazione della schiuma 10
3.3 Prova per la determinazione del tasso di espansione (Foam Expansion Ratio – FER) 11
3.4 Caratterizzazione dell'agente schiumogeno utilizzato mediante determinazione del tempo di semivita della schiuma (t_{50}) 11
4. Prove di slump per lo studio del condizionamento a mezzo di schiume 13
4.1 Test di caratterizzazione del materiale condizionato 13
4.2 Caratterizzazione del terreno condizionato con schiuma impostato secondo la procedura definita nel laboratorio TUSC 14
4.3 Prove di slump 15
4.3.1. Prove di slump effettuate sulla formazione dei calcescisti 15
4.3.2. Conclusioni sulle prove di slump realizzate sulla formazione dei calcescisti. 19
4.3.3. Prove di slump effettuate sulla formazione degli argilloscisti 20
4.3.4. Conclusioni sulle prove di slump realizzate sugli argilloscisti. 24
5. Prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione 26
5.1. Caratteristiche dell'apparato sperimentale di estrazione mediante coclea 26
5.2. Prove di taratura dell'apparato sperimentale di estrazione 41
5.2.1. Pressioni all'interno della camera 42
5.2.2. Coppia della coclea 43
5.2.3. Spostamento del piattello di carico 44
5.2.4. Peso del materiale estratto 45
5.2.5. Pressioni lungo coclea 46
5.2.6. Conclusioni sulle prove di verifica 47
5.3. Prove di estrazione controllata sulla formazione dei Calcescisti 48

5.3.1 Parametri di condizionamento utilizzati per le prove di estrazione sulla formazione dei calcescisti (CLS). 48
5.3.2 Prova CLS-A 48
5.3.3 Commenti finali della prima prova di estrazione (CLS-A) effettuata sulla formazione dei calcescisti. 55
5.3.4 Prova CLS-B 58
5.3.5 Commenti alla seconda prova di estrazione (CLS-B) effettuata sull formazione dei calcescisti. 63
6. Conclusioni 64
7. Bibliografia 65
ALLEGATO 1 67

1. Premessa

La presente relazione è stata sviluppata sulla base del contratto di ricerca tra SPEA Ingegneria Europea S.p.A. e il Politecnico di Torino, coordinato dal Prof. Daniele Peila e al quale ha collaborato l'Ing. Andrea Picchio.

Le prove di laboratorio eseguite hanno seguito un procedura ampiamente consolidata e verificata dagli scriventi per numerose gallerie scavate o in fase di scavo con la tecnologia EPB, nonché dalle ricerche sviluppate da due tesi di dottorato e da numerose tesi di laurea presso il Politecnico di Torino negli ultimi 10 anni.

Si è eseguita una campagna di prove per differenti livelli di condizionamento per mezzo di schiume e contenuto d'acqua mediante prove di slump che sono, nella letteratura tecnica, riconosciute come una metodologia adeguata ad una valutazione preliminare della fattibilità del condizionamento dei terreni nel caso di materiali granulari e rocce fratturate.

Successivamente la litologia prevalente (formazione dei calcescisti) è stata sottoposta a due prove di estrazione controlla da camera in pressione mediante attrezzatura di estrazione con coclea sviluppata dal laboratorio Centro di Ricerca e Laboratorio per le Gallerie e lo Spazio Sotterraneo (TUSC) del Politecnico di Torino.

Queste prove consentono di verificare la capacità del terreno di applicare pressione nonché di riempire adeguatamente la coclea come richiesto per la corretta applicazione della tecnologia EPB. Ovviamente si tratta di prove a scala e pressioni ridotte rispetto alla situazione reale della macchina e quindi risentono necessariamente dei fattori di scala ed operativi (tempo e temperatura in camera di scavo) ma sono uno strumento efficace per indicare parametri e livelli di condizionamento di riferimento, che però devono sempre essere confermati durante le fasi operative della macchina mediante i sistemi di controllo di cui queste dispongono. Questo fatto è anche importante in relazione al fatto che i terreni naturali variano lungo il tracciato ed è quindi sempre inevitabile adattare il condizionamento alle condizioni che via via si incontrano nella realtà. Si ritiene comunque il campione di materiale utilizzato rappresentativo del comportamento della principale formazione che si incontrerà.

Si deve infine ricordare che le informazioni relative alla granulometria attesa del marino (la quale come ben noto influenza il condizionamento) sono derivate da informazioni bibliografiche fornite da alcuni casi reali che quindi, per quanto attendibili, potrebbero discostarsi rispetto a quello che sarà riscontrato durante lo scavo.

I parametri che sono così definiti sono quindi da intendersi come un solido dato di partenza che consente di definire innanzitutto la fattibilità del condizionamento, indicando altresì i valori nell'intorno dei quali si dovrebbero ragionevolmente attestare i quantitativi di condizionante utilizzato, fatto salvo l'adattamento degli stessi in ragione di fattori di temperatura nella camera di scavo e di tempistiche operative.

2. Caratteristiche del terreno indagato

I terreni studiati sono rappresentativi di due delle prevalenti formazioni geologiche che le gallerie in progetto attraverseranno e sono rispettivamente la formazione dei calcescisti e la formazione degli argilloscisti.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica delle caratteristiche di entrambe le formazioni geologiche come trasmesso dai tecnici SPEA al Politecnico di Torino.

2.1 Formazione dei calcescisti (CLS)

I materiali raggruppati nella denominazione "calcescisti", sono appartenenti alle unità tettonometamorfiche Voltri e Palmano – Caffarella.

Con il termine calcescisti si indicano metasedimenti di varia composizione, in particolare si riconosce una alternanza di calcescisti carbonatici e di scisti quarzoso micacei.

I calcescisti carbonatici appaiono di colore da marrone (superficie debolmente alterata) a grigio (frattura fresca), mentre se sono più profondamente alterati assumono colorazioni rossastre.

Gli scisti quarzoso micacei, invece, assumono delle tonalità più scure, con colorazioni solitamente da grigie chiare a grigie scure in frattura fresca; sono rocce che spesso si alterano, assumendo tonalità arancione - ocra e si disgregano fino a generare spesse coltri di disfacimento.

Poiché si assume che il comportamento meccanico dei materiali e la risposta alla frantumazione ed all'azione degli utensili a disco di una macchina di scavo a piena sezione, sia praticamente costante al variare delle caratteristiche della litologia oggetto dello studio, il campione da sottoporre a prova si considera rappresentativo per le diverse formazioni dei calcescisti attraversate dal tracciato in progetto.

2.2 Formazione degli argilloscisti (AGS)

I materiali raggruppati nella denominazione "argilloscisti", sono materiali appartenenti a differenti formazioni geologiche, di seguito descritte.

Il materiale che è stato sottoposto alle prove di condizionamento, nel seguito descritto come "argilloscisti", è un materiale campione prelevato mediante perforazione a carotaggio. Poiché si assume che il comportamento meccanico e la risposta alla frantumazione ed all'azione degli utensili a disco di una macchina di scavo a piena sezione, sia costante al variare delle caratteristiche della litologia oggetto dello studio, il campione da sottoporre a prova si considera rappresentativo per le diverse formazioni di argilloscisti attraversate dal tracciato in progetto.

Argilloscisti di Costagiutta: alternanze di argilloscisti e di calcari cristallini, metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici. Con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi, più frequenti alla base della sequenza.

Argilloscisti di Murta: alternanza di argilloscisti filladici grigio scuro e grigio argenteo, a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei di spessore centimetrico (1-2 cm), di metasiltiti e metaareniti fini di colore grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati hanno generalmente spessore

da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 centimetri di argilliti e metasiltiti. Possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro.

Argillite di montoggio: argilloscisti da grigio argenteo a grigio nerastro, privi di carbonati, in strati da centimetrici a decimetrici, con intercalazioni di arenarie fini e arenarie fini calcaree torbiditiche, in strati planari da centimetrici a decimetrici, talora debolmente rinsaldati; al tetto sono dominanti orizzonti di argilliti policrome laminate.

2.3 Formazione delle serpentiniti (SRP)

Serpentiniti e serpentinoscisti derivanti dal materiale peridotitico del mantello superiore. Talvolta mantengono relitti di tessitura lherzolitica originaria. Si presentano di colore verde, da chiaro a scuro, in frattura fresca; quando alterate, invece, assumono colorazioni più arancioni-rossicce, talvolta marroni. In affioramento si presentano con caratteristiche tessiturali e strutturali estremamente varie quindi, ai fini della caratterizzazione geomeccanica di tale unità, si è deciso di distinguere, mediante soprassegni, le porzioni a differente tessitura.

Serpentiniti a tessitura massiccia: presentano una aspetto generalmente compatto, le

foliazioni sono presenti ma prevale la componente massiva passano gradualmente a serpentiniti a tessitura foliata (che rappresentano il tipo più diffuso), caratterizzato da clivaggi ben espressi, nei quali si riconoscono diverse generazioni di deformazioni. Queste prime due tessiture sono accomunate da elevata coesione del materiale roccia e conseguentemente dalla loro elevata resistenza.

Le Serpentiniti brecciate sono presenti in Val Branega, si tratta di brecce a clasti serpentinitici eterometrici con matrice solitamente ben cementata.

Le Serpentiniti cataclasate sono state distinte nel settore più prossimo alla linea Sestri - Voltaggio e sono caratterizzate da un intenso grado di fratturazione e fissilità in campo fragile che da luogo a superfici di disgiunzione lisce, spesso con superfici di aspetto vetrificato.

All'interno di tale tipologia sono riconoscibili porzioni di dimensioni da metriche a decametriche di serpentiniti più massicce che talora, in mancanza di affioramenti significativi, sono gli unici elementi morfologicamente evidenti.

2.3.1. Commento alle caratteristiche tecniche delle serpentiniti nell'ottica del condizionamento

L'analisi delle caratteristiche meccaniche e tecniche delle serpentiniti, derivate dalle prove di laboratorio, nonchè il comportamento del materiale roccioso disgregato da utensili a disco fa ipotizzare che, realisticamente, la risposta all'azione dell'utensile di scavo e quindi al condizionamento dei calcescisti e delle serpentiniti sia da ritenersi analogo. Questo fatto consente di estendere alle serpentiniti i risultati in termini di condizionamento ottenuti sui calcescisti.

Conseguentemente, ai fini delle analisi chimiche, i dosaggi di prova degli agenti condizionanti saranno da ritenere analoghi.

2.4 Materiale utilizzato ai fini delle prove

Per entrambe le litologie oggetto dello studio, il materiale è stato prelevato dal deposito presente lungo il tracciato dell'autostrada A26, in prossimità della galleria "Turchino", al km 10+092 circa. Il materiale è stato prelevato in forma di carote di sondaggio, risultanti dalla campagna di sondaggi ed indagini geognostiche realizzata a suo tempo per la redazione delle relazioni geologica, geomeccanica ed idrogeologica relativa al progetto "Gronda di ponente".

Questi elementi sono stati ridotti di dimensione mediante frantumazione (manuale o con frantoio a mascelle) fino ad ottenere un contenuto di fine (< 1mm) dell'ordine del 12-15% (grafici 2.1 e 2.2).

La curva granulometrica utilizzata rappresenta quella che potrà essere la "matrice" di roccia demolita dagli utensili (dischi) della testa di scavo. Il contenuto di fine ottenuto mediante frantumazione è stato ritenuto, in questa prima fase della ricerca, come rappresentativo delle caratteristiche del terreno che sarà abbattuto dalla macchina. Le curve granulometriche dei campioni dopo la frantumazione sono quelle riportate nei grafici 2.1 e 2.2 mentre il contenuto d'acqua delle rocce recapitate al laboratorio è praticamente nullo per entrambe le formazioni.



Figura 2.1 – Aspetto visivo della formazione dei calcescisti prima della frantumazione (sinistra) e dopo (destra)

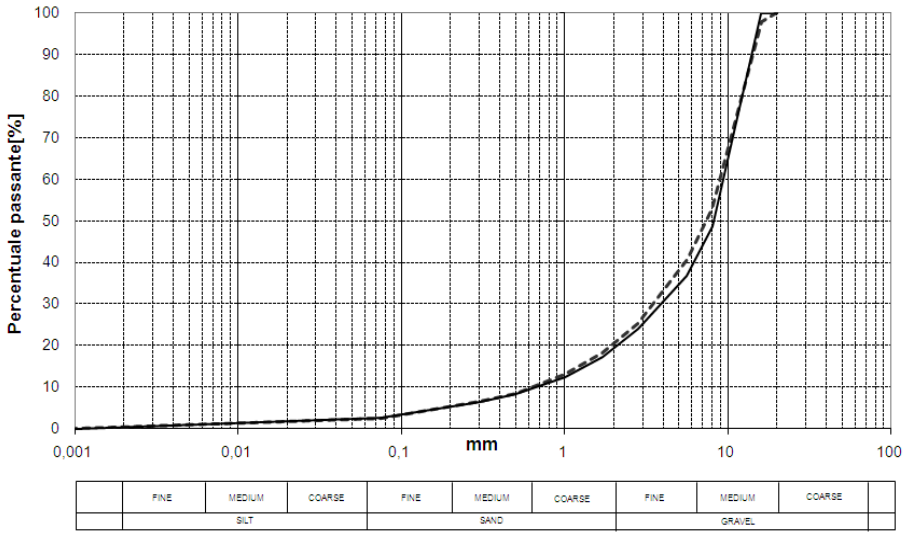


Grafico 2.1 – Curve granulometriche della formazione dei calcescisti dopo la frantumazione.



Figura 2.2 – Aspetto visivo della formazione degli argilloscisti prima della frantumazione (sinistra) e dopo (destra)

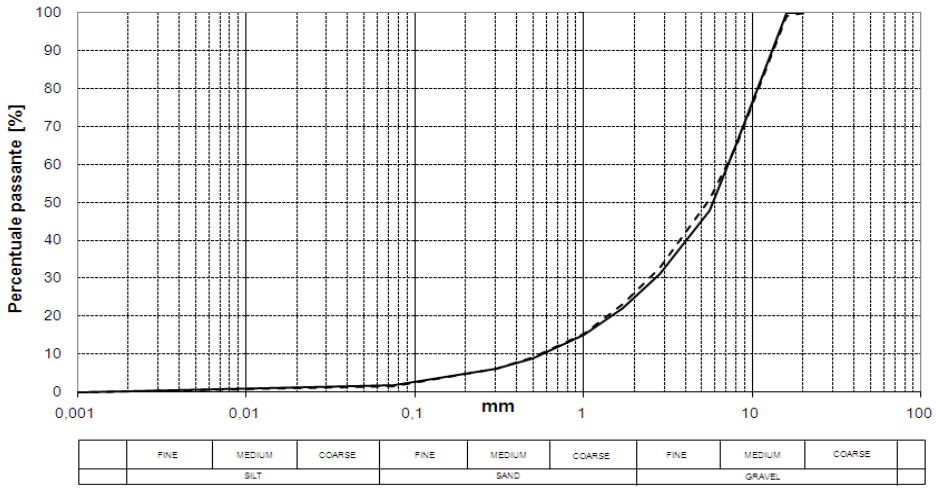


Grafico 2.2 – Curve granulometriche della formazione degli argilloscisti dopo la frantumazione.

3. Prove per lo studio del condizionamento a mezzo di schiume.

3.1 Generatore di schiuma adottato

Il generatore di schiuma utilizzato presso Centro di Ricerca e Laboratorio per le Gallerie e lo Spazio Sotterraneo (TUSC) del DITAG è di tipo industriale, fornito dalla SPOILMASTER LIMITED, Berwick-upon-Tweed (UK).
Il sistema permette il controllo della portata di acqua (portata massima di 15 l/min) e della portata di aria (portata massima di 150 n.l/min), nonché un controllo elettronico del dosaggio dell'agente schiumogeno. Una volta impostati i parametri di funzionamento, a meno di oscillazioni modeste, è possibile ottenere campioni regolari di schiuma con tasso di espansione definito a priori. I parametri di controllo visualizzati dall'unità di generazione di schiuma sono, oltre le portate di acqua, di additivo e di aria, le pressioni dell'aria in entrata, a seguito della regolazione e all'uscita, la pressione dell'acqua in uscita e la pressione del flusso, in ingresso e in uscita, all'interno del corpo poroso di generazione di schiuma.



Figura 3.1 - Generatore di schiuma utilizzato presso il laboratorio TUSC del DITAG. Unità di generazione di schiuma (sinistra). Pannello di controllo dei parametri di generazione schiuma (destra).

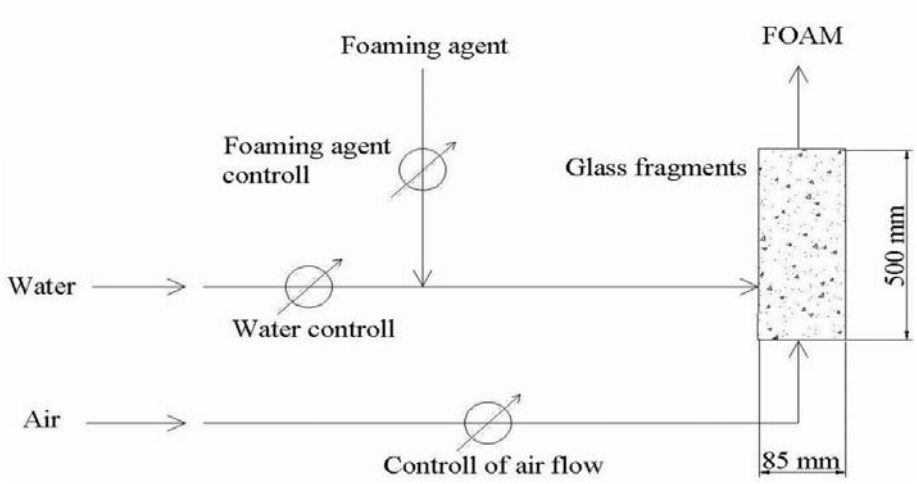


Figura 3.2 – Schema logico di generazione della schiuma.

3.2 Parametri di caratterizzazione della schiuma

Le caratteristiche principali che descrivono le schiume utilizzate nell'ambito del condizionamento del terreno per scavo con EPB sono:

1) **Concentrazione dell'agente schiumogeno (c):** percentuale di sostanza schiumogena presente nel liquido generatore di schiuma, formato da acqua e sostanza schiumogena stessa. Il range usuale per questo parametro è 0,5 – 5%. La scelta del valore da utilizzare in fase di generazione della schiuma dipende soprattutto dalle caratteristiche dell'agente schiumogeno stesso e da fattori tecnologici di applicazione (tipologia e caratteristiche del generatore di schiuma, chimismo dell'acqua utilizzata, ecc.), pertanto si suggerisce che il valore di progetto venga definito in sede operativa.
   Nelle prove si è utilizzato sia il valore del 2% sia quello del 2,5%, idoneo per i condizionanti utilizzati nella ricerca, definiti e scelti sulla base delle esperienze del Politecnico di Torino, dai tecnici SPEA sotto la supervisione dei tecnici dei produttori degli agenti schiumogeni.
2) **Tasso di espansione (Foam Expansion Ratio – FER):** rapporto tra il volume finale raggiunto dalla schiuma e il volume iniziale di liquido generatore utilizzato. Per tale parametro si considera usualmente un range "bagnato" (dalla dizione anglosassone "wet") pari a circa 8 – 10, e un range "asciutto" ("dry"), nell'ordine 14 – 20.
3) **Tasso di iniezione del terreno (Foam Injection Ratio - FIR):** rapporto tra il volume di schiuma immesso per condizionare il terreno e il volume del terreno stesso.
4) **Tempo di semivita della schiuma (t_{50}):** tempo necessario alla schiuma per drenare il 50% del liquido generatore utilizzato (EFNARC, 2005) Si ricorda però che la stabilità della schiuma quando miscelata con il terreno è di gran lunga superiore rispetto al valore ottenuto con la procedura di calcolo del tempo di semivita. Tale prova quindi ha funzione comparativa tra diversi agenti schiumogeni e diversi tassi di espansione.

L'agente schiumogeno utilizzato nel corso della ricerca è stato fornito dal produttore.
Dalle specifiche tecniche fornite dal produttore per quel che riguarda la concentrazione dell'agente schiumogeno risulta consigliato l'intervallo 2 - 4%. Nelle prove la concentrazione dell'agente schiumogeno è stata del 2%.
Non essendo note in maniera univoca le condizioni di umidità del materiale abbattuto da condizionare, le prove di slump sono state eseguite con tassi di espansione (FER) variabili, con valori compresi tra 10 e 15, aggiungendo ai diversi materiali una quantità d'acqua, oltre quella naturale, compresa tra lo 0% e il 10% per entrambi i materiali sottoposti a prova.

3.3 Prova per la determinazione del tasso di espansione (Foam Expansion Ratio – FER)

Procedura per la determinazione:

1) il generatore viene impostato ad una certa portata di liquido;
2) viene aggiunto il flusso d'aria ad una certa pressione e portata;
3) dopo qualche minuto di produzione di schiuma viene prelevato un campione con un contenitore di volume e peso noti;
4) il campione viene pesato e il valore viene registrato;
5) il FER è calcolato come

$$FER = \frac{V_{contenitore}}{P_{totale} - P_{contenitore}}$$

3.4 Caratterizzazione dell'agente schiumogeno utilizzato mediante determinazione del tempo di semivita della schiuma (t_{50})

Procedura per la determinazione:

1) viene prelevato un campione come secondo i punti (1), (2) e (3) della procedura per la determinazione del FER, avendo cura di utilizzare un contenitore che presenti la possibilità di spillare liquido in maniera controllata dal fondo;
2) viene determinato il volume del liquido generatore ottenuto come differenza tra il peso del campione e il peso del contenitore vuoto;
3) attraverso l'utilizzo di un cronometro vengono registrati i tempi via via impiegati dal liquido che drena dal contenitore per cadere in un cilindro graduato a intervalli di volume scelti;
4) viene costruito il grafico del tempo di drenaggio del liquido riferito alla percentuale di volume drenato;
5) viene determinato graficamente il tempo richiesto per drenare il 50% del liquido generatore iniziale.

Di seguito viene riportato il risultato dei test di semivita effettuati sull'agente schiumogeno utilizzato.

Tabella 3.1 – Tempo di semivita ottenuto per la schiuma utilizzata a differenti valori di FER.

	FER			
	≈7	**≈10**	**≈13**	**≈17**
Agente schiumogeno A	124s	143s	225s	340s

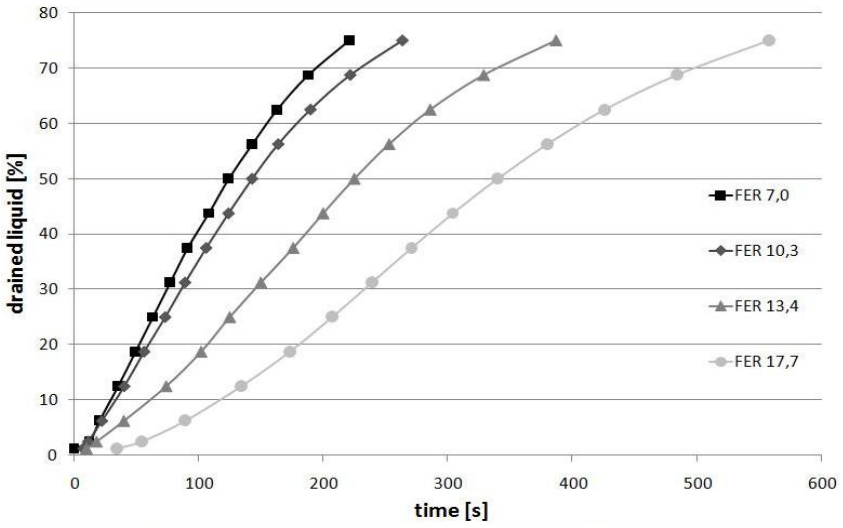


Grafico 3.1 - Tempo di semivita dell'agente schiumogeno A con concentrazione 2%.

4. Prove di slump per lo studio del condizionamento a mezzo di schiume

4.1 Test di caratterizzazione del materiale condizionato

Sulla base delle numerose esperienze sviluppate presso il laboratorio TUSC con l'esecuzione di specifiche ricerche finalizzate alla definizione di un protocollo di prova del materiale condizionato e sulla base di indicazioni di letteratura anche in assenza di specifiche normative sui test da eseguire per la caratterizzazione del materiale condizionato, ovvero il mix di materiale frantumato additivato con l'agente schiumogeno, fatte salve alcune raccomandazioni dell'EFNARC ("Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanized Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock", 2005), le quali indicano le prove riguardo la caratterizzazione della schiuma, il tempo di drenaggio della schiuma quando miscelata con il terreno e un certo grado di plasticità finale del materiale riferibile al comportamento dello stesso sulla tavola vibrante. Nel presente studio è stata utilizzata la procedura messa a punto presso il TUSC che utilizza il cono di Abrams per le prove di slump sui calcestruzzi proiettati.
Per l'interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove di slump è stata usata la tabella interpretativa proposta qui di seguito, già utilizzata in numerosi lavori e pubblicazioni del Politecnico di Torino e determinata anche sulla base delle esperienze riportate in letteratura tecnica, dove il valore di slump accettabile per un buon condizionamento cade tra i 12 e i 20 cm.

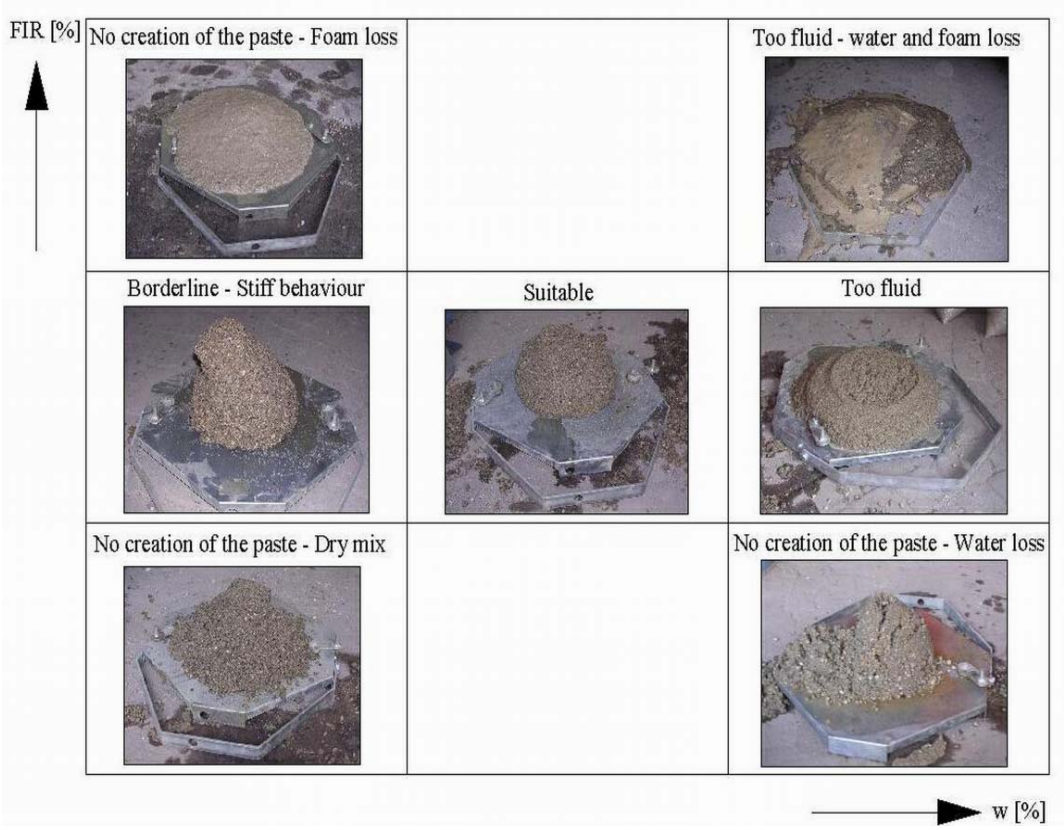


Figura 4.1 – Tabella comparativa per la definizione del comportamento del terreno condizionato utilizzando le prove di slump.

In dettaglio nelle prove sono state analizzati i seguenti aspetti tecnici che sono ritenuti essenziali per un buon comportamento dei materiali condizionati per nell'uso di un EPB:

1) la presenza di plasticità che renda idoneo il terreno condizionato alla trasmissione delle pressioni in camera di scavo e lungo la coclea, nonché all'estrazione controllata con la coclea stessa;
2) la presenza di un basso livello di attrito interno del materiale stesso per ridurre sia la potenza della testa di scavo, che deve poter girare immersa nel materiale scavato, sia l'usura delle parti che vengono a contatto con il terreno;
3) la persistenza delle caratteristiche di cui ai punti 1 e 2 nel tempo per permettere manovre di scavo ricorrenti, quali la posa in opera dell'anello di conci del rivestimento, o eccezionali, quali fermi macchina per qualunque motivo, in piena sicurezza relativamente alla stabilità del fronte di scavo.

4.2 Caratterizzazione del terreno condizionato con schiuma impostato secondo la procedura definita nel laboratorio TUSC

Procedura seguita:

1) un quantitativo di materiale naturale pari a 10 kg viene posizionato nel dispositivo di miscelazione ed un campione di materiale è prelevato per la determinazione del contenuto di acqua e per una analisi granulometrica;
2) viene generata la schiuma impostando sull'unità di generazione i parametri necessari per ottenere il tasso di espansione richiesto;
3) viene scelto il tasso di iniezione con il quale vuole essere realizzata la prova;
4) stabilito il tasso di iniezione da testare, viene campionato, pesandolo, il volume necessario di schiuma per ottenere il rapporto di miscelazione voluto e viene aggiunto al materiale naturale nel dispositivo di miscelazione;
5) il materiale ottenuto a seguito della miscelazione viene immesso in un cono di slump standard il quale viene sollevato immediatamente. Viene registrata la misura dell'abbassamento al cono;
6) la procedura viene ripetuta interamente per ogni combinazione di FIR, FER da testare.



Il terreno viene miscelato con l'agente schiumogeno nel mixer



Una volta creato il mix vengono riempiti i coni di slump



Il cono viene sollevato e l'abbassamento allo slump misurato

Figura 4.2 - Fasi della procedura seguita per la campagna di prove di slump.

4.3 Prove di slump

4.3.1. Prove di slump effettuate sulla formazione dei calcescisti

I risultati delle prove di slump nel seguito riportati, si riferiscono ai test effettuati sui calcescisti utilizzando l'agente schiumogeno indicato mentre sono state fatti variare i parametri relativi all'acqua aggiunta, al FER ed al FIR.

Una prima tabella riporta i risultati ottenuti sugli slump effettuati subito dopo il condizionamento del terreno, mentre la seconda riporta le prove di slump realizzate dopo 30' al fine di indagare, in prima istanza, i possibili effetti del tempo sulla stabilità del mix terreno-schiuma.

Il peso specifico del materiale sciolto è di 1,50 kg/dm^3.

Tabella 4.1 - Risultati delle prove di slump sui calcescisti.

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m^3]	FER	FIR	Additivo aggiunto [l/m^3]	Slump	Commenti	Foto
0	0	..	..	..	..	Il materiale risulta del tutto incoerente	
5	75	15	40	0,53	17 cm	Discreta pastosità del materiale condizionato, materiale un po' asciutto	
5	75	15	60	0,8	20 cm	Buona pastosità del materiale condizionato, si nota un eccesso di schiuma	

10	150	15	40	0,53	19 cm	Condizionamento discreto a causa di una eccessiva fluidità del materiale. Si nota un eccesso di acqua e schiuma	
10	150	15	20	0,27	19 cm	Condizionamento discreto a causa di una eccessiva fluidità del materiale.	
5	75	15	50	0,67	18 cm	Buon condizionamento del materiale, si nota un leggero eccesso di schiuma	
0	0	15	60	0,8	16 cm	Materiale non condizionato, carenza di acqua e schiuma.	

0	0	15	80	1,07	17 cm	Discreta pastosità del materiale condizionato, materiale un po' asciutto	
5	75	10	50	1	19 cm	Buon condizionamento del materiale, si nota un eccesso di schiuma	
5	75	10	30	0,6	18 cm	Buon condizionamento del materiale, si nota un leggero eccesso di schiuma	

Tabella 4.2 - Risultati delle prove di slump sui Calcescisti. Test sull'influenza del tempo.

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m^3]	FER	FIR	Additivo aggiunto [l/m^3]	Slump	Commenti	Foto
5	75	15	60	0,8	12 cm	Materiale mantenuto nel cono 30'. Materiale non molto pastoso, bolle grandi e poco resistenti. Caduta del solo materiale esterno	

10	150	15	40	0,53	12 cm	Materiale mantenuto nel cono 30'. Materiale simile a prova precedente, più fluido a causa dell'elevato quantitativo di acqua aggiunta	
10	150	15	20	0,27	20 cm	Materiale mantenuto in cono 30'. Materiale non troppo pastoso e piuttosto asciutto, bolle di grandi dimensioni. Il materiale ha drenato acqua durante il riposo nel cono.	
5	75	15	50	0,67	10 cm	Materiale mantenuto in cono 2 ore. Il materiale non presenta pastosità, ma risulta comunque umido e sono ancora presenti bolle.	
5	75	10	30	0,6	16 cm	Materiale mantenuto in cono 30'. Comportamento ancora pastoso, bolle di grandi dimensioni. Acqua drenata durante il riposo in cono	

5	75	10	50	1	15 cm	Materiale mantenuto in cono 30'. Comportamento ancora pastoso, ma peggiore di prova precedente, bolle di grandi dimensioni. Acqua drenata durante il riposo in cono	

4.3.2. Conclusioni sulle prove di slump realizzate sulla formazione dei calcescisti.

Dall'analisi dei risultati delle prove di slump effettuate sulla formazione dei calcescisti è possibile concludere che:

- l'aggiunta di schiuma è assolutamente necessaria per il condizionamento del terreno poiché l'introduzione della sola acqua non è sufficiente per fornire al materiale un comportamento pastoso;
- la percentuale di acqua aggiunta per un buon condizionamento a tempo immediato deve attestarsi intorno 5% quando non già presente nell'ammasso, superando questa percentuale il fine presente nel terreno non risulta essere in grado di assorbire l'acqua in eccesso e non è più possibile fornire al terreno un comportamento pastoso, ma questo diventa molto fluido;
- la percentuale di schiuma, con FER=15, da introdurre nel terreno per ottenere un discreto comportamento del mix subito dopo il condizionamento è di circa il 50%: oltre questo valore il materiale inizia a presentare una eccessiva fluidità;
- i fattori tempo e temperatura suggeriscono di incrementare la quantità di schiuma, in quanto dopo 30 minuti di permanenza nel cono di slump, il materiale definito buono subito dopo l'aggiunta di schiuma ha perso buona parte delle sue caratteristiche di pastosità.

  Questo incremento è valutabile in un ulteriore 20% di FIR da inserire nel materiale. Quest'ultimo valore è in ottimo accordo con i risultati già ottenuti per la formazione calcarea del "Monte Morello" nell'ottica di garantire l'estraibilità del materiale mediante coclea. Si considera opportuno il dosaggio da usare nelle prove chimiche di cessione vengano eseguite con una combinazione di parametri di condizionamento da definirsi dopo le prove di estrazione.

Di seguito è presentato il grafico riassuntivo delle prove realizzate.

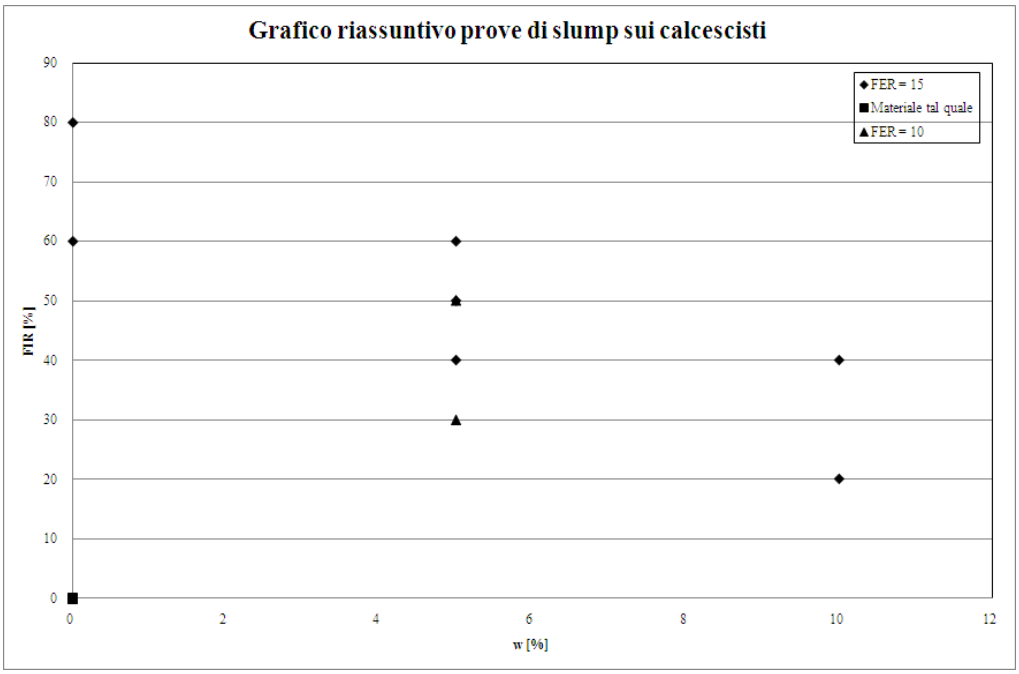


Grafico 4.1 – Quadro riassuntivo slump effettuati a t_0 sulla formazione dei calcescisti.

4.3.3. Prove di slump effettuate sulla formazione degli argilloscisti

I risultati delle prove di slump nel seguito riportati, si riferiscono ai test effettuati sulla formazione degli argilloscisti utilizzando l'agente schiumogeno indicato. Al contrario sono state fatti variare i parametri relativi all'acqua aggiunta, al FER ed al FIR.

Una prima tabella riporta i risultati ottenuti sugli slump effettuati subito dopo il condizionamento del terreno, mentre la seconda riporta ulteriori prove di slump realizzata al fine di indagare, in prima istanza, i possibili effetti del tempo sulla stabilità del mix terreno-schiuma.

Tabella 4.3 – Risultati delle prove di slump sugli argilloscisti

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m^3]	FER	FIR	Additivo aggiunto [l/m^3]	Slump	Commenti	Foto
0	0	..	..	..	..	Il materiale risulta del tutto incoerente	
5	75	15	50	0,67	14 cm	Buon condizionamento del materiale, materiale un po' asciutto e rigido, condizionamento minimo accettabile	
5	75	15	70	0,93	19 cm	Buona pastosità del materiale condizionato, si nota un leggero eccesso di schiuma	
10	150	15	50	0,67	20 cm	Materiale pastoso ma con condizionamento eccessivo. Si nota un eccesso di schiuma, materiale troppo fluido	

10	150	15	30	0,4	18 cm	Buon condizionamento. Buona fluidità del materiale senza eccessi di schiuma o acqua	
5	75	15	60	0,8	18 cm	Condizionamento decisamente buono, si nota un leggerissimo eccesso di schiuma, Buona consistenza e pastosità. Risultato ottimale	
5	75	10	40	0,8	20 cm	Buon condizionamento del materiale che risulta pastoso senza eccessi di schiuma o acqua. Risultato ottimale	
5	75	10	60	1,2	20 cm	Buon condizionamento ma si nota un eccesso di schiuma	
10	150	10	30	0,6	20 cm	Buon condizionamento del materiale, leggermente più fluido rispetto ad un risultato ottimale, ma comunque accettabile	

Tabella 4.4 – Risultati delle prove di slump sulla formazione degli argilloscisti. Test sull'influenza del tempo.

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m^3]	FER	FIR	Additivo aggiunto [l/m^3]	Slump	Commenti	Foto
5	75	15	50	0,67	14 cm	Materiale mantenuto nel cono 30'. Non ci sono più bolle visibili, materiale asciutto.	
5	75	15	70	0,93	19 cm	Materiale mantenuto nel cono 30'. Buon comportamento pastoso, bolle grosse ma ancora presenti. Buono slump.	
10	150	15	30	0,4	14 cm	Materiale mantenuto in cono 30'. Materiale non troppo pastoso e piuttosto asciutto, bolle di grandi dimensioni. Il materiale ha drenato acqua durante il riposo nel cono.	
5	75	15	60	0,8	18 cm	Materiale mantenuto in cono 30'. Materiale un po' rigido ma accettabile. Bolle di grandi dimensioni ma ancora presenti. Il materiale ha drenato acqua durante il riposo nel cono.	

5	75	10	40	0,8	16 cm	Materiale mantenuto in cono 30'. Bolle di grandi dimensioni, comportamento non molto pastoso ma accettabile	
5	75	10	60	1,2	19 cm	Materiale mantenuto in cono 30'. Bolle di grandi dimensioni e comportamento ancora buono	
5	75	10	30	0,6	17 cm	Materiale mantenuto in cono 30'. Bolle di grandi dimensioni e comportamento non molto pastoso. Il materiale presenta comunque la giusta umidità	

4.3.4 Conclusioni sulle prove di slump realizzate sugli argilloscisti.

Dall'analisi dei risultati delle prove di slump effettuate sugli argilloscisti è possibile concludere che:

- l'aggiunta di schiuma è assolutamente necessaria per il condizionamento del terreno poiché l'introduzione della sola acqua non è sufficiente per fornire al materiale un comportamento pastoso;
- la percentuale di acqua aggiunta per un buon condizionamento a tempo immediato deve attestarsi tra il 5% ed il 10 %, superando questa percentuale il fine presente nel terreno non risulta essere in grado di assorbire l'acqua in eccesso e non è più possibile fornire al terreno un comportamento pastoso, ma il materiale diventa molto fluido. Questa condizione potrebbe dare problemi nella gestione delle

operazioni di smarino con nastro trasportatore, ma non da problemi nel controllo della pressione;

- la percentuale di schiuma, con FER=15 (ritenuto un valore ragionevolmente idoneo), da introdurre nel terreno per ottenere un discreto comportamento del mix subito dopo il condizionamento è di circa il 60%. Per valori superiori il materiale inizia a presenta una eccessiva fluidità;
- fattori quali tempo e temperatura suggeriscono di incrementare nella macchina la quantità di schiuma, in quanto dopo 30 minuti di permanenza nel cono di slump, il materiale definito buono subito dopo l'aggiunta di schiuma ha perso buona parte delle sue caratteristiche di pastosità. Questo incremento è valutabile in un ulteriore 20% di FIR da inserire nel materiale. Questo risultato è in buon accordo con i risultati ottenuti per i calcescisti e per i calcari della formazione del Monte Morello in relazione alla possibilità di estrazione mediante coclea da camera in pressione.

  In conclusione si ritiene che le prove chimiche di cessione vengano eseguite con i seguenti dosaggi di condizionamento:

  FER = 15, FIR = 80%, w = 5% e FER = 10, FIR = 40%, w = 5%.

Di seguito è presentato il grafico riassuntivo delle prove realizzate.

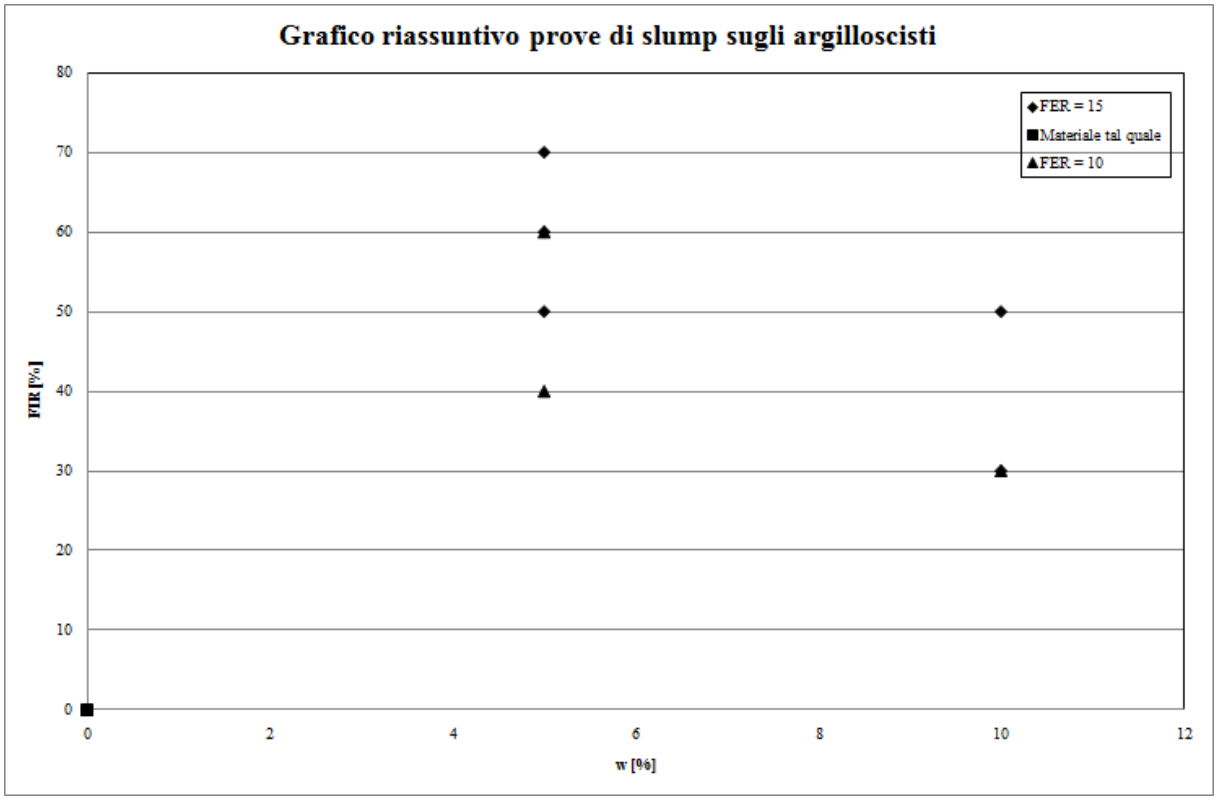


Grafico 4.2 – Quadro riassuntivo slump effettuati a t_0 sulla formazione degli argilloscisti.

5. Prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione

5.1. Caratteristiche dell'apparato sperimentale di estrazione mediante coclea

Per la valutazione dell'idoneità del materiale condizionato ad essere estratto mediante coclea per la simulazione del comportamento durante lo scavo con EPB, presso il laboratorio TUSC – Centro di Ricerca e Laboratorio per le Gallerie e lo Spazio Sotterraneo del Politecnico di Torino è disponibile un idoneo apparato sperimentale appositamente progettato e costruito per l'estrazione del materiale condizionato. L'apparato è stato realizzato in modo da riprodurre le condizioni di estrazione del materiale dalla camera di scavo di una macchina EPB anche tenendo conto della pressione presente in camera. Esso consiste, in sintesi, in un cilindro metallico (di seguito denominato "serbatoio") di diametro nominale 600 mm al quale si accoppia una coclea di estrazione di diametro esterno 168 mm e lunghezza della vite di 1500 mm.

La coclea è movimentata da un motore elettrico trifase, cui è connesso attraverso un riduttore meccanico che consente una velocità di rotazione massima di 15 rpm.

Al fine di rilevare i parametri di funzionamento, la coclea è equipaggiata di tre sensori di pressione totale del terreno lungo il fusto, oltre che di un torsiometro per misurare il momento torcente richiesto dal materiale per essere estratto.

Il serbatoio ha due sensori di pressione totale, uno posizionato sul fondo e uno sul piatto di applicazione del carico, in modo da valutare il grado di omogeneità e trasmissione degli sforzi nel materiale, mentre un sensore di posizione segue il movimento del cilindro idraulico di carico durante la sua azione. Il materiale estratto è pesato attraverso l'utilizzo di una cella di carico.

La figura 5.1 riporta la geometria dell'apparato, mentre la tabella 1 riporta le caratteristiche dei sensori adottati.

Tutte le informazioni acquisite dai sensori sono raccolte mediante una centralina di acquisizione dati (data logger) gestita in modo automatico da un computer, che permette la visualizzazione in tempo reale dei valori rilevati e la loro memorizzazione.

La procedura di prova perfezionata nel corso di numerose ricerche dei tecnici del Politecnico di Torino riportate in bibliografia.

I risultati ottenibili dall'apparato sono stati preliminarmente verificati mediante una campagna di prove su una sabbia campione, che viene riportata per fornire un valore di riferimento.

La prova, pur avendo i limiti concatenati a tutte le prove di laboratorio a scala ridotta rispetto alla dimensione reale della macchina (cioè al così detto fattore di scala) ed operando a pressioni nel serbatoio standardizzate e comunque limitate da fattori operativi del laboratorio che possono essere differenti da quelle reali, fornisce indicazioni molto chiare sulle caratteristiche dei materiali e sulle loro proprietà di controllare e gestire la pressione nella camera di scavo con EPB.

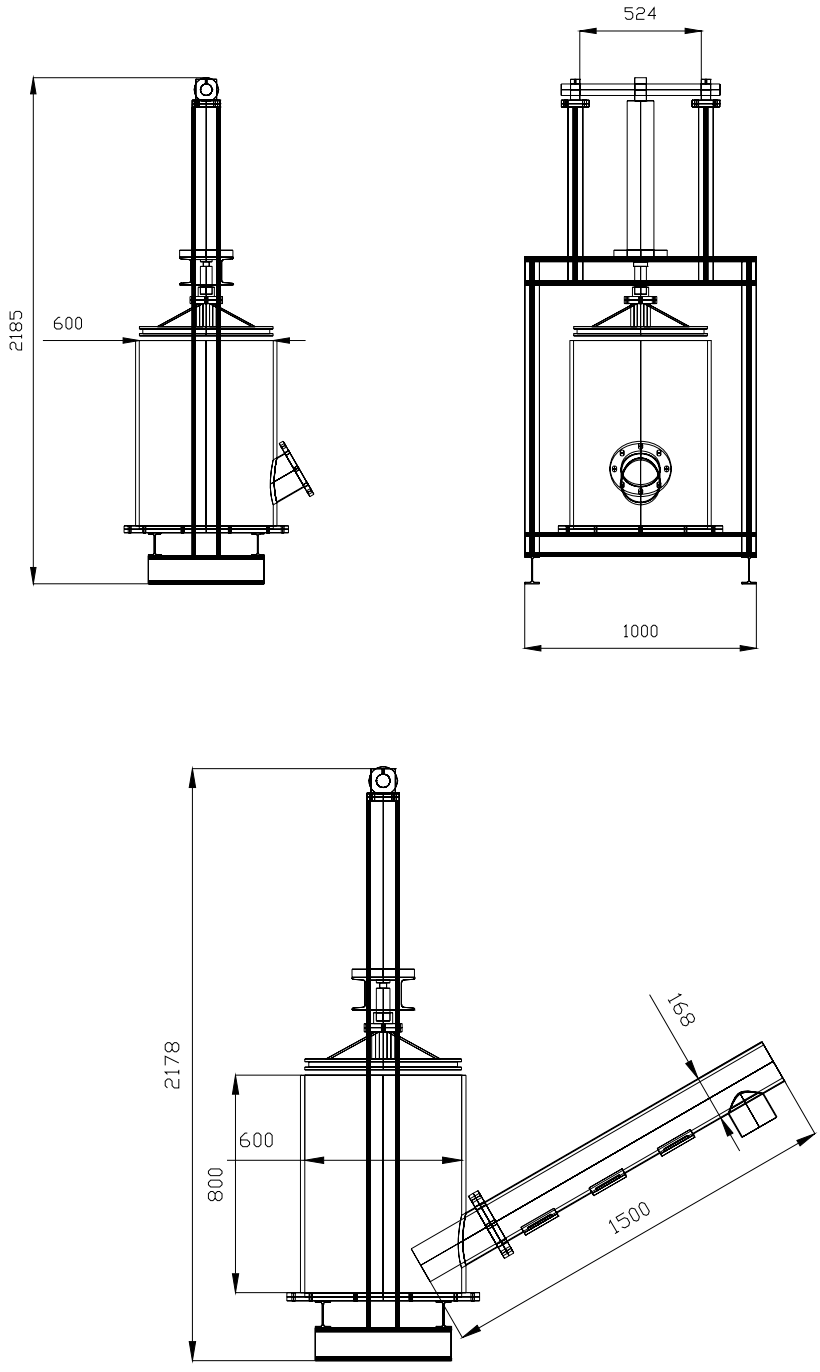
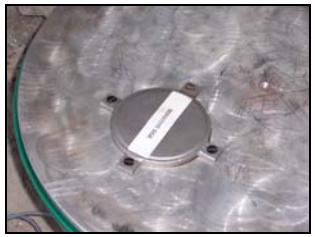


Figura 5.1 - Schema e principali dimensioni dell'apparato sperimentale di estrazione con coclea.



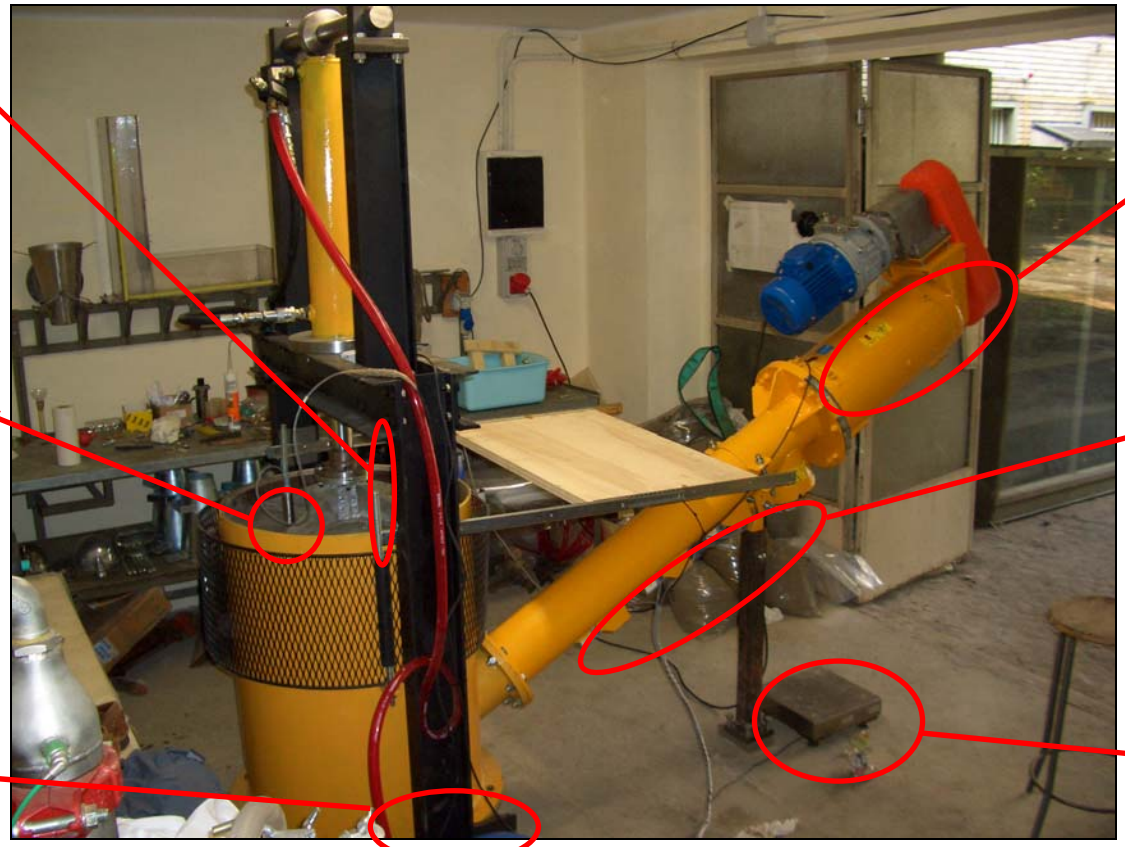
Sensore di posizione



Cella di pressione



Cella di pressione





Torsiometro



Celle di pressione



Bilancia

Figura 5.2 - Vista di insieme dell'apparato sperimentale di estrazione e disposizione della strumentazione installata.

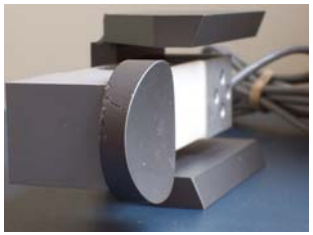
Strumenti	Foto	Quantità	Dimensioni	Tipo	Range
Unità acquisizione dati		1	N.A.	HBM Spider 8 8 canali tecnologia in frequenza di portante a 600 HZ Alim. trasduttori 2,5V Software di gestione HBM Catman Easy	N.A.
Celle di pressione	 	2	Φ 112 mm	Cella di pressione con cuscino di liquido deareato e trasduttore a membrana	0-5 bar
Celle di pressione	 	3	Φ 50 mm Raggio Curvatura 162 mm	Cella di carico a ponte intero di Wheatstone	0-5 bar

Tabella 5.1 - Caratteristiche della strumentazione installata.

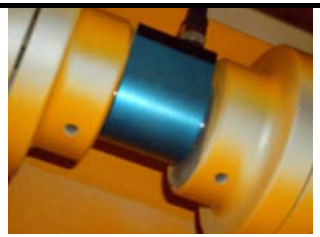
Strumenti	Foto	Quantità	Dimensioni	Tipo	Range
Torsiometro		1	-	Sensore di coppia torcente dinamica con contatti striscianti. Trasduttore estensimetrico a ponte intero di Wheatstone	0-500 Nm
Bilancia		1	300x300	Cella di carico a ponte intero di Wheatstone	0-50 kg
Sensore di posizione		1	-	Sensore di spostamento a filo di tipo potenziometrico	0-1000 mm

Tabella 5.1 (segue) - Caratteristiche della strumentazione installata.

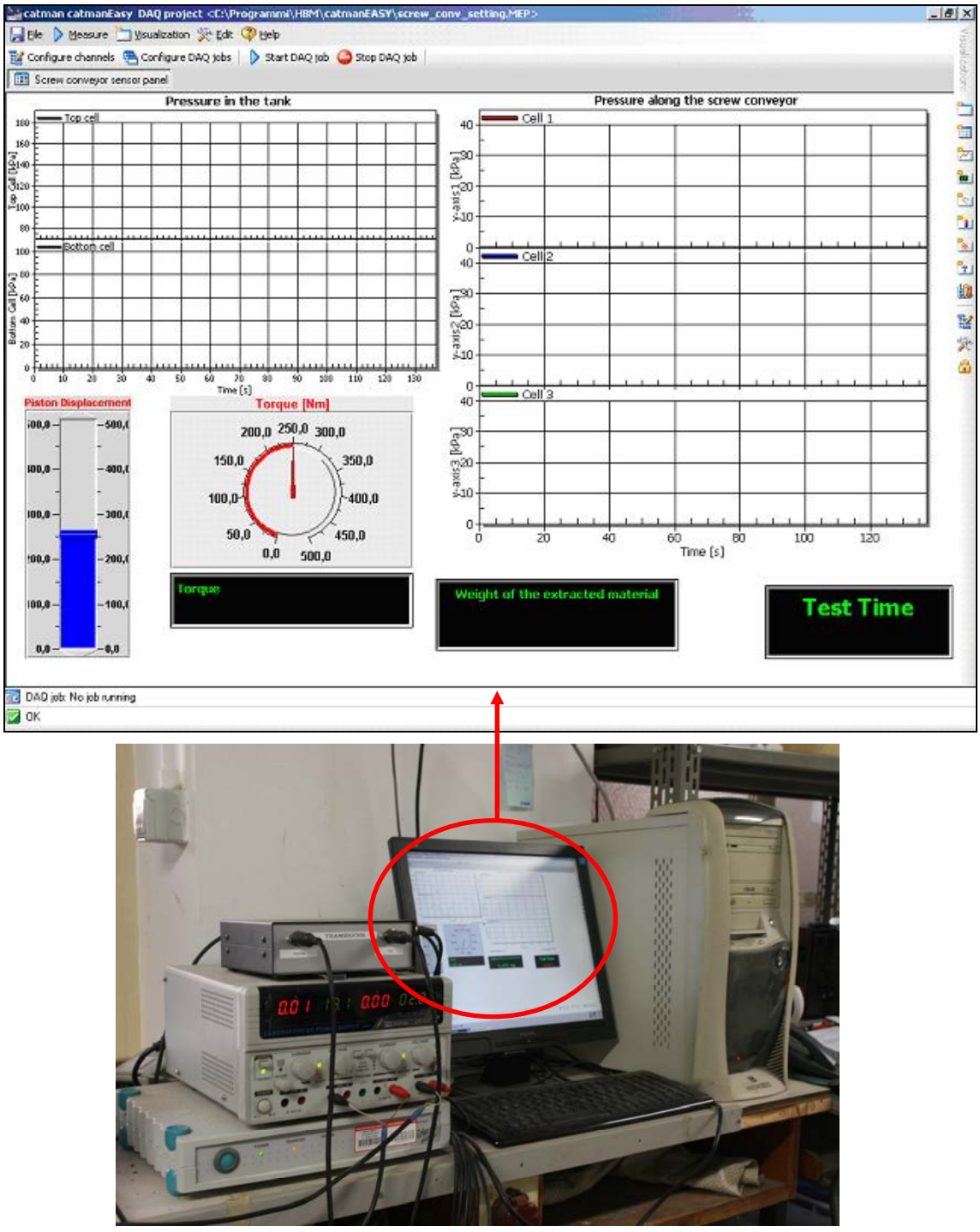
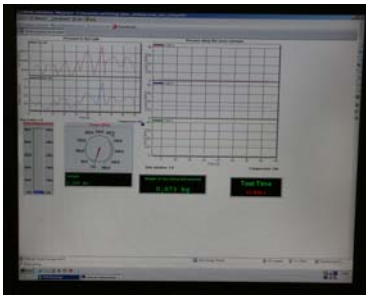


Figura 5.3 - Layout del pannello di controllo virtuale per la gestione dei sensori installati.

Fasi di prova	Fotografia
La centralina di acquisizione viene impostata per l'avvio della procedura di memorizzazione	
Un quantitativo di materiale campione, con una determinata umidità, viene posizionato nel dispositivo di miscelazione	
La schiuma viene prodotta impostando sull'unità di generazione i parametri necessari per ottenere il tasso di espansione richiesto, e successivamente viene aggiunta nel mixer nel quantitativo necessario ad ottenere il FIR desiderato	
Il materiale così ottenuto viene immesso nel serbatoio dell'apparato mediante uno scivolo; l'operazione di miscelazione e di scarico viene ripetuta finché il serbatoio non raggiunge il prescritto livello di riempimento	
Il piattello viene imbullonato al pistone dopo averne preventivamente ingrassato il bordo esterno al fine di limitarne gli attriti durante lo scorrimento all'interno del serbatoio	

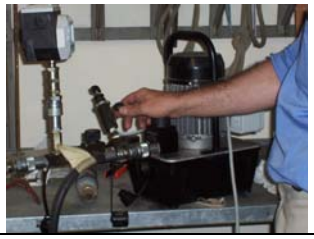
Fasi di prova	Fotografia
Attraverso la centralina oleodinamica si attiva il movimento del pistone finché non si raggiunge all'interno del serbatoio la pressione desiderata	
Si avvia la coclea di estrazione e contemporaneamente si mantiene la pressione all'interno del pistone al valore desiderato	
Il materiale estratto viene raccolto avendo cura di prelevare regolarmente campioni di terreno per ulteriori prove	
La prova continua finché il pistone non giunge a fine corsa	

Tabella 5.2 - Procedura di prova seguita per gli esperimenti con l'apparato di estrazione.

5.2. Prove di taratura dell'apparato sperimentale di estrazione

La taratura dell'apparato di estrazione con coclea è stata realizzata con prove su una sabbia campione, sia satura sia variamente condizionata.

Queste prove di verifica hanno altresì permesso di valutare l'effetto del condizionamento nell'ottica dell'applicazione della tecnologia di scavo EPB mediante le informazioni ottenute dall'attrezzatura di prova.

In particolare sono state eseguite tre prove sulla sabbia satura e altrettante sulla sabbia condizionata, alla quale sono stati applicati i parametri di condizionamento ricavati da una campagna di caratterizzazione precedente, che ha fornito i seguenti dosaggi ritenuti ottimali:

FER = 16 (schiuma asciutta)

FIR = 40%

w = 10%

dove:

$$FER = \frac{V_{schiuma}}{V_{liquido}}$$

tasso di espansione della schiuma, pari al rapporto tra volume di schiuma ottenuto e volume del liquido generatore iniziale. Un basso valore di questo parametro indica che la schiuma è più densa e più liquida, e viceversa. Si definisce schiuma "asciutta" (dalla dizione anglosassone "dry") una schiuma con tasso di espansione nell'intervallo 14 – 18, mentre viceversa una schiuma "bagnata" presenta tassi di espansione nell'intervallo 8 – 12;

$$FIR = \frac{V_{schiuma}}{V_{terreno}} \cdot 100$$

tasso di iniezione della schiuma, pari al rapporto percentuale tra volume di schiuma iniettata e volume di terreno trattato. Il dosaggio è funzione della granulometria, dell'umidità e delle caratteristiche di plasticità della frazione fine;

$$w = \frac{W_{acqua}}{W_{terreno_asciutto}} \cdot 100$$

umidità del terreno, pari al rapporto percentuale tra peso dell'acqua presente nel campione e peso asciutto del terreno.
L'agente condizionante utilizzato per le prove è l'Agente schiumogeno A della presente relazione.

La velocità di rotazione della coclea durante le prove è stata impostata pari a 6 r.p.m. che è un valore confrontabile con la velocità reale nelle normali macchine EPB ed è stata tarata con le prove di estrazione su sabbia.

Sabbia satura

Test #	Pressione teorica [kPa]		Pressione ottenuta [kPa]		Coppia [Nm]	∂spost. [mm/s]	∂peso [kg/s]	Cella 1 [kPa]	Cella 2 [kPa]	Cella 3 [kPa]
	top	bottom	top	bottom						
S1	60	75	N.A.	N.A.	35-45	0,299	0,159	6-8	4-6	2-4
S2	90	105	150-230	110-120	30-40	0,327	0,137	4-8	4-6	2-4
S3	90	105	90-150	75-85	35-40	0,283	0,145	4-6	7-9	2-4

Tabella 5.3 - Risultati ricavati dalle prove sulla sabbia satura di riferimento.

Sabbia condizionata *FIR=40% - w =10%*

Test #	Pressione teorica [kPa]		Pressione ottenuta [kPa]		Coppia [Nm]	∂spost. [mm/s]	∂peso [kg/s]	Cella 1 [kPa]	Cella 2 [kPa]	Cella 3 [kPa]
	top	bottom	top	bottom						
C1	30	45	35-40	45-50	6-8	0,517	0,215	15-20	12-15	4-6
C2	90	105	80-95	90-100	6-10	0,546	0,183	20-23	12-14	4-6
C3	90	105	60-80	60-80	8-10	N.A. (0,431)	0,193	23-28	12-17	4-7

Tabella 5.4 - Risultati ricavati dalle prove sulla sabbia condizionata di riferimento.

5.2.1. Pressioni all'interno della camera

Le pressioni misurate dalle celle localizzate all'interno del serbatoio, che simula la camera di condizionamento della macchina, dovrebbero teoricamente differire, per l'effetto del peso del materiale gravante sul fondo, di un valore pari a circa 15 kPa, mentre l'andamento dei diagrammi delle pressioni dei due sensori durante la prova dovrebbe essere parallelo.

Nel caso delle prove eseguite su sabbia satura invece i sensori registrano andamenti di pressione molto variabili ed operativamente è estremamente difficile mantenere la pressione applicata costante mediante il pistone di spinta (grafico 3). Una pressione in uscita dalla centralina di 30 bar corrisponde a 0,9 bar applicati sul materiale, mentre una pressione di 40 bar a 1,2 bar.

Inoltre il sensore sul piattello (cioè nella parte alta della camera) registra valori di pressione che sono più grandi di quelli teorici e superiori a quelli registrati dal sensore inferiore. Poiché la pressione applicata è ben nota ed ottenuta dividendo la forza applicata dal pistone idraulico per la sezione del serbatoio, questi risultati anomali sono spiegabili solo ipotizzando la riduzione di superficie di contatto tra cella e terreno reagente allo sforzo nel caso delle prove.

Questo fenomeno è presumibilmente dovuto in parte alla mancanza di "pastosità" del terreno all'interno della camera, in parte all'effetto di sifonamento che l'acqua libera sulla sommità del serbatoio induce sugli strati superficiali di sabbia trafilando dal piattello durante l'applicazione del carico il quale risulta così non completamente controllabile.

Si vuole far osservare che nel caso delle prove eseguite con materiale condizionato le pressioni in camera hanno invece seguito la distribuzione teorica corretta e i valori

registrati sono stati simili ai valori teorici attesi. Inoltre l'applicazione del carico durante la prova non ha creato problemi di controllo, a dimostrazione dell'omogeneità del materiale condizionato, che pertanto risulta adatto alla trasmissione delle pressioni al fronte di scavo nelle applicazioni con EPB (grafico 5.1).

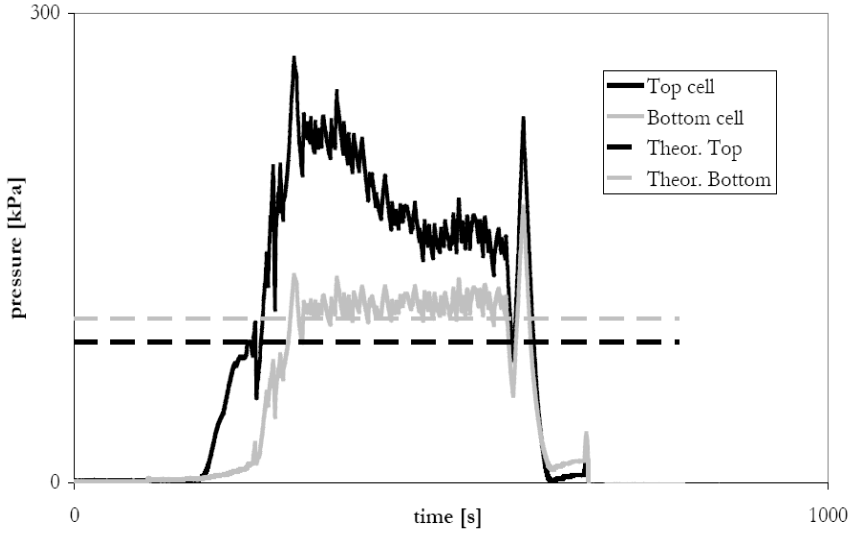


Grafico 5.1 - Andamento delle pressioni all'interno del serbatoio per la prova S3 – campione saturo.

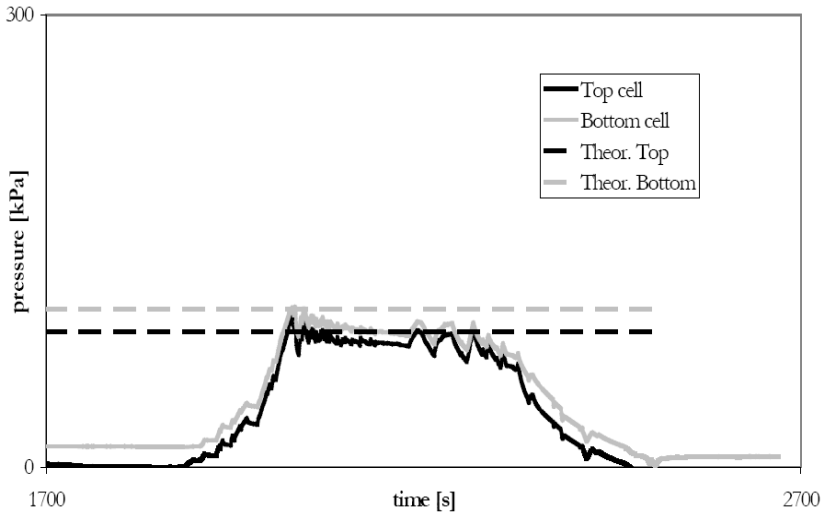


Grafico 5.2 - Andamento delle pressioni all'interno del serbatoio per la prova C2 – campione condizionato.

5.2.2. Coppia della coclea

Durante le prove sulla sabbia satura si osserva che:

- la coppia che agisce sull'albero della coclea durante la fase di estrazione assume un valore medio di circa 35- 40 Nm (grafico 5.3);
- a piccola scala i valori sono variabili, il che è indice della disomogeneità del terreno non trattato.

Nelle prove su sabbia condizionata si osserva che:

- la coppia che agisce sull'albero della coclea è molto più bassa rispetto a quella misurata per la sabbia satura e pari a circa 6 – 12 Nm (grafico 5.3);

- è presente invece una maggiore uniformità dei valori registrati, anche a piccola scala. Questo fenomeno è un chiaro indice che il condizionamento consente di ottenere una maggiore omogeneità del materiale.

Si ricorda che la velocità di rotazione è stata mantenuta costante durante la campagna di prove e pari a 6 rpm.

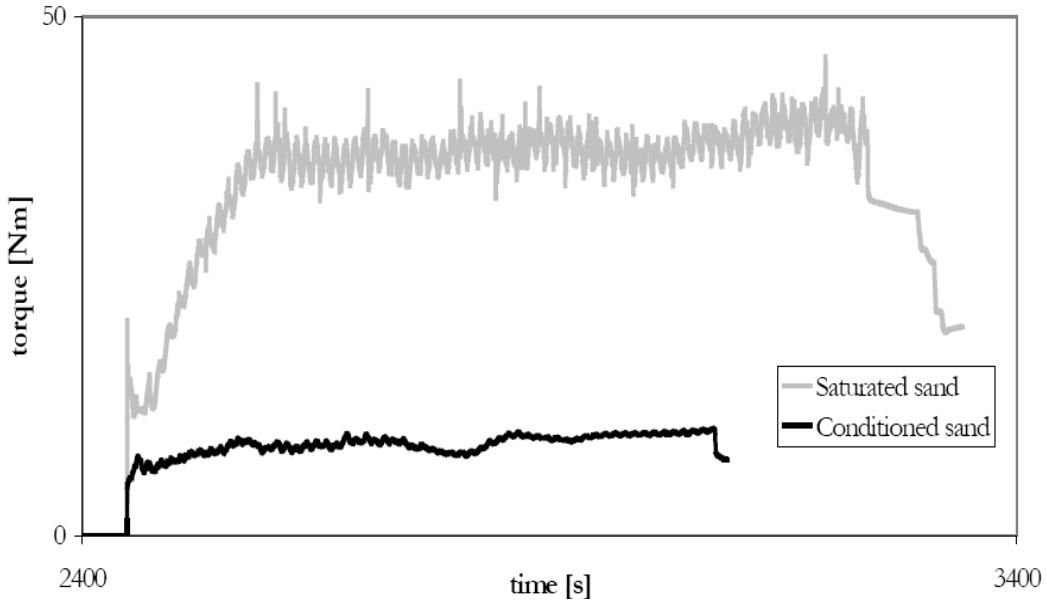


Grafico 5.3 - Andamento dei valori di coppia torcente della coclea per la prova S3 – campione saturo e per la prova C1 – campione condizionato.

5.2.3. Spostamento del piattello di carico

Lo spostamento del piattello di carico registrato durante le prove sulla sabbia satura, dopo un primo tratto di assestamento durante il quale viene raggiunta la pressione richiesta nel pistone idraulico, è circa lineare, con velocità di spostamento medie pari a circa 0,3mm/s (grafico 5.4).

Per le prove su sabbia condizionata lo spostamento del piattello di carico diventa lineare dopo la fase di assestamento e in questo caso la velocità di discesa del pistone è mediamente pari a v = 0,5mm/s (grafico 5.4), cioè aumenta la portata estrattiva a parità di rotazione della coclea.

La maggiore velocità di discesa del pistone è dunque un indice della maggiore capacità volumetrica di estrazione della coclea, che mantenendo il flusso di estrazione costante riesce ad estrarre un maggior quantitativo di materiale.

Tale evidenza si riscontra anche a seguito dell'analisi delle pressioni lungo il fusto della coclea: nel caso di sabbia condizionata si registrano valori molto più elevati (v. par. 5.2.5)

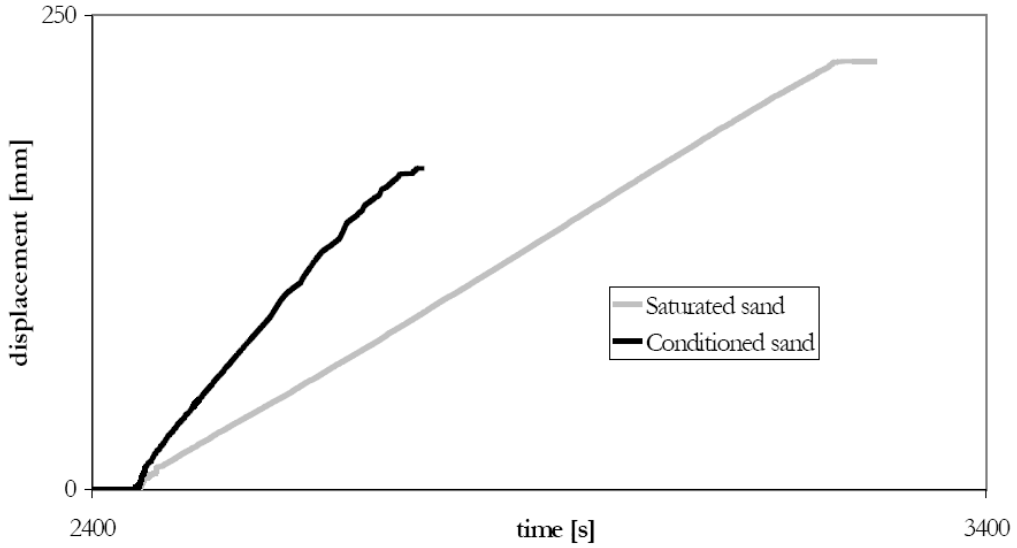


Grafico 5.4 - Spostamento del piattello di carico per la prova S3 – campione saturo e per la prova C2 – campione condizionato.

5.2.4. Peso del materiale estratto

Il gradiente di estrazione, espresso come peso di materiale estratto nel tempo, evidenzia un valore pressoché costante e pari mediamente a 0,14 kg/s per le prove su sabbia satura (grafico 5.5).

Per quanto riguarda le prove su sabbia condizionata, il gradiente di estrazione di materiale è circa 0,2 kg/s, valore simile a quanto registrato durante le prove sul terreno saturo (grafico 5.5).

Tuttavia poiché il terreno condizionato è meno denso della sabbia satura questa similitudine giustifica la differenza tra i gradienti di spostamento del pistone nelle due prove.

Calcolando infatti la densità media del materiale estratto, in base al gradiente di volume ottenuto dall'abbassamento del pistone e il gradiente di peso fornito dalle misurazioni della bilancia, si ottiene:

per la sabbia satura: $\rho = \mathbf{1{,}78\ kg/dm^3}$

per la sabbia condizionata: $\rho = \mathbf{1{,}52\ kg/dm^3}$

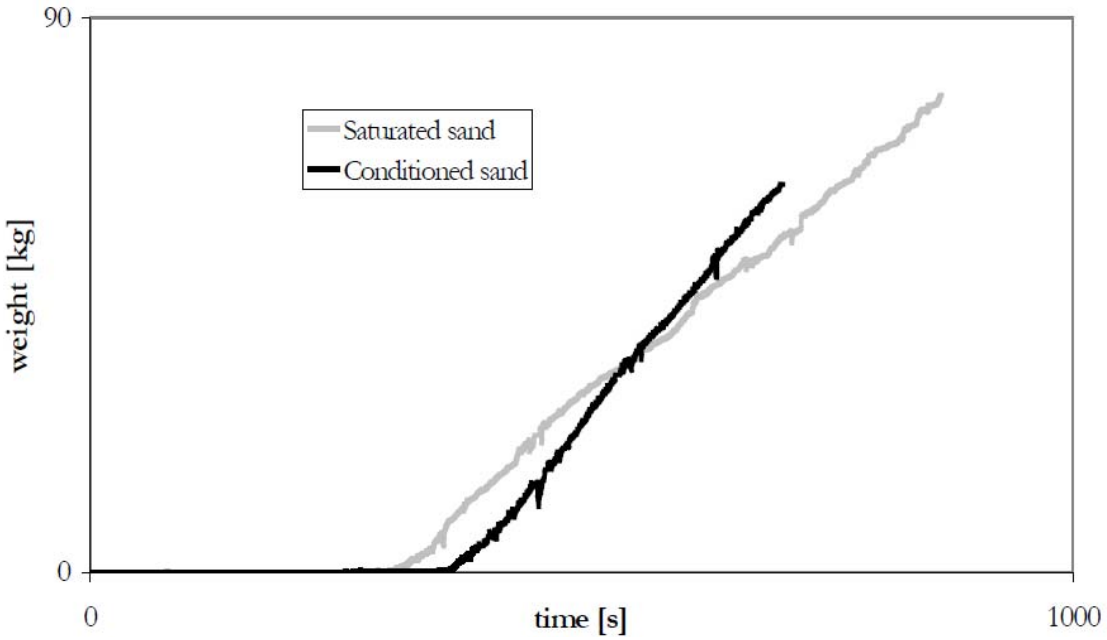


Grafico 5.5 - Peso del materiale estratto per la prova S3 – campione saturo, e per la prova C2 – campione condizionato.

5.2.5. Pressioni lungo coclea

Analizzando i valori di pressione lungo coclea registrati durante le prove con sabbia satura, si evince che questi decadono in direzione dello scarico e le differenze tra le tre celle in termini assoluti sono ridotte e dell'ordine di 2-4 kPa (grafico 5.6).

In particolare, inoltre, si osserva che il valore di pressione misurato dalla cella più vicina al serbatoio è di un ordine di grandezza inferiore rispetto alla pressione misurata sul fondo del serbatoio, il che è una ulteriore dimostrazione che la sabbia satura non consente una corretta trasmissione delle pressioni da parte del terreno, durante l'estrazione con coclea.

La presenza di pressione sulle prime due celle della coclea che tende a salire ancor prima che questa venga messa in moto è un'evidenza dell'esistenza di acqua libera nella sabbia satura.

Al contrario di quanto detto sopra, nel caso delle prove su sabbia condizionata lungo la coclea si osserva una evidente perdita di carico che si sviluppa a partire dal valore di pressione del serbatoio riscontrata dalla cella inferiore (grafico 5.7).

È evidente che il valore di pressione all'interno del serbatoio e quello sulla prima cella sono simili, a dimostrazione della buona trasmissione delle pressioni del materiale condizionato; inoltre i valori di pressione misurati dalle celle sono maggiori rispetto a quelli delle prove su sabbia satura e la variazione della pressione in un lasso di 60 secondi ha una migliore uniformità.

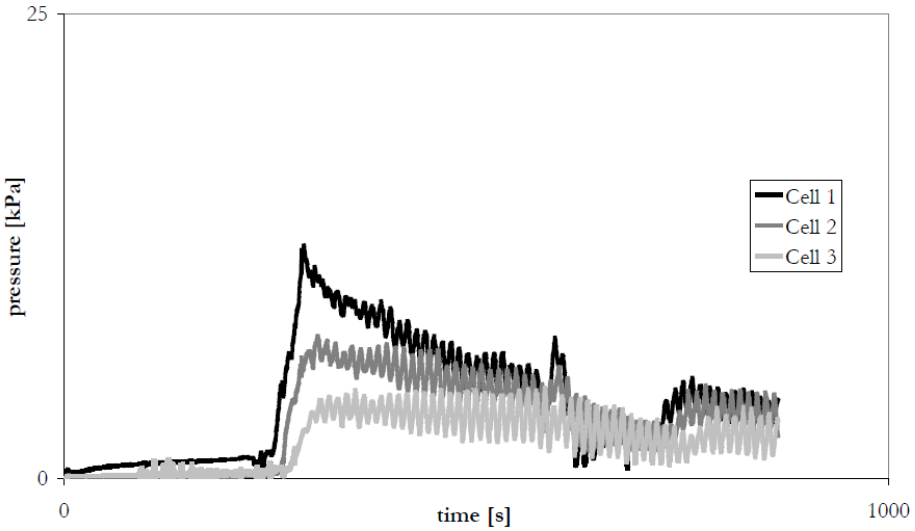


Grafico 5.6 - Pressioni lungo la coclea durante la prova S2 – campione saturo. Le celle sono numerate seguendo la direzione di estrazione: la cella 1 è la più vicina al serbatoio, la cella 3 è la più vicina al punto di sbocco del materiale.

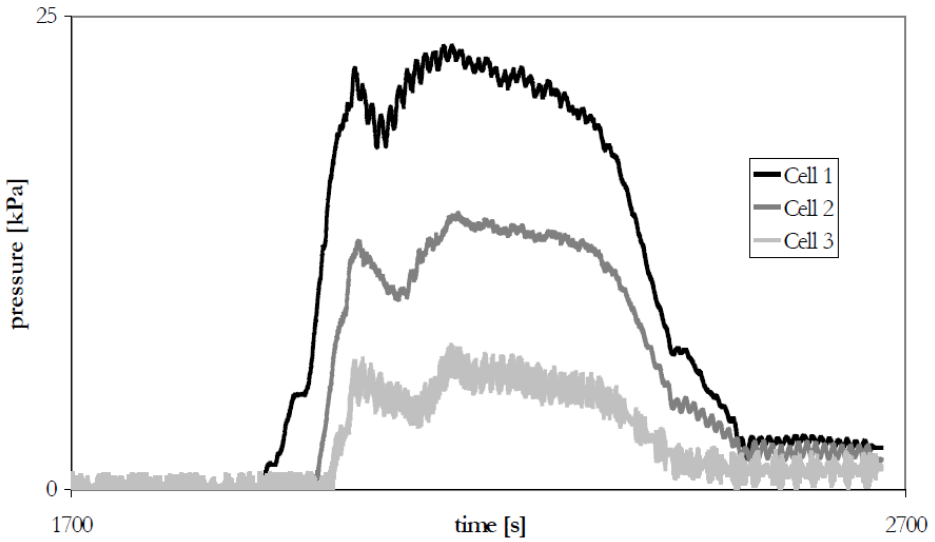


Grafico 5.7 - Pressioni lungo la coclea durante la prova C2 – campione condizionato.

5.2.6. Conclusioni sulle prove di verifica

Confrontando i risultati ottenuti dalle prove eseguite con l'attrezzatura sperimentale di estrazione con coclea, utilizzando sabbia satura e sabbia condizionata, risultano evidenti sia le differenze di comportamento tra i due materiali durante le prove sia come queste differenze vengano messe in luce dall'apparato sperimentale in modo chiaro.

In particolare è possibile osservare come l'efficienza e le prestazioni dell'estrazione con coclea da una camera in pressione migliorino in modo evidente in seguito al condizionamento.

5.3. Prove di estrazione controllata sulla formazione dei Calcescisti

5.3.1 Parametri di condizionamento utilizzati per le prove di estrazione sulla formazione dei calcescisti (CLS).

Per quel che riguarda la prima delle due prove (CLS-A), sulla base delle prove di slump realizzate al fine di caratterizzare il materiale oggetto di studio, è stato scelto un set di condizionamento che rappresentasse un buon condizionamento ad un tempo t_{30min} calcolato a partire dal momento di aggiunta della schiuma nel terreno.

Per la prova di estrazione l'umidità naturale del terreno in esame è pari a circa allo 0% misurata in laboratorio, mentre è stata aggiunta acqua pari al 5% in peso. Questo valore è stato definito sulla base e di accordo con quanto determinato ed accertato in sede di campagna di prove di slump.

Il tasso di espansione della schiuma (FER) utilizzata in tutte le prove è di 15.

Il tasso di iniezione FIR è stato del 70% con una concentrazione di agente schiumogeno del 2%. I valori qui riportati sono stati concordati anche con i tecnici della casa produttrice dell'agente schiumogeno.

Per la seconda prova è stato scelto un set di parametri di condizionamento che desse un mix più fluido, poiché, come si vedrà in seguito, il primo test ha dato risultati non ottimali. Con l'obiettivo di ottenere un mix più fluido l'acqua aggiunta al materiale è stata aumentata dal 5% al 7%. Il tasso di iniezione della schiuma FIR è stato del 75%.

I parametri utilizzati e precedentemente descritti sono riassunti nella seguente tabella 3.

Tabella 5.5 - Parametri di condizionamento delle prove di estrazione sulla formazione dei calcescisti

Prova	$P_{terreno}$	w_{agg}	w_{agg}	c	FER	FIR	$Q_{additivo_agg}$
-	[kg]	[%]	[l/m^3]	[%]	[-]	[%]	[l/m^3]
CLS-A	320	5	75	2	15	70	0,933
CLS-B	320	7	105	2	15	75	1,000

Analogamente alle prove di verifica descritte nel paragrafo 5.2, la velocità di rotazione per la vite della coclea è stata impostata in 6 rpm che è stata ritenuta adatta alla simulazione del comportamento della macchina di scavo.

5.3.2 Prova CLS-A

Pressioni all'interno della camera.

La pressione teorica iniziale all'interno del serbatoio è stata impostata pari a 90 kPa, che corrisponde ad una pressione della centralina oleodinamica di circa 30 bar. Nello sviluppo della prova, considerate le difficoltà di estrazione del materiale dalla camera, tale pressione è stata aumentata prima ad una valore alla centralina di 40 bar al fine di verificare se in questo modo fosse possibile estrarre il materiale.

La trasmissione della pressione sul materiale da parte del piattello è buona e sono visibili dai grafici con chiarezza gli step di incremento di pressione alla centralina. Il mantenimento dell'applicazione della pressione nel corso della prova, anche se sono riscontrate alcune oscillazioni di valore, dovute alla eterogeneità del materiale e alla conseguente difficoltà di ottenere una distribuzione del tutto omogenea della pressione sulla superficie del materiale, è stato interrotto a circa 250 s dall'inizio della prova a causa di un disguido verificatosi durante la prova, del quale verrà discusso in seguito.



Figura 5.4 - Pressione applicata dalla pompa oleodinamica durante la prova CLS-A.

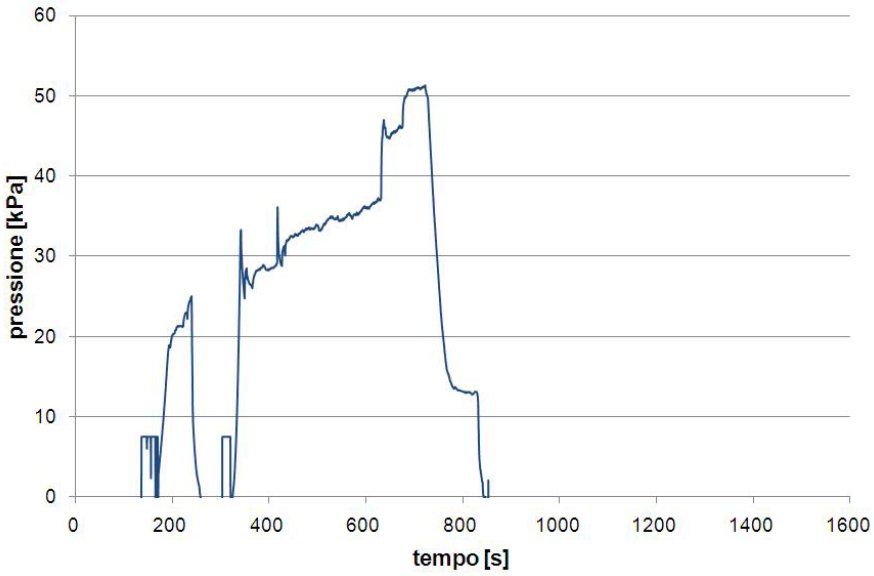


Grafico 5.8 - Andamento delle pressioni registrate dalla cella superiore nel serbatoio durante la prova CLS-A

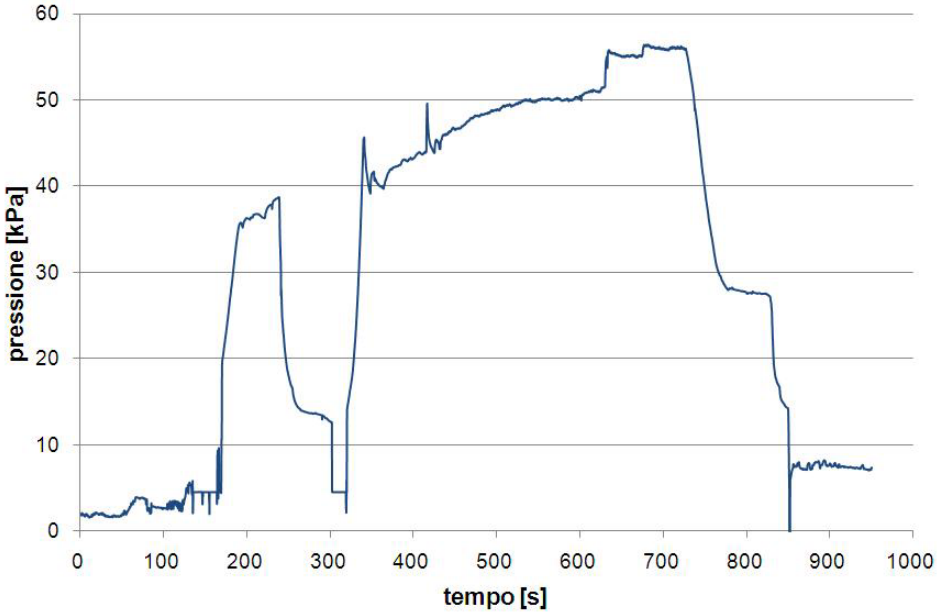


Grafico 5.9 - Andamento delle pressioni registrate dalla cella inferiore nel serbatoio durante la prova CLS-A

Osservando i grafici relativi alle pressioni registrate dalla cella superiore e da quella inferiore della camera in pressione si può notare come, mentre nella cella superiore l'incremento della pressione, dopo un picco iniziale, ha un andamento pendente, e quindi con incrementi maggiormente rilevabili man mano che il materiale viene caricato, nella cella inferiore dopo il picco iniziale, l'andamento sia evidentemente meno pendente e quindi con incrementi che vengono percepiti in maniera meno visibile.

Questa evidenza è da considerarsi segnale di un materiale eccessivamente rigido, e quindi non sufficientemente fluido e pastoso da permettere una corretta trasmissione della pressione.

Coppia della coclea

La coppia richiesta alla coclea per l'estrazione del terreno condizionato parte da una valore di circa 2 Nm per poi aumentare rapidamente nel momento in cui è iniziata l'applicazione della pressione, fino a raggiungere valori estremamente elevati (oltre 700 Nm), fenomeno questo dovuto alle difficoltà di estrazione del materiale durante la prova. Questi altissimi livelli di coppia hanno portato, a 250 s circa dall'inizio della prova all'attivazione di un giunto di sicurezza che ha scollegato la coclea dalla trasmissione del motore elettrico che la alimenta. Questo è il fenomeno che ha portato ad una momentanea interruzione nell'applicazione della pressione, come chiaramente visibile nei grafici relativi alle celle di pressione superiore ed inferiore.

Il motivo di questi elevati valori di coppia è da imputarsi ad un materiale che, durante la fase di caricamento, dalla durata di circa 30 minuti, si sia asciugato e compattato. La coclea ha così iniziato immediatamente ad estrarre un materiale che, a metà del suo percorso attraverso l'estrattore, risultava troppo asciutto e compatto per poter essere estratto, ed ha iniziato ad accumularsi in un punto della coclea molto prossimo alla cella 2, presente lungo l'estrattore.

I picchi di valore di minore entità che conferiscono alla curva riportata un andamento "frastagliato" registrati nel corso della prova sono da ricondursi alla presenza di grani grossolani nel materiale che offrono una maggior resistenza all'estrazione infilandosi nell'intercapedine tra la vite della coclea e la camicia metallica.

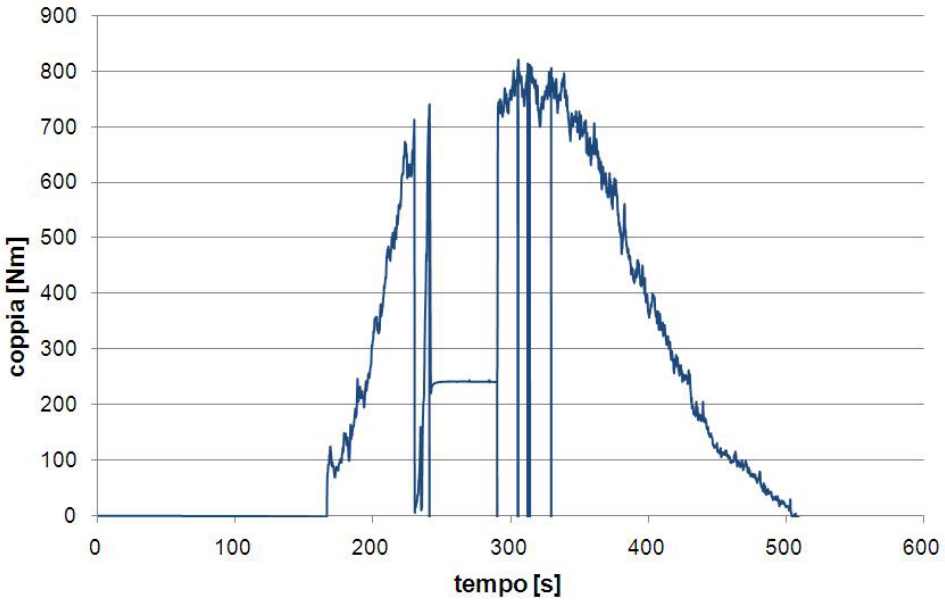


Grafico 5.10 - Coppia assorbita dalla vite della coclea durante la prova CLS-A

Spostamento del piattello di carico

Il grafico 12 riporta l'andamento dello spostamento del piattello di carico e sono evidenti le difficoltà da parte del materiale ad uscire dalla coclea. In seguito all'abbassamento iniziale per entrare in contatto con il materiale (circa 250mm) il piattello si abbassa con un gradiente di avanzamento pari a 0,038 mm/s.

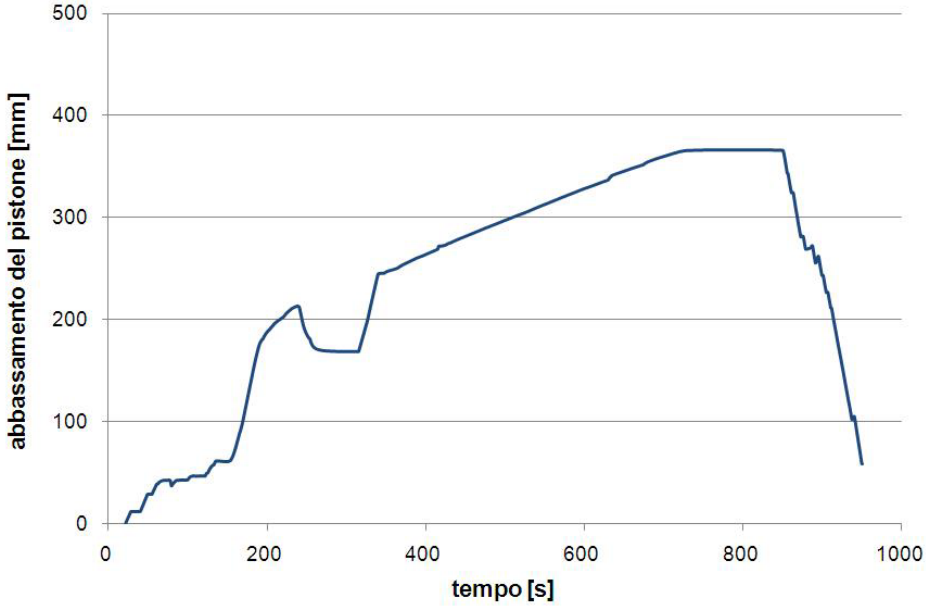


Grafico 5.11 - Spostamento del piattello di carico durante la prova CLS-A

Peso del materiale estratto

Il grafico 12 indica come l'estrazione del materiale dalla coclea sia stata piuttosto efficiente nonostante le problematiche riscontrate durante la prova, a conferma delle difficoltà di estrazione dei calcescisti con i parametri di condizionamento utilizzati per la prova si può notare dal già citato fermo a circa 250 s dall'inizio della prova.
Il δpeso medio di tutta la prova è pari a 0,092 kg/s

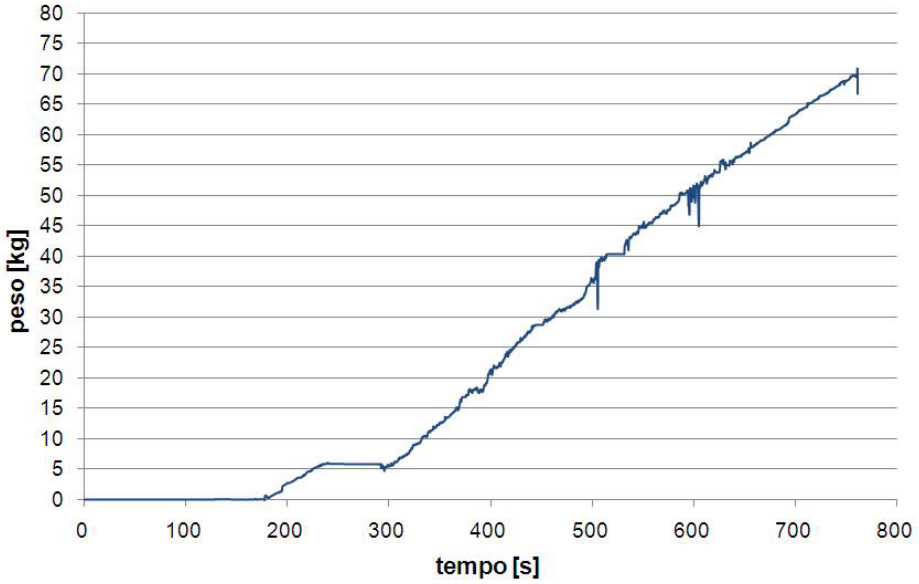


Grafico 5.12 - Peso del terreno estratto durante la prova CLS-A

Pressioni lungo la coclea

Le pressioni registrate dai sensori posti lungo la coclea non hanno una particolare rilevanza in questa specifica prova, in quanto come già precedentemente evidenziato, le difficoltà nell'estrarre il materiale dalla camera hanno fatto sì che non si verificasse il previsto riempimento della coclea, ma uno riempimento iniziale che ha però portato ad un accumulo di materiale all'incirca in corrispondenza della cella 2. Questo fenomeno è evidenziato da un tratto di riempimento della coclea pressoché simile a quanto atteso. Poco prima della rottura del giunto di sicurezza si può però notare che la pressione registrata dalla cella due supera quella registrata dalla cella 1, fatto che, in condizioni normali, non dovrebbe verificarsi. Dopo la riduzione della pressione in camera e la successiva ripresa della prova, si può notare come l'anomalia si vada gradualmente spostando tra la cella 2 e la cella 3, con un superamento della pressione registrata dalla cella 2 da parte di quella registrata dalla cella 3 a circa 400 s dall'inizio della prova. Quindi è come se il "tappo" formatosi inizialmente si sia spostato dopo la riduzione della pressione in camera andando a svuotare gradualmente la coclea.

Si può anche notare come, una volta che questa anomalia non interessava più le prime due celle, la pressione sia andata notevolmente abbassandosi nelle celle 1 e 2 (ma con la cella 1 che ha registrato valori superiori alla cella 2), a causa di un limitato pescaggio della coclea all'interno della camera in pressione dovuto alla formazione di una cavità autostabile in

prossimità dell'imbocco della coclea. Questo fatto è l'ennesima conferma della presenza all'interno della camera in pressione di un materiale poco fluido ed eccessivamente rigido.

I picchi sono presumibilmente dovuti alla presenza di grani di maggiori dimensioni rispetto alla matrice del terreno che passano sulle celle di pressione sollecitandole in modo anomalo.

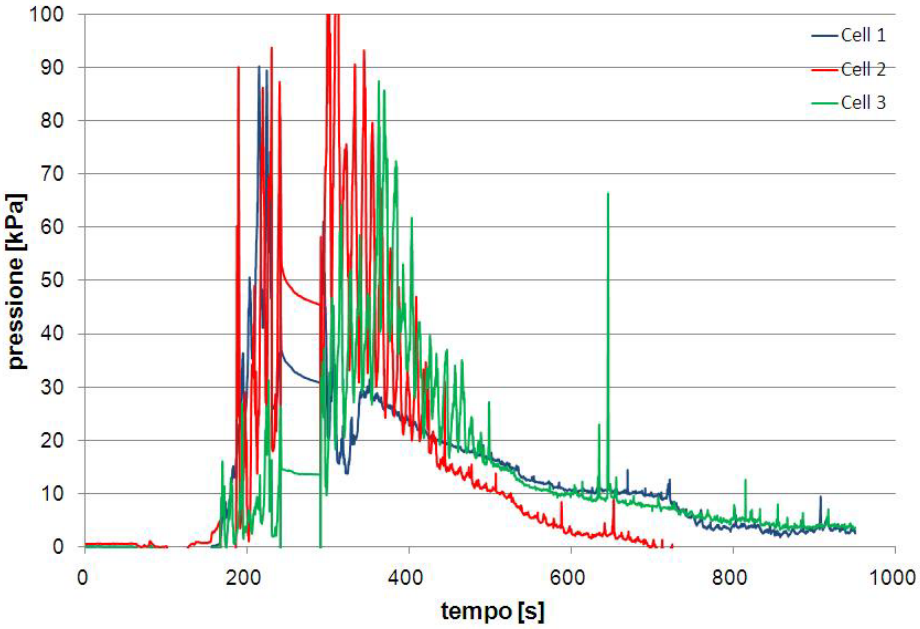


Grafico 5.13 - Andamento delle pressioni lungo coclea durante la prova CLS-A

La seguente immagine mostra le difficoltà di estrazione del materiale condizionato, evidenziate dalla creazione di un vuoto nell'intorno della coclea e dell'effetto arco da parte del materiale stesso.



Figura 5.5 - Vuoto nel materiale creato dalla rotazione della coclea.

Slump test eseguiti sul materiale oggetto di prova

Durante la prova di estrazione mediante coclea sono state eseguite alcune prove di slump, finalizzate a valutare le condizioni di plasticità del materiale estratto dopo l'estrazione attraverso la coclea.

La tabella 5.6 riassume i risultati ottenuti, i quali indicano che il materiale, una volta uscito dalla coclea, ha un comportamento scadente per quel che riguarda le caratteristiche di plasticità e di abbassamento al cono dovuta al decadimento delle bolle in relazione al tempo di prova ed al limitato volume di materiale estratto.

Tale risultato suggerisce che è necessario aumentare il quantitativo della schiuma necessaria per ottenere un buon condizionamento ed un'estrazione regolare tramite coclea dalla camera in pressione.

Ordine dello slump	Abbassamento al cono [cm]	Fotografia
#1 Dopo l'estrazione	17	
#2 Dopo l' estrazione	18	
#3 Dopo l'estrazione	16	

#4 Dopo l'estrazione	16	
#5 Dopo l'estrazione	16	

Tabella 5.6 - Risultati ottenuti dalle prove di abbassamento al cono di slump - Prova CLS-A

5.3.3 Commenti finali della prima prova di estrazione (CLS-A) effettuata sulla formazione dei calcescisti.

Dall'analisi dei risultati, già presentati nei precedenti paragrafi, è chiaro come il materiale condizionato con i parametri di cui alla prova CLS-A non sia risultato idoneo all'estrazione da camera in pressione. Questa evidenza permette di indicare un limite inferiore di condizionamento relativo alla formazione dei calcescisti oggetto del presente studio.

Il risultato della prova di estrazione precedentemente descritta, nonostante l'accuratezza con cui è stata portata a termine la campagna di prove di slump, ha dato un risultato non accettabile a causa delle caratteristiche granulometriche del terreno che, prodotto da frantumazione (che comunque realisticamente simula il materiale che esce dalla macchina) si presenta con un'elevata spigolosità dei grani che tendono ad "ingranare" reciprocamente. Inoltre il contenuto di materiale fine del materiale usato nelle prove (come già descritto si intende per fine il materiale passante al setaccio da 1mm) è risultato pari a circa il 19%, leggermente superiore al 12% presente nel materiale usato nelle prove di slump come mostrato nel grafico 5.14.

La sensibilità del sistema a questa variabilità, che comunque potrebbe verificarsi nella realtà, ha suggerito l'esecuzione di una nuova prova (CLS-B) di estrazione nella quale sono stati aumentati i dosaggi relativi a schiuma ed acqua di cui sono stati riportati i risultati.

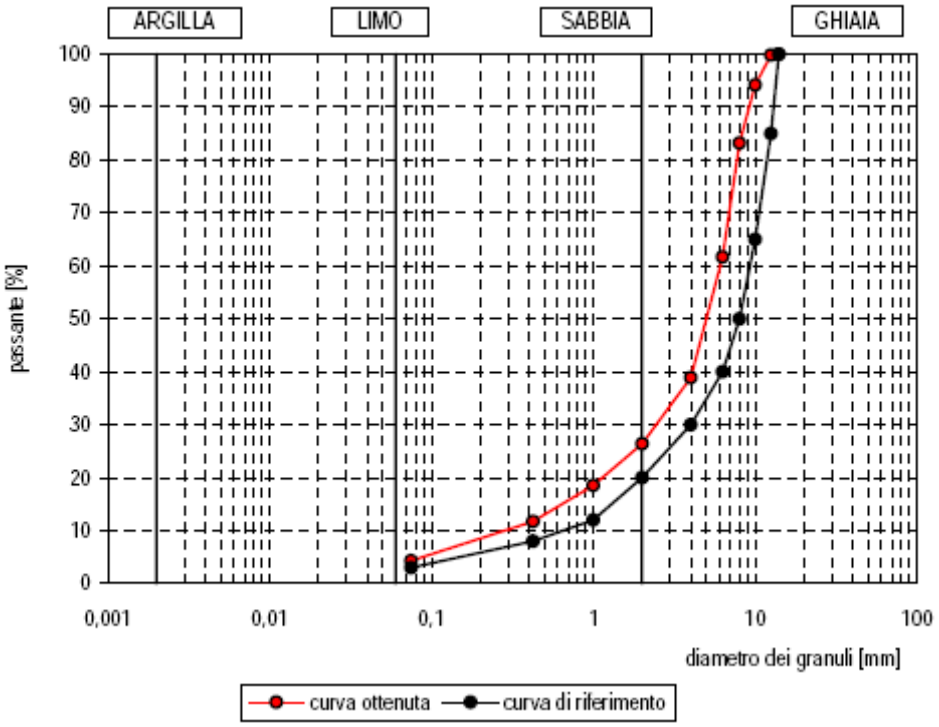


Grafico 5.14 – Confronto tra la curva granulometrica del campione utilizzato per la prova CLS, in rosso, e quello utilizzato per la campagna di prove di slump, in nero.

La differenza tra i campioni utilizzati nelle diverse fasi della ricerca ha portato quindi al risultato che il condizionamento definito durante la prima serie di prove è stato insufficiente per una corretta estrazione del materiale. Come dimostra l'esperienza maturata in anni di ricerca dagli scriventi (Borio L., 2010), la granulometria è un fattore determinante per la definizione di un corretto set di parametri di condizionamento.

Per questo motivo, poiché le operazioni di scavo possono produrre un marino con caratteristiche granulometriche differenti in funzione della spinta applicata alla testa, alle condizioni di usura degli utensili e di quelle che sono le naturali variazioni della massa rocciosa, è da tenere comunque in considerazione il risultato della prova di estrazione descritta. Nell'ottica di completare e rendere più attendibile il lavoro di ricerca sono state effettuate altre prove di caduta al cono di slump, sia per verificare l'effettiva differenza di comportamento tra i due campioni utilizzati, sia per definire un set di parametri di condizionamento che permetta al materiale utilizzato di dare risultati ottimali anche in una prova di estrazione.

I risultati di questa seconda serie di prove di slump sono riportati nella tabella 5.7.

Sulla base di queste prove si ritiene opportuno effettuare la seconda prova di estrazione con FIR=75%, FER=15 e w=7%.

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m^3]	FER	FIR	Additivo aggiunto [l/m^3]	Slump	Commenti	Foto
5	75	15	80	1,07	..		
7	105	15	70	0,93	--		
5	75	15	80	1,07	--		
7	150	15	70	0,93	--		

Tabella 5.7 – Prove di slump integrative effettuate sulla formazione dei calcescisti.

5.3.4 Prova CLS-B

Pressioni all'interno della camera.

La pressione teorica iniziale all'interno del serbatoio è stata impostata pari a 90 kPa, che corrisponde ad una pressione della centralina oleodinamica di circa 30 bar. Nello sviluppo della prova, considerate la buona estrazione del materiale dalla camera tale pressione è stata mantenuta costante.

Il tempo di applicazione della pressione è di circa 300s, e precisamente tra il tempo di prova 111s e il tempo di prova 410s.



Figura 5.6 - Pressione applicata dalla pompa oleodinamica durante la prova CLS- B.

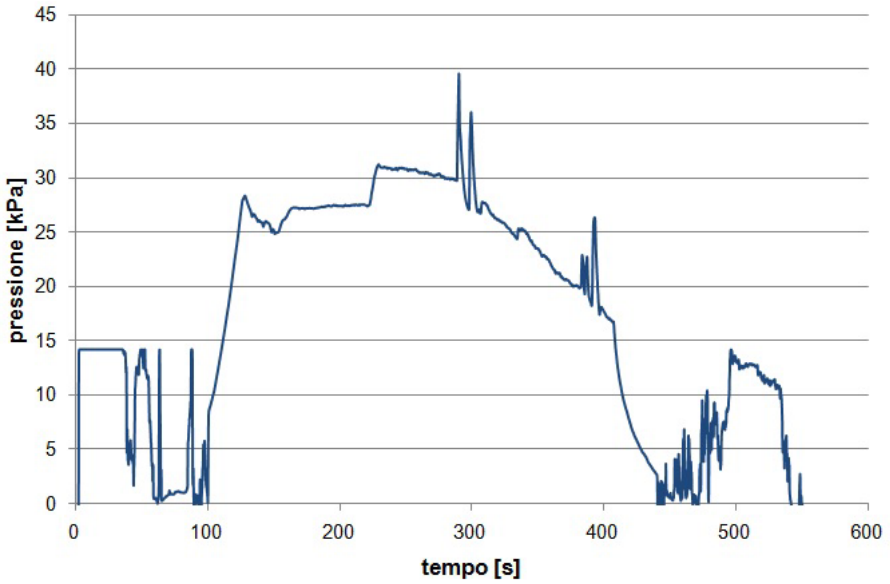


Grafico 5.15 - Andamento delle pressioni registrate dalla cella superiore nel serbatoio durante la prova CLS-B

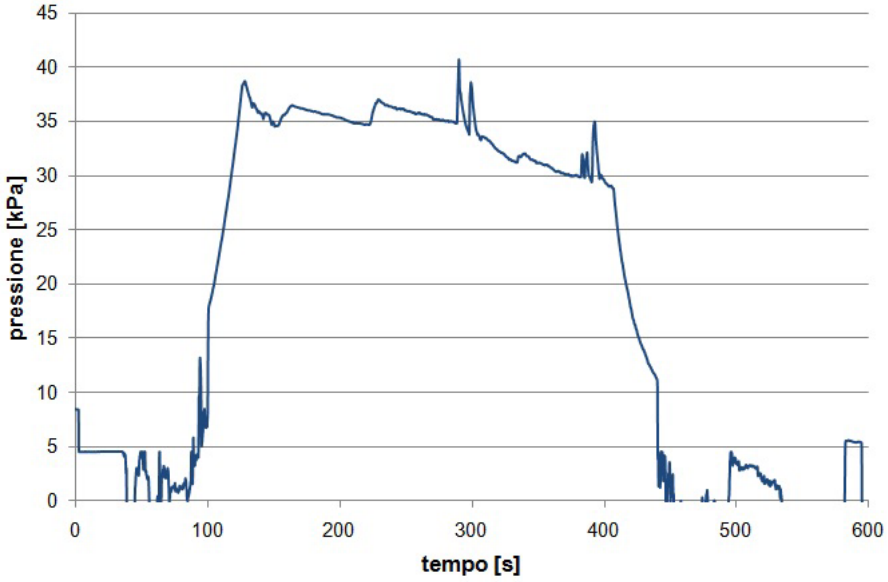


Grafico 5.16 - Andamento delle pressioni registrate dalla cella inferiore nel serbatoio durante la prova CLS-B

Come si può notare dal confronto tra i grafici relativi alle due celle di pressione che attrezzano il serbatoio, la trasmissione della pressione da parte del materiale è decisamente buona, dal momento che, ad ogni variazione della pressione nella parte superiore corrisponde una variazione della pressione sul fondo. Chiaramente le variazioni risultano molto più accentuate nel grafico relativo alla cella superiore a causa dell'inevitabile effetto di smorzamento dato dal terreno condizionato.

Coppia della coclea

La coppia richiesta alla coclea per l'estrazione del terreno condizionato presenta un valore iniziale variabile tra i 10 ed i 20 Nm. Durante lo riempimento della coclea il valore è cresciuto fino ad un massimo di circa 180 Nm. Si può notare dal confronto con i grafici relativi alla pressione in camera, che la coppia registrata sale fino al momento in cui aumenta la pressione trasmessa al materiale. La causa di questo andamento parallelo di coppia e pressione è causato da una compattazione del materiale durante l'applicazione della pressione che rende difficoltoso il movimento della coclea fino a che si ha la stabilizzazione della pressione nel serbatoio e quindi si riduce l'effetto di ingranamento e compattazione del materiale. Una volta smaltito il materiale estratto in questa fase "transitoria", il valore di coppia si attesta intorno ai 20 Nm fino a fine prova.

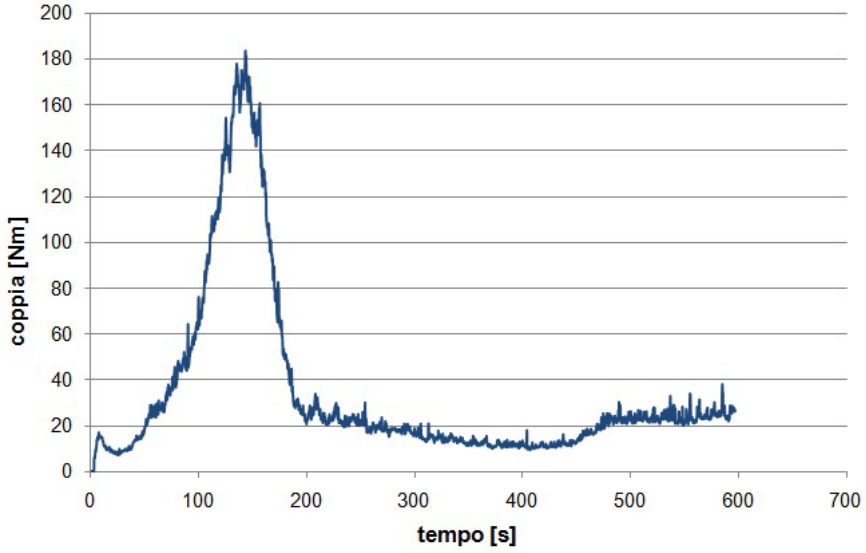


Grafico 5.17 - Coppia assorbita dalla vite della coclea durante la prova CLS-B

Spostamento del piattello di carico

Il grafico 17 riporta l'andamento dello spostamento del piattello di carico ed è evidente come la corretta estrazione del materiale da parte della coclea consenta un abbassamento lineare e costante durante la prova. In seguito all'abbassamento iniziale per entrare in contatto con il materiale (circa 250mm) il piattello si abbassa con un gradiente di avanzamento pari a 1,33 mm/s.

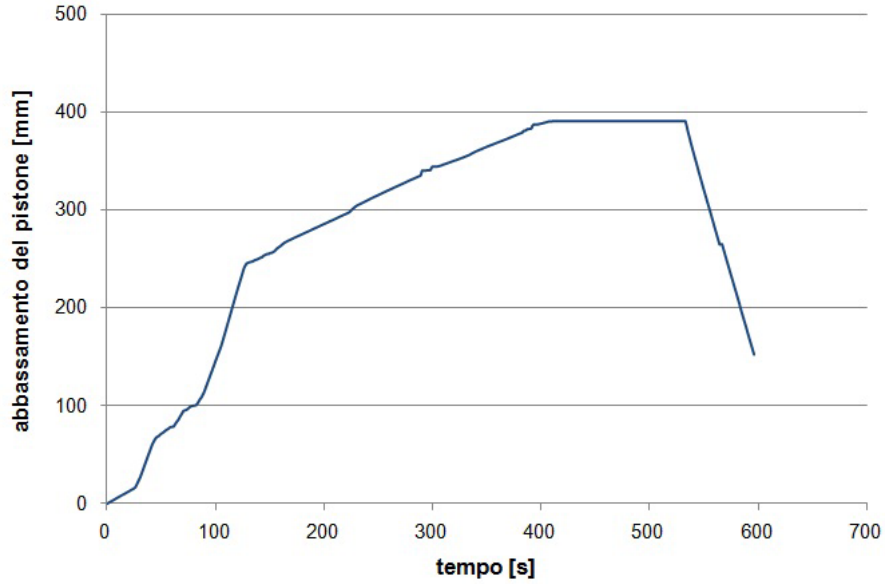


Grafico 5.18 - Spostamento del piattello di carico durante la prova CLS-B

Peso del materiale estratto

Il grafico 12 indica come l'estrazione del materiale dalla coclea sia stata piuttosto efficiente e costante. Il peso del materiale estratto dalla camera in pressione durante la prova è di circa di 53 kg.
Il δpeso medio di tutta la prova è pari a 0,17 kg/s.

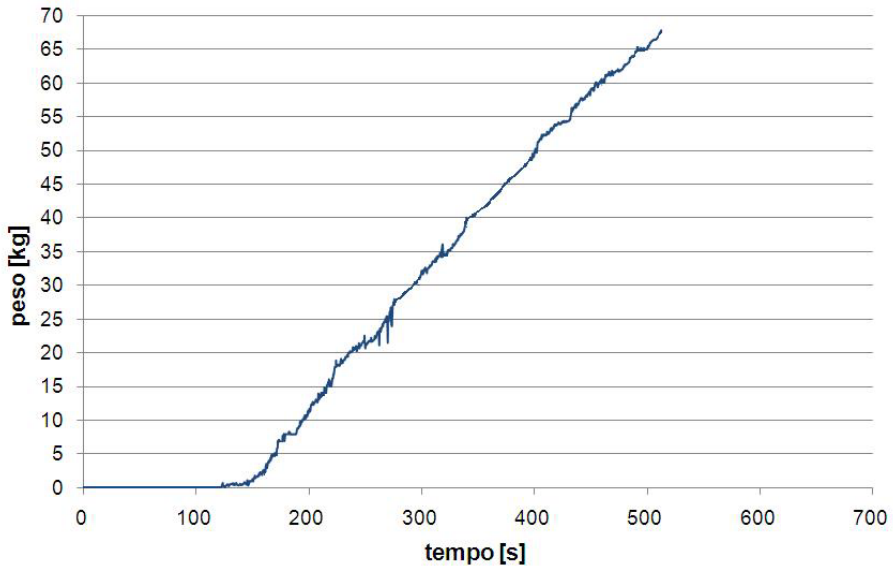


Grafico 5.19 - Peso del terreno estratto durante la prova CLS-B

Pressioni lungo la coclea

Le pressioni registrate dai sensori mostrano un andamento piuttosto simile a quello dato dalla sabbia condizionata fino a quando vien applicata pressione al materiale, presentando quindi una graduale riduzione della pressione esercitata dal materiale nell'avvicinarsi all'uscita della coclea, mentre quando la pressione viene azzerata, dopo t=440s si verifica invece una graduale inversione dei valori e questi cessano di essere significativi ai fini della prova.

I picchi sono presumibilmente dovuti alla presenza di grani di maggiori dimensioni rispetto alla matrice del terreno che passano sulla cella di pressione sollecitandole in modo anomalo.

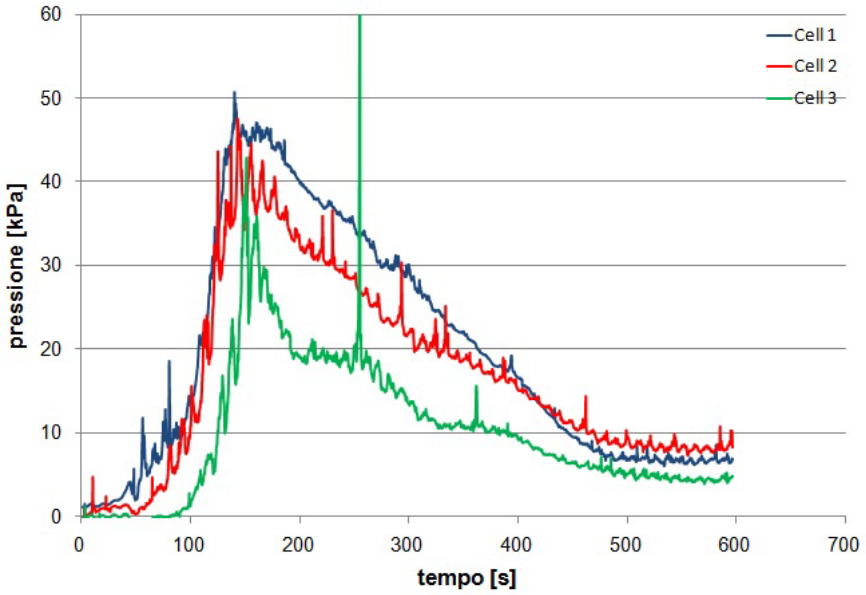


Grafico 5.20 - Andamento delle pressioni lungo coclea durante la prova CLS-B

Slump test eseguiti sul materiale oggetto di prova

Durante la fase di caricamento del bidone e durante la prova di estrazione mediante coclea sono state eseguite alcune prove di slump, finalizzate a valutare le condizioni di plasticità del materiale estratto prima e dopo l'estrazione attraverso la coclea.

La tabella 5.7 riassume i risultati ottenuti, i quali indicano che il materiale, che prima dell'estrazione con coclea ha un comportamento un po' troppo fluido, a seguito dell'estrazione, ha un comportamento buono per quel che riguarda le caratteristiche di plasticità e di abbassamento al cono, con un leggero eccesso di schiuma, ad eccezione della prima quota parte di materiale estratto, che risulta più asciutto.

Ordine dello slump	Abbassamento al cono [cm]	Fotografia
#1 Prima dell'estrazione	20	
#2 Dopo l' estrazione	17	

#3 Dopo l'estrazione	19	
#4 Dopo l'estrazione	22	
#5 Dopo l'estrazione	17	
#6 Dopo l'estrazione	21	

Tabella 5.8 - Risultati ottenuti dalle prove di abbassamento al cono di slump - Prova CLS-B

5.3.5 Commenti alla seconda prova di estrazione (CLS-B) effettuata sulla formazione dei calcescisti.

Dall'analisi dei risultati, già presentati nei precedenti paragrafi, è chiaro come il materiale condizionato con i parametri di cui alla prova CLS-B sia idoneo all'estrazione da camera in pressione.

6. Conclusioni

La ricerca sperimentale presentata nel presente rapporto ha come obiettivo la verifica dell'applicabilità, nello scavo della gallerie del progetto "Gronda di Genova", della tecnologia EPB.

La fattibilità di questa tipologia di macchina di scavo è stata valutata mediante l'uso delle seguenti prove di laboratorio: prove di slump e prove di estrazione da camera in pressione mediante coclea con l'attrezzatura sviluppata dal TUSC - "Centro di Ricerca e Laboratorio per le Gallerie e lo Spazio Sotterraneo" del DITAG del Politecnico di Torino.

La prima fase dello studio ha richiesto lo svolgimento di una ricerca bibliografica finalizzata alla definizione della curva granulometrica del materiale prodotto dalla testa di scavo. Su questa base sono state definite le curve granulometriche dei materiali da sottoporre a prova.

Per quanto riguarda la simulazione del quantitativo d'acqua negli ammassi rocciosi che la macchina di scavo incontrerà lungo il tracciato, esso è stato valutato in via preliminare accettando un certo grado di variabilità. È comunque noto che aumentando l'acqua il materiale ha una maggiore fluidità e quindi una migliore condizionabilità. Questi valori sono stati ottenuti in laboratorio addizionando acqua al materiale frantumato contestualmente alla miscelazione con la schiuma. Durante lo scavo, comunque, sarà relativamente facile, se il materiale risultasse troppo asciutto, addizionare acqua dalla macchina all'interno della camera di scavo mediante le pompe che so no presenti in tutte le macchine di nuova generazione, per raggiungere le condizioni di umidità idonee.

Dopo aver illustrato in premessa i criteri con cui sono state definite le condizioni di partenza delle prove effettuate, laddove queste non erano determinabili con certezza, lo studio, come descritto nei capitoli precedenti, ha permesso di verificare che per tutte le formazioni litologiche studiate, aggiungendo adeguati contenuti di schiuma, ottenere un materiale dal comportamento meccanico in grado sia di applicare pressione (come richiesto dalla tecnologia EPB) sia di essere estratto mediante coclea da una camera in pressione.

I risultati ottenuti a seguito delle due campagne di prove hanno portato ad ottenere i valori attorno ai quali si sono ottenuti i migliori risultati del condizionamento, sulla base delle granulometrie e delle condizioni di laboratorio. Questi valori sono:

Materiale	**w_{agg}**	**w_{agg}**	**c**	**FER**	**FIR**	**$Q_{additivo_agg}$**	**Pressione teorica nella prova di estrazione a coclea**
-	[%]	[l/m^3]	[%]	[-]	[%]	[l/m^3]	[kPa]
Calcescisti e Serpentiniti	7	105	2	15	75	1,00	90
Argilloscisti	5	75	2	15	70	0,93	90

Con i valori sopra indicati si indicano i livelli di condizionamento che ragionevolmente possono essere rappresentativi dei casi in esame e da utilizzarsi per i test preliminari di tipo ambientale.

7. Bibliografia

1. Anagnostou G., Kovari K. (1996), Face stability conditions with Earth-pressure balanced Shields, Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 11, No. 2, Pergamon – Oxford, pp. 165 – 173

2. ASTM C143/C 143M – 00 (2003), Standard test method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.

3. Bezuijen A., Schaminee P.E.L., Kleinjan J.A. (1999), Additive testing for earth pressure balance shields, Proc. of 12th Eur. conf. on Soil Mech. And Geotech. Engng., Amsterdam, June 1999, Balkema, Rotterdam, pp. 1991 - 1996

4. Boone S.J., Artigiani E., Shirlaw J.N., Ginanneschi R., Leinala T., Kochmanova N.(2005), Use of ground conditioning agents for Earth Pressure Balance machine tunnelling, Congrès international de Chambéry - Octobre 2005, AFTES, pp. 313-319

5. Borghi X., Merrit A., Pena M. (2003), Easing the way-soil conditioning, Tunnels & Tunnelling international, June 2003, pp. 48 – 50

6. Borio L., Oggeri C., Peila D., Pelizza S. (2007), Determinazione del comportamento del terreno condizionato per EPBS mediante la prova di slump test, Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, pp. 35-44, Vol. 82. (in italian)

7. Borio L., Chieregato A., Picchio A., Peila D. (2010), studio della permeabilità di terreni condizionati con schiume, GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA, pp. 6, 2010, Vol. XLVII, pagine da 75 a 80, ISSN: 1121-9041

8. Borio L., Picchio A., Chieregato A., Peila D., Pelizza S., Tanzi A., Marchionni M., Tanzini M., Sanfilippo R., Mele P. (2011), Studio di fattibilità per l'applicazione in roccia di EPB, Gallerie e opere in sotterraneo, 2011

9. EFNARC (2005), Specification and guidelines for the use of specialist products for Mechanized Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock, EFNARC recommendations

10. Jancsecz S., Krause R., Langmaack L. (1999), Advantages of soil conditioning in shield tunnelling: experiences of LRTS Izmir, Challenges for the 21st Century, Alten et al (eds), 1999, Balkema-Rotterdam, pp. 865 - 875

11. Langmaack L. (2002), Soil conditioning for TBM: chances & limits, Aftes - Journées d'études internationales -Toulouse - Octobre 2002, AFTES, pp. 207 - 209

12. Leinala T., Grabinsky M., Delmar R., Collins J.R. (2000), Effects of foam soil conditioning on EPBM performance, North American Tunneling '00, Ozdemir (ed.), Balkema, Rotterdam

13. Maidl, B., Herrenknecht, M. and Anheuser, L. (1995), Mechanised Shield Tunnelling , Ernst&Sohn, Berlin, p.428.

14. Mair R., Merritt A., Borghi X., Yamazaki H., Minami T. (2003), Soil conditioning for Clay Soils, Tunnels & Tunnelling International, April 2003, pp. 29 - 33

15. Merritt, A. and Mair, R.J. (2006), Mechanics of tunnelling machine screw conveyor: model tests, Geotechnique, Vol. 56, pp. 605-615.

16. Peila, D., Oggeri, C. and Vinai, R. (2007), Screw Conveyor Device for laboratory tests on conditioned soil for EPB tunnelling operations, Journal of Geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE, Vol.133 , pp. 1622-1625.

17. Peila D., Oggeri C., Borio L. (2008), Influence of granulometry, time and temperature on soil conditioning for EPBS applications., In: Underground Facilities for Better Environment and Safety, Aravali Printers & Publishers (IND), 34th World Tunnel Congress

2008 - Underground Facilities for Better Environment and Safety, Agra 22-24 September, pp. 881-891, 2008, Vol. 2

18. Peila D., Oggeri C., Borio L. (2009),Using the slump test to assess the behavior of conditioned soil for EPB tunneling, Environmental & Engineering Geoscience, , pp. 167-174, 2009, Vol. XV (3)

19. Peña M. (2003), Soil conditioning for sands, Tunnels & Tunnelling international, July 2003, pp. 40 - 42

20. Quebaud S., Sibai M., Henry J.P. (1998), Use of chemical foam for improvements in drilling by earth pressure balanced shields in granular soils, Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 13, No.2 Pergamon – Oxford, pp. 173 – 180

21. Vinai R. (2004), Screw conveyor performance tests, Internal report - University of Oxford - unpublished

22. Vinai, R., Oggeri, C. and Peila, D. (2007), Soil conditioning of sand for EPB applications: A laboratory research, Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 23(3), pp. 308-317.

23. Vinai R., Borio L., Peila D., Oggeri C., Pelizza S. (2008), Soil conditioning for EPB Tunnelling, T&T INTERNATIONAL, , Vol. XII,

24. Williamson G.E., Traylor M.T., Higuchi M. (1999), Soil conditioning for EPB shield tunneling on the South Bay Ocean Outfall, RETC proceedings 1999, ch. 51, pp. 897 - 925

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie

ALLEGATO 1

RICERCA BIBLIOGRAFICA IN MERITO ALLA GRANULOMETRIA DEL MATERIALEABBATTURO DA UNA MACCHINA DI DISCHI DA ROCCIA IN MATERIALI ROCCIOSI COESIVI

Il presente allegato riporta lo studio relativo alla valutazione delle curve granulometriche del materiale scavato da una fresa a piena sezione da roccia con tecnologia EPB.
Questa analisi ha lo scopo di portare alla definizione della curva granulometrica della roccia frantumata da usare per i successivi studi di condizionamento, in quanto, come ben noto, la curva granulometrica del materiale condiziona i parametri del condizionamento.
Per la presente fase dello studio si sono reperiti dati di interesse da diverse fonti: articoli scientifici, libri, tesi di laurea e informazioni personali le quali hanno consentito di evidenziare che nello scavo con TBM da roccia, nella gran maggioranza dei casi, la percentuale di passante <1mm (che è particolarmente importante per il condizionamento) è sempre superiore al 10% attestandosi su valori medi contenuti tra il 12% e il 20%.
Si osserva invece che la percentuale di materiale inferiore ai 2cm è estremamente variabile in quanto è direttamente legata alle caratteristiche di resistenza della roccia e alla spaziatura dei dischi, ma comunque riferendosi ai calcari si hanno valori compresi tra il 40% ed il 90%. Nel caso del cunicolo esplorativo della galleria Vaglia si osservano valori compresi tra 80% e 90%.
Da questi risultati appare ragionevole adottare le condizioni del marino ottenuto nel laboratorio DITAG con frantumatore a mascelle in quanto la curva granulometrica appare adeguata ai fini dello studio. Le curve granulometriche ottenute sono riportate nei grafici 1 e 2.

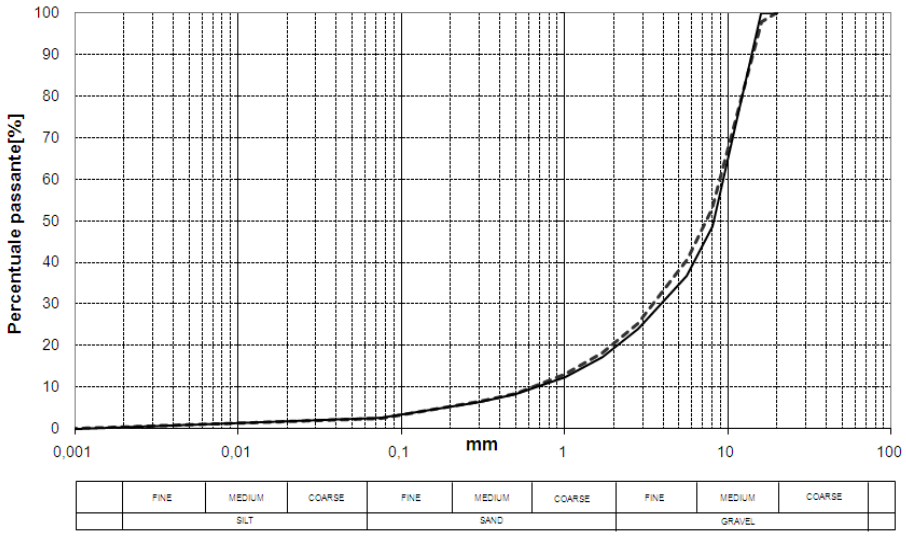


Grafico 1 – Curva granulometrica della formazione dei calcescisti.

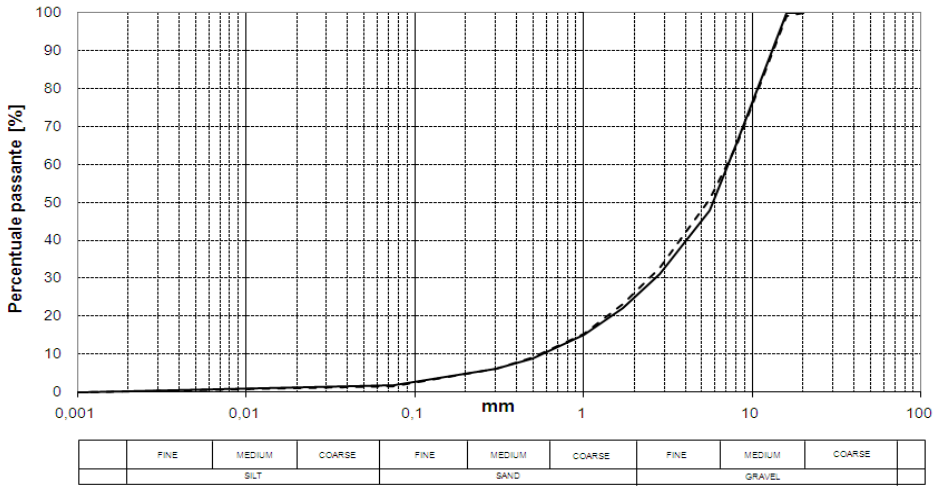


Grafico 2 – Curva granulometrica della formazione degli argilloscisti.

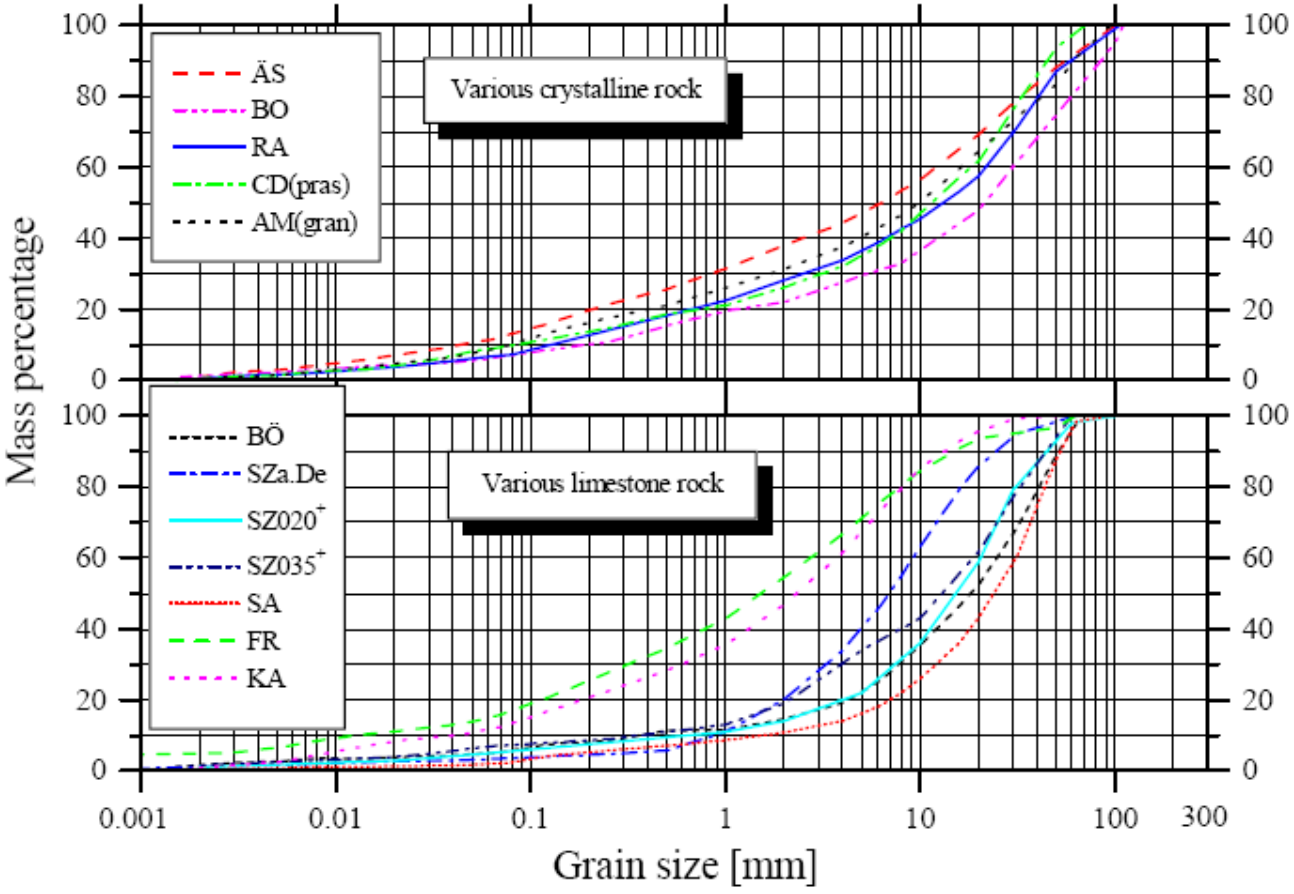
SINTESI DEI DATI DISPONIBILI

Nel seguito sono sinteticamente riportati i dati reperiti e la fonte da cui sono stati estratti.

CASO 1

Dott. Cedric N Thalmann-Suter (1999), "Concrete aggregate production with TBM-muck", Büro für Ingenieurgeologie AG, non pubblicato disponibile sul sito web: http://www.b-i-g.ch/publikationen/MBW_AT_Tagung_Dundee_99.pdf.

Nel lavoro sono riportate le curve granulometriche del materiale in uscita da TBM da roccia per 10 gallerie in Europa, sia per rocce a struttura cristallina (5 gallerie), sia per calcari (5 gallerie). Non sono disponibili i dati di targa delle macchine considerate.
Si osserva che la percentuale di passante in peso al millimetro è compresa tra il 20% e il 33% per le rocce cristalline e tra il 9% ed il 45% per i calcari.



Legenda (localizzazione delle gallerie dove sono stati effettuati i campionamenti)

Grafico superiore
ÄS: Äspö (S) ; BO: Bolzano (I); RA: Randa (CH) CD: Cleuson-Dixence (CH);

Grafico inferiore
BÖ: Bözberg (CH); SZ: Senceboz (CH); SA: Sachseln (CH); FR: Frutigen (CH); KA: Kandersteg (CH)

Grafico 3 - Curve granulometriche del materiale relativo al Caso 1

Nello stesso articolo si riporta una tabella che mette a confronto diverse tecniche di scavo di gallerie dal punto di vista della granulometria del materiale scavato da cui si può osservare che, secondo questi autori, l'utilizzo di TBM con dischi porta ad avere un materiale scavato con granulometria più fine, com'è logico aspettarsi e ad una maggiore percentuale di materiale con dimensioni inferiori ai 4 mm dell'ordine del 15-50% rispetto all'intero abbattuto.

Type of tunnelling method	Cutting disc spacing	0/4mm	>32mm	>100mm
	[mm]	Min.-max. values [mass-%]		
Conventional drill and blast (crystalline rock)	-	2-5	85-95	75-85
Back cutting technique (sandstone)	-	15-20	65-75	45-60
Roadheader drive (Jura limestone)	-	15-40	5-35	0-5
TBM with bits cutter	60-70	30-50	2-20	0
TBM drive with disc (sediments, crystalline rocks)	65-90	15-50	5-50	0-10
TBM drive with enlarged cutting roller spacing (Plutonit) [2]	86	45	20	0
	129	40	30	5
	172	20	35	15

Tabella 1 – Sintesi frazioni granulometriche in funzione del metodo di scavo

CASO 2

Q.M. Gong, J. Zhao, Y.S. Jiang, (2007), "In situ TBM penetration tests and rock mass boreability analysis in hard rock tunnels", Tunneling and Underground Space Technology, 22 (3), 303-316.
L'articolo riporta i risultati di test di penetrazione nello scavo con TBM di diametro 4,90m sviluppati nell'ambito dei lavori per la realizzazione del "deep tunnel sewerage system" a Singapore, nei lotti T05 e T06. La curva granulometrica che verrà in seguito riportata si riferisce ai test condotti nel lotto T05 all'interno di un granito con resistenza a compressione monoassiale pari a 173 MPa e resistenza a trazione, misurata con prova Brasiliana, pari a ~10,5 MPa.
La TBM è una macchina prodotta dalla Herrenknecht con diametro di 4,90 m con testa equipaggiata sia con utensili da roccia dura, sia da terreno.

Design of the penetration test in T05 tunnel

TBM penetration test	Thrust level (%)	Thrust force in main cylinder (kN)	Average thrust force in steering cylinder (bar)	Test time (min)	Muck samples (>30 kg)
Step 0	100	9200	165	5	Yes (No. 0)
Step 1	40	3896	95	10	Yes (–)
Step 2	50	4870	100	10	Yes (–)
Step 3	60	5633	103	10	Yes (No. 3)
Step 4	70	6453	108	10	Yes (No. 4)
Step 5	80	7450	121	10	Yes (No. 5)
Step 6	90	8484	142	10	Yes (No. 6)
Step 7	100	9200	165	10	Yes (No. 7)

Tabella 2 – Sintesi delle prove eseguite nel caso studio 2

TBM cutter wear conditions in T05 penetration test

Tool type	Tool position	Tool wear (mm)
Double cutters	1/3	10/6
	2/4	8/6
	5/7	5/4
	6/8	10/12
Face single cutters	9	1
	10	14
	11	8
	12	9
	13	12
	14	15
	15	13
	16	14
	17	15
	18	7
	19	7
	20	1
	21	9
Transition single cutters	22	0
	23	15
	24	0
	25	10
	26	1
	27	0
	28	5
	29	8
	30	10
Gauge cutters	31	3
	32a	4
	32b	7

Remarks: the maximum allowable cutter wear is 20 mm. Thus, the overall cutter wear is normal.

Tabella 3 – Posizione degli utensili nelle macchine considerate

Le curve granulometriche del materiale di scavo sono le seguenti. Ogni curva si riferisce ad un test e di conseguenza a differenti valori di spinta.

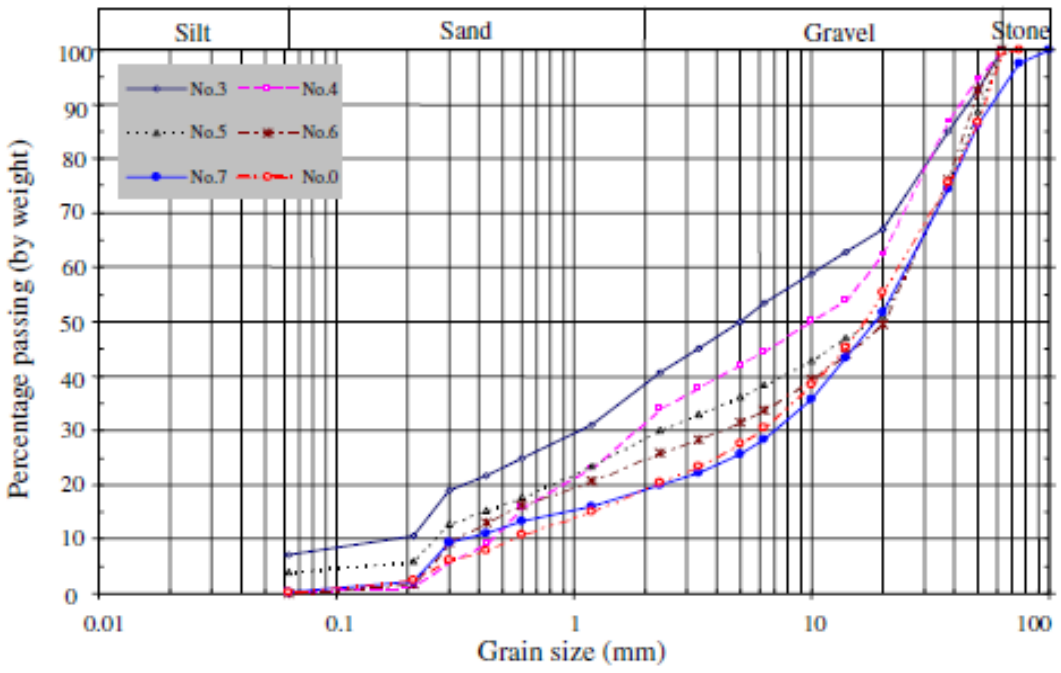


Grafico 4 - Curve granulometriche del materiale relativo al Caso 2.

CASO 3

Hp. Olbrecht, W. Studer (EMPA), (1998), "Use of TBM chips as concrete aggregate", Materials and structures, 31, April, 184 – 187.
Nel lavoro sono riportati i risultati di prove meccaniche su calcestruzzi prodotti utilizzando, come aggregati, materiale di scavo di TBM.
Gli ammassi rocciosi in cui sono state scavate le gallerie, da cui sono stati prelevati i campioni, sono riportati nella seguente tabella 4.

Caso #	Roccia	Punto di prelievo
1	Leventina Gneiss	Galleria esplorativa di Polmengo (CH) tra la progressiva 387m e 390m
2	Scisto calcareo	Zona di Kandertal
3	Gneiss biotitico, scistoso e debolmente porfirico	Galleria esplorativa di Polmengo (CH): progressiva 4600m
4	Scisto calcareo	Gelleria esplorativa di Frutingen: progressiva 1500m
5	Scisto calcareo	Gelleria esplorativa di Frutingen: progressiva 6500m
6	Ghiaia alluvionale	Midland svizzero

Le curve granulometriche relative allo smarino di queste gallerie sono riportate nel grafico 5.

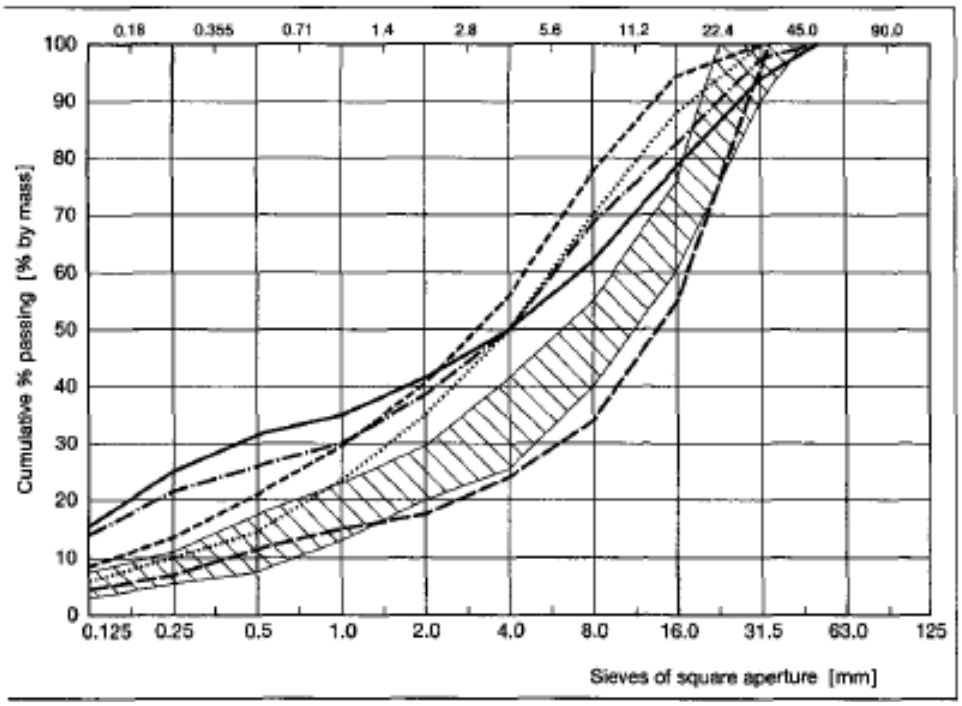


Grafico 5 - Curve granulometriche del materiale relativo al Caso 3.

Si osserva che il parametro <1mm è compreso tra ~ 12% e ~ 35%.

CASO 4

E. Büchi, C. Thalmann, (1994), "Reuse of TBM muck versus cutter spacing", TBM symposium, Stockholm, Sweden.

Nell'articolo sono state correlate la spaziatura degli utensili di una TBM e la pezzatura dello smarino.
Le prove sono state svolte nell'ambito dei lavori per la realizzazione dell'Äspö Hard Rock Laboratory in Svezia che è stato scavato in un granito con resistenza a compressione monoassiale di ~250 MPa.
La macchina utilizzata è una TBM Robbins Jarva MK 15 – 1680/5.0 con diametro di 5m, potenza installata alla testa di 1680 KW, coppia alla testa di 8330 kN ed equipaggiata con 34 utensili a disco da 17"
I risultati hanno portato a definire tre curve in relazione a tre differenti spaziature tra gli utensili comprese tra 86mm (100%), 129mm (150%) e 172mm (200%) e sono sintetizzati nel grafico 6:

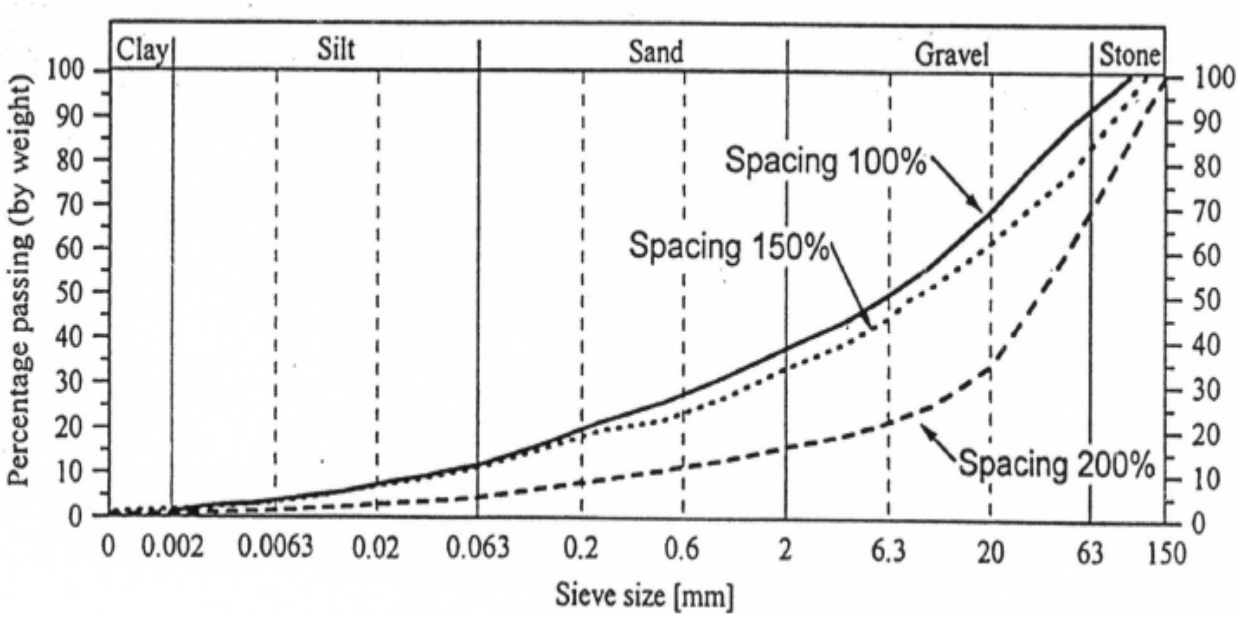


Grafico 6 – Curve granulometriche dei materiali studiati nel caso 4.

Si può osservare che la percentuale di passante inferiore a 1mm oscilla tra il 12% e il 30%.

CASO 5

Maurizio Pepino, (2009) "Scavo meccanizzato di gallerie: previsione qualità del marino nell'ottica del suo riutilizzo", Tesi di laurea, Politecnico di Torino, non pubblicata.
Nel lavoro sono riportati i dati relativi al marino estratto da due diverse gallerie: il cunicolo esplorativo Aica per la realizzazione del tunnel del Brennero e la galleria idoelettrica dell'impianto "La Thuile" in Valle d'Aosta.
Nel primo caso il litotipo in cui è stata scavata la galleria è un granito di buone caratteristiche meccaniche con resistenza a compressione monoassiale di 133 MPa, resistenza a trazione di 8,1 MPa e un RQD compreso tra 70 e 90.La TBM utilizzata per la realizzazione di questa galleria ha un diametro di 6,30m, 45 dischi con spaziatura 70mm di diametro 17", una potenza alla testa di 1960 kW ed una massima spinta su ogni disco di 250 kN. Nel secondo caso la galleria è scavata in calcescisti con resistenza a compressione

monoassiale di 90 MPa, resistenza a trazione di 7,1 MPa e spaziatura delle discontinuità comprese tra 200 e 400mm. La TBM utilizzata aveva diametro di 3,9m, 26 dischi di diametro 16" ¼ con una potenza alla testa di 1000 kW e una massima spinta su ogni disco di 219 kN. La curva granulometrica ottenuta da un campione prelevato dal marino in uscita dal cunicolo esplorativo Aica è riportata nel grafico 7 dalla quale si vede che la percentuale di passante sotto 1mm è dell'ordine del 15%.

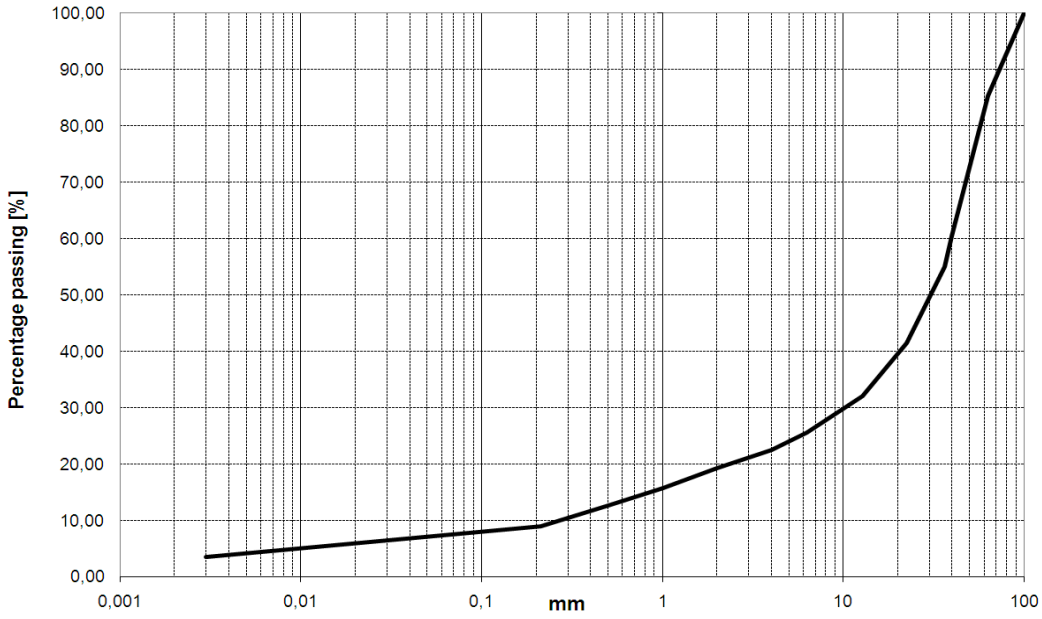


Grafico 7 – Curva granulometrica cunicolo esplorativo Aica

La curva granulometrica ottenuta da un campione prelevato dal marino in uscita dalla galleria idroelettrica dell'impianto "La Thuile" è riportata nel grafico 8 dalla quale si vede che il passante con dimensioni < 1mm sale al 30%.

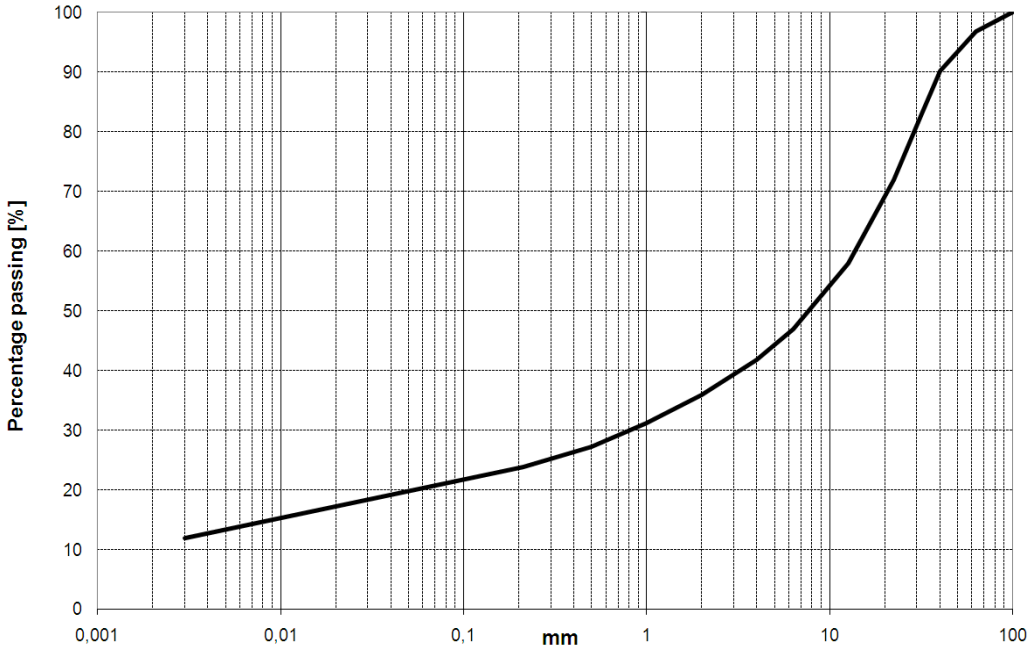


Grafico 8 - Curva granulometrica galleria idroelettrica "La Thuile"

CASO 6

H. Tuncdemir, N. Bilgin, H. Copur, C. Balci, (2008), "Control of rock cutting efficiency by muck size", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 45, 278 – 288.

In questo articolo è stata valutata l'efficienza di scavo di una TBM, in base alle dimensioni del materiale in uscita dalla macchina stessa.
In particolare sono state sviluppate prove nel Tarabya Tunnel a Istanbul, scavato utilizzando una TBM Herrenknecht del diametro di 2,9m, attrezzata con 24 dischi da 13", con una potenza totale installata di 620 kW, una coppia di 725 kNm e velocità di rotazione pari a 16 rpm all'interno di un calcare con resistenza a compressione monoassiale pari a 80 MPa.
La curva granulometrica dello smarino è riportata nel grafico 9 il quale fornisce una percentuale di passante < 1mm dell'ordine del 5-6%.

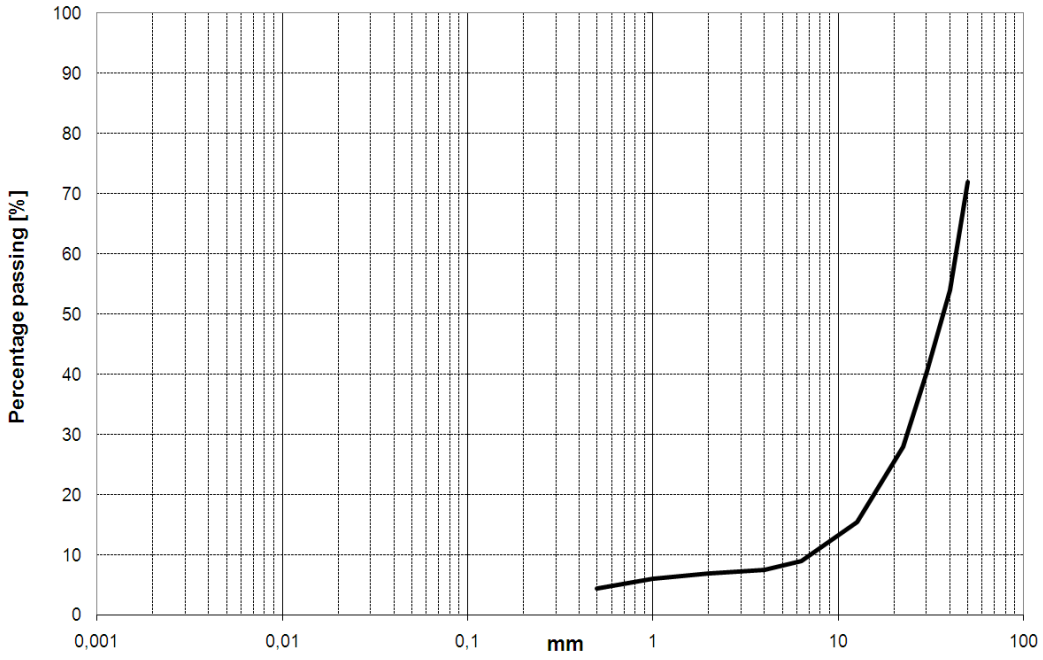


Grafico 9 - Curva granulometrica Tarabya Tunnel

CASO 7

N. Bilgin, T. Özbayir, N. Sözac, Y. Eyigün, (2009), "Factors affecting the economy and the efficiency of metro tunnel derivage with two TBM's in Istanbul in very fractured rock", ITA – AITES World Tunnel Congress 2009, con dati aggiuntivi in merito alle caratteristiche del marino trasmessi personalmente dal Prof. N. Bilgin.
Il litotipo in cui sono state realizzate le due gallerie oggetto degli studi sono calcari aventi resistenza a compressione monoassiale di 32,6 MPa mentre la macchina utilizzata è una TBM Herrenknecht di con diametro 6,57 m, 38 utensili con una potenza installata alla testa di 1260 kW e una spinta massima sugli utensili di 26t.
Le curve granulometriche dello smarino ottenute da prove a diverse progressive lungo il tracciato sono riportate nel grafico 10 di seguito presentata.

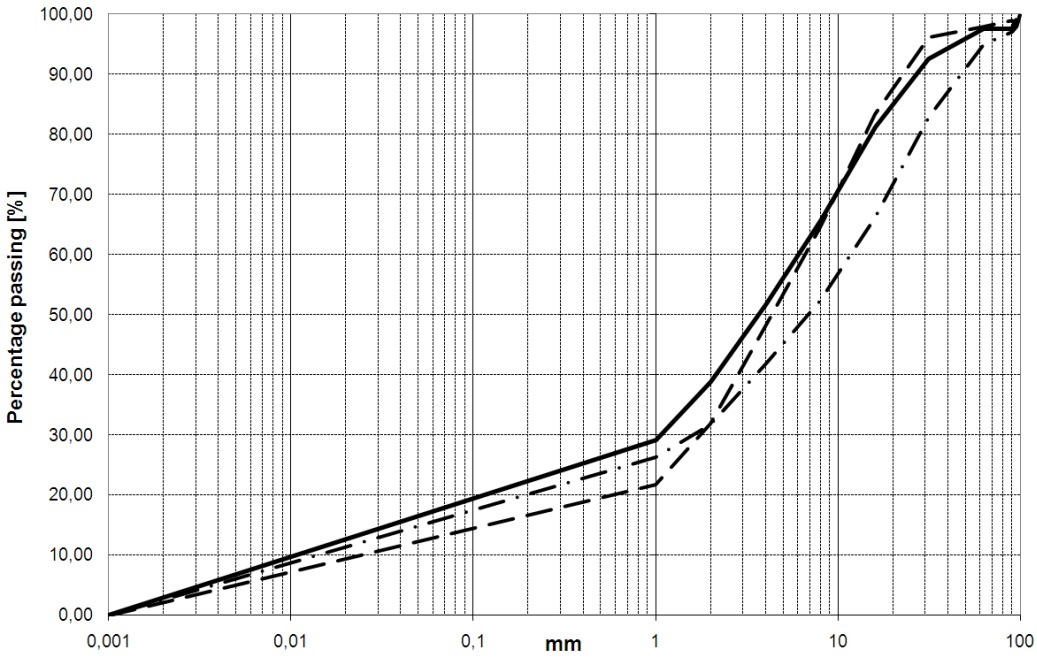


Grafico 10 – Curve granulometriche Elek Tunnel

CASO 8

M. Concilia, R. Grandori, (2004), "New Viola Water Transfer Tunnel", International Congress on Mechanized Tunneling: Challenging case histories, GEAM, Torino, pp.
I dati relativi alle curve granulometriche del marino sono stati ottenuti in gentile concessione dall'ing. Concilia M.
La galleria e il nuovo Canale Viola (Premodio) si sviluppano in formazioni di micascisti, calcari e dolomie.
Lo scavo è stato realizzato con una TBM di 3,70m di diametro con 24 dischi ad interasse 92mm con una potenza installata di 5280 kW e una spinta massima per disco di 220 kN.
Le curve granulometriche dello smarino proveniente da un ammasso roccioso metapelitico-filladico sono riportate nel grafico 11 mentre quelle ottenute in un ammasso al contatto tra micascisti e gneiss sono riportate nel grafico 12.

Dalle curve si osserva che il passante con dimensioni inferiori ad 1mm è compreso, per le metapiliti filladiche tra il 10% e il 40% mentre per i micascisti e gneiss il valore è più basso e dell'ordine di pochi %.

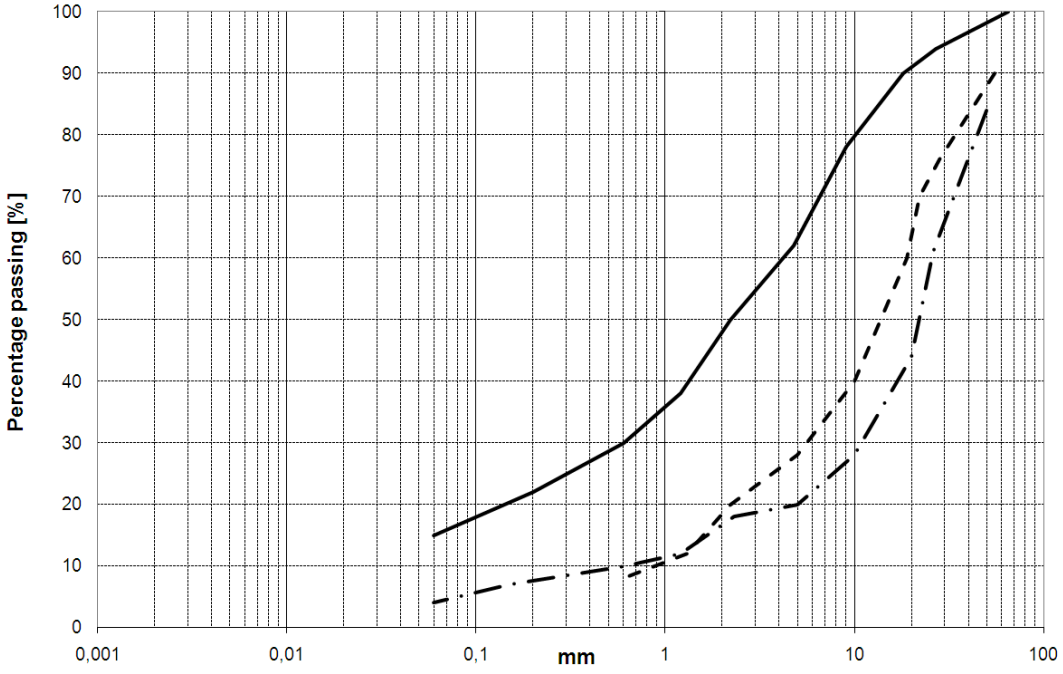


Grafico 11 - Curve granulometriche delle formazioni metapilitiche filladiche

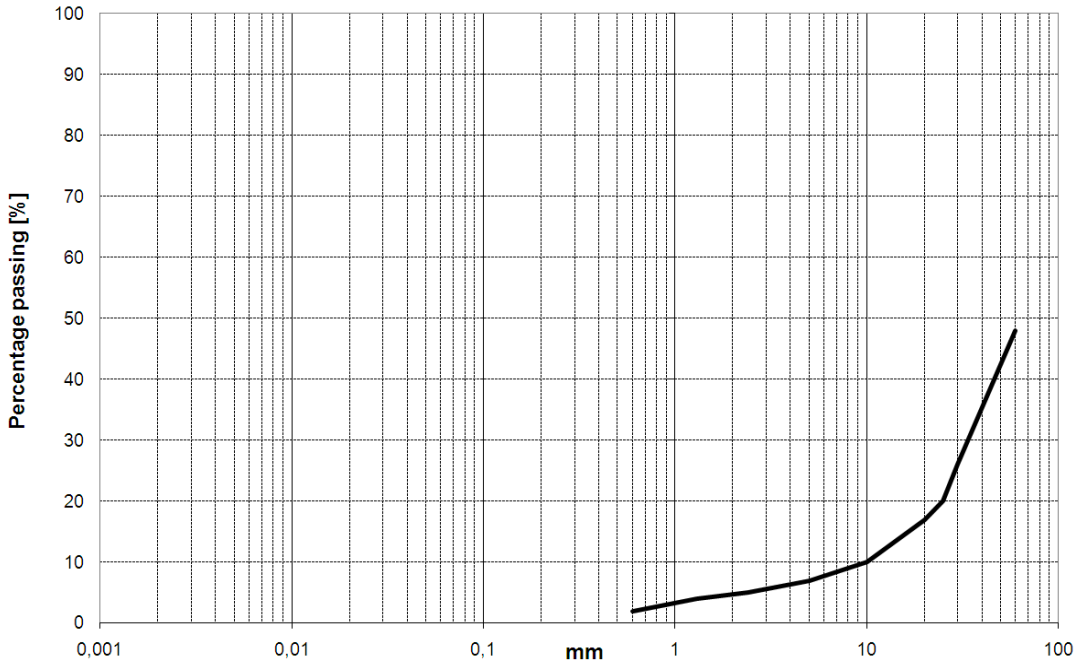


Grafico 12 - Curve granulometriche delle formazioni micascisti-gneiss

CASO 9

Metro di Barcellona. I dati relativi alle curve granulometriche del marino sono stati ottenuti in gentile concessione dall'ing. Della Valle Nicola.
Lo scavo è stato realizzato con una TBM di 5,98m di raggio con dischi da 17" una potenza installata di 12.250 kW e una spinta massima della testa di 13.034 kN. Le formazioni attraversate sono lavagna, scisti, porfido, cornubiana e grano diorite.

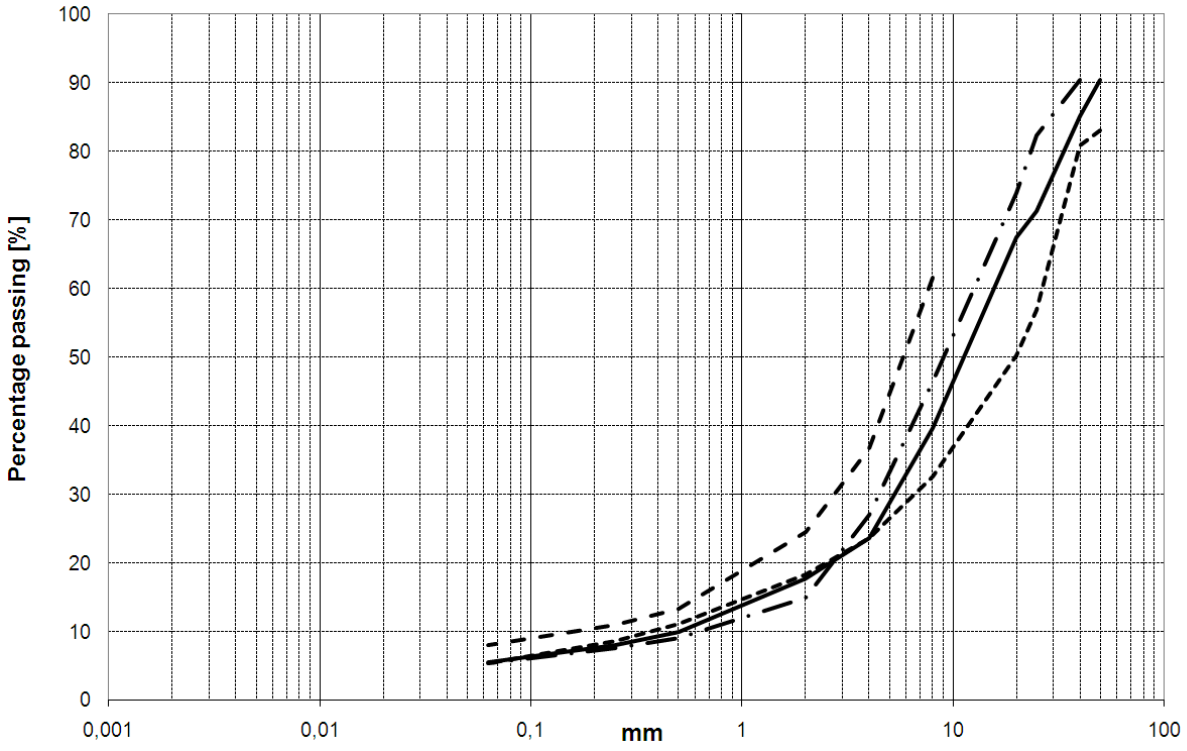


Grafico 13 – Curve granulometriche delle formazioni attraversate nel cantiere di Barcellona.

Dalle curve si osserva che il passante con dimensioni inferiori ad 1mm è compreso tra il 12% e il 20% .

CASO 10

M. Vanarese, P. Vannocci, (2006), "Nuove tecniche di campionamento ed analisi di rocce granulari o coesive da scavo durante i grandi progetti geo-ingegneristici", Giornale di Geologia Applicata, 4, 115-222.

Nel presente articolo sono riportate 5 curve granulometriche ricavate dal marino di scavo del cunicolo esplorativo della galleria Vaglia. Queste curve sono particolarmente importanti perché si riferiscono ad una galleria interamente scavata all'interno del complesso geologico del Monte Morello in cui in parte sarà scavata la galleria oggetto di studio.
Lo scavo è stato realizzato con una TBM di 6,23m di diametro con 43 dischi da 17' di tipo back-loading che accettano una spinta di 250 kN/cad, con una potenza installata di 3000 kW e una coppia di scavo di circa 5 kNm.

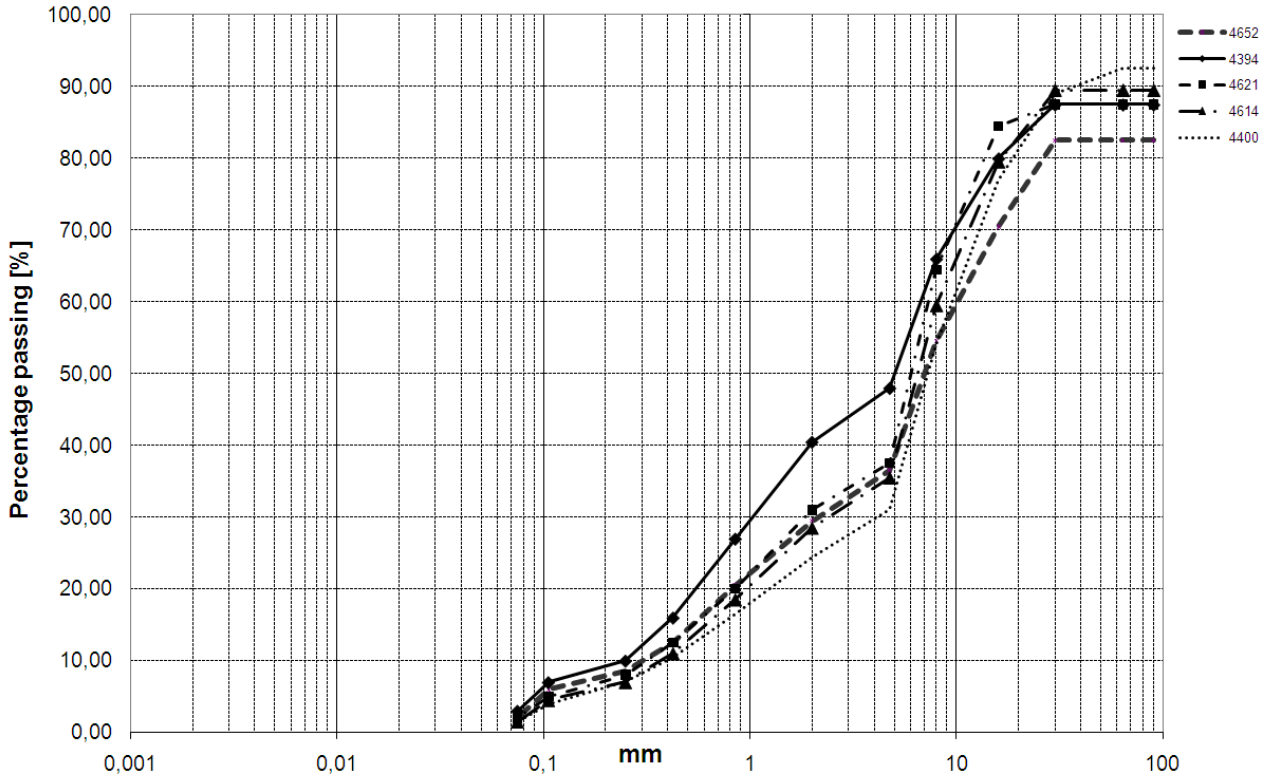


Grafico 14 – Curve granulometriche prodotte dallo scavo della galleria Vaglia

Dall'analisi delle curve granulometriche si evince che il passante < 1mm oscilla tra il 18% e il 28%

CASO 11

Materiale prelevato nel cantiere della galleria di sicurezza del traforo del Gran San Bernardo.

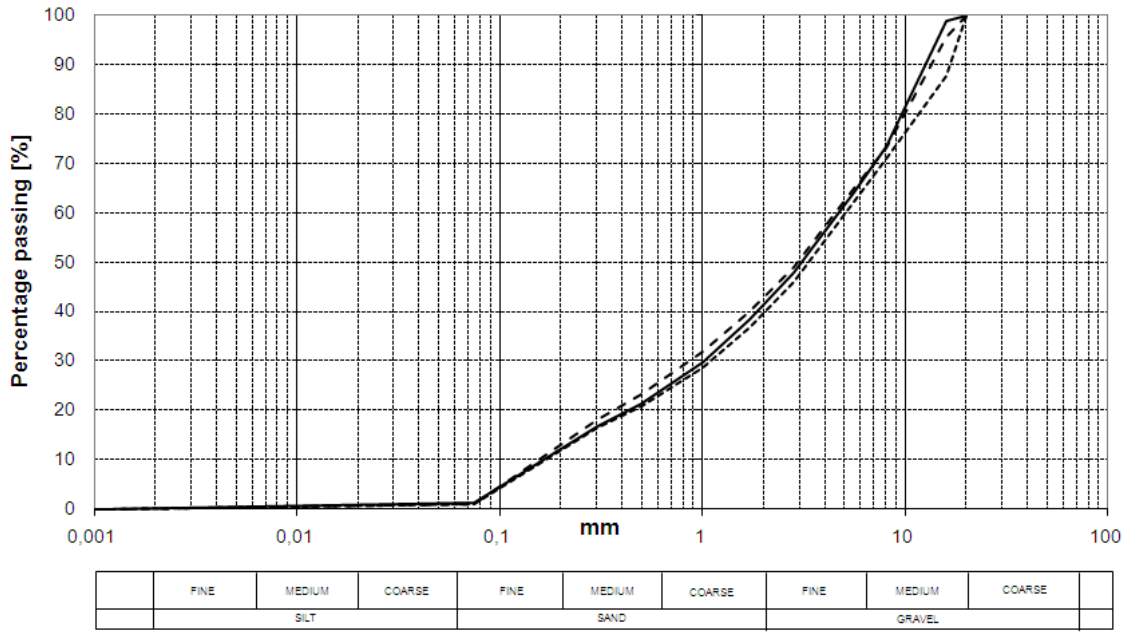


Grafico 15 – Curve granulometriche del materiale prelevato dal cantiere della galleria di sicurezza del traforo del Gran San Bernardo

La roccia scavata del momento in cui è stato prelevato il materiale direttamente dal nastro primario della TBM è un micascisto con una importante componente micacea, ed è per questo motivo che si ha un'elevata quantità di materiale di dimensioni inferiori al millimetro (circa il 30 %).

La spinta primaria media della macchina durante il prelievo è di circa 500 ton, la penetrazione media è di 24 mm/minuto, ma con massimi di 46 mm/minuto e la velocità della testa è pari a 5 rpm.

POLITECNICO DI TORINO

TUSC – Centro di Ricerca e Laboratorio per le Gallerie e lo Spazio Sotterraneo

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie

Contratto di Ricerca tra DITAG – Politecnico di Torino e SPEA Ingegneria Europea S.p.A.

Prove comparative di condizionamento del terreno delle gallerie naturali inserite nei lavori di realizzazione del progetto "Gronda di Genova" per l'applicazione dello scavo meccanizzato di gallerie con tecnologia EPB

RELAZIONE INTEGRATIVA
Prove di permeabilità su calcescisti condizionati

Responsabile scientifico:
Prof. Ing. Daniele Peila

Gruppo di lavoro:

Prof. Ing. Daniele Peila

Ing. Andrea Picchio

Aprile 2011

POLITECNICO DI TORINO

TUSC – Centro di Ricerca e Laboratorio per le Gallerie e lo Spazio Sotterraneo

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie

Premessa

La presente nota, redatta dai sottoscritti Prof. Daniele Peila e Ing. Andrea Picchio, integra la relazione conclusiva del contratto di ricerca tra la SPEA Ingegneria Europea SpA e il DITAG del Politecnico di Torino, datata 20 Aprile 2011, nel quale sono presentate le risultanze delle prove di laboratorio in merito al condizionamento degli ammassi rocciosi attraversati dallo scavo della gronda di Genova.

Prove di permeabilità

La permeabilità è uno dei più importanti parametri che influenzano il comportamento e le prestazioni di una EPB, infatti come chiaramente definito da Anagnostou e Kovari (1996) se esiste un flusso d'acqua tra il terreno e la camera di scavo si instaurano delle forze di filtrazione che possono ridurre le condizioni di stabilità del fronte.

Inoltre la permeabilità del terreno influenza la capacità dello stesso di trasmettere la corretta contro-pressione al fronte. Infatti un basso valore di permeabilità del terreno condizionato permette di controllare la graduale riduzione della pressione lungo la coclea.

Per prevenire il flusso d'acqua all'interno della camera di scavo la permeabilità del materiale condizionato viene consigliato che la permeabilità venga mantenuta al di sotto di 10^{-5} m/s.

La valutazione di questo parametro è molto complicato considerando che l'uso della prova di permeabilità convenzionale non può essere usata in quanto queste prevede che si mantenga il flusso fino a quando quest'ultimo non è costante, ma così facendo, nel caso del terreno condizionato le bolle degli agenti schiumogeni vengono dilavate.

Per questo motivo nel Centro di Ricerca e Laboratorio per le Gallerie e lo Spazio Sotterraneo (TUSC) del Politecnico di Torino è stata messa a punto una prova specifica per valutare il grado di impermeabilità dei materiali condizionati con agenti schiumogeni.

Descrizione della strumentazione di prova

La strumentazione utilizzata per la prova è la seguente (figura 1):

- Cella di permeabilità a battente fisso da 75 mm.
- Serbatoio a livello costante con capacità pari a 2 l.
- Tubo di collegamento tra serbatoio e permeametro con diametro 8 mm.
- Pinzette stringi tubo.
- Cilindro graduato da 1000 ml.

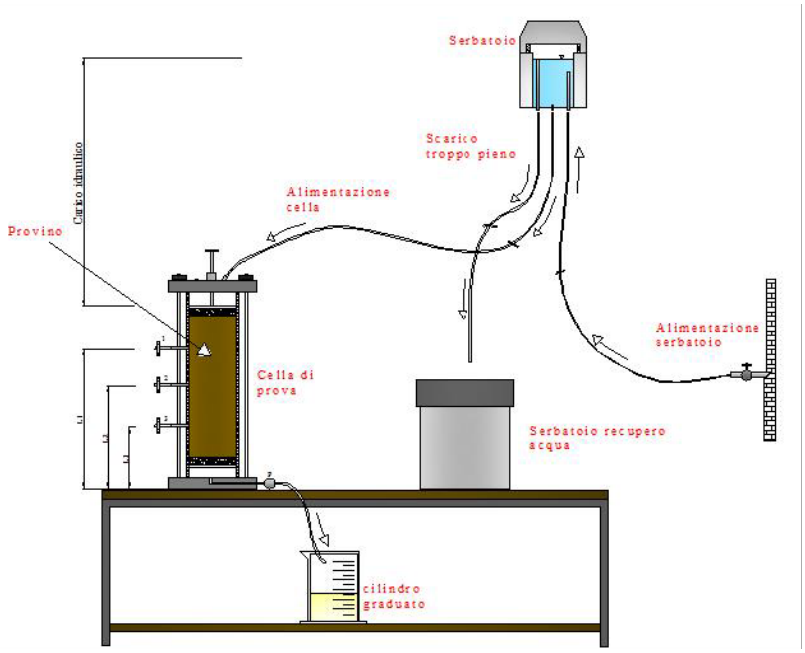


Figura 1 – Schema della strumentazione utilizzata per la prova di permeabilità

Preparazione del campione

Dal terreno originario è stato ottenuto un campione rappresentativo.

Il campione di prova non viene fatto essiccare per non ostacolare la successiva fase di saturazione. Il terreno viene quindi inserito all'interno del cilindro avvalendosi di un imbuto metallico a bocca larga e di una sessola metallica. Ogni prova è stata preparata mediante una compattazione dinamica del campione, allo scopo di ottenere un certo livello di addensamento costante; in questo caso si è adottata una compattazione mediante pestello Proctor, articolata in 8 colpi per ogni strato di terreno dello spessore di 10 cm.

Per la realizzazione di ogni strato all'interno del cilindro si è utilizzata una sessola, rimescolando più volte il materiale prima del prelievo e rovesciandolo all'interno della cella da un'altezza costante, in modo da evitare che le particelle più fini tendano ad addensarsi nelle zone periferiche del singolo strato.

La base del cilindro di prova è collegata tramite un ugello metallico e uno spezzone di tubo ad un cilindro in vetro graduato della capacità di 1 l, al fine di misurare con una certa precisione la quantità di fluido in uscita in seguito alla saturazione. Raggiunto il livello di riempimento desiderato, viene rimosso il materiale in eccesso e si sistema la piastra superiore del permeametro, fissandola al cilindro tramite le viti in dotazione (vedi foto).

Si abbassa quindi il pistone fino a portare la piastra a contatto con il campione e si avvita il collare metallico per fissarne la posizione.

Molto importanti al fine di un corretto funzionamento della prova sono i due filtri, posti rispettivamente in fondo al cilindro (per evitare un dilavamento della porzione granulometrica più fine) e in testa, a contatto con la piastra forata. Prima dell'esecuzione delle misure, si allenta la pinzetta stringi tubo collegata al circuito di ingresso e si apre la valvola inferiore del permeametro in modo da iniziare il moto di filtrazione verticale dall'alto verso il basso.

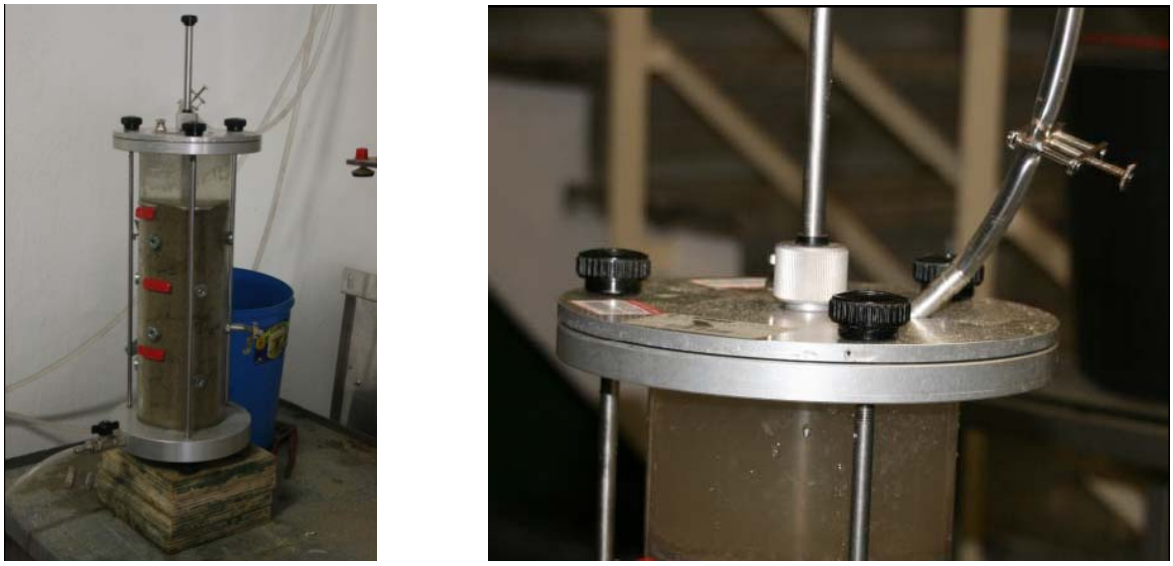


Figura 2 – permeametro pronto per la prova e particolare delle connessioni

Procedura di prova

Considerando la necessità di valutare un indice per i terreni condizionati, il test è stato modificato rispetto alla procedura standard in modo da comparare il comportamento del materiale condizionato e quindi prevenire il passaggio dell'acqua.

Per questa ragione nel test proposto non è stato considerate un flusso costante d'acqua attraverso un materiale saturo, ma una misura di resistenza al passaggio dell'acqua da parte della miscela. Per valutare la differenza tra le diverse miscele si è scelto che l'indice sia il tempo trascorso per il passaggio di 2 litri d'acqua attraverso il campione, e questo è stato chiamato Indice di Impermeabilità (Ii [s]).

Le fasi seguite nella procedura di prova:

• Il campione di terreno, precedentemente miscelato con la schiuma all'interno del mixer, è chiuso all'interno della cella di permeabilità e il piatto viene abbassato in modo da venire a contatto con il materiale testato, senza compattare il campione;

• Il test inizia con l'introduzione dell'acqua a differente pressione all'interno della cella;

• Inizia la registrazione della prova;

• Quando l'acqua inizia ad uscire dalla valvola posizionata in fondo alla cella, la misura del tempo viene fermata (t0);

• Quindi il tempo trascorso per il passaggio di 0,5 litri di acqua all'interno di un cilindro graduato viene misurato e registrato;

• La prova continua fino alla fuoriuscita di 2 litri di acqua e il tempo totale viene registrato;

• Viene misurato il possibile abbassamento del campione all'interno della cella di prova.

Prove effettuate

Per lo studio della permeabilità dei materiali attraversati dalle gallerie della "Gronda di Genova", sono stati effettuati tre test su un campione omogeneo di materiale frantumato fino ad ottenere la curva granulometrica riportata nel grafico 1.

Le tre prove sono state effettuate a differenti livelli di condizionamento nell'ottica di verificare l'influenza degli additivi schiumogeni sulle proprietà di impermeabilità del materiale presente nella camera di scavo.

La descrizione dei parametri delle tre prove e riportata in tabella 1.

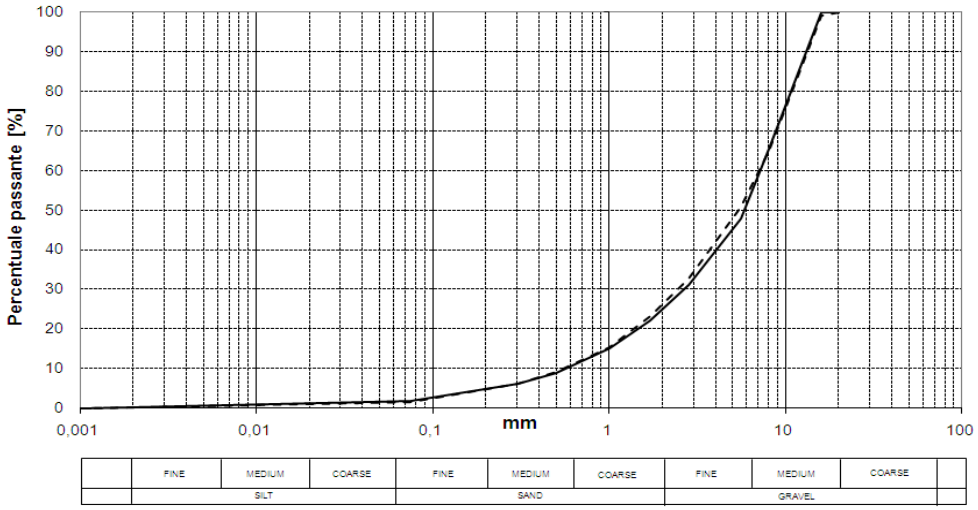


Grafico 1 – Curva granulometrica del materiale sottoposto a prova

Prova	FER [-]	FIR [%]	w [%]	Carico idraulico [m]	Pressione [bar]
1	//	//	//	10	1
2	15	50	5	10	1
3	15	70	5	10	1

Tabella 1 – Sintesi dei test di permeabilità eseguiti

Le prove sono state quindi eseguite sul materiale tal quale con l'obiettivo di valutare la permeabilità di partenza del materiale, e quindi su due campioni condizionati, il primo ai livello ottimali secondo quanto ottenuto dalle prove di slump, il secondo con un condizionamento valutato adeguato per l'estrazione del materiale con coclea da camera in pressione.

Risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono riassunti nel grafico 2.

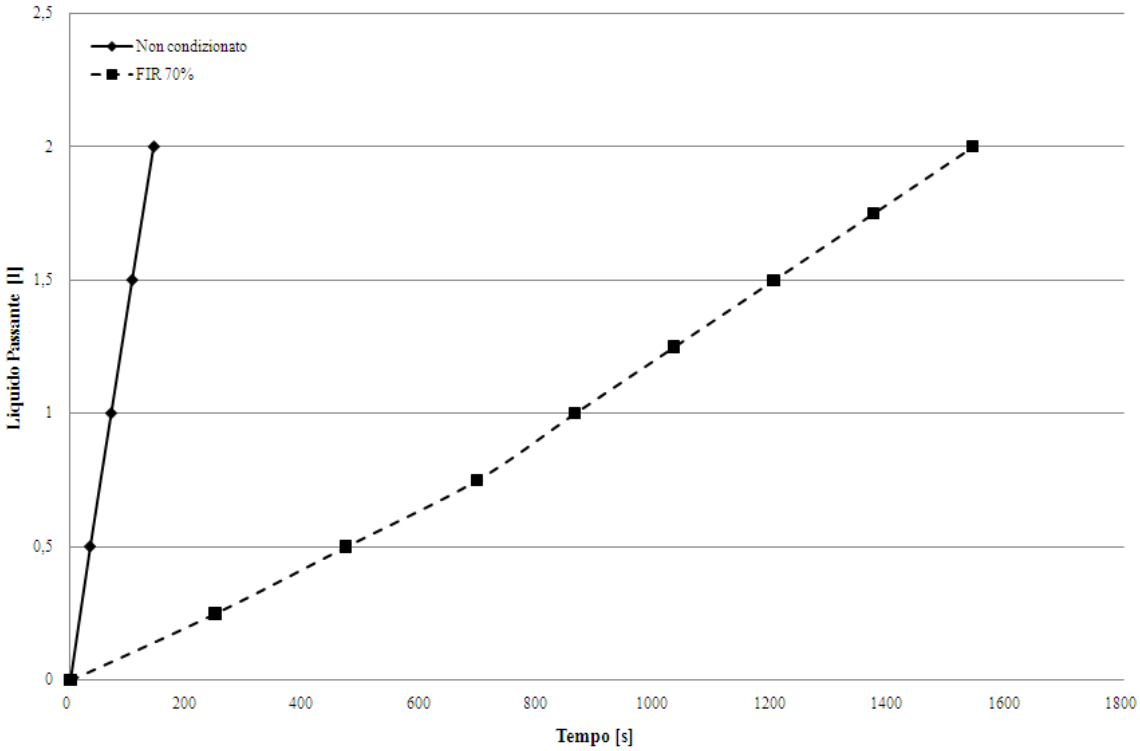


Grafico 2 – risultati dei test di permeabilità 1 e 3

La prova 1, sul materiale tal quale ha dato come risultato un indice I_i pari a 143 secondi, che è un valore piuttosto elevato se messo a confronto con quello di una sabbia di riferimento che ha dato come risultato un I_i di 61 secondi.

Nella prova 2, che non è riportata nel grafico 2, dopo un'iniziale fuoriuscita di schiuma, il passaggio dell'acqua attraverso il campione è stato impedito dalla presenza di un condizionamento evidentemente ottimale ai fini di questa proprietà del materiale additivato.

Il motivo per cui la prova 2 non è stata riportata nel diagramma è proprio la totale impermeabilità del materiale, che non è praticamente riportabile sul diagramma proposto.

La prova 3, sul materiale condizionato con i parametri di condizionamento FER = 15, FIR = 70% e w = 5%, ha dato come risultato un indice I_i pari a 1541 secondi. Valore molto elevato se si considera anche il tempo di permanenza del terreno nella camera di scavo. Si consideri che la sabbia di riferimento con cui è stata calibrata la prova ha dato un I_i di 1543 secondi, seppur con parametri di condizionamento leggermente differenti (FER = 12, FIR = 60%)

Conclusioni

I parametri di condizionamento utilizzati per i test di permeabilità descritti risultano dare risultati ottimali in termini di impermeabilità del materiale additivato nell'ottica di prevenire l'ingresso di acqua libera attraverso la coclea.

Pertanto si può dire che, con i set di parametri indicati in precedenza nella relazione finale, ottenuti mediante prove di caduta al cono di slump e prove di estrazione controllata da camera in pressione, il materiale condizionato con schiume presente anche ottime caratteristiche di impermeabilità, com'è necessario per una corretta applicazione della tecnologia EPB.

ALLEGATO 2

Studio sul contenuto residuo in bentonite

POLITECNICO DI TORINO

Laboratorio Gallerie e Spazio Sotterraneo

Prof. Daniele Peila
Ing. Andrea Picchio

Febbraio 2011

Contratto di Ricerca

Committente: SPEA Ingegneria Europea

RAPPORTO

VALUTAZIONE PRELIMINARE DEL CONTENUTO DI BENTONTE RESIDUA NEL MATERIALE SCAVATO CON HYDRO SHIELD

La presente nota è stata redatta sulla base del contratto di ricerca tra SPEA Ingegneria Europea S.p.A. e il Politecnico di Torino coordinato dal Prof. Daniele Peila e al quale collabora l'Ing. Andrea Picchio, finalizzato allo studio del condizionamento degli ammassi rocciosi che saranno attraversati con scavo meccanizzato a piena sezione nel corso dei lavori della Gronda di Ponente - Riqualificazione A10 e potenziamento A7 e A12 a Genova, nell'ottica della realizzazione di idonee prove ambientali sui materiali di risulta dello scavo.

La nota fornisce indicazioni preliminari relativamente al contenuto di bentonite residua dopo il trattamento di separazione nel detrito di scavo, quando lo scavo delle gallerie vengano eseguite mediante una macchina di tipo Hydro Shield.

Lo studio è stato realizzato partendo da una ricerca bibliografica su riviste e congressi tecnici del settore che, però, non hanno fornito indicazioni utili non essendo stati rintracciati dati significativi. Ci si è quindi rivolti ai produttori di macchine di scavo, ai produttori di bentonite ed a imprese che utilizzano macchine a contropressione di fango bentonitico per lo scavo di micro tunnel.

Questa inchiesta ha consentito di ottenere le informazioni sintetizzate nel seguito:

Caso 1) - produttore di macchine di scavo.

La perdita di slurry nell'impianto di separazione viene quantificata come segue:

- 3-5% dello slurry sui pre-screens (16cm - 5mm) (1° vaglio)
- 5-12% dello slurry sui fine screens (5mm - 0,035mm) (2° vaglio)
- 20-40% dello slurry nel silt/clay removal (0,035mm - 0,0mm) (cicloni o filtropresse)

Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG)
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 7607 fax: +39 011 564 7699
e-mail: daniele.peila@polito.it

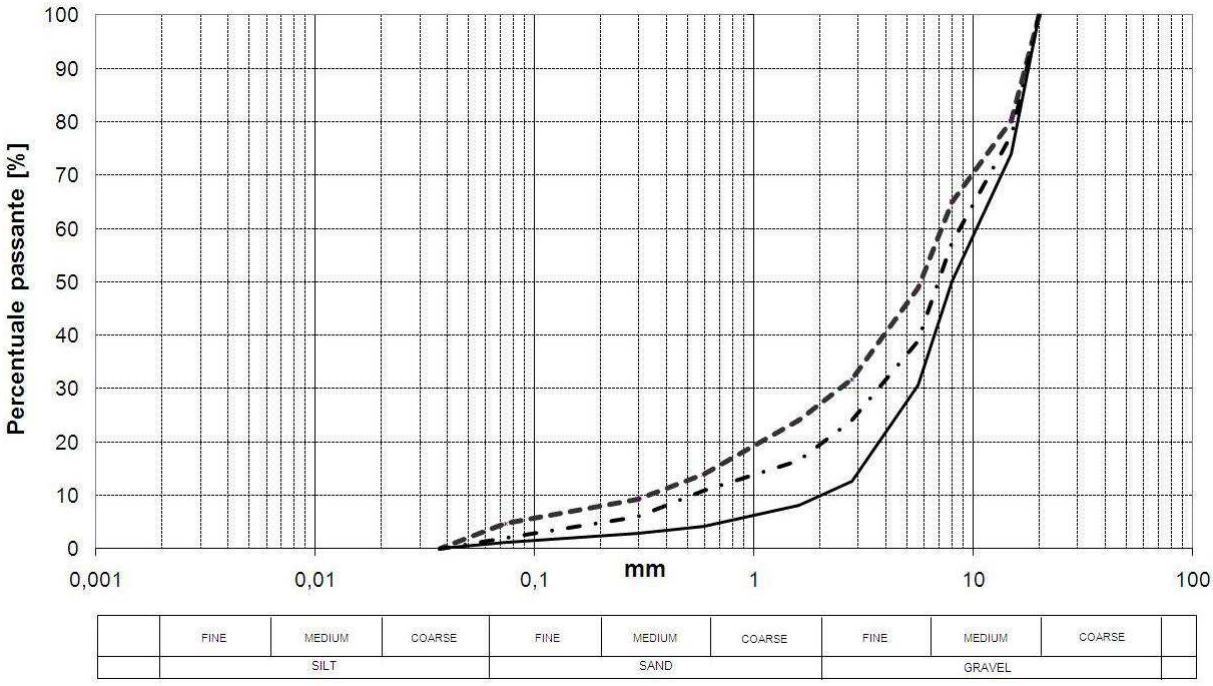
Quali valori medi di bentonite per m^3 di slurry vengono consigliati 35 - 70 kg cioè con una concentrazione di bentonite variabile tra il 1.9% al 3.8%

Sulla base di questi dati si è quindi calcolata la percentuale di bentonite persa dopo il trattamento residuando nel detrito di scavo.

Ipotizzando che $1m^3$ di fluido di smarino (slurry+materiale scavato) presenti la seguente composizione (60-70% slurry e 40-30% materiale scavato – valori medi ricavabili in letteratura) e che nel caso in esame il materiale scavato abbia il fuso granulometrico riportato nelle figura (dove non è considerato il 10% della parte più grossolana – chips di grande diametro-vedi relazioni sul condizionamento dei terreni) è possibile calcolare la percentuale di bentonite che residua nel detrito.

Il calcolo viene effettuato ipotizzando le seguenti percentuali separate dall'impianto di trattamento:

- per calcescisti e serpentiniti (rocce lapidee): 80% del materiale 1° vaglio, 17.5% 2° vaglio , 2.5% cicloni o dalla filtro pressa
- per argilloscisti: 75% 1° vaglio, 17.5% 2° vaglio, 7.5% dai cicloni o dalla filtro pressa



Date queste ipotesi si ottiene che il quantitativo di fango perso per m^3 di fluido di circolazione ammonta nei due casi a:

calcescisti e serpentini

$0.6m^3*0.80*0.05 = 0.0240\ m^3$

$0.6m^3*0.175*0.12 = 0.0126\ m^3$

$0.6m^3*0.025*0.40 = 0.0060\ m^3$

Totale $= 0.0426\ m^3$ di slurry

che corrisponde ad una percentuale sul materiale scavato di 0.0426/0.4 = 10.6%

$0.7m^3*0.80*0.05 = 0.0280\ m^3$

$0.7m^3*0.175*0.12 = 0.0147\ m^3$

$0.7m^3*0.025*0.40 = 0.0070\ m^3$

Totale $= 0.0497\ m^3$ di slurry

che corrisponde ad una percentuale sul materiale scavato di 0.0426/0.3 = 16.6%

La percentuale di bentonite persa è quindi compresa tra 0.44% e 0.69%.

Argilloscisti

$0.6m^3*0.75*0.05 = 0.0225\ m^3$

$0.6m^3*0.175*0.12 = 0.0126\ m^3$

$0.6m^3*0.075*0.40 = 0.018\ m^3$

Totale $= 0.0531m^3$ di slurry

che corrisponde ad una percentuale sul materiale scavato di 0.0531/0.4 = 13.2%

$0.7m^3*0.75*0.05 = 0.0262\ m^3$

$0.7m^3*0.175*0.12 = 0.0147\ m^3$

$0.7m^3*0.075*0.40 = 0.021\ m^3$

Totale $= 0.0619\ m^3$ di slurry

che corrisponde ad una percentuale sul materiale scavato di 0.0619/0.3 = 20.6%

La percentuale di bentonite persa è quindi compresa tra 0.53% e 0.86%.

Caso 2) – impresa che utilizza macchine a contropressione di fango per microtunnelling.

La percentuale residua di bentonite dopo il trattamento di separazione dipende dal tipo di terreno attraversato sulla base della loro esperienza e di indagini fatte su alcuni cantieri.

- roccia compatta: 0-1%
- alluvioni ghiaiose: 1-3%
- sabbia: 5-10%
- sabbia argillosa: 8-15%
- argilla: 10-30%.

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie

Caso 3) – produttore di bentonite

Il consumo di bentonite per m^3 di terreno scavato sulla base dei dati ricavati dalla loro esperienza è compreso tra i 12 e 25 kg.

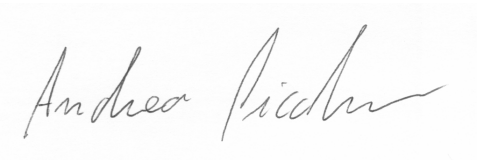
Questo valore varia in funzione del tipo di bentonite e della natura del terreno: più il terreno è roccioso, più la separazione dallo slurry sarà buona, ciò si traduce in meno fini in sospensione e di conseguenza un minor volume di slurry perso.

Sulla base di questi dati la percentuale di bentonite che residua nel terreno scavato è compresa tra 0.6% e 1.25% , nell'ipotesi di una densità del marino di 2000 kg/m^3.

Conclusioni

Sulla base dei dati sopra riportati, che appaiono in ottimo accordo tra di loro, in particolare per quel che riguarda lo scavo in roccia si può assumere che sia ragionevole ipotizzare un quantitativo residuo di bentonite nel materiale scavato dell'ordine del 1-2% sul volume.

Ing. Andrea Picchio



Prof. Daniele Peila



ALLEGATO 1 : Prove eseguite e preparazione dei campioni

Al fine di poter eseguire le prove per la caratterizzazione del detrito sono state preparati in data 16/02/2011 i seguenti campioni

AGS + 2% bentonite in 3 l d'acqua

AGS + 4% bentonite in 5 l d'acqua

CLS + 2% bentonite in 3 l d'acqua

CLS + 4% bentonite in 5 l d'acqua

Nel seguito si riportano per documentazione le foto delle prove di slump eseguite sui materiali trattati con il 2% di bentonite



AGS + 2% bentonite in 3 l di acqua. Slump 19



CLS + 2% bentonite in 3 l d'acqua. Slump 17

ALLEGATO 3

Prove sperimentali di laboratorio sulla lisciviazione dei materiali rocciosi

Data rapporto di prova: 18/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DEI TERRENI	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: ARGILLOSCISTI	

Prova	U.M.	Metodo	Risultato	Limite D.lgs. 152/2006 parte IV Titolo V Allegato 5 Tabella 1 (B)
Antimonio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.8	30
Arsenico	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	3.7	50
Berillio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	10
Cadmio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.05	15
Cobalto	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	20.19	250
Cromo totale	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	76.8	800
Nichel	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	99.7	500
Piombo	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	27.8	1000
Rame	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	96.1	600
Selenio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	15
Stagno	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	350

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DICheP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 18/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DEI TERRENI	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI	

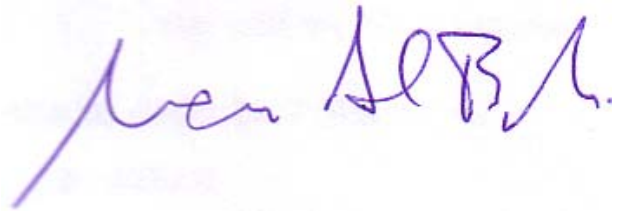
Prova	U.M.	Metodo	Risultato	Limite D.lgs. 152/2006 parte IV Titolo V Allegato 5 Tabella 1 (B)
Antimonio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.8	30
Arsenico	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.8	50
Berillio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	10
Cadmio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.015	15
Cobalto	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	7.55	250
Cromo totale	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	48.2	800
Nichel	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	104.5	500
Piombo	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	14.8	1000
Rame	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	50.0	600
Selenio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	15
Stagno	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	350

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DICheP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Tallio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	10
Vanadio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	116.80	250
Zinco	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	88.2	1500
Cianuri (liberi)	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.4000	n.r.	100
Fluoruri	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.4000	n.r.	2000
Amianto	mg/kg come ss	UNI EN ISO 14689-1_2004 D.M.14/05/1996	0	1000

Genova, 21/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi

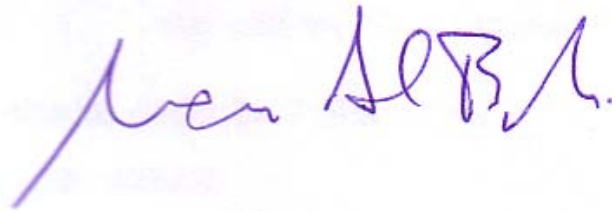


CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Tallio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	10
Vanadio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	56.29	250
Zinco	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	113.5	1500
Cianuri (liberi)	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.4000	n.r.	100
Fluoruri	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.4000	n.r.	2000
Amianto	mg/kg come ss	UNI EN ISO 14689-1_2004 D.M.14/05/1996	0	1000

Genova, 21/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 18/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DEI TERRENI	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: METABASALTI	

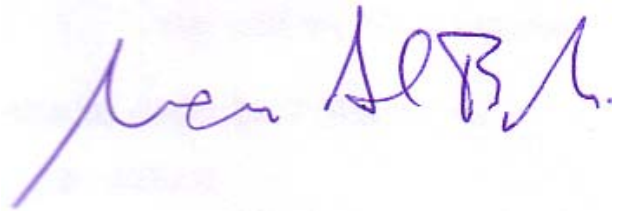
Prova	U.M.	Metodo	Risultato	Limite D.lgs. 152/2006 parte IV Titolo V Allegato 5 Tabella 1 (B)
Antimonio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.6	30
Arsenico	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.7	50
Berillio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	10
Cadmio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.03	15
Cobalto	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	24.75	250
Cromo totale	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	44.1	800
Nichel	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	114.8	500
Piombo	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	3.9	1000
Rame	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	101.3	600
Selenio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	15
Stagno	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	350

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DICheP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Tallio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	10
Vanadio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	121.32	250
Zinco	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	144.9	1500
Cianuri (liberi)	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.4000	n.r.	100
Fluoruri	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.4000	n.r.	2000
Amianto	mg/kg come ss	UNI EN ISO 14689-1_2004 D.M.14/05/1996	0	1000

Genova, 21/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 18/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DEI TERRENI	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: SERPENTINITI	

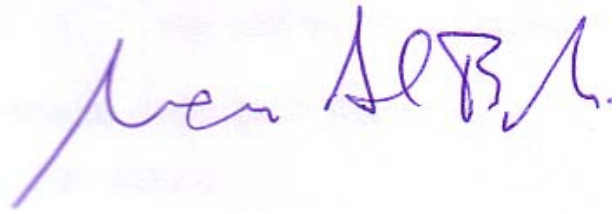
Prova	U.M.	Metodo	Risultato	Limite D.lgs. 152/2006 parte IV Titolo V Allegato 5 Tabella 1 (B)
Antimonio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.3	30
Arsenico	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.3	50
Berillio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	10
Cadmio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.01	15
Cobalto	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	62.87	250
Cromo totale	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	894.7	800
Nichel	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	980.6	500
Piombo	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	8.1	1000
Rame	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	71.4	600
Selenio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	15
Stagno	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	350

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DICheP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Tallio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	10
Vanadio	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	93.46	250
Zinco	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	80.8	1500
Cianuri (liberi)	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.4000	n.r.	100
Fluoruri	mg/kg come ss	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.4000	n.r.	2000
Amianto	mg/kg come ss	UNI EN ISO 14689-1_2004 D.M.14/05/1996	0	1000

Genova, 21/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 03/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: ARGILLOSCISTI	

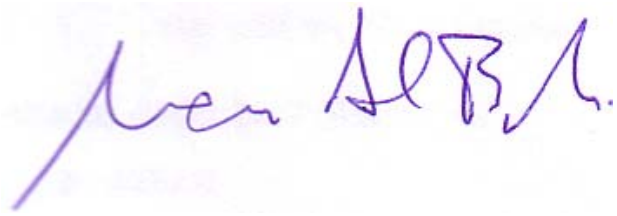
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.920	0.842	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.873	1.061	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	n.r.	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	24.10	18.00	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.006	0.010	0.05
Stagno		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.039	0.031	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	7.0	67.0	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	99.0	122.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	assenti	assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	65.0	582.4	30

Genova, 04/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

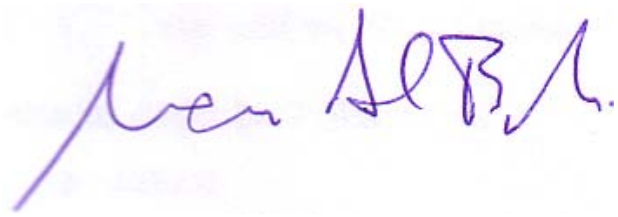
Data rapporto di prova: 21/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: ARGILLOSCISTI - 2% bentonite	

Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	2.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	2.0	50.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	15.0	44.0	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.022	0.036	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.030	0.020	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.6	<1	
Manganese	µg/l	UNI10802_2002	18.0	77.0	

		UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000			
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	1934.4	232.0	30

Genova, 24/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 21/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: ARGILLOSCISTI - 4% bentonite	

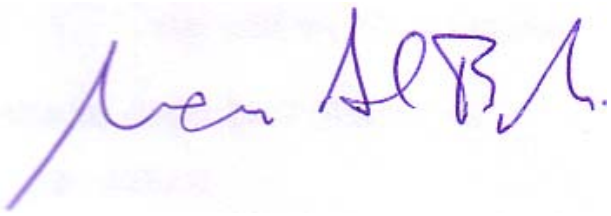
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	3.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	8.0	38.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	28.0	48.0	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.019	0.038	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.037	0.028	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	2.4	<1	
Manganese	µg/l	UNI10802_2002	2.2	72.0	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

		UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000			
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	1310.4	375.0	30

Genova, 24/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 03/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: ARGILLOSCISTI condizionante FIR40 FER10 W5	

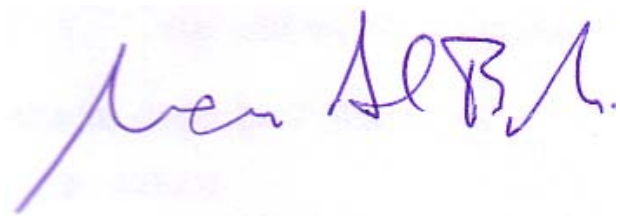
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.832	0.921	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.010	1.103	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	n.r.	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	9.08	11.14	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	28.0	97.60	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.019	0.022	0.05
Stagno		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.087	0.101	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.0	12.0	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	106.0	184.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	assenti	assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	59.8	421.2	30

Genova, 04/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 11/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DI MARE dopo 3 giorni	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: ARGILLOSCISTI condizionante FIR40 FER10 W5	

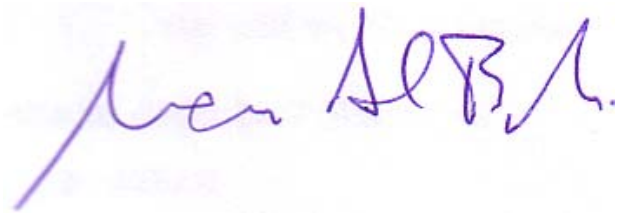
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.1	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	16.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	21.6	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.012	0.05
Stagno		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.023	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.2	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	92.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	353.6	30

Genova, 11/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 03/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: ARGILLOSCISTI condizionante FIR80 FER15 W5	

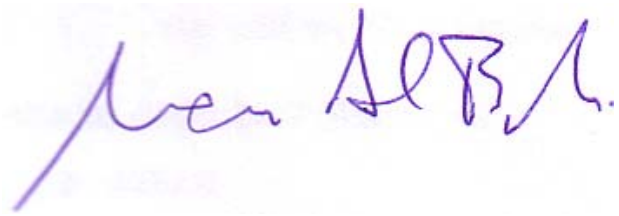
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.912	0.910	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.012	1.061	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	n.r.	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	3.21	6.08	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.007	0.018	0.05
Stagno		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.050	0.098	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	17.0	32.0	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	106.0	184.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	assenti	assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	36.4	592.8	30

Genova, 04/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 11/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DI MARE dopo 3 giorni	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: ARGILLOSCISTI condizionante FIR80 FER15 W5	

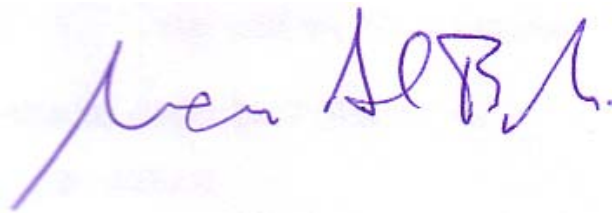
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.1	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.2	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	18.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	22.8	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.014	0.05
Stagno		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.023	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.1	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	97.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	338.0	30

Genova, 11/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 03/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI	

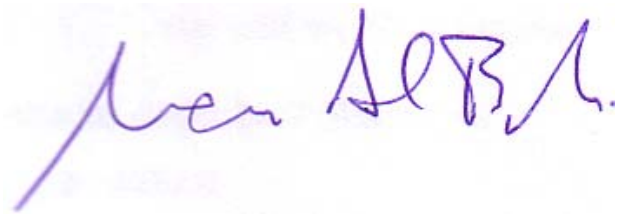
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.870	0.910	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.571	1.018	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	n.r.	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	10.33	10.12	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.001	0.009	0.05
Stagno		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.052	0.066	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	746.0	120.0	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	59.0	82.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	assenti	assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	247.0	1885.0	30

Genova, 04/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

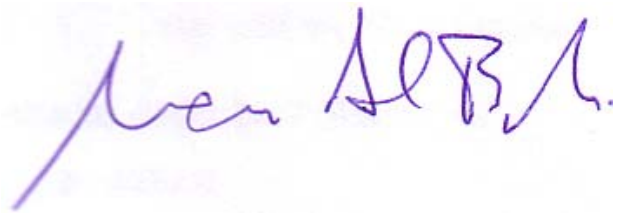
Data rapporto di prova: 21/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI - 2% bentonite	

Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	3.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	48.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.6	45.0	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.026	0.033	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.035	0.025	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	88.0	11.0	
Manganese	µg/l	UNI10802_2002	2.0	80.0	

		UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000			
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	1924.0	230.0	30

Genova, 24/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 21/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI - 4% bentonite	

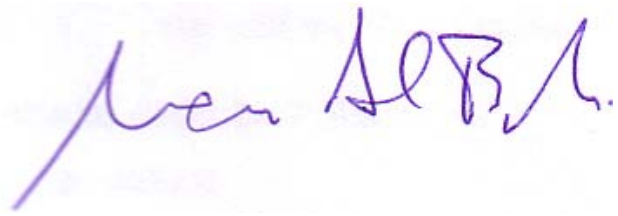
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	3.5	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	49.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.2	47.0	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.025	0.036	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.038	0.032	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	71.0	12.0	
Manganese	µg/l	UNI10802_2002	1.4	80.0	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

		UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000			
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	2132.0	370.0	30

Genova, 24/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 03/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI condizionante FIR70 FER15 W5	

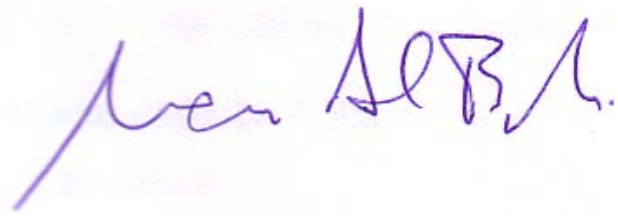
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.615	0.981	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.850	1.116	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	n.r.	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	10.33	9.00	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	0.001	0.05
Stagno		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.092	0.081	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	636.0	83.0	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	63.0	88.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	assenti	assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	192.4	702.0	30

Genova, 04/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

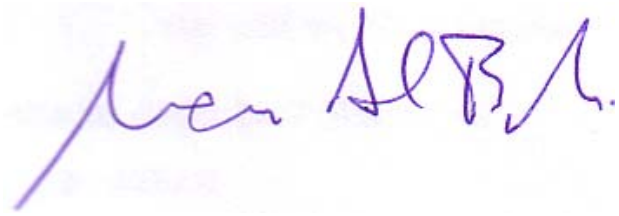
Data rapporto di prova: 11/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DI MARE dopo 3 giorni	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI condizionante FIR70 FER15 W5	

Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.1	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	13.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	12.6	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.006	0.05
Stagno		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.023	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	6.0	
Manganese	µg/l	UNI10802_2002	48.0	

		UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000		
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	507.0	30

Genova, 11/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 29/04/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI FIR70% FER15% W7%	

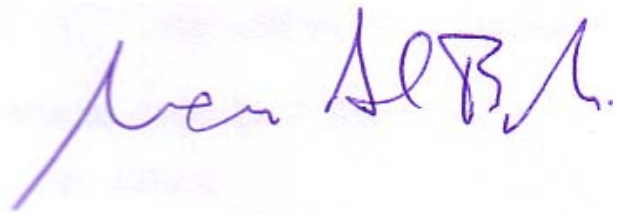
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.0	1.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	19.0	17.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.010	0.028	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.009	0.021	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	31.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	26.0	366.6	30

Genova, 02/05/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 29/04/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DI MARE dopo 3 giorni	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI FIR70 FER15 W7	

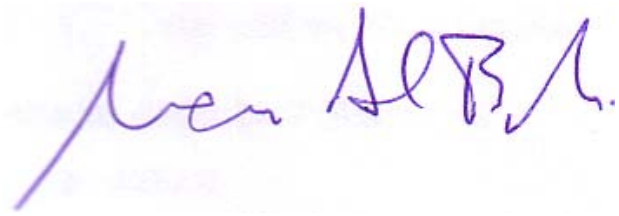
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	23.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.032	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.018	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	53.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	351.0	30

Genova, 02/05/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 29/04/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI FIR80% FER15% W5%	

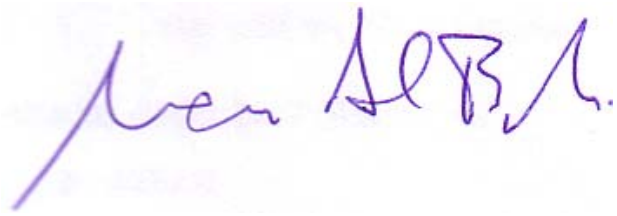
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	1.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	13.0	19.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.006	0.018	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.011	0.020	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	26.0	130.0	30

Genova, 02/05/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 29/04/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DI MARE dopo 3 giorni	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: CALCESCISTI FIR80 FER15 W5	

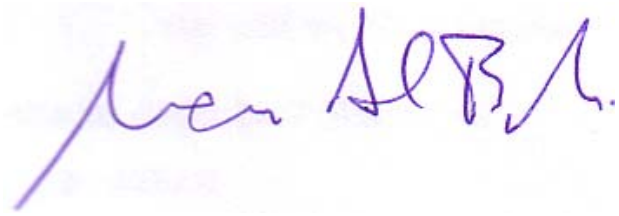
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	19.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.028	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.017	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	143.0	30

Genova, 02/05/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 21/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: METABASALTI	

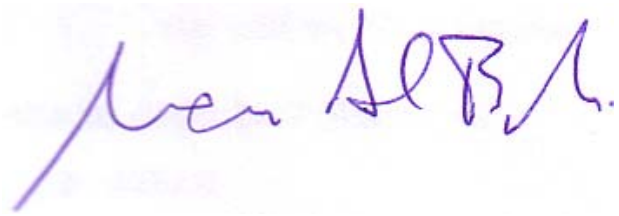
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	< 1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	1.1	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	1.2	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	23.00	20.00	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	2.4	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.022	0.019	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.070	0.026	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	6.0	8.0	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	196.0	109.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	84.0	104.0	30

Genova, 24/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 21/03/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: SERPENTINITI	

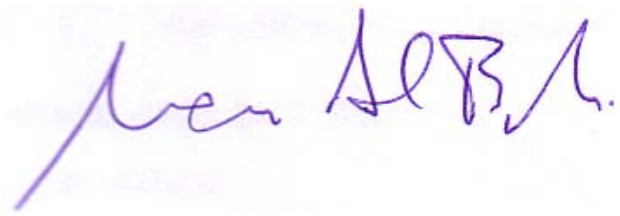
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	< 1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	1.1	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	< 1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	< 1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	33.0	24.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	1.8	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.010	0.006	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	< 1	< 1	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.017	0.012	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.00	1.6	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	234.0	38.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	72.0	98.0	30

Genova, 24/03/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 29/04/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA E ACQUA DI MARE	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: SERPENTINITE FIR80% FER15% W5%	

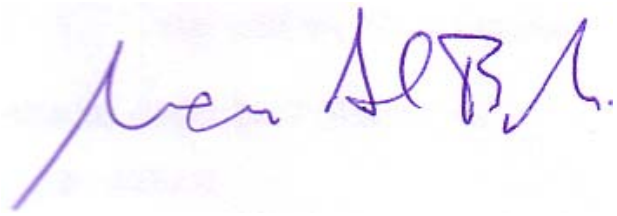
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua deionizzata	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.0	1.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	58.0	118.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.020	0.029	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.012	0.026	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	<1	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	8.0	6.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	36.4	39.0	30

Genova, 02/05/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Data rapporto di prova: 29/04/2011	Spettabile: SPEA Ingegneria Europea S.p.A.
Descrizione: TEST DI CESSIONE IN ACQUA DI MARE dopo 3 giorni	
Operatore/i: Giacomo Isola	
Materiale: SERPENTINITE FIR80 FER15 W5	

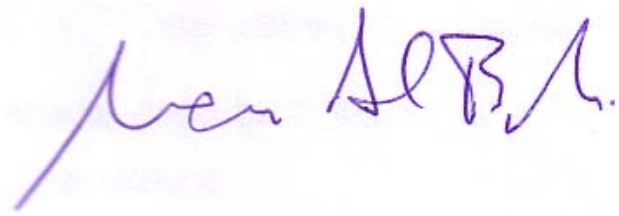
Prova	U.M.	Metodo	Risultato in acqua di mare	Limite D.M. 05/02/'98 All.3
Arsenico	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Cadmio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.0	5
Cromo totale	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Mercurio	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	1
Nichel	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	235.0	10
Piombo	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	50
Rame	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.022	0.05
Stagno	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	n.r.	
Zinco	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	0.026	3
Ferro	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	<1	

CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

Manganese	µg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.3000	1.0	
Tensioattivi		UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	Assenti	
COD	mg/l	UNI10802_2002 UNI EN12457-2_2004 APAT CNR IRSA Man.29/2003 sez.5000	78.0	30

Genova, 02/05/2011

Il Direttore
Prof. Ing. Marco Del Borghi



CE.Si.S.P.
Centro Interuniversitario tra: DIChePP, Università di Genova – DISMIC, Politecnico di Torino - Scuola Superiore S. Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento di Pisa
Sede amministrativa: Via all'Opera Pia 15; I-16145 Genova;
http://www.cesisp.unige.it Email: cesisp@cesisp.unige.it
Tel.: +39 010 353.2909; Fax: +39 010 353.2586
P.IVA 00754150100

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA
DIPARTIMENTO PER LO STUDIO DEL TERRITORIO E DELLE SUE RISORSE

Corso Europa, 26
16132 GENOVA
Fax 010.352.169

Tel. 010.353.8311

Amministrazione
Tel. 010.353.8083-4

Cod.Fisc. 00754150100

Genova, 23 Febbraio 2011

Egr. Prof. M. Del Borghi
Direttore CESISP,
presso DICHEP
Via all'Opera Pia, 15
16145 Genova GE

Oggetto: Analisi minero-petrografica di campioni di roccia volta all'accertamento diella presenza di amianto.

Allego alla presente i risultati delle analisi mineralogiche petrografiche su 4 campioni di materiali lapidei (analisi mineralogica qualitativa mediante microscopia ottica in luce riflessa e mediante MOLP su smear slides).
Con i migliori saluti.

Prof. Laura Gaggero

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA
DIPARTIMENTO PER LO STUDIO DEL TERRITORIO E DELLE SUE RISORSE

Genova, 23 Febbraio 2011

Relazione dell'analisi minero-petrografica di campioni di roccia mediante microscopia ottica stereoscopica in luce riflessa e mediante MOLP su *smear slides*.

METODO

Le analisi sono state eseguite secondo UNI EN ISO 14689-1 ("Indagini e prove geotecniche – Identificazione e classificazione delle rocce") modificata e adattata a rocce potenzialmente contenenti amianto e secondo Decreto Ministeriale 14/05/1996, Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lettera f), della legge 27 marzo 1992, n. 257, recante: "Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto", S. Ord. alla G.U. n° 251 del 25 Ottobre 1996.

RISULTATI ANALITICI

Campione denominato *Metabasalti*

Consegnato da DICHEP a DIPTERIS: 22/2/2011
Tipologia: frammento di carota
Litotipo: Metabasalto
Tessitura: Massiva con network di fratture da centimetri che a millimetriche a riempimento di clorite, clorite + quarzo, quarzo.
Presenza di giunti.
Composizione mineralogica: pirosseno, clorite, albite ± pumpellyite, Fe-ossidi.
Fasi amianto: Assenti

Campione denominato *Calcescisti*

Consegnato da DICHEP a DIPTERIS: 22/2/2011
Tipologia: frammento di carota
Litotipo: Calcescisto
Tessitura: litotipo massivo con fratturazione per giunti. Breccia a clasti eterometrici angolari di calcescisto polideformato, a banding carbonatico e quarzitico, in matrice fengitico cloritica.
Composizione mineralogica: calcite, quarzo, fengite, clorite.
Fasi amianto: Assenti

Il responsabile
Prof. Laura Gaggero

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA
DIPARTIMENTO PER LO STUDIO DEL TERRITORIO E DELLE SUE RISORSE

Genova, 23 Febbraio 2011

Campione denominato *Argilloscisti*
Consegnato da DICHEP a DIPTERIS: 22/2/2011
Tipologia: aggregato a granulometria compresa tra 0.2 - 60 mm.
Litotipo: Scisto
Tessitura: i clasti presentano scistosità da poco pervasiva ad accentuata. La frazione fine derivante da auto macinazione è costituita da scaglie lamellari a composizione mineralogica ricca in fillosilicati. Alcuni clasti sono interamente costituiti di quarzo e quindi di derivazione da vene.
Composizione mineralogica: illite, fengite, quarzo, sostanza organica
Fasi amianto: Assenti

Campione denominato *Serpentinite*
Consegnato da DICHEP a DIPTERIS: 22/2/2011
Tipologia: frammento di carota
Litotipo: Oficalce
Tessitura: roccia coerente a tessitura di breccia tettonica di serpentinite (oficalce). Vene a riempimento di calcite ± talco ± clorite.
Composizione mineralogica: serpentino, magnetite, calcite, talco, clinopirosseno, magnetite, Fe-idrossidi.
Fasi amianto: assenti

Il responsabile
Prof. Laura Gaggero

ALLEGATO 4

Monitoraggio delle fibre di amianto aerodisperse, campagna di monitoraggio Febbraio 2011

COMMITTENTE:

Spea S.p.A.

Area Progetto Genova

Via A. Scarsellini, 119 Torre B, 11° piano - 16149 Genova

RELAZIONE DI MONITORAGGIO DELLE FIBRE D'AMIANTO AEREODISPERSE

"Sito Comune di Genova"

Redatto da	Verificato da	Approvato e Autorizzato da	Data di emissione o verifica	N° Studio
M. Principi	G. Manenti	D. Vanzini	17/02/2011	1100281



INDICE

1 PREMESSA E SCOPO 3

2 INTRODUZIONE 4

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 5

3 PIANO DI MONITORAGGIO 6

3.1 Strategia di intervento e tempistiche 6

3.2 Punti e area di monitoraggio 6

3.3 Modalità operative 12

4 RISULTATI 14

5 CONCLUSIONI 19

Allegato 1 Schede area di misura
Allegato 2:Rapporti di prova
Allegato 3 Evidenze significative

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

1 PREMESSA E SCOPO

La Società SPEA Ingegneria Europea S.p.A. ha incaricato il gruppo CSA S.p.A. di effettuare una indagine sulla dispersione atmosferica delle fibre di amianto nel comune di Genova, finalizzata alla valutazione dello stato di qualità ambientale attuale delle aree di intervento, relative alla realizzazione di un by pass autostradale denominato "Gronda di Ponente" che comporterà la movimentazione di rocce contenenti possibili fibre d'amianto potenzialmente a rischio sanitario. Lo scopo dell'attività è quella di fornire un quadro di riferimento del livello di fondo naturale dell'ambiente di riferimento nelle aree in interessate dal progetto, evidenziando eventuali criticità e l'ulteriore capacità di carico. A tale fine sono stati individuati 15 punti dove sono state installate le strumentazioni necessarie per il campionamento richiesto.

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

2 INTRODUZIONE

L'amianto o asbesto è un minerale presente in natura a struttura fibrosa, separabile in fibre molto sottili e resistenti costituite da silicati a struttura cristallina e fibrosa ove il biossido di silicio rappresenta circa il 50% della composizione, mentre la percentuale degli altri costituenti come l'ossido di ferro, l'ossido di magnesio, etc. è variabile. Si tratta di silicati di magnesio idrati disposti in catena, ad accezione della crocidolite che è un silicato di sodio e di ferro. Il crisotilo è un silicato di magnesio ed appartiene alla classe del serpentino; le altre varietà sono silicati di calcio, ferro e magnesio classificabili nel gruppo degli anfiboli..

In **Tabella 2-a** sono riportati i minerali classificati come amianto.

Tabella 2-a

Nome	Nome comune	Formula chimica	CAS
Crisotilo	Amianto bianco	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	12001-29-5
Amosite	Amianto bruno	$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	*12172-73-5*
Crocidolite	Amianto blu	$Na_2Fe^{2+}{}_3Fe^{3+}{}_2Si_8O_{22}(OH)_2$	12001-28-4
Tremolite		$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	77536-68-6
Antofillite		$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	77536-67-5
Actinolite		$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	*77536-66-4*

La pericolosità dell'amianto dipende dal grado di libertà delle fibre, ossia dalla capacità dei materiali di rilasciare fibre potenzialmente inalabili; la presenza in sé dell'amianto, infatti, non è necessariamente pericolosa, lo diventa qualora le fibre vengano sprigionate nell'aria, per effetto di qualsiasi sollecitazione (manipolazione/lavorazione, vibrazioni, correnti d'aria, infiltrazioni di umidità etc.). Essendo l'asbesto un materiale fibroso e piuttosto friabile, è facile che le piccolissime particelle di cui è costituito (dell'ordine di millesimi di millimetro), una volta inalate, vadano a concentrarsi nei bronchi, negli alveoli polmonari e nella pleura provocando danni irreversibili ai tessuti. A tal proposito le fibre anfiboliche ed in particolare modo la crocilodite (la più corta) sono le più pericolose per la loro forma lineare, mentre le fibre serpentine, presentando una struttura a foglio o a strato, sono più facilmente intercettate dai bronchi e bronchioli.

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Non essendo normati valori limite in ambiente esterno, si può fare solo riferimento al Decreto Ministeriale del 06/09/1994 il quale cita che in una indagine ambientale valori superiori a 2 ff/l in SEM come valori medi su almeno tre campionamenti, possono essere indicativi di una situazione di inquinamento in atto.

Le attività strumentali di campionamento e rilevamento di parametri in campo, di manipolazione e preparazione dei campioni in laboratorio, di analisi e di elaborazione statistica dei dati relativi alle misure eseguite, sono state effettuate secondo la vigente normativa di Legge nazionale ed in accordo con le pertinenti norme tecniche nazionali ed internazionali recepite.

Per il monitoraggio delle Fibre d'amianto aerodisperse si fa riferimento in particolare alla seguente normativa:

- D. Lgs. n. 351 del 04/08/99 - Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente;
- DM 6 settembre 1994; Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12 comma 2 della legge 27/3/1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto (Allegato 2);
- Decreto Ambiente 20.05.1991: "Criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell'aria";
- D.Lgs. 277/91 del 15/08/91 - Attuazione delle direttive n. 80/1107/CEE, n. 82/605/CEE, n. 83/477/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia d protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'art. 7 della legge 30 luglio 1990, n. 212.
- Metodo ISO 14966/02 - Ambient air -- Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles -- Scanning electron microscopy method;
- Legge 81- Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

3 PIANO DI MONITORAGGIO

3.1 Strategia di intervento e tempistiche

La campagna di monitoraggio è stata progettata valutando l'estensione e le caratteristiche del territorio interessato dai lavori.

A seguito dei sopralluoghi effettuati nella zona interessata sono stati individuati 15 punti che sono stati oggetto del monitoraggio di fibre asbestiformi aerodisperse.

Il monitoraggio, in ciascuna postazione, è stato condotto eseguendo le misure della durata di 8 ore durante l'orario lavorativo del cantiere previsto e per 3 giorni consecutivi. In Tabella 3-a è riportata la cronologia sintetica delle attività svolte in campo. Come si evince dalla Tabella 3-a l'area oggetto del monitoraggio è stata suddivisa in tre parti in modo da avere i punti che caratterizzassero una determinata area e tempi tecnici di installazione, misura e controllo congruenti con l'attività da svolgere.

Tabella 3-a

Data - Periodo	Attività
04-05/01/2011	Sopralluogo
17/01/2011	Ricognizione di tutti i punti
18-20/01/2011	Campionamento dei punti ASB010-11-12-13-14-15
21-23/01/2011	Campionamento dei punti ASB006-7-8-9
24-26/01/2011	Campionamento dei punti ASB001-2-3-4-5

3.2 Punti ed area di monitoraggio

Le postazioni sono state collocate nel comune di Genova, in Tabella 3-b, Immagine 3-1 , Immagine 3-2, Immagine 3-3, Immagine 3-4. In allegato 2 sono riportate tutte le informazioni utili per l'area ed i siti di monitoraggio.

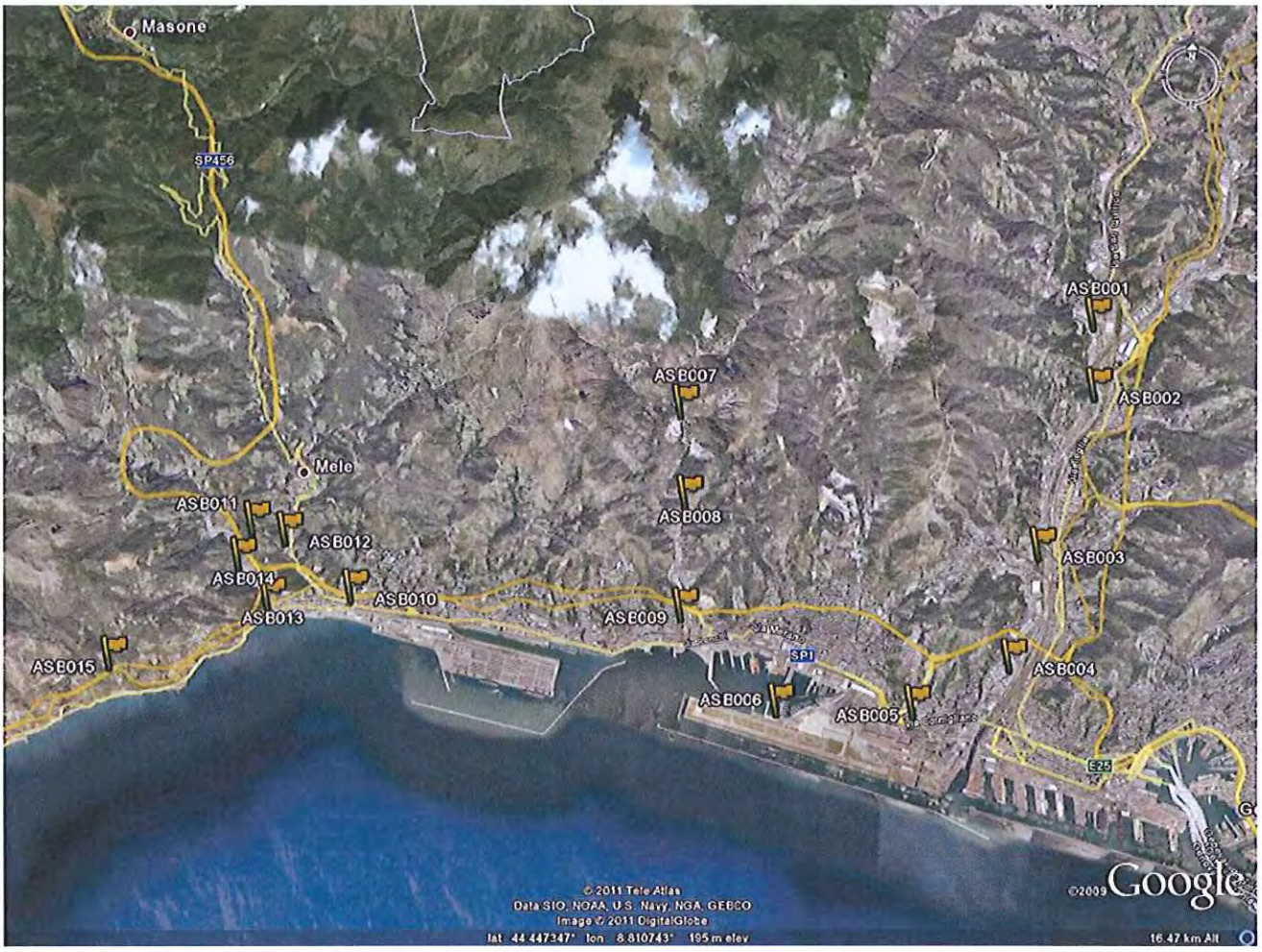
Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Tabella 3-b: Localizzazione dei siti

Codice punto:	Tipo di territorio	Comune	Località	Indirizzo	Coordinate WGS 84
ASB001	Urbano	Genova	Bolzaneto	Via al Santuario di Nostra Signora della Guardia 19	N 44°28'05,9" E 8°53'54,9"
ASB002	Urbano	Genova	Polcevera-Bolzaneto-Murta	Via Ugo Polonia 31 r	N 44°27'31,7" E 8°53'56,1"
ASB003	Urbano	Genova	Polcevera-Fegino	Via Sant' Ambrogio di Fegino	N 44°26'16,6" E 8°53'21,5"
ASB004	Urbano	Genova	Polcevera-Campi	Incrocio tra Via Benedetti e Renata Bianchi	N 44°25'19,2" E 8°53'04,4"
ASB005	Urbano	Genova	Cornigliano	Incrocio tra Via Cornegliano e Via Bertolotti	N 44°24'55,7" E 8°51'57,8"
ASB006	Urbano	Genova	Sestri Ponente	Via pionieri di Italia 129	N 44°24'53,9" E 8°50'25,6"
ASB007	Extraurbano	Genova	Pegli-Val Varenna	Via Carpenara	N 44°27'17,3" E 8°49'14,1"
ASB008	Extraurbano	Genova	Pegli-Val Varenna	Via Carpenara	N 44°26'33,9" E 8°49'19,0"
ASB009	Urbano	Genova	Pegli	Via Cialli	N 44°25'38,8" E 8°49'18,1"
ASB010	Urbano	Genova	Voltri	Via Voltri 40 r	N 44°25'43,7" E 8°45'32,4"
ASB011	Extraurbano	Genova	Voltri	Via Santuario delle Grazie 26	N 44°26'15,5" E 8°44'25,2"
ASB012	Extraurbano	Genova	Voltri	Via Ovada 13 r	N 44°26'10,7" E 8°44'45,6"
ASB013	Urbano	Genova	Voltri	Via delle Fabbriche	N 44°25'38,3" E 8°44'35,0"
ASB014	Urbano	Genova	Voltri	Via delle Fabbriche	N 44°25'57,7" E 8°44'15,1"
ASB015	Extraurbano	Genova	Vesima	Via Vesima	N 44°25'08,5" E 8°42'51,0"

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Immagine 3-1: Quadro d'insieme



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Immagine 3-2: Dettaglio della prima area oggetto del monitoraggio (Vesima - Voltri)



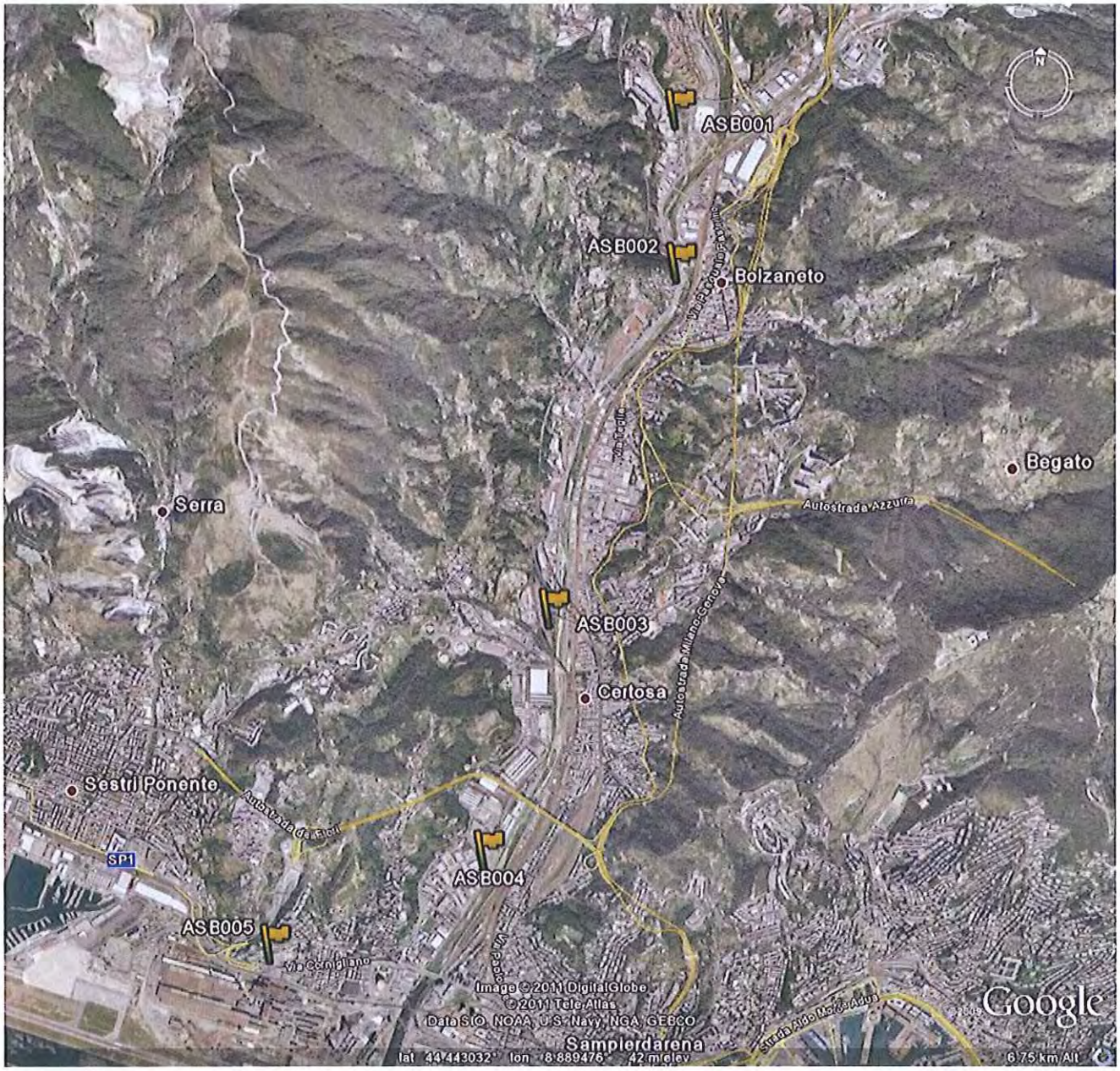
Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Immagine 3-3: Dettaglio della seconda area oggetto del monitoraggio (Pegli - Val Varenna)



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Immagine 3-4: Dettaglio della terza area oggetto del monitoraggio (Bolzaneto – Cornigliano)



L'ubicazione dei punti è legata alle attività che si articoleranno durante la realizzazione dell'opera in progetto e quindi alle aree a maggiore rischio teorico. In Tabella 3-c sono riportate le opere d'arte a progetto ed una breve descrizione.

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Tabella 3-c

Codice punto	Opera d'arte a progetto	Descrizione
ASB001	Imbocco galleria Monterosso	Cantieri frese - zona piano traffico
ASB002	Slurrydotto	Tracciato Slurrydotto
ASB003	Slurrydotto	Tracciato Slurrydotto
ASB004	Slurrydotto	Tracciato Slurrydotto - zona traffico urbano
ASB005	Deposito a mare - Slurrydotto	zona piano traffico - traffico urbano
ASB006	Deposito a mare - Slurrydotto	Tracciato Slurrydotto - zona traffico
ASB007	Imbocchi gallerie Monterosso e Amandola	Cantieri imbocchi - rilevato e viadotto
ASB008	Imbocchi gallerie Monterosso e Amandola	Cantieri imbocchi - rilevato e viadotto
ASB009	Imbocchi gallerie Monterosso e Amandola	Cantieri imbocchi - rilevato e viadotto
ASB010	Imbocchi gallerie Monterosso e Amandola	Cantieri imbocchi - viadotto
ASB011	zona imbocchi gallerie scavo tradizionale	Cantieri imbocchi - viadotto
ASB012	zona imbocchi gallerie scavo tradizionale	Cantieri imbocchi - viadotto
ASB013	zona imbocchi gallerie scavo tradizionale	Cantieri imbocchi - viadotto
ASB014	zona imbocchi gallerie fresa e tradizionale	Cantieri imbocchi - viadotto
ASB015	zona imbocco Borgonuovo	Cantieri imbocchi - viadotto

3.3 Modalità operative

Per il campionamento in aria dell'amianto si è utilizzato il metodo descritto nell'allegato 2 del DM del 06/09/1994 al punto B (campionamento per successiva analisi in SEM ovvero Microscopia a Scansione Elettronica). Il campionamento avviene facendo flussare l'aria ambiente attraverso un apposito filtro mediante l'utilizzo di pompe. Il metodo prevede un campionamento protratto nel tempo al fine di prelevare circa 3000 litri di aria applicando un flusso di prelievo che può essere impostato da un minimo di 6 l/m ad un massimo di 9 l/m. Il flusso di campionamento e il relativo volume (3000 litri) determinano un tempo di campionamento effettivo di otto ore eseguito durante le ore di reale attività di cantiere. La membrana campionata viene analizzata mediante tecnica SEM che permette un riconoscimento quali - quantitativo delle fibre di asbesto presenti. Per ogni campagna di misura sono stati eseguiti tre campionamenti consecutivi per ogni sito, al fine di effettuare una valutazione più completa del possibile impatto ambientale.

La strumentazione impiegata per il campionamento è composta da :

- Supporto di prelievo: membrana in Esteri misti di Cellulosa (MCE) di diametro 25 mm e porosità pari a 0,8 µm, conforme a quanto definito dal DM del 06/09/1994.
- Supporto che permette il prelievo ad un'altezza compresa tra 1,5 e 1,8 m e deve essere installato in zona libera da ostacoli che possano disturbare il flusso d'aria nelle vicinanze del campionatore (di norma a distanza di alcuni metri rispetto ad edifici, balconi, alberi ed altri

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

ostacoli) con orientamento della membrana verso il basso (superficie di prelievo esposta parallela al piano di calpestio) per tutta la durata del campionamento.

- Sistema di campionamento automatico con registrazione dei volumi di campionamento, temperatura e pressione rilevati al contatore volumetrico, conforme a quanto definito dal DM 06 settembre 1994.

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

4 RISULTATI

In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportate le condizioni meteorologiche rilevate durante l'attività che sono state inizialmente caratterizzate da tempo nuvoloso con assenza di vento, poi dal terzo giorno fino al quinto giorno la caratteristica principale è stata la presenza di vento, mentre negli ultimi due giorni ci sono state delle deboli precipitazioni. I valori di temperatura riportati in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono dei valori medi di temperatura giornaliera mentre i valori di pressione ed umidità sono valori presi all'atto dell'installazione. In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportati, oltre ad informazioni meteoclimatici, i valori delle fibre di amianto depositate su membrana filtrate espressi in fibre per litro, oltre ad una serie di informazioni utili per la valutazione del dato, ordinate in ordine di acquisizione temporale.

Nei Grafico 4-1, Grafico 4-2 e Grafico 4-3 sono riportati i valori delle fibre per litro delle tre aree monitorate.

Dall'analisi dei risultati la prima evidenza importate (vedi Grafico 4-2) è il superamento di 2 fibre per litro il giorno 21/01/2011 in due postazioni Pegli Val Varenna, ASB007 (2,7 ff/l) e ASB009 (2,3 ff/l), anche se considerando la media dei tre campionamenti si rientra al di sotto della soglia.

Delle tre aree, la postazione ASB007 è quella che presenta valori più elevati, probabilmente dovuti sia alla presenza di importanti affioramenti di serpentino che a particolari attività, trattamento e deposito inerti.

L'anomalia della postazione ASB009 dovrebbe essere collegata al passaggio obbligato di camion che dalla Val Varenna vanno verso il mare per il trasporto di materiale proveniente dalle cave.

Nella postazione intermedia ASB008 i valori rimangono bassi, malgrado il passaggio di camion provenienti dalle cave.

Per quanto riguarda l'area Voltri – Vesima (Grafico 4-1) la postazione ASB012 è risultata quella con maggior concentrazioni di fibre, probabilmente sempre a causa della vicinanza di affioramenti di serpentino.

L'area Bolzaneto Cornigliano è caratterizzata da valori molto bassi, decisamente inferiori ai limite. L'unica osservazione che si può fare è il leggero decremento nei tre giorni di campionamento che si assiste su tre postazioni delle 5, probabilmente dovuto alle leggere precipitazioni che si sono avute negli ultimi due giorni.

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Punti	Data	Dalle	Alle	Descrizione viabilità	Condizioni meteo	°C	hPa	% RH	ff/l
ASB010	18/01/2011	8.00	16.00	Strada principale molto trafficata	Nuvoloso assenza di vento	12,9	1016	70	0,3
ASB012	18/01/2011	8.30	16.00	Strada poco trafficata	Nuvoloso assenza di vento	12,5	1016	76	1,4
ASB013	18/01/2011	8.50	16.50	Strada principale molto trafficata	Nuvoloso assenza di vento	12,6	1016	72	0,2
ASB015	18/01/2011	10.10	18.10	Traffico quasi assente	Nuvoloso assenza di vento	12,8	1015	76	0,2
ASB011	18/01/2011	10.30	18.00	Traffico quasi assente	Nuvoloso assenza di vento	11,8	1009	71	0,0
ASB014	18/01/2011	11.05	19.05	Parcheggio con poco traffico	Nuvoloso assenza di vento	13,7	1016	63	0,2
ASB012	19/01/2011	8.15	16.15	Strada poco trafficata	Nuvoloso assenza di vento	12,5	1017	75	0,7
ASB010	19/01/2011	8.30	16.30	Strada principale molto trafficata	Nuvoloso assenza di vento	13,7	1018	72	0,2
ASB013	19/01/2011	9.00	17.00	Strada principale molto trafficata	Nuvoloso assenza di vento	13,2	1020	72	0,5
ASB014	19/01/2011	9.15	17.15	Parcheggio con poco traffico	Nuvoloso assenza di vento	12,9	1020	76	0,0
ASB011	19/01/2011	9.45	17.45	Traffico quasi assente	Nuvoloso assenza di vento	12,1	1005	75	0,1
ASB015	19/01/2011	10.35	18.35	Traffico quasi assente	Nuvoloso assenza di vento	12,8	1014	76	0,0
ASB012	20/01/2011	8.20	16.20	Strada poco trafficata	Sole velato con forte vento	5,8	1017	71	0,4
ASB013	20/01/2011	8.45	16.45	Strada principale molto trafficata	Sole velato con forte vento	6,9	1018	69	0,5
ASB015	20/01/2011	9.15	17.15	Traffico quasi assente	Sole velato con forte vento	7,6	1010	69	0,1
ASB014	20/01/2011	9.40	17.40	Parcheggio con poco traffico	Sole velato con forte vento	6,3	1018	70	0,2
ASB011	20/01/2011	10.00	18.00	Traffico quasi assente	Sole velato con forte vento	6,0	1002	69	0,0
ASB010	20/01/2011	10.35	18.35	Strada principale molto trafficata	Sole velato con forte vento	6,6	1018	69	0,1
ASB007	21/01/2011	8.30	16.30	Strada con poco traffico	Sole con forte vento	6,5	1005	38	**2,7**
ASB008	21/01/2011	9.00	17.00	Strada con poco traffico	Sole con forte vento	6,4	1012	43	0,2
ASB009	21/01/2011	9.30	17.30	Parcheggio trafficato con passaggio camion	Sole con forte vento	7,0	1018	38	**2,3**
ASB006	21/01/2011	10.30	17.30	Parcheggio trafficato	Sole con forte vento	7,0	1019	35	0,3
ASB007	22/01/2011	8.30	16.30	Strada con poco traffico	Nuvoloso con forte vento	5,6	1006	41	0,7
ASB008	22/01/2011	9.00	17.00	Strada con poco traffico	Nuvoloso con forte vento	5,8	1012	42	0,2
ASB009	22/01/2011	9.30	17.30	Parcheggio trafficato con passaggio camion	Nuvoloso con forte vento	6,1	1018	41	0,7
ASB006	22/01/2011	10.00	18.00	Parcheggio trafficato	Nuvoloso con forte vento	6,8	1018	40	0,0
ASB007	23/01/2011	8.30	16.30	Strada con poco traffico	Sole con assenza di vento	6,4	1004	48	0,4
ASB008	23/01/2011	9.00	17.00	Strada con poco traffico	Sole con assenza di	6,5	1010	51	0,3

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Punti	Data	Dalle	Alle	Descrizione viabilità	Condizioni meteo	°C	hPa	% RH	ff/l
					vento				
ASB009	23/01/2011	9.30	17.30	Parcheggio trafficato con passaggio camion	Sole con assenza di vento	7,4	1017	40	0,9
ASB006	23/01/2011	10.00	17.00	Parcheggio trafficato	Sole con assenza di vento	6,9	1018	42	0,1
ASB001	24/01/2011	8.00	16.00	Traffico sostenuto	Sole con assenza di vento	6,0	1014	60	0,2
ASB002	24/01/2011	8.30	16.30	Strada principale molto trafficata	Sole con assenza di vento	6,4	1014	53	0,2
ASB003	24/01/2011	9.00	17.00	Strada principale molto trafficata	Sole con assenza di vento	5,9	1017	50	0,1
ASB004	24/01/2011	9.30	17.30	Strada principale molto trafficata con incrocio e presenza di semaforo.	Sole con assenza di vento	6,0	1019	44	0,4
ASB005	24/01/2011	10.00	17.00	Strada principale molto trafficata con incrocio e presenza di semaforo.	Sole con assenza di vento	6,6	1019	41	0,3
ASB001	25/01/2011	8.00	17.00	Traffico sostenuto	Nuvoloso con leggera pioggia in mattinata	5,3	1012	66	0,2
ASB002	25/01/2011	8.30	16.30	Strada principale molto trafficata	Nuvoloso con leggera pioggia in mattinata	6,5	1012	61	0,3
ASB003	25/01/2011	9.00	17.00	Strada principale molto trafficata	Nuvoloso con leggera pioggia in mattinata	6,6	1015	64	0,1
ASB004	25/01/2011	9.30	17.30	Strada principale molto trafficata con incrocio e presenza di semaforo.	Nuvoloso con leggera pioggia in mattinata	6,8	1017	63	0,2
ASB005	25/01/2011	10.00	18.00	Strada principale molto trafficata con incrocio e presenza di semaforo.	Nuvoloso con leggera pioggia in mattinata	6,3	1017	58	0,2
ASB001	26/01/2011	8.00	17.00	Traffico sostenuto	Nuvoloso con leggera pioggia nel pomeriggio	7,6	1004	83	0,1
ASB002	26/01/2011	8.30	16.30	Strada principale molto trafficata	Nuvoloso con leggera pioggia nel pomeriggio	7,5	1005	74	0,0
ASB003	26/01/2011	9.00	17.00	Strada principale molto trafficata	Nuvoloso con leggera pioggia nel pomeriggio	7.5	1007	81	0,0
ASB004	26/01/2011	9.30	17.30	Strada principale molto trafficata con incrocio e presenza di semaforo.	Nuvoloso con leggera pioggia nel pomeriggio	8,1	1009	86	0,1
ASB005	26/01/2011	10.00	18.00	Strada principale molto trafficata con incrocio e presenza di semaforo.	Nuvoloso con leggera pioggia nel pomeriggio	8,2	1009	78	0,2

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Grafico 4-1

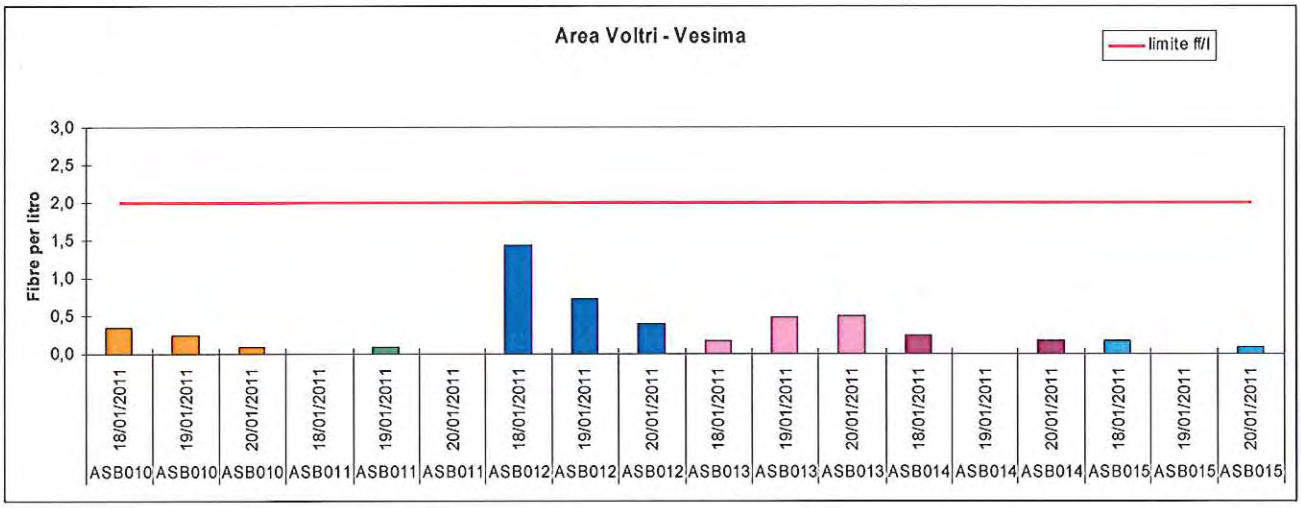
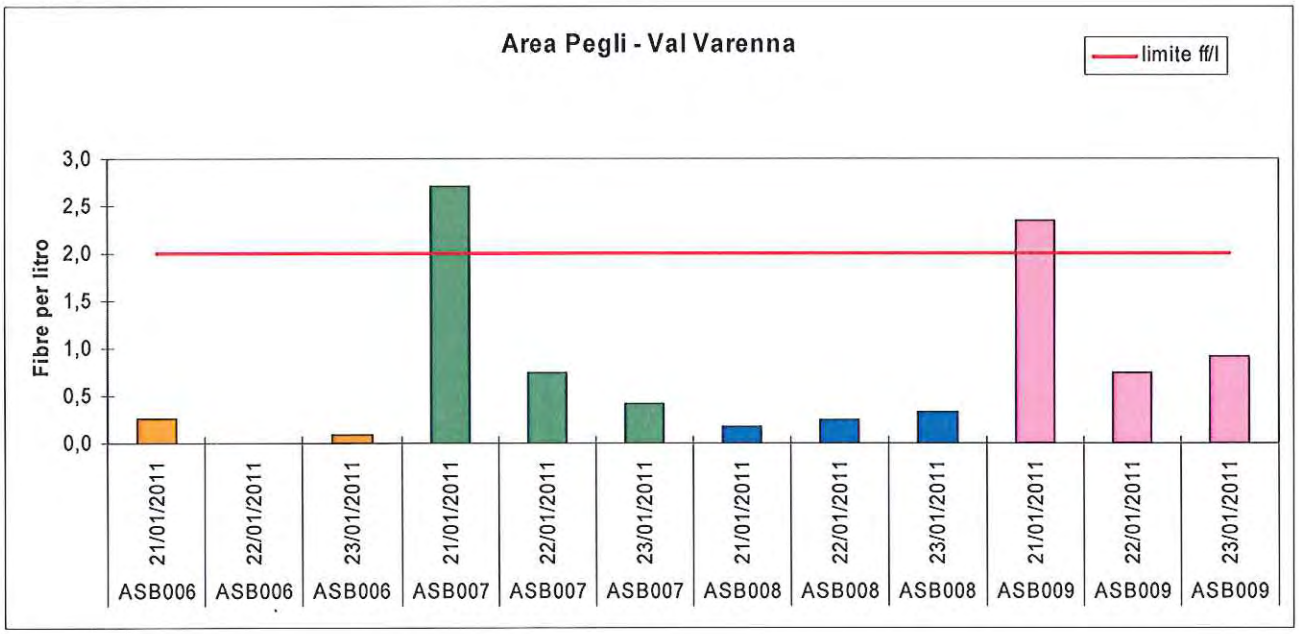
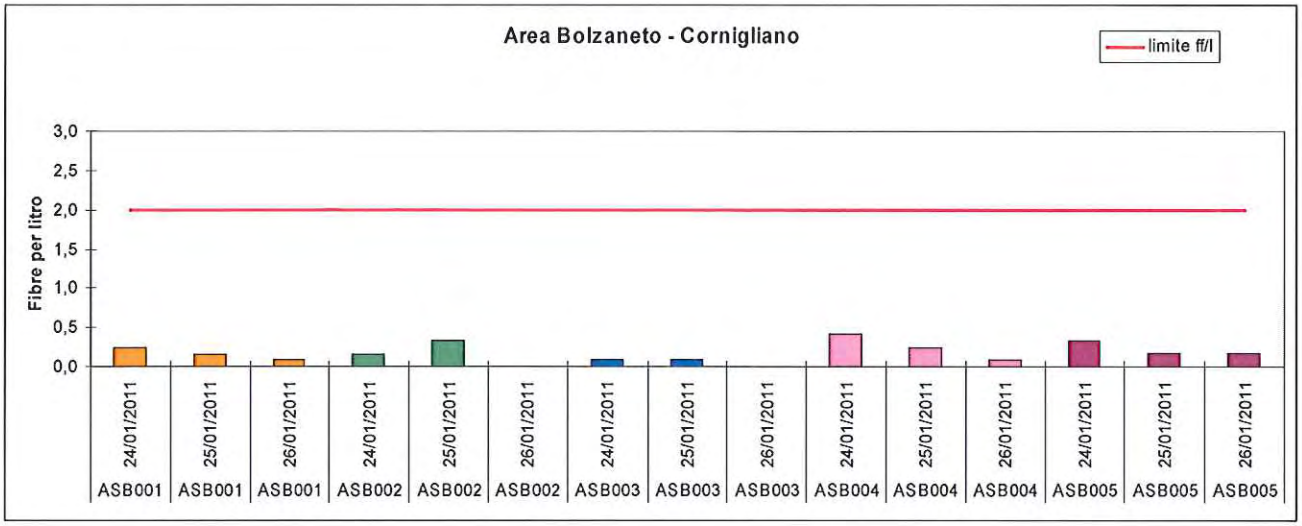


Grafico 4-2



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Grafico 4-3



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

5 CONCLUSIONI

L'indagine sulla dispersione atmosferica delle fibre di amianto effettuata nel comune di Genova e finalizzata alla valutazione dello stato di qualità ambientale attuale delle aree di intervento relative alla realizzazione di un by pass autostradale denominato "Gronda di Ponente", ha messo in evidenza una criticità nell'area Pegli Val Varenna dove si sono avuti due superamenti di 2 fibre per litro. La particolare conformazione della valle molto stretta, la presenza di affioramenti di serpentino, l'esistenza di cave e di attività che comportano il trattamento ed il deposito di inerti, nonché il traffico pesante collegato alle attività di cui sopra, sono tutti i fattori che potrebbero giustificare le anomalie riscontrate. Il vento in questa vallata potrebbe essere un fattore che determina un aumento di fibre.

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

ALLEGATO 1

SCHEDE AREA DI MISURA

SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB001**

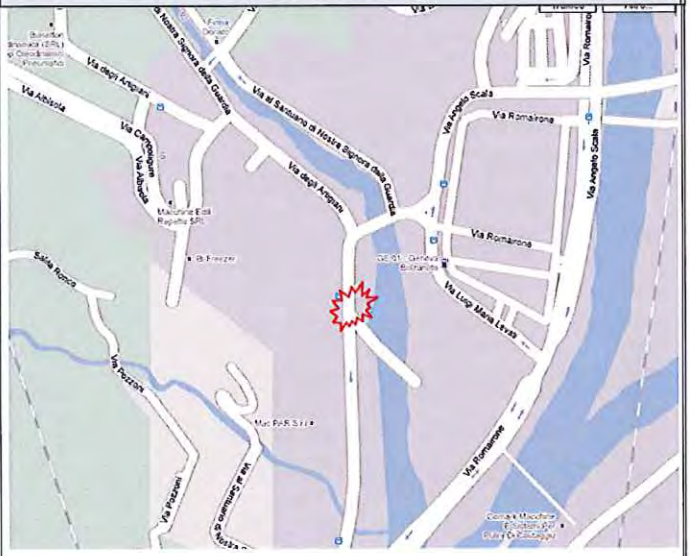
LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Bolzaneto	*Indirizzo*: Via al Santuario di Nostra Signora della Guardia 19	
Coordinate geografiche:	*N: 44°28'05,9"*	*EO: 8°53'54,9"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB002**

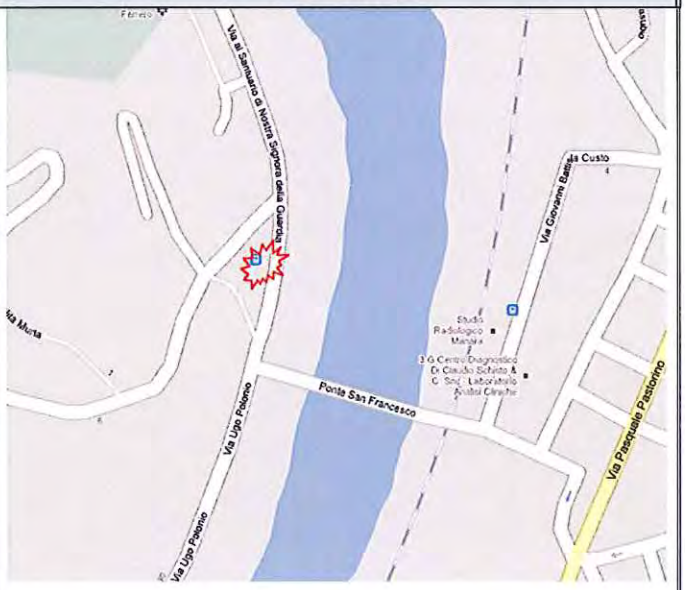
LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Polcevera-Bolzaneto-Murta	*Indirizzo*: Via Ugo Polonia 31 rosso	
Coordinate geografiche:	*N: 44°27'31,7"*	*EO: EO 8°53'56,1"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB003**

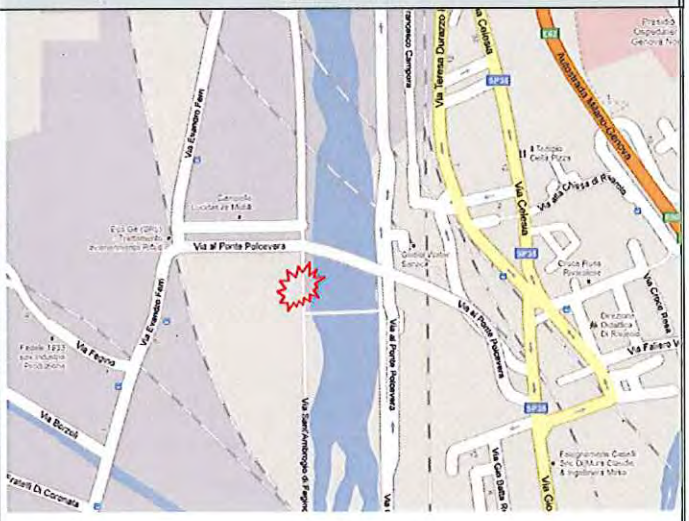
LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Polcevera-Fegino	*Indirizzo*: Via sant'Ambrogio di Fegino	
Coordinate geografiche:	*N: 44°26'16,6"*	*EO: 8°53'21,5"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ

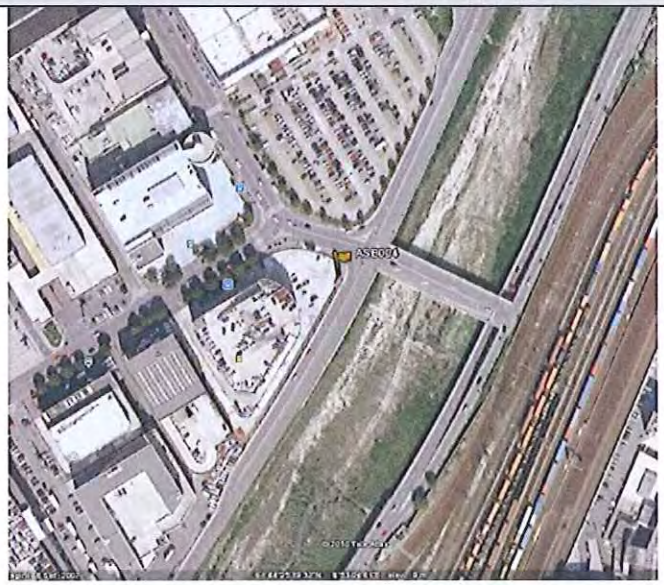

Via al Ponte Polcevera
Via Fegino
Via Borzoli
Via Cornigliano
Via Cruto
Via Cruz Bianca
Via Giovanni Cantore
Via Sant'Ambrogio di Fegino
Via Cruz di Rivarolo
Via Cruto

SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB004**

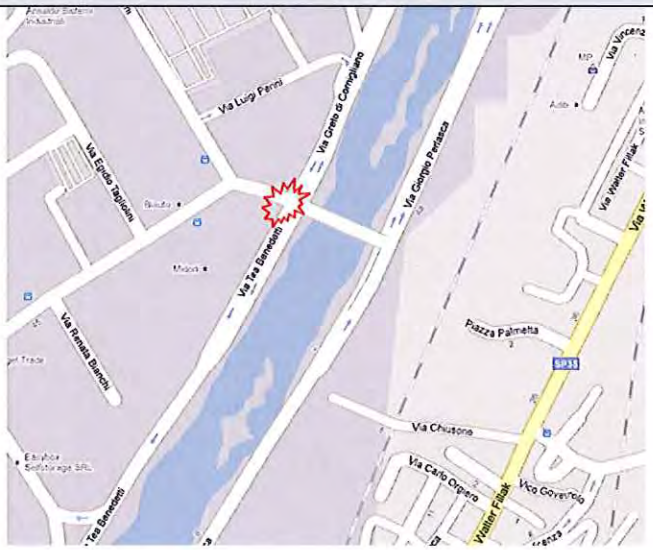
LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Polcevera-Campi	*Indirizzo*: Incrocio tra via Tea Benedetti e Renata Bianchi	
Coordinate geografiche:	*N: 44°25'19,2"*	*EO: 8°53'04,4"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB005**

LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Cornigliano	*Indirizzo*: via Cornigliano/ via Bertolotti	
Coordinate geografiche:	*N: 44°24'55,7"*	*EO: 8°51'57,8"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB006**

LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Sestri Ponente	*Indirizzo*: Via pionieri e aviatori d'Italia, 129	
Coordinate geografiche:	*N: 44°24'53,9"*	*EO: 8°50'25,6"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB007**

LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Pegli-Val Varenna	*Indirizzo*: Via Carpenara	
Coordinate geografiche:	*N: 44°27'17,3"*	*EO: 8°49'14,1"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB008**

LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Pegli-Val Varenna	*Indirizzo*: Via Carpenara	
Coordinate geografiche:	*N: 44°26'33,9"*	*EO: 8°49'19"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB009**

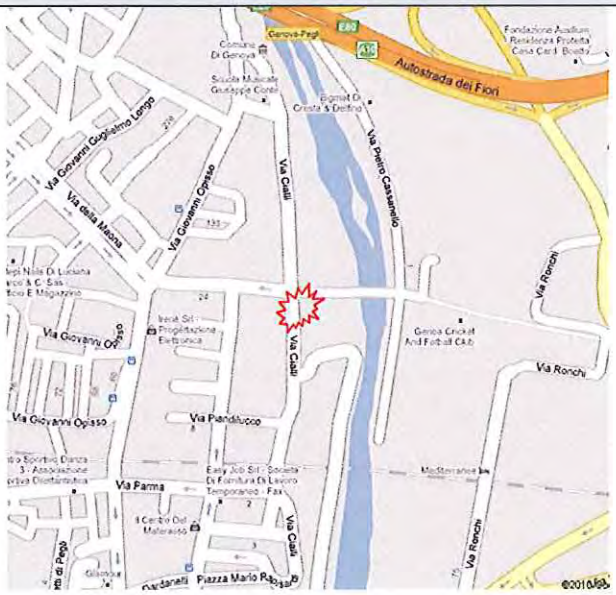
LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Pegli	*Indirizzo*: Via Cialli	
Coordinate geografiche:	*N: 44°25'38,8"*	*EO: 8°49'18,1"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB010**

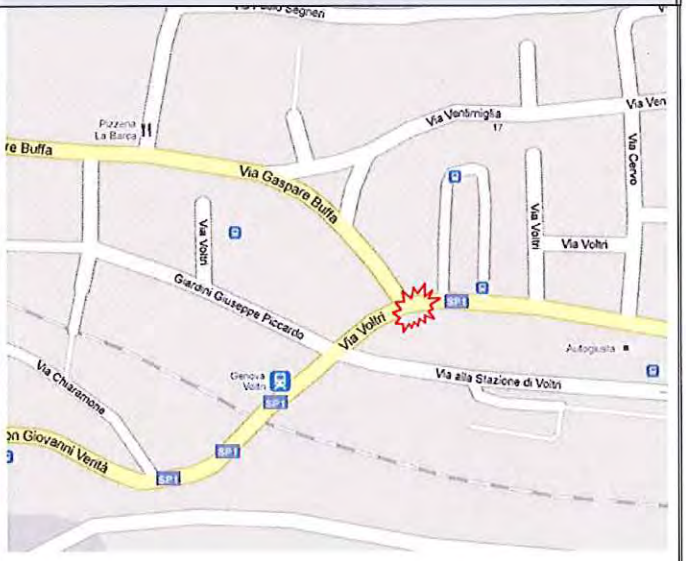
LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Voltri	*Indirizzo*: Via Voltri 40 r	
Coordinate geografiche:	*N: 44°25'43,7"*	*EO: 8°45'32,4"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB011**

LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Voltri – San Nicolò	*Indirizzo*: Via Santuario delle grazie 26	
Coordinate geografiche:	*N: 44°26'15,5"*	*EO: 8°44'25.2"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB012**

LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Voltri	*Indirizzo*: Via Ovada 13 r	
Coordinate geografiche:	*N: 44°26'10,7"*	*EO: 8°44'45,6"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB013**

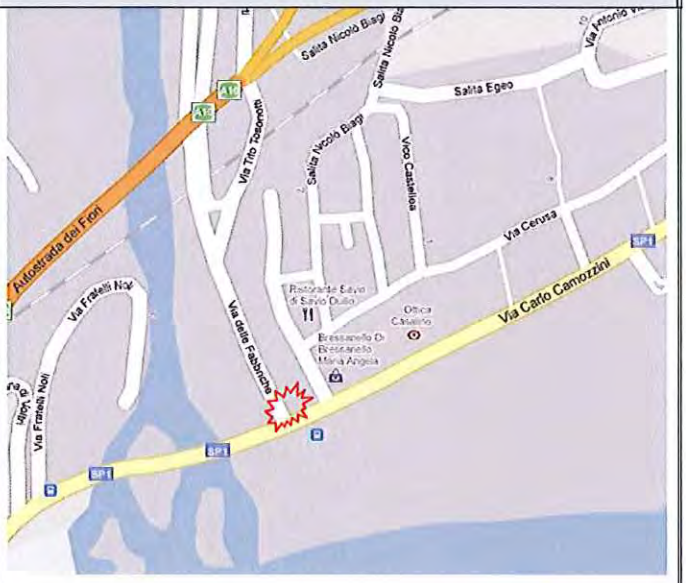
LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Voltri	*Indirizzo*: Via delle fabbriche	
Coordinate geografiche:	*N: 44°25'38,3"*	*EO: 8°44'35,0"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB014**

LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Voltri	*Indirizzo*: Via delle fabbriche	
Coordinate geografiche:	*N: 44°25'57,7"*	*EO: 8°44'15,1"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



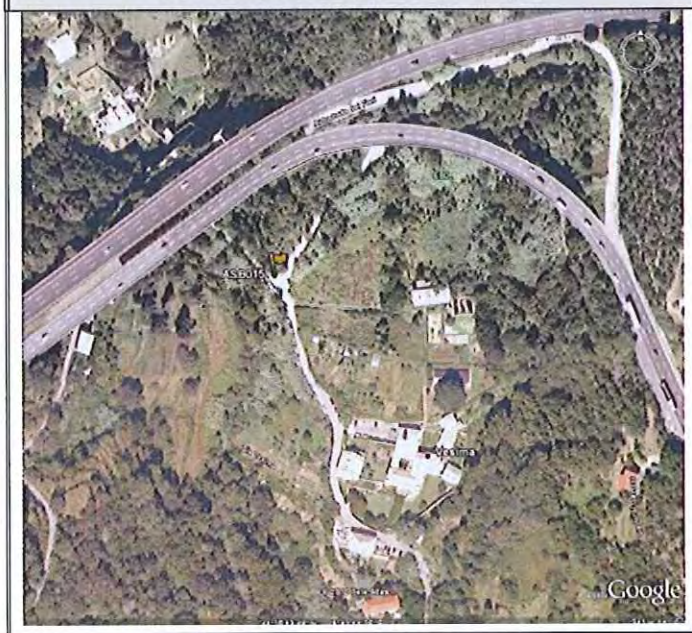


SPEA Ingegneria Europea S.p.A.	Monitoraggio fibre d'amianto aerodisperse	Codice Punto **ASB015**

LOCALIZZAZIONE

Provincia:	Genova	*Comune*:	Genova
Località:	Vesima	*Indirizzo*: Via Vesima	
Coordinate geografiche:	*N: 44°25'08,5"*	*EO: 8°42'51.0"*	

STRALCIO CARTOGRAFICO



VIABILITÀ



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





ALLEGATO 2

RAPPORTI DI PROVA

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-046 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB001-Via al Santuario di Nostra Signora della Guardia 19***					
Sigla campioni:	*1100281-031*	*1100281-036*	*1100281-041*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°28'05,9"*	*Longitudine:*	*8°53'54,9"*
Data inizio fase analitica:	*9-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*9-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
24/01/2011	8.00	480	3,080	22	249	30	892
25/01/2011	8.00	480	3,107	22	164	3	682
26/01/2011	8.00	480	3,093	22	82	3	685

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan Fugiolino FORLI - CESENA - RIMINI

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fugiolino)

GRUPPO C.S.A. S.p.A. DIRETTORE DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-047 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB002-Via Ugo Polonia 31 r***					
Sigla campioni:	*1100281-032*	*1100281-037*	*1100281-042*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°27'31,7*	*Longitudine:*	*8°53'56,1"*
Data inizio fase analitica:	*9-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*9-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
24/01/2011	8.30	480	3,109	22	164	3	681
25/01/2011	8.30	480	3,089	22	330	76	1079
26/01/2011	8.30	480	3,087	22	0	0	454

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan Fagiolino

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-048 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB003-Via Sant' Ambrogio di Fegino***					
Sigla campioni:	*1100281-033*	*1100281-038*	*1100281-043*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°26'16,6"*	*Longitudine:*	*8°53'21,5"*
Data inizio fase analitica:	*9-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*9-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
24/01/2011	9.00	480	3,093	22	82	3	685
25/01/2011	9.00	480	3,098	22	82	3	684
26/01/2011	9.00	480	3,102	22	0	0	452

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan Fagiolino

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

GRUPPO C.S.A. DIRETTORE DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-049 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB004-Incrocio tra Via Benedetti e Renata Bianchi***					
Sigla campioni:	*1100281-034*	*1100281-039*	*1100281-044*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°25'19,2"*	*Longitudine:*	*8°53'04,4"*
Data inizio fase analitica:	*9-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*9-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
24/01/2011	9.30	480	3,107	22	411	76	1073
25/01/2011	9.30	480	3,078	22	249	30	892
26/01/2011	9.30	480	3,120	22	82	3	679

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Fagiolino CESENA-FORLI

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

DIRETTORE GRUPPO CSA DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-050 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB005-Incrocio tra Via Cornegliano e Via Bertolotti***					
Sigla campioni:	***1100281-035***	***1100281-040***	***1100281-045***			
Provenienza campione:	***Comune di***	***Genova***	***Latitudine:***	***44°24'55,7"***	***Longitudine:***	***8°51'57,8"***
Data inizio fase analitica:	***9-febbraio-2011***		***Data fine fase analitica:***		***9-febbraio-2011***	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	***DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94*** [1]
Principio misura:	***Filtrazione e analisi in ESEM/EDS*** [2]
Note relativa al metodo	***Nessuna***

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
24/01/2011	10.00	480	3,096	22	330	76	1076
25/01/2011	10.00	480	3,087	22	165	3	686
26/01/2011	10.00	480	3,043	22	168	3	696

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan Fagiolino FORLI CESENA

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

GRUPPO C.S.A. S.p.A. DIRETTORE DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-051 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB006-Via pionieri di Italia 129***					
Sigla campioni:	*1100281-019*	*1100281-023*	*1100281-027*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°24'53,9"*	*Longitudine:*	*8°50'25,6"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
21/01/2011	10.30	480	3,056	22	250	30	899
22/01/2011	10.00	480	3,111	22	0	0	451
23/01/2011	10.00	480	3,116	22	82	3	680

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-052 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB007-Via Carpenara***					
Sigla campioni:	*1100281-020*	*1100281-024*	*1100281-028*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°27'17,3"*	*Longitudine:*	*8°49'14,1"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
21/01/2011	8.30	480	3,112	22	2705	1684	4069
22/01/2011	8.30	480	3,114	22	737	269	1594
23/01/2011	8.30	480	3,115	22	410	76	1070

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI FORLI-CESENA Dott. Ivan Fagiolino N°

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-053 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB008-Via Carpenara***					
Sigla campioni:	*1100281-021*	*1100281-025*	*1100281-029*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°26'33,9"*	*Longitudine:*	*8°49'19,0"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
21/01/2011	9.00	480	3,066	22	166	3	691
22/01/2011	9.00	480	3,136	22	244	29	876
23/01/2011	9.00	480	3,117	22	327	75	1069

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. IVAN FAGIOLINO FORLI-CESENA

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. S.p.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-054 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB009-Via Cialli***					
Sigla campioni:	*1100281-022*	*1100281-026*	*1100281-030*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°25'38,8"*	*Longitudine:*	*8°49'18,1"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
21/01/2011	9.30	480	3,151	22	2348	1380	3597
22/01/2011	9.30	480	3,120	22	736	268	1591
23/01/2011	9.30	480	3,077	22	912	592	2272

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan Fagiolino

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-055 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB010-Via Voltri 40 r***					
Sigla campioni:	*1100281-001*	*1100281-007*	*1100281-013*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°25'43,7"*	*Longitudine:*	*8°45'32,4"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
18/01/2011	8.00	480	3,013	22	339	78	1106
19/01/2011	8.30	480	3,176	22	241	29	865
20/01/2011	10.35	480	3,136	22	81	3	675

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan Fugiolino

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fugiolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. S.p.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-056 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB011-Via Santuario delle Grazie 26***					
Sigla campioni:	*1100281-002*	*1100281-008*	*1100281-014*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°26'15,5"*	*Longitudine:*	*8°44'25,2"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
18/01/2011	10.30	480	3,084	22	0	0	455
19/01/2011	9.45	480	3,113	22	82	3	680
20/01/2011	10.00	480	3,102	22	0	0	452

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-057 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB012-Via Ovada 13 r***					
Sigla campioni:	*1100281-003*	*1100281-009*	*1100281-015*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°26'10,7"*	*Longitudine:*	*8°44'45,6"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
18/01/2011	8.30	480	3,214	22	1429	733	2479
19/01/2011	8.15	480	3,150	22	729	266	1576
20/01/2011	8.20	480	3,167	22	403	74	1052

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI FORLI-CESENA Dott. Ivan Pagliolino

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Pagliolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. S.P.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-058 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB013-Via delle Fabbriche***					
Sigla campioni:	*1100281-004*	*1100281-010*	*1100281-016*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°25'38,3"*	*Longitudine:*	*8°44'35,0"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
18/01/2011	8.50	480	3,004	22	170	3	705
19/01/2011	9.00	480	3,165	22	484	131	1230
20/01/2011	8.45	480	3,087	22	496	134	1261

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-059 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB014-Via delle Fabbriche***					
Sigla campioni:	*1100281-005*	*1100281-011*	*1100281-017*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°25'57,7"*	*Longitudine:*	*8°44'15,1"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
18/01/2011	11.05	480	3,070	22	249	30	895
19/01/2011	9.15	480	3,086	22	0	0	455
20/01/2011	9.40	480	3,098	22	165	3	684

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan Fagiolino N°008 FORLI' CESENA

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rimini, li 15/02/2011

Rapporto di prova N° 1100281-060 del 15/02/2011

Committente:	***Spea Spa via A.Scarselli, 119 Torre B, 11° piano,16149 Genova.***					
Punto di misura:	***ASB015-Via Vesima***					
Sigla campioni:	*1100281-006*	*1100281-012*	*1100281-018*			
Provenienza campione:	*Comune di*	*Genova*	*Latitudine:*	*44°25'08,5"*	*Longitudine:*	*8°42'51,0"*
Data inizio fase analitica:	*8-febbraio-2011*		*Data fine fase analitica:*		*8-febbraio-2011*	

Risultati analitici:

Prova: Concentrazione fibre di amianto aerodisperse (ESEM/EDS)

Metodo applicato	*DM 06/09/94 All. 2 Met. B GU n. 220 20/09/94* [1]
Principio misura:	*Filtrazione e analisi in ESEM/EDS* [2]
Note relativa al metodo	*Nessuna*

Dati sperimentali:

Data	*Inizio*	*Durata:*	*Volume aspirato*	*Diametro filtro*	*Fibre di amianto*	*L.F.I.*	*L.F.S.*
[gg/mm/aaaa]	*[hh.mm]*	*[minuti]*	*[m³]*	*[mm]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*	*[fibre/m³]*
18/01/2011	10.10	480	3,018	22	169	3	702
19/01/2011	10.35	480	3,157	22	0	0	444
20/01/2011	9.15	480	3,072	22	83	3	689

Note

L.F.I. = Limite fiduciario inferiore (LFI) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

L.F.S.= Limite fiduciario superiore (LFS) con il 95% di probabilità, fattore di copertura K=2

1 = Analisi eseguita presso Laboratorio con requisiti come da Decreto Ministeriale del 07/07/1997, riferimento Protocollo N°400x/3.7.8/42 del Ministero della Sanità Dipartimento della Prevenzione in data 11/01/2000.

2 = La determinazione è stata eseguita mediante microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta 200 , microsonda elettronica EDAX Falcon

ORDINE DEI CHIMICI Dott. Ivan Fagiolino

Divisione Laboratori
il Direttore
(Dr. Ivan Fagiolino)

DIRETTORE GRUPPO C.S.A. S.p.A. DIVISIONE

Divisione Analisi Esterne
il Direttore
(P.I. Daniele Vanzini)

Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

ALLEGATO 3

EVIDENZE SIGNIFICATIVE

Rapporto di prova n. 1100281-046 – allegato.

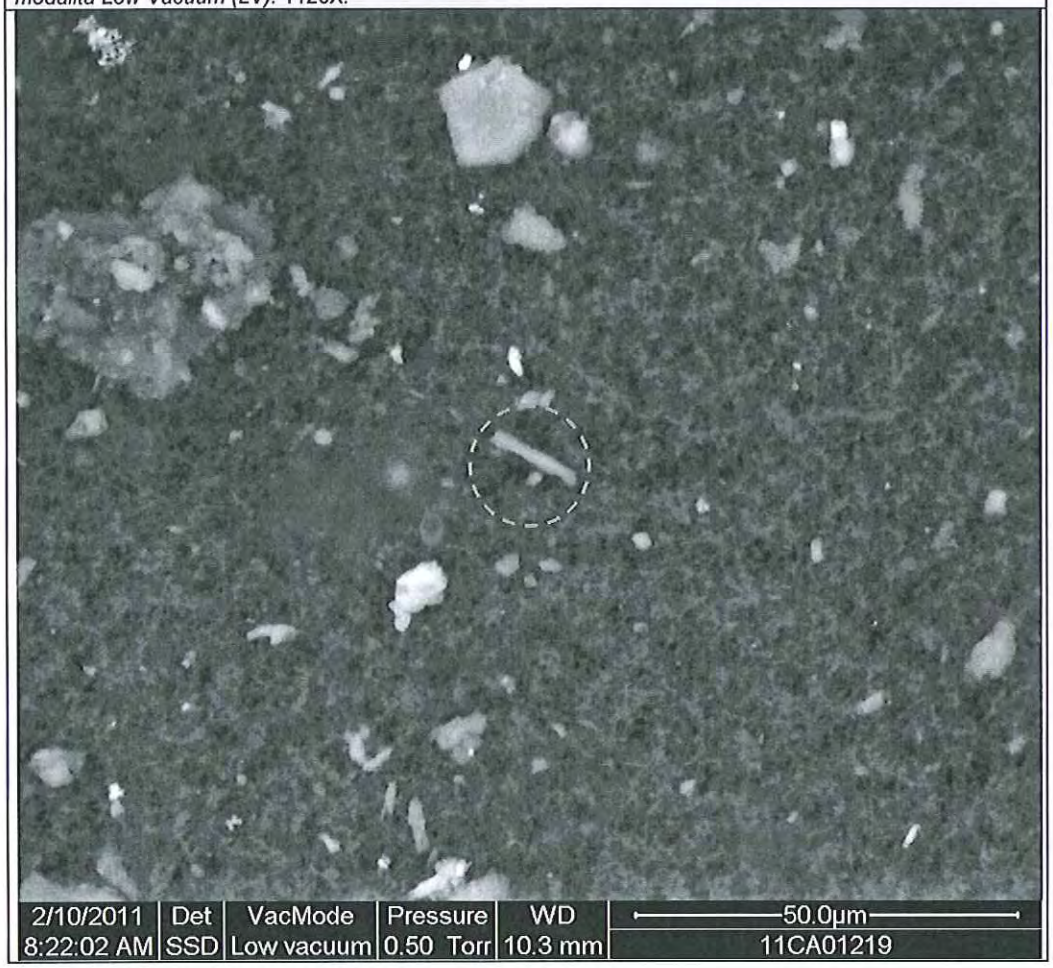
Campione 1100281-031 - ASB001 24/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-047 – allegato.

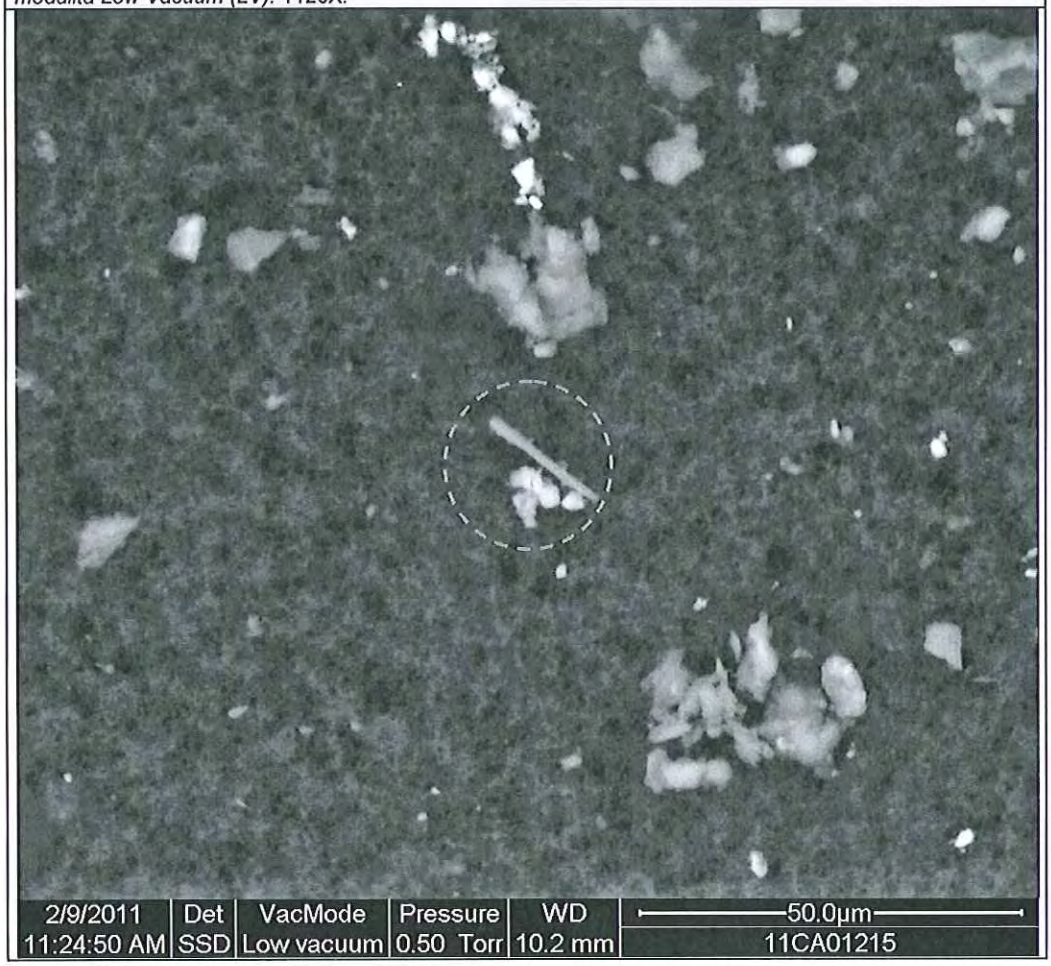
Campione 1100281-037 - ASB002 25/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-048 – allegato.

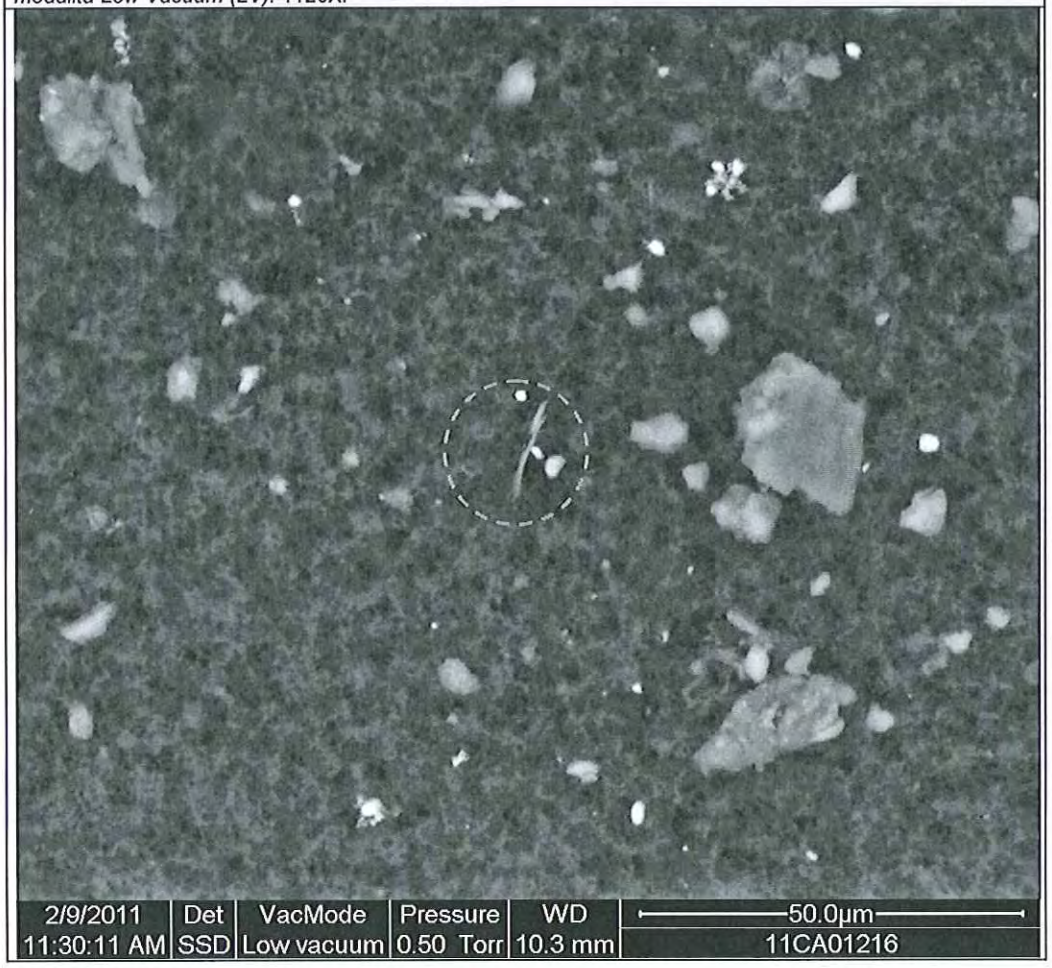
Campione 11100281-033 - ASB003 24/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-049 – allegato.

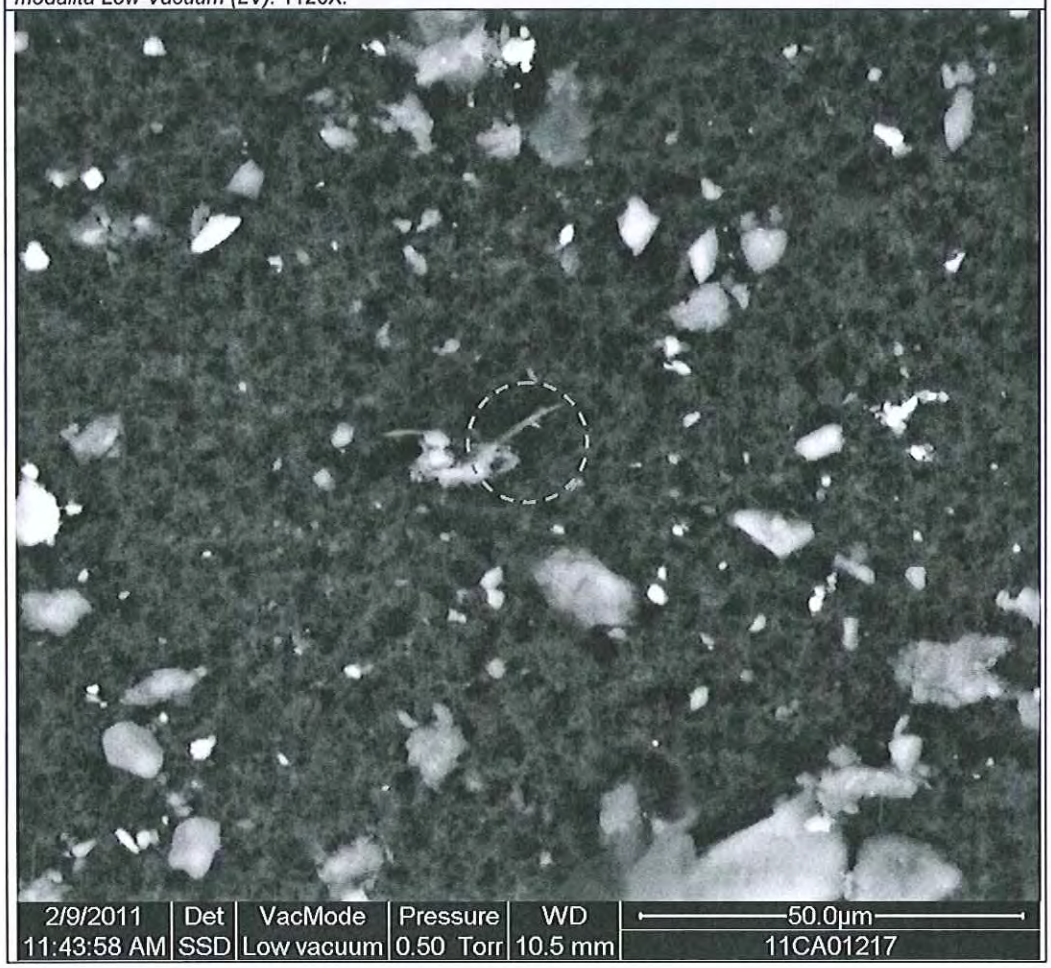
Campione 1100281-034 - ASB004 24/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-050 – allegato.

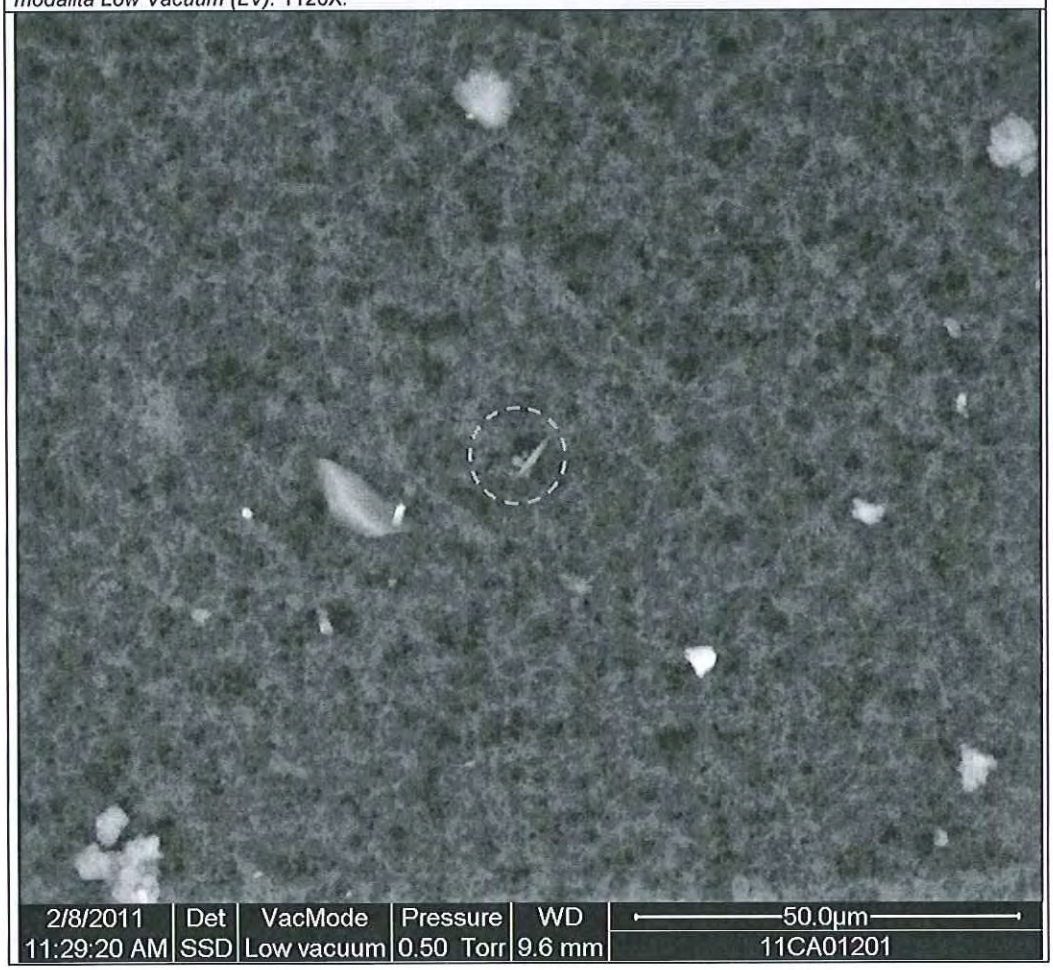
Campione 1100281-035 - ASB005 24/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-051 – allegato.

Campione 1100281-019 – ASB006 21/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.

Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN

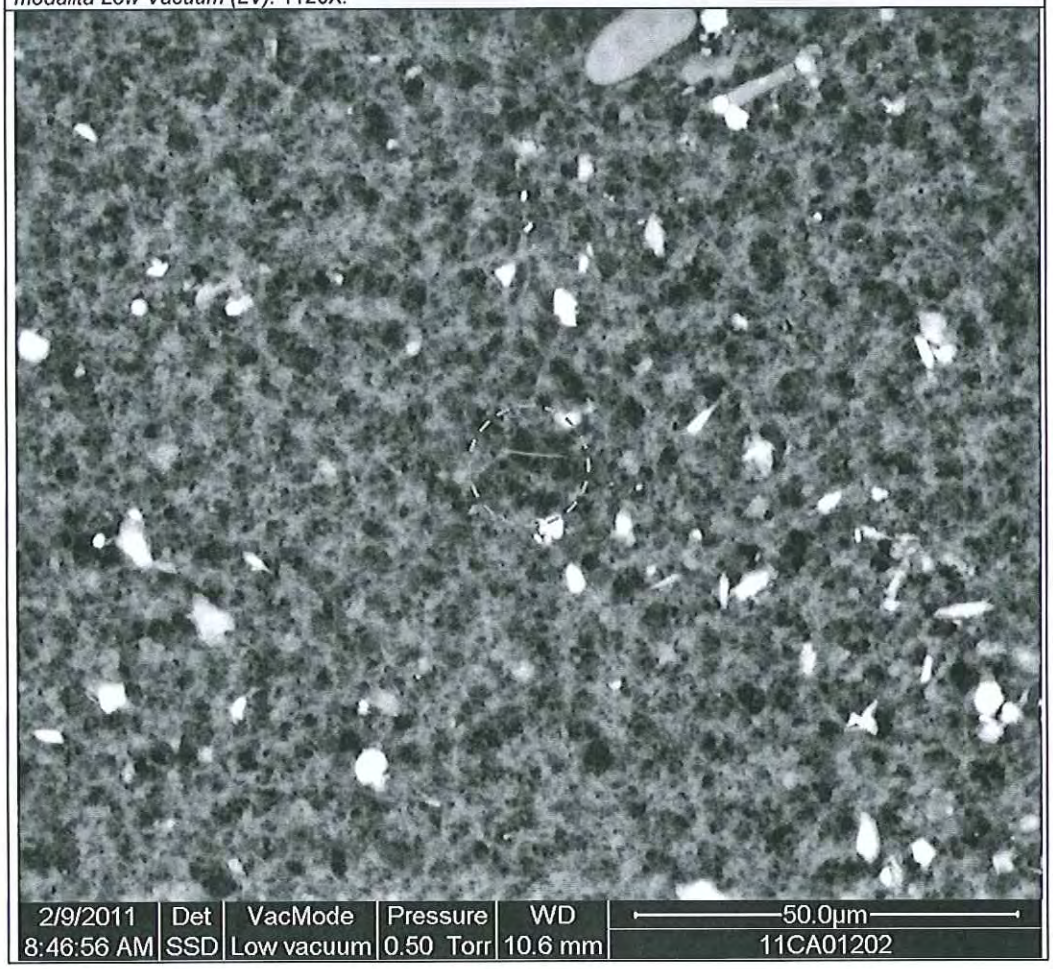
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045

www.csaricerche.com
info@csaricerche.com

Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-052 – allegato.

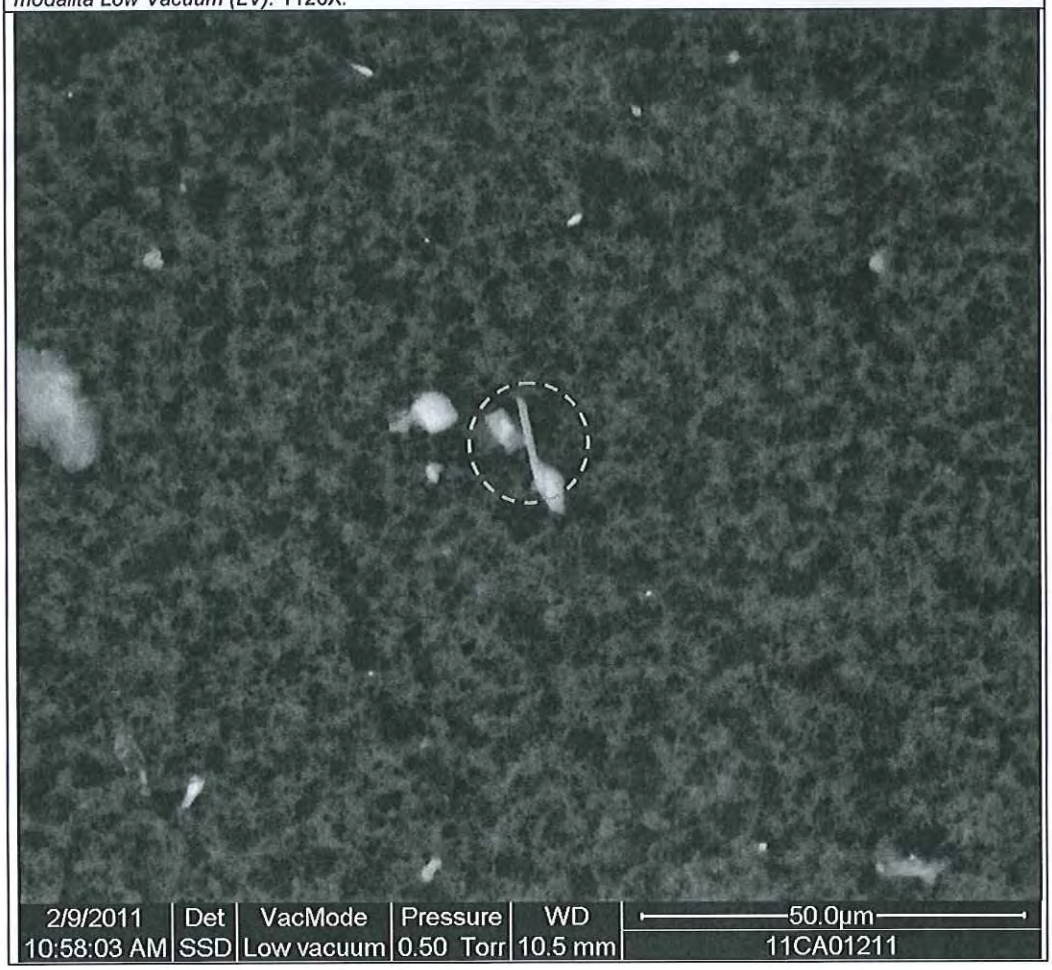
Campione 1100281-020 - ASB007 21/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-053 – allegato.

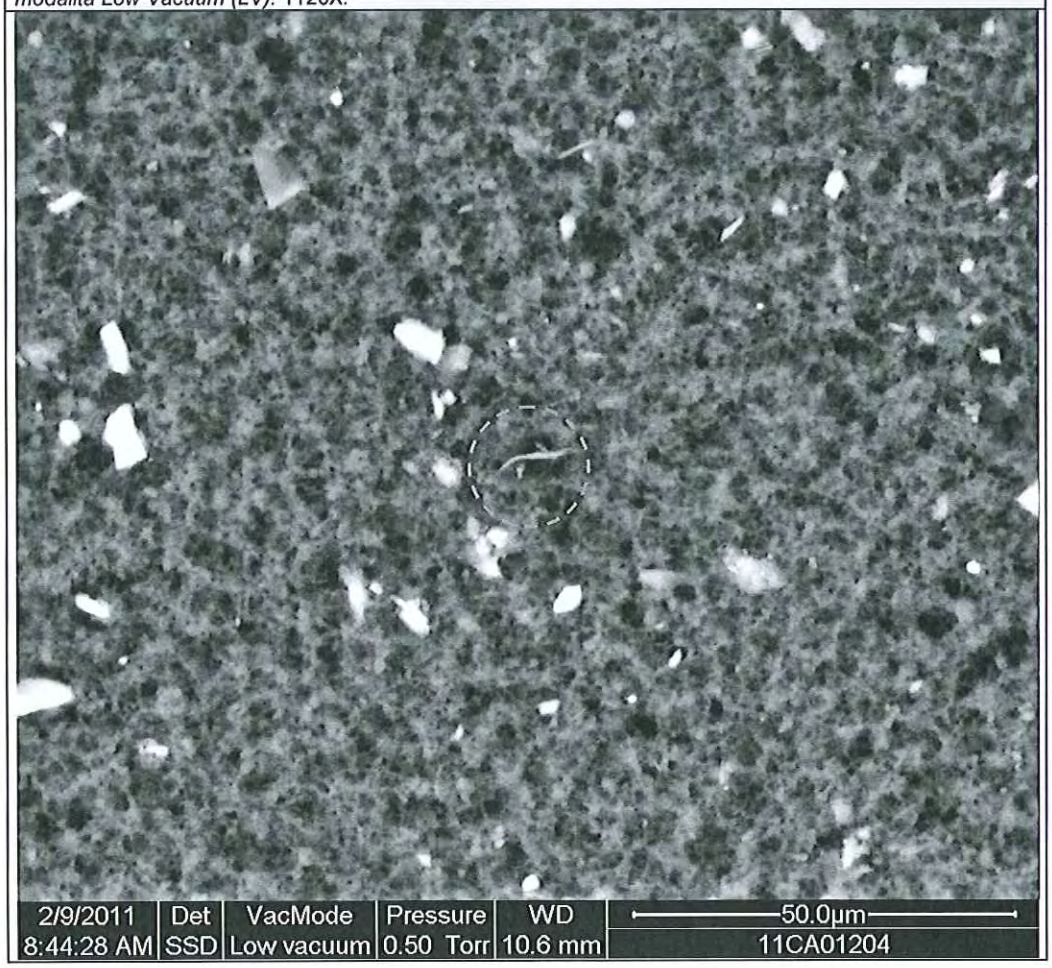
Campione 1100281-029 - ASB008 23/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-054 – allegato.

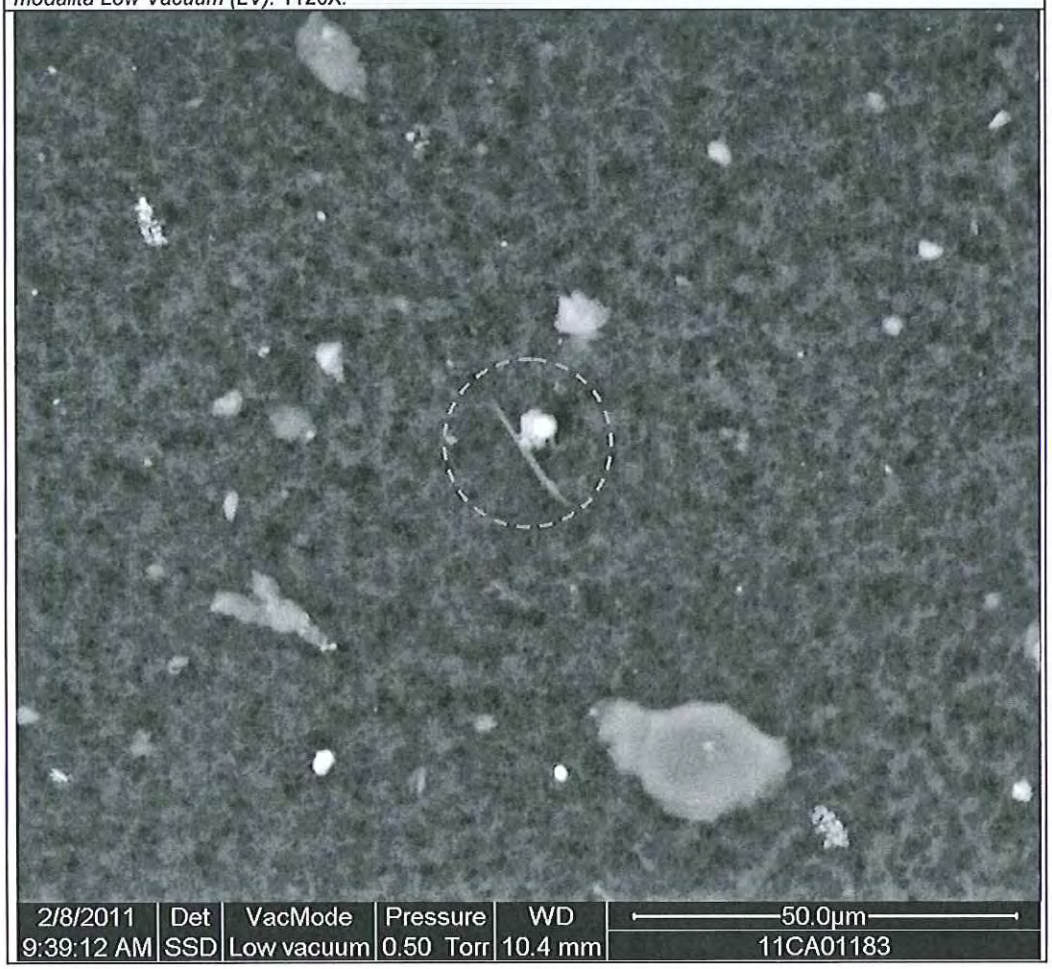
Campione 1100281-022 - ASB009 21/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-055 – allegato.

Campione 1100281-001 – ASB010 18/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-056 – allegato.

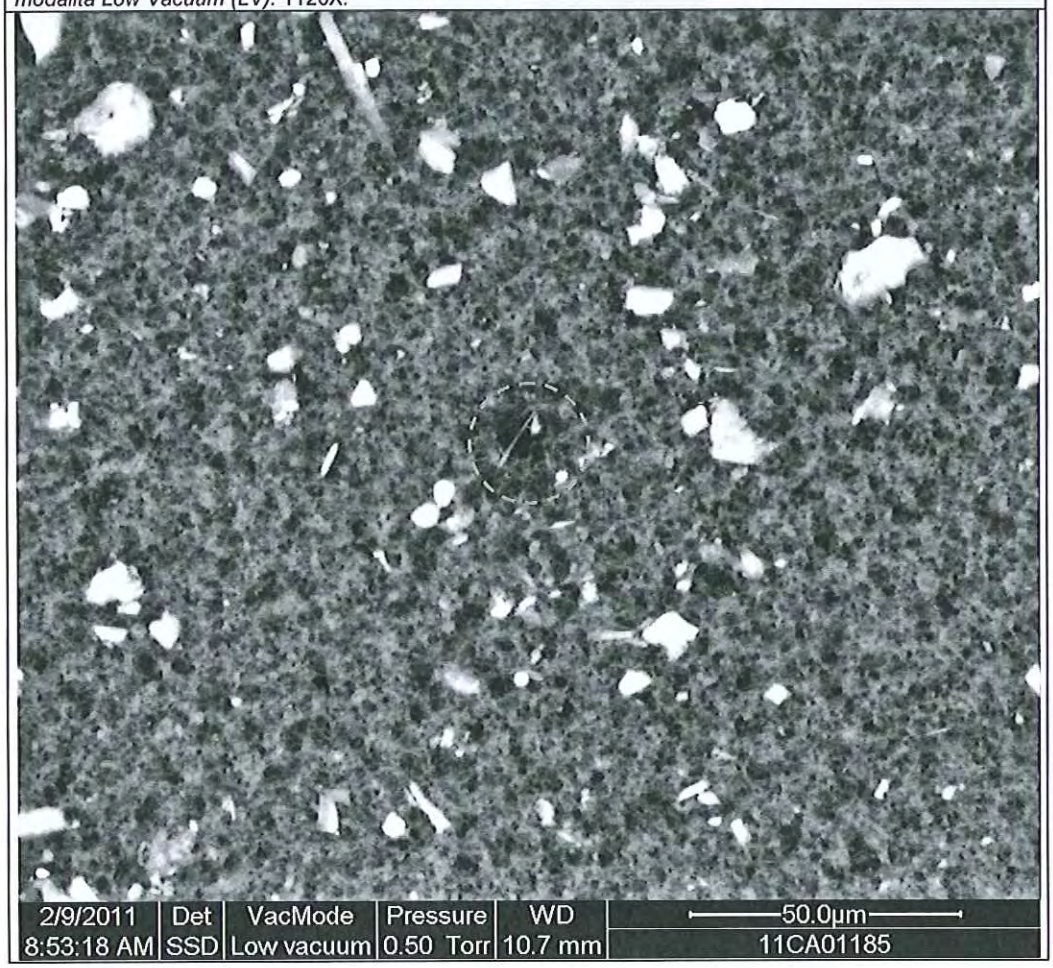
Campione 1100281-008 – ASB011 19/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-057 – allegato.

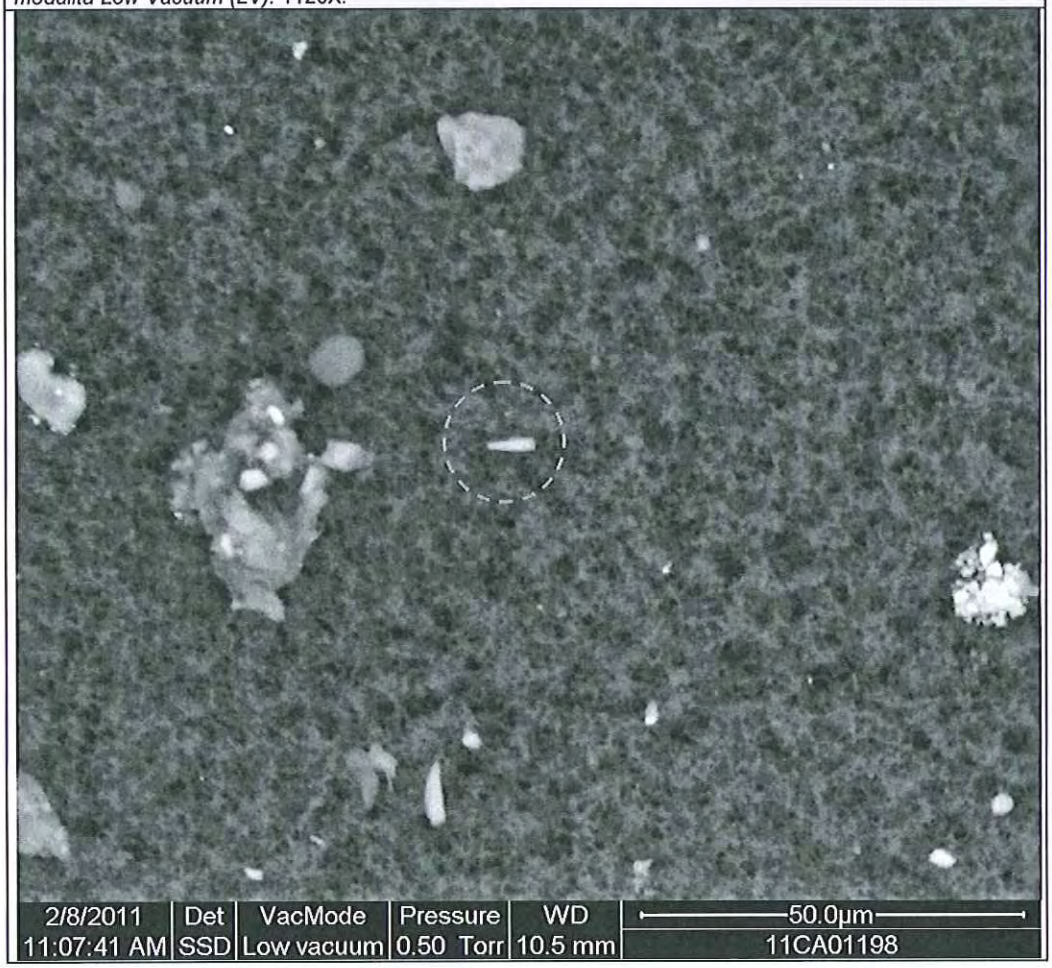
Campione 1100281-003 – ASB012 18/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-058 – allegato.

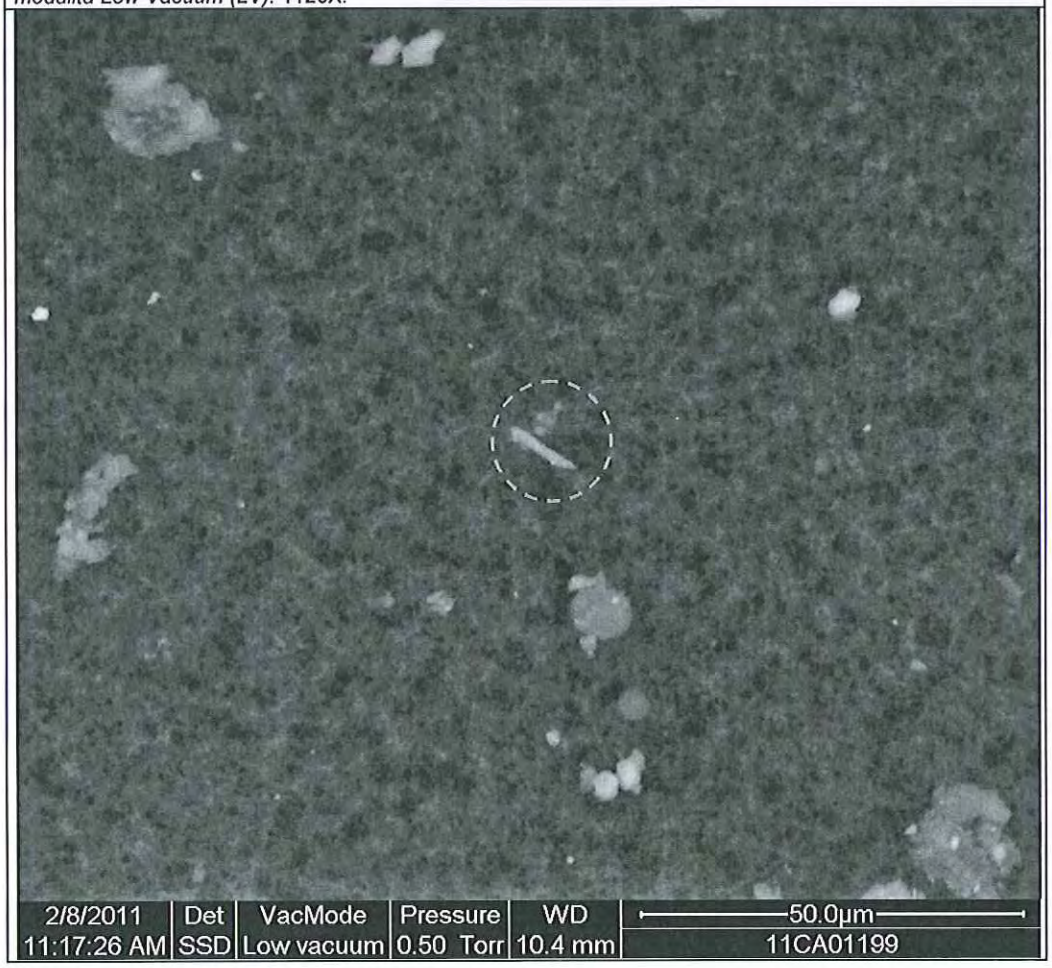
Campione 1100281-016 – ASB013 20/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-059– allegato.

Campione 1100281-017 – ASB014 20/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

Rapporto di prova n. 1100281-060 – allegato.

Campione 1100281-006 – ASB015 18/01. Fibra di crisotilo. *Immagine all'ESEM ad elettroni retrodiffusi modalità Low Vacuum (LV).* 1120X.



Gruppo C.S.A. S.p.A.
Via al Torrente 22
47923 Rimini - RN
telefono +39 0541 791050
telefax +39 0541 791045
www.csaricerche.com
info@csaricerche.com
Codice Fiscale - Partita Iva - Iscrizione al registro Imprese di Rimini al n. 03231410402 - Capitale Sociale € 1.050.000,00 i.v.

ALLEGATO 5

Modellazione del possibile rilascio di fibre di amianto durante le operazioni di sversamento a mare del materiale di smarino

DICAT
Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio.
Università di Genova

Modellazione fisica per la determinazione del possibile rilascio di fibre di amianto in aria durante le operazioni di sversamento a mare del materiale di smarino

Relazione Finale

Committente: Centro per lo Sviluppo della Sostenibilità dei Prodotti

Responsabili Modellazione Fisica:

Dott. Ing. Giovanni Besio

Dott. Ing. Rodolfo Repetto

Dott. Ing. Alessandro Stocchino

Responsabile Analisi Chimiche:

Prof. Marco Del Borghi

Rel. n. 22/11

INDICE

1 PREMESSA 4
2 DESCRIZIONE DEL PROBLEMA 5
2.1 Area dell'intervento 5
2.2 Breve descrizione dell'ipotesi di progetto 5
2.3 Caratteristiche attese del materiale di riempimento 7
3 OBIETTIVI DEL PRESENTE STUDIO 7
4 PROGETTAZIONE DEL MODELLO FISICO 8
4.1 Criteri di similitudine per la modellazione fisica 8
4.2 Stima dello scavo previsto 11
5 DESCRIZIONE DELL'APPARATO SPERIMENTALE 11
6 MATERIALI E METODI 17
6.1 Fibre di vetro 17
6.2 Sedimenti 17
6.3 Protocollo sperimentale 19
6.4 Metodologie di misura 19
6.4.1 Concentrazione di fibre in acqua 19
6.4.2 Rilevamento delle fibre in aria sui filtri 20
6.4.3 Rilievo del fondo 20
7 DESCRIZIONE DELLE PROVE EFFETTUATE E RISULTATI OTTENUTI 20
7.1 Concentrazione di fibre rilasciate in aria 22
7.2 Rilievo del fondo 36
8 CONCLUSIONI 36
9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 38

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Immagine satellitare dell'area dell'intervento: canale di calma tra la diga foranea e l'aeroporto di Genova. 5
Figura 2: Pianta dell'ipotesi progettuale. 6
Figura 3: Sezione trasversale dell'ipotesi progettuale. 6
Figura 4 Distribuzioni granulometriche ottenute in contesti simili a quelli del progetto in esame e disponibili in letteratura. 7
Figura 5: Fotografia dell'apparato sperimentale. 1. Serbatoio cilindrico in vetroresina. 2. Serbatoio di scarico in lamiera. 3. Tubazione in PVC di diametro 150 mm. 12
Figura 6: Vasca di carico dell'impianto idraulico. 13
Figura 7: Pompa. 13
Figura 8: Valvola e attuatore. 14
Figura 9: Misuratore di portata elettromagnetico. 14
Figura 10: Canale in lamiera che alimenta la vasca di carico della pompa. 15
Figura 11: Filtro per la misurazione della concentrazione di fibre in aria. 16
Figura 12: Esempio di prova con tubo immerso. 16
Figura 13: Esempio di prova con estremità del tubo al di fuori della superficie libera. 17
Figura 14: Fibre di Vetro ItalDry FIL 100F. 17
Figura 15: Curva granulometrica del materiale utilizzato per le prove. 18
Figura 16: Profilo del fondo lungo una sezione passante per l'asse del getto. a) Rilievo effettuato al termine della prova 8; b) Rilievo effettuato al termine della prova 14. 36
Figura 17: Numero di fibre rilevate in ogni prova e relativa concentrazione di fibre in acqua. 36

Figura 18: Numero di fibre rilevate in ogni esperimento per ml di aria.....37

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Valori approssimativi dei parametri adimensionali che compaiono nell'equazione (2) in scala reale e per un modello di Froude in scala ridotta con λ_L=1/3.6. 10
Tabella 2: Dati ottenuti dalla setacciatura del campione. 18
Tabella 3: Descrizione sintetica delle caratteristiche delle prove. Tutte le misure sono relative alla scala del modello, I valori riportati tra parentesi del livello della superficie libera si riferiscono al prototipo. 21

1 PREMESSA

Nell'ambito del contratto di ricerca *"Indagini sperimentali sulla dispersione e comportamento in acqua delle fibre d'amianto durante l'operazione di sversamento nel deposito a mare dello smarino. Modellazione chimica e fisica del potenziale rilascio nell'interfaccia acqua di mare-aria"*, stipulato tra SPEA INGEGNERIA EUROPEA SpA e il Centro per lo Sviluppo della Sostenibilità dei Prodotti (Ce.Si.S.P.) in data 08/02/2011, il Ce.Si.S.P. ha stipulato in data 15 aprile 2011 con il Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio (DICAT) dell'Università di Genova una convenzione di ricerca, specificatamente per condurre l'attività di sperimentazione fisica dello studio dello sversamento a mare dello smarino, prevista dal contratto con SPEA.

Obiettivo della presente Convenzione è di simulare le condizioni di sversamento più pericolose delle fasi di riempimento (in assenza di diffusore) e misurare le concentrazioni di fibre di amianto eventualmente liberate in atmosfera.

Il presente documento rappresenta la relazione tecnica conclusiva della convenzione tra Ce.Si.S.P. e DICAT.

2 DESCRIZIONE DEL PROBLEMA

Il progetto di potenziamento del nodo autostradale di Genova ("Gronda di Ponente") consentirà di connettere direttamente l'autostrada A26 all'autostrada A7. A tal fine è prevista la realizzazione di una serie di gallerie, il cui materiale di scavo potenzialmente amiantifero sarà trasferito e stoccato in un deposito a mare, che formerà una colmata adiacente la pista dell'aeroporto di Genova. Nel seguito verrà brevemente descritta l'area dell'intervento, lo schema progettuale ad oggi deciso e le caratteristiche del materiale di smarino, che verrà utilizzato per la colmata. Alcune caratteristiche del progetto e del materiale costituente lo slurry, saranno poi utilizzate per la progettazione del modello fisico oggetto della presente Convenzione.

2.1 Area dell'intervento



Figura 1: Immagine satellitare dell'area dell'intervento: canale di calma tra la diga foranea e l'aeroporto di Genova.

L'aerea interessata dalla colmata con il materiale degli scavi delle gallerie è situata nel canale di calma prospiciente la pista dell'aeroporto di Genova (Figura 1). Il canale di calma è attualmente largo circa 240 m ed è delimitato da una parte dalla diga foranea, realizzata con cassoni in c.a. dotati di muro paraonde basati circa alla quota -13 m s.l.m., e dall'altra dalla sponda della pista aeroportuale, costituita da cassoni in c.a. posati ad una quota di circa -11 m s.l.m.. L'area di interesse si estende per circa 3.6 km partendo, a ovest, dal limite della zona aeroportuale. La quota del fondo varia tra i -15 e -10 m s.l.m..

2.2 Breve descrizione dell'ipotesi di progetto

Il progetto dell'opera a mare, prevede l'isolamento di una porzione del canale di calma di dimensioni pari a circa 3600x180 m, tramite l'utilizzo di cassoni cellulari in conglomerato cementizio armato. La planimetria ed una sezione tipo dell'opera di contenimento del materiale sono mostrate in Figura 2 e Figura 3, rispettivamente. I cassoni raggiungeranno una quota di +1 m s.l.m.. Il materiale di riempimento verrà scaricato fino a tale quota, in seguito verrà eseguita una soletta di finitura per raggiungere la quota finale di +1.75 m s.l.m..

Ai fini dello studio oggetto della presente Convenzione è rilevante il sistema previsto per il trasporto e lo sversamento del materiale dalla zona di scavo fino all'opera di contenimento. Il materiale di scavo delle gallerie proveniente dalla TBM verrà, innanzitutto, frantumato nel caso in cui il diametro ecceda il valore di 200 mm e poi diluito con acqua di mare, proveniente dall'opera a mare stessa, in proporzioni di 5:1 per ottenere un fango. Il fango così ottenuto, la cui densità finale viene stimata intorno ai 1250 kg/m^3, viene trasportato mediante un circuito (slurrydotto) lungo circa 9 km fino all'opera di contenimento. Le portate di esercizio dello slurrydotto, fornite da SPEA, sono state calcolate in base ad una stima della produzione della TBM e, per quanto riguarda il materiale di smarino, si stimano valori intorno ai 437.5 m^3/h. In base alla diluizione con acqua di mare assunta pari a 5 parti liquide e 1 di fase solida si utilizzerà per la modellazione fisica, un valore di portata della miscela pari a 2078 m^3/h. Allo sbocco dello slurrydotto, il fango deve essere fatto fuoriuscire all'interno dell'aera di contenimento. Il riempimento verrà eseguito parzializzando l'intero volume a disposizione, in modo da dover riempire una sequenza di volumi minori. Inoltre, il fango verrà depositato sempre in prossimità della quota del fondo attuale. Al fine di ottenere il riempimento nel modo più efficiente possibile, ovvero minimizzando il tempo di deposito dello slurry sul fondo e ridurre al minimo l'interazione con il corpo idrico recettore e il fondo, è stato ipotizzato l'utilizzo di un sistema tremie/diffuser nella parte terminale del condotto in modo da immettere il fango verticalmente rispetto al fondo e con le minori velocità possibili. Infatti, se correttamente dimensionato, il sistema di rilascio del fango imporrà delle velocità di uscita comprese tra i 10 e 30 cm/s. Lo sversamento, partendo dalla quota più bassa quando il volume recettore è pieno solo di acqua di mare, verrà eseguito utilizzando tale diffusore fino ad una quota pari a -1 m s.l.m.. Si è concordato di simulare su modello fisico la condizione più critica per la fase di riempimento, ovvero quando il fondo è a quota -1 m s.l.m.. Il diametro del condotto dello slurry è stato scelto dai progettisti pari a 450 mm, in modo tale che, date le portate da smaltire, anche i diametri della frazione più grossolana del fango non sedimentino lungo il trasporto verso l'opera di mare. La velocità stimata del fango all'interno del condotto assume valori di circa 3.8 m/s.

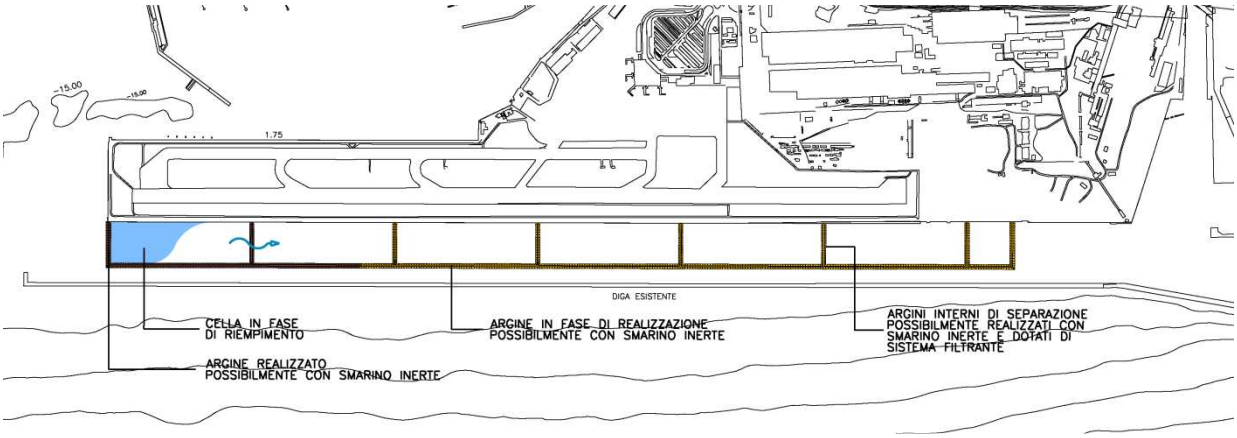


Figura 2: Pianta dell'ipotesi progettuale.

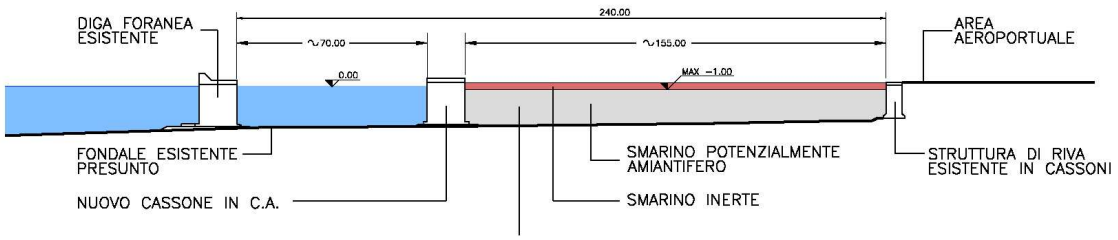


Figura 3: Sezione trasversale dell'ipotesi progettuale.

2.3 Caratteristiche attese del materiale di riempimento

Per una corretta progettazione del modello fisico, è importante avere informazioni sul materiale solido che costituisce il fango in termini di diametri caratteristici. Non avendo al momento informazioni precise sulle granulometrie del materiale di smarino, che dipende sia dalla composizione delle rocce sia dalla tipologia di lavorazione (scavo meccanico con TBM e successiva frantumazione), si sono utilizzati i valori indicati in letteratura e riportati sulla relazione dei progettisti, consegnata al DICAT da SPEA, in cui sono riportate tipiche distribuzioni granulometriche in applicazioni simili a quelle in oggetto. Tali curve granulometriche sono mostrate in Figura 4.

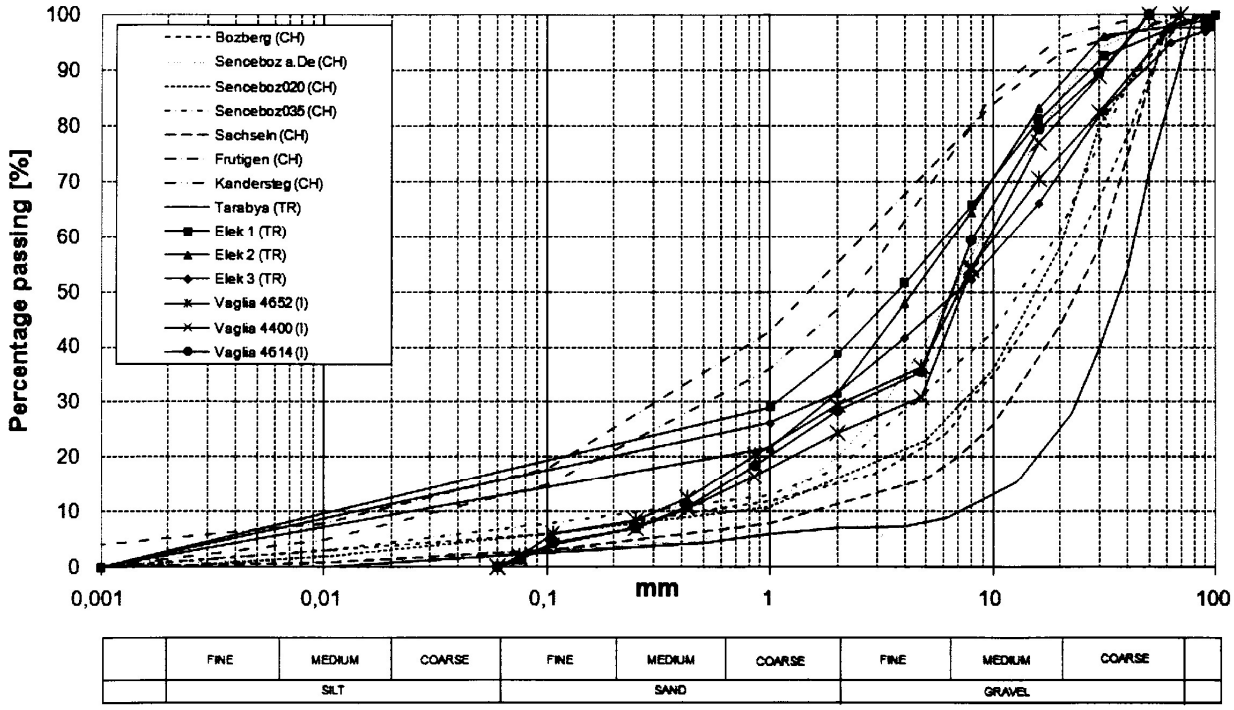


Figura 4 Distribuzioni granulometriche ottenute in contesti simili a quelli del progetto in esame e disponibili in letteratura.

Come si deduce dall'analisi delle curve, la variabilità delle distribuzioni, in termini di diametro medio d_s (percentuale del 50% di passante) è notevole. Nel presente studio si è assunto come ds un valore di circa 10 mm, che è circa la media dei d_s riportati in figura. Si vedrà nel seguito, che il valore della granulometria è rilevante per valutare su prototipo e su modello lo scavo provocato dal getto di fango sul fondo. Si discuterà anche l'influenza della scelta del valore di d_s.

3 OBIETTIVI DEL PRESENTE STUDIO

Poiché è noto che le fibre di amianto possono rappresentare un grave rischio per la salute se inalate, per minimizzare tale rischio la metodologia di trasferimento (mediante slurrydotto) e di stoccaggio (all'interno della colmata a mare) prevedono che il materiale di scavo, potenzialmente contenente fibre libere, sia sempre immerso in un liquido. Infatti, se le fibre permangono all'interno del liquido (slurry o acqua di mare) e lo stoccaggio finale avviene all'interno della colmata in cassoni, come descritto precedentemente, i rischi per la salute risultato minimizzati. Il processo di sversamento risulta, di fatto, una delle fasi più delicate dell'opera a mare, durante la quale è possibile che fibre di amianto vengano liberate in atmosfera.

Obiettivo, quindi, della presente Convenzione è di simulare sia le condizioni di normale esercizio di sversamento sia le condizioni più pericolose delle fasi di riempimento e misurare le concentrazioni di fibre di amianto eventualmente liberate in atmosfera.

4 PROGETTAZIONE DEL MODELLO FISICO

4.1 Criteri di similitudine per la modellazione fisica

Come descritto nel paragrafo 3, la finalità del presente lavoro è verificare la possibilità che fibre di amianto vengano rilasciate in aria durante la fase di scarico a mare, in particolare in condizioni di mal funzionamento del diffusore di scarico. È chiaro che nel caso di un modello fisico del fenomeno in considerazione sia necessario lavorare in scala ridotta, stanti le grandi dimensioni del "prototipo". È noto dalla teoria dei modelli come non sia, in generale, possibile lavorare su un modello in scala ridotta riproducendo fedelmente tutti i fenomeni che avvengono alla scala del prototipo. È quindi necessario valutare come scalare il modello in modo tale da riprodurre correttamente gli effetti ritenuti dominanti per il fenomeno in considerazione.

A tal fine è opportuno far uso dell'analisi dimensionale. Il dato principale che si intende ottenere con gli esperimenti è il numero di fibre di amianto (*n*) rilevate dal sensore dello strumento in un prefissato intervallo di tempo *T* (tempo di osservazione). Tale grandezza *n* dipende, in generale (e in modo non noto), dalle seguenti grandezze:

$$n = F(g, d, D_0, h_0, U, \rho, \nu, \sigma, d_s, \rho_s - \rho, l_f, \rho_f - \rho, C, T), \qquad (1)$$

dove

- g accelerazione di gravità;
- d diametro della condotta;
- D_0 profondità rispetto al livello indisturbato della superficie libera a cui avviene l'efflusso;
- h_0 profondità indisturbata;
- U velocità di efflusso mediata sulla sezione;
- ρ densità del fluido;
- ν viscosità cinematica del fluido;
- σ tensione superficiale per l'interfaccia fluido-aria;
- d_s diametro medio dei sedimenti che costituiscono il fondo;
- ρ_s densità dei sedimenti;
- l_f lunghezza caratteristica delle fibre;
- ρ_f densità del materiale costituente le fibre;
- C concentrazione volumetrica delle fibre nel fluido.

La relazione (1) coinvolge *N=15* grandezze (dimensionali e adimensionali). Essendo il problema di natura dinamica è possibile selezionare, tra quelle elencate, *M=3* grandezza che siano dimensionalmente indipendenti. Applicando il teorema di Buckingham (si veda per esempio Marchi e Rubatta, 1981) si ottiene la seguente relazione:

$$n = F^*\left(Re, Fr, We, \frac{D_0}{d}, \frac{h_0}{d}, \frac{d_s}{d}, \frac{l_f}{d}, \frac{\rho_s - \rho}{\rho}, \frac{\rho_f - \rho}{\rho}, C, \frac{UT}{d}\right), \qquad (2)$$

dove sono stati definiti i seguenti numeri adimensionali:

- numero di Reynolds $Re=Ud/\nu$ (misura del rapporto tra effetti inerziali e viscosi),
- numero di Froude $Fr=U/\sqrt{gh_0}$ (misura del rapporto tra effetti inerziali e gravitazionali),
- numero di Weber $We=\rho U^2 d/\sigma$ (misura del rapporto tra effetti inerziali e dovuti alla tensione superficiale).

La relazione (2) è equivalente alla (1), ma coinvolge solo grandezze adimensionali e in numero inferiore rispetto alla relazione originaria (*N-M=12*).

Il principale meccanismo fisico che permette scambio di particelle solide tra un liquido e

l'atmosfera (attraverso l'interfaccia liquido-aria) è la formazione di gocce (nebulizzazione), che, a sua volta, è indotta da fenomeni di frangimento. Questo comporta che il modello fisico in oggetto deve essere in grado di riprodurre correttamente gli eventuali fenomeni di frangimento.

Supponiamo di fissare un determinato rapporto λ_L tra le lunghezze nel modello e nel prototipo, definito come:

$$\lambda_L = \frac{L_m}{L_p}, \qquad (3)$$

con *L* generica lunghezza, e avendo indicato il modello e il prototipo rispettivamente con i pedici *m* e *p*. Nel caso specifico si è deciso di lavorare con λ_L=1/3.6. In similitudine geometrica, ovvero con riduzione costante di tutte le lunghezze coinvolte nel problema, vengono conservati i parametri puramente geometrici nella (2), ovvero D/d, h_0/d, d_s/d, l_f/d. Si noti che si è deciso di utilizzare nella sperimentazione sedimenti a granulometria uniforme e pari al d_{s50} della curva granulometrica reale.

In moti a superficie libera gli effetti della gravità sono importanti e gli studi su modelli in scala sono tipicamente basati sulla *similitudine di Froude* (Chanson, 1999). Questo comporta che il numero di Froude debba avere lo stesso valore nel modello e nel prototipo. Imporre che il numero di Froude venga conservato implica la seguente scala delle velocità:

$$U = \sqrt{\lambda_L}, \qquad (4)$$

è noto come, nel caso di modelli geometricamente simili, non si possano conservare simultaneamente il numero di Froude e il numero di Reynolds, né il numero di Froude e il numero di Weber (Chanson, 1999). Questo comporta che il modello in scala ridotta non sarà in grado di simulare pienamente tutti i fenomeni che avvengono alla scala reale. Per capire cosa questo comporti è utile discutere il significato fisico dei numeri *Re* e *We*.

Il numero di Reynolds *Re* rappresenta il rapporto tra effetti inerziali ed effetti viscosi nel moto dei fluidi. In particolare, se non viene riprodotto tra il modello e il prototipo, le caratteristiche della turbolenza nei due casi saranno differenti. Tuttavia, nel presente contesto il numero di Reynolds assumerà valori molto elevati sia nel prototipo che nel modello. Ci si deve quindi aspettare che le strutture turbolente di maggiori dimensioni spaziali vengano riprodotte correttamente, mentre eventuali differenze riguarderanno la turbolenza sulle piccole scale, tuttavia non particolarmente rilevanti per il problema considerato. Pertanto, il fatto di non conservare il valore del numero di Reynolds tra modello e prototipo non è da considerarsi una limitazione molto forte.

Il numero di Weber *We* fornisce una misura del rapporto tra effetti inerziali ed effetti dovuti alla tensione superficiale. È noto che i fenomeni di cattura, rottura e coalescenza di bolle gassose in un liquido dipendano dal valore di *We* (Chanson, 2004). Stante l'impossibilità di conservare contemporaneamente il numero di Froude e il numero di Weber in esperimenti in scala geometrica ridotta, vari autori hanno studiato l'influenza della scala sui fenomeni di cattura di bolle da parte del liquido, che sono strettamente legati al rilascio di gocce nel gas (Deane and Stokes, 2002; Blenkinsopp and Chaplin, 2011; Chanson et al., 2004). I risultati mostrano che: i) se si lavora su modelli in scala sensibilmente ridotta esistono significativi effetti di scala; ovviamente tali effetti sono di modesta entità per scale di riduzione relativamente modeste (come nel caso presente); ii) il processo di cattura delle bolle scala geometricamente ed è dunque riprodotto correttamente anche su modello; iii) ciò che non viene ben riprodotto è, invece, il numero e le dimensioni delle bolle; in particolare le dimensioni delle bolle risultano circa costanti su modello e su prototipo. Inoltre, Chanson et al., 2004, studiando il fenomeno di cattura di bolle dovuto ad un getto verticale (non sommerso), hanno mostrato come gli effetti di scala siano significativi solo per We ≤ 1000 (nel caso dei presenti esperimenti si prevede che *We* ≈ 7000 su modello, si veda Tabella 1). A seguito delle precedenti osservazioni si ritiene che il fatto di lavorare in scala ridotta non infici sensibilmente i risultati. In particolare l'eventualità del rilascio di fibre in aria dovrebbe essere

correttamente riprodotto, al più le concentrazioni di fibre rilasciate potranno essere lievemente affette da errore.

Nel problema in considerazione il liquido sversato è fango, con una densità pari a ρ=1250 kg/m^3. Negli esperimenti verrà utilizzata acqua per evidenti ragioni di praticità. Per quanto riguarda le fibre di amianto e i sedimenti si utilizzeranno invece materiali con densità (ρ_s e ρ_f) molto vicine a quelle reali. Questo comporta che i parametri adimensionali $(\rho_s-\rho)/\rho$ e $(\rho_f-\rho)/\rho$ non verranno conservati passando dal prototipo al modello, seppure assumeranno valori piuttosto vicini a quelli corretti. Discutiamo dunque le eventuali limitazioni derivanti dalla mancata conservazione di tali parametri.

Il parametro $\rho_s-\rho/\rho$ gioca presumibilmente un ruolo importante per quanto riguarda lo scavo generato dal getto nel materiale depositato. Considerare lo scavo appare fondamentale in quanto l'assetto della superficie libera e, conseguentemente, la possibile insorgenza di frangimento dipendono fortemente dall'assetto assunto dal fondo. Pagliara et al. 2006 hanno studiato lo scavo indotto da un getto su un fondo costituito da sedimenti incoerenti; i risultati degli autori sono richiamati nella sezione 4.2 della presente relazione, poiché rilevanti ai fini della progettazione dell'apparato sperimentale. Gli autori mostrano come lo scavo (adimensionalizzato con il diametro del getto) dipenda dal parametro adimensionale

$$F_d = \frac{U}{\sqrt{\left(\frac{\rho_s-\rho}{\rho}\right)gd_s}}, \qquad (5)$$

denominato *numero di Froude densimetrico* (si veda l'equazione (8)). Si noti che il numero F_d può essere espresso in funzione dei parametri adimensionali introdotti nella relazione (2) come segue

$$F_d = F_r\left(\frac{\rho_s-\rho}{\rho}\right)^{-1/2}\left(\frac{d_s}{d}\right)^{-1/2}\left(\frac{h_0}{d}\right)^{1/2}, \qquad (6)$$

La (6) mostra che, per assegnati valori del numero di Froude Fr e di d_s/d, utilizzare nel modello un valore di $\rho_s-\rho/\rho$ superiore a quello del prototipo significa sottostimare il valore di F_d. Osservando le (8) e (9a) appare evidente che questo comporti una sottostima, negli esperimenti, dell'entità dello scavo. Da questo punto di vista utilizzare su modello un valore di $\rho_s-\rho/\rho$ superiore al valore del prototipo risulta conservativo. Infatti sottostimare l'entità dello scavo implica sovrastimare l'entità delle oscillazioni della superficie libera e dunque la potenzialità che le fibre presenti nell'acqua vengano rilasciate in atmosfera.

Numero adimensionale	Prototipo	Modello di Froude (λ_L=1/3.6)
Re	1.7x10^6	2.53 x10^5
Fr	1.22	1.22
We	1.1x10^5	7000
D_0/d	Da definirsi	Da definirsi
h_0/d	2.22	2.22
d_s/d	1.8x10^{-2}	1.8x10^{-2}
l_f/d	4.4x10^{-5}	4.4x10^{-5}
$(\rho_s-\rho)/\rho$	1.12	1.65
$(\rho_s-\rho)/\rho$	1	1.5
C	variabile	variabile

Tabella 1 Valori approssimativi dei parametri adimensionali che compaiono nell'equazione (2) in scala reale e per un modello di Froude in scala ridotta con λ_L=1/3.6.

Per quanto riguarda il parametro $\rho_f-\rho/\rho$ è opportuno notare che la dimensione delle fibre (al vero) è di circa 10 μm, e la loro densità ≈2500 kg/m^3. Utilizzando la formula di Stokes (valida a

rigore per particelle sferiche in moto a bassi numeri di Reynolds) (si veda per esempio Marchi e Rubatta, 1988), assumendo ρ=1250 kg/m^3 e ν=10^{-6} m^2/s (viscosità cinematica dell'acqua) si ottiene una velocità di sedimentazione W pari a

$$W = \frac{gd^2}{18\nu}\left(\frac{\rho_f}{\rho} - 1\right) \approx 5.5 \times 10^{-5} \text{ m/s.} \qquad (7)$$

Essendo tale velocità molto inferiore rispetto alle velocità del getto si può dedurre che gli effetti gravitazionali abbiamo modestissima influenza sul moto delle fibre e che le stesse vengano trasportate passivamente dal fluido. Il parametro ρ_f-ρ/ρ ha perciò un ruolo trascurabile nel problema in questione.

Infine, il parametro *TU/d* può facilmente essere conservato tra modello e prototipo scalando opportunamente il tempo di osservazione *T*.

4.2 Stima dello scavo previsto

Al fine di progettare l'apparato sperimentale è necessario stimare l'entità dello scavo previsto in corrispondenza del getto. Pagliara et al. (2006) propongono che, in assenza di corrente e con fondo composto da sedimento a granulometria uniforme, il massimo scavo η_m, adimensionalizzato con il diametro del getto *d*, possa essere espresso nella forma:

$$\frac{\eta_m}{d} = -f_1(F_d)\, f_2(\alpha)\, f_3(\beta)\, f_4(H), \qquad (8)$$

dove

- α è l'angolo formato dal getto con l'orizzontale;
- β è il contenuto volumetrico d'aria nel getto compreso tra 0 e 1;
- $H=h_0/d$ è il rapporto tra la profondità indisturbata e il diametro del getto.

Nel caso di getto sommerso le funzioni $f_i(i = 1,..,4)$ assumono la forma:

$$f_1 = F_d, \qquad (9a)$$

$$f_2 = -[0.34\sin(\alpha + 22.5°)], \qquad (9b)$$

$$f_3 = (1+\beta)^{-1/2}, \qquad (9c)$$

$$f_4 = \frac{10}{3}\left[0.12\log\left(\frac{1}{H}\right) + 0.39\right]. \qquad (9d)$$

Inoltre, gli autori propongono che l'estensione planimetrica dello scavo, L_u, possa essere valutata, per il caso di getto sommerso, utilizzando la relazione

$$\frac{L_u}{d} = 2.5\left(1 + 38.5\alpha^{-1.25}F_d\right). \qquad (10)$$

Nel caso in considerazione con i dati del modello si ottiene una stima dell'entità dello scavo e della sua estensione pari circa 0.39 m e 1.0 m, rispettivamente, che corrispondono su scala reale a valori di 1.4 m e 3.6 m.

5 DESCRIZIONE DELL'APPARATO SPERIMENTALE

Lo sversamento dello smarino a mare è stato simulato con un getto verticale in un bacino d'acqua altrimenti in quiete e in presenza di un fondo erodibile. Nell'acqua sono state disseminate fibre di vetro di opportune dimensioni e, durante le prove, è stato quantificato il rilascio di fibre in aria. Dettagli del modello vengono forniti nel seguito del presente paragrafo. Stanti le notevoli dimensioni del prototipo considerato, è stato necessario effettuare il modello fisico del fenomeno in scala spaziale ridotta. In particolare, il modello fisico è stato realizzato in scala 1:3.6. Nella sezione 4.1 sono stati descritti in dettaglio i criteri utilizzati per la modellazione in scala e i limiti associati alla sperimentazione.

In Figura 5 è riportata una fotografia dell'apparato sperimentale impiegato nelle prove di laboratorio. L'impianto consiste in un sistema idraulico chiuso, in cui la portata d'acqua viene ricircolata. L'utilizzo di un sistema di ricircolo ha permesso di limitare il volume di acqua utilizzato, effettuare prove di lunga durata e controllare con sufficiente precisione la concentrazione di fibre presenti in acqua. L'acqua viene prelevata dalla vasca di carico (Figura 6), e tramite una pompa (Figura 7) immessa nel circuito. La portata fluente è regolata da una valvola a globo con relativo attuatore (Figura 8). La portata viene misurata tramite un misuratore elettromagnetico (Figura 9). Il tratto terminale della condotta, di diametro 125 mm, genera il getto delle dimensioni desiderate. L'acqua stramazza dal serbatoio cilindrico in un secondo serbatoio rettangolare costruito in lamiera (Figura 5). In questo modo il livello della superficie libera rimane costante, cosa che permette di simulare lo sversamento in un bacino di notevoli dimensioni. Dal secondo serbatoio un canale in pendenza, anch'esso in lamiera, riporta l'acqua al serbatoio di carico (Figura 10). Il serbatoio di misura (denotato con 1 in Figura 5) è stato riempito con polistirolo espanso per un'altezza di 1 m circa. Al di sopra del polistirolo, separata da esso da tessuto non tessuto, è stata sversata sabbia di opportuna granulometria, per simulare il fondo mobile del bacino. Il serbatoio è quindi stato riempito di acqua.

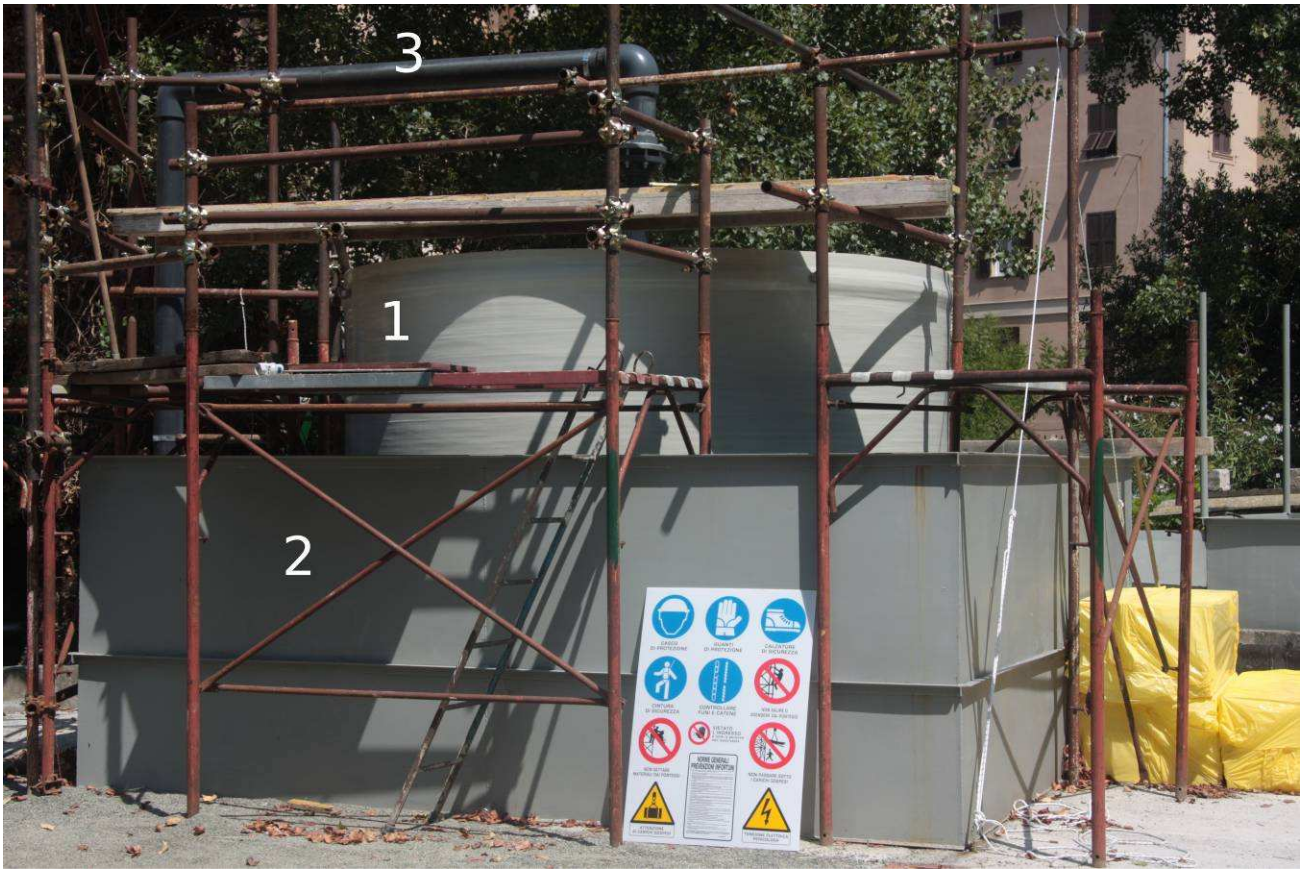


Figura 5: Fotografia dell'apparato sperimentale. 1. Serbatoio cilindrico in vetroresina. 2. Serbatoio di scarico in lamiera. 3. Tubazione in PVC di diametro 150 mm.



Figura 6: Vasca di carico dell'impianto idraulico.



Figura 7: Pompa.



Figura 8: Valvola e attuatore.

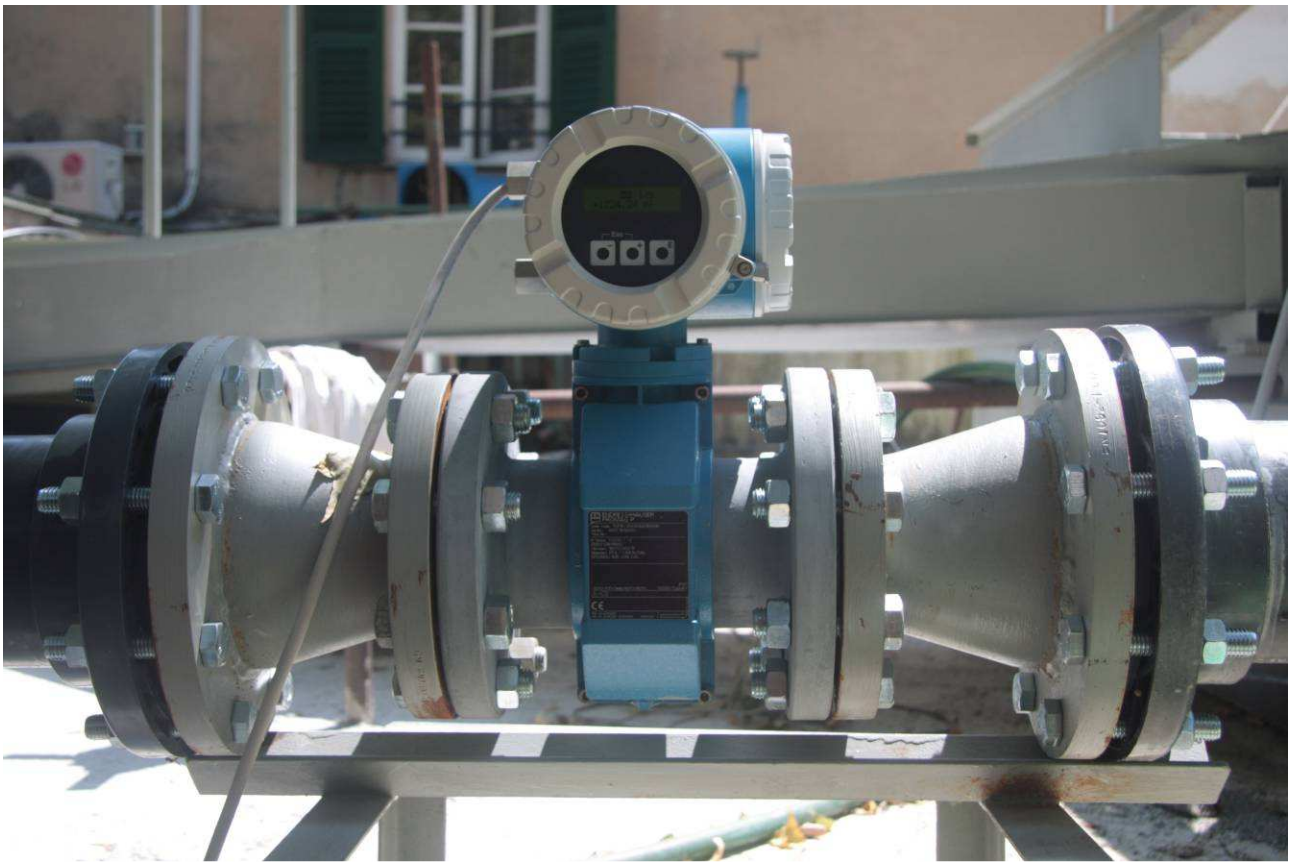


Figura 9: Misuratore di portata elettromagnetico.



Figura 10: Canale in lamiera che alimenta la vasca di carico della pompa.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche tecniche delle varie componenti dell'apparato idraulico.

- Vasca di misura cilindrica in vetroresina, con diametro di 3 m e altezza di 2.4 m.
- Vasca di carico costruita in lamiera, di dimensioni 4x4x1.5 m.
- Pompa con portata massima di 0.036 m^3s^{-1} a prevalenza 6 m e di 0.014 m^3s^{-1} a prevalenza 20 m.
- Valvola a globo.
- Attuatore AUMA SA 07.1-F10.
- Misuratore di portata elettromagnetico ENDRESS+HAUSER PROMAG P.
- Tubazione in PVC di diametro 150mm e 125mm.

Le misure di concentrazione di fibre di vetro nell'acqua e in aria sono state effettuate da personale del Ce.Si.S.P., sotto la supervisione del Prof. Del Borghi, responsabile di questa parte delle misure. In particolare, la misura di concentrazione di fibre in aria è stata effettuata utilizzando un'apposita strumentazione, che consiste in una pompa di prelievo volumetrica che aspira aria, connessa ad un filtro (Figura 11) in grado di catturare eventuali fibre.

Le prove sperimentali sono state effettuate con l'estremità finale della tubazione dell'impianto idraulico sia immersa (si veda per esempio Figura 12) che al di sopra della superficie libera (Figura 13).



Figura 11: Filtro per la misurazione della concentrazione di fibre in aria.



Figura 12: Esempio di prova con tubo immerso.



Figura 13: Esempio di prova con estremità del tubo al di fuori della superficie libera.

6 MATERIALI E METODI

6.1 Fibre di vetro

Come accennato nel paragrafo 2, per simulare la presenza di fibre di amianto nell'acqua sono state utilizzate fibre di vetro. Le fibre utilizzate sono state prodotte per macinazione da fili di vetro, prodotti da processo continuo (ISO 2078-1993) con una lunghezza nominale massima di 100 μm.

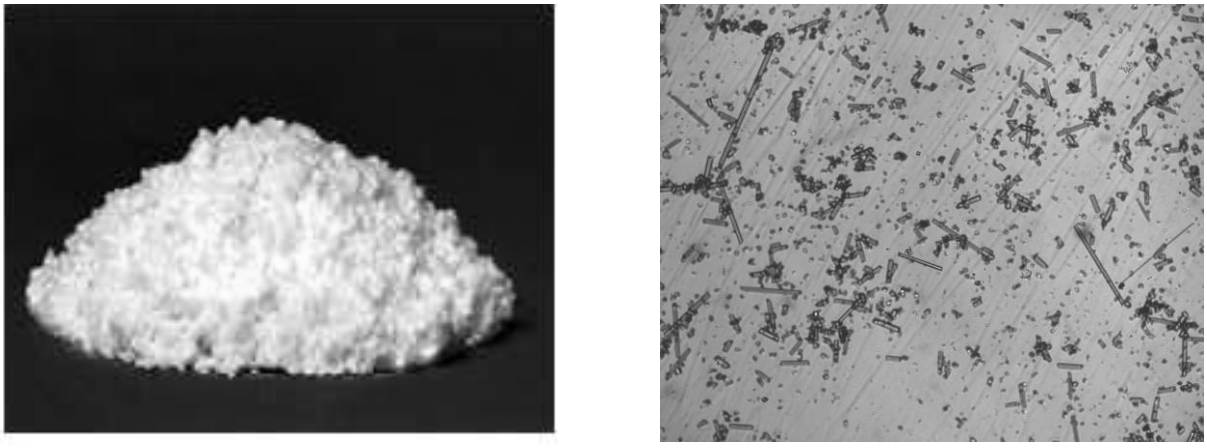


Figura 14: Fibre di Vetro ItalDry FIL 100F.

6.2 Sedimenti

Come discusso nel paragrafo 2.3, per quanto riguarda la granulometria del materiale trasportato si è fatto riferimento a dati di letteratura ottenuti in contesti simili a quelli del progetto in esame. L'unico dato che appare certo è che la distribuzione granulometrica attesa è piuttosto larga. Nell'analisi sperimentale è stata utilizzata sabbia a granulometria variabile, che è stata

caratterizzata tramite setacciatura presso il laboratorio di Geotecnica del DICAT. I dati ottenuti, partendo da un campione di sabbia di peso pari a 779.6 g sono riportati in Tabella 2. La corrispondente curva granulometrica è mostrata in Figura 15.

Maglia *[mm]*	***Massa trattenuta*** *[g]*	***Trattenuto tot.*** *[g]*	***Passato tot.*** *[g]*	***Percentuale del trattenuto [%]***	***Percentuale del passato [%]***
4,750	37,8	37,8	741,8	4,8	95,2
3,350	156,6	194,4	585,2	24,9	75,1
2,360	175,6	370,0	409,6	47,5	52,5
1,700	126,4	496,4	283,2	63,7	36,3
1,180	92,4	588,8	190,8	75,5	24,5
0,850	57,4	646,2	133,4	82,9	17,1
0,600	37,2	683,4	96,2	87,7	12,3
0,500	16,4	699,8	79,8	89,8	10,2
0,300	31,4	731,2	48,4	93,8	6,2
0,212	15,8	747,0	32,6	95,8	4,2
0,180	5,2	752,2	27,4	96,5	3,5
0,125	10,4	762,6	17,0	97,8	2,2
0,106	3,8	766,4	13,2	98,3	1,7
0,075	7,4	773,8	5,8	99,3	0,7
0,000	6,4	780,2	0	100,1	0

Tabella 2: Dati ottenuti dalla setacciatura del campione.

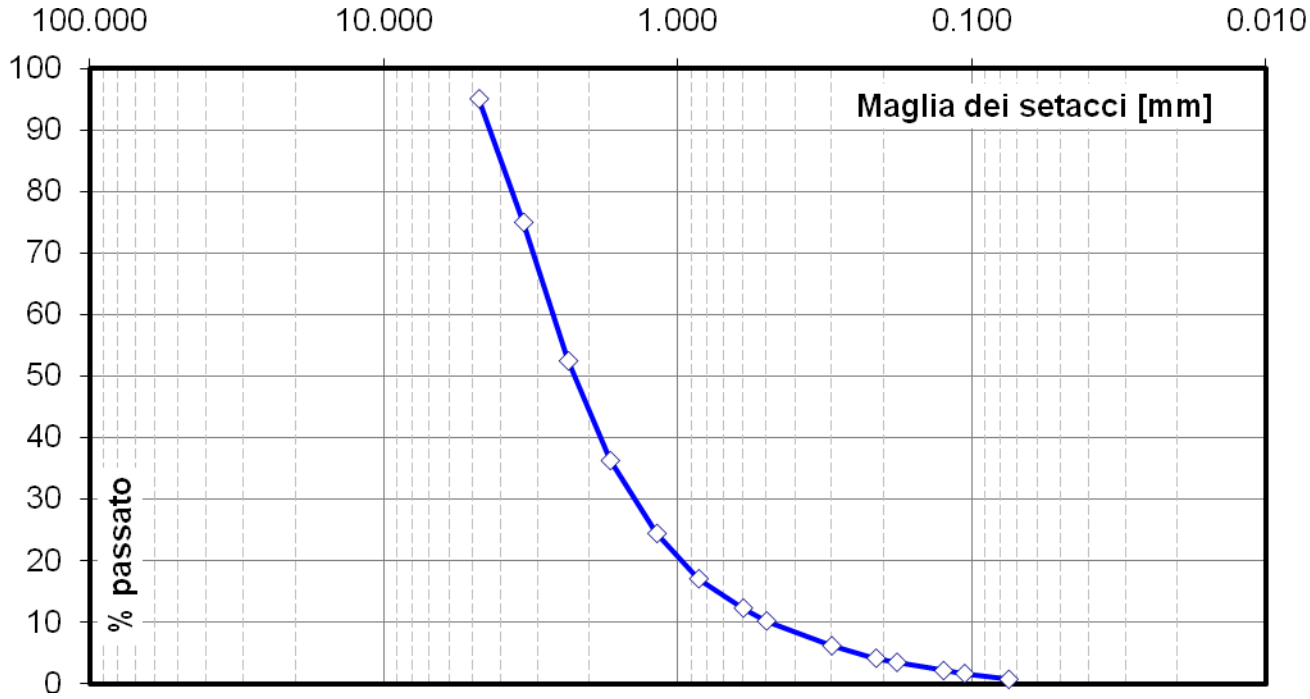


Figura 15: Curva granulometrica del materiale utilizzato per le prove.

Dall'analisi dei dati ottenuti si evince che il diametro medio d_s dell'ammasso è pari a circa 2.26 mm, corrispondente, sul prototipo, ad un d_s di 8.13 mm. La densità del materiale è circa pari a 2650 kg/m^3.

6.3 Protocollo sperimentale

Di seguito si descrive il protocollo sperimentale utilizzato, che è stato il medesimo in tutte le prove effettuate.

- All'inizio di ogni esperimento si inserisce nel sistema la quantità di fibre di vetro che, sulla base del volume d'acqua presente nel sistema, si stima necessaria per ottenere la concentrazione desiderata, definita nel seguito come "concentrazione target".
- La pompa idraulica viene avviata ed il sistema di circolazione mantenuto attivo per circa mezz'ora, al fine di ottenere un buon miscelamento delle fibre in tutte le componenti idrauliche del sistema. In questa fase la portata viene mantenuta relativamente bassa, al fine di limitare al massimo la formazione dello scavo al fondo in corrispondenza del getto.
- Per ogni valore della concentrazione sono sempre state effettuate due prove, una con getto emerso ed una con getto immerso. Una volta ottenuto il miscelamento delle fibre si prelevano uno o più campioni di acqua dal serbatoio di prova per le misure di concentrazione delle fibre.
- Si dà quindi inizio alla prova vera e propria. La portata viene portata rapidamente al valore desiderato e viene azionato il rilevatore di fibre.
- Si effettua quindi un prelievo d'acqua per la misura della concentrazione delle fibre, ovvero la "concentrazione misurata".
- La durata di ogni prova è stata di almeno 45 minuti (su modello), corrispondenti a circa 85 minuti alla scala del prototipo. Questa durata temporale è probabilmente significativamente superiore al tempo necessario a fermare l'impianto in caso di guasto. Tuttavia, essendo le prove effettuate stazionarie, il numero di fibre eventualmente rilevate sul filtro risulta direttamente proporzionale al tempo di prova, e questo comporta che prove di lunga durata consentano di ottenere una maggiore accuratezza nelle misure.
- Al termine della prova, la pompa connessa al rilevatore di fibre viene fermata, il filtro estratto, numerato e archiviato.
- A questo punto la portata viene diminuita e, senza fermare l'impianto, per evitare la sedimentazione delle fibre di vetro in particolare nel serbatoio di lamiera, si sostituisce la parte terminale del tubo di mandata per simulare condizioni di getto immerso/emerso.
- La portata è dunque riportata al valore desiderato e si comincia la seconda prova.
- Al termine della prova la concentrazione viene aumentata, per simulare le nuove condizioni richieste e si procede come descritto ai punti precedenti.
- Al termine dell'ultima prova, corrispondente alla più alta concentrazione testata, il serbatoio di prova viene svuotato e si procede al rilievo altimetrico del fondo.

6.4 Metodologie di misura

6.4.1 Concentrazione di fibre in acqua

Le misure di concentrazione di fibre in acqua sono state effettuate dal Ce.Si.S.P. All'inizio di ogni prova sono stati effettuati uno o più prelievi di acqua per la misura della concentrazione delle fibre presenti. Si fa qui presente che, stanti le notevoli dimensioni dell'apparato sperimentale ed i conseguenti grandi volumi in gioco, la concentrazione è rilevata si può discostare anche piuttosto sensibilmente dalla concentrazione "target", seppure risulta sempre dello stesso ordine di grandezza. D'altro canto, è stato possibile effettuare le misure di concentrazione solo a valle di ogni esperimento, per cui una correzione della concentrazione in corso di esperimento non è stata possibile. Tuttavia, come discusso nel seguito della relazione, a fronte dei risultati ottenuti, non si

ritiene che questo fatto rappresenti un limite significativo.

La misura di concentrazione delle fibre in acqua viene effettuata secondo la procedura descritta nel seguito.

- Si effettua una pesata di un filtro a membrana di 0,45 mm asciutto e pulito, utilizzando una bilancia con la precisione di 10^{-4} g.
- Da ogni campione d'acqua effettuato si preleva un volume pari a 100 ml che viene filtrato, utilizzando il filtro precedentemente pesato.
- Il filtro viene essiccato in forno a temperatura di 105°C.
- Il filtro viene ripesato e la concentrazione di fibre in peso viene misurata per differenza tra le due pesate.

6.4.2 Rilevamento delle fibre in aria sui filtri

Le misure di concentrazione di fibre in aria sui filtri sono state effettuate dal Ce.Si.S.P. Il filtro rilevatore è stato in ogni prova collocato a distanza di circa 1m dall'asse del getto (3.6 m sul prototipo) e di circa 15 cm dal livello della superficie libera (54 cm sul prototipo), con il filtro orientato verso il basso. La concentrazione di fibre di vetro in aria viene effettuata analizzando i filtri relativi ad ogni prova secondo la seguente procedura.

- Ogni filtro (a membrana di esteri misti di cellulosa) viene essiccato in forno a temperatura di 105C°.
- Il filtro viene suddiviso in quattro porzioni che vengono montate su quattro vetrini da microscopio.
- Ogni vetrino viene analizzato al microscopio, utilizzando un ingrandimento di 100X, e si procede alla conta ed alla misura delle fibre di vetro rilevate.

6.4.3 Rilievo del fondo

Il profilo del fondo è stato misurato a valle di ogni serie di prove, così come descritto nel paragrafo 6.3. Il profilo del fondo osservato in ogni prova è sempre sensibilmente assialsimmetrico, con asse coincidente con l'asse del getto. Data l'assialsimmetria dell'assetto del fondo il rilievo è stato effettuato solo lungo una linea passante per l'asse del getto. I rilievi sono stati effettuati con un'asta idrometrica con precisione di 1 mm e con un passo in pianta di 5 cm. È opportuno notare che il rilevo ha permesso di misurare lo scavo "statico". È tuttavia ragionevole ipotizzare che, durante lo svolgimento delle prove, il getto generi anche uno scavo "dinamico" di notevole entità, successivamente riempito al termine della prova. Si è tuttavia deciso di evitare di misurare lo scavo dinamico per non interferire con gli eventuali processi rilascio di fibre in prossimità del getto, essendo questi ultimi il principale obiettivo dell'analisi sperimentale.

7 DESCRIZIONE DELLE PROVE EFFETTUATE E RISULTATI OTTENUTI

Sono state complessivamente effettuate 14 prove. Le principali caratteristiche delle prove sono riassunte nella Tabella 3. Le prove possono essere suddivise in due serie, la prima (prove da 1 a 8) con il fondo indisturbato ad una distanza di 56 cm dalla superficie libera (corrispondente alla scala del prototipo a 2 m) e la seconda (prove da 9 a 14) con il fondo indisturbato a distanza di 25 cm della superficie (90 cm sul prototipo, a favore di sicurezza rispetto alla profondità minima prevista pari a 1 m). Alternativamente, le prove possono essere distinte in prove in cui l'estremità del tubo era al di sotto del livello della superficie libera (Figura 12) o in cui il getto penetrava la superficie libera dall'esterno (Figura 13). Sono inoltre state utilizzate 3 concentrazioni target di fibre diverse, pari, rispettivamente a 30, 300 e 1000 mg/l. Nelle prove è stata utilizzata una portata compresa tra 24 e 28 l/s (ovvero tra 590 e 688 l/s a scala del prototipo e dunque, a favore di sicurezza, sempre un po' maggiore della massima prevista).

Prova n.	Concentrazione di fibre [mg/l]		Portata [l/s]		Configurazione tubo I: tubo immerso E: tubo emerso	Livello indisturbato del fondo rispetto alla superficie libera [cm]
	Target	Misurata	Modello	Prototipo		
1	30	27	24	590.2	I	-56 (-202)
2	30	29	24	590.2	E	-56 (-202)
3	300	84	24	590.2	E	-56 (-202)
4	300	76	24	590.2	I	-56 (-202)
5	300	283	27	663.9	I	-56 (-202)
6	300	213	28	688.5	E	-56 (-202)
7	1000	870	28	688.5	E	-56 (-202)
8	1000	510	27	663.9	I	-56 (-202)
9	30	72	26.5	651.6	E	-25 (-90)
10	30	43	26.5	651.6	I	-25 (-90)
11	300	320	26.5	651.6	I	-25 (-90)
12	300	148	26.6	654.1	E	-25 (-90)
13	1000	402	26.5	651.6	E	-25 (-90)
14	1000	340	26.5	651.6	I	-25 (-90)

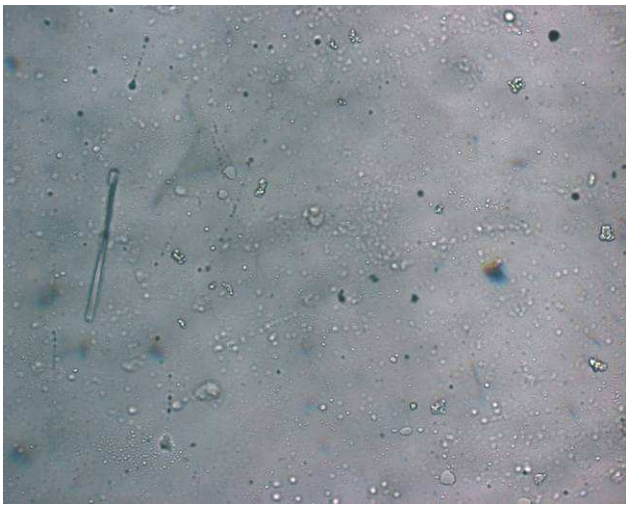
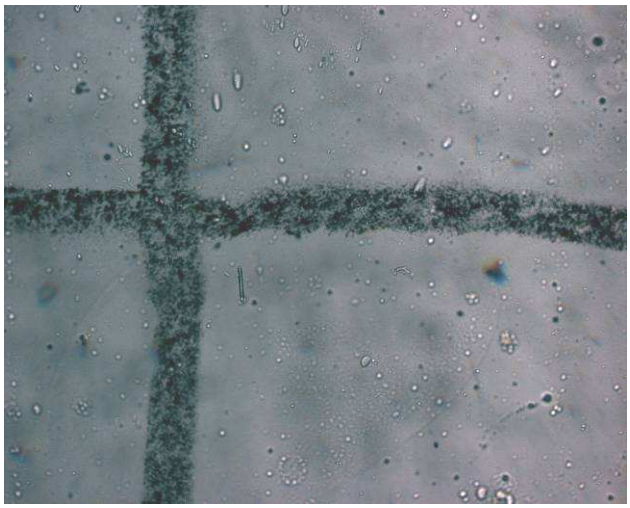
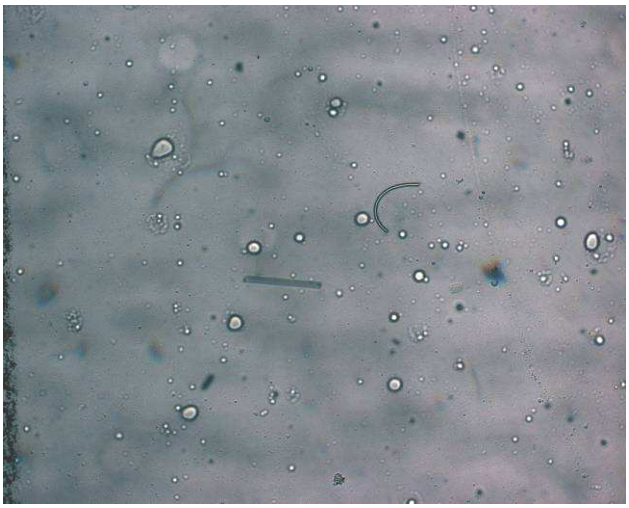
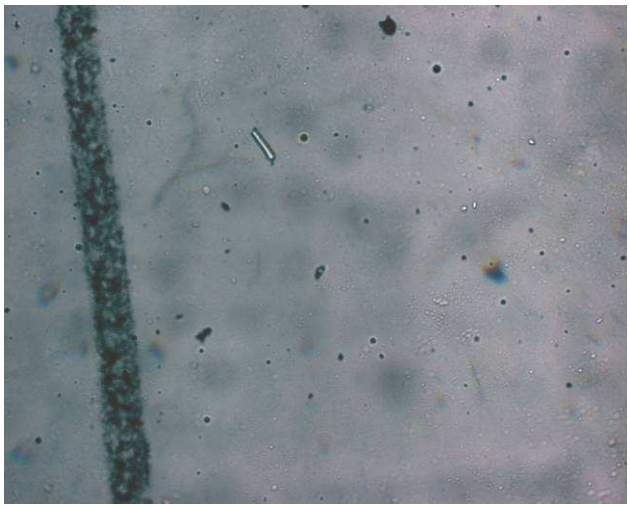
Tabella 3: Descrizione sintetica delle caratteristiche delle prove. Tutte le misure sono relative alla scala del modello, I valori riportati tra parentesi del livello della superficie libera si riferiscono al prototipo.

7.1 Concentrazione di fibre rilasciate in aria

Nel seguito vengono riportate schede sintetiche relative ad ogni prova, contenenti i dati della prova ed una sintesi dei risultati ottenuti. Si noti che i valori di portata riportati tra parentesi sono relativi alla scala del protoripo.

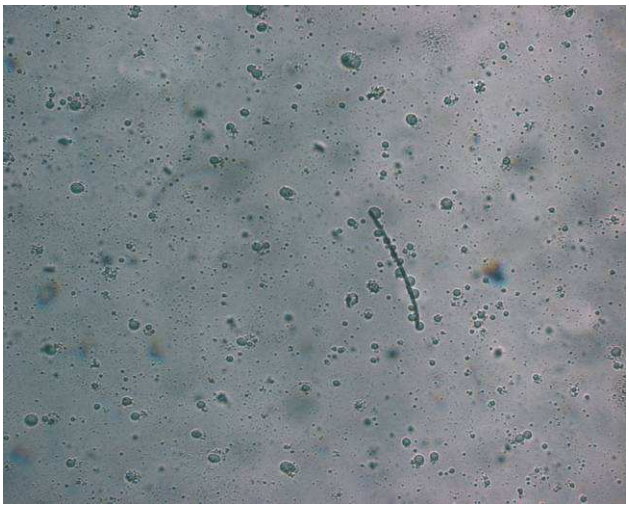
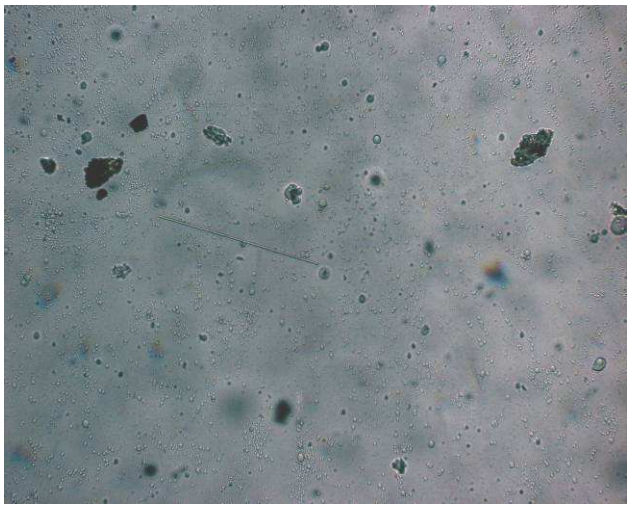
PROVA 01			Data 13/07/2011	Inizio 11:10	Fine 11:43
Condizioni Meteorologiche			Vento 3.3 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Immerso a -45 cm (-162 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua Quota fondo indisturbato a -56 cm (-202 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
30	29	mg/l			
Portata	24 (590)	l/s			

Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	2416	Volume finale 2518	Volume aspirato	102
Numero Fibre	20	Dimensione media fibre		34 μm

PROVA 02			Data 13/07/2011	Inizio 12:40	Fine 13:40
Condizioni Meteorologiche			Vento 0.0 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Esterno a +44 cm (158 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
30	29	mg/l	Quota fondo indisturbato a -56 cm (-202 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	24 (590)	l/s			

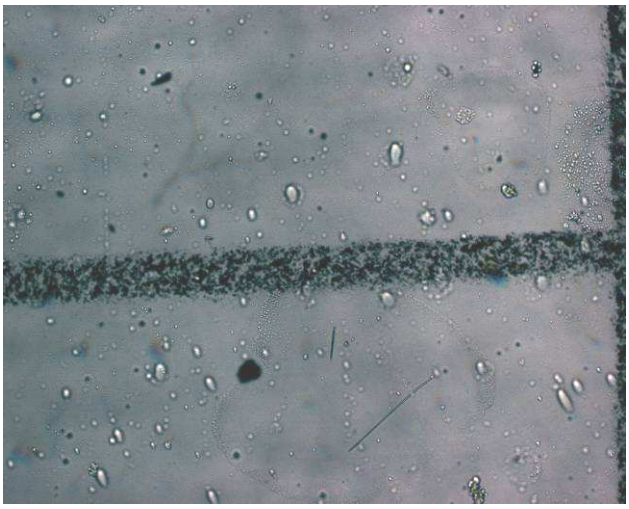
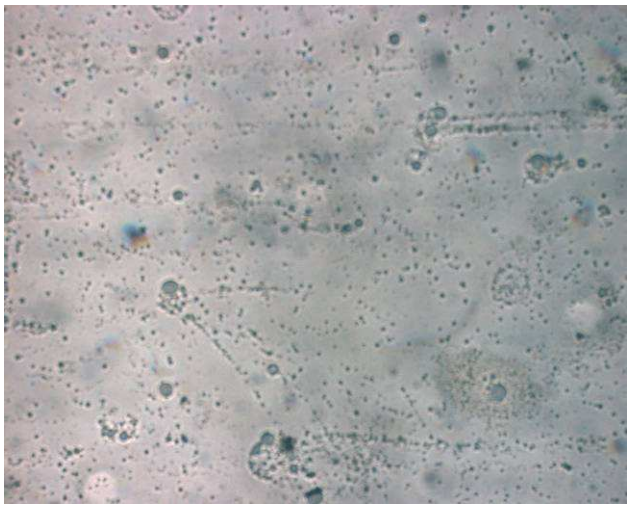
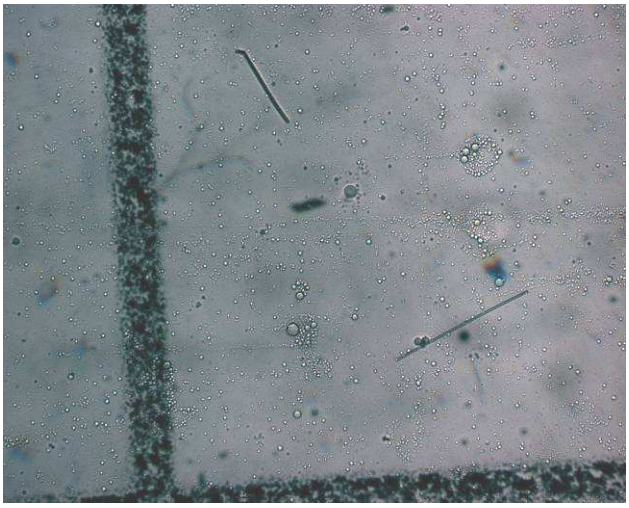
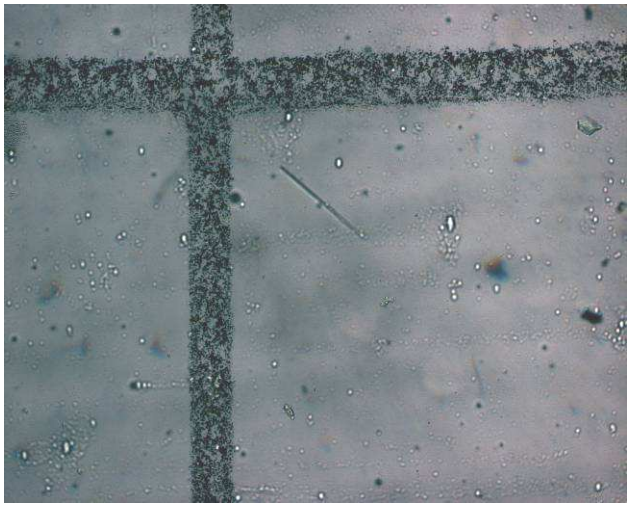
Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	2518	Volume finale 2621	Volume aspirato	103
Numero Fibre	17	Dimensione media fibre		>50 µm



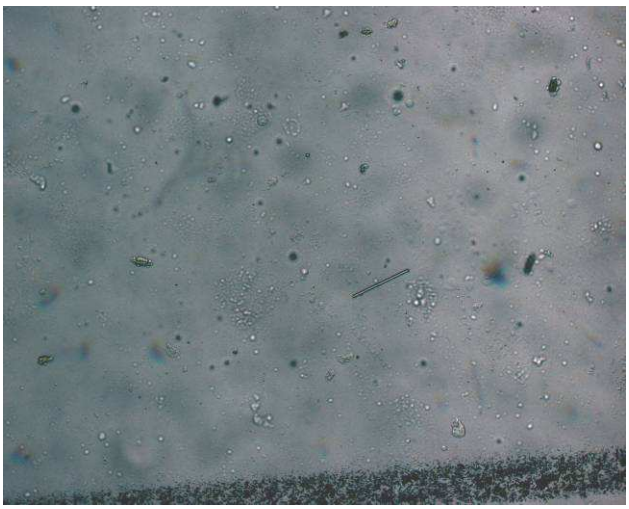
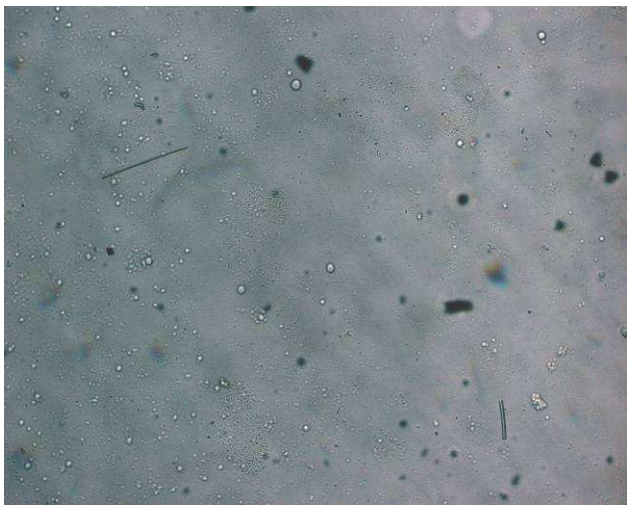
PROVA 03			Data 13/07/2011	Inizio 15:05	Fine 16:07
Condizioni Meteorologiche			Vento 5.8 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Esterno a +44 cm (158 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
300	84	mg/l	Quota fondo indisturbato a -56 cm (-202 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	24 (590)	l/s			

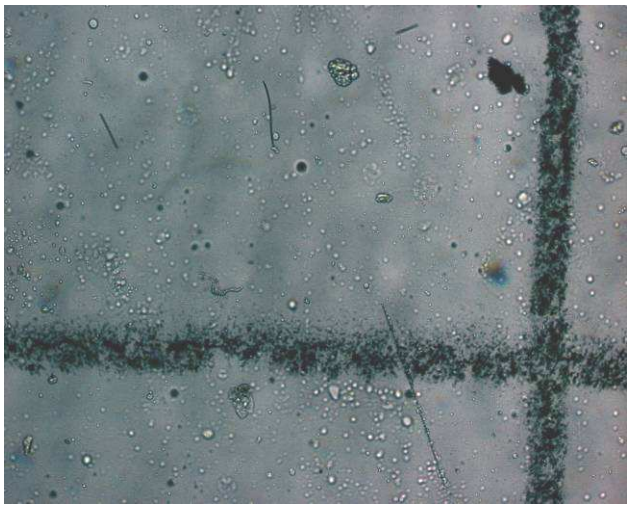
Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	2621	Volume finale 2715	Volume aspirato	94
Numero Fibre	31	Dimensione media fibre		33 µm

PROVA 04			Data 13/07/2011	Inizio 16:20	Fine 17:25
Condizioni Meteorologiche			Vento 5.8 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Immerso a -45 cm (-162 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
300	76	mg/l	Quota fondo indisturbato a -56 cm (-202 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	24 (590)	l/s			

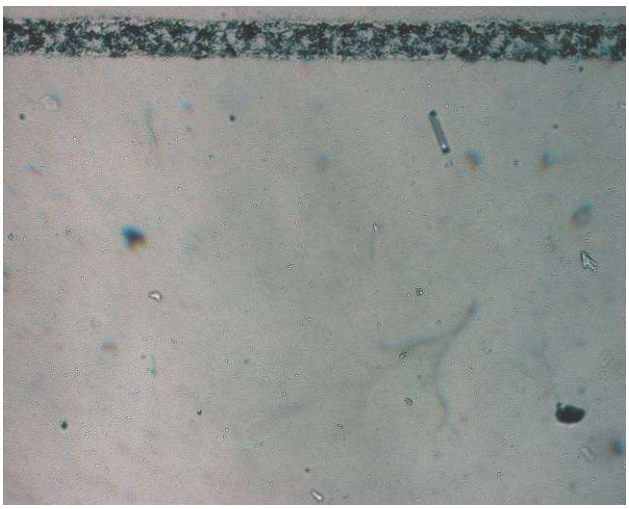
Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	2715	Volume finale 2815	Volume aspirato	100
Numero Fibre	36	Dimensione media fibre		38 µm

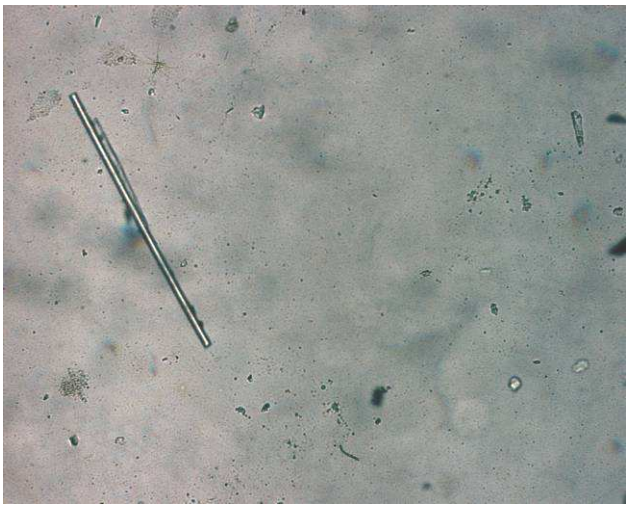
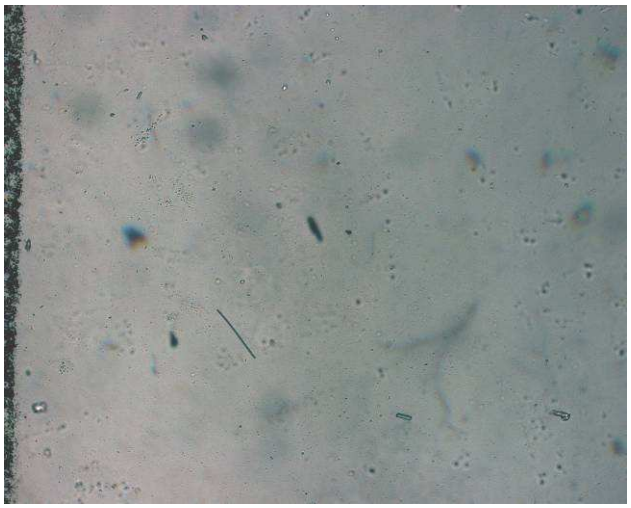





PROVA 05			Data 20/07/2011	Inizio 16:12	Fine 16:58
Condizioni Meteorologiche			Vento 4.3 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Immerso a -45 cm (-162 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
300	283	mg/l	Quota fondo indisturbato a -56 cm (-202 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	27 (664)	l/s			

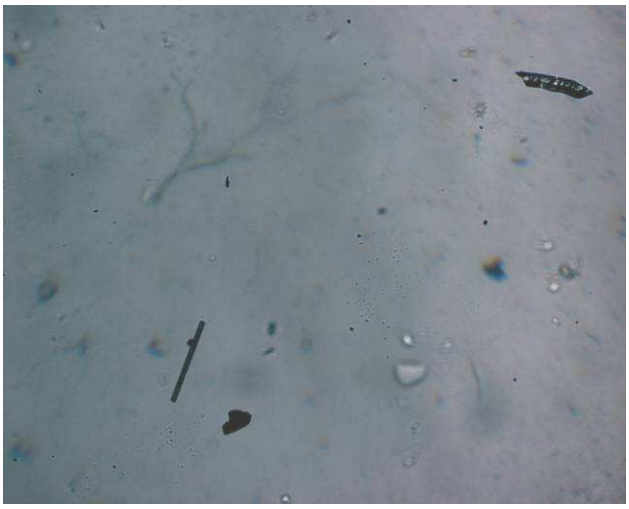
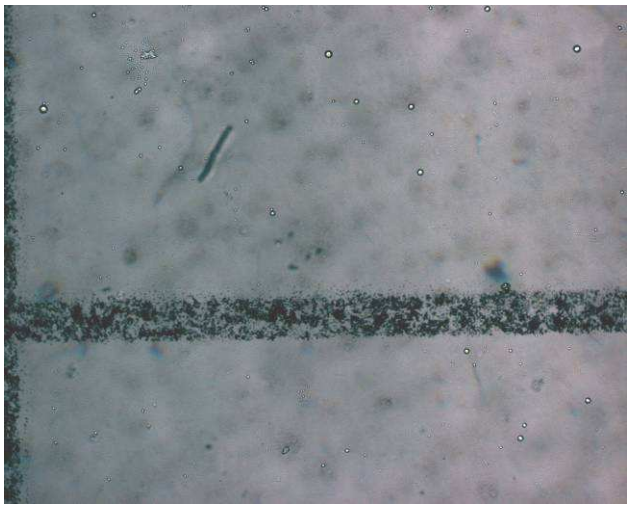
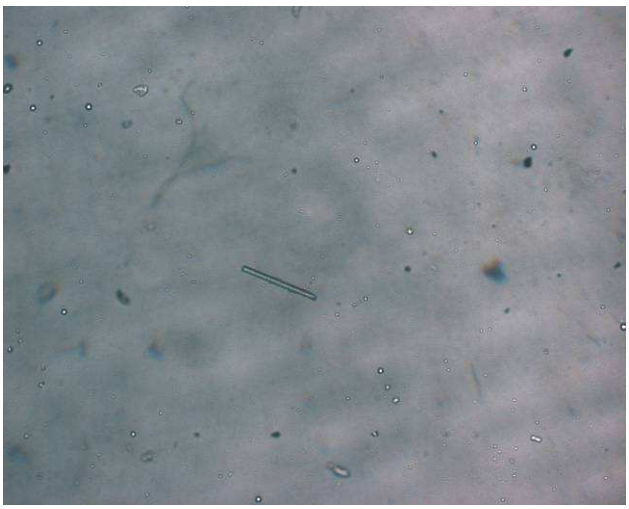
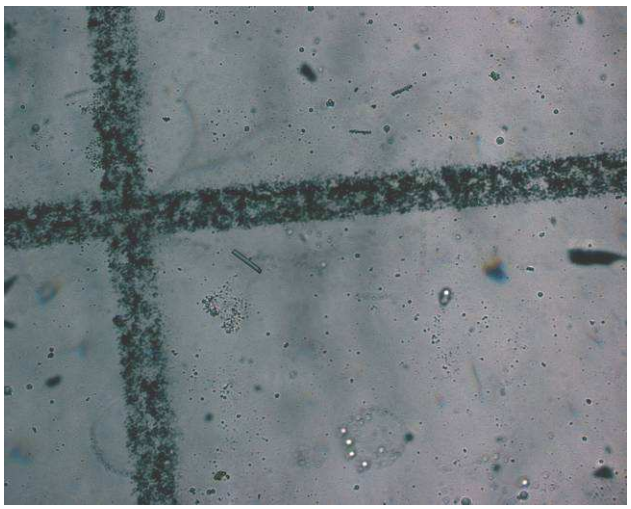
Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	2815	Volume finale 2895	Volume aspirato	80
Numero Fibre	30	Dimensione media fibre		34 µm



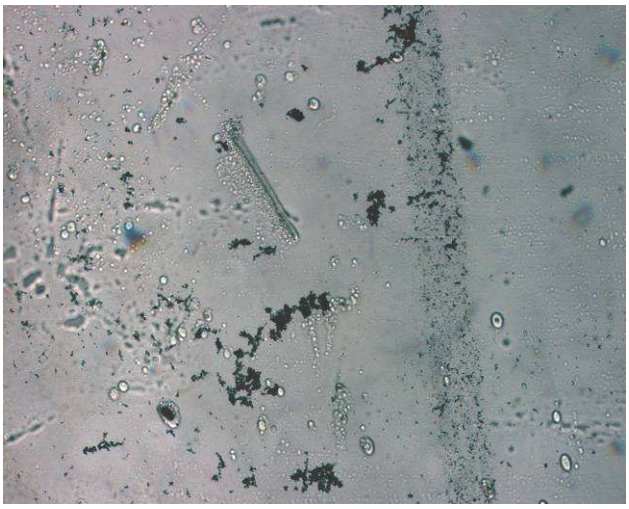
PROVA 06			Data 20/07/2011	Inizio 17:16	Fine 18:02
Condizioni Meteorologiche			Vento 6.2 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Esterno a +44 cm (158 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
300	213	mg/l	Quota fondo indisturbato a -56 cm (-202 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	28 (688)	l/s			

Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	2896	Volume finale 2971	Volume aspirato	75
Numero Fibre	23	Dimensione media fibre		24 µm

PROVA 07			Data 20/07/2011	Inizio 18:06	Fine 18:52
Condizioni Meteorologiche			Vento 3.6 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Esterno a +44 cm (158 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
1000	870	mg/l	Quota fondo indisturbato a -56 cm (-202 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	28 (688)	l/s			

Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	2971	Volume finale 3042	Volume aspirato	71
Numero Fibre	19	Dimensione media fibre		>50 µm

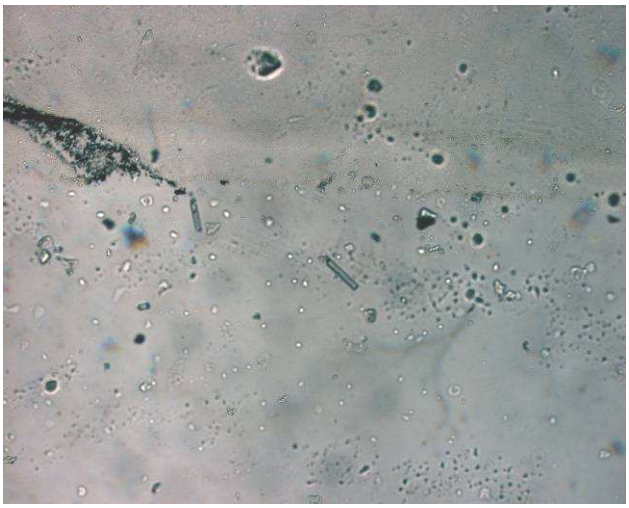





PROVA 08			Data 20/07/2011	Inizio 19:00	Fine 19:45
Condizioni Meteorologiche			Vento 0.0 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Immerso a -45 cm (-162 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
1000	510	mg/l	Quota fondo indisturbato a -56 cm (-202 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	27 (664)	l/s			

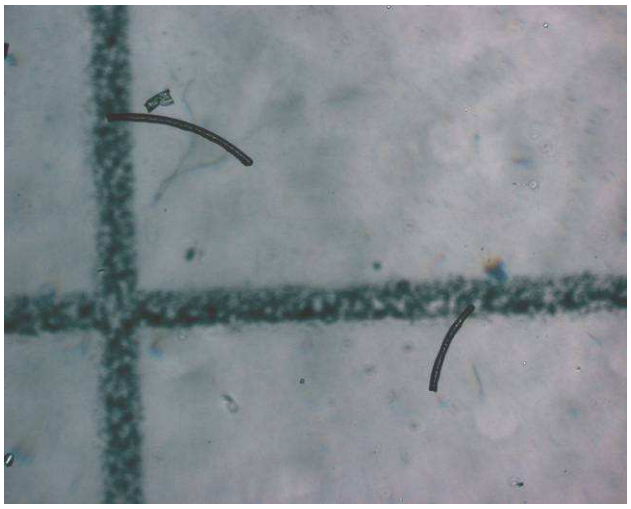
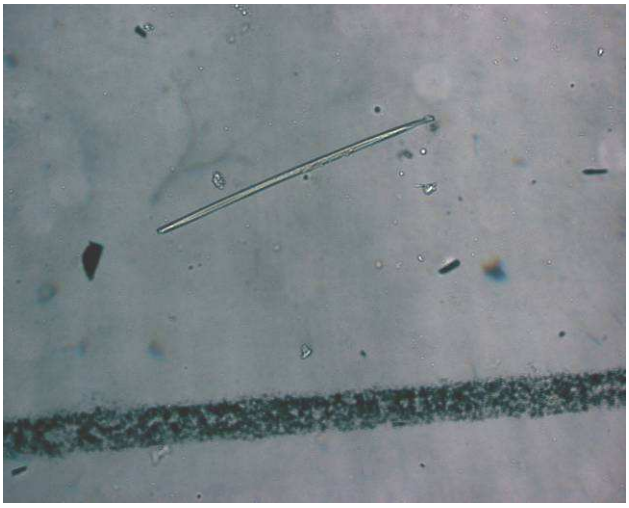
Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	3042	Volume finale 3110	Volume aspirato	68
Numero Fibre	40	Dimensione media fibre		36 µm





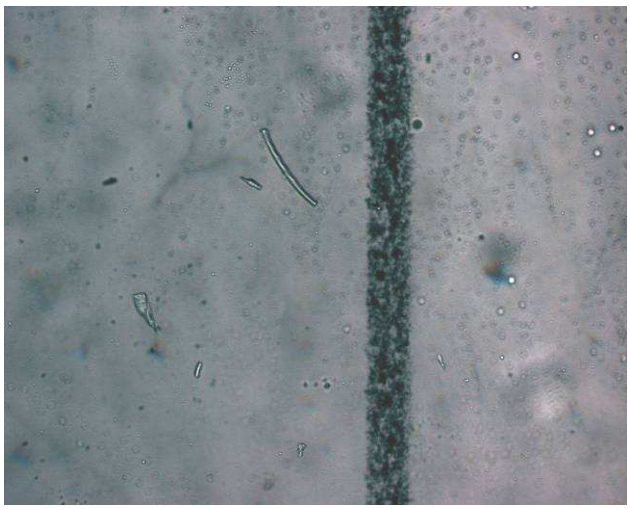
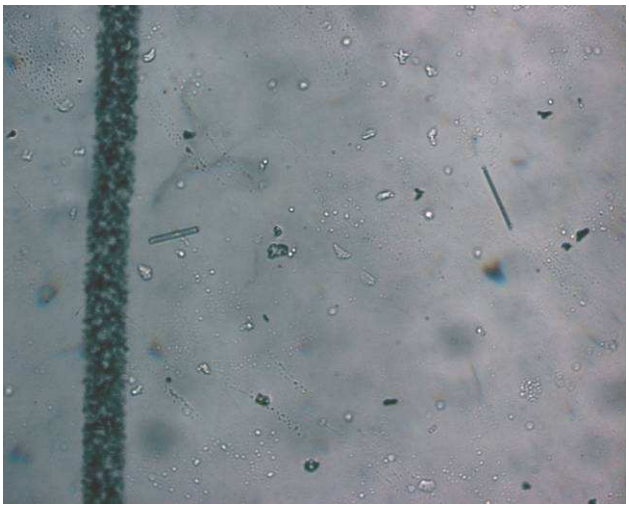
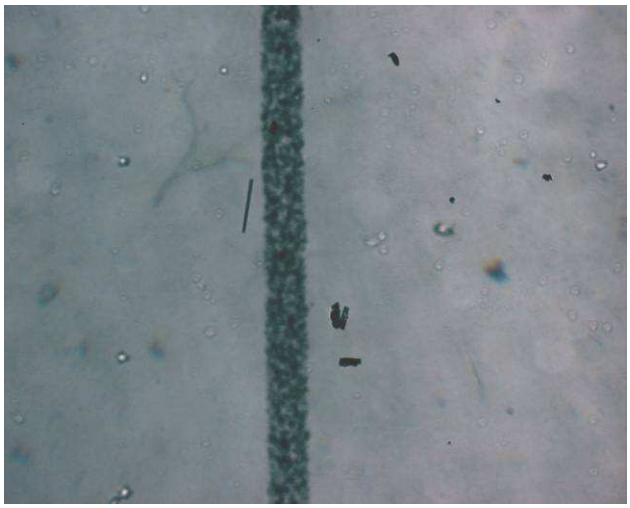

PROVA 09			Data 28/07/2011	Inizio 12:05	Fine 12:50
Condizioni Meteorologiche			Vento 0.0 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Esterno a +44 cm (158 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
30	72	mg/l	Quota fondo indisturbato a -25 cm (-90 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	26.5 (652)	l/s			

Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	3132	Volume finale 3211	Volume aspirato	79
Numero Fibre	8	Dimensione media fibre		>50 µm

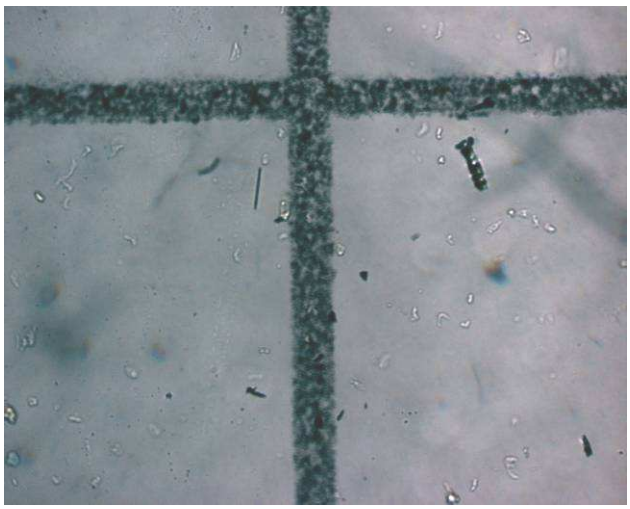

PROVA 10			Data 28/07/2011	Inizio 13:00	Fine 13:45
Condizioni Meteorologiche			Vento 0.0 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Immerso a -15 cm (-54 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
30	43	mg/l	Quota fondo indisturbato a -25 cm (-90 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	26.5 (652)	l/s			

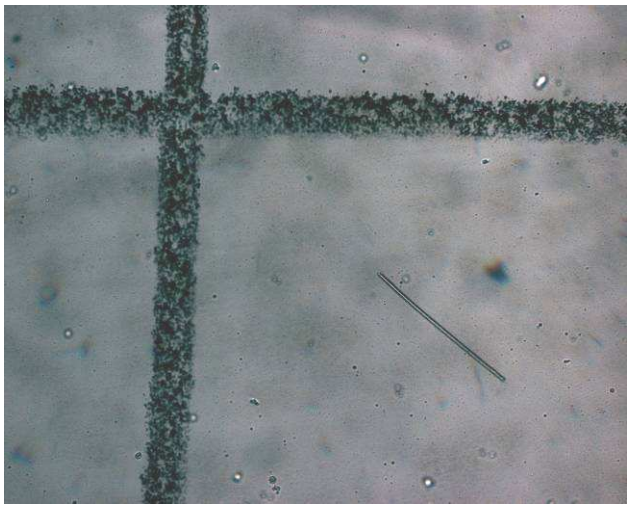
Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	3211	Volume finale 3298	Volume aspirato	87
Numero Fibre	10	Dimensione media fibre		30 µm

PROVA 11			Data 28/07/2011	Inizio 14:20	Fine 15:12
Condizioni Meteorologiche			Vento 3.2 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Immerso a -15 cm (-54 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
300	320	mg/l	Quota fondo indisturbato a -25 cm (-90 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	26.5 (652)	l/s			

Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	3298	Volume finale	3399	Volume aspirato 101
Numero Fibre	8	Dimensione media fibre		30 µm

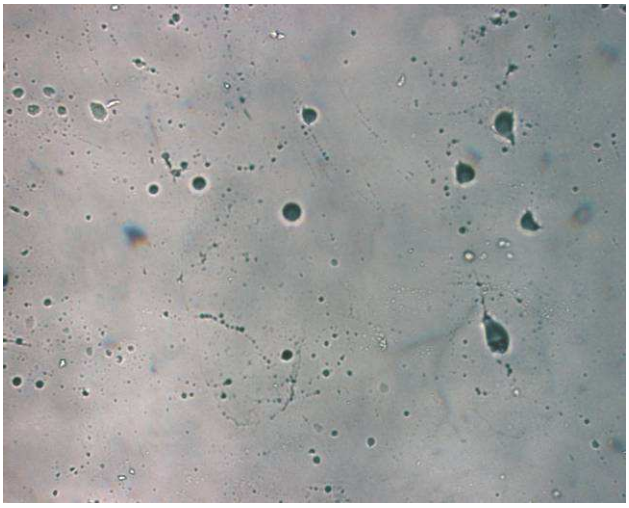





PROVA 12			Data 28/07/2011	Inizio 15:27	Fine 16:12
Condizioni Meteorologiche			Vento 3.2 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Esterno a +44 cm (158 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
300	148	mg/l	Quota fondo indisturbato a -25 cm (-90 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	26.5 (652)	l/s			

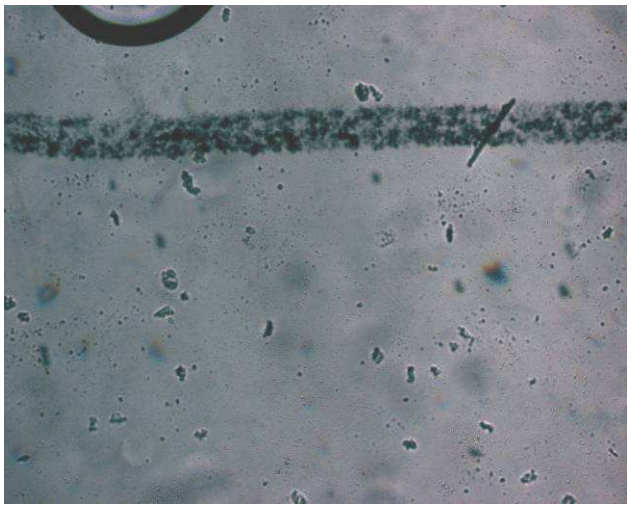
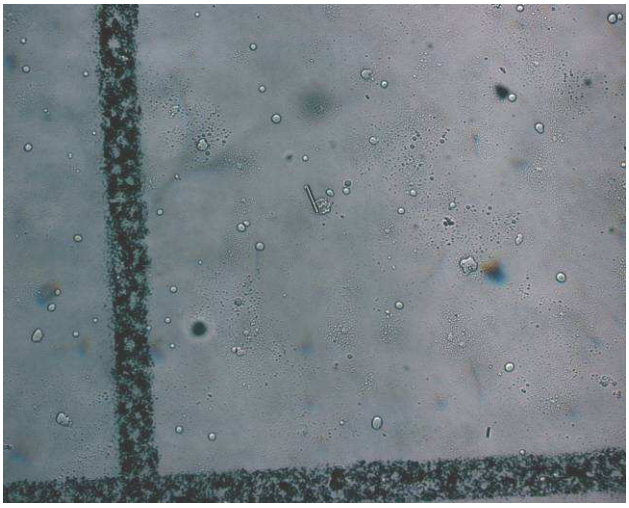
Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	3399	Volume finale 3481	Volume aspirato	82
Numero Fibre	14	Dimensione media fibre		33 µm






PROVA 13			Data 28/07/2011	Inizio 17:20	Fine 18:05
Condizioni Meteorologiche			Vento 0.0 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Esterno a +44 cm (158 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
1000	402	mg/l	Quota fondo indisturbato a -25 cm (-90 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	26.5 (652)	l/s			

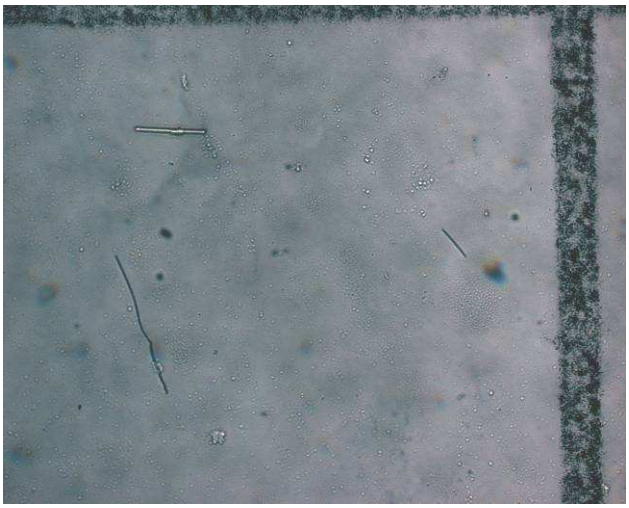
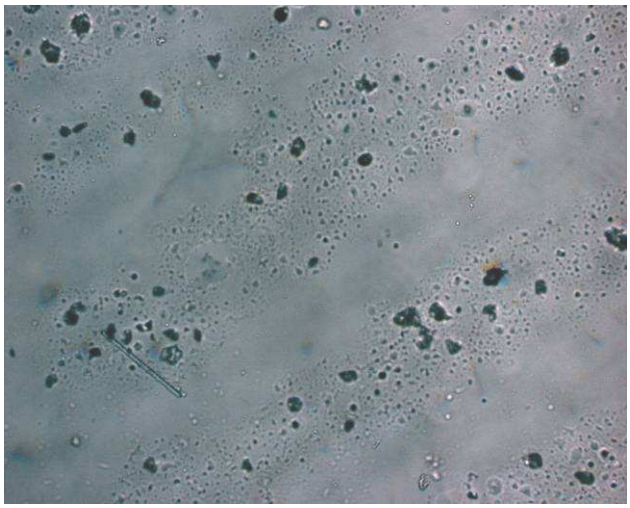
Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	3482	Volume finale 3552	Volume aspirato	70
Numero Fibre	10	Dimensione media fibre		38 µm


PROVA 14			Data 28/07/2011	Inizio 18:20	Fine 19:05
Condizioni Meteorologiche			Vento 0.0 km/h	Pioggia: Assente	
Concentrazione			**Caratteristiche Prova**		
Target	Misurata		Tubo Immerso a -15 cm (-54 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
1000	340	mg/l	Quota fondo indisturbato a -25 cm (-90 cm su prototipo) dalla superficie dell'acqua		
Portata	26.5 (652)	l/s			

Filtro dell'aria				Tutti i volumi in litri
Volume iniziale	3552	Volume finale 3623	Volume aspirato	71
Numero Fibre	11	Dimensione media fibre		48 µm



7.2 Rilievo del fondo

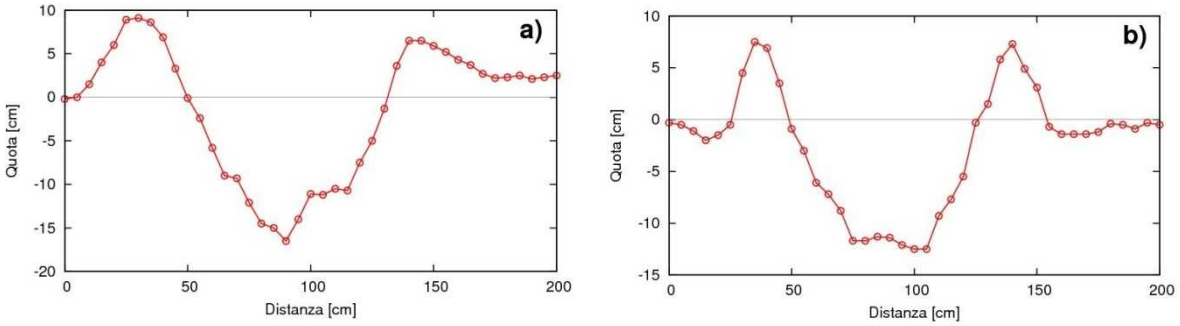


Figura 16: Profilo del fondo lungo una sezione passante per l'asse del getto. a) Rilievo effettuato al termine della prova 8; b) Rilievo effettuato al termine della prova 14.

Nella Figura 16 si mostrano i risultati ottenuti. Lo scavo massimo ha ordine di grandezza di circa 20 cm (circa 70 cm su prototipo) e il deposito di 10 cm (circa 35 cm su prototipo). Così come evidenziato anche da lavori di letteratura (si veda paragrafo 4.2) il profilo consiste in uno scavo centrato in corrispondenza dell'asse del getto e in un deposito a forma circolare, con raggio (in corrispondenza del massimo deposito) di circa 35 cm (circa 125 cm su prototipo).

8 CONCLUSIONI

I risultati ottenuti in tutte le prove effettuate sono riportati nelle schede del precedente paragrafo. Le schede riportano inoltre le concentrazioni "target" di fibre in acqua e le concentrazioni effettivamente rilevate nel corso degli esperimenti. Si può notare come, presumibilmente a seguito della sedimentazione di una quota parte delle fibre immesse nel serbatoio in lamiera (serbatoio 2 in Figura 5), le concentrazioni più alte (1000 mg/m^3) non siano state raggiunte. Nel seguito verrà commentata la rilevanza di questo fatto ai fini della sperimentazione.

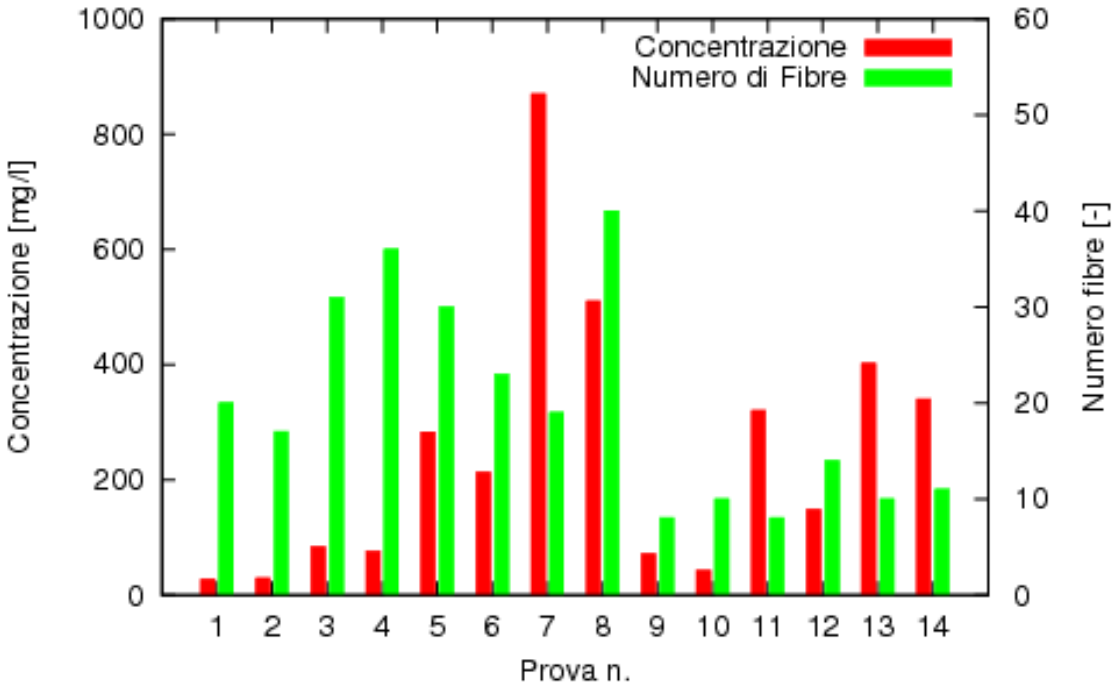


Figura 17: Numero di fibre rilevate in ogni prova e relativa concentrazione di fibre in acqua.

La normativa di riferimento vigente (Decreto Legislativo del 17 marzo 1995, n. 114, "Attuazione

della direttiva 87/217/CEE in materia di prevenzione e riduzione dell'inquinamento dell'ambiente causato dall'amianto") prevede, come limite di legge, che la concentrazione di fibre rilasciate nell'atmosfera non superi il valore limite di 0.1 mg/m^3. La stessa normativa sancisce inoltre che possa essere adottato il seguente fattore di conversione tra peso e numero di fibre rilevate: 2 fibre/ml per 0.1 mg/m^3.

I risultati di tutte le prove sono riassunti in Figura 17, in cui, per ogni esperimento viene riportata la concentrazione di fibre misurata in acqua (in rosso, ordinata principale) e il numero di fibre rilevate sul filtro (in verde, ordinata secondaria). I dati ottenuti mostrano come sia stata osservata correlazione tra concentrazione di fibre in acqua e numero di fibre rilevate in aria. Una possibile spiegazione di questo fatto è che il rilascio di fibre in aria è un fenomeno statisticamente estremamente raro e il numero di fibre rilevato è molto piccolo. Inoltre soltanto un numero molto limitato di fibre viene trascinato nell'aerosol che si forma sulla superficie dell'acqua ed il fattore limitante è probabilmente la concentrazione di aerosol. Da questo punto di vista appare poco rilevante il fatto che la concentrazione di 1000 mg/m^3, richiesta dal committente in alcune prove, non sia stata raggiunta.

In Figura 18 è infine riportato il numero di fibre rilevato sui filtri in ogni esperimento per ml di aria aspirata. Il valore massimo rilevato è pari a circa 6x10^{-4} fibre/ml. Tale valore appare significativamente inferiore al limite di legge (fissato a 2 fibre/ml). Si noti che il volume di aria aspirato varia in ogni prova sia perché vi sono lievi differenze nella durata delle prove, sia a causa delle differenti perdite di carico dei filtri in presenza di umidità. Questo fatto risulta comunque ininfluente per quanto riguarda i risultati mostrati in quanto gli stessi sono stati normalizzati rispetto ai volumi di aria aspirati.

In conclusione, le prove effettuate mostrano che, anche nel caso particolarmente sfavorevole considerato di assenza del diffusore e fondo a quota di circa -1 m dal livello della superficie libera, le concentrazioni di fibre in aria risultano di circa 4 ordini di grandezza inferiori alle massime previste dalla normativa vigente.

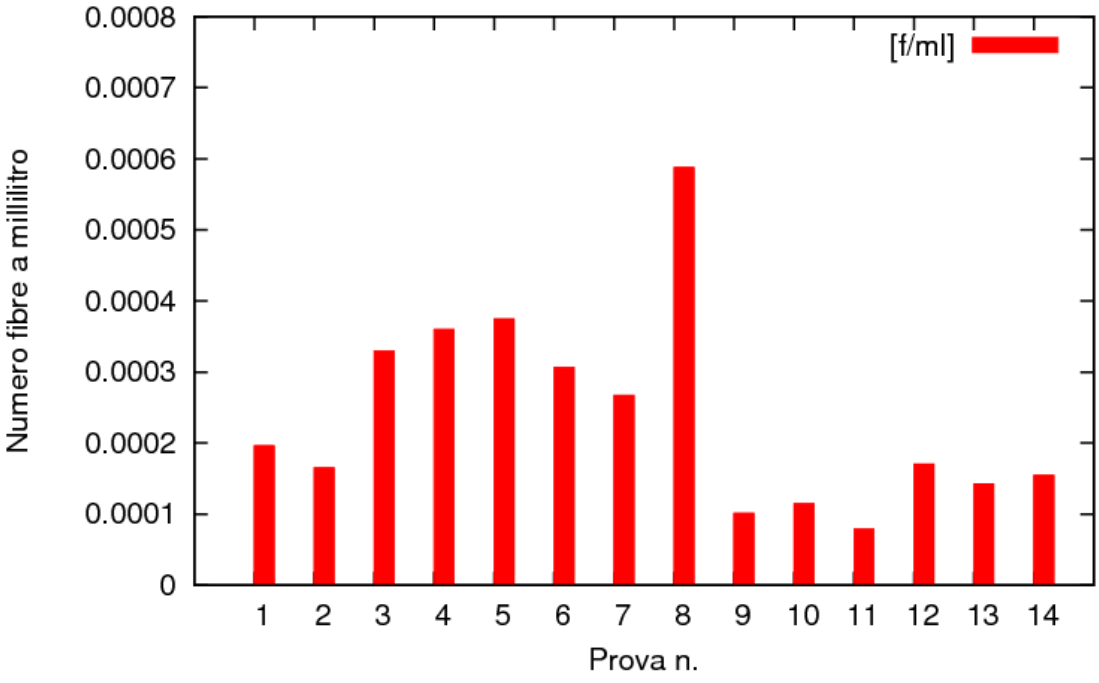


Figura 18: Numero di fibre rilevate in ogni esperimento per ml di aria.

9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

C. Blenkinsopp and J. Chaplin. Void fraction measurements and scale effects in breaking waves in freshwater and seawater. *Coastal Engineering*, 58(5):417-428, May 2011. ISSN 0378-3839. doi: 10.1016/j.coastaleng.2010.12.006.

H. Chanson. Hydraulics of Open Channel Flow. Butterworth-Heinemann, Aug. 1999. ISBN 0340740671.

H. Chanson, S. Aoki, and A. Hoque. Physical modelling and similitude of air bubble entrainment at vertical circular plunging jets. *Chemical Engineering Science*, 59(4): 747-758, Feb. 2004. ISSN 0009-2509. doi: 10.1016/j.ces.2003.11.016.

G. B. Deane and M. D. Stokes. Scale dependence of bubble creation mechanisms in breaking waves. *Nature*, 418(6900):839-844, 2002. ISSN 0028-0836. doi:10.1038/nature00967. URL http://dx.doi.org/10.1038/nature00967.

E. Marchi and A. Rubatta. Meccanica dei fluidi - Principi e Applicazioni Idrauliche. U.T.E.T., Torino, 1981.

S. Pagliara, W. H. Hager, and H. E. Minor. Hydraulics of plane plunge pool scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(5):450{461, 2006. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:5(450).

ALLEGATO 6

Indagine ecotossicologica su organismi marini con campioni di rocce da scavo

CRESIS
Centro di Ricerca Ecocompatibilità
Sicurezza Innovazione Sostanze chimiche

Università degli Studi
di Genova

LABORATORIO DI ECOTOSSICOLOGIA – DIP.TE.RIS.
(Albo Laboratori Altamente Specializzati – MIUR D.Lgs.297/99)

RELAZIONE FINALE

Contratto di Ricerca SPEA Ingegneria Europea S.p.A. - CE.Si.S.P.

Indagine ecotossicologica su campioni di rocce di scavo



Il Direttore del CRESIS

(Prof. Luigi Pane)

Genova, 13 settembre 2011

La presente relazione si riferisce all'incarico conferito, in data 24/02/2011, al Centro di Ricerca Ecocompatibilità Sicurezza Innovazione Sostanze Chimiche (CRESIS) - Laboratorio di Ecotossicologia, dell'Università di Genova con sede in Viale Benedetto XV, 5 – Genova, dal Centro per lo sviluppo della sostenibilità dei prodotti - CE.Si.S.P. dell'Università degli Studi di Genova, con sede in Via All'Opera Pia 15, 16145 Genova.

L'incarico ha riguardato uno studio ecotossicologico su tre campioni di rocce (metabasalti, calcescisti e serpentiniti), inviati in data 16/3/2011, sottoposti, come da accordi intercorsi, a macinazione presso idonei laboratori e riconsegnati al CRESIS in data 23/03/2011 (metabasalti e calcescisti) e in data 14/04/2011 (serpentiniti). Le analisi sono state effettuate utilizzando sia gli elutriati non diluiti e sia con diluizioni scalari degli stessi in quanto più rappresentativi di una situazione più realistica dei fenomeni che si verificano in natura.

Sui campioni di roccia sono state effettuate prove ecotossicologiche secondo quanto riportato al punto 5 del Disciplinare Tecnico allegato al contratto di Ricerca (SPEA Ingegneria Europea S.p.A./CE.Si.S.P. - INC. N. 400000271) "indagini sperimentali sulla dispersione e comportamento in acqua delle fibre di amianto durante le operazioni di sversamento nel deposito a mare dello smarino. Modellazione chimica e fisica del potenziale rilascio di fibre nell'interfaccia acqua di mare- aria" e precisamente:

1) test di ecotossicità (approccio standard),
2) prove di bioaccumulo in laboratorio e analisi di biomarker di supporto (approccio sperimentale).

Complessivamente sono stati eseguiti, per ciascun campione di materiale, i seguenti test:

- Matrice elutriato: due test di tossicità di cui uno a breve termine e uno a lungo termine, un test di bioaccumulo e tre determinazioni di biomarker.
- Matrice "tal quale": un test di tossicità a lungo termine e un test di bioaccumulo.

Nei test di ecotossicità sulla matrice tal quale è stato impiegato, in accordo con CE.Si.S.P. e SPEA, il copepode marino *Tigriopus fulvus* in sostituzione dell'anfipode *Corophium orientale* in quanto, nel periodo in cui sono state effettuate le indagini, non è stato possibile reperire, nell'ambiente naturale, un numero sufficiente di organismi di questa specie da impiegare nei test ecotossicologici. Infatti, nonostante i diversi e ripetuti campionamenti effettuati nell'areale della foce del fiume Magra, che rappresenta l'habitat in cui è possibile reperire C. *orientale* (Bigongiari *et al*., 2001), la popolazione rinvenuta nei sedimenti è risultata numericamente scarsa e costituita da esemplari appartenenti a diverse classi di età e pertanto non idonea.

Anche per i test di bioaccumulo si è reso necessario sostituire *Hediste diversicolor* con un altro polichete marino appartenente alla stessa famiglia (Nereididae) perché, pur avendo ricevuto dai centri specializzati, al momento della richiesta di fornitura, risposte affermative di disponibilità di organismi, successivamente non è stato garantito l'invio di un numero adeguato di organismi maturi. Tale situazione si è rivelata critica per il verificarsi delle particolari condizioni metereologiche (basse temperature, elevata piovosità) del periodo che hanno causato un ritardato nella riproduzione e nella crescita di questi organismi.

Le prove di bioaccumulo sulla colonna d'acqua e le determinazioni dei biomarker, effettuate utilizzando il mollusco lamellibranco *Mytilus galloprovincialis,* sono state eseguite presso il laboratorio di fisiologia (responsabile Prof. Laura Canesi) del Dipartimento di Biologia (attuale DIP.TE.RIS) dell'Università degli Studi di Genova.

Le determinazioni analitiche dei metalli pesanti (Cr, Ni, Co, Cu, As) sugli organismi esposti sono state effettuate presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica e di Processo "G.B. Bonino" (DICHEP) dell'Università degli studi di Genova.

1) ESECUZIONE DEI TEST DI ECOTOSSICITÀ

Qui di seguito vengono riportate le metodologie di saggio impiegate nei test di tossicità effettuati sui campioni di METABASALTI, CALCESCISTI e SERPENTINITI.

Per ogni campione di roccia sono stati effettuati i seguenti biosaggi:

1.1 Test sulla matrice elutriato:
- test a breve termine con l'alga fitoplanctonica marina *Dunaliella tertiolecta*
- test a breve termine con il crostaceo marino *Artemia franciscana*
- test a lungo termine con il crostaceo marino *Artemia franciscana*

1.2 Test sulla matrice tal quale:
- test a breve e a lungo termine con il copepode marino *Tigriopus fulvus*

Per ogni tipologia di campione sono state effettuate tre ripetizioni di ciascun test; per l'effettuazione dei test cronici sono state allestite prove preliminari di tossicità acuta al fine di determinare, in base ai risultati ottenuti, il range più idoneo di diluizioni da utilizzare.

Gli elutriati sono stati ottenuti seguendo le indicazioni riportate in USEPA (2001); in particolare, i campioni di roccia sono stati miscelati con acqua di mare artificiale (Instant Ocean®) in rapporto 1:4 (v/v); successivamente sono stati messi in agitazione per un'ora e quindi sono stati centrifugati (3000 rpm). Dall'elutriato così ottenuto (100%) sono state allestite le seguenti diluizioni scalari: 50%, 25%, 12,5%, 6,25%; contemporaneamente è stato approntato un controllo contenente acqua di diluizione (Instant Ocean®).

Per l'effettuazione dei test, porzioni di ciascun campione sono state poste in piastre multipozzetto, impiegando la metodologia adottata per la valutazione della tossicità di sedimenti marini (Bigongiari *et al*., 2001) con alcune modifiche (Pane *et al*., 2008). Tale metodologia prevede la stratificazione al fondo di ciascun pozzetto di 2,0 ± 0,1 ml di roccia frantumata (∅ circa 2 mm) e il successivo inserimento di 8 ml di acqua di mare artificiale Instant Ocean®; il contatto tra gli organismi e il sedimento viene garantito mediante l'impiego di cestelli Netwell™ (porosità = 74 µm) contenenti gli organismi test. L'ossigeno disciolto ed il pH sono stati sempre misurati all'inizio e alla fine dei saggi.

1.1 Test sulla matrice elutriato:

- **Test a breve termine con *Dunaliella tertiolecta***

I test sono stati effettuati secondo quanto riportato nella metodica ISO 10253 (1995) e adottando la metodologia miniaturizzata già proposta in metodi ufficiali (Environment Canada, 1992; Passarelli e Sbalchiero, 2005) e già applicata in studi relativi a sedimenti marini (Pane *et al*., 2008).

I parametri dei test sono riportati in tabella 1; come end-point è stata valutata l'inibizione della crescita algale, mediante lettura dell'assorbanza a 670 nm dopo 72 ore di incubazione, calcolando la concentrazione di inibizione per il 20% e 50% della coltura algale esposta (IC_{20}, IC_{50}).

Tabella 1 – *Dunaliella tertiolecta*: Condizioni sperimentali adottate durante i test di tossicità acuta con elutriato.

Matrice	Elutriato
Diluizioni	100%-50%-25%-12,5%-6,25%
Numero di repliche	4
Numero di ripetizioni del test	3
Volume di incubazione	2 ml
Densità algale a inizio test	2×10^3
Acqua di diluizione	Instant Ocean® 37 ‰
pH	8,0 ±0,2
Durata del test	72 ore
Fotoperiodo	Luce continua
Temperatura	20±2°C
Intensità luminosa	7000-8000 lux
End-point	Inibizione della crescita algale
Espressione del dato	IC_{20}, IC_{50} (% diluizione)

- 1.2 Test sulla matrice tal quale:

- **Test a breve termine con *Artemia franciscana***

I test sono stati effettuati adottando il metodo APAT, IRSA-CNR (2003). I parametri dei test sono riportati in tabella 2; come end-point è stato valutata la concentrazione di effetto che determina la mortalità del 20% e del 50% degli organismi esposti (LC_{20}, LC_{50}) dopo 24 e 48 ore di esposizione.

Tabella 2 – *Artemia franciscana:* Condizioni sperimentali adottate durante i test di tossicità acuta con elutriato.

Matrice	Elutriato
Diluizioni	100%-50%-25%-12,5%-6,25%
Numero di repliche	3
Numero di ripetizioni del test	1
Volume di incubazione	50 ml
Acqua di diluizione	Instant Ocean® 35 ‰
pH	6,5-8,5
Numero di organismi per replica	10
Stadio di sviluppo	Nauplii allo stadio larvale II-III
Durata del test	24-48 h
Fotoperiodo	14L-10B
Temperatura	25±1°C
Intensità luminosa	1000 lux
End-point	Mortalità
Espressione del dato	LC_{20}, LC_{50}

- **Test a lungo termine con *Artemia franciscana.***

I parametri dei test sono riportati in tabella 3; dopo 14 giorni di esposizione è stata valutata la concentrazione che determina la mortalità del 20% e del 50% degli organismi esposti (LC_{20}, LC_{50}).

Le diluizioni impiegate nei test di tossicità a lungo termine sono state scelte in base ai risultati ottenuti con i test acuti preliminari.

Tabella 3 – *Artemia franciscana:* Condizioni sperimentali adottate durante i test di tossicità cronica con elutriato.

Matrice	Elutriato
Diluizioni	25%-12,5%-6,25%
Numero di repliche	3
Numero di ripetizioni del test	3
Volume di incubazione	50 ml
Acqua di diluizione	Instant Ocean® 35 ‰
pH	6,5-8,5
Ossigeno	>40% saturazione
Numero di organismi	10
Stadio di sviluppo	Nauplii allo stadio larvale II-III
Rinnovo delle soluzioni	Ogni 48 ore
Alimentazione	*Dunaliella tertiolecta* (1×10^5 cell/ml)
Durata del test	14 giorni
Fotoperiodo	14L-10B
Temperatura	25±1°C
Intensità luminosa	1000 lux
End-point	Mortalità
Espressione del dato	LC_{20}, LC_{50}

- **Test sul "tal quale" a breve e a lungo termine, con *Tigriopus fulvus***

Per *T. fulvus* attualmente non è disponibile una metodica ufficiale standardizzata, tuttavia, questo organismo viene ampiamente utilizzato nei test di ecotossicità ed è stato sottoposto recentemente anche ad un percorso di intercalibrazione tra laboratori pubblici (Università, ISPRA); la metodica impiegata fa riferimento alla ISO 14669 (1999) relativa a copepodi marini. I parametri dei test sono riportati in tabella 5; in questo caso l'end-point ha riguardato la variazione della mortalità rispetto al controllo dopo 96 ore e 10 giorni di esposizione.

Tabella 5 – *Tigriopus fulvus:* Condizioni sperimentali adottate durante i test di tossicità a breve e a lungo termine con roccia tal quale.

Matrice	Roccia "tal quale"
Numero di repliche	3
Numero di ripetizioni del test	3
Volume di roccia	2 ml
Volume di acqua	8 ml
Acqua di diluizione	Instant Ocean® 37±0,5 ‰
pH	8±0,2
Ossigeno	> 60% saturazione
Numero di organismi per replica	7 femmine ovigere
Alimentazione	Assente
Durata del test	96 h-10 giorni
Fotoperiodo	16L-8B
Temperatura	20±0,5°C
Intensità luminosa	1000 lux
End-point	Mortalità
Espressione del dato	Δ mortalità

2) PROVE DI BIOACCUMULO

- ***Mytilus galloprovincialis***

Per effettuare le prove di bioaccumulo sono stati allestiti appositi acquari nei quali esemplari di *Mytilus galloprovincialis* sono stati esposti per tre giorni, in condizioni controllate di laboratorio, all'elutriato ottenuto delle rocce (Tab. 6). Al termine del periodo di esposizione è stata valutata la mortalità degli organismi e quelli sopravvissuti sono stati congelati a -20°C. Su tali organismi è stata effettuata l'analisi dei seguenti metalli pesanti: Cromo (Cr), Nichel (Ni), Cobalto (Co), Rame (Cu) e Arsenico (As). Per la successiva valutazione del fattore di bioconcentrazione (BCF) 500 ml di acqua di mare artificiale Instant Ocean® e 500 ml di ciascun elutriato sono stati conservati a 4°C.

Il fattore di bioaccumulo (BCF) è stato calcolato come rapporto tra la concentrazione del metallo in esame nei tessuti dell'organismo (espressa in ppm) e la concentrazione nell'ambiente circostante (espressa in ppm).

$$BCF = \frac{C_{tessuti}\ (ppm)}{C_{colonna\ d'acqua}\ (ppm)}$$

Tabella 6 – *Mytilus galloprovincialis*: Condizioni sperimentali adottate per le prove di bioaccumulo con elutriato.

Matrice	Elutriato
Diluizioni	100%
Numero di repliche	3
Numero di ripetizioni del test	3
Volume di incubazione	0,5 l /ind.
Acqua di diluizione	Instant Ocean® 36±0,5 ‰
Numero di organismi per campione	8
Stadio di sviluppo	Adulti
Alimentazione	Assente
Rinnovo delle soluzioni	Assente
Durata del test	3 giorni
Fotoperiodo	12 h luce - 12h buio
Temperatura	18±0,5°C
End-point	Bioaccumulo
Espressione del dato	BCF

- **Policheti marini**

Per l'effettuazione del test di bioaccumulo sulle rocce "tal quale" sono stati utilizzati esemplari di *Perinereis* spp. policheti marini della famiglia dei Nereididae; porzioni di ciascun campione sono state poste in beaker, seguendo la metodologia adottata per la valutazione della tossicità di sedimenti (Dillon *et al*., 1993). Sul fondo di ciascun beaker sono stati posti 100 ml di roccia frantumata (∅ circa 5 mm) e successivamente sono stati inseriti 400 ml di acqua di mare artificiale Instant Ocean®. I policheti sono stati mantenuti in laboratorio ed acclimatati alle condizioni del test per 5 giorni, successivamente sono stati immessi per 7 giorni in beaker contenenti roccia tal quale ed acqua di diluizione (Instant Ocean®) in condizioni controllate di laboratorio (Tab. 7), al termine

del periodo di esposizione gli organismi sono stati sottoposti ad una procedura di spurgo in acqua di mare artificiale Instant Ocean® per circa 48 ore, successivamente sono stati congelati a -20°C ed avviati all'analisi dei metalli: Cromo (Cr), Nichel (Ni), Cobalto (Co), Rame (Cu) e Arsenico (As).

Per la successiva valutazione del fattore di bioconcentrazione (BCF) 500 ml di acqua di mare artificiale Instant Ocean® (controllo) e 500 ml di ciascun elutriato sono stati conservati a +4°C.

Tabella 7 – Policheti: Condizioni sperimentali adottate per le prove di bioaccumulo con roccia "tal quale".

Matrice	Roccia "tal quale"
Numero di repliche	3
Numero di ripetizioni del test	3
Volume di roccia	100 ml
Volume di acqua	400 ml
Acqua di diluizione	Instant Ocean® 15 ‰
Numero di organismi per replica	4
Alimentazione	Assente
Durata del test	7 giorni
Durata della fase di spurgo	48 ore
Fotoperiodo	Illuminazione continua
Temperatura	18±2°C
Intensità luminosa	1000 lux
End-point	Bioaccumulo
Espressione del dato	BCF

3) ANALISI DEI BIOMARKER

Per l'analisi dei biomarker, esemplari di *Mytilus galloprovincialis* sono stati esposti all'elutriato di ciascun campione per tre giorni, alla concentrazione del 100%, in condizioni controllate di laboratorio (Tab. 8); in particolare i campioni di roccia sono stati miscelati con acqua di mare artificiale (Instant Ocean®) in repporto 1:4 (v:v), successivamente sono stati mantenuti in agitazione per un'ora e centrifugati (3000 rpm). Contemporaneamente è stato approntato un controllo contenente acqua di diluizione, in tali condizioni è stato anche valutato il bioaccumulo di alcuni elementi quali Cr, Ni, Co, Cu, As. Al termine del periodo di esposizione, è stato misurato il tempo di ritenzione del neutral red (NR), per valutare il danno alle membrane lisosomiali e sono stati eseguiti il test del micronucleo ed il Comet assay per valutare il danno genotossico.

- **Valutazione della stabilità delle membrane lisosomiali *in vivo* tramite test di ritenzione del Neutral Red (NRR assay) in emociti di mitilo**

I lisosomi sono organelli intracellulari che rappresentano il sito di accumulo e digestione di molecole complesse e sostanze estranee. In particolare, nel mitilo, sia contaminanti inorganici, quali metalli pesanti, che organici, quali idrocarburi complessi, PCB, etc. vengono accumulati all'interno dei lisosomi, dove possono danneggiare la membrana lisosomiale. Tale danno può essere quantificato mediante un test rapido e sensibile, il test di ritenzione del Neutral Red (NRR assay).

Il Neutral Red è un colorante debolmente cationico che penetra rapidamente attraverso le membrane cellulari, accumulandosi nei lisosomi dove, a causa del pH acido, viene rapidamente protonato e compartimentato all'interno della matrice lisosomiale. Qualunque alterazione della membrana lisosomiale aumenta la fragilità di questi organelli, con il conseguente rilascio del colorante nel citoplasma.

Il saggio si basa sulla valutazione del tempo di ritenzione del NR nei lisosomi, che è elevato nei controlli, con membrane lisosomiali intatte, e che diminuisce in cellule esposte a sostanze inquinanti o, più in generale, in condizioni di stress.

L'end-point del test è il tempo in cui il 50% delle cellule mostra segni di rilascio lisosomiale del colorante, cioè il citoplasma diventa rosso e le cellule arrotondate. I dati sono espressi in Tempo di Ritenzione del NR (min). In questo lavoro il NRR assay è stato applicato agli emociti di mitilo, cellule circolanti che svolgono la funzione di difesa immunitaria e di eliminazione delle sostanze estranee in circolazione.

- **Valutazione del danno genotossico acuto mediante Alkaline COMET assay**

Il Comet assay permette di valutare le lesioni al DNA che possono essere soggette a riparo, cioè reversibili.Questo test è stato condotto sugli emociti di mitili in condizioni alcaline come descritto da Singh et al. (1988). In queste condizioni, il test evidenzia la presenza di siti alcali-labili a livello del singolo filamento. Il Comet assay si basa sulla capacità del DNA di migrare, in presenza di un campo elettrico, fuori dalla cellula. Il DNA di cellule danneggiate, visualizzato al microscopio, appare come una cometa con una testa (Head) (regione nucleare) e una coda (Tail) determinata dai frammenti o filamenti di DNA che migrano più velocemente nella direzione dell'anodo; il DNA non danneggiato migra invece molto poco e rimane prevalentemente ai confini del nucleo (Fig. 1).
I dati vengono espressi come percentuale di DNA migrato nella coda della cometa.

$$\% \text{ DNA migrato} = \frac{\text{densità}_{coda} \text{ X area}_{coda}}{(\text{densità}_{coda} \text{ X area}_{coda}) + (\text{densità}_{testa} \text{ X area}_{testa})} \text{ X } 100$$

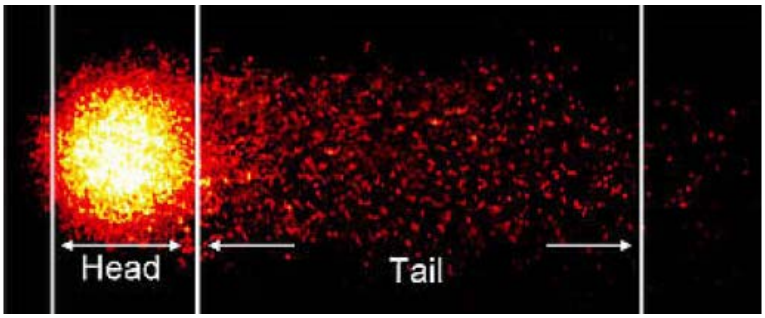


Fig. 1 - DNA in cellula danneggiata visualizzato al microscopio invertito a fluorescenza (Zeiss Axiovert 100M)

- **Valutazione del danno genotossico cronico mediante Test dei Micronuclei**

La valutazione del danno a livello cromosomico espresso dopo la replicazione cellulare evidenzia la presenza di un danno citogenetico;. tale danno può essere dovuto all'accumulo di sostanze genotossiche nell'organismo. A tale scopo, la valutazione dell'induzione dei Micronuclei viene effettuata preferibilmente in cellule ad alto tasso di divisione cellulare. Pertanto, nel mitilo, il test viene preferibilmente condotto sulle cellule delle branchie, un tessuto in grado di bioconcentrare novevoli quantità di inquinanti inorganici presenti in soluzione nell'acqua di mare

Il test è stato applicato a cellule isolate dall'epitelio branchiale di mitilo mediante digestione enzimatica (Bolognesi et al. 1999, 2011). I micronuclei sono stati identificati tramite osservazione al microscopio a fluorescenza in cellule colorate con DAPI (Fig. 2). I micronuclei sono definiti come strutture rotondeggianti, di dimensioni inferiori a un terzo del nucleo e devono essere sullo stesso piano ottico del nucleo con margini definiti rispetto al nucleo stesso. I dati sono espressi come frequenza dei MN/ 1000 cellule.

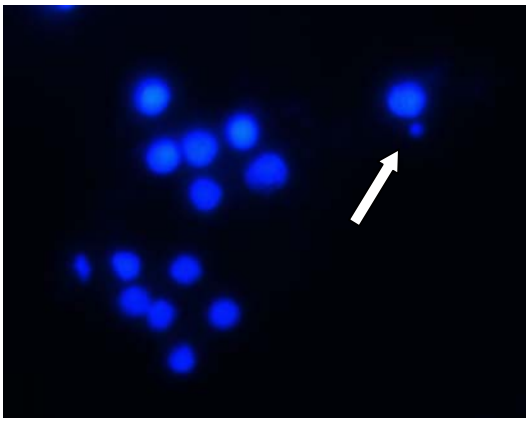


Fig. 2 - Immagine di cellule isolate dalle branchie di mitilo in microscopia a fluorescenza. La colorazione con DAPI mette in evidenza i nuclei e un micronucleo (freccia)

Tabella 8 – *Mytilus galloprovincialis:* Condizioni sperimentali adottate per l'analisi dei biomarker con elutriato

Matrice	Elutriato
Diluizioni	100% - 25%
Numero di repliche	3
Numero di ripetizioni del test	3
Volume di incubazione	0,5 l /animale
Acqua di diluizione	Instant Ocean® 36±0,5 ‰
Numero di organismi per campione	8
Stadio di sviluppo	Adulti
Alimentazione	Assente
Rinnovo delle soluzioni	Assente
Durata del test	3 giorni
Fotoperiodo	12 h luce - 12h buio
Temperatura	18±0,5°C
End-point	- Stabilità delle Membrane Lisosomiali (LMS) - Comet Assay (valutazione dei siti alcali-labili nel filamento di DNA) - Induzione della formazione di Micronuclei (MN)
Espressione del dato	- Tempo di Ritenzione del NR (min) - % DNA nella coda - Frequenza dei MN/1000 cellule

ELABORAZIONE STATISTICA

I dati ottenuti dai test ecotossicologici sono stati elaborati dal punto di vista statitico ed è stata calcolata, per ciascun test, la media dei valori ottenuti nelle repliche di ciascuna diluizione dell'elutriato e nel controllo. I risultati dei test effettuati con la microalga fitoplanctonica sono stati elaborati tramite il metodo dei Probit (Camussi *et al*., 1989) calcolando i valori di IC_{20} e $IC_{50,}$ mentre per i risultati dei test effettuati con *A. franciscana* è stato applicato il "Trimmed Sperman-Karber method" (Hamilton *et al*., 1977) e sono stati calcolati i valori di LC_{20} e LC_{50} .

Per la valutazione della tossicità dei campioni di roccia "tal quale" nei confronti di *T. fulvus*, è stata calcolata la differenza statisticamente significativita tra le medie delle mortalità degli organismi ottenute nei campioni rispetto ai controlli. Tutti i dati sono stati preventivamente sottoposti al T-Test Student-Neuman-Keuls e a successiva analisi della varianza.

Il fattore di bioconcentrazione (BCF) è stato calcolato utilizzando il metodo di calcolo riportato nei protocolli dei metodi di prova per la valutazione della ecotossicità delle sostanze chimiche (L. 440/2008) ai sensi del Regolamento Europeo REACH (19/07/2006).

La significatività statistica dei dati ottenuti per la valutazione dei biomarker è stata valutata mediante il test U di Mann-Whitney (*≤0,05).

RISULTATI

Di seguito vengono riportati i risultati dei test effettuati con ***Dunaliella tertiolecta*** con metabasalti (Tab. 9, Fig. 3), calcescisti (Tab. 10, Fig. 4) e serpentiniti (Tab. 11, Fig. 5). Nel corso dei test il pH delle soluzioni non è variato di più di una unità come richiesto dal metodo adottato (ISO 10253, 1995); le cellule algali sono state mantenute in agitazione al fine di garantire lo scambio dei gas nelle soluzioni.

Tabella 9 – Metabasalti: valori di IC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *D. tertiolecta*

IC (%diluizione) (72 ore)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
IC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
IC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

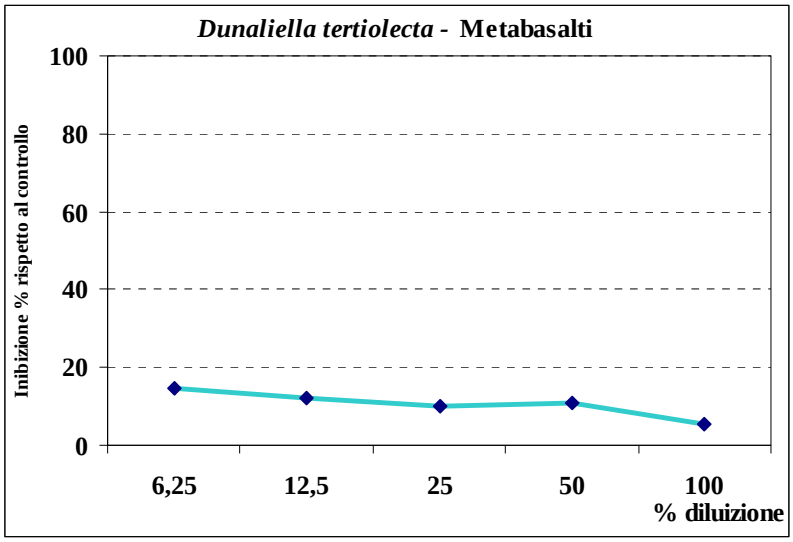


Fig. 3 – Metabasalti: inibizione percentuale rispetto al controllo di *D. tertiolecta* dopo 72 ore di esposizione

Tabella 10 – Calcescisti: Valori di IC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *D. tertiolecta*

IC (%diluizione) (72 ore)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
IC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
IC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

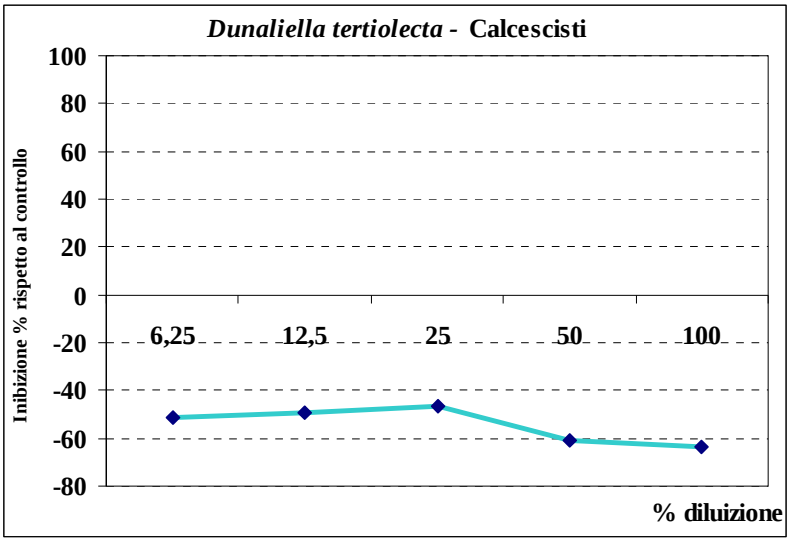


Fig. 4 – Calcescisti: inibizione percentuale rispetto al controllo di *D. tertiolecta* dopo 72 ore di esposizione

Tabella 11 – Serpentiniti: Valori di IC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *D. tertiolecta*

IC (%diluizione) (72 ore)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
IC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
IC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

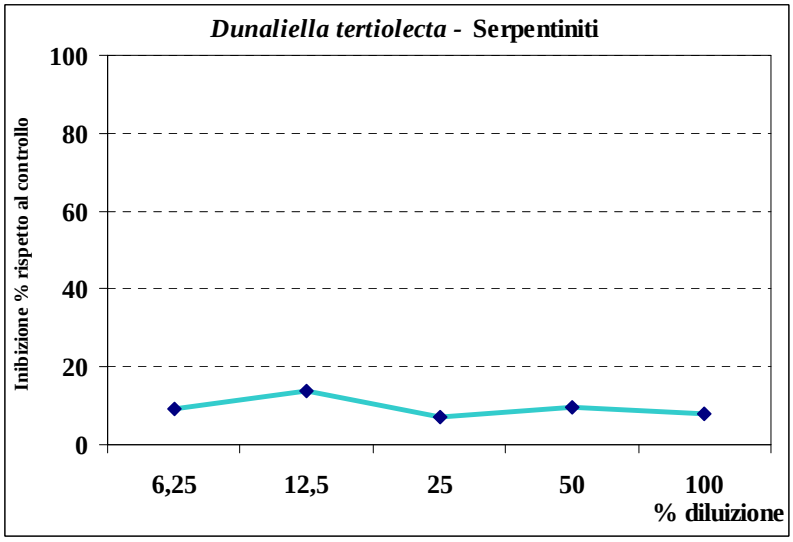


Fig. 5 – Serpentiniti: inibizione percentuale rispetto al controllo di *D. tertiolecta* dopo 72 ore di esposizione

Come si può notare dai dati sopra riportati l'inibizione della crescita algale è risultata sempre inferiore al 20% e pertanto non è stato possibile calcolare gli end point (EC_{20}-EC_{50}); per le calcescisti si è potuto notare inoltre un effetto stimolante la crescita algale.

Dai dati di tossicità acuta, ottenuti con ***Artemia franciscana***, su metabasalti (Tab. 12, Fig. 6), calcescisti (Tab. 13, Fig. 7) e serpentiniti (Tab. 14, Fig. 8) si può notare che sia la LC_{20} che la LC_{50} non sono mai calcolabili. I valori del pH misurati ad inizio e fine test si sono mantenuti all'interno del range di variabilità (6,5-8,5); la percentuale dell'ossigeno disciolto è risultata sempre superiore al 40% della saturazione.

Tabella 12 – Metabasalti: valori di LC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *A. franciscana*

LC (48 ore)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
LC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
LC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

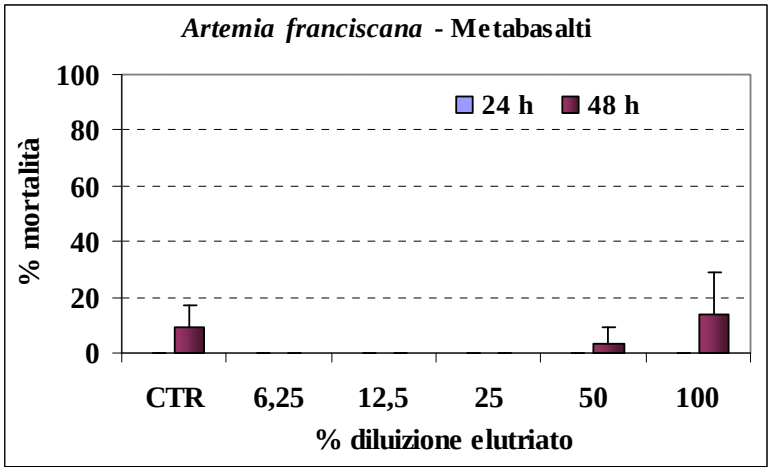


Fig. 6 – Metabasalti: percentuale di mortalità di *A. franciscana* dopo 24-48 ore di esposizione ad elutriato

Tabella 13 – Calcescisti: valori di LC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *A. franciscana*

LC (48 ore)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
LC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
LC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

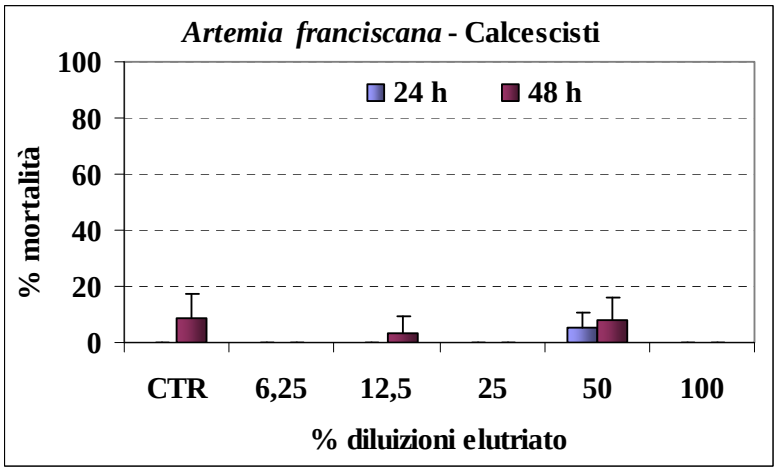


Fig. 7 – Calcescisti: percentuale di mortalità di *A. franciscana* dopo 24-48 ore di esposizione ad elutriato

Tabella 14 – Serpentiniti: valori di LC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *A. franciscana*

LC (48 ore)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
LC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
LC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

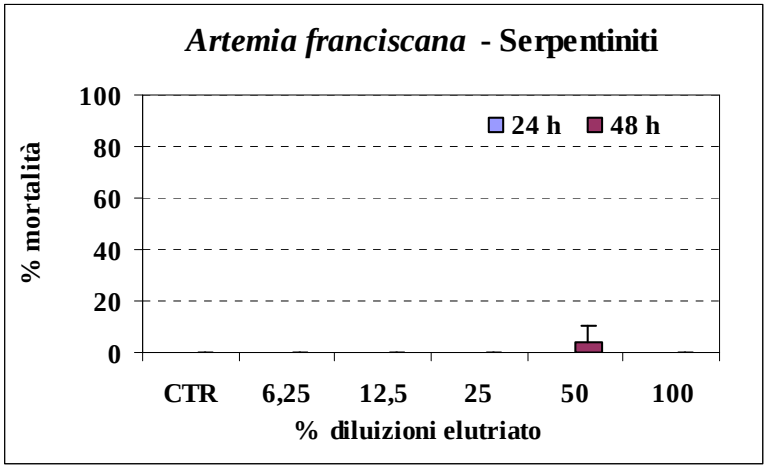


Fig. 8 – Serpentiniti: percentuale di mortalità di *A. franciscana* dopo 24-48 ore di esposizione ad elutriato

Analogamente, per quanto riguarda la valutazione della tossicità a lungo termine con ***Artemia franciscana*** (metabasalti,Tab. 15, Fig. 9; calcescisti, Tab. 16, Fig. 10; serpentiniti Tab. 17, Fig. 11), non è stato possibile calcolare gli end point per tutti i tempi di esposizione.

Tabella 15 – Metabasalti: valori di LC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *A. franciscana*

LC (14 giorni)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
LC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
LC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

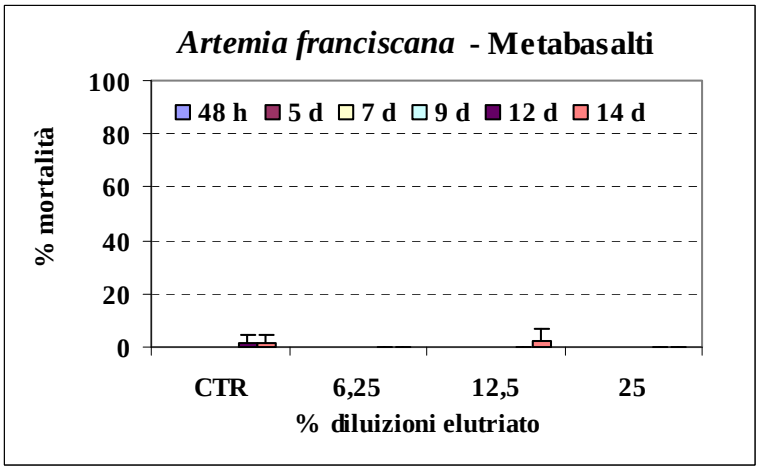


Fig. 9 – Metabasalti: percentuale di mortalità di *A. franciscana* dopo 14 giorni di esposizione ad elutriato

Tabella 16 – Calcescisti: valori di LC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *A. franciscana*

LC (14 giorni)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
LC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
LC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

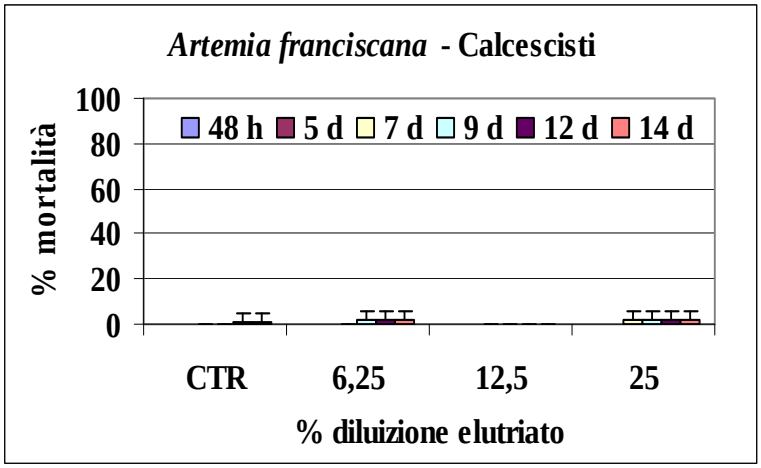


Fig. 10 – Calcescisti: percentuale di mortalità di *A. franciscana* dopo 14 giorni di esposizione ad elutriato

Tabella 17 – Serpentiniti: valori di LC e limiti di confidenza (n.c. = non calcolabile) con *A. franciscana*

LC (14 giorni)		95% Lower Confidence	95% Upper Confidence
LC_{20}	n.c.	n.c.	n.c.
LC_{50}	n.c.	n.c.	n.c.

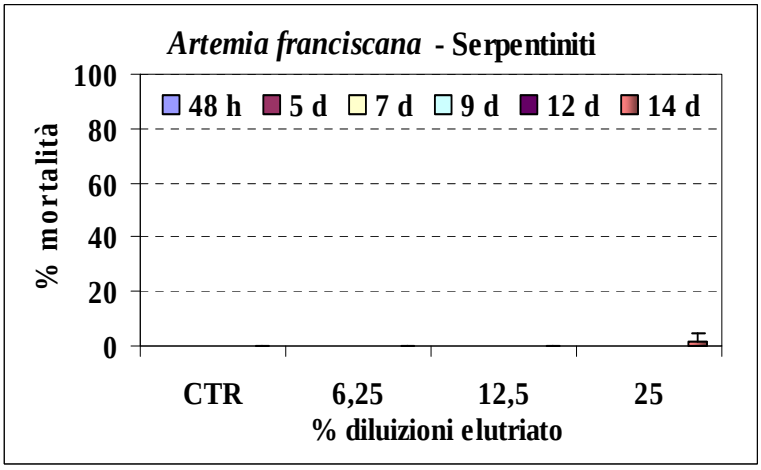


Fig. 11 – Serpentiniti: percentuale di mortalità di *A. franciscana* dopo 14 giorni di esposizione ad elutriato

Di seguito vengono riportate le variazioni di mortalità degli individui (Δm %) rispetto al controllo nei test di tossicità a lungo termine effettuati con ***Tigriopus fulvus*** con metabasalti (Tab.18, Fig. 12), calcescisti (Tab. 19, Fig. 13) e serpentiniti (Tab. 20, Fig. 14). Tali variazioni sono risultate poco rilevanti ed al limite della significatività statistica. I valori di pH non hanno subito variazioni significative durante l'esecuzione dei test; l'ossigeno disciolto alla fine de test è risultato > del 60% della saturazione.

Tabella 18 – Metabasalti: variazione della mortalità di *T. fulvus*

Δ mortalità % (Δm)	
$\Delta m_{96\ ore}$	$\Delta m_{10\ giorni}$
0	12,70

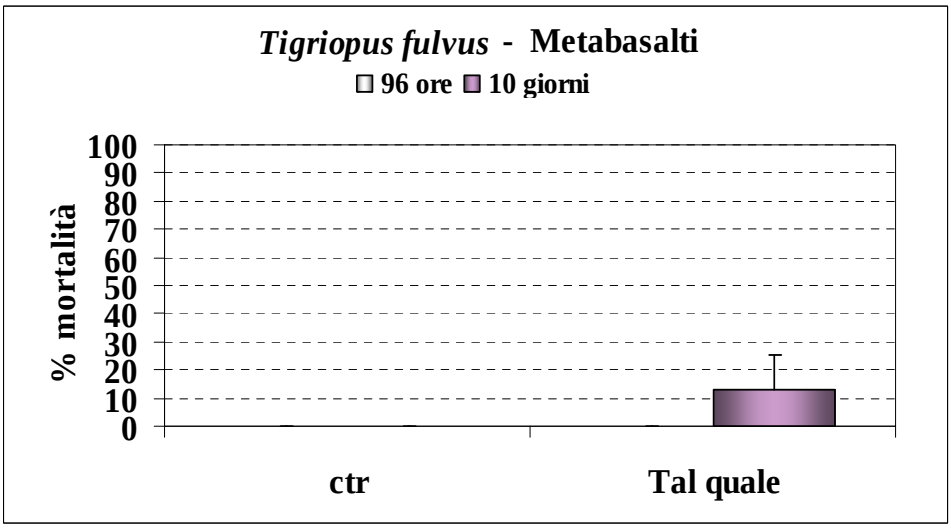


Fig. 12 – Metabasalti: variazione della %percentuale di mortalità di *Tigriopus fulvus* dopo 96 ore -10 giorni di esposizione alla matrice "tal quale"

Tabella 19 – Calcescisti: variazione della mortalità di *T. fulvus*

Δ mortalità % (Δm)	
$\Delta m_{96\ ore}$	$\Delta m_{10\ giorni}$
0	1,59

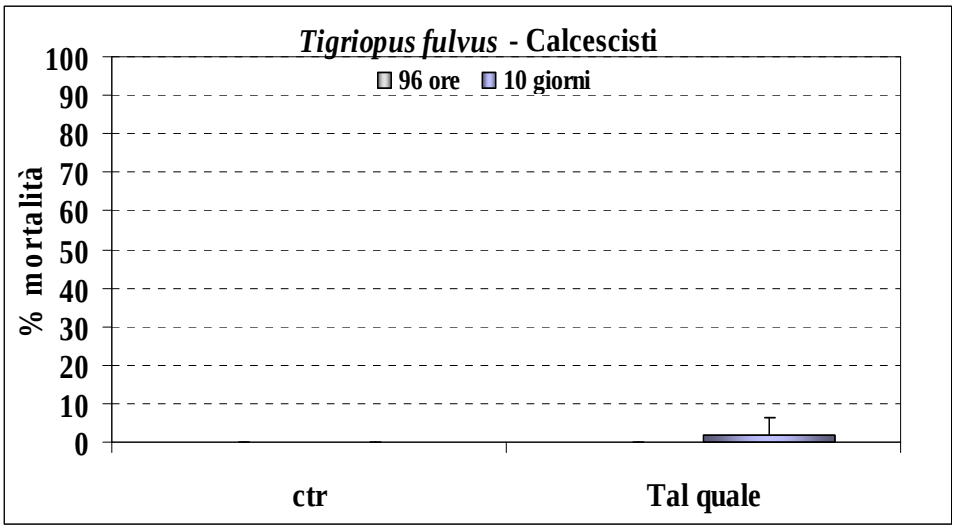


Fig. 13 – Calcescisti: variazione della %percentuale di mortalità di *Tigriopus fulvus* dopo 96 ore -10 giorni di esposizione alla matrice "tal quale"

Tabella 20 – Serpentiniti: variazione della mortalità di *T. fulvus*

Δ mortalità % (Δm)	
$\Delta m_{96\ ore}$	$\Delta m_{10\ giorni}$
0	14,29

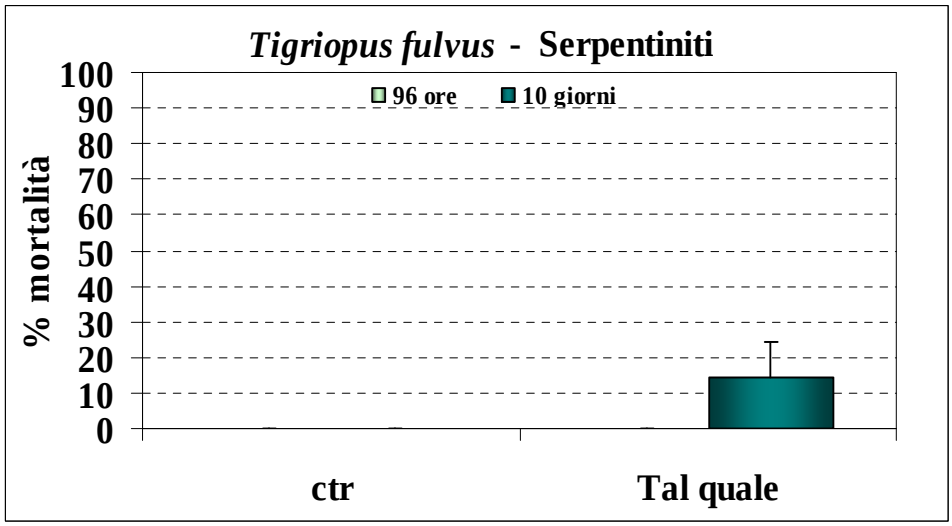


Fig. 14 – Serpentiniti: variazione della %percentuale di mortalità di *Tigriopus fulvus* dopo 96 ore -10 giorni di esposizione alla matrice "tal quale"

Nei test effettuati su ***Mytilus galloprovincialis*** la mortalità è risultata inferiore al 10% in tutti i trattamenti. Di seguito sono riportati i risultati riguardanti il bioaccumulo degli organismi esposti agli elutriati di metabasalti, calcescisti e serpentiniti (Tab. 21; Fig. 15, 16, 17, 18, 19).

Tab 21 - Fattori di bioconcentrazione (BCF) relativi a *Mytilus galloprovincialis*

CAMPIONE	BCF - Cr	BCF - Ni	BCF - Co	BCF - Cu	BCF - As
Controllo	400	500	1400	123,4	64,5
Metabasalti	1833,3	1650	175	101,2	54
Calcescisti	666,6	500	137,5	105,9	55,5
Serpentiniti	333,3	262,5	750	79,8	69,8

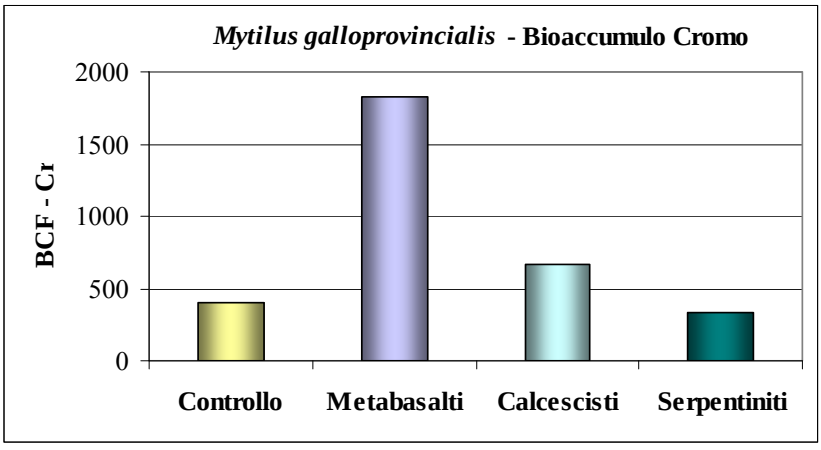


Fig. 15 – BCF - Cromo in *Mytilus galloprovincialis*

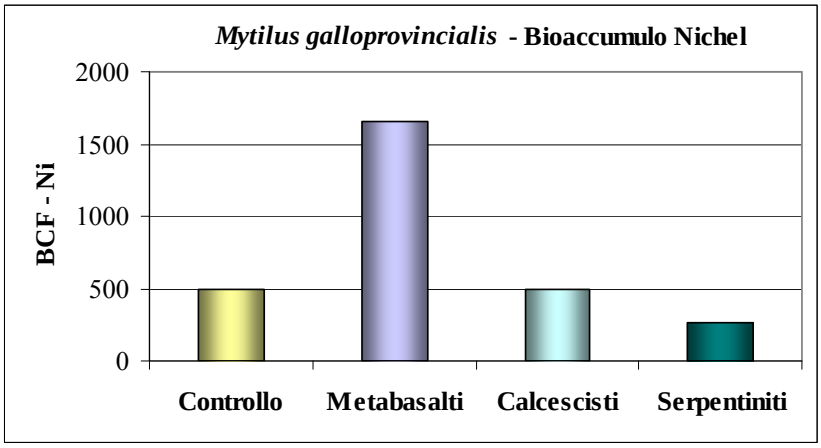


Fig. 16 – BCF - Nichel in *Mytilus galloprovincialis*

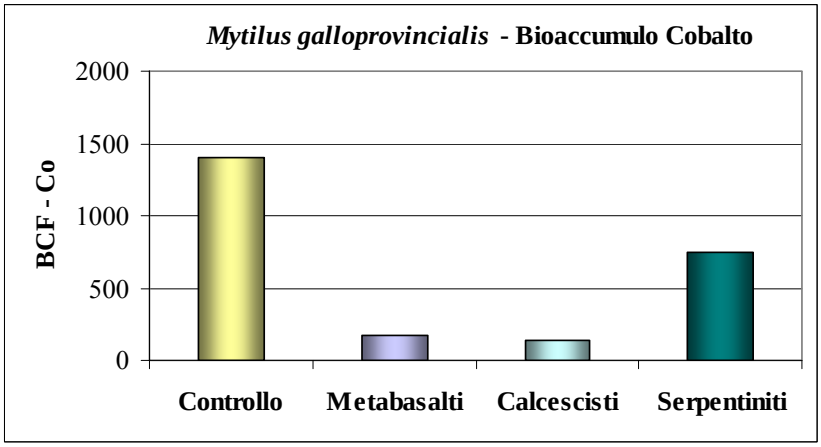


Fig. 17 – BCF - Cobalto in *Mytilus galloprovincialis*

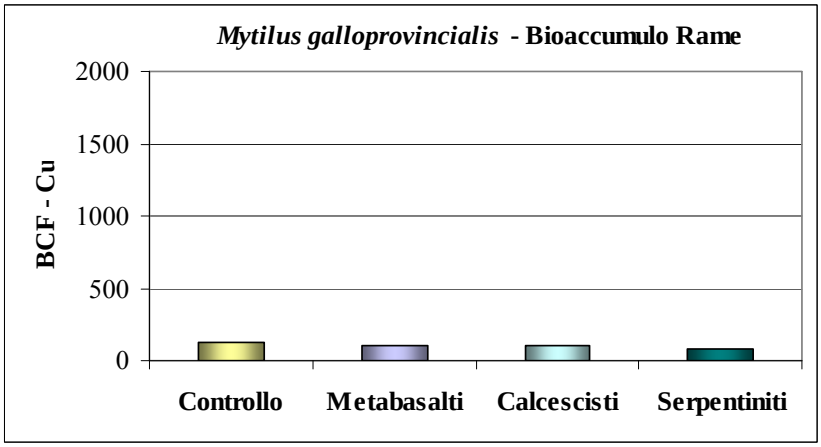


Fig. 18 – BCF- Rame in *Mytilus galloprovincialis*

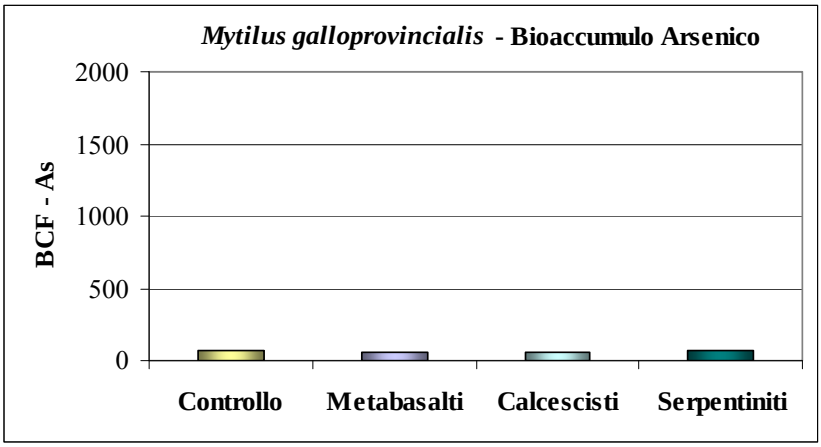


Fig. 19 – BCF - Arsenico in *Mytilus galloprovincialis*

Per quanto riguarda i test effettuati sui ***policheti*** sono di seguito riportati i risultati riguardanti il bioaccumulo degli organismi esposti ai campioni di roccia "tal quale" di metabasalti, calcescisti e serpentiniti (Tab. 22; Fig. 20, 21, 22, 23, 24).

Tab 22 - Fattori di bioconcentrazione (BCF) in policheti

CAMPIONE	BCF - Cr	BCF - Ni	BCF - Co	BCF - Cu	BCF - As
Controllo	100	200	300	12,3	78,9
Metabasalti	66,6	33,3	100	35,9	129
Calcescisti	100	22,2	200	33,9	214,2
Serpentiniti	66,6	33,3	175	63,4	133,3

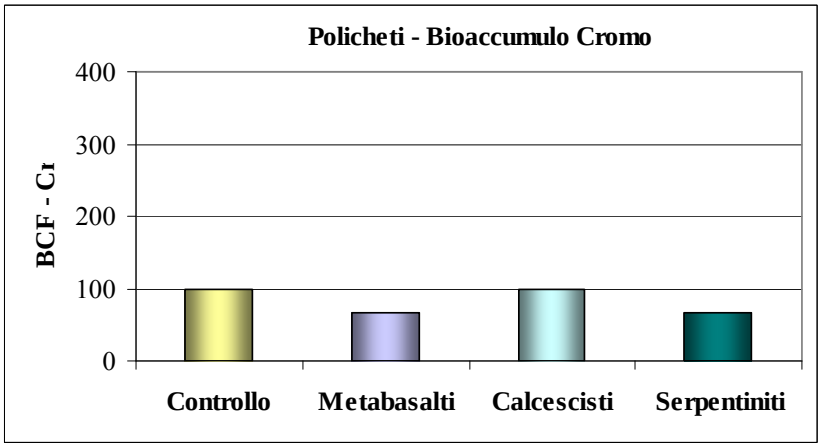


Fig. 20 – BCF - Cromo in policheti, roccia "tal quale"

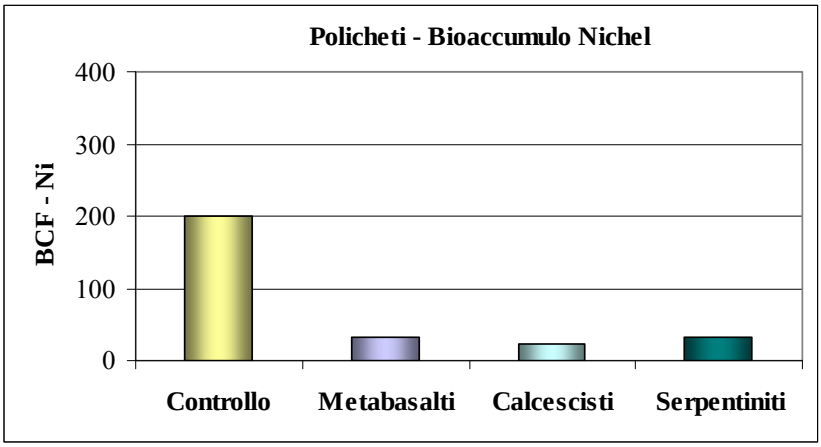


Fig. 21 – BCF - Nichel in policheti, roccia "tal quale"

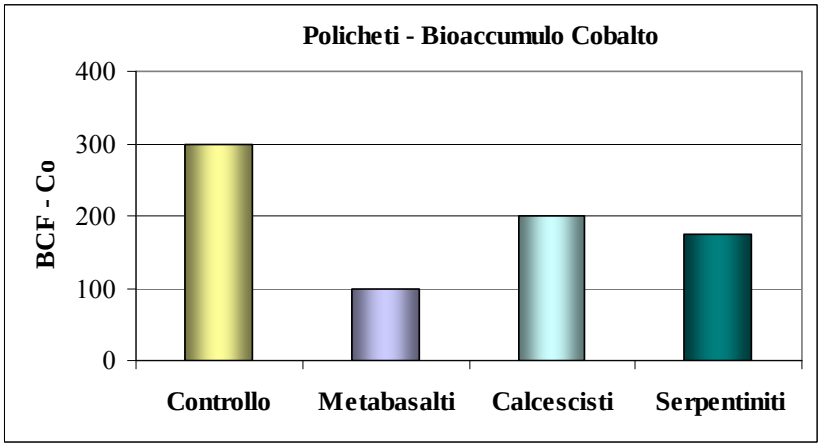


Fig. 22 – BCF - Cobalto in policheti, roccia "tal quale"

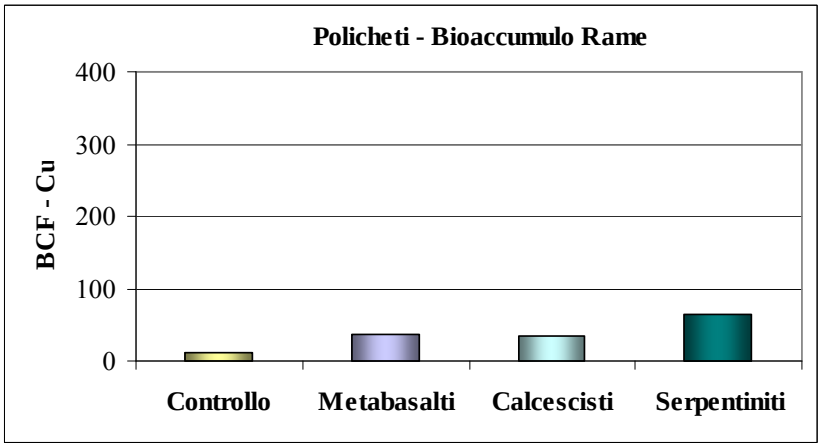


Fig. 23 – BCF - Rame in policheti, roccia "tal quale"

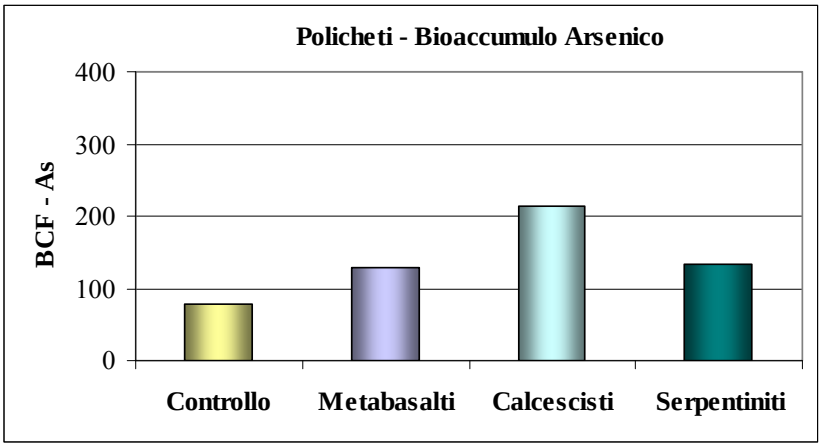


Fig. 24 – BCF - Arsenico in policheti, roccia "tal quale"

Sono di seguito riportati i risultati (Fig. 25, Fig. 26, Fig. 27) riguardanti la valutazione dei biomarker sugli organismi esposti per tre giorni agli elutriati di metabasalti (E1), calcescisti (E2) e serpentiniti (E3) non diluiti (100%).

- **Stabilità delle membrane lisosomiali (LMS) negli emociti**

L'esposizione dei mitili per 3 giorni ai diversi elutriati (E1, E2, E3) non ha determinato, nel complesso, variazioni significative della LMS negli emociti rispetto ai valori di controllo (Fig. 25).

Tali dati indicano che gli elutriati testati, anche in forma non diluita, non inducono danno alle membrane lisosomiali.

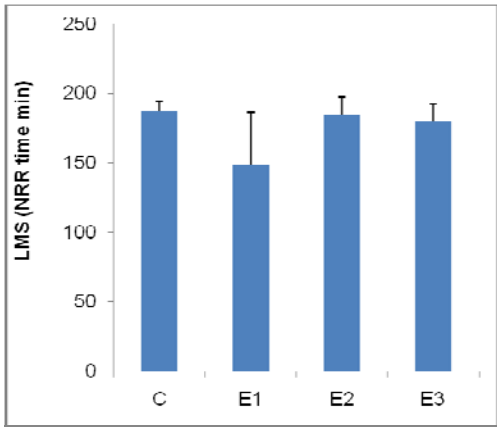


Fig. 25 - Tempo di Ritenzione del NR (min) negli organismi di controllo (C) e in quelli esposti a elutriati nono diluiti (100%) di Metabasalti (E1), Calcescisti (E2) e Serpentiniti (E3)

- **Test di genotossicità acuta negli emociti (COMET assay)**

L'esposizione agli elutriati non diluiti (100%) ha indotto un significativo aumento del danno al DNA negli emociti di mitilo, con percentuali variabili da +50% rispetto ai controlli (E3), a +100% (E2). Non sono state osservate differenze significative tra gli effetti indotti dai diversi elutriati (Fig. 26). Quando l'analisi è stata condotta su cellule di mitili esposti per 3 gg agli elutriati diluiti (25%) il test non ha evidenziato danno al DNA.

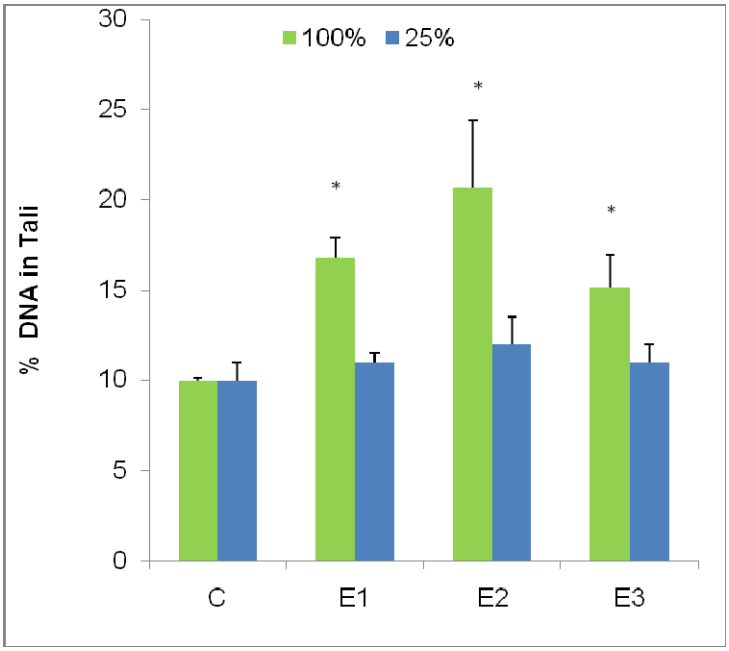


Fig. 26 – Percentuale di DNA presente nella coda nelle cellule provenienti da organismi di controllo (C) e da quelli esposti a elutriati concentrati (100%) o diluiti (25%) di Metabasalti (E1), Calcescisti (E2) e Serpentiniti (E3).

- **Test di genotossicità cronica in cellule isolate dalle branchie (test dei Micronuclei)**

Nelle cellule isolate dalle branchie dei mitili di controllo (non esposti) la frequenza dei MN (circa 1,4/1000 cellule) è risultata confrontabile con i dati presenti in letteratura. L'esposizione dei mitili ai diversi elutriati non diluiti (100%) ha indotto aumenti della frequenza dei MN rispetto ai controlli (Fig. 27). Tale aumento è risultato significativo nelle cellule di mitili esposti agli elutriati E2 e E3 .

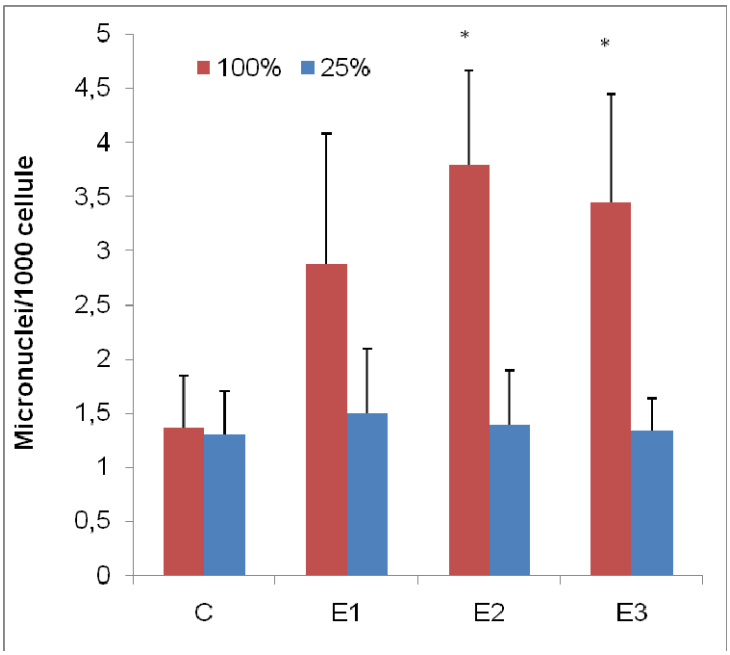


Fig. 27 – Frequenza di micronuclei (MN) ogni 1000 cellule provenienti da organismi di controllo (C) e da quelli esposti a elutriati concentrati (100%) o diluiti (25%) di Metabasalti (E1), Calcescisti (E2) e Serpentiniti (E3)

Tale effetto potrebbe essere in relazione ad eventuale bioaccumulo di agenti genotossici nelle branchie, che notoriamente nel mitilo rappresentano il primo sito di accumulo degli inquinanti presenti in forma solubile nel mezzo.

L'esposizione dei mitili a elutriati diluiti (25%) non ha determinato induzione della formazione di micronuclei nelle cellule delle branchie.

CONCLUSIONI

Dal complesso dei risultati ottenuti nel corso della sperimentazione si può concludere che la tossicità dei campioni di rocce, sottoposte ad analisi ecotossicologica, si può definire non significativa nei confronti degli organismi utilizzati nei saggi; ciò si può affermare anche per quanto riguarda i test effettuati con *T. fulvus* su metabasalti e serpentiniti "tal quale", ove, dopo 10 giorni di esposizione, si può notare una variazione di mortalità intorno al 10% che tuttavia è ritenuta poco rilevante per i crostacei (Bigongiari et al, 2001).

M. galloprovincialis ha mostrato di bioaccumulare, se pur moderatamente, cromo e nichel quando esposto ai metabasalti, e cromo nelle prove di esposizione alle calcescisti; i policheti hanno mostrato di accumulare soprattutto rame ed arsenico quando esposti a metabasalti, calcescisti e serpentiniti.

L'analisi dei biomarker ha evidenziato che per nessun campione è stato osservato un effetto significativo sulla stabilità delle membrane lisosomiali; tutti e tre i campioni mostrano effetti genotossici con gli elutriati non diluiti (100%) mentre con quelli diluiti l'effetto è risultato non significativo.

E' opportuno ricordare che i dati ottenuti dall'analisi di biomarkers a livello cellulare e sub-cellulare rappresentano la misura di risposte biologiche precoci ed estremamente sensibili a sostanze eventualmente presenti nei campioni a concentrazioni che non provocano mortalità degli organismi e quindi sub-letali. In particolare, le risposte "significative" ai test di genotossicità sono state comunque osservate in seguito all'esposizione continua dei mitili a elutriati non diluiti. Tali effetti sono da ricondursi, specialmente per quanto riguarda il danno genotossico nelle branchie, al bioaccumulo di metalli pesanti, quali cromo e nichel, o ad altri elementi eventualmente presenti nell'elutriato la cui concentrazione non è stata valutata nel presente studio.

Dalle analisi effettuate risulta pertanto evidente che, in condizioni ambientali naturali, il possibile impatto biologico del rilascio di elementi potenzialmente tossici da parte di rocce di scavo su invertebrati marini, quali il mitilo, appare irrilevante.

Nelle tabelle 23, 24 e 25 vengono riportate le valutazioni riassuntive sulla tossicità riscontrata a seguito della sperimentazione effettuata.

Tabella 23– Metabasalti: valutazione della tossicità.

TAXA	SPECIE	MATRICE	ESPOSIZIONE	END-POINT	ESPRESSIONE DEL DATO	TOSSICITÀ
ALGHE	*Dunaliella tertiolecta*	Elutriato	72 ore	Inibizione della crescita	IC_{20}, IC_{50}	Non significativa
CROSTACEI	*Artemia franciscana*	Elutriato	48 ore	Mortalità	LC_{20}, LC_{50}	Non significativa
		Elutriato	14 giorni	Mortalità	LC_{20}, LC_{50}	Non significativa
	Tigriopus fulvus	Tal quale	96 ore	Mortalità	Δ mortalità	Scarsamente significativa
MOLLUSCHI BIVALVI	*Mytilus galloprovincialis*	Elutriato	3 giorni	Mortalità	-	Non significativa
		Elutriato	3 giorni	Bioaccumulo	BCF – Cr	Significativa
					BCF – Ni	Significativa
					BCF – Co	Non significativa
					BCF – Cu	Non significativa
					BCF – As	Non significativa
		Elutriato (25%)	3 giorni	Stabilità delle membrane lisosomiali	Tempo di Ritenzione del NR (min)	Non significativa
				Comet Assay	% DNA nella coda	Non singnificativa
				Formazione di Micronuclei (MN)	Frequenza dei MN/1000 cellule	Non significativa
POLICHETI	Perinereis spp.	Tal quale	7 giorni	Bioaccumulo	BCF – Cr	Non significativa
					BCF – Ni	Non significativa
					BCF – Co	Non significativa
					BCF – Cu	Non significativa
					BCF – As	Non significativa

Tabella 24– Calcescisti: valutazione della tossicità

TAXA	SPECIE	MATRICE	ESPOSIZIONE	END-POINT	ESPRESSIONE DEL DATO	TOSSICITÀ
ALGHE	*Dunaliella tertiolecta*	Elutriato	72 ore	Inibizione della crescita	IC_{20}, IC_{50}	Non significativa
CROSTACEI	*Artemia franciscana*	Elutriato	48 ore	Mortalità	LC_{20}, LC_{50}	Non significativa
		Elutriato	14 giorni	Mortalità	LC_{20}, LC_{50}	Non significativa
	Tigriopus fulvus	Tal quale	96 ore	Mortalità	Δ mortalità	Non significativa
MOLLUSCHI BIVALVI	*Mytilus galloprovincialis*	Elutriato	3 giorni	Mortalità	-	Non significativa
		Elutriato	3 giorni	Bioaccumulo	BCF – Cr	Significativa
					BCF – Ni	Non significativa
					BCF – Co	Non significativa
					BCF – Cu	Non significativa
					BCF – As	Non significativa
		Elutriato (25%)	3 giorni	Stabilità delle membrane lisosomiali	Tempo di Ritenzione del NR (min)	Non significativa
				Comet Assay	% DNA nella coda	Non significativa
				Formazione di Micronuclei (MN)	Frequenza dei MN/1000 cellule	Non significativa
POLICHETI	Perinereis spp.	Tal quale	7 giorni	Bioaccumulo	BCF – Cr	Non significativa
					BCF – Ni	Non significativa
					BCF – Co	Non significativa
					BCF – Cu	Significativa
					BCF – As	Significativa

Tabella 25– Serpentiniti: valutazione della tossicità

TAXA	SPECIE	MATRICE	ESPOSIZIONE	END-POINT	ESPRESSIONE DEL DATO	TOSSICITÀ
ALGHE	*Dunaliella tertiolecta*	Elutriato	72 ore	Inibizione della crescita	IC_{20}, IC_{50}	Non significativa
CROSTACEI	*Artemia franciscana*	Elutriato	48 ore	Mortalità	LC_{20}, LC_{50}	Non significativa
		Elutriato	14 giorni	Mortalità	LC_{20}, LC_{50}	Non significativa
	Tigriopus fulvus	Tal quale	96 ore	Mortalità	Δ mortalità	Non significativa
MOLLUSCHI BIVALVI	*Mytilus galloprovincialis*	Elutriato	3 giorni	Mortalità	-	Non significativa
		Elutriato	3 giorni	Bioaccumulo	BCF – Cr	Non significativa
					BCF – Ni	Non significativa
					BCF – Co	Non significativa
					BCF – Cu	Non significativa
					BCF – As	Non significativa
		Elutriato (25%)	3 giorni	Stabilità delle membrane lisosomiali	Tempo di Ritenzione del NR (min)	Non significativa
				Comet Assay	% DNA nella coda	Non significativa
				Formazione di Micronuclei (MN)	Frequenza dei MN/1000 cellule	Non significativa
POLICHETI	Perinereis spp.	Tal quale	7 giorni	Bioaccumulo	BCF – Cr	Non significativa
					BCF – Ni	Non significativa
					BCF – Co	Non significativa
					BCF – Cu	Significativa
					BCF – As	Significativa

BIBLIOGRAFIA

- APAT (2002). Messa a punto dei protocolli per valutare tossicità e bioaccumulabilità. Rapporti 25/2002.

- APAT, IRSA-CNR (2003). Metodo di valutazione della tossicità acuta con *Artemia* sp. 8060. In Metodi analitici per le acque. APAT, Manuali e Linee Guida 29/2003.

- Bigongiari N., Braida T., Pasteris A. (2001). Saggio biologico con l'anfipode *Corophium orientale*: metodiche ed esempi di applicazione ai sedimenti marini. *Biol. Mar. Medit*. 8 (2): 60-71.

- Bolognesi C., Landini E, Roggieri P, Fabbri R, Viarengo A. (1999). Genotoxicity biomarkers in the assessment of heavy metal effects in mussels: experimental studies, *Environ. Mol. Mutagen.* 33**,** 287–292.

- Bolognesi C., Hayashi M. (2011). Micronucleus assay in aquatic animals, *Mutagenesis*, 26, 205-213.

- Camussi A., Moller F., Ottaviano E., Sari Gorla M. (1989). Metodi statistici per la sperimentazione biologica. Zanichelli Ed. Pag. 1-500.

- Dillon T.M., Moore D.W., Gibson A.B. (1993). Development of a chronic sublethal bioassay for evaluating contaminated sediment with the marine polychaete worm *Nereis (Neanthes) arenaceodentata*. *Environmental Toxicology and Chemestry*, vol. 12, pp. 589-605.

- Environment Canada (1992). Biological test method: growth inhibition test using the freshwater alga *Selenastrum capricornutum*, Environmental Protection Conservation and Protection Environment Canada, Report EPS 1/RM/25. Pp. 64.

- Hamilton M. A., Russo R.C., Thurston R.V. (1977). Trimmed Sperman-Karber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. *Environ. Sci. Technol*., 11: 714-719. Correction 1978, 12: 417.

- ISO (1995). Water quality - Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricornutum*. Reference number : ISO 10253: 1995. Pp. 8.

- ISO 14669 (1999). Water quality - Determination of acute lethal toxicity to marine copepods (Copepoda, Crustacea).

- ISO 16712 (2005). Water quality. Determination of acute toxicity of marine or estuarine sediment to amphipods.

- Lowe D.M., Fossato V.U., Depledge M.H. (1995). Contaminant-induced lysosomal membrane damage in blood cells of mussels *Mytilus galloprovincialis* from the Venice Lagoon: an in vitro study. *Mar. Ecol. Prog. Ser*. 129, 89-196.

- Moore M.N., Lowe D., Köhler A. (2004). Biological effects of contaminants: measurement of lysosomal membrane stability. ICES *Techniques in Marine Environmental Sciences*, 36, 31 pp.

- Mugnai C., Sarti F., Macchia S., Pellegrini D. (2005). Valutazione dei processi di accumulo e rilascio di metalli in tracce nel polichete *Hediste diversicolor*. XV Congresso della Società Italiana di Ecologia – Torino 2005.

- Mugnai C., Graziosi S., Simonini R., Oliviero L., Spinelli O., Lera S., Macchia S. (2007). Bioconcentrazione di rame nel polichete *Hediste diversicolor*: confronto tra organismi allevati e selvatici. *Biol. Mar. Mediterr.*, 14 (1): 175-177.

- OECD (2007). Bioaccumulation in Sediment-dwelling Benthic Oligochaetes. Guidelines for the Testing of Chemicals.

- Pane L., Chelossi E., Corrà C., Giacco E., Greco G., Mariottini G.L., Varisco F., Faimali M. (2008). Ecotoxicological evaluation of harbour sediments using organisms from different trophic levels. JSS - J Soils & Sediments. 8 (2): 74-79.

- Passarelli P., Sbalchiero A. (2005). Test di inibizione algale con *Selenastrum capricornutum* o *Pseudokirchneriella subcapitata.* Metodo spettrofotometrico. Istituto di Ricerca sulle Acque-CNR. Notiziario dei metodi analitici, 1-8.

- Regolamento (CE) n. 440/2008. Metodi di prova ai sensi del Regolamento (CE) n° 1907/2006 concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH).

- Savorelli F., Palazzi D., Gorbi G., Invidia M., Sei S., Magaletti E., Manfra L., Gelli F. (2007). Messa a punto di una metodologia di saggio a 14 giorni su *Artemia franciscana* e *A. parthenogenetica*. Biologia Ambientale, 21 (1): 27-36.

- Singh N.P., McCoy M.T., Tice R.R., Schneider E.L. (1998) a simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp. Cell. Res*. 175, 184-191.

- USEPA (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. EPA-823-B-01-002 October 2001. Chapter 5, Pp. 14-15.

ALLEGATO 7

a) Tabella riassuntiva con le analisi di caratterizzazione chimica ambientale PPA 2008
b) Tabella riassuntiva con le analisi di caratterizzazione chimica ambientale PD 2011
c) Tabella riassuntiva con le analisi di caratterizzazione dei sedimenti marini PD 2011
d) Tabella riassuntiva con le analisi di caratterizzazione chimica ambientale PD 2015

Tabella riassuntiva della analisi di caratterizzazione chimica dei terreni - PPA 2008

				SGGA1		SPo1		SGG2		SGG3		SGG5					
			da m	2,0	5,0	0,3	23	50	75	205	220	15	36	130	145		
			a	2,4	5,4			55	80	210	225	20	40	135	150		
	n° parametro da DLgs 152 (T.U.)	DESCRIZIONE	U.d.m.	terreno	terreno	terreno	terreno	Argille di Ortovero	Argilloscisti di Costagiutta	Metabasalti del Monte Figogna	Metabasalti del Monte Figogna	Metabasite	Calcescisto	Serpentinite Voltri	Serpentinite Voltri	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 col. A	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 Col. B
ANALISI CHIMICHE SU CAMPIONI DI TERRENO	1	Antimonio	mg/kg s.s.	<0.5	0,42	0,64	0,46	0,33	0,38	0,59	<0.1	0,24	0,13	0,24	0,25	10	30
	2	Arsenico	mg/kg s.s.	2,2	1,9	2,3	2,2	2,1	2	2,1	9	1	2,7	1,4	3,4	20	50
	3	Berillio	mg/kg s.s.	0,4	0,32	0,13	0,2	0,26	0,18	0,35	0,15	<0.1	0,2	<0.1	<0.1	2	10
	4	Cadmio	mg/kg s.s.	<0.1	<0.1	0,14	0,17	<0.2	<0.1	0,1	0,1	<0.1	0,29	<0.1	<0.1	2	15
	5	Cobalto	mg/kg s.s.	13,9	1<1	10,3	10	14,1	13,9	21	**28,7**	8,7	15,1	**47,5**	**58**	20	250
	6	Cromo totale	mg/kg s.s.	19,6	17,6	134	83,4	61,7	94,2	386	113	**236**	32,2	**547**	**527**	150	800
	7	Cromo VI	mg/kg s.s.	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	**2,8**	2	15
	8	Mercurio	mg/kg s.s.	<0.05	<0.05	0,12	0,13	0,17	0,06	0,11	<0.05	0,1	0,1	0,21	<0.05	1	5
	9	Nichel	mg/kg s.s.	57,9	40,5	**146**	114	102,2	116,7	331	119..5	**123**	39,2	**948**	**1492**	120	500
	10	Piombo	mg/kg s.s.	10,3	6,5	14,5	8,5	11,8	11,7	2	3,3	2,1	6,5	2,4	0,6	100	1000
	11	Rame	mg/kg s.s.	51,5	31,4	23,3	20,2	29,5	69	75,2	97	62,9	43,7	**900**	28,5	120	600
	12	Selenio	mg/kg s.s.	2,1	1,76	1,9	1,41	2,18	2,11	1,26	**3,48**	0,48	0,89	0,3	0,25	3	15
	13	Stagno	mg/kg s.s.	<0.5	<0.5	**2,46**	**2,88**	**15,78**	**10,78**	**13,43**	**10,7**	**1,52**	**1,39**	**1,45**	**1,77**	1	350
	14	Tallio	mg/kg s.s.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	10
	15	Vanadio	mg/kg s.s.	12,9	13,5	11,8	6,6	13,3	14,3	29,5	32	9	15,9	28,4	17,6	90	250
	16	Zinco	mg/kg s.s.	80,3	39,3	75,4	42,5	97,3	91,3	3,9	103,1	7,9	52,7	32,9	17,8	150	1500
	17	Cianuri (liberi)	mg/kg s.s.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	100
	18	Fluoruri	mg/kg s.s.	2,8	3,3	1,4	1,4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	100	2000
	94	Idrocarburi Leggeri C<12	mg/kg s.s.	<0.1	<1											10	250
	95	Idrocarburi pesanti C>12	mg/kg s.s.	**362**	14											50	750

				A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17		
	n° parametro da DLgs 152 (T.U.)	DESCRIZIONE	U.d.m.	Formazione di Monte Antola	Argilliti di Montoggio	Formazione di Ronco	Montanesi	Mignanego	Argilloscisti di Murta	Serpentiniti Figogna	Scisti filladici Cravasco	Serpentiniti Cravasco-Voltaggio	Gallaneto	Dolomia	Calcescisti	Metagabbri Voltri	Metabasalti Voltri	Peridotiti	Brecce	Brecce	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 col. A	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 Col. B
ANALISI CHIMICHE SU CAMPIONI DI TERRENO	1	Antimonio	mg/kg s.s.	0,24	0,28	0,15	0,37	0,59	0,67	<0.1	0,29	<0.1	0,43	0,21	0,25	0,38	0,28	0,71	<0.1	0,82	10	30
	2	Arsenico	mg/kg s.s.	2,3	1,1	2,2	5,1	2,6	5	1,8	1,1	1	0,8	1,1	5,4	<0.5	4,5	2,5	1,4	**32,6**	20	50
	3	Berillio	mg/kg s.s.	0,45	0,5	0,39	0,13	0,13	0,31	<0.1	0,23	<0.1	0,16	<0.1	0,24	0,16	0,41	<0.1	<0.1	<0.1	2	10
	4	Cadmio	mg/kg s.s.	0,18	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,24	0,53	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,15	<0.1	<0.1	<0.1	2	15
	5	Cobalto	mg/kg s.s.	4,3	10,3	9	10,3	6,9	12,2	**61,3**	18,4	**42,8**	8,4	2,7	19,8	1<1	16,4	**58,7**	**37,7**	**48**	20	250
	6	Cromo totale	mg/kg s.s.	20,5	36,5	28,8	40,2	74,5	29,5	**356**	79,9	**328**	55,4	70,2	87	15,3	27,2	**170**	**463**	**346**	150	800
	7	Cromo VI	mg/kg s.s.	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	**2,8**	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	2	15
	8	Mercurio	mg/kg s.s.	0,1	0,15	<0.1	<0.1	0,1	0,1	<0.05	<0.1	0,11	0,1	<0.05	<0.05	0,05	<0.05	0,11	<0.05	<0.05	1	5
	9	Nichel	mg/kg s.s.	29,8	58,2	31,2	68,8	79,5	80,6	**1392**	110	**1352**	64,6	48,8	119	44,3	42,7	**1684**	**1196**	**2786**	120	500
	10	Piombo	mg/kg s.s.	13,2	21,2	80,7	6,1	18,8	21,2	27,6	21,2	0,8	6,4	1,9	11,7	2,1	15,2	5	2	3,1	100	1000
	11	Rame	mg/kg s.s.	14,6	46,4	72,7	44,7	60,6	35,1	**1403**	63,7	10,5	43,9	15,4	59,7	51,4	46,6	18,8	15,4	22,4	120	600
	12	Selenio	mg/kg s.s.	2,34	2	1,96	2,56	**3,74**	**5,62**	0,65	2,08	0,16	1,83	0,23	1,51	1,79	<17	0,4	0,38	0,33	3	15
	13	Stagno	mg/kg s.s.	**2,73**	**2,73**	**3,29**	**2,57**	**3,8**	**1,15**	**1,26**	**3,63**	**1,06**	**2,32**	**1,22**	**5,42**	**2,69**	**6,23**	**7,38**	**12,1**	**2,49**	1	350
	14	Tallio	mg/kg s.s.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	10
	15	Vanadio	mg/kg s.s.	7,3	12,3	10,2	18,1	7,3	10,7	10	18	11	6,6	18,5	17,4	38,9	15,2	3,1	10,1	26,6	90	250
	16	Zinco	mg/kg s.s.	53,4	89,6	53,1	88	110,4	86,2	65,3	130,6	23,2	59,4	5,9	94,9	33,4	114,2	28	25,1	32,4	150	1500
	17	Cianuri (liberi)	mg/kg s.s.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	100
	18	Fluoruri	mg/kg s.s.	1,3	1,5	1,5	1,3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	<1	<1	<1	<1	100	2000
	94	Idrocarburi Leggeri C<12	mg/kg s.s.																		10	250
	95	Idrocarburi pesanti C>12	mg/kg s.s.																		50	750

Tabella riassuntiva delle analisi di caratterizzazione chimica dei terreni - Progetto Definitivo - zona Est Polcevera e Viadotto Genova

				Sondaggio	MB1	MB4	MB7	MB8	MB9	MB11	MS1	MS3		MB23	MB28	MB31	MB20	MB24	MB26	MB29	MB30	MB33		
				Campione	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA2	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1		
				Profondità	0.60-0.80	91.4-91.7	102.35-102.65	198-198.45	227-227.3	194.45-194.75	126-127	246-247	246-247	121.35-131.7	113.0-113.34	75.0-75.3	137,00	87,30	123,00	102,00	116,00	104,00		
				litotipo	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	calcari marnosi	calcari marnosi	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	argilliti	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	arenarie marnose e argilliti	argilliti	arenarie marnose e argilliti	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 col. A	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 Col. B
	n° parametro da DLgs 152 (T.U.)	DESCRIZIONE	Metodo	U.d.m.																			
ANALISI CHIMICHE SU CAMPIONI DI TERRENO	1	Antimonio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	1,44	1,1	< 1.00	1,3	1,8	< 1.00	< 1.00	< 1.00	1,6	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	10	30
	2	Arsenico	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	4,75	11,6	< 2.00	13,8	31	5,2	4,7	2,1	17,1	2,5	4,6	4	< 2.00	3,6	6	5,2	7,3	6	20	50
	3	Berillio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	0,4	0,51	0,54	0,39	0,71	0,45	0,44	0,47	0,7	0,46	0,34	0,26	0,5	0,3	0,43	< 0.200	0,4	0,63	2	10
	4	Cadmio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	0,47	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,67	1,4	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,25	< 0.200	< 0.200	2	15
	5	Cobalto	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	11,8	13,6	27,1	25,7	25,4	10	9	3,3	25,5	5,94	16,3	40,8	7,7	11,6	7,8	9,2	14,8	29,9	20	250
	6	Cromo totale	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	43,3	21,3	48	33,8	25,6	9,6	17,4	11,3	27,8	10	18	40,4	21	30,6	11,5	9,5	22,3	39,6	150	800
	7	Cromo VI	CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986	mg/Kg s.s.	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2	15
	8	Mercurio	EPA 7473 2007	mg/Kg s.s.	0,21	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,24	< 0.200	0,2	1	5
	9	Nichel	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	49,6	29,4	110	65,3	49,3	25,7	27,7	13,1	60,7	17,3	49,5	75,8	29,7	60	25,6	24,1	58,5	100	120	500
	10	Piombo	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	31,7	21,2	12,5	14	29,5	9,6	9,2	6	42,3	8,7	16,2	9,1	14,8	17,4	10,2	11,9	16,4	16,7	100	1000
	11	Rame	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	31,6	14,9	31,5	58,7	28,3	22,1	29,9	12,5	56,1	22	36,2	42,4	44,8	36,1	14,7	25,8	40,7	112	120	600
	12	Selenio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	< 0.50	1,8	1,4	1,7	1,4	1,1	0,8	1,2	2,9	1,09	0,96	1,32	0,83	0,81	0,71	1,2	1,1	2	3	15
	13	Stagno	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	2,34	1,2	0,59	0,41	0,22	< 0.200	0,55	< 0.200	0,95	< 0.200	< 0.200	0,33	0,55	0,38	0,37	0,32	0,38	0,39	1	350
	14	Tallio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,29	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,42	0,25	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	1	10
	15	Vanadio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	15,7	16,3	25,7	26	15,2	7	14,6	13,3	22,7	5,2	9,2	20,9	13,2	16,5	9	6	11	23,2	90	250
	16	Zinco	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	60,5	72,9	126	117	99,4	49,1	57,6	53,9	160	36	53,9	110,8	52,6	82,6	34	64,8	58,5	143	150	1500
	17	Cianuri (liberi)	EPA 9013A 2004 + EPA 9014 1996	mg/Kg s.s.	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1	100
	18	Fluoruri	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999	mg/Kg s.s.	< 1	1,3	< 1	1,2	1,4	< 1	1	1,2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	100	2000
	19-24	COMPOSTI ORGANICI AROMATICI		-																				
		Benzene	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0,050																		0,1	2
		Etilbenzene (A)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0,050																		0,5	50
		Stirene (B)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0,05																		0,5	50
		Toluene (C)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0,050																		0,5	50
		Xilene (D)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0,01																		0,5	50
		Sommatoria organici aromatici (A,B,C,D)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0.1																		1	100
	94	Idrocarburi Leggeri C<12																					10	250
	95	Idrocarburi pesanti C>12																					50	750

				Sondaggio	RE2	RE15	RE16	RE23	RE4	RE9	RE11	RE18	RE19	PO3					
				Campione	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA2	CA3	CA4		
				Profondità	0-1	0-1	0-1	0-1	0-0.9	0-1	0-0.5	0-1	0-0.9	0-1	2-3	4-5	7-8		
				litotipo	arenarie marnose e argilliti	argilliti	argilliti	argilliti	arenarie marnose e argilliti	calcari marnosi	calcari marnosi	argilliti	argilliti	depositi alluvionali	depositi alluvionali	depositi alluvionali	depositi alluvionali	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 col. A	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 Col. B
	n° parametro da DLgs 152 (T.U.)	DESCRIZIONE	Metodo	U.d.m.															
ANALISI CHIMICHE SU CAMPIONI DI TERRENO	1	Antimonio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	< 1.00	1,75	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	1,77	6,4	3,81	5,3	10	30
	2	Arsenico	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	3,06	8,1	3,67	2,29	2,28	5,6	7,6	3,18	2,86	4,42	49	2,55	< 2.00	20	50
	3	Berillio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	0,31	0,21	< 0.200	0,23	0,23	0,77	0,91	0,25	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,22	0,27	2	10
	4	Cadmio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	< 0.200	0,22	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,37	0,36	< 0.200	0,25	0,58	0,73	0,46	0,66	2	15
	5	Cobalto	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	7,98	7,76	9,86	13,6	14,9	11,9	12,5	16,7	6,14	5,03	12,1	13,4	20,5	20	250
	6	Cromo totale	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	22,6	37,1	28,1	53,8	36,4	39,7	36,5	24,4	60,8	32,6	34,6	135	177	150	800
	7	Cromo VI	CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986	mg/Kg s.s.	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2	15
	8	Mercurio	EPA 7473 2007	mg/Kg s.s.	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,22	0,7	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	1	5
	9	Nichel	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	27,4	39,1	39,9	95,5	32,8	32	33,5	41,8	40,6	26,3	32,4	126,2	175	120	500
	10	Piombo	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	8,9	123	8,2	16,1	5,9	34,5	19,8	12,2	45,9	52,5	96,3	16,6	11,9	100	1000
	11	Rame	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	23,1	45,6	36,5	34,3	29,2	31,2	32,3	75,8	25,5	26,4	100,9	21,6	26,2	120	600
	12	Selenio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	< 0.50	0,56	0,54	< 0.50	1,17	1,64	2,77	1,14	0,65	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	3	15
	13	Stagno	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	0,43	4,82	< 0.200	1,2	< 0.200	1,01	1,29	0,24	2,06	5,77	30,4	1,42	1,1	1	350
	14	Tallio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	0,21	0,2	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	< 0.200	1	10
	15	Vanadio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	13,7	12,4	10,7	15,8	44,4	30,7	36,5	14,4	14,3	14,9	33,3	28,2	47,9	90	250
	16	Zinco	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	44,3	142	55,6	59,1	54,2	149	79,4	94,3	108	80,3	230	43,2	59,3	150	1500
	17	Cianuri (liberi)	EPA 9013A 2004 + EPA 9014 1996	mg/Kg s.s.	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1	100
	18	Fluoruri	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999	mg/Kg s.s.	1	1	< 1	1,2	< 1	< 1	1,2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	100	2000
	19-24	COMPOSTI ORGANICI AROMATICI		-															
		Benzene	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	0,1	2
		Etilbenzene (A)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	0,5	50
		Stirene (B)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0,5	50
		Toluene (C)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	0,5	50
		Xilene (D)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0.01	< 0.01	0,2	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0,5	50
		Sommatoria organici aromatici (A,B,C,D)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.	< 0.1	< 0.1	0,2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1	100
	94	Idrocarburi Leggeri C<12			< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	10	250
	95	Idrocarburi pesanti C>12			57	59	510	37	84	62	75	114	131	210	240	< 10.0	12,7	50	750

Tabella riassuntiva delle analisi di caratterizzazione chimica dei terreni - Progetto definitivo - zona Ovest Polcevera

					Sondaggio	VB7	VB1	VB8	VV16	RO1	VB11	VB12	VB14	VV5		
					Campione	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1		
					Profondità	258.0-258.3	13.0-13.3	190.0-190.3	25.0-25.2	30.0-30.2	185	224	52.2-52.5	152-152.3		
					litotipo	metabasiti metagabbri	argilloscisti filladici	argilloscisti e scisti carbonatici	alternanza serpentiniti - scisti actinolitici	alternanza serpentiniti - calcescisti - scisti actinolitici	alternanza serpentiniti - scisti actinolitici	calcescisti	serpentiniti con relitti peridotitici	serpentiniti	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 col. A	DLgs 152 (T.U.) All 5 Tab 1 Col. B
	n° parametro DLgs 152 (T.U.)	DESCRIZIONE	Metodo	U.d.m.												
ANALISI CHIMICHE SU CAMPIONI DI TERRENO	1	Antimonio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	15	5	3	3	2	17	5	14	10	**10**	**30**
	2	Arsenico	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	2	5	2	47	1	< 1	23	< 1	< 1	**20**	**50**
	3	Berillio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	0,27	0,57	0,15	0,07	0,12	< 0,05	0,31	< 0,05	< 0,05	**2**	**10**
	4	Cadmio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,25	< 0,05	< 0,05	0,13	< 0,05	< 0,05	**2**	**15**
	5	Cobalto	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	6,4	19,9	7,2	9,6	5,2	57,8	25,2	24,4	29,3	**20**	**250**
	6	Cromo totale	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	11,8	23,8	14,3	135	7,1	1069	14,7	381	408	**150**	**800**
	7	Cromo VI	CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986	mg/Kg s.s.	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	**2**	**15**
	8	Mercurio	EPA 7473 2007	mg/Kg s.s.	0,036	0,0412	0,0243	0,008	0,018	0,0005	0,0214	0,0211	0,0262	**1**	**5**
	9	Nichel	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	28,3	51	38	93,3	14,2	980	24,4	446	619	**120**	**500**
	10	Piombo	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	7	19	3	< 1	3	< 1	12	< 1	< 1	**100**	**1000**
	11	Rame	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	30,2	71,1	51,1	1,3	25,3	26,1	20	16,4	5,9	**120**	**600**
	12	Selenio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1	**3**	**15**
	13	Stagno	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	2,7	1	0,3	0,1	0,7	0,1	0,4	1	0,3	**1**	**350**
	14	Tallio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	1,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,4	0,8	< 0,1	0,1	**1**	**10**
	15	Vanadio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	8,5	15,8	8,8	9,2	6,2	19,7	19,3	15,2	16,1	**90**	**250**
	16	Zinco	EPA 3051A 2007 + EPA 6010C 2007	mg/Kg s.s.	64,9	102	54,7	9,9	26,1	39,2	53,8	15,5	20,1	**150**	**1500**
	17	Cianuri (liberi)	EPA 9013A 2004 + EPA 9014 1996	mg/Kg s.s.	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	**1**	**100**
	18	Fluoruri	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248	mg/Kg s.s.	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	**100**	**2000**
	19-24	COMPOSTI ORGANICI AROMATICI		-											
		Benzene	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.						< 0,005	< 0,005			**0,1**	**2**
		Etilbenzene (A)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.						< 0,005	< 0,005			**0,5**	**50**
		Stirene (B)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.						< 0,005	< 0,005			**0,5**	**50**
		Toluene (C)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.						< 0,005	< 0,005			**0,5**	**50**
		Xilene (D)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.						< 0,005	< 0,005			**0,5**	**50**
		Sommatoria organici aromatici (A,B,C,D)	EPA 5021A 2003 + EPA 8260C 2006	mg/Kg s.s.						< 0,005	< 0,005			**1**	**100**

Tabella riassuntiva delle analisi di caratterizzazione chimica dei sedimenti marini del canale di calma - Progetto Definitivo 2011

	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	Co	As	V
SJ1-CA1	124,39	290,47	26,97	30,67	139,33	17,26	3,56	59,03
SJ1-CA2	210,07	338,94	18,97	27,49	135,35	20,61	12,48	85,56
SJ1-CA3	117,61	199,51	17,17	5,91	131,69	14,11	12,09	68,3
SJ1-CA4	144,16	213,12	18,09	6,11	87,88	15,75	10,04	65,96
SJ2-CA1	20,9	30,57	20,43	20,37	65,33	4,27	2,66	17,38
SJ2-CA2	20,66	33,67	24,12	7,39	77,09	4,06	5,77	4,93
SJ2-CA3	107,02	219,88	23,63	9,72	132,22	17,01	10,85	57,6
SJ2-CA4	126,88	176,81	17,23	4,91	122,11	15,15	15,73	64,67
SJ3-CA1	33,84	54,75	44,59	138,98	140,09	6,95	6,12	42,16
SJ3-CA2	57,48	166,63	15,95	8,77	117,95	13,65	10,15	43,04
SJ3-CA3	80,22	186,53	16,19	7,74	123,39	13,08	4,62	52,92
SJ3-CA4	161,79	249,71	16,46	9,91	110,95	16,07	11,06	71,58
SJ5-CA1	10,35	56,93	16,02	17,59	73,11	10,83	6,57	22,6
SJ5-CA2	52,64	67,46	16,96	19,08	57,09	6,52	5,22	32,22
SJ5-CA3	48,45	130,13	16,23	6,54	50,31	12,01	8,95	38,95
SJ5-CA4	119,43	179,68	16,71	5,82	108,17	14,94	14,67	65,69
SJ6-CA1	103,97	146,58	74,23	99,57	95,96	13,79	14	81,75
SJ6-CA2	63,53	127,37	17,8	7,81	66,1	12,3	11,61	51,21
SJ6-CA3	122,87	165,06	24,34	29,24	112,05	14,59	11,48	67,94
SJ6-CA4	143,56	180,66	15,42	10,58	119,31	13,88	12,08	71,41
SJ8-CA1	173,06	122,01	72,6	141,58	145,3	10,87	8,54	98,55
SJ8-CA2	42,65	108,57	23,68	9,57	92,3	12,29	5,22	47,58
SJ8-CA3	49,32	113,08	21,28	8,88	87,42	12,74	9,66	52,99
SJ8-CA4	76,34	135,65	23,91	9,35	79,08	13,02	7,96	53,22
SJ9-CA1	20,31	69,49	66,24	91,37	74,56	12,69	5,71	40,17
SJ9-CA2	82,72	112,55	94,37	122,57	131,1	14,41	7,23	133,1
SJ9-CA3	69,63	169,92	38,96	35,72	125,27	19,07	9,52	56,76
SJ9-CA4	57,36	144,66	44,61	14,84	89,69	18,07	8,72	44,09

Tabella di sintesi delle analisi di caratterizzazione chimica delle terre e rocce da scavo eseguita - PD 2016

RAPPORTO DI PROVA	D.Lgs. N° 152/2006 Siti ad uso verde e residenziale	D.Lgs. N° 152/2006 Siti ad uso commerciale, industriale	16LA01591	16LA01592	16LA01593	16LA01594	16LA01595	16LA01596	16LA01597	16LA01598	16LA01599	16LA01766	16LA01767	16LA01768	16LA03931	16LA03933	16LA03934	16LA03935
DESCRIZIONE			IG9 - B1	IG9 - B2	IG9 - B3	IG11 - B1	IG11 - B2	IG11 - B3	IG12 - B1	IG12 - B2	IG12 - B3	F9 - B1	F9 - B2	F9 - B3	F3 - CA1	F3 - CA2	F3 - CA3	F4 - CA1
Profondità (m da p.c.)			3.00 - 3.50 m	10.10 - 10.40 m	15.10 - 15.40 m	0.50 - 1.00 m	2.50 - 3.00 m	3.50 - 4.00 m	2.50 - 2.80 m	6.50 - 7.00 m	11.70 - 12.00 m	1.00 - 1.50 m	3.50 - 4.00 m	6.50 - 7.00 m	1.00 - 2.00 m	20.00 - 21.00 m	34.00 - 35.00 m	1.00 - 2.00 m
Litologia dominante			Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Serpentiniti	Serpentiniti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti
Opera			imbocco Voltri - Ge	imbocco Voltri - Ge	imbocco Voltri - Ge	Ciocia-AL	Ciocia-AL	Ciocia-AL	Delle Grazie S	Delle Grazie S	Delle Grazie S	imbocco Voltri GE	imbocco Voltri GE	imbocco Voltri GE	VS01	VS01	VS01	VS01
Parametro (rif tabella 4.1 del D.M. 161/2012)	Colonna A All 5 Tab 1	Colonna B All 5 Tab 1																
Arsenico (mg/kg)	20	50	8,6	4,9	9,8	2	5	5,7	19,9	16	11,2	18,8	8,6	17,6	0,9	0,5	5,3	10,3
Cadmio (mg/kg)	2	15	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	< 0.1	< 0.1	0,1	< 0.1
Cobalto (mg/kg)	20	250	19,2	18,6	19,4	11	16,3	18,9	18,1	18,1	18,2	19,5	16,7	13,6	37,1	42,5	39,8	19,6
Cromo (mg/kg)	150	800	49,2	20,6	38,3	13,1	21,2	41,4	33,7	33	41,3	58,2	64,5	33,3	788,7	1207	656,6	37,5
Cromo VI (mg/kg)	2	15	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Mercurio (mg/kg)	1	5	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Nichel (mg/kg)	120	500	81,2	48,5	83,8	20,1	36,5	43	41,3	34,6	39,1	37,3	56,6	47,6	702,9	893,8	698,6	83,5
Piombo (mg/kg)	100	1000	39,7	22	41,2	10,7	8,7	34,1	20,4	7,9	12,3	48,8	10	32,8	3,9	0,4	5,4	13,2
Rame (mg/kg)	120	600	73	44,7	64,8	33,4	49,4	63,4	57,1	28,4	25,1	70,2	22	43	12,8	158,4	8,4	62
Vanadio (mg/kg)			45,8	21,7	39,6	12,4	16,5	38,2	35,3	38,8	44,4	88,2	65,9	42,5	41,8	49,7	28	20,8
Zinco (mg/kg)	150	1500	98,6	63,3	84,6	31,8	48,8	80,2	42,9	48,3	45	35,9	74	114	35,1	39,5	22,9	81,4
Idrocarburi: C>12 (mg/kg)	50	750	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	35	< 5.0	< 5.0	< 5.0	38
Benzene (mg/kg)	0,1	2	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Toluene (mg/kg)	0,5	50	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Etilbenzene (mg/kg)	0,5	50	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Xileni (mg/kg)	0,5	50	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Stirene (mg/kg)	0,5	50	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Sommatoria Aromatici (secondo D. Lgs.152/06) (mg/kg)	1	100	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Pirene (mg/kg)	0,5	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Benzo(a)antracene (mg/kg)	0,1	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Crisene (mg/kg)	0,5	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Benzo(b)fluorantene (mg/kg)	0,5	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Benzo(k)fluorantene (mg/kg)	0,1	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Benzo(a)pirene (mg/kg)	5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
indeno(1,2,3-c,d)pirene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,h)antracene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Benzo(g,h,i)perilene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,e)pirene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,h)pirene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,i)pirene (mg/kg)	0,1	5	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,l)pirene (mg/kg)	5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Sommatoria IPA (D.Lgs. 152/06 All.5 Tab.1) (mg/kg)	10	100	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00
Amianto (ricerca quantitativa) (mg/kg)	1000	1000	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*
Frazione granulometrica < 2 mm (%p/p)			*71,7*	*89,3*	*95,5*	*81,3*	*82,8*	*75,3*	*89,2*	*86,4*	*82,1*	*69,6*	*75,5*	*62,7*	*89,1*	*83*	*73,6*	*57,8*
Frazione granulometrica > 2 mm e < 2 cm (%p/p)			*28,3*	*10,7*	*4,5*	*18,7*	*17,2*	*24,7*	*10,8*	*13,6*	*17,9*	*30,4*	*24,5*	*37,3*	*10,9*	*17*	*26,4*	*42,2*

RAPPORTO DI PROVA	D.Lgs. N° 152/2006	D.Lgs. N° 152/2006	16LA03936	16LA03937	16LA03938	16LA03939	16LA03945	16LA03946	16LA03947	16LA06276	16LA06277	16LA06278	16LA06279	16LA06280	16LA06281	16LA06282	16LA06283	16LA06284
DESCRIZIONE			F4 - CA2	F6 - CA1	F6 - CA2	F6 - CA3	IG6 - CA1	IG6 - CA2	IG6 - CA3	F10 - n° 1	F10 - n° 2	F10 - n° 3	F11 - n° 1	F11 - n° 2	F11 - n° 3	F12 - n° 1	F12 - n° 2	F12 - n° 3
Profondità (m da p.c.)			34.00 - 35.00 m	2.00 - 3.00 m	15.00 - 16.00 m	34.00 - 35.00 m	0.00 - 1.00 m	17.60 - 17.80 m	34.60 - 34.80 m	0.50 - 1.00 m	4.00 - 4.40 m	6.70 - 7.00 m	0.50 - 1.00 m	3.50 - 4.00 m	7.10 - 8.00 m	1.30 - 1.75 m	2.30 - 2.70 m	4.80 - 5.10 m
Litologia dominante			Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti	Calcescisti	Calcescisti	Calcescisti	Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti	Serpentiniti
Opera			VS01	VS02	VS02	VS02	imbocco Bric del Carmo - N	imbocco Bric del Carmo - N	imbocco Bric del Carmo - N	imbocco Delle Grazie S	imbocco Delle Grazie S	imbocco Delle Grazie S	imbocco Delle Grazie S	imbocco Delle Grazie S	imbocco Delle Grazie S	imbocco Delle Grazie S	imbocco Delle Grazie S	imbocco Delle Grazie S
Parametro (rif tabella 4.1 del D.M. 161/2012)	Colonna A All 5 Tab 1	Colonna B All 5 Tab 1																
Arsenico (mg/kg)	20	50	2,8	2,6	17,2	14,9	6,3	18,1	0,5	5	4,5	5,2	7,4	10,8	11,6	7,9	5,7	17,7
Cadmio (mg/kg)	2	15	< 0.1	0,2	0,2	< 0.1	0,1	< 0.1	0,1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Cobalto (mg/kg)	20	250	7,1	59,5	27	36,9	14,2	17,3	6,4	11,6	14,4	16,9	13,8	15	14,4	12,8	14,7	18,6
Cromo (mg/kg)	150	800	15,4	766,7	464,7	689,4	38,7	141,4	12,9	17,5	50,3	11,1	21,1	34	36,3	23,8	125,7	143,5
Cromo VI (mg/kg)	2	15	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Mercurio (mg/kg)	1	5	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0,6	0,5	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Nichel (mg/kg)	120	500	26,6	1024	353,4	600,3	43,5	111,6	17,9	26	66,3	24,4	30,9	45,8	41,1	30,1	82,6	117,6
Piombo (mg/kg)	100	1000	4,4	2,3	0,4	0,5	20,2	4,9	13	11,8	7,6	3,5	10,1	21,7	27,1	10,5	8,8	11,3
Rame (mg/kg)	120	600	24,1	8,6	27,4	0,4	32,1	8,6	28,2	27,6	24,4	30,2	26,7	42,5	40,7	33,1	26,4	58,6
Vanadio (mg/kg)			8,9	26	45,7	83	32,5	40,5	13,1	19,2	33,6	21,6	27,9	47,1	51,6	24,4	22,8	49
Zinco (mg/kg)	150	1500	44,9	18	36,8	142,6	82,8	64,8	48,6	40	36,3	25,4	31,3	9,2	16,5	32,5	41,3	39
Idrocarburi: C>12 (mg/kg)	50	750	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000
Benzene (mg/kg)	0,1	2	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Toluene (mg/kg)	0,5	50	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Etilbenzene (mg/kg)	0,5	50	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Xileni (mg/kg)	0,5	50	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Stirene (mg/kg)	0,5	50	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Sommatoria Aromatici (secondo D. Lgs.152/06) (mg/kg)	1	100	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Pirene (mg/kg)	0,5	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Benzo(a)antracene (mg/kg)	0,1	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Crisene (mg/kg)	0,5	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Benzo(b)fluorantene (mg/kg)	0,5	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Benzo(k)fluorantene (mg/kg)	0,1	10	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Benzo(a)pirene (mg/kg)	5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
indeno(1,2,3-c,d)pirene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,h)antracene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Benzo(g,h,i)perilene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,e)pirene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,h)pirene (mg/kg)	0,1	10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,i)pirene (mg/kg)	0,1	5	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibenzo(a,l)pirene (mg/kg)	5	50	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Sommatoria IPA (D.Lgs. 152/06 All.5 Tab.1) (mg/kg)	10	100	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Amianto (ricerca quantitativa) (mg/kg)	1000	1000	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*	*< 1000*
Frazione granulometrica < 2 mm (%p/p)			*78,5*	*83,5*	*65,7*	*85,2*	*80,6*	*92,9*	*68,0*	*88,6*	*86,7*	*80,6*	*62,7*	*82,1*	*89,2*	*86,4*	*88,6*	*81,3*
Frazione granulometrica > 2 mm e < 2 cm (%p/p)			*21,5*	*16,5*	*34,3*	*14,8*	*19,4*	*7,08*	*32,0*	*11,4*	*13,3*	*19,4*	*37,3*	*17,9*	*10,8*	*13,6*	*11,4*	*18,7*