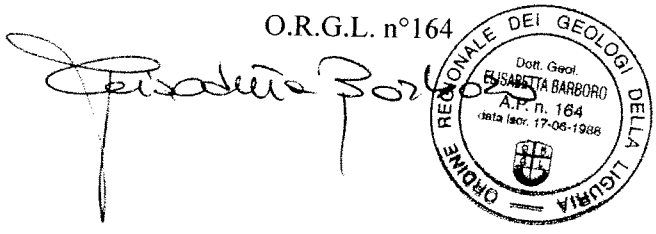
Studio di Geologia
Dott.ssa ELISABETTA BARBORO
Geologo Consulente ambientale
Viale F.Gambaro 19/3 –16146 Genova
Tel. 010/310.370 cell.0335/6450816
e.mail ebarboro@libero.it

PROVINCIA DI SAVONA
COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE

PROGETTO DI BONIFICA DELLA COKERIA
S. GIUSEPPE DI CAIRO (SV)

RELAZIONE GEOLOGICA

Dott.ssa Elisabetta Barboro
O.R.G.L. n°164



rif. 67/2005

Genova, 10.11.2005

C.F. BRB LBT 63R45 H581O PIVA 03072350105

RELAZIONE GEOLOGICA RELATIVA PROGETTO DI BONIFICA DELLA COKERIA S. GIUSEPPE DI CAIRO (SV)

1. PREMESSA

La scrivente ha ricevuto l'incarico dalla I.S.A.F. S.r.l., di effettuare un'indagine geologica finalizzata al progetto di bonifica della Cokeria di S.Giuseppe di Cairo ubicata in località Bragno nel Comune di Cairo Montenotte .

Il presente studio riassume informazioni desunte da dati bibliografici, da verifiche in situ e dall'elaborazione di dati scaturiti da una nuova dettagliata campagna geognostica supportata da prove in situ e prove di laboratorio, a supporto della campagna già realizzata nel marzo 2000.

In base agli elementi emersi dall'indagine di dettaglio si espongono di seguito le considerazioni e conclusioni scaturite.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'intervento di bonifica interessa la Cokeria di S. Giuseppe di Cairo, ubicata in prossimità della località Bragno, lungo il versante idrografico di destra del Fiume Bormida di Spigno.

Il versante interessato dall'intervento caratterizzato da un'intensa urbanizzazione è orientato ad sud-ovest ad una quota media di 350 mt.s.l.m.m.

3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

La geologia della zona è caratterizzata dalla presenza di rocce paleogeniche di origine marina facenti parte del complesso sedimentario del Bacino Terziario Piemontese.

Per la locuzione dei litotipi incontrati nel corso del rilevamento geologico si è fatto riferimento alla Carta Geologica d'Italia foglio 81 "Ceva".

Le rocce sedimentarie Terziarie appartengono alla "Formazione di Molare", costituita da conglomerati poligenici e brecce ad elementi di dimensioni variabili, sovente superiori ai 10 cm., con alternanze più o meno regolari di arenarie più o meno grossolane.

Questa formazione, chiaramente trasgressiva, datata all'Oligocene, viene inquadrata in un ambiente marino di acque poco profonde o costiere.

Nei pressi di Cairo Montenotte, la "Formazione di Molare" poggia in discordanza sulle unità del Gruppo di Voltri, sulla Serie di Montenotte e sul Brianzonese, che, in questo settore, è costituito, da dolomie e calcari dolomitici (Dolomia di San Pietro dei Monti).

In corrispondenza della cokeria la Formazione di Molare costituisce il substrato su cui poggiano i depositi alluvionali del Fiume Bormida e le coltri di alterazione del substrato stesso.

Tale formazione, costituente il litotipo predominante della Valle Bormida di Spigno, affiora in potenti pareti (fino a 20-30 m) nelle vicinanze dell'area studiata (località Mazzucca), rappresentando localmente l'alveo di deflusso del Fiume Bormida.

La "Formazione di Molare" nell'area in esame è costituita, come si può ricavare dai sondaggi eseguiti da arenarie medio-fini da poco a moderatamente cementate di colore grigio-marrone variamente intercalate da orizzonti conglomeratici, localmente scarsamente cementati.

Il grado di cementazione delle arenarie è legato oltre che a variazioni dei processi diagenetici all'interno dello stesso litotipo, anche a differente intensità di alterazione del substrato. In particolare gli orizzonti a colorazione marrone appaiono decisamente più alterati e quindi a più basso grado di cementazione rispetto alle arenarie di colore grigio.

Gli orizzonti conglomeratici sono costituiti da clasti eterometrici sempre a pezzatura ghiaiosa, da arroton-

dati a sub-arrotondati, di quarziti e pietre verdi prevalenti in matrice fine arenacea medio-fine di colore grigio-marrone.

All'interno dell'area della cokeria e nelle zone immediatamente circostanti non sono visibili affioramenti, in quanto il substrato risulta ricoperto da un coltre detritica eluvio-colluviale associata a riporti antropici di spessore variabile.

Dal punto di vista tettonico, dall'interpretazione delle foto aeree della Regione Liguria, si è rilevato un sistema di faglie con direzione preferenziale N-S, intercettato solo da una faglia W-E nella parte settentrionale della zona in esame.

4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area in oggetto di studio è ubicata nella zona di fondovalle del versante idrografico di destra del Fiume Bormida di Spigno, in prossimità della località Bragno.

La zona è stata intensamente antropizzata e rimodellata durante la costruzione dello stabilimento, con l'obliterazione dei principali lineamenti geomorfologici.

Il versante è caratterizzato nel tratto in esame da valori di acclività bassi e dalla presenza di una copertura detritica di spessore variabile tra 3-9 mt., costituita da una coltre di natura prevalentemente colluviale, derivante dall'alterazione del substrato terziario, interdigitata nel settore più a valle con i depositi alluvionali recenti del Fiume Bormida di Spigno.

La copertura detritica risulta, a causa dei numerosi interventi antropici fortemente rimaneggiata nei livelli superficiali.

Lo spessore della coltre di alterazione appare decisamente variabile, legato alle opere di movimento terra rese necessarie durante la costruzione dello stabilimento oltre che ad un differente grado di alterazione del substrato in posto.

Nel settore a monte la coltre detritica è costituita da limi sabbiosi debolmente argillosi di colore marrone consistenti di bassa plasticità, variamente intercalati da sottili orizzonti di argilla sabbiosa e di sabbia argillosa più raramente da sedimenti grossolani.

Nei settori a valle sono presenti due intervalli con caratteristiche granulometriche differenti: un primo orizzonte superficiale litologicamente assimilabile ai depositi a monte (limi sabbioso-argillosi); un secondo intervallo costituito da ghiaie eterometriche prevalentemente medio-grossolane in scarsa matrice fine sabbiosa. Tale differenza granulometrica è presumibilmente legata e differenti litotipo originari (arenarie-conglomerato).

La coltre di alterazione è ricoperta da materiali di riporto legati alle principali infrastrutture, costituiti da ghiaie e ghiaie-sabbiose; la potenza di tali materiali appare decisamente variabile all'interno dell'area in esame.

Nella morfologia del tetto del substrato roccioso, ricostruita in base ai sondaggi realizzati sono riconoscibili le originarie incisioni dei due corsi d'acqua presenti lungo il versante.

In posizione intermedia tra i due impluvi, a valle dei sondaggi S5 e S6, è riconoscibile una piccola depressione morfologica non alimentante un corso d'acqua superficiale, il cui raccordo con i due bacini principali è totalmente mascherato dalla costruzione della Cokeria.

Durante il rilevamento diretto non sono state individuate particolari strutture morfologiche, né attive, né passive; è stata riscontrata unicamente la presenza, dall'esame delle foto aeree, di una serie di orli di terrazzo e di cigli di distacco in roccia ormai stabilizzati, lungo il versante a monte dell'area in esame, e non interessanti in maniera diretta il sito in oggetto.

Le condizioni di stabilità appaiono pertanto buone e non sono presenti evidenti segni di instabilità.

5. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

L'idrografia di superficie della zona è rappresentata dal Fiume Bormida di Spigno che scorre ad Ovest

dell'area in esame e da due tributari di destra, il Rio dei Piani di Francia, immediatamente a nord del sito ed un rivo senza nome che scorre immediatamente a sud del sito.

Il F. Bormida, nel tratto in esame presenta un andamento di tipo meandriforme, con direzione S-N e la presenza di alluvioni recenti a prevalentemente a granulometria grossolana.

L'alveo del corso d'acqua è contrassegnato per tratti più o meno estesi da una successione di meandri regolari od irregolari ai quali si associano alternativamente, soprattutto nella bassa pianura non più terrazzata tratti d'alveo sinuosi o rettilinei, in molti casi resi tali da interventi di sistemazione idraulica.

L'andamento sinuoso e quello meandriforme sono sottolineati da frequenti banchi laterali di sabbie e ghiaie minute, per lo più instabili; al centro dell'alveo compaiono talora isole stabili colonizzate da vegetazione d'alto fusto.

Poiché il corso d'acqua scorre per lo più in materiali ghiaioso-sabbiosi, prevale il trasposto solido per trascinamento ed in parte in sospensione. Le forme di instabilità dell'alveo laterali e di fondo sono accentuate soprattutto nei tratti di maggior curvatura del percorso fluviale, con tendenza al progressivo spostamento verso valle delle anse e possibili tagli di meandro. Localmente le acque di piena possono anche rioccupare meandri abbandonati e non ancora livellati al piano campagna.

Il corso d'acqua, nel tratto in esame, si presenta in una fase prevalente di equilibrio. L'azione erosiva prevale su quella deposizionale durante i periodi di maggiore piena, caratterizzati da rilevante trasporto solido di dimensioni eterogenee. I depositi, per lo più di tipo ciottoloso -ghiaioso, hanno spessori modesti.

I rivi secondari, affluenti di destra, a carattere stagionale presentano un andamento NE-SW e sono alimentati da due piccoli bacini. Si tratta di corsi d'acqua a carattere torrentizio che hanno sviluppato maggiormente un'azione erosiva con scarso, se non nullo, deposito alluvionale e scorrono incassati nella formazione rocciosa di base o in un debole spessore di materasso alluvionale. La granulometria di tali depositi è di pezzatura da media a grossolana, a testimoniare la loro condizione torrentizia.

Entrambi in corsi d' acqua sono stati intubati al di sotto dello stabilimento.

Le defluenze superficiali nell'area in esame usufruiscono delle regimazione esistenti per gli insediamenti esistenti, e vengono smaltite dalla rete urbana dei deflussi.

Uno dei temi principali dell'idrogeologia è ovviamente la permeabilità delle formazioni considerate, dalla quale dipendono i meccanismi di infiltrazione, circolazione e distribuzione delle acque in sotterraneo.

Le coltri eluvio-colluviali presenti nell'area in esame, provenienti dall'alterazione del substrato conglomeratico-arenaceo, presentano una permeabilità primaria per porosità da bassa a medio-alta, in funzione della granulometria dei depositi; la permeabilità per porosità è infatti dovuta alla presenza nella formazione di pori, spazi di dimensioni idonee, che formano una rete continua per cui l'acqua può passare filtrando da un poro all'altro.

In particolare, come è stato evidenziato dalle prove di permeabilità eseguite e descritte nei paragrafi seguenti, le coltri a granulometria limoso-sabbiosa, sono caratterizzate da permeabilità bassa, con valori di K variabili tra 10^{-4} e 10^{-5} cm/sec, mentre i livelli ghiaiosi in matrice limosa., presenti prevalentemente nel settore a valle dello stabilimento sono caratterizzati da permeabilità medio-alta, con valori medi di K di 10^{-4} cm/sec.

I riporti antropici presentano una permeabilità medio-alta vista la granulometria dei materiali (ghiaia e sabbia).

Il substrato roccioso, è caratterizzato da una permeabilità secondaria per fratturazione trascurabile, visto il grado di fratturazione molto basso, e da una permeabilità primaria per porosità, in corrispondenza dei livelli meno cementati. In generale può comunque essere considerato impermeabile o a bassa permeabilità, e solo localmente sede di deflussi idrici sotterranei (orizzonti conglomeratici scarsamente cementati) direttamente legati alla falda freatica soprastante.

Le caratteristiche idrogeologiche sopra descritte hanno permesso l'instaurarsi di una falda freatica, caratterizzata da un deflusso parallelo alle linee di massima pendenza del versante, con un movimento da NE

verso SW, impostata nella coltre eluvio-colluviale e delimitata alla base dal substrato roccioso impermeabile.

Non sono state rilevate nella zona in esame aree a forte impregnazione della coltre di copertura.

6. CAMPAGNA DELLE INDAGINI

Ad integrazione della campagna di indagini già realizzata nel mese di marzo 2000 dalla ditta Pro.Mo.Geo. S.r.l. è stata realizzata nell'area interessata dalla bonifica in progetto una ulteriore campagna di indagini, comprendente sondaggi meccanici, scavi, prove in sito e prove di laboratorio.

Sondaggi meccanici a rotazione (vedi allegati)

Nel mese di marzo 2000 sono stati realizzati dalla ditta Pro.Mo.Geo. S.r.l. 15 sondaggi a carotaggio continuo con diametro di perforazione compreso tra 127 mm e 101 mm, denominati da S1 a S15, con le seguenti profondità:

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
7,60 mt.	9,00 mt.	6,60 mt	6,00 mt.	10,00 mt.	8,00 mt.	8,50 mt.	10,00 mt.

S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
10,00 mt.	7,00 mt.	6,00 mt	10,00 mt.	10,00 mt.	7,50 mt.	8,00 mt.

Ad integrazione della campagna del 2000 è stata realizzata una nuova campagna di indagini comprendente l'esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, in gran parte attrezzati con piezometro da 4", di pozzi e di scassi geognostici.

I nuovi punti di indagine, la cui esatta ubicazione è riportata nella planimetria di progetto, hanno fornito una copertura completa dell'area interessata dal progetto di bonifica.

I risultati ottenuti hanno permesso di confermare e dettagliare quanto già ricavato dalle precedenti indagini.

I tutti i sondaggi è stato raggiunto il substrato roccioso costituito da arenarie con intercalazioni conglomeratiche ed è stata riscontrata la presenza di una coltre detrititica di copertura a granulometria variabile da limoso-argillosa e limoso-sabbiosa a ghaiosa e ghiaioso-sabbiosa .

Gli orizzonti conglomeratici risultano costituiti da clasti eterometrici sempre a pezzatura ghiaiosa, da arrotondati a sub-arrotondati, di quarziti e pietre verdi prevalenti in matrice fine arenacea medio-fine di colore grigio-marrone.

Al di sopra della coltre detritica è stata individuata la presenza di materiali di riporto antropici di spessore limitato e variabile tra 0,10-1,30 mt., caratterizzati da una granulometria prevalentemente grossolana.

Prove S.P.T.

Per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei materiali sciolti di copertura sono state eseguite, nei diversi fori di sondaggio 23 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) ad integrazione delle 12 prove già eseguite durante la campagna di indagini del marzo 2000.

Le prove sono state realizzate all'interno della coltre detritica eluvio-colluviale, in parte nei livelli più grossolani ed in parte nei livelli più fini ed hanno permesso di caratterizzare geotecnicamente la coltre di copertura.

Tabella dei dati ricavati:

COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE PREVALENTEMENTE GROSSOLANA

Sondaggio	Prof. (m)	N_{SPT}	φ' (°)
Pz10	-9,00	51	41,5
Pz11	-9,20	32	36,2

Pz18	-4,70	51	41,5
Pz20	-3,00	Rif.	
Pz26	-7,00	Rif.	
Pz28	-8,00	37	37,6
Pz29	-8,00	85	51
Pz31	-5,00	Rif.	
Sp10	-3,00	18	32,2
Sp10	-4,50	48	40,6
Sp15	-3,00	41	38,7
Sp22	-3,00	15	31,4

COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE PREVALENTEMENTE FINE

Sondaggio	Prof. (m)	N_{SPT}	c_u (Kg/cm^2)
Pz17	-4,00	23	1,7
Pz21	-5,50	17	1,25
Pz29	-3,00	7	0,52
Sp5	-3,00	12	0,89
Sp8	-3,00	2	0,15
Sp20	-4,50	39	2,89
Sp20	-7,80	Rif.	
Sp21	-4,00	12	0,89
Sp21	-6,80	19	1,4
Sp23	-3,00	27	1,99
Sp23	-4,50	27	1,99

La distribuzione dei valori non risente in modo lineare della profondità, ma solamente delle condizioni locali di granulometria e addensamento.

I terreni interessati dalle prove possono essere considerati prevalentemente incoerenti nel caso dei livelli più grossolani, a granulometria ghiaioso e ghiaioso-sabbiosa, e coesivi nel caso dei livelli più fini a matrice prevalentemente limoso-argillosa, con la presenza localmente di frammenti lapidei.

I valori elevati ed i rifiuti all'avanzamento ottenuti in alcune prove sono legati presumibilmente alla presenza di frammenti lapidei grossolani o dei livelli superficiali parzialmente disgregati del substrato roccioso.

I valori ottenuti appaiono comunque estremamente variabili tali differenze sono legate oltre che a differenti gradi di consistenza e/o addensamento anche a variazioni granulometriche all'interno dell'orizzonte esaminato.

Il dato cautelativo applicabile al contesto geologico in questo caso può essere riferito ai valori minimi.

Nel caso del livello incoerente l'angolo di attrito efficace φ' è stato determinato utilizzando la correlazione diretta di Peck-Hanson & Thornburn:

$$\varphi' = 27,2 + 0,28\ N_{SPT}$$

Il metodo è valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova inferiori a circa 5 mt. nel caso di terreni sopra falda e a 8 mt. per terreni immersi in falda (pressione efficace <8-10 t/mt^2).

Per quanto riguarda i livelli coesivi, facendo riferimento al metodo DM-7 (da Nav-Fac Design Manual, 1982), per terreni coesivi di media plasticità, si può stimare il valore medio di C_u sulla base della formula seguente:

$$C_u = 0,074\ N_{SPT}\ (Kg/cm^2)$$

Deve essere considerato che le prove S.P.T. non forniscono in generale valori attendibili per i terreni coesivi e pertanto i valori ottenuti vanno considerati solamente indicativi e applicati solo per stime di primo riferimento.

I valori medi dei parametri geotecnici per i diversi livelli ricavati dalle prove S.P.T. sono riportati in maniera schematica nella tabella sottostante:

	φ' (°)	c' (Kg/cm^2)	c_u (Kg/cm^2)
COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE FINE			0,9-1,3
COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE GROSSOLANA	31÷32	0	

Prove con il Pocket Penetrometer.

Sugli spezzoni di carota prelevati nei livelli fini all'interno dei sondaggi sono state effettuate alcune prove speditive con il Pocket penetrometer, in modo da ottenere alcuni valori indicativi sulla consistenza e sulla coesione non drenata del terreno.

Dalle prove effettuate sono stati ottenuti i valori di consistenza del terreno, definita come resistenza alla compressione ad espansione laterale libera (q_u), dai quali sono stati ricavati i valori di coesione non drenata (c_u) dalla relazione $c_u=q_u/2$, considerando $\varphi_u=0$.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

Sondaggio	Prof. (m)	Consistenza	q_u (Kg/cm^2)	c_u (Kg/cm^2)
Pz24	0,70-1,35	Molto compatta	3,7-2,9-2,5	1,85-1,45-1,25
SCI1	4,0-6,0	Mediamente compatta	1,2-0,9	0,6-0,45
SCI3	0,5-1,7	Molto compatta	3-1,5-2,2	1,5-0,75-1,1
SCI3	1,7-2,3	Molto compatta	2,5-2,2-1,5	1,25-1,1-0,75
SCI3	2,3-3	Molto compatta	3-2,5	1,5-1,25
SCI4	0,4-1,1	Molto compatta	2,2-1,7	1,1-0,85
SCI4	2,3-4,5	Compatta	1,2-1,3	0,6-0,65
SCI5	2,1-3	Molto compatta	2,4-2,6	1,2-1,3
SCI5	3-3,5	Compatta	1,9-2,1	0,95-1,05
SCI5	3,9-4,4	Compatta	1,3	0,65
Sp3	1,3-2,7	Dura	6,5-6,9	3,25-3,45
Sp3	3,4-4	Molto compatta	1,5-2,5-2,3	0,75-1,25-1,15
Sp3	7,3-12	Molto compatta	3-4	1,5-2
Sp4bis	3,2-5,3	Molto compatta	3-2,4	1,5-1,2
Sp4bis	9,3-10,5	Compatta	2-1,3-1	1-0,65-0,5
Sp5	2-2,6	Molto compatta	2,3.-2,1	1,15-1,05
Sp5	3-6	Molto compatta	3,1-2,9-3,8	1,55-1,45-1,9
Sp6	2,6-3,5	Mediamente compatta	0,6	0,3
Sp6	4,5-4,8	Compatta	1-1,2	0,5-0,6
Sp6	4,8-6,1	Mediamente compatta	0,5-0,8	0,25-0,4
Sp7	2-5,5	Molto compatta	2,4-3,5	1,2-1,75
Sp8	2,3-2,5	Compatta	1,6-1,4	0,8-0,7
Sp14	0,5-0,8	Compatta	1,7-2,1-1,4	0,85-1,05-0,7
Sp14	0,8-1	Compatta	1,55	0,76
Sp14	1,2-1,8	Compatta	2-1,8	1-0,9
Sp14	2,2-2,5	Compatta	1,4-1,6	0,7-0,8

Sp15	1,25-1,7	Molto compatta	2,7-3	1,35-1,5
Sp15	4,7-5,8	Compatta	3,6-1,2-1,3-2,5	1,8-0,6-0,65-1,25
Sp15	6,3-8	Molto compatta	2,4-2,9-2,1	1,2-1,45-1,05
Sp15	8,3-8,8	Molto compatta	3,2	1,6
Sp16	2,8-4,6	Molto compatta	6-2-3	3-1-1,5
Sp16	5,2-6,1	Molto compatta	2,5	1,25
Sp16	8,6-12,15	Molto compatta	3,2	1,6
Sp17	4-4,5	Compatta	1,3-1,5	0,65-0,75
Sp18	1-1,2	Compatta	2,1	1,05
Sp18	1,6-2,6	Compatta	1,6-2,2	0,8-1,1
Sp20	3,3-4,6	Molto compatta	3,2-2,9-2,3-2,7	1,6-1,45-1,15-1,35
Sp21	0,4-1,8	Molto compatta	3,7-3,5-0,7	1,85-1,75-0,35
Sp21	1,9-2,9	Mediamente compatta	0,7-0,6-1	0,35-0,3-0,5
Sp23	3,3-4,2	Molto compatta	2,1-2,4	1,05-1,2
Sp23	4,6-4,9	Molto compatta	2,9-3,3	1,45-1,65

Il livello fine è caratterizzato mediamente da una consistenza medio-alta, con valori della coesione non drenata superiori a 1,5 Kg/cm^2

Il valore medio della coesione non drenata ricavata dalle prove con il pocket penetrometer è di:
c_u= 1,06 Kg/cm^2

Prove di permeabilità

Nei fori di sondaggio della prima campagna di indagini Pro.Mo.Geo. S.r.l. nel marzo 2000 sono state realizzate15 prove di permeabilità tipo Lefranc a carico costante, eseguite in avanzamento.

Le prove sono state realizzate riempiendo il foro di sondaggio, opportunamente rivestito nella parte non di interesse alla prova e lasciato libero e riempito di ghiaietto drenante nel tratto sul quale si vuole avere informazioni sulla permeabilità, di acqua fino ad un livello di riferimento superiore a quello stabilizzato corrispondente alla falda esterna, e misurando la portata necessaria a mantenere costante tale livello, una volta stabilizzato.

Il valore dei coefficienti di permeabilità (di seguito K) è fornito dalla seguente espressione:

$$K= Q/Fh$$

dove:
Q = portata di immissione (mt^3/sec);
F = coefficiente che dipende dalla geometria e dalle dimensioni del tratto di foro lasciato libero e dalla presenza o meno di strati di confinamento;
h = differenza di altezza del livello dell'acqua provocato dall'immissione (mt).
Ogni singola prova ha avuto la durata di 55 minuti.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Profondità (mt)	Livello	Sondaggio	K (cm/sec)
2,00-3,00	Limo sabbioso fine debolmente argilloso	S1	3,20 X 10^{-5}
3,00-4,00	Limo sabbioso fine debolmente argilloso	S2	4,97 X 10^{-5}
1,00-2,00	Limo sabbioso fine debolmente argilloso	S3	5,37 X 10^{-4}
2,00-3,00	Sabbia fine limosa	S4	6,89 X 10^{-4}
4,00-5,00	Limo sabbioso fine debolmente argilloso	S5	4,07 X 10^{-4}
2,00-3,00	Sabbia fine limoso-argillosa	S6	7,46 X 10^{-4}

2,00-3,00	Limo sabbioso fine debolmente argilloso	S7	$7,46 \times 10^{-4}$
5,00-6,00	Limo sabbioso fine debolmente argilloso	S8	$2,12 \times 10^{-5}$
3,00-4,00	Limo sabbioso fine debolmente argilloso	S9	$4,97 \times 10^{-5}$
2,00-3,00	Ghiaia eterometrica medio fine	S10	$1,62 \times 10^{-2}$
2,00-3,00	Ghiaia eterometrica medio fine	S11	$1,08 \times 10^{-3}$
3,00-4,00	Limo sabbioso fine	S12	$1,49 \times 10^{-4}$
7,00-8,00	Ghiaia eterometrica medio grossolana	S13	$3,01 \times 10^{-3}$
2,00-3,00	Ghiaia eterometrica medio fine	S14	$1,24 \times 10^{-2}$
2,00-3,00	Limo sabbioso fine debolmente argilloso	S15	$3,55 \times 10^{-4}$

Nell'ultima campagna di indagini sono state realizzate ulteriori prove di permeabilità all'interno dei fori di sondaggio attrezzati con piezometro; in particolare sono state eseguite 39 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile. Tali prove sono state realizzate per determinare i valori di permeabilità per porosità della coltre eluvio-colluviale.

Le prove sono state realizzate nei fori di sondaggio, formando una tasca riempita in ghiaietto drenante e misurando la velocità di riequilibrio del livello di acqua nel foro dopo averlo alterato mediante immissione.

Il valore del coefficiente di permeabilità è fornito dalla seguente espressione:

$$K=A/FT$$

dove:

A = area della sezione interna trasversale del rivestimento (m^2);

F = fattore di forma visto in precedenza;

T = tempo di riequilibrio (basic time-lag) (sec).

Profondità (mt)	Livello	Sondaggio	K (cm/sec)
6,00-7,00	Livello di alterazione del substrato	Sp9	$1,10 \times 10^{-5}$
2,50-3,00	Livello di alterazione del substrato	Sp14	$6,36 \times 10^{-4}$
4,50-5,00	Argilla con ciottoli	Sp15	$8,54 \times 10^{-5}$
3,00-4,00	Argilla compatta	Sp19	----------
4,00-5,00	Ghiaia e ciottoli	Sp19	$2,23 \times 10^{-4}$
3,50-4,50	Ghiaietto e sabbia	Sp22	$5,37 \times 10^{-5}$
2,80-5,00	Ghiaia e sabbia	Sp29	$2,34 \times 10^{-4}$
5,50-6,50	Sabbia in matrice limosa	Pz9	$7,45 \times 10^{-5}$
6,00-7,00	Sabbia limoso-argillosa	Pz10	$1,19 \times 10^{-6}$
8,00-9,00	Ghiaietto e sabbia	Pz10	$2,27 \times 10^{-4}$
3,00-4,00	Sabbia limoso-argillosa	Pz11	$2,99 \times 10^{-6}$
8,00-9,20	Ghiaietto e sabbia	Pz11	$3,62 \times 10^{-4}$
1,50-2,00	Limo sabbioso	Pz14	$4,62 \times 10^{-5}$
2,00-3,00	Sabbia limoso-argillosa	Pz15	----------
6,00-8,00	Ghiaietto e sabbia	Pz15	$6,01 \times 10^{-4}$
3,00-4,00	Sabbia limosa	Pz17	----------
6,00-7,00	Ghiaietto e sabbia debolmente limosi	Pz17	$3,75 \times 10^{-5}$
3,50-4,70	Ghiaietto e sabbia	Pz18	$2,42 \times 10^{-4}$
5,00-6,00	Ghiaietto e sabbia debolmente limosi	Pz18	----------
4,00-5,00	Ghiaia e sabbia debolmente limosi	Pz19	$5,18 \times 10^{-5}$
2,00-3,00	Sabbia limoso-argillosa	Pz20	----------
3,00-4,00	Sabbia e ciottoli	Pz20	$7,99 \times 10^{-5}$

4,50-5,50	Sabbia limoso-argillosa	Pz21	$1,84 \times 10^{-5}$
4,50-5,50	Limo argilloso	Pz22	$9,34 \times 10^{-5}$
9,00-9,70	Sabbia e ciottoli	Pz22	$4,82 \times 10^{-4}$
2,50-3,00	Ghiaietto e ciottoli con sabbia	Pz23	$4,48 \times 10^{-4}$
2,50-3,00	Argilla	Pz25	----------
5,00-6,00	Sabbia e ciottoli	Pz26	$9,28 \times 10^{-4}$
6,00-7,00	Sabbia e ciottoli	Pz28	$3,79 \times 10^{-5}$
2,00-3,00	Sabbia e ghiaietto	Pz29	$5,20 \times 10^{-4}$
7,00-8,00	Sabbia e ciottoli	Pz29	$4,60 \times 10^{-4}$
2,50-3,10	Argilla limosa	Pz30	----------
7,00-8,00	Ghiaia e ciottoli	Pz30	$2,66 \times 10^{-4}$
3,00-4,00	Ghiaietto e ciottoli	Pz31	$8,82 \times 10^{-4}$
2,00-3,00	Sabbia limosa	Pz32	----------
3,00-4,00	Ghiaietto e sabbia	Pz32	$3,61 \times 10^{-4}$
3,00-4,00	Sabbia limosa	PzA1	$2,37 \times 10^{-5}$
3,00-4,00	Sabbia limosa	PzA2	$9,43 \times 10^{-6}$
5,00-6,00	Sabbia	PzA2	$1,01 \times 10^{-4}$

Le prove realizzate all'interno dei sondaggi Sp19-Pz15-Pz17-Pz18-Pz20-Pz25-Pz30 e Pz32, ubicati nel settore centrale e soprattutto di valle della cokeria, hanno fornito risultati che evidenziano la presenza di livelli, a granulometria prevalentemente argillosa, che possono essere considerati sostanzialmente impermeabili.

I valori del coefficiente di permeabilità ottenuti durante l'ultima campagna di indagini sono di 10^{-4} cm/sec all'interno dei livelli grossolani in matrice limosa della coltre e variabili tra 10^{-5}-10^{-6} cm/sec all'interno dei livelli fini a maggiore componente limoso-argillosa.

I valori ottenuti confermano quanto già indicato dalla campagna di indagini del marzo 2000 per quanto riguarda i livelli a granulometria fine, mentre i livelli più grossolani presentavano valori di permeabilità più alti nelle indagini del marzo 2000 rispetto alle ultime.

Prove di permeabilità Lugeon

All'interno del substrato roccioso sono state eseguite 9 prove di permeabilità Lugeon, utili per valutare l'attitudine dell'ammasso roccioso a consentire la circolazione d'acqua.

La prova consiste nel misurare la portata di acqua iniettata nella camera di prova, opportunamente isolata all'interno del foro di sondaggio, in almeno 5 gradini di pressione, misurando la costanza della portata ogni minuto. Ciascun gradino di portata è stato mantenuto costante per almeno 10 minuti.

Dalle prove si ricava un parametro di assorbimento d'acqua espresso in *Unità Lugeon (U.L.)*; una U.L. corrisponde alla portata di 1 l/min iniettata ad una pressione di 1 MPa, per la durata di 10 minuti, in un tratto di foro di 1 mt.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Profondità (mt)	Sondaggio	Gradino di portata	U.L.	K (cm/sec)
9,30-8,50	Pz3	I	2,165	$1,31 \times 10^{-5}$
		II	2,072	$1,25 \times 10^{-5}$
		III	2,25	$1,36 \times 10^{-5}$
		IV	1,883	$1,14 \times 10^{-5}$
		V	1,823	$1,10 \times 10^{-5}$

7,00-9,00	Pz7	I	*Assorbimento nullo*	
		II		
		III		
		IV		
		V		
10,00-12,00	Pz8	I	*Assorbimento nullo*	
		II		
		III		
		IV		
		V		
10,00-12,00	Pz15	I	1,36	$7,61 X 10^{-6}$
		II	1,76	$9,86 X 10^{-6}$
		III	1,95	$1,09 X 10^{-5}$
		IV	1,76	$9,86 X 10^{-6}$
		V	1,36	$7,61 X 10^{-6}$
10,00-12,00	Pz17	I	2,788	$1,56 X 10^{-5}$
		II	0,682	$3,82 X 10^{-6}$
		III	0,49	$2,75 X 10^{-6}$
		IV	0,812	$4,55 X 10^{-6}$
		V	2,404	$1,35 X 10^{-5}$
9,00-11,00	Pz21	I	*Assorbimento nullo*	
		II		
		III		
		IV		
		V		
13,50-15,50	Pz29	I	0,82	$4,58 X 10^{-6}$
		II	1,23	$6,90 X 10^{-6}$
		III	1,48	$8,30 X 10^{-6}$
		IV	1,23	$6,90 X 10^{-6}$
		V	0,65	$3,66 X 10^{-6}$
8,50-10,50	Pz31	I	0,81	$4,55 X 10^{-6}$
		II	0,29	$1,62 X 10^{-6}$
		III	0,22	$1,26 X 10^{-6}$
		IV	0,29	$1,62 X 10^{-6}$
		V	0,81	$4,55 X 10^{-6}$
9,00-11,00	PzA1	I	*Assorbimento nullo*	
		II		
		III		
		IV		
		V		

In tutte le prove ci si è trovati in condizioni di regime turbolento, per la probabile presenza di fessure che si aprono o chiudono in funzione della pressione esercitata.

Le prove eseguite all'interno del substrato roccioso, costituito in questo caso da arenarie e conglomerati, hanno fornito valori del coefficiente di permeabilità bassi o valori di assorbimento nullo, confermando come il

substrato sufficientemente integro e ben cementato può essere considerato sostanzialmente impermeabile.

Misure Piezometriche

37 fori di sondaggio sono stati attrezzati con piezometro da 4", in modo da verificare le quote di falda ed il comportamento della stessa nel tempo.

Di seguito sono riportate le letture effettuate nei piezometri installati nella campagna di indagini del marzo 2000 e le letture effettuate nei mesi di marzo, aprile, maggio e novembre 2004 nei nuovi piezometri installati.
Tabella delle letture:

Campagna marzo 2000

DATE LETTURE	28/03/2000	04/04/2000
S1	-3,75 mt. da p.c.	-3,02 mt. da p.c.
S2	-4,50 mt. da p.c.	-4,25 mt. da p.c.
S3	-2,75 mt. da p.c.	-1,80 mt. da p.c.
S4	-0,75 mt. da p.c.	
S5	-6,10 mt. da p.c.	-3,34 mt. da p.c.
S6	-0,40 mt. da p.c.	
S7	-2,73 mt. da p.c.	-1,92 mt. da p.c.
S8	-4,.77 mt. da p.c.	
S9	-4,81 mt. da p.c.	
S10	-1,30 mt. da p.c.	-0,75 mt. da p.c.
S11	-0,85 mt. da p.c.	
S12	-6,19 mt. da p.c.	
S13	-5,70 mt. da p.c.	
S14	-2,31 mt. da p.c.	-1,65 mt. da p.c.
S15	-2,02 mt. da p.c.	-0,94 mt. da p.c.

Nuovi piezometri

DATE LETTURE	MARZO 2004	APRILE 2004	MAGGIO 2004	NOVEMBRE 2004
Pz3	-3,21 mt. da p.c.	-3,17 mt. da p.c.	-3,88 mt. da p.c.	-4,30 mt. da p.c.
Pz7	-1,10 mt. da p.c.	-1,02 mt. da p.c.	-1,13 mt. da p.c.	-2,31 mt. da p.c.
Pz8	-2,09 mt. da p.c.	-1,97 mt. da p.c.	-1,82 mt. da p.c.	-2,96 mt. da p.c.
Pz9	-2,40 mt. da p.c.	-1,97 mt. da p.c.	-2,07 mt. da p.c.	-6,64 mt. da p.c
Pz10	-	-	-	-4,70 mt. da p.c
Pz11	-	-	-	-4,57 mt. da p.c
Pz13	-1,97 mt. da p.c.	-1,96 mt. da p.c.	-1,99 mt. da p.c.	-1,97 mt. da p.c.
Pz14	-2,32 mt. da p.c.	-2,29 mt. da p.c.	-2,25 mt. da p.c.	-2,28 mt. da p.c
Pz15	-2,20 mt. da p.c.	-2,20 mt. da p.c.	-2,10 mt. da p.c.	-2,32 mt. da p.c.
Pz17	-	-	-	-2,48 mt. da p.c
Pz18	-	-	-	-2,21 mt. da p.c
Pz19	-6,67 mt. da p.c.	-6,67 mt. da p.c.	-6,46 mt. da p.c.	-7,86 mt. da p.c.

Pz20	-	-	-	-1,95 mt. da p.c
Pz21	-	-	-	-1,25 mt. da p.c
Pz22	-	-	-	-5,48 mt. da p.c
Pz23	-	-	-	-1,52 mt. da p.c
Pz25	-2,90 mt. da p.c.	-2,82 mt. da p.c.	-2,70 mt. da p.c.	-2,67 mt. da p.c
Pz26	-3,59 mt. da p.c.	-3,45 mt. da p.c.	-3,35 mt. da p.c.	-3,47 mt. da p.c.
Pz27	-2,70 mt. da p.c.	-2,72 mt. da p.c.	-2,30 mt. da p.c.	-2,50 mt. da p.c.
Pz28	-5,24 mt. da p.c.	-5,64 mt. da p.c.	-5,67 mt. da p.c.	-4,80 mt. da p.c.
Pz29	-6,07 mt. da p.c.	-6,04 mt. da p.c.	-6,02 mt. da p.c.	-6,00 mt. da p.c.
Pz30	-6,10 mt. da p.c.	-7,01 mt. da p.c.	-6,00 mt. da p.c.	-6,09 mt. da p.c.
Pz31	-0,23 mt. da p.c.	-0,12 mt. da p.c.	-0,15 mt. da p.c.	-0,13 mt. da p.c.
Pz32	-	-	-	-1,93 mt. da p.c
PzA1	-	-.	-	-2,24 mt. da p.c.
PzA2	-	-.	-	-3,65 mt. da p.c.
PzA3	-	-.	-	-1,60 mt. da p.c.
PzA4	-2,94 mt. da p.c.	-2,79 mt. da p.c.	-2,65 mt. da p.c.	-2,97 mt. da p.c.
PzA5	-3,66 mt. da p.c.	-3,64 mt. da p.c.	-3,59 mt. da p.c.	-3,82 mt. da p.c.
PzA6	-	-	-	-3,83 mt. da p.c.
PzE2	-	-	-	-3,97 mt. da p.c.
PzES3	-	-	-	-3,94 mt. da p.c.
PzES4	-	-	-	-1,88 mt. da p.c.
PzES5	-	-	-	-0,51 mt. da p.c.
PzES7	-	-	-	-3,90 mt. da p.c.
PzE2	-	-	-	-3,97 mt. da p.c.
PzEP7	-	-	-	-0,72 mt. da p.c.

Il deflusso sotterraneo avviene essenzialmente entro i materiali sciolti di copertura in corrispondenza della coltre eluvio-colluviale, interessando solo localmente il substrato roccioso fratturato nei livelli più superficiali e meno cementati.

In base ai nuovi dati è stata ricostruita 1 carta piezometrica rappresentante l'andamento della falda nei mesi di marzo, aprile, maggio e novembre 2004.

L'andamento della falda è approssimativamente coincidente durante i 4 periodi, con un leggero scostamento delle isopieze del novembre 2004.

In generale la falda freatica è caratterizzata da un deflusso parallelo alle linee di massima pendenza del versante, con direzione NE-SW.

La spaziatura tra le isopieze aumenta nei settori a valle con una diminuzione della velocità di deflusso.

Come già ricavato dalle indagini eseguite nel mese di marzo 2000, il letto impermeabile della falda libera superficiale è approssimativamente coincidente con il tetto del substrato roccioso.

La presenza di lenti e livelli limoso-argillosi all'interno di materiali più grossolani può giustificare la presenza, localmente, di piccole falde sospese.

In particolare sulla base delle evidenze riscontrate in campo durante le campagne di campionamento, durante le quali alcuni piezometri hanno presentato notevoli problemi di ricarica in fase di spurgo se non addirittura assenza di battente idrico (PZ2, PZ7, PZ9), in particolare nei piezometri lungo il confine di valle (assenza di battente idrico in PE1, elevate difficoltà di ricarica nel piezometro PZ32, portate di spurgo dell'ordine di 1-2 litri al minuto nel PZ28 e PZ30), la natura di tale falda è apparsa alquanto irregolare e fortemente influenzata dai fenomeni di infiltrazione superficiale. Tale comportamento pare difficilmente attribuibile ad un flusso di falda omogeneo e uniformemente distribuito in tutta l'Area, mentre piuttosto sembrerebbe tipico di un acquifero caratterizzato dalla presenza, localmente, di piccole falde sospese, giustificate dall'intercalarsi di lenti e livelli limoso-sabbiosi anche nei materiali più grossolani.

Prove di Laboratorio

Le prove, commissionate al Laboratorio Delta S.n.c. di Lucca, sono state realizzate nei mesi di aprile-giugno 2005 ed hanno fornito risultati dai quali è possibile definire una serie di valori caratteristici dei materiali campionati.

Sono stati prelevati all'interno dei sondaggi Pz21-Pz28-Pz29-Pz30 4 campioni indisturbati con campionatore Shelby, all'interno del livello della coltre eluvio-colluviale fine.

Segue lo schema della quota relativa di estrazione e del sondaggio.

Campione	Sondaggio	Profondità (mt.)	Prove
1	Pz28	-1,50/ -2,10	CG-CF- Pp- E_{ed}
2	Pz29	-1,60/-2,10	CG-CF- Pp- E_{ed}
3	Pz30	-2,50/-3,10	CG-CF- Pp- E_{ed}
4	Pz21	-3,00/-3,60	CG-CF- Pp- E_{ed}

(*) CF = Caratteristiche fisiche;
CG = Caratteristiche granulometriche;
E_{ed} = Modulo edometrico
Pp = Pocket penetrometer

I campioni 3 e 4 sono stati suddivisi in 2 parti, rispettivamente:
3 inferiore (tra 2,80-3,02 mt.)
3 superiore (tra 2,50-2,80 mt.)
4 inferiore (tra 3,40-3,63 mt.)
4 superiore (tra 3,00-3,40 mt.)

Sul campione 2 è stata effettuata 1 prova di taglio diretto, mentre sui campioni 1-2- 3 superiore-3 inferiore -4 sono state effettuate 5 prove edometriche. Su tutti i campioni sono state determinate le caratteristiche fisiche, granulometriche e sono state effettuate prove con il Pocket penetrometer.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati ottenuti:

CARATTERISTICHE FISICHE	*Campione 1*	*Campione 2*	*Campione 3 superiore*	*Campione 3 inferiore*	*Campione 4 superiore*	*Campione 4 superiore*
Peso di volume (g/cm^3)	**2,04**	**2,04**	**1,87**	**2,12**	**2,04**	**1,96**
Peso di volume apparente dei granuli (g/cm^3)	**2,65**	**2,67**	**2,61**	**2,68**	**2,69**	**2,70**
Contenuto in acqua (%)	**14,5**	**16,3**	**11,8**	**14,2**	**21**	**13,1**

PROVA CON IL POCKET PENETROMETER	*Campione 1*	*Campione 2*	*Campione 3 superiore*	*Campione 3 inferiore*	*Campione 4 superiore*	*Campione 4 superiore*
Consistenza	**Molto compatta**	**Molto compatta**	**Molto compatta**	**Molto compatta**	**Molto compatta**	**Molto compatta**
q_u *(Kg/cm²)*	**5,5**	**5,5**	**4,5**	**> 6**	**4,5**	**4,5**
c_u *(Kg/cm²)*	**2,75**	**2,75**	**2,25**	**> 3**	**2,25**	**2,25**

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA

(A.S.T.M. D 3080)

CAMPIONE 1

Pressione verticale (Kpa)	*Modulo edometrico (Mpa)*
12,5	
25	**4,510**
50	**7,829**
100	**6,121**
200	**7,324**
400	**9,507**
800	**12,136**
1600	**18,305**
400	
100	
25	

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA

(A.S.T.M. D 3080)

CAMPIONE 2

Pressione verticale (Kpa)	*Modulo edometrico (Mpa)*
12,5	
25	**6,949**
50	**6,650**
100	**7,426**
200	**9,040**
400	**15,164**
800	**21,941**
1600	**28,192**
400	
100	
25	

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA

(A.S.T.M. D 3080)

CAMPIONE 3 SUPERIORE

Pressione verticale (Kpa)	*Modulo edometrico (Mpa)*
12,5	
25	**2,273**
50	**3,846**

100	6,667
200	10,000
400	7,692
800	10,810
1600	20,779
400	
100	
25	

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA

(A.S.T.M. D 3080)

CAMPIONE 3 INFERIORE

Pressione verticale (Kpa)	*Modulo edometrico (Mpa)*
12,5	
25	6,671
50	7,426
100	5,693
200	12,473
400	21,787
800	27,360
1600	49,267
400	
100	
25	

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA

(A.S.T.M. D 3080)

CAMPIONE 4

Pressione verticale (Kpa)	*Modulo edometrico (Mpa)*
12,5	
25	2,866
50	3,441
100	4,818
200	8,729
400	10,457
800	16,595
1600	29,440
400	
100	
25	

Come si può ricavare dalle analisi granulometriche i terreni campionati presentano una granulometria prevalentemente fine limosa o limoso-sabbiosa con la presenza di frammenti lapidei; tutti i materiali sono ben assortiti come sui può ricavare dai valori dei coefficienti di uniformità D_{60}/D_{10} (cfr. curve granulometriche).

Dalle prove effettuate con il pocket penetrometer si sono ricavati valori di consistenza molto alti, mediamente più alti di quelli ricavati dalle prove effettuate all'interno dei sondaggi.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Sulla base delle nuove indagini effettuate, dei nuovi dati raccolti e dell'esperienza della scrivente su terreni simili, vengono di seguito riassunte le caratteristiche geotecniche dei terreni incontrati e geomeccaniche del substrato roccioso.

La stratigrafia, riportata nelle 4 sezioni litostratigrafiche interpretative allegate al progetto, è stata schematizzata in quattro strati:

1. Riporti antropici

Il peso di volume unitario medio è di 2 t/mt^3, mentre per quanto attiene alle caratteristiche di resistenza al taglio si può stimare un valore dell'angolo di attrito efficace sui 27° con corrispondente termine di coesione efficace nullo. La permeabilità è medio-alta vista la granulometria dei materiali (ghiaia e sabbia).

Per questo livello si possono assumere i seguenti dati geotecnici:

$\gamma = 2$ t/mt^3
$\varphi' = 27°$
$c' = 0$

2. Coltre eluvio-colluviale prevalentemente fine, limi sabbioso-argillosi

Il peso di volume è di 1,9-2 t/mt^3, l'angolo di attrito efficace può essere stimato in via cautelativa variabile tra 24°-26°, mentre la coesione efficace, non direttamente valutabile dalle prove realizzate, può essere considerata nulla. La resistenza al taglio in condizioni non drenate, sulla base delle prove con il pocket penetrometer può essere stimato variabile tra 1,2-1,5 Kg/cm^2 La permeabilità è bassa con valori di K variabili tra 10^{-5} e 10^{-6} cm/sec.

Per questo livello si possono assumere i seguenti dati geotecnici:

γ= 1,9-2 t/mt^3
$\varphi' = 24°$-$26°$
$c' = 0$
$\varphi_u = 10°$
$c_u = 1,2$-$1,5$ Kg/cm^2

3. Coltre eluvio-colluviale costituita da ghiaie in matrice limosa

Il peso di volume è di 2,1-2,2 t/mt^3, l'angolo di attrito efficace può essere valutato sulla base delle prove S.P.T. variabile tra 31°-32°, mentre la coesione efficace può essere considerata nulla. La permeabilità è medio-alta con valori di K variabili tra 10^{-3} e 10^{-4} cm/sec.

Per questo livello si possono assumere i seguenti dati geotecnici:

$\gamma = 2,1$-$2,2$ t/mt^3
$\varphi' = 31°$-$32°$
$c' = 0$

4. Substrato roccioso costituito da arenarie con intercalazioni conglomeratiche

Il substrato roccioso è costituito da arenarie medio fini con intercalazioni conglomeratiche ben cementate ed è generalmente caratterizzato da buone caratteristiche geomeccaniche, vista la scarsa fratturazione e l'elevato R.Q.D., con elevato valore di angolo di attrito interno.

La permeabilità sulla base delle prove Lugeon effettuate può essere considerata molto bassa o nulla, solo localmente e superficialmente il substrato é sede di deflussi idrici sotterranei (orizzonti conglomeratici scarsamente cementati) direttamente legati alla falda freatica soprastante.

Per il substrato si possono quindi assumere i seguenti dati medi:

γ= 2,2 t/mt^3
$\varphi = 35°$
$c = 3$ Kg/cm^2

8. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti hanno permesso di confermare e dettagliare quanto già ricavato dalle precedenti indagini.

I tutti i sondaggi è stato raggiunto il substrato roccioso costituito da arenarie con intercalazioni conglomeratiche ed è stata riscontrata la presenza di una coltre detrititica di copertura a granulometria variabile da limoso-argillosa e limoso-sabbiosa a ghaiosa e ghiaioso-sabbiosa .

Gli orizzonti conglomeratici risultano costituiti da clasti eterometrici sempre a pezzatura ghiaiosa, da arrotondati a sub-arrotondati, di quarziti e pietre verdi prevalenti in matrice fine arenacea medio-fine di colore grigio-marrone.

Al di sopra della coltre detritica è stata individuata la presenza di materiali di riporto antropici di spessore limitato e variabile tra 0,10-1,30 mt., caratterizzati da una granulometria prevalentemente grossolana.

Il deflusso sotterraneo avviene essenzialmente entro i materiali sciolti di copertura in corrispondenza della coltre eluvio-colluviale, interessando solo localmente il substrato roccioso fratturato nei livelli più superficiali e meno cementati.

In base ai nuovi dati è stata ricostruita 1 carta piezometrica rappresentante l'andamento della falda nei mesi di marzo, aprile, maggio e novembre 2004.

L'andamento della falda è approssimativamente coincidente durante i 4 periodi, con un leggero scostamento delle isopieze del novembre 2004.

In generale la falda freatica è caratterizzata da un deflusso parallelo alle linee di massima pendenza del versante, con direzione NE-SW.

La spaziatura tra le isopieze aumenta nei settori a valle con una diminuzione della velocità di deflusso.

Come già ricavato dalle indagini eseguite nel mese di marzo 2000, il letto impermeabile della falda libera superficiale è approssimativamente coincidente con il tetto del substrato roccioso.

La presenza di lenti e livelli limoso-argillosi all'interno di materiali più grossolani può giustificare la presenza, localmente, di piccole falde sospese.

In particolare sulla base delle evidenze riscontrate in campo durante le campagne di campionamento, durante le quali alcuni piezometri hanno presentato notevoli problemi di ricarica in fase di spurgo se non addirittura assenza di battente idrico (PZ2, PZ7, PZ9), in particolare nei piezometri lungo il confine di valle (assenza di battente idrico in PE1, elevate difficoltà di ricarica nel piezometro PZ32, portate di spurgo dell'ordine di 1-2 litri al minuto nel PZ28 e PZ30), la natura di tale falda è apparsa alquanto irregolare e fortemente influenzata dai fenomeni di infiltrazione superficiale. Tale comportamento pare difficilmente attribuibile ad un flusso di falda omogeneo e uniformemente distribuito in tutta l'Area, mentre piuttosto sembrerebbe tipico di un acquifero caratterizzato dalla presenza, localmente, di piccole falde sospese, giustificate dall'intercalarsi di lenti e livelli limoso-sabbiosi anche nei materiali più grossolani.

Sotto il profilo delle operazioni di bonifica dell'area si dovrà avere particolare attenzione alla falda.

E' utile, quindi, in fase esecutiva delle operazioni di bonifica che vengano effettuate misurazioni dell'effettivo livello di falda ed una sua escursione nei periodi asciutti e piovosi; inoltre si dovranno evidenziare le eventuali problematiche di carattere idraulico, esondabilità, poiché in sito insiste sulla piana alluvionale del F.Bormida, seppure in posizione arretrata.

Il tecnico incaricato

