Westgeo D.Minuto & Associati
Vado Ligure (SV)
Via Verdi 6
westgeominuto@katamail.com

Fresia spa

Millesimo
Provincia di Savona

Comuni di Millesimo e Cengio

Studio geologico e ambientale inerente il potenziale stato di contaminazione dell'area denominata "Pertite" nei Comuni di Millesimo e Cengio con connessa caratterizzazione fisico – meccanica preliminare dei terreni e delle rocce.

RAPPORTO FINALE

Westgeo D.Minuto & Associati
Vado Ligure (SV)
Via Verdi 6
westgeominuto@ katamail.com

INDICE

1. **Introduzione e finalità** 2

2. **Il contesto territoriale e geografico** 2

3. **Inquadramento dell'area nel PAI e sotto il profilo geologico** 3

4. **Il quadro geologico e geomorfologico generale** 4

5. **Indagini ed accertamenti operati : sintesi** 7

6. **Qualità ambientale di suolo e sottosuolo** 12

7. **Caratterizzazione fisico – meccanica preliminare del sottosuolo** 15

8. **Conclusioni** 19

Westgeo D.Minuto & Associati
Vado Ligure (SV)
Via Verdi 6
westgeominuto@ katamail.com

1. Introduzione e finalità

Fresia spa di Millesimo (SV) ha incaricato Westgeo D.Minuto & Associati di Vado Ligure nella persona dello scrivente professionista della redazione del presente documento che ha per argomento la caratterizzazione ambientale del suolo e del sottosuolo dell'area Pertite nei Comuni di Millesimo e Cengio (SV) nonché la caratterizzazione fisico – meccanica preliminare dei terreni e delle rocce locali. Si provvede altresì a definire l'inquadramento del sito nell'ambito del vigente PAI (Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po) , a valutare la compatibilità idraulica di una canalizzazione idrica sotterranea esistente e a fornire alcuni cenni sulla caratterizzazione del sottosuolo sotto il profilo del rischio sismico.

Si è quindi provveduto ad effettuare :

A. Un esame bibliografico della letteratura geologica ed ambientale pertinente
B. La programmazione delle diverse tipologie di indagine e test ritenute significative e necessarie sia a fini ambientali che geotecnici
C. L'acquisizione della documentazione tecnica e cartografica disponibile
D. L'analisi e la interpretazione finale delle informazioni complessivamente ottenute

I riferimenti normativi principali sono stati quelli attualmente in vigore sul territorio nazionale e, principalmente, per i temi geotecnici, il D.M. 14.01.08 "NTC '08" mentre, per le tematiche ambientali il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 così come aggiornato nel Decreto Legislativo del 16 marzo 2009, n. 30 e pubblicato nella GU n. 79 del 4-4-2009.

Conseguentemente si sono operati gli accertamenti in sito nei mesi di Settembre – Ottobre con le conseguenti verifiche di laboratorio chimico e geotecnico.

A tal proposito si ricorda come il presente elaborato trovi il proprio completamento nel dossier elaborato da CPG snc – Promogeo srl incaricate dalla Committenza della fattiva esecuzione degli accertamenti e prove.

2. Il contesto territoriale e geografico

La vallecola delle Pertite è identificabile lungo l'andamento terminale, in sponda destra del fiume Bormida, dell'omonimo rio in un intervallo ipsometrico di riferimento compreso tra i 440,00 m slm e i 460,00 m slm.

Trova essa la propria collocazione, inoltre, in prossimità del confine amministrativo tra i territori del Comune di Cengio e del Comune di Millesimo. Trattasi di una ampia incisione (si veda la caratterizzazione geologica e geomorfologica generale) colmata nell'ultimo ventennio da abbondanti riporti artificiali finalizzati all'ottenimento di una ampia area, perlopiù pianeggiante.

Foto 1 (Google Earth) – L'area delle Pertite (si individua l'ampia area pianeggiante in basso e la installazione industriale esistente)

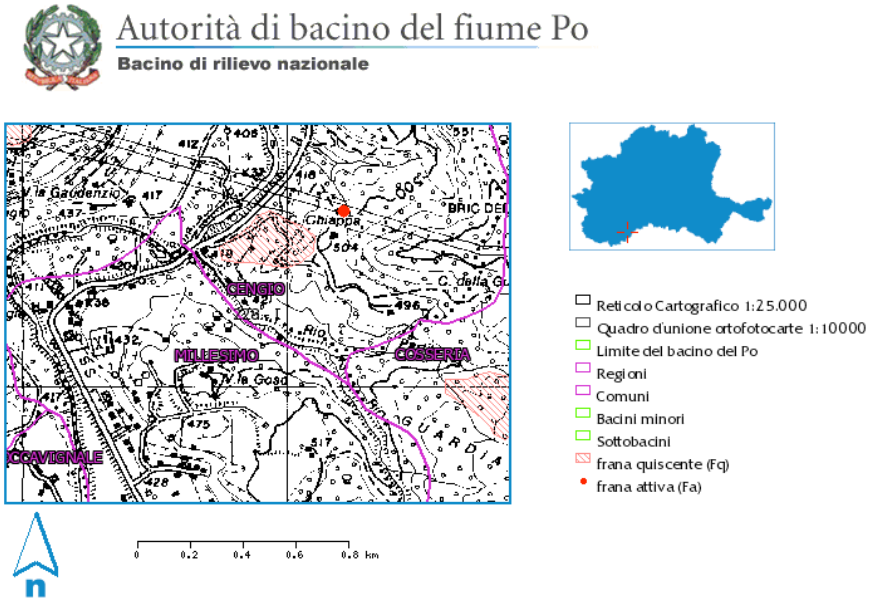


3. Inquadramento dell'area nel PAI e nella pianficazione territoriale comunale sotto il profilo geologico

Nella successiva Fig.1 (www.adbpo.it) si può apprezzare la ubicazione della vallecola delle Pertite nel contesto del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po).

In tale ambito è possibile evidenziare l'assenza lungo la porzione terminale dell'asta del Rio Pertite (in sponda destra del Bormida) di particolari problematicità (la zona rigata rossa – che evidenzia una frana quiescente – aggetta la strada provinciale a monte della nostra zona di interesse).

Fig.1 – Inquadramento dell'area in ambito PAI



4. Il quadro geologico e geomorfologico generale

L'assetto generale dei territori comunali interessati da un punto di vista geologico generale, pur essendo caratterizzato da un certo grado di complessità generale sulla macroscala , in quanto inglobante un numero significativo di differenti unità tettonico-stratigrafiche (con particolare riferimento a Millesimo) afferenti a differenti domini paleogeografici e di formazioni geologiche s.s , si segnala , nel contesto specifico, per una sostanziale semplicità litostratigrafica e formazionale .

Ciò che infatti evidenziamo come dato di base è la assenza di litologie metamorfiche e la sola presenza di orizzonti sedimentari relativamente giovani (terziario).

Nella letteratura geologica l'ambito di riferimento è noto come Bacino Terziario Piemontese (BTP), rappresentante un enorme bacino marino deposizionale a carattere subsidente, con una conseguente successione stratigrafica potente sino a oltre 4000 m, (Gelati 1968, Francani et al. 1971 Faletti et al. 1984, Gnaccolini 1980, Cazzola et al. 1981) evolutosi a partire dall'oligocene inferiore e posteriormente all'impilamento delle unità tettoniche interessate dall'orogenesi alpina. L'areale di puntuale interesse (Rio Pertite) è caratterizzato da una successione - associazione sedimentaria conglomeratico - marnosa identificabile come rappresentata da un contatto stratigrafico tra le due formazioni di Monesiglio e di

Rocchetta (Aquitaniano – Oligocene) . Sulla sponda sinistra del Rio Pertite infatti si apprezzano evidenti bancate conglomeratiche poligeniche con secondari livelli e/o interstrati decimetrici marnoso-siltosi ovvero arenacei (classici della Formazione di Monesiglio cfr. Carta Geologica d'Italia 1/100.000 www.apat.gov.it) mentre sia in corrispondenza dell'asse del rio (oggi obliterato dalla colmata dei riporti) sia sulla sponda destra (in direzione di Cengio) sono presenti cospicui affioramenti marnosi grigi , con superfici di alterazione scagliose, caratteristiche della Formazione di Rocchetta.

La Formazione di Monesiglio riposa a tetto e sovrasta geometricamente i termini marnosi.

Foto 2 : La porzione terminale più meridionale della vallecola delle Pertite (sul lato destro si individuano le bancate conglomeratiche che riposano sulle marne)



La dislocazione formazionale è avvenuta anche a seguito di fenomeni di basculamento tettonico più recente (quaternario) che ha interessato tutto il settore più occidentale delle Langhe.

La erodibilità ed alterabilità chimico-fisica dei terreni sedimentari del BTP, ed in particolare di quelli a forte componente fillosilicatica (minerali argillosi) è il fattore dominante della evoluzione geomorfologica locale sia sulla micro che sulle meso e macro scala.

Notoriamente la facile idratazione dei minerali argillosi (componenti principali delle argilliti e delle marne) a seguito, ad esempio, dell'azione pluviale o del disgelo o del ristagno idrico, ne condiziona fortemente l'attitudine sia alla erodibilità superficiale lungo i versanti (dando origine a quei fenomeni di erosione accelerata anche molto intensi il cui prodotto finale è rappresentato dalle caratteristiche architetture calanchive) sia al grado di alterazione più o meno puntuale dei livelli marnosi medesimi, la cui struttura tipicamente "scagliosa" (in particolare nei livelli a giorno mentre diventa più massiva in profondità) , caratteristica dei terreni argillosi sovraconsolidati in molte parti d'Italia, viene sovente interessata dallo sviluppo di cotiche superficiali di alterazione spinta ove le scaglie (sostanzialmente clasti spigolosi più o meno laminari di ordine massimo decimetrico) si trovano immerse in una matrice argillosa o, al più, limoso – argillosa. Sia i terreni arenacei che quelli conglomeratici sono meno soggetti a fenomeni classicamente legati al loro chimismo ancorchè le intercalazioni marnose e/o il cemento a componente carbonatica (comunque presente nei conglomerati) non li lascino indenni da fenomeni di erosione selettiva con la tipica alternanza di bancate poco erose a forte componente clastica e di livelli, peraltro senz'altro subordinati, argillitici e/o marnosi dilavati ed erosi. Le dette caratteristiche dei terreni sedimentari locali determinano l'instaurarsi, in termini di evoluzione geomorfologica dei versanti , di alcune puntuali situazioni di instabilità (si veda la cartografia geologica redatta e posta in allegato f.t.) . Si evidenzia la presenza, infatti, sia di intensi fenomeni erosivi che di alcune plaghe di ordine decametrico soggette a soil -slip superficiale.

Le bancate conglomeratiche appaiono costituite da prevalenti clasti poligenici (di dimensioni anche rilevanti) , petrologicamente eterogenei, immersi in una matrice arenacea ovvero argillitico-arenacea.

Le coperture detritiche eluviali , poco sviluppate, hanno prevalente natura granulare sciolta grossolana o medio-grossolana (ghiaie ciottolose con sabbia e/o sabbie limose).

Idrogeologicamente il sito è caratterizzato da una scarsa o nulla produttività freatica. Come risulta inoltre ampiamente verificato dai test di conducibilità idraulica in configurazione Lugeon operati, la permeabilità dei livelli marnosi di Rocchetta identificati come bedrock su tutta l'area in esame è da considerarsi bassa ($K = 10^{-7}$ m/s).

In fase di primo campionamento idrico mediante tecniche statiche si è rilevato presso tutti i piezometri soggetti al campionamento stesso un battente d'acqua < 1.0 m rispetto al fondo.

5. Indagini ed accertamenti operati : sintesi

Le tecniche dirette utilizzate (4 sondaggi a carotaggio continuo e campionamento di terreni e acque a fini chimici e/o geotecnici)) ed indirette (sismica a rifrazione) sono state ottimizzate al fine di permettere sia una corretta ed attendibile interpretazione dell'assetto stratigrafico locale (interpretato nelle allegate sezioni geologiche f.t.) sia il necessario e richiesto campionamento ambientale secondo le tecniche standard di legge.

In particolare si ricorda come il diametro dei piezometri installati sia stato quello di 4'' al fine di rendere più agevole sia il campionamento che le attività di chiarificazione/spurgo delle acque sotterranee (peraltro rivelatesi nel periodo di riferimento settembre – novembre 2009 di irrilevante significato in termini quantitativi) Inoltre i segmenti alternati di tubo cieco e/o fenestrato sono stati adattati (cfr. dossier CPG – Promogeo) alle sequenze stratigrafiche singolarmente identificate in ogni sondaggio a carotaggio continuo.

Il campionamento dei terreni è avvenuto con minimo utilizzo di acqua di perforazione e sono stati utilizzati (per la lubrificazione delle attrezzature) solo grassi vegetali.

Il campionamento delle acque, dopo procedura di chiarificazione mediante sviluppo dei piezometri con pompa sommergibile a portata variabile, è avvenuta in modalità statica.

Ai fini di un "ampliamento areale" delle informazioni derivanti dai puntuali carotaggi si sono utilizzate, ribadiamo, anche tecniche di indagine indiretta che, come chiaramente risultante dalla analisi degli elaborati interpretativi stratigrafici (sezioni geologiche), hanno permesso di ricostruire un coerente quadro dello sviluppo areale-verticale dei riporti artificiali sul sottostante bedrock sedimentario.

La ubicazione complessiva delle indagini, esplicata nella Carta Geologica e Geomorfologica, ha coperto quindi efficacemente l'intera area di interesse. Di seguito è riportato il quadro di sintesi delle attività svolte.

Per la caratterizzazione geotecnica preliminare dei riporti artificiali , dei livelli del bedrock alterato sono state altresì inserite, e conseguentemente operate in campo, prove tipo SPT (Standard Penetration Test), prove di permeabilità Lefranc in configurazione a carico costante ovvero a a carico variabile Nel substrato marnoso (non è mai stato intercettato alcun termine conglomeraticio) sono state eseguite prove Lugeon al fine di controllarne le caratteristiche di conducibilità idraulica.

Tabella 1 - Quadro delle attività svolte

Sigla della prospezione	Tecnica	SPT (n°)	PLEF (n°)	PLUG (n°)	CTG (n°)	CAC (n°)	CTC (n°)	Prof. (m)	Svil. (m)
S1 bis	Carotaggio	1	0	1	1	0	1	6.00	
S2 bis	Carotaggio	2	1	1	1	2*	1	7.00	
S3 bis	Carotaggio	3	1	1	1	0	2	10.00	

S4 bis	Carotaggio	3	1	1	1	2*	2	10.00	
PS1 bis	Sismica rifrazione								60
PS2 bis	Sismica rifrazione								60
Totale		9	3	4	4	4	5	33	120

* = Campionati in due successive date (30.10.2009 e 13.11.2009)

Le sigle indicano rispettivamente :

Sn = Sondaggio a carotaggio continuo

PSn = Prospezione sismica a rifrazione (onde P)

Svil = Sviluppo lineare in metri

SPT = Standard Penetration Test in unità

CTC = Campione Terreno per Analisi Chimiche in unità

CAC = Campione Acqua per Analisi Chimiche in unità

CRG = Campione rimaneggiato per laboratorio geotecnico in unità

PLEF = Prova Lefranc a carico variabile (CV) o costante (CC) in unità

PLUG = Prova Lugeon in unità

Prof. = Profondità del sondaggio in metri

Per la finalizzazione delle investigazioni nella loro globalità si sono inoltre operati riconoscimenti granulometrici completi di aerometrie con i conseguenti Limiti di Atterberg (per la definizione di LL e di Ip) (dove il passante al setaccio n.200 era > 20 %) e, per le richieste finalità ambientali, si sono operati (cfr. dossier CPG) :

1. 4 suites di analisi chimiche complete su altrettanti campioni di terreno su parametri come da elencazione seguente esclusi diossine, fitofarmaci e furani
2. 1 suite di analisi complete su altrettanti campioni di terreno su parametri come da elencazione seguente compresi diossine, fitofarmaci e furani
3. 1 suite di analisi chimiche complete su altrettanti campioni di acqua su parametri come da elenco seguente esclusi diossine,fitofarmaci e furani
4. 1 suite di analisi chimiche complete su 1 campione di acqua compresi diossine, fitofarmaci e furani

A seguito di u nuovo campionamento (dopo il primo eseguito in data 30.10.2009) in data 13.11.2009 sono stati prelevati (S2bis e S4bis) ulteriori due campioni di acqua (per conferma relativa alla valorizzazione del parametro Mn).

Gli analiti verificati sono di seguito elencati nelle due diverse matrici suolo e acqua :

Suolo :

Antimonio, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo totale ed esavalente, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio,Stagno, Tallio, Vanadio, Zinco, Cianuri liberi, Fluoruri, Benzene, Etilbenzene, Stirene, Toluene, Xilene, Sommatoria organici aromatici , Benzo (a) antracene, Benzo (a) pirene, Benzo (b) fluorantene, Benzo (k) fluorantene, Benzo (g,h,i) perilene, Crisene, Dibenzo(a,e) pirene, Dibenzo (a,i)pirene,

Dibenzo (a,h) pirene, Dibenzo (a,h) antracene, Indenopirene, Sommatoria policiclici aromatici, Clorometano, Diclorometano, triclorometano, Cloruro di Vinile, 1,2 – Dicloroetano, 1,1 – Dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene, 1,1 Dicloroetano, 1,2 – Dicloroetilene, 1,1,1 – tricloroetilene, 1,2 – Dicloropropano, 1,1,2 – Tricloroetano, 1,2,3-Tricloropropano, 1,1,2,2 – Tetracloroetano, Tribromometano, 1,2 – Dibromoetano, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano, Nitrobenzene, 1,2 – Dinitrobenzene, 1,3 – Dinitrobenzene, Cloronitrobenzene, Monoclorobenzene, Diclorobenzeni non cancerogeni, Diclorobenzeni cancerogeni, 1,2,4 – triclorobenzene, 1,2,4,5 – Tetraclorobenzene, Pentaclorobenzene, Esaclorobenzene, Metilfenolo, Fenolo, 2 – cloro fenolo, 2, 4 – diclorofenolo, 2,4,6 – triclorofenolo, Pentaclorofenolo, Anilina, o – anisidina, m,p – Anisidina, Difenilammina, p – Toluidina, Sommatoria ammine aromatiche, PCB, Sommatoria PCDD PCDF , Idrocarburi leggeri C</ = 12, Idrocarburi pesanti C>12, Amianto, Esteri dell'acido ftalico, Alaclor, Aldrin, Atrazina, alfa-esacloroesano, beta – esacloroesano, gamma - esacloroesano, Clordano, DDT-DDD-DDE, Dieldrin, Endrin.

Acqua

Alluminio, Antimonio, Argento, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo totale ed esavalente, Ferro, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Manganese, Tallio, Zinco, Boro, Cianuri liberi, Fluoruri, Nitriti, Solfati, Benzene, Etilbenzene, Stirene, Toluene, para – xilene, Benzo (a) antracene, Benzo (a) pirene, Benzo (b) fluorantene, Benzo (k) fluorantene, Benzo (g,h,i) perilene, Crisene, Dibenzo (a,h) antracene, Indenopirene, Pirene, Sommatoria policiclici aromatici, Clorometano, Triclorometano, Cloruro di Vinile, 1,2 – Dicloroetano, 1,1, Dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene, Esaclorobutadiene, Sommatoria organoalogenati, 1,1 – Dicloroetano, 1,2 – Dicloroetilene, 1,2 – Dicloropropano, 1,1,2 – Tricloroetano, 1,2,3 – Tricloropropano, 1,1,2,2 – Tetracloroetano, Tribromometano, 1,2 – Dibromoetano, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano, Nitrobenzene, 1,2 – Dinitrobenzene, 1,3 – Dinitrobenzene, Cloronitrobenzeni, Monoclorobenzene, 1,2 Diclorobenzene, 1,4 Diclorobenzene, 1,2,4 Triclorobenzene, 1,2,4,5 Tetraclorobenzene, Pentaclorobenzene, Esaclorobenzene, 2 – clorofenolo, 2,4 Diclorofenolo, 2,4,6 Triclorofenolo, Pentaclorofenolo, Anilina, Difenilamina, p – toluidina, Sommatoria PCDD PCDF, PCB , Acrilammide, Idrocarburi totali, Acido para – ftalico, Alaclor, Aldrin, Atrazina, alfa – cloroesano, beta – cloroesano, gamma – esacloro esano, clordano, DDT-DDD-DDE, Dieldrin, Endrin, Sommatoria fitofarmaci.

6. Qualità ambientale di suolo e sottosuolo

Il quadro ambientale emergente dalle verifiche operate risulta perfettamente coerente con il contesto generale territoriale del sito e con la sua storia più recente che ha visto, nel recente passato :

- Attività di sterro e sbancamento del locale assetto vallivo al fine di ottenere una ampia superficie pianeggiante
- Il riposizionamento e la ricollocazione in sito dei materiali sedimentari marnosi, in volumetrie percentualmente maggioritarie e prevalenti, nel contesto delle attività di cui al punto precedente
- il parziale utilizzo dello smarino di elementi rocciosi metamorfici di diversa provenienza (terreni anfibolitico-gneissici-filladico o micascistosi) riconducibili ad opere infrastrutturali locali (in particolare derivanti dalla galleria di bypass dell'abitato di Altare)
- Il posizionamento (con contestuale costruzione in sito) di una canalizzazione sotterranea atta allo smaltimento idoneo delle acque di ruscellamento provenienti dal bacino di monte sotteso

In questa prospettiva devono essere esaminate le risultanze chimiche delle operazioni analitiche svolte sui terreni che hanno messo in evidenza , per i terreni, un generale quadro di totale compatibilità delle valorizzazioni degli analisi esaminati in relazione ai limiti di legge

Si sono invece ottenute valorizzazioni sopra soglia di legge (che si attesta a 50 μg/l) relativamente al **Mn** nelle acque di S2bis con valori di oltre 2000 μg/l nelle due fasi temporali di campionamento avvenute (2150 μg/l per il campione del 30.10.2009 e 2546 μg/l per il campione del 13.11.2009) .

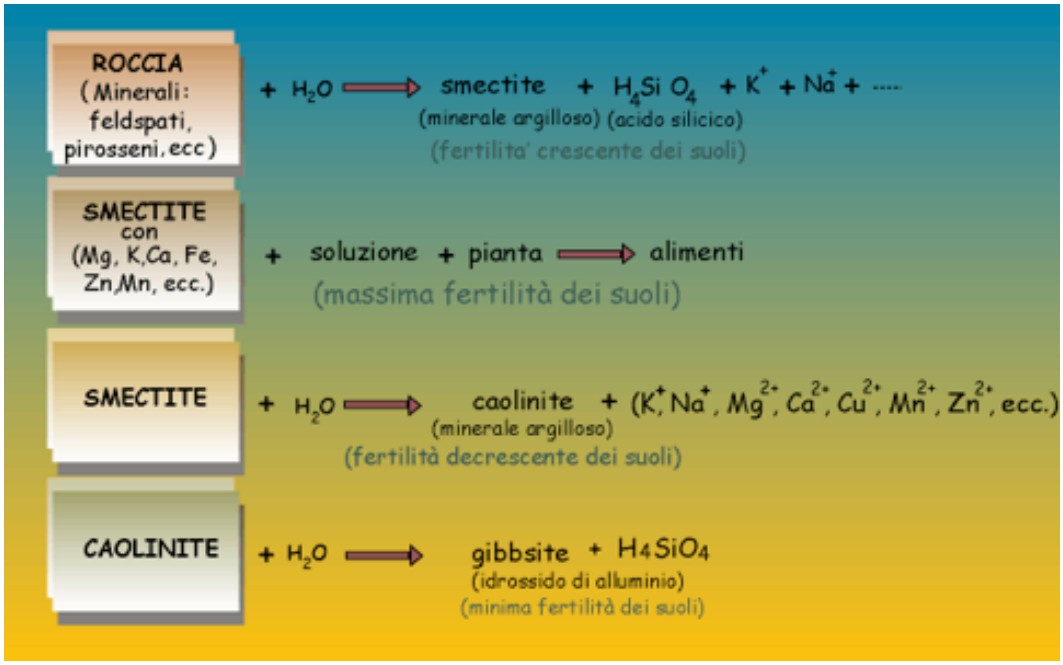
I valori fuori soglia, relativi ad alluminio, antimonio e ferro registrati (vedasi dossier CPG snc) in data 30.10.2009 in S4 bis sono invece poi rientrati successivamente.

Al segnaliamo segnaliamo anche il supero dei valori di norma per $\mathbf{SO_4}$ (in S2bis) per quanto concerne il campione del 30 Ottobre.

Lo studio dei valori di fondo dei metalli pesanti sul territorio ligure è stato recentemente oggetto di uno studio (cfr. Bibliografia) da parte di geologi ARPAL ; proprio da tale elaborato riportiamo testualmente che " Il **Mn** presenta elevati valori di concentrazione laddove sono preponderanti gli affioramenti di litotipi metasedimentari e sedimentari, come nei casi del bacino occidentale del T. Lerone (411.3 –1350 ppm) e della Bormida di Spigno Monferrato (606 – 1476 ppm) " . A tal proposito appare evidente la correlabilità

ottenibile da tale affermazione con la situazione in essere presso l'area delle Pertite caratterizzata, come ampiamente descritto, da litotipi sedimentari. In tal senso va, ad avviso dello scrivente, interpretata la presenza in concentrazioni anomale di **Mn**. Sovente , in letteratura, la geodisponibilità di ioni **Mn** è messa in relazione al processo di caolinizzazione della smectite a seguito di idratazione. La smectite stessa è originata dalla idratazione di rocce metamorfiche contenenti minerali quali miche o feldspati. Un possibile assetto dei processi relativi è evidenziato nella figura successiva .

Fig.2 – Processi di geodisponibilità



Si ritiene, quindi, che , allo stato attuale delle conoscenze, la evidenziata presenza di concentrazioni di **Mn** sopra-soglia di legge sia da ricondurre unicamente a puntuali fenomeni geochimici legati al particolare assetto geologico e stratigrafico locale.

Per quanto concerne il supero inerente i solfati è necessario ricordare come un primo arricchimento in sali minerali, specialmente quelli derivanti dalla alterazione delle argille, avvienga durante l'infiltrazione nei suoli in senso stretto, dai quali queste sostanze vengono lisciviate.

Gli ioni dominanti contenuti nelle soluzioni che derivano da un tale processo sono Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, HCO_3^{-}, $\underline{SO_4^{2-}}$ e Cl^{-} e sono tanto più concentrati quanto più scarse sono le precipitazioni in un anno. Tuttavia, è solo

una volta raggiunto l'acquifero che si determina la vera identità chimico-fisica di un'acqua sotterranea, la quale dipende essenzialmente da alcuni fattori, riassunti dal seguente schema.

Fig.3 – Fattori ed azioni relative alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque ipogee



E' evidente come la composizione chimica di un'acqua sotterranea sia influenzata primariamente dalle caratteristiche litologiche della roccia serbatoio: la concentrazione relativa di anioni e cationi nell'acqua ne determina la cosiddetta facies idrochimica e consente di fare utili considerazioni sui meccanismi di circolazione e sull'idrodinamica degli acquiferi.

Ecco alcuni esempi delle più comuni facies idrochimiche :

Fig. 4 – Facies idrochimiche

Sabbie e Gessi	$SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$
Sabbie e Argille	$Cl^- > SO_4^{2-} > CO_3^{2-} > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$
Calcari e Dolomie	$CO_3^{2-} > Cl^- > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$
Calcari con intercalazioni argillose	$CO_3^{2-} > Cl^- > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$
Calcari, Calcari Dolomitici, Gessi, Ingressioni marine	$CO_3^{2-} > SO_4^{2-} > Cl^- > Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$
Calcari e Calcari Dolomitici	$CO_3^{2-} > SO_4^{2-} > Cl^- > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$

I solfati nelle acque risultano quindi di diversa possibile origine :

- Dissoluzione di gessi o anidriti venuti a contatto con le acque sotterranee.
- Circolazione in acquiferi con contenuto argilloso
- Ossidazione di solfuri (piriti, etc.)

7. Caratterizzazione fisico – meccanica preliminare del sottosuolo

Il presente paragrafo sintetizza le peculiarità geotecniche principali dei terreni locali così come derivanti dall'insieme delle risultanze delle indagini sviluppate.

Essenzialmente, come facilmente evincibile dalle sezioni geologiche interpretative, sono stati individuati due orizzonti geologici di riferimento principale :

- Un livello di copertura di forte variabilità granulometrica costituito da riporti artificiali di potenza massima sino a circa 6.5 m
- Un sottostante orizzonte litoide sedimentario marnoso

Data la semplicità stratigrafica appena descritta, anche da un punto di vista fisico-meccanico e geotecnico il sito in esame può trovare una ulteriore suddivisione in due corrispondenti orizzonti : il primo riferibile alla meccanica dei terreni trattandosi di un orizzonte sciolto eterogeneo ed eterogranulare di materiali riportati, il secondo riferibile alla meccanica delle rocce trattandosi di un bedrock litoide.

La presente relazione non ha valenza progettuale geotecnica (ai sensi del D.M. 14.01.08) ma vuole unicamente rappresentare una prima caratterizzazione generale di riferimento iniziale nell'ottica di un primo supporto alle progettualità future.

In tal senso si provvederà unicamente a fornire alcune delle principali peculiarità dei due orizzonti descritti.

Le risultanze derivanti dalle differenti tecniche di investigazione adottate dovranno, quindi, essere ulteriormente analizzate ed elaborate secondo quanto previsto dalla attuale normativa tecnica in funzione delle differenti tipologie strutturali e classi di intervento edilizio previste nel futuro del sito.

Non si addiverrà evidentemente quindi a parametrizzazioni geotecniche di tipo "caratteristico" o "di progetto" ma unicamente si commenteranno i valori nominali derivabili in prima analisi.

Con riferimento alla copertura detritica superficiale di origine artificiale di seguito si espone la tabella delle risultanze granulometriche ottenute in laboratorio :

Tabella 2 – Valorizzazioni granulometriche in laboratorio geotecnico

Campioni CTG	Prof. m	Ip %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %
S1 bis CR1	1.00-1.50	6.15	2.62	46.42	38.17	12.79
S2 bis CR1	3.00 – 3.40	13.06	0.00	10.28	68.95	20.78
S3 bis CR1	3.00 – 3.40	10.00	0.00	16.21	62.78	21.01
S4 bis CR1	4.00 – 4.50	10.94	0.00	16.99	62.78	20.23

Emerge, dalla sintesi della tabella medesima, la presenza di abbondanti percentuali limose, la sostanziale assenza della frazione ghiaiosa e una equilibrata ripartizione tra frazioni sabbiosa ed argillosa (qust'ultima dell'ordine medio del 20 % quindi significativo anche in ordine agli aspetti chnico – ambientali).

Evidentemente ciò ad ulteriore riprova della locale provenienza dei riporti artificiali (derivanti dalla principale attività di demolizione/sbancamento/detrazione artificiale del locale substrato marnoso che, in termini granulometrici, è riferibili a processi diagenetici coinvolgenti sedimenti siltosi – argillosi).

Identicamente anche i valori dell'Indice di Plasticità Ip sono mediamente bassi (minimo 6.15 e massimo 13.06).

Alcune prime considerazioni inerenti la resistenza al taglio possono derivare dalla analisi della seguente tabella riportante i valori Nspt ottenuti dalle prove tipo Standard Penetration Test effettuate in avanzamento.

I valori minimi registrati sono di Nspt = 22 -23 con valore massimo di 47.

La determinabilità di Dr% e angolo di resistenza al taglio su base SPT ($N_1$60) è riportata in coda al testo in Appendice 1.

Come si può qui dedurre con immediatezza per valori di ($N_1$60) medi intorno a valori di riferimento di 22 – 25 0 per terreni NC o lievemente sovraconsoldati si ottengono valori di Dr(%) dell'ordine del 55% - 60% con un intervallo di riferimento per l'angolo di attrito interno compreso tra 30° e 32°.

Ricordiamo peraltro che il citato diagramma è riferibile alle sabbie o alle sabbie-limose (deve quindi essere ritenuto indicativo nel nostro caso vista la già significativa prevalenza limosa).

Appare quindi del tutto evidente che tale indicazione appare attendibile per una frazione importante dei terreni sciolti di copertura ma che, certamente, livelli caratterizzati da angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate inferiore non sono assenti così come per i livelli francamente ghiaiosi o sabbioso-ghiaiosi è possibile avere valori anche > 40°.

Di seguito, in tabella 4, è invece presentato un quadro sinottico di alcuni parametri geotecnici e fisico – meccanici di riferimento :

Tabella 3 - Valorizzazioni di alcuni parametri geotecnici e fisico - meccanici

Orizzonti geotecnici	**N_{SPT} (n°) Intervallo**	**ϕ' ° Da SPT Intervallo**	**D_r % max**	**RQD % Intervallo Di riferimento**	**UCS Unconfined Compression Strenght MPa (da letteratura) intervallo**	**K m/s intervallo**	**Vp Intervallo m/s**
Riporti	22 - 47	28° - 40°	55 – 60			10^{-4}	400 - 800
Sound bedrock				40 - 100	10 – 30 MPa	10^{-7}	2000 - 3300

In relazione al substrato sano (sound bedrock) dotato dei valori parametrici sopraripportati in condizioni medie di RQD nella porzione percentuale più elevata (90 %) (ovvero la più frequente nei logs stratigrafici dei sondaggi eseguiti) e in relazione alla nulla fratturazione (data la prevalenza di giunti chiusi o molto chiusi) , all'assenza di infiltrazione idrica, è ragionevole indicativamente porre l'ammasso roccioso marnoso di riferimento nella classe III° secondo il criterio RMR (Rock Mass Rating) (intervallo 41 – 60) con un intervallo di riferimento per la coesione di 200 – 300 kPa e di 25° - 35° per l'angolo di attrito di picco.

il profilo del sottosuolo specifico locale, in prospettiva sismica, è individuabile mediamente nella categoria A ovvero E secondo la tabella riportata in figura 5.

E' ragionevole infatti porre una valorizzazione media della velocità delle onde di taglio per il substrato marnoso sano (con velocità media delle onde di compressione compresa tra 2000-2200 m/s e circa 3000 m/s) certamente > o = 800 m/s mentre, per gli spessori di riporto, localmente individuiamo coperture i anche > 3.00 m (ricordiamo che la valorizzazione della velocità delle onde di taglio - derivate da una prova Down – Hole - realizzata in ambito limitrofo ha permesso di individuare un intervallo di riferimento di 200 – 300 m/s per i riporti).

Fig.5 – Classificazione dei terreni in prospettiva sismica

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

8. Conclusioni

A conclusione del presente documento è possibile formulare le seguenti considerazioni finali :

- E' stato approntato e condotto uno studio geologico ambientale finalizzato alla caratterizzazione del sito sotto il profilo della qualità delle matrici suolo e acqua
- Finalità integrativa è stata quella di fornire indicazioni preliminari anche sugli aspetti geotecnici preliminari di interesse generale
- E' stata operata una approfondita campagna geognostica e in laboratorio finalizzata ad illuminare sia gli aspetti ambientali che quelli geotecnici (mediante sondaggi a carotaggio continuo, piezometri, campionamento di terreni e acque, sismica a rifrazione, prove e test di laboratorio)
- L'assetto stratigrafico locale è caratterizzato dalla presenza di un bedrock marnoso di bassa permeabilità coperto da una coltre di riporti artificiali di potenza variabile rappresentati in larga maggioranza dallo smarino/demolizione/detrizione del medesimo substrato citato al fine di ottenere un livellamento del terreno
- Tali attività antropiche si sono realizzate nel corso degli ultimi venti anni

- Si sono individuati, a riguardo della matrice acqua, anomale concentrazioni di Mn e SO_4 nel piezometro S2bis
- Tale anomale concentrazioni (oltre le soglie di legge) , comuni peraltro anche ad altri ambiti territoriali liguri, sono state ricollegate al fondo naturale sedimentario (come peraltro recentemente ipotizzato anche da uno studio effettuato da ARPAL cfr. bibliografia)
- Non si sono identificate diverse e ulteriori anomalie chimiche nelle matrici suolo e acqua che inibiscano il futuro utilizzo a fini industriali dell'area.
- La compatibilità della medesima è confermata anche sotto l'aspetto idraulico secondo lo strumento di pianificazione territoriale di riferimento (PAI).

Vado Ligure, 14 Dicembre 2009

Diego Minuto – Geologo

Allegati f.t : Tavola 1 (Carta geologico-geomorfologica con ubicazione delle indagini geognostiche)

Tavola 2 (Sezioni geologiche interpretative)

Westgeo D.Minuto & Associati
Vado Ligure (SV)
Via Verdi 6
westgeominuto@ katamail.com

Bibliografia :

AA.VV.

Guide Geologiche Regionali - Alpi Liguri - BEMA editrice 1994

AA.VV

Carta Geologica d'Italia 1/100.000 - Fg. Ceva (fonte www.isprambiente.it)

Bell F.G.,

Geologia Ambientale (teoria e pratica). Zanichelli Bologna, 2001

Bieniawski Z.T

Engineering Rock Mass Classification Wiley & Sons, NY; 1989

Cortesogno L, Palenzona A.

Le nostre rocce Sagep Editrice 1986

Dotti N. Beccaris G.

Proposta di metodologia per la determinazione del

fondo naturale ed esempio applicativo

ARPAL – Liguria

Hunt R.E

Geotechnical Engineering Investigation Handbook

Taylor & Francis 2005

Mitchell et al.

The measurement of soil properties in situ present methods –

their applicability and potential

Us Dept.of Energy Report, University of California at Berkeley 1978

O'Neill P .

Environmental Chemistry. G. Allen & Unwin, London, 1985

Peck R.B et alii

Foundation Engineering, Wiley & Sons, NY 1953

Stefanini G.

Aspetti idrogeologici della Valle Bormida tra Bistagno e Terzo – Tesi di Laurea – Genova 1989

Stroud M.A (1989)

The SPT – its application and interpretation

Proc.ICE Conference on Penetration Testing in the UK

Telford Editor - UK

Skempton A (1986)

SPT procedures and the effects in sands of overburden

pressure, relative density, particle size, ageing, and overconsolidation

Geotechnique 36,3, 425-47

Appendice 1

Peck et al (1974)

