Variante alla SS n. 1 Aurelia (Aurelia bis) - Viabilità di accesso all'hub portuale di La Spezia,iInterconnessione tra i caselli della A-12 ed il Porto di La Spezia
Progetto esecutivo

ALLEGATO AL PIANO DI UTILIZZO MATERIALI DI SCAVO

NOTA TECNICA

GEOLOGIA DEI SUOLI E IDONEITA'AL RIUTILIZZO



INDICE

1. PREMESSA. 1

2. INQUADRAMENTO FISIOGRAFICO. 2

3. INQUADRAMENTO GENERALE. 3

4. STRATIGRAFIA DELL'AREA. 4

5. DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI. 5

5.1 SUCCESSIONE METAMORFICA DI PUNTA BIANCA 5
5.2 FALDA TOSCANA. 6
5.3 UNITÀ TETTONICA DI CANETOLO (DOMINIO SUB-LIGURE) 9
5.4 UNITÀ TETTONICA DEL MONTE GOTTERO (*DOMINIO LIGURE INTERNO)* 11
5.5 DEPOSITI QUATERNARI 13

6. ANALISI DEI MATERIALI DA SCAVARE 15

7. LEGENDA FORMAZIONALE E LITOLOGICA 23

8. TABELLE RIASSUNTIVE PUNTI DI CAMPIONAMENTO 25

1. PREMESSA.

Il presente elaborato costituisce l'allegato della pratica di gestione delle terre e rocce da scavo nella quale sono riportati i risultati delle specifiche analisi chimiche di laboratorio. In tale nota vengono evidenziati i principali elementi geologici con particolare riferimento alla stratigrafia dell'area, alle litologie presenti ed ai risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni prelevati preliminarmente alla realizzazione delle opere.

I campionamenti eseguiti in fase preliminare rispetto agli interventi di scavo, sono stati eseguiti per mezzo di escavatori meccanici e sono sempre relativi a livelli di terreno posti tra 2 e 3 metri di profondità.

I risultati delle analisi chimiche descritti nel presente elaborato e relativi a campionamenti effettuati prima degli interventi di scavo, non risultando in numero particolarmente elevato verranno integrati con le analisi chimiche relative ai campionamenti eseguiti in corso d'opera.

Si ricorda che di tali risultati vengono presi in considerazione i valori appartenenti alla colonna "Valore 2" che sono determinati riferendosi alla totalità dei materiali secchi comprensiva anche dello scheletro. Tali valori vengono messi in confronto con quelli riportati nella tabella 1 dell'allegato 5 al Titolo V Parte IV del Dec. Leg. 152/2006.

Tale nota viene redatta sulla base della Relazione Geologica prodotta nell'ambito del precedente Progetto Esecutivo nel Marzo 2011 dalla quale vengono tratti tutti gli aspetti geologici e stratigrafici generali dell'area.

2. INQUADRAMENTO FISIOGRAFICO.

La zona di studio si estende a nord – nord est della città di La Spezia.

A piccola scala essa occupa un settore della parte settentrionale dell'unità fisiografica che corrisponde al promontorio orientale di La Spezia. Esso, come sarà dettagliatamente descritto in seguito, è caratterizzato largamente da litotipi carbonatici nella parte meridionale e principalmente da litotipi arenaceo-pelitici nella parte settentrionale. Strutturalmente si tratta di una blanda antiforme asimmetrica. Verso nord-ovest, immediatamente a nord dell'area di nostro interesse, il promontorio orientale prosegue nella dorsale di Polveraia, dove affiorano estesamente i litotipi arenacei ed in particolare le Arenarie di Monte Gottero. La morfologia è generalmente uniforme costituita da dorsali a profilo arrotondato e valli moderatamente incise.

Si tratta quindi di una morfologia collinare con le quote che variano da pochi metri s.l.m. nella zona di Melara, a circa 150 metri s.l.m. a sud di Pastine, nel versante a monte dell'Ospedale. Chiaramente questo intervallo di quote riguarda un intorno limitato del tracciato stradale in progetto. Infatti spostandosi verso nord le quote raggiungono circa i 350 m s.l.m. in corrispondenza di Monte Albano per aumentare ulteriormente a nord-est di quest'ultimo.

In generale i versanti sono mediamente inclinati e solo in prossimità di alcune vallecole raggiungono pendenze elevate.

3. INQUADRAMENTO GENERALE.

I monti della Spezia, con i quali termina l'alta costa ligure, sono costituiti da due poderosi promontori allungati in direzione NW-SE ed occupano una posizione particolare della complessa catena dell'Appennino settentrionale essendo ubicati lungo l'area costiera tirrenica, una "zona interna" relativamente al trasporto tettonico principale. In mezzo ad essi, chiuso a nord da altri rilievi, si trova il golfo di La Spezia.

L'Appennino settentrionale è una catena a falde derivata dalla deformazione terziaria di un settore del paleomargine continentale della microplacca adriatica prospiciente l'oceano Ligure-Piemontese. Procedendo lungo una trasversale dell'Appennino, dall'interno verso l'esterno della catena (da ovest verso est), vengono distinti vari domini paleogeografici tra i quali quelli che si riscontrano nella zona di studio sono i seguenti:

- Il Dominio Ligure è rappresentato da varie Unità Tettoniche, i cui depositi comprendono relitti di basamento oceanico e la relativa copertura sedimentaria. Le Unità Liguri si suddividono in due grandi gruppi: il Ligure Interno ed il Ligure Esterno. Le Unità del primo gruppo hanno un carattere tipicamente oceanico, mentre le seconde passano da caratteri di transizione oceano – continente (quelle occidentali), a caratteri puramente continentali (quelle orientali).
- Il Dominio Subligure, documentato dall'Unità di Canetolo, è una successione sedimentaria profondamente tettonizzata che, pur presentando molti problemi interpretativi, sembrerebbe essere sedimentata in una zona di transizione tra la crosta oceanica ligure e il margine passivo adriatico.
- Il Dominio Toscano è rappresentato dalla Falda Toscana con termini di età variabile dal Trias superiore all'Oligocene superiore mentre non sono qui presenti i termini metamorfici. La successione mostra l'evoluzione del margine continentale passivo della placca Adria.

In ordine di sovrapposizione geometrica dal basso verso l'alto, le formazioni che affiorano sono riferibili alle Unità tettoniche appartenenti al Dominio Toscano Interno, al Dominio Subligure ed a quello Ligure (*Figura 1*).

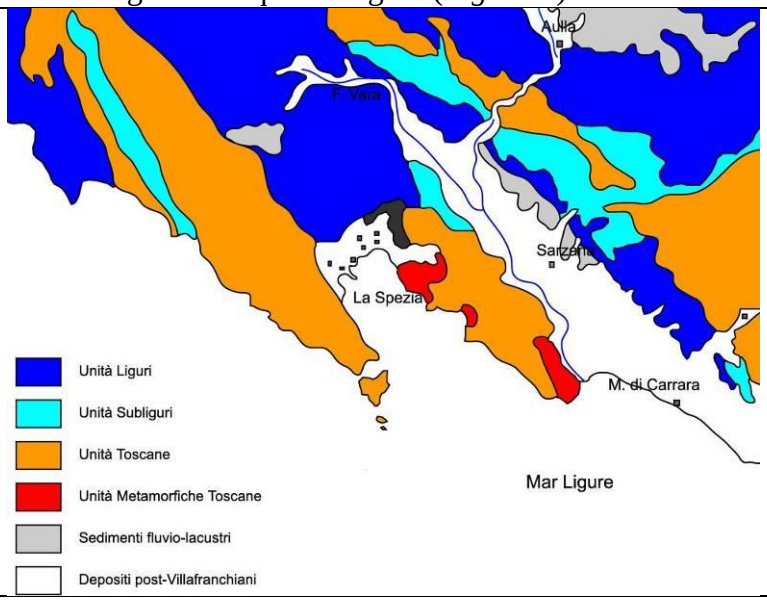


Figura 1 - *Inquadramento geologico regionale.*

4. STRATIGRAFIA DELL'AREA.

Saranno di seguito elencate le Unità tettoniche e le formazioni ad esse appartenenti iniziando da quelle geometricamente soprastanti:

- *Depositi Quaternari:*
  Detriti di versanti e coltri eluvio-colluviali;
  Alluvioni terrazzate;

- *Unità tettonica del Monte Gottero (Dominio Ligure Interno):*
  Arenarie di Monte Gottero;

- *Unità tettonica di Canetolo (Dominio Sub-Ligure):*
  Argille e Calcari di Canetolo;
  Arenarie di Ponte Bratica;

- *Falda Toscana (Dominio Toscano):*
  Macigno;
  Calcare Cavernoso;

- *Successione metamorfica di Punta Bianca:*
  Gruppo del Verrucano – Quarziti e filladi.

5. DESCRIZIONE LITOLOGICA DELLE FORMAZIONI.

Saranno di seguito descritti i litotipi delle varie formazioni iniziando da quelli geometricamente più bassi.

5.1 Successione metamorfica di Punta Bianca

La successione metamorfica di Punta Bianca (Unità di Punta Bianca, Ciarapica et al., 1985), la cui potenza complessiva supera i 280 m, è stata suddivisa dai precedenti autori in tre parti che sono state elevate anche a rango di unità litostratigrafiche e che dal basso sono: le rocce paleozoiche del basamento già deformate dall'orogenesi ercinica, il ciclo sedimentario medio-triassico (Gruppo di Punta Bianca, Passeri, 1985) e la porzione basale del ciclo sedimentario alpino (Passeri, 1985) che è correlabile su scala regionale al gruppo del Verrucano (Tongiorgi et al., 1977). Il gruppo del Verrucano è l'unico che è rappresentato nella zona di nostro interesse.

GRUPPO DEL VERRUCANO – QUARZITI E FILLADI

Sono rappresentati da quarziti a grana da medio-grossolana a fine, generalmente piuttosto cernite e di color grigio e grigio rosato, in strati di spessore centimetrico-decimetrico (max 70-80 cm) e con geometrie piano parallele alla scala degli affioramenti (*figura 2-3*). Strati con base grossolana (fino ad anageniti minute) e manifestamente erosiva, possono essere localmente presenti come intercalazioni specie nella parte medio bassa dell'unità. Sono presenti interstrati metasiltitici che localmente possono formare anche dei corpi essenzialmente pelitici dello spessore fino ad alcuni metri (*figura 4*). Gli strati quarzitici, la porzione superiore dei quali può risultare verdastra-arrossata, mostrano localmente laminazioni piano-parallele ed incrociate. Lo spessore complessivo di questa unità non è facilmente valutabile a causa delle frequenti laminazioni tettoniche che interessano il tetto e per deformazioni plicative polifasiche (Abbate et al., 2005). Il contatto con il soprastante Calcare Cavernoso è di natura tettonica. L'attribuzione cronologica viene riferita al Carnico.



2



3

Figura 2-3 - Affioramento di Verrucano in corrispondenza della scarpata di fronte alla fermata ferroviaria Ca di Boschetti. Nella foto 2 sono ben visibili i livelli centimetrici che caratterizzano questa formazione mentre la foto 3 è un particolare delle quarziti.



Figura 4 - Affioramento di Verrucano immediatamente a nord del Mattatoio Civico in cui prevale nettamente la componente pelitica che raggiunge uno spessore metrico.

5.2 Falda Toscana.

La Falda Toscana appartiene al Dominio Toscano. Si tratta di potenti successioni affioranti estesamente nell'Appennino settentrionale, originarie del margine continentale africano (Adria) della Tetide. In seguito alla collisione con il margine continentale europeo, queste successioni son state smembrate in unità tettoniche sovrapposte che nell'area sono rappresentate dalla Falda Toscana e dalla sottostante successione Metamorfica di Punta Bianca. Lungo il contatto tra queste due successioni è segnalato un livello, spesso al massimo poche decine di metri, di brecce poligeniche (Abbate et al., 2005) che però non è stato rilevato nell'area di studio. Esse sono interpretate come brecce tettoniche e delimiterebbero pertanto la base della Falda Toscana rispetto alla sottostante successione metamorfica.

CALCARE CAVERNOSO

Il Calcare Cavernoso è un calcare dolomitico che proviene dall'evoluzione epidiagenetica della Formazione Anidritica di Burano (successione evaporitico dolomitica di età Triassica). In affioramento questa formazione é costituita da un'alternanza di calcari e calcari dolomitici di colore generalmente grigio, in banchi da decimetrici a metrici (*figura 5-6*).

Nonostante i processi di alterazione e soluzione che caratterizzano generalmente questi litotipi si sono spesso preservate le originarie strutture sedimentarie così che è talvolta possibile apprezzare la stratificazione.

Generalmente il Calcare Cavernoso è caratterizzato da un'intensa fratturazione che deriva dall'elevato stress tettonico. Questa condizione è predisponente per l'innesco di fenomeni di natura carsica che sono segnalati nella piana di La Spezia ma dei quali non sono stati riscontrati indizi durante il rilevamento di superficie nella zona in studio.

Abete et al. (2005) si riferiscono al Calcare Cavernoso come alle "brecce di Maralunga", ovvero una breccia tettonica interposta tra la Falda Toscana e la Successione metamorfica di Punta Bianca. Essi descrivono un'alternanza di brecce, sia massive che vacuolari, entrambe con clasti esclusivamente carbonatici e con aree dolomitiche pulverulenti grigio cenere, di calcari grigio scuri e calcari dolomitici grigio chiari massivi con estese aree

carnificate in modo pervasivo, e di brecce carbonatiche con presenza di marne giallastre. L'età della formazione è riferita al Norico – Retico.



5



6

***Figura 5-6** - Affioramento di Calcare Cavernoso lungo la strada a sud di S. Venerio.*
Si osservano strati di calcare e calcare dolomitico con spessore variabile decimetrico, fino ad un massimo di 1-1,5 m. Talvolta lo spessore degli strati varia anche lateralmente assumendo andamento lentiforme come si osserva in foto 13.
Ai livelli litoidi calcarei si alternano talvolta livelli con spessore decimetrico meno massivi e caratterizzati da materiale pelitico che mostra la caratteristica disgregazione prismatica (figura 6). Il grado di fratturazione è medio-alto.

MACIGNO

Si tratta di strati torbiditici da sottili a molto potenti. Prevalgono arenarie medie o grossolane, talora con superfici basali erosive. Le varie litofacies possono sia intercalarsi reciprocamente in varia misura che caratterizzare ampie porzioni dello spessore totale del Macigno dando luogo, pertanto, a spessi corpi con apprezzabile continuità laterale.
La litofacies più comune è quella che in letteratura è chiamata "litofacies delle Arenarie Zonate" (Abbate et al., 2005). Essa è caratterizzata dalla peculiare zonatura dovuta all'alternanza di arenarie medio-fini e siltiti in strati da decimetrici a centimetrici avana o grigi, e siltiti argillitiche grigio scure (*figura 7-8*). Il rapporto arenaria/pelite è in genere compreso tra 1/3 e 1/10.
Secondaria è la litofacies pelitico-siltosa costituita da argilliti e argilliti-siltose grigie, grigio-chiare quando alterate, in strati da centimetrici a decimetrici con fatturazione

preferenziale in frammenti prismatici allungati o appiattiti. Talvolta è presente anche una litofacies marnoso-siltosa costituita da torbiditi arenaceo calcaree da fini a molto fini, passanti a peliti siltose-marnose a marnose, avana se alterate e grigie in frattura fresca. Generalmente questa litofacies si ritrova in strati isolati intercalati nel Macigno.
La formazione del Macigno passa superiormente con contatto tettonico alla Formazione delle Argille e calcari di Canetolo e inferiormente alla Formazione del Calcare cavernoso con un contatto la cui natura non è chiara. Dall'elevata tettonizzazione subita deriva l'alto grado di fatturazione che generalmente caratterizza questa formazione. Il Macigno è attribuito all'Oligocene Superiore.



7

Figura 7-8 *- Affioramenti di macigno in corrispondenza dell'imbocco meridionale della galleria Felettino III, immediatamente a nord della ex-fornace. La litofacies tipica del Macigno è qui rappresentata dall'alternanza di livelletti, di spessore da millimetrico a centimetrino, di marne-argillose e*



8

arenarie fini. La componente pelitica è caratterizzata dalla tipica disgregazione prismatica. Solo sporadicamente la componente arenacea è organizzata in livelli più o meno massivi dello spessore massimo osservato di 1-1,5 m. Sono inoltre talora presenti livelletti decimetrici di marne calcaree di color grigio chiaro. Generalmente il macigno si presenta ben stratificato e molto fratturato.

5.3 Unità tettonica di Canetolo (Dominio Sub-Ligure)

Questa Unità appartiene al Dominio Sub-Ligure, tettonicamente sovrapposto a quello Toscano, il quale è costituito prevalentemente da argilliti e calcari con assetto spesso scompaginato nei quali sono intercalati, con contatto generalmente tettonizzato, livelli di arenaria (Arenarie di Ponte Bratica). Lo spessore è molto variabile.

A causa delle notevoli complicazioni tettoniche, l'Unità Tettonica di Canetolo ha un assetto stratigrafico di difficile interpretazione, almeno a scala locale. Infatti, in linea generale, si può affermare che è rappresentato prevalentemente dalle *Argilliti e Calcari di Canetolo* e nella parte più alta di esse sono ricorrenti le intercalazioni di *Arenarie di Ponte Bratica*. I contatti tra le unità sono tettonizzati, ma non è da escludere che alcuni di essi in origine fossero stratigrafici. E' possibile infatti che, come segnalato in altre parti dell'Appennino settentrionale, Plesi et al., 1993), le *Arenarie di Ponte Bratica* poggino con contatto stratigrafico discordante sulle *Argille e Calcari di Canetolo* (Vescovi, 1998).

ARENARIE DI PONTE BRATICA

Si tratta di arenarie torbiditiche, micacee a granulometria medio-fine, grigio-verdi, costituite da un'alternanza di arenarie fini e siltiti in strati spessi mediamente 15-20 cm (raramente superano i 50 cm) (*figura 9*). Molto frequenti sono le intercalazioni di siltiti marnose e argilliti siltose grigio-chiario o avana, spessi in genere sui 5-20 cm, mentre

sono rari gli strati calcarenitici generalmente alterati. Molto spesso appaiono alterate, friabili e porose, di colorazione dal giallo ocra al marrone.



Figura 9 *- Facies tipica delle Arenarie di Ponte Bratica costituite da livelli centimetrici di arenarie fini alternate a siltiti marnose*.

ARGILLITI E CALCARI DI CANETOLO

Si tratta di argilliti da fissili a massive scure, talora leggermente carbonatiche, generalmente nere, alle quali si intercalano frequenti torbiditi calcareo marnose di colore grigio chiaro o verdastre e torbiditi siltoso arenacee. Localmente la componente calcarea può divenire preponderante (*figura 10*) e comunque si segnala una elevata variabilità laterale sia degli spessori che delle litofacies. Il rilevamento di campagna ha permesso di riscontrare un notevole aumento della componente litoide calcarea sia nel rilievo in corrispondenza del futuro "Viadotto San Venerio I" che lungo i fossi a valle dell'ospedale e del futuro svincolo di Buonviaggio.

Generalmente questa formazione si presenta molto tettonizzata ed i livelli più competenti mostrano frequentemente un boudinage accentuato. Lo spessore massimo dell'unità è segnalato essere dell'ordine dei 250 metri (Abbate et al., 2005). L'elevata tettonizzazione di questa unità permette solamente di ipotizzare che sue parti siano collegate stratigraficamente con le porzioni oligoceniche e/o paleoceniche dell'unità tettonica di Canetolo suggerendo di attribuire a tutto il Paleogene le "Argille e calcari di Canetolo" (Abbate et al., 2005).



Figura 10- Affioramento circa in corrispondenza del futuro "viadotto S. Venerio I". In questo affioramento predominano i livelli calcarei rispetto alle argille. Lo spessore degli strati varia da centimetrino a decimetrico. Si osserva come il colore in frattura fresca e grigio-nero mentre quello di alterazione è marrone.

5.4 Unità tettonica del Monte Gottero (*Dominio ligure Interno*)

ARENARIE DI MONTE GOTTERO

Si tratta di depositi torbiditici in strati che talora sono segnalati raggiungere i 7 metri di spessore soprattutto nella parte alta della formazione. Lo spessore degli strati non rimane sempre costante ma può variare lateralmente. Si possono distinguere due litofacies prevalenti: quella più ricorrente è quella arenaceo-pelitica che in molti casi caratterizza da sola ampie porzioni della formazione; l'altra è prevalentemente pelitica ed è subordinata alla precedente. La prima è caratterizzata da strati di spessore medio dell'ordine dei 30 cm e solo raramente maggiore di 1-2 metri con un rapporto arenite/pelite prossimo a 1 (*Figura 11*). Questa facies sembra caratterizzare la parte alta della Formazione delle Arenarie di Monte Gottero con prevalenza locale dell'una o dell'altra componente. Quella arenacea (generalmente a granulometria da grossolana a medio-fine con rari livelli basali microconglomeratici localmente origina pareti di altezza plurimetrica.

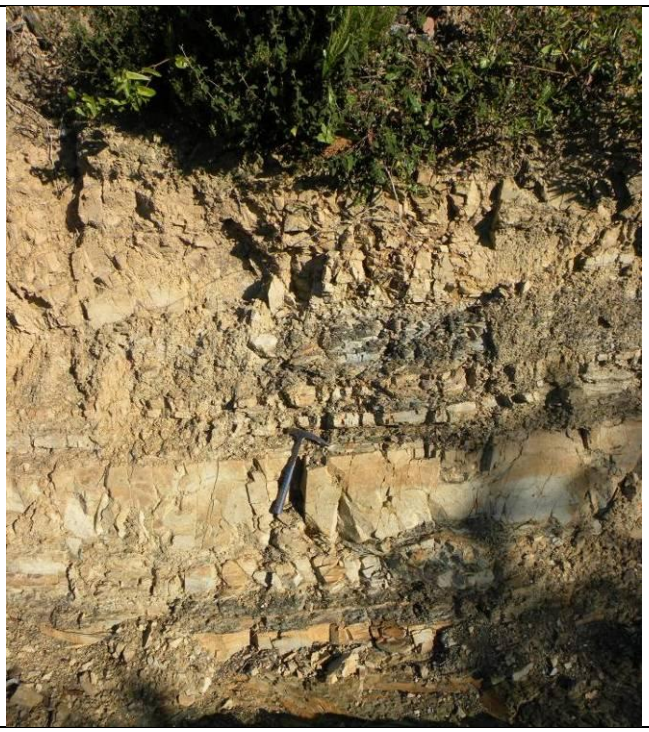


Figura 11*- Affioramento della formazione delle Arenarie di Monte Gottero lungo la strada sul versante a nord dell'Ospedale. E' evidente l'alternanza di livelli pelitici con livelli arenitici il cui spessore varia da pochi centimetri ad un massimo di 30 – 40. Il colore nerastro dei livelli pelitici è dovuto alla presenza di patine di manganese. Sia lo spessore degli strati arenacei che la componente arenacea aumentano verso la parte alta della formazione*

La litofacies pelitica è invece *argillitica* costituita da argilliti verdi, grigio scure o rosse, generalmente fissili e con frequenti patine manganesifere spesso con intenso clivaggio, alternate a strati da centimetrici a decimetrici di siltiti, areniti quarzose e marne chiare (*Figura 12*). Raramente sono inoltre presenti livelli di argilliti ed argilliti marnose rosse massive o poco stratificate. La facies pelitica sembra prevalere nella parte basale della Formazione, in prossimità del contatto con la Formazione delle Argille e Calcari di Canetolo. Gli sbancamenti realizzati sia in corrispondenza del futuro svincolo di Buonviaggio che lungo la valle che corre immediatamente ad ovest dell'ospedale e che sarà intercettata dalla Galleria naturale Pellizzarda, hanno permesso di verificare come la parte bassa di tutto il versante sia interessata dall'affioramento delle facies argillitica. Frequenti sono le lenti sedimentarie arenacee nelle zone a frazione pelitica degli strati più potenti.
L'attribuzione cronologica riferisce questa Formazione al Campaniano Sup – Paleocene Inf. (Marroni e Perilli, 1990).



Figura 12 *- Affioramento della Formazione delle Arenarie di Monte Gottero lungo la valle ad ovest dell'ospedale. Strati decimetrici di arenarie alternati alle argilliti.*

5.5 Depositi Quaternari

I depositi quaternari comprendono gran parte dei sedimenti attuali e quelli che li hanno preceduti in tempi relativamente recenti. Essi comprendono depositi di versante e depositi alluvionali terrazzati.

DETRITI DI VERSANTI E COLTRI ELUVIO-COLLUVIALI

Si tratta di coperture detritiche che derivano principalmente dall'alterazione in situ e che successivamente possono avere subito un trasporto molto limitato ad opera dei processi di versante (*figura 13)*. Generalmente sono costituite da clasti eterometrici di varia natura immersi in matrice pelitica e/o sabbiosa. Lo spessore generalmente è dell'ordine di pochi metri.



Figura 13- *Affioramento in corrispondenza del quale è possibile osservare il contatto discordante tra i detriti di versante ed il substrato. Il colore scuro del materiale detritico deriva dal maggior contenuto di acqua.*

6. ANALISI DEI MATERIALI DA SCAVARE

Di seguito saranno descritti, a partire dalla terminazione occidentale, i diversi terreni che dovranno essere scavati nell'ambito degli interventi previsti. Per ogni specifico tratto (gallerie naturale, gallerie artificiale, perforazioni per fondazioni, scavi per opere varie) verrà indicata la formazione di appartenenza con particolare riferimento alla specifica litologia, la natura del terreno e l'idoneità per i diversi tipi di riutilizzo.

Per ciò che riguarda la formazione e le relative suddivisioni litologiche, al termine della descrizione dei vari tratti di scavo, viene riportata una legenda esplicativa.

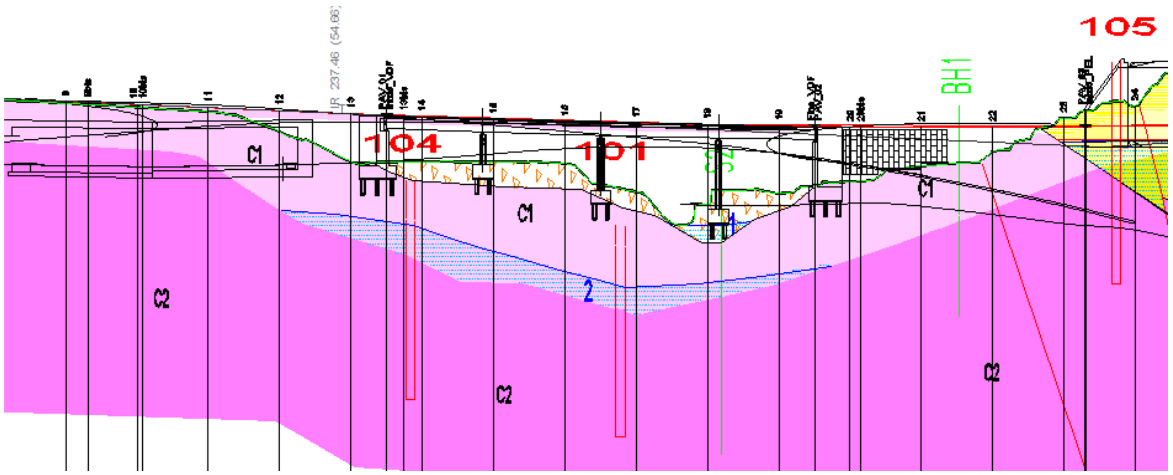
Per ricavare tutti gli elementi sopra descritti vengono riviste e rielaborate tutte le indagini eseguite nei vari studi e progetti precedenti; sono stati perciò utilizzati le prove in sito e di laboratorio del 2001 integrate con quelle del 2007 nell'ambito del progetto definitivo e tutte le indagini eseguite nel 2010 per la redazione del progetto esecutivo. La gran parte delle elaborazioni di tali prove sono utilizzate per la redazione del profilo geotecnico del progetto esecutivo, che perciò rappresenta l'elaborato di base da cui ricavare le principali caratteristiche dei diversi litotipi soggetti alla escavazione.

I dati ricavati dal profilo geotecnico sono poi stati integrati e soprattutto verificati con i risultati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite in corso d'opera. Per ciò che riguarda la stima della permeabilità vengono utilizzati, dove esistenti, i dati ricavati da prove di portata eseguite in alcuni pozzi realizzati nell'ambito del progetto esecutivo. Per tale parametro, l'esecuzione delle prove di laboratorio eseguite in corso d'opera, risultano poco attendibili essendo riferite a provini derivanti da materiali scavati, poi ricostruiti e comunque non significati per una scala ampia come quella di un acquifero .

Via del Forno

Gli scavi previsti per il viadotto incontreranno esclusivamente la Formazione delle Argilliti e Calcari di Canetolo. Con le fondazioni profonde il materiale da scavare sarà costituito da argille e calcari allentate e sciolte (C1) e dai livelli delle arglliti e calcari compatti (C2) con la parte litoide fratturata (RQD 10%). In particolare si tratta di marne siltose con subordinati calcari siltosi.

Tali materiali risulteranno relativamente idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti; la non completa idoneità può essere legata alla frazione limosa-argillosa che localmente potrà raggiungere il 20 %.



Zona Via del Forno

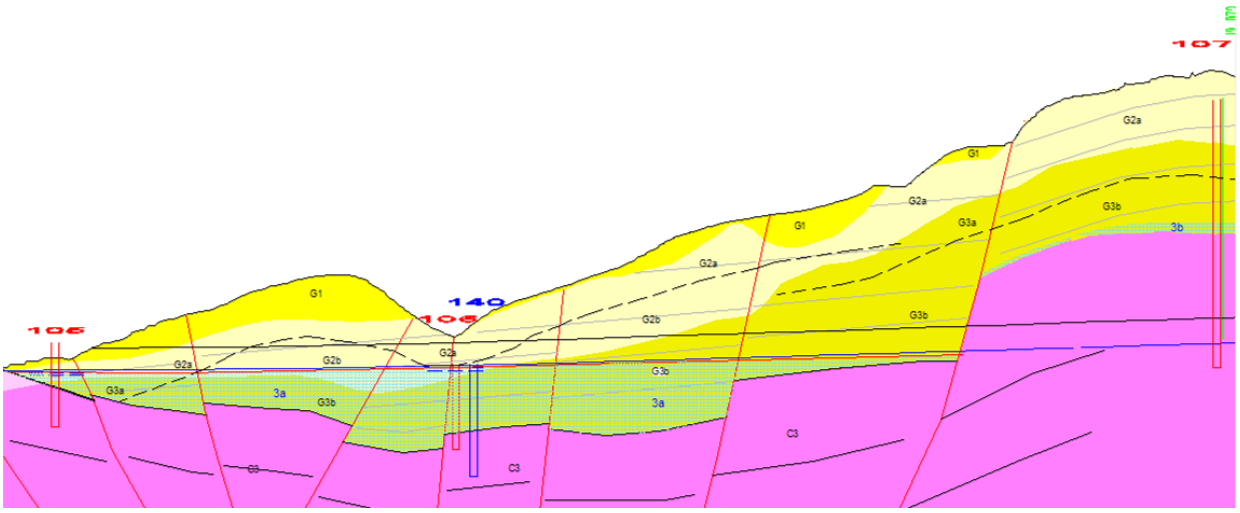
Galleria Naturale Pellizzarda

La Galleria Pellizzarda attraverserà in un primo tratto (fino circa la progressiva 0+660 km) la formazione delle Arenarie di Monte Gottero con particolare riferimento al litotipo allentato (G2) costituito dal 30-40 % di limi sabbiosi con clasti e dalle rimanente parte da livelli marnoso arenacei relativamente fratturati (RQD 20-40%) in matrice limoso sabbiosa; oltre 0+660 km si trovano i livelli compatti (G3) fino alla progressiva 0+780 km per i quali si prevede una diminuzione dei limi sabbiosi ed un aumento livelli marnosi comunque fratturati (RQD 20-40%). Tali materiali, che presentano una permeabilità medio-alta (con valori di circa 10^{-5} m/sec), risulteranno idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti.

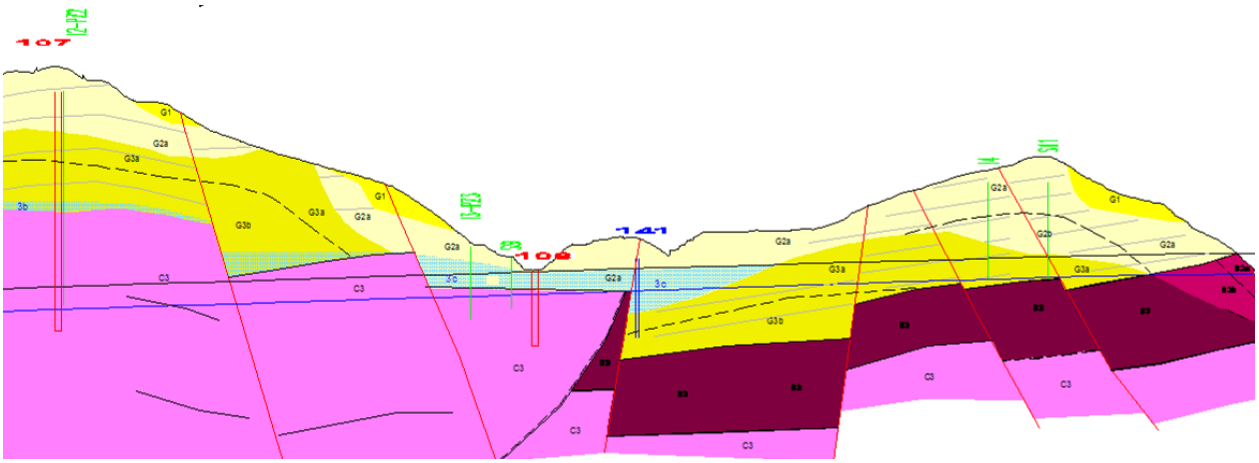
Successivamente attraverso un contatto per faglia lo scavo della galleria incontra la formazione delle Argilliti e Calcari di Canetolo compatte (C3) (fino circa la progressiva 1+030 km); e dai livelli delle argilliti e calcari compatti (C2) con la parte litoide relativamente fratturata (RQD 20-40%). In particolare si tratta di marne siltose con subordinati calcari siltosi.

Gli elementi sopra descritti, oltre ai valori di permeabilità, bassi indicano che tali materiali risulteranno relativamente idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti; la significativa presenza di livelli lapidei, almeno in alcuni livelli, è in parte compensata, da una non trascurabile frazione argillosa-limosa.

A partire dal km 1+030 fino all'imbocco sud, lo scavo incontrerà nuovamente la formazione delle Arenarie di Monte Gottero (G2-G3) già in precedenza descritte ed aventi le stesse caratteristiche geotecniche.



Galleria Pellizzarda – Prog. 0+460 – 0+880 km



Galleria Pellizzarda – Prog. 0+860 – 1+360 km

Galleria Naturale Felettino I

Lo scavo della galleria naturale Felettino I, anche se le operazioni di scavo procedono da sud, verrà descritto procedendo da nord; l'escavazione incontrerà inizialmente la formazione Arenarie di Ponte Bratica (B2) fino circa la progressiva 1+940, poi la formazione Argilliti e Calcari di Canetolo (C2) fino alla progressiva 2+240, ed infine, nel settore più orientale, sarà probabile la presenza di entrambe le formazioni.

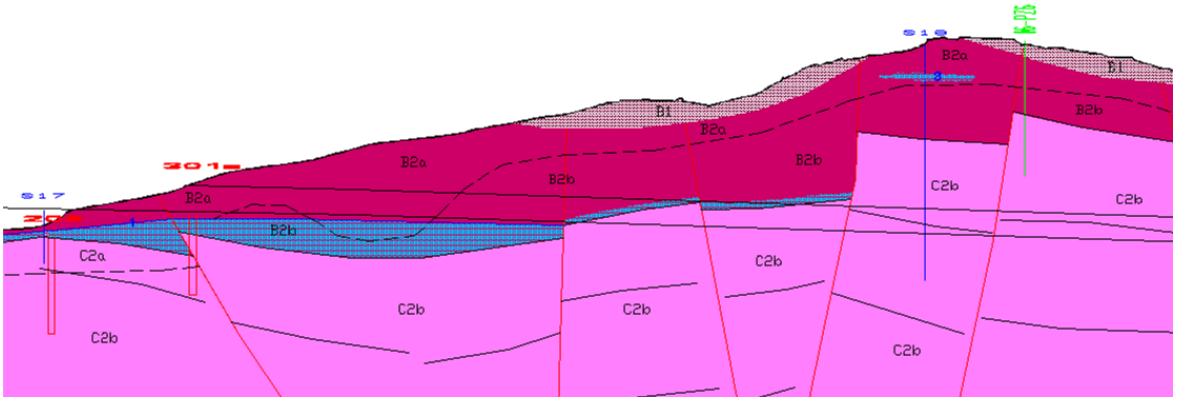
La formazione delle Arenarie di Ponte Bratica si presenta prevalentemente sciolta e costituita da livelli marnoso arenacei in matrice limoso-sabbiosa e subordinatamente da limi sabbiosi con clasti. I vari livelli lapidei presentano una fratturazione molto elevata (RQD 5-10 %).

Questi materiali risulteranno idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti; la permabilità media (valori di circa 10^{-5} m/sec) indica che la frazione fine è prevalentemente limosa e la percentuale complessiva di argilla è modesta.

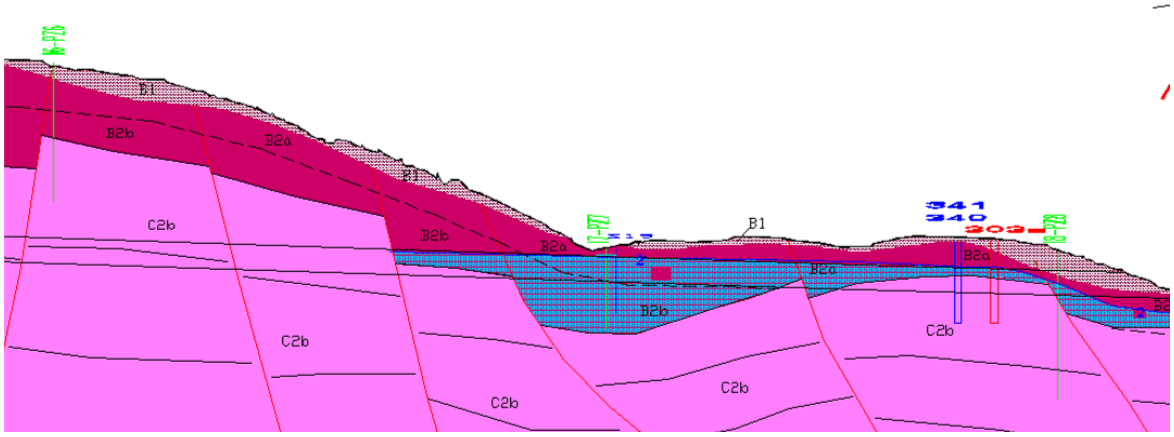
Successivamente, (oltre la progressiva 1+940), lo scavo della galleria incontrerà la formazione delle Argilliti e Calcari di Canetolo compatte (C2). In particolare si tratta di marne siltose con subordinati calcari siltosi in cui la parte litoide risulta relativamente fratturata (RQD 30-35 %).

Come già visto in precedenza, gli elementi sopra descritti ed i valori bassi di permeabilità indicano che tali materiali risulteranno relativamente idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti; la significativa presenza di livelli lapidei, almeno in alcuni livelli, è in parte compensata, da una non trascurabile frazione argillosa-limosa.

La parte più a sud della galleria, oltre la progressiva 2+240, è caratterizzata parzialmente da entrambe le formazioni sopra descritte, con le Arenarie di Ponte Bratica (B2) prevalenti. Rispetto alla zona dell'altro imbocco, le Arenarie di Ponte Bratica in questo settore si presentano costituite limi sabbiosi con clasti con subordinati livelli marnoso arenacei in matrice limoso-sabbiosa. I rari livelli lapidei presentano una fratturazione molto elevata (RQD 5-15 %).



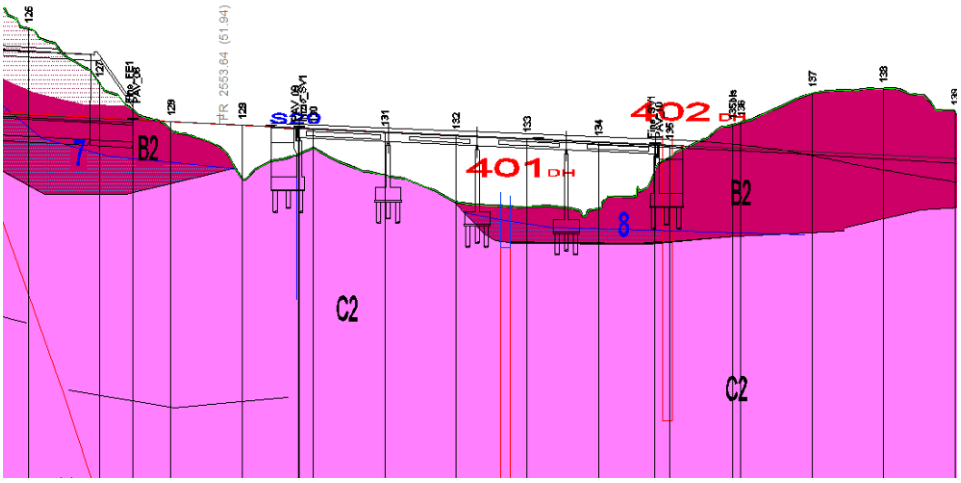
Galleria Felettino I – Prog. 1+780 – 2+160 km



Galleria Felettino I – Prog. 2+100 – 2+530 km

San Venerio

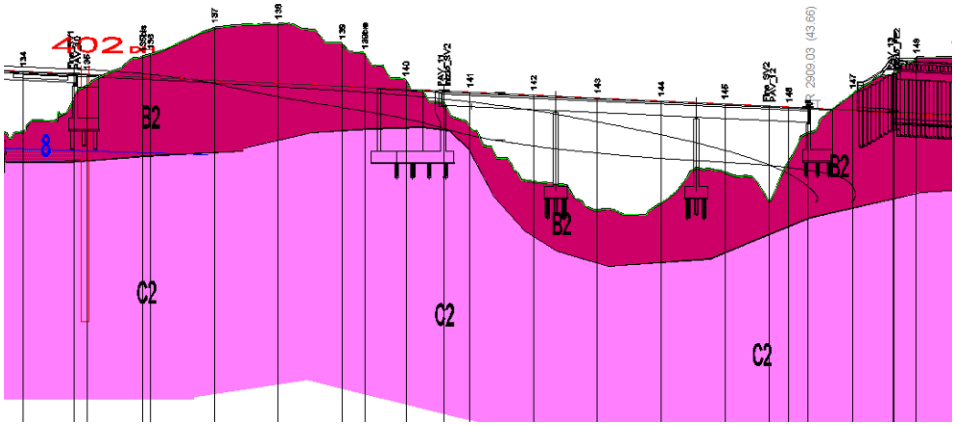
Gli scavi previsti per le fondazioni del viadotto incontreranno fino circa alla progressiva 2+620 km la Formazione delle Argilliti e Calcari di Canetolo compatte (C2). Al crescere della progressiva è presente uno spessore variabile, dell'ordine mediamente di alcuni metri, di Arenarie di Ponte Bratica in facies allentata (B2) che stanno al di sopra delle Argilliti e Calcari di Canetolo (C2).



Zona Viadotto San Venerio

Nella zona dello svincolo gli scavi interesseranno principalmente la formazione delle Arenarie di Ponte Bratica qui presenti in facies allentata (B2) e caratterizzate da elevato grado di deformazione a piccola scala. Alcune opere fondazionali oltrepasseranno lo spessore di Arenarie di Ponte Bratica che è dell'ordine di alcuni metri fino a raggiungere le sottostanti Argilliti e Calcari di Canetolo compatte (C2) che affiorano sul fondo del fosso presente nella zona di realizzazione dello svincolo.

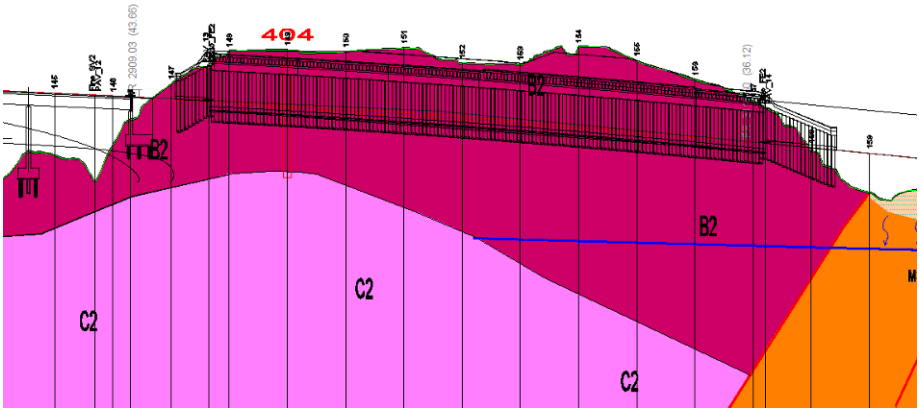
Per le principali caratteristiche geotecniche e per l'idoneità al riutilizzo di entrambe le formazioni-litologie si fa riferimento a quanto già descritto per la galleria naturale Felettino I.



Zona Svincolo San Venerio

Galleria Artificiale Felettino II

La Galleria artificiale Felettino II attraverserà la formazione delle Arenarie di Ponte Bratica qui presenti in facies allentata (B2). La formazione delle Arenarie di Ponte Bratica si presenta prevalentemente sciolta e costituita da livelli marnoso arenacei in matrice limoso-sabbiosa e subordinatamente da limi sabbiosi con clasti. I vari livelli lapidei presentano una fatturazione molto elevata (RQD 5-10 %). Questi materiali risulteranno idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti; la permeabilità media indica che la frazione fine è prevalentemente limosa e la percentuale di argilla è complessivamente modesta.



Galleria Felettino II

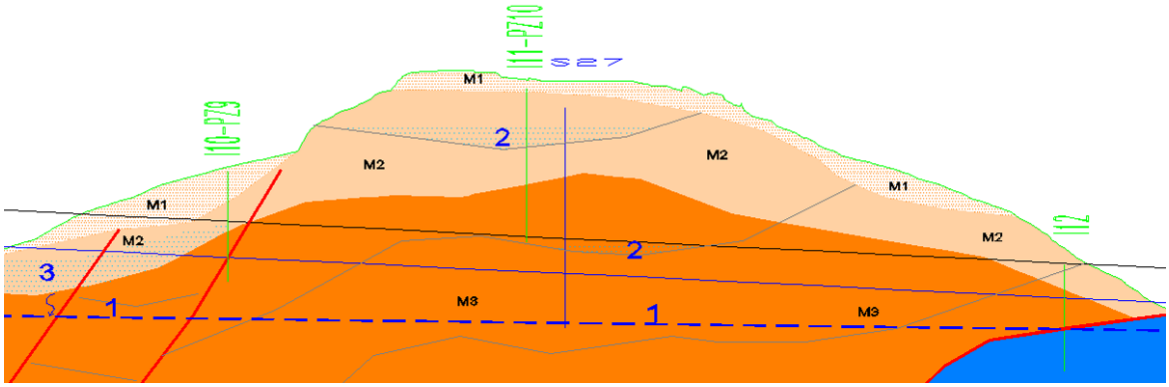
Galleria Naturale Felettino III

Questa galleria sarà interamente scavata nella formazione delle arenarie del Macigno. La facies tipica è caratterizzata da un'alternanza di livelli da centimetrici a decimetrici di arenarie con materiali più fini. In corrispondenza delle zone di imbocco la formazione risulta allentata (M2) ed intensamente fratturata (M1).

Anche se le operazioni di scavo procedono da sud, come in precedenza la descrizione verrà fatta procedendo da nord; a partire dalla progressiva 3+230 km ed in prossimità di una faglia, si ha il passaggio dai litotipi allentati a quelli più compatti (M3) che si incontrano fino alla progressiva di circa 3+410 km. La litologia allentata M2 della Formazione del Macigno si presenta caratterizzata da livelli arenacei decimetrici con intercalazioni di marne e subordinatamente da sabbie limose e limi sabbiosi; relativa fratturazione con RQD circa pari 30-35 %.

Come detto la gran parte dello scavo di tale galleria si svilupperà nei litotipi più compatti della Formazione del Macigno (M3) caratterizzati quasi esclusivamente da livelli arenacei decimetrici con intercalazioni di marne e limi sabbiosi; la fratturazione è modesta con RQD circa pari 45-50 %.

Complessivamente, tutti i materiali da scavare in tale galleria risulteranno idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti. I valori di permeabilità medi-bassi, non sono infatti legati alla presenza di argilla, ma derivano dalla tipologia della formazione stessa essendo caratterizzata da una porosità primaria molto limitata.



Galleria Felettino III

Galleria Naturale Le Fornaci I

Considerando il tratto già scavato a partire dall'imbocco nord, la rimanente parte dello scavo della galleria verrà scavata completamente nella formazione delle Quarziti e Filladi del Verrucano. Tale formazione è costituita da un complesso debolmente stratificato con livelletti di arenaria quarzosa alternati a livelli limoso-sabbiosi; si presenta notevolmente addensato a prescindere dalle suddivisioni litologiche.

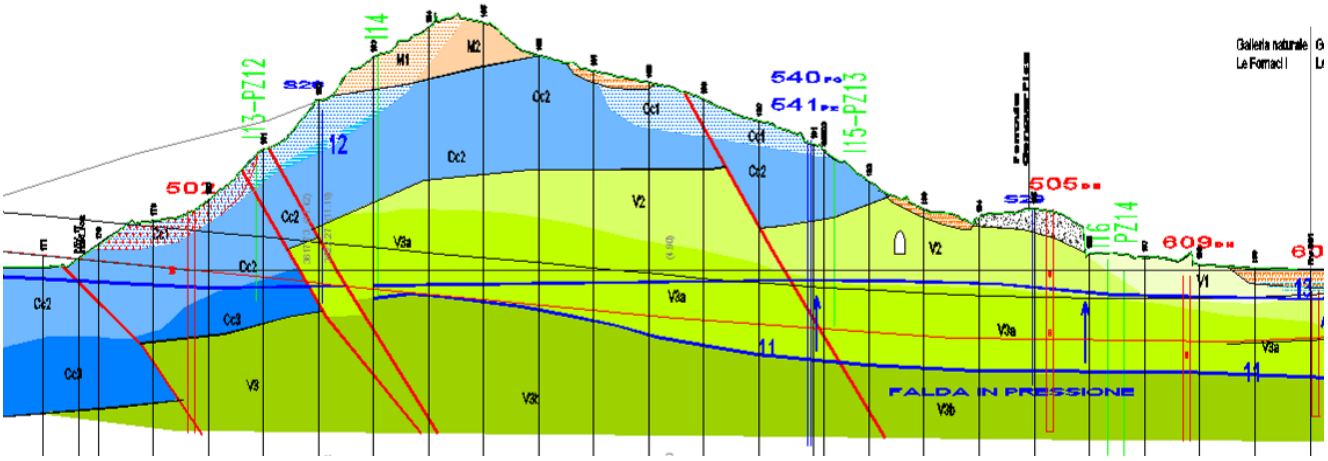
Dal complesso delle indagini svolte, deriva una sommaria zonazione del Verrucano che risulta in profondità caratterizzato maggiormente da livelli quarzitico-anagenitici (V3b) al di sopra dei quali prevale invece una componente filladica (V3a). Questa zonazione presenta comunque un carattere discontinuo sia nello spessore che nell'estensione; dai primi tratti scavati in questa formazione, infatti, la natura filladica sembra subordinata rispetto a quella più anagenitica.

Complessivamente il terreno da scavare si presenta costituito da di livelli arenaceo quarzosi centimetrici in prevalente matrice limoso sabbiosa addensata; la permeabilità complessiva della formazione è medio-alta con valori di circa 10^{-3} - 10^{-4} m/sec..

Per ciò che riguarda la parametrizzazione dei litotipi, per tale formazione è possibile indicare dei valori relativamente precisi, in riferimento ai dati disponibili.
Questi sono:

- Peso di volume γ = 21-22 kN/m^3
- Coesione C = 25-50 kPa
- Angolo di attrito φ = 30-33°

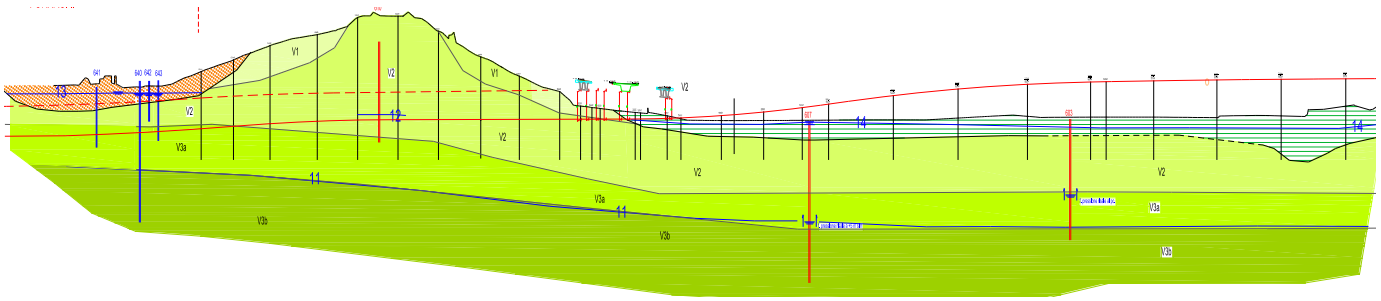
Complessivamente, tutti i materiali da scavare in tale galleria risulteranno idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti.



Galleria Fornaci I

Galleria Artificiale Le Fornaci II e Gallerie zona Melara

La zona in esame si caratterizza per la presenza di terreni moderatamente compatti costituiti da depositi detritici ed in gran parte dai sedimenti alluvionali. Tali depositi, aventi generalmente e mediamente spessori di 4-5 metri, si collocano sul substrato costituito dai litotipi appartenenti alla Formazione del Verrucano.



Zona Melara

Gli scavi previsti verranno eseguiti completamente nella formazione delle Quarziti e Filladi del Verrucano ed in particolare nella parte alterata ed allentata (V2). In particolare si tratta di livelli arenaceo-quarzosi centimetrici in prevalente matrice limoso sabbiosa addensata e subordinatamente da sabbia arenitica addensata; la permeabilità complessiva della formazione è medio-alta con valori di circa 10^{-4} m/sec.

Per ciò che riguarda la parametrizzazione dei litotipi, dai dati in possesso è possibile indicare dei valori relativamente precisi: Questi sono:

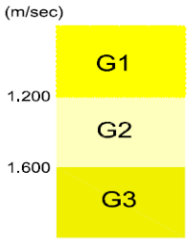
- Peso di volume γ = 20-21 kN/m^3
- Coesione C = 25-40 kPa
- Angolo di attrito φ = 29-31°

Complessivamente, data la natura prevalentemente granulare dei titotipi presenti, i materiali da scavare in tali gallerie risulteranno idonei sia per la realizzazione di rilevati che per i riempimenti.

7. LEGENDA FORMAZIONALE E LITOLOGICA

ARENARIE MONTE GOTTERO

Le Arenaria del Monte Gottero si presentano costituite livelli superfiaciali di limi sabbiosi con clasti a cui seguono degli strati arenacei alternati a livelletti siltoso limosi.



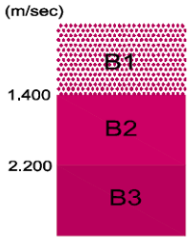
Arenarie del Monte Gottero detritico-terrigeno

Arenarie del Monte Gottero allentato

Arenarie del Monte Gottero compatto

ARENARIE DI PONTE BRATICA

Le Arenarie del Bratica sono costituite da un'alternanza di arenarie fini e siltiti in strati dello spessore medio di 15-20 cm, di colore grigio-verdi. Frequenti intercalazioni di siltiti marnose e argilliti siltose grigio chiaro o avana.



Arenarie del Bratica detritiche

Arenarie del Bratica allentate

Arenarie del Bratica compatte

ARGILLITI E CALCARI DI CANETOLO

Le Argille e Calcari di Canetolo sono costituite da argilliti da fissili a massive scure, generalmente nere, alle quali si intercalano frequenti torbiditi calcareo marnose di colore grigio chiaro e torbiditi siltoso arenacee.



Argilliti e Calcari di Canetolo allentate

Argilliti e Calcari di Canetolo compatte

Argilliti e Calcari di Canetolo compatte

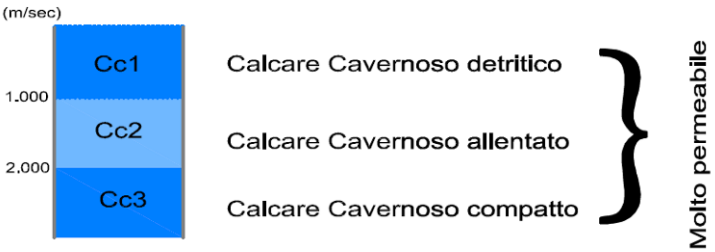
MACIGNO

Il Macigno è costituito da bancate decimetriche di arenaria trachidaciditica gradata, cui si intercalano dei livelli siltosi dello spessore da centimetrici a decimetrici. L'ammasso si presenta complessivamente caratterizzato da un assetto primario che individua una struttura principale (riportata nella sezione) cui si sovrappone un assetto secondario caratterizzato da modeste strutture plicative e disgiuntive.



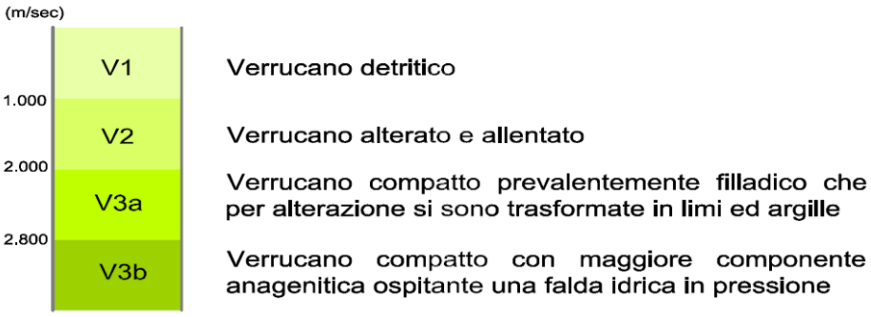
CALCARE CAVERNOSO

Il Calcare Cavernoso si presenta costituito da calcari dolomitizzati di colore grigio e calcari vacuolari compatti alternati ad una preponderante breccia calcarea interessata da fratturazione ed alterazione con matrice limoso-sabbiosa.



GRUPPO DEL VERRUCANO

Il Verrucano è costituito da un complesso debolmente stratificato cc livelletti di arenaria quarzosa (anageniti) immersi o alternati a live limoso-sabbiosi (filladi). Esclusi i livelli più superficiali (V1), si present notevolmente addensato a prescindere dalla elevata component terrigena.



8. TABELLE RIASSUNTIVE PUNTI DI CAMPIONAMENTO

Tab 8.1 caratterizzazione ambientale preliminare - campionamenti

Cantiere operativo	Identificazione campione	Data	Coordinate geografiche		Profondità di prelievo	Tipologia terreno	Formazione geologica e litologia	Caratterizzazione
			NORD	EST				
Cantiere Melara	Oto Melara_sbancamento 1	Settembre 2011	69088.0641	85232.1507	2/3 m	Terreno sciolto	Detrito di versante	Col. A
Cantiere Melara	Oto Melara_sbancamento 2	Settembre 2011	69168.7989	85145.0399	2/3 m	Terreno sciolto	V1	Col. A
Cantiere Ex-Fornaci	Imbocco sud Felettino III	Settembre 2011	68647.2002	85608.5757	2/3 m	Livelli lapidei e terreno addensato	M2	Col. A
Cantiere Ex-Fornaci	Imbocco nord Fornaci I	Settembre 2011	68716.2303	85515.0366	2/3 m	Terreno sciolto	Cc1	Col. A
Cantiere San Venerio	San Venerio_sbancamento 1	Settembre 2011	68647.1563	86106.9792	2/3 m	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A
Cantiere San Venerio	San Venerio_sbancamento 2	Settembre 2011	68626.8369	85995.5768	2/3 m	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A
Cantiere San Venerio	Imbocco nord Felettino III	Settembre 2011	68612.2554	85836.4189	2/3 m	Terreno sciolto	M1	Col. A
Cantiere San Venerio	Imbocco sud Felettino I (C/RF/0428/12)	Aprile/Maggio 2012	68602.3264	86484.7605	2/3 m	Terreno sciolto Terreno addensato con rari livelli lapidei	B1 B2	Col. A
Cantiere San Venerio	Sbancamento (C/RF/0429/12)	Aprile/Maggio 2012	68611.4052	86474.4977	2/3 m	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. B (Pb, Zn, Cu)
Cantiere San Venerio	Sbancamento (C/RF/0430/12)	Aprile/Maggio 2012	68639.4219	86467.9688	2/3 m	Livelli lapidei e terreno addensato	C2	Col. A
Cantiere Buonviaggio	Imbocco nord Felettino I (C/RF/0612/12)	Aprile/Maggio 2012	68199.0194	87149.1641	2/3 m	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. B (Pb, Zn, Cu. C>12)
Cantiere Buonviaggio	Sbancamento (C/RF/0613/12)	Aprile/Maggio 2012	67895.1021	87281.2876	2/3 m	Terreno sciolto	B1	Col. B (C>12)
Cantiere Buonviaggio	Sbancamento (C/RF/0614/12)	Aprile/Maggio 2012	68086.6235	87473.1916	2/3 m	Terreno sciolto	G1	Col. A
Cantiere Buonviaggio	Imbocco nord Felettino I (C/RF/0611/12)	Aprile/Maggio 2012	68231.4119	87112.9766	2/3 m	Terreno sciolto Terreno addensato con rari livelli lapidei	B1 B2	Col. B (Pb, Cu)
Cantiere via del Forno	Sbancamento Felettino	Settembre 2011	67021.8405	86814.2137	2/3 m	Terreno addensato con rari livelli lapidei	C1	Col. A
Cantiere via del Forno	Imbocco sud Pelizzarda	Settembre 2011	67241.0016	86889.5935	2/3 m	Terreno sciolto	G1	Col. A

Tab. 8.2 Caratterizzazione in corso d'opera scavi a cielo aperto

Cantiere operativo	Identificazione campione	Tecnica di scavo	Tipologia terreno	Formazione geologica e litologia	Caratterizzazione
Cantiere via Del Forno	Felettino/MU-AI-CS-OV/opere ext/15.02.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	C1 C2	Col. A
Cantiere San Venerio	GA02/imb. Sud/15.02.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A
Cantiere San Venerio	GA02/imb. Nord/15.02.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A
Cantiere Ex-Fornaci	MU41-AI16-CS12-OV04/opere ext/15.02.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Livelli lapidei e terreno addensato	Cc2	Col. A
Cantiere Melara	Da MU46 a MU70/opere ext/15.02.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	V2	Col. A
Cantiere San Venerio	GA02/imb. Sud/16.03.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. B (Zn)
Cantiere San Venerio	GA02/imb. Nord/16.03.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A
Cantiere Melara	Da MU46 a MU70/16.03.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	V2	Col.A
Cantiere Via Del Forno	Opere ext/rampe, imbocchi, paratie/02.05.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	C1 C2	Col. B (Ni)
Cantiere Ex-Fornaci	Opere ext/rampe, imbocchi, paratie/02.05.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno sciolto Livelli lapidei e terreno addensato	M1 M2	Col. A
Cantiere San Venerio	Opere ext/24.05.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	B2 C2	Col. B (Zn)
Cantiere San Venerio	MU-CS-RA-OV/opere ext/08.06.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	B2 C2	Col. A
Cantiere via Del Forno	MU-CS-RA-OV/opere ext/08.06.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	C1 C2	Col. A
Cantiere via Del Forno	MU-CS-RA-OV/opere ext/05.07.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	C1 C2	Col. B (Zn)
Cantiere San Venerio	Opere ext/05.07.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A
Cantiere Melara	GA03/imb sud/pK 197/05.07.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	V2 V3a	Col. A
Cantiere Melara	Da MU46 a MU70/opere ext/05.07.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	V2	Col. A
Cantiere via del Forno	MU-AI-CS-OV/opere ext/18.09.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	C1 C2	Col. B (C>12)
Cantiere San Venerio	MU CS OV RA/opere ext/18.09.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A
Cantiere Ex-Fornaci	MU41-AI16-CS12-OV14/opere ext/18.09.12	Scavo tradizionale con mezzo meccanico	Terreno sciolto Livelli lapidei e terreno addensato	Cc1 Cc2	Col. A

Tab. 8.3 Caratterizzazione in corso d'opera - scavi in sotterraneo

Cantiere operativo	Identificazione campione	Tecnica di scavo	Tipologia terreno	Formazione geologica e litologia	Caratterizzazione
Cantiere Via Del Forno	Galleria Pellizzarda/pK 493/24.05.12	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con barre VTR	Livelli lapidei e terreno addensato	G2	Col. B (Zn)
Cantiere Ex-Fornaci	Galleria Fornaci I/pK 3571/24.05.12	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con jet grouting	Livelli lapidei e terreno addensato	Cc2	Col. B (Pb, Zn)
Cantiere Melara	Galleria Fornaci IV/pK 225/24.05.12	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con barre VTR	Terreno addensato con rari livelli lapidei	V2	Col. B (Zn)
Cantiere San Venerio	Imb. Sud galleria Felettino I/28.08.12 (inizio galleria naturale)	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con barre VTR	Terreno sciolto Terreno addensato con rari livelli lapidei	B1 B2	Col. A
Cantiere Buonviaggio	Imb. Nord galleria Felettino I/04.10.12 (iniziao galleria naturale)	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con barre VTR	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A
Cantiere San Venerio	Imb. Sud galleria Felettino I/19.12.12 (pK 2+462,28)	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con barre VTR	Terreno sciolto Terreno addensato con rari livelli lapidei	B1 B2	Col. B (Cd,Crtot,Zn, Ni,C>12)
Cantiere Ex-Fornaci	GN03/imb sud/pK 3348/03.01.13	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con barre VTR	Strati lapidei con livelli di terreno compatto	M3	Col. A
Cantiere Ex-Fornaci	GN03/imb sud/pK 3339/18.01.13	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con barre VTR	Strati lapidei con livelli di terreno compatto	M3	Col. A
Cantiere Ex-Fornaci	GN04/imb nord/pK 3651/18.01.13	Scavo meccanico con preconsolidamento del fronte con jet grouting	Terreno addensato con rari livelli lapidei	V3a	Col. A

Tab. 8.4 Caratterizzazione in corso d'opera – realizzazione pali

Cantiere operativo	Identificazione campione	Tecnica di scavo	Tipologia terreno	Formazione geologica e litologia	Caratterizzazione
Cantiere Ex-Fornaci	GN04/pali(Nord)/28.02.12	Perforazione a secco	Livelli lapidei e terreno addensato	M2	Col. B (Ar; Zn)
Cantiere San Venerio	GA02/pali/28.02.12	Perforazione a secco	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. B (Ar; Zn)
Cantiere via del Forno	VI03/PALI/28.02.12	Perforazione a secco	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	C1 C2	Col. A
Cantiere San Venerio	VI10/pali/16.03.12	Perforazione a secco	Terreno addensato con rari livelli lapidei Livelli lapidei e terreno addensato	B2 C2	Col. B (Zn)
Cantiere San Venerio	GA02/pali/18.09.12	Perforazione a secco	Terreno addensato con rari livelli lapidei	B2	Col. A

Dr. Geol. Antonio Maria Baldi