



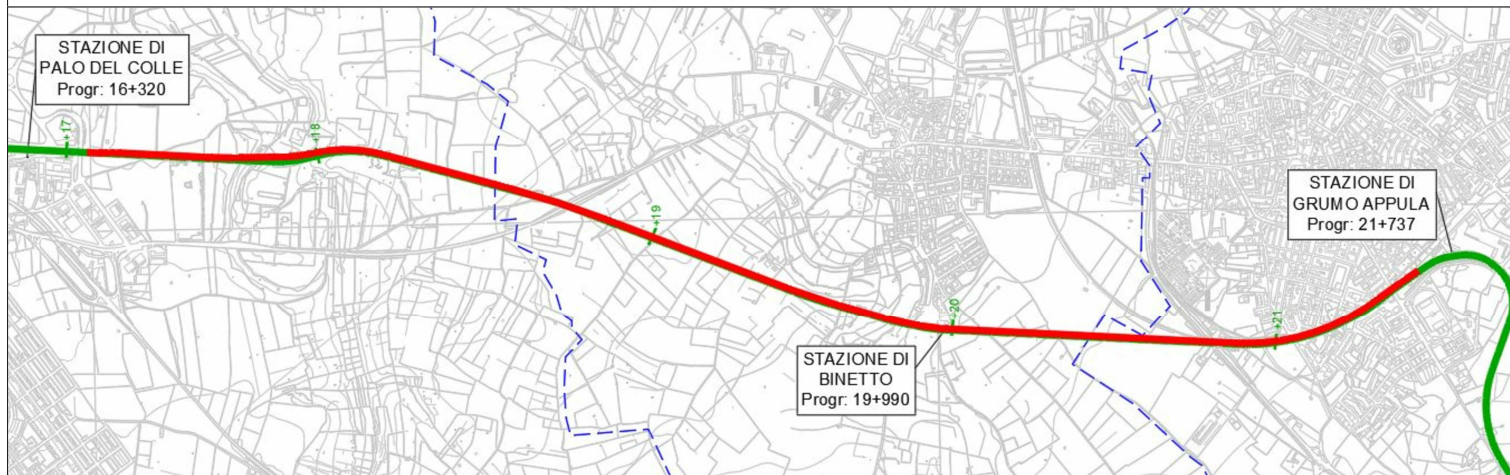
FERROVIE APPULO LUCANE S.R.L.

Ferrovie Appulo Lucane

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE, VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE, DEL RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA

C.U.P.: G21E16000380001

C.I.G.: 72395498D2



RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. MASSIMILIANO NATILE

FIRME: INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA



Integrazione delle prestazioni specialistiche:

Ing. MARCO RASIMELLI

Resp. Studio SIA

Ing. DINO BONADIES

Geologia:

Dott. Geol. STEFANO PIAZZOLI

Ing. SIMONE PELLEGRINI

Ing. VALERIO MASTROIANNI

Geom. CARLO ROSI



Ing. PRIMO STASI

Geologia:

Dott. Geol. MARIO STANI

Studio SIA:

Arch. LUCIA LEPORE



Ing. ANTONIO DI LEO

Coordinamento Sicurezza in fase di Progetto

Ing. NICOLA LABARILE



PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato	Pratica	STUDI ED INDAGINI				
GE0001	18021_DAR					
Scala	Codifica elaborato	Relazione Geologica				
-	DAR_3RG001a					
A	GIUGNO 2020	PRIMA EMISSIONE	M.STANI	C.STANO	P.STASI	M.RASIMELLI
Rev.	Data	Motivazione	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato

Premessa

La presente relazione riporta i risultati dello studio geomorfologico, geologico, idrogeologico e sismico effettuato nei territori comunali di Palo del Colle e Grumo Appula (BA) a supporto del progetto definitivo relativo al raddoppio della linea ferroviaria delle Ferrovie Appulo-Lucane, compresa tra la stazione di Palo del Colle e quella di Grumo Appula.

La zona interessata dal tracciato ferroviario interessato dal progetto di raddoppio, è ubicata nella porzione centrale del rilievo murgiano.

Allo scopo di definire le caratteristiche del sito, si è proceduto ad effettuare:

- raccolta dati di bibliografia;
- rilevamento geologico dell'area e delle zone limitrofe;
- esame dei contenuti del Piano Assetto Idrogeologico;
- esecuzione di indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo) con prelievo di campioni e prove di laboratorio;
- sismica a rifrazione e masw;
- indagini geoelettriche;
- indagini ambientali.

Le indagini sono state eseguite dalla Ditta Geoprove S.R.L. di Ruffano (LE) e sono riportate nella relazione allegata.

Inquadramento territoriale

La zona interessata è situata in corrispondenza della parte centrale dell'altopiano murgiano tra gli abitati di Palo del Colle e Grumo Appula.

Il tracciato ferroviario si sviluppa con un andamento all'incirca Nord-Sud con quote topografiche che vanno via via aumentando e comprese tra 157 e 188 metri s.l.m.

L'intervento da realizzare ed oggetto del presente studio interessa la velocizzazione e potenziamento della linea ferroviaria.

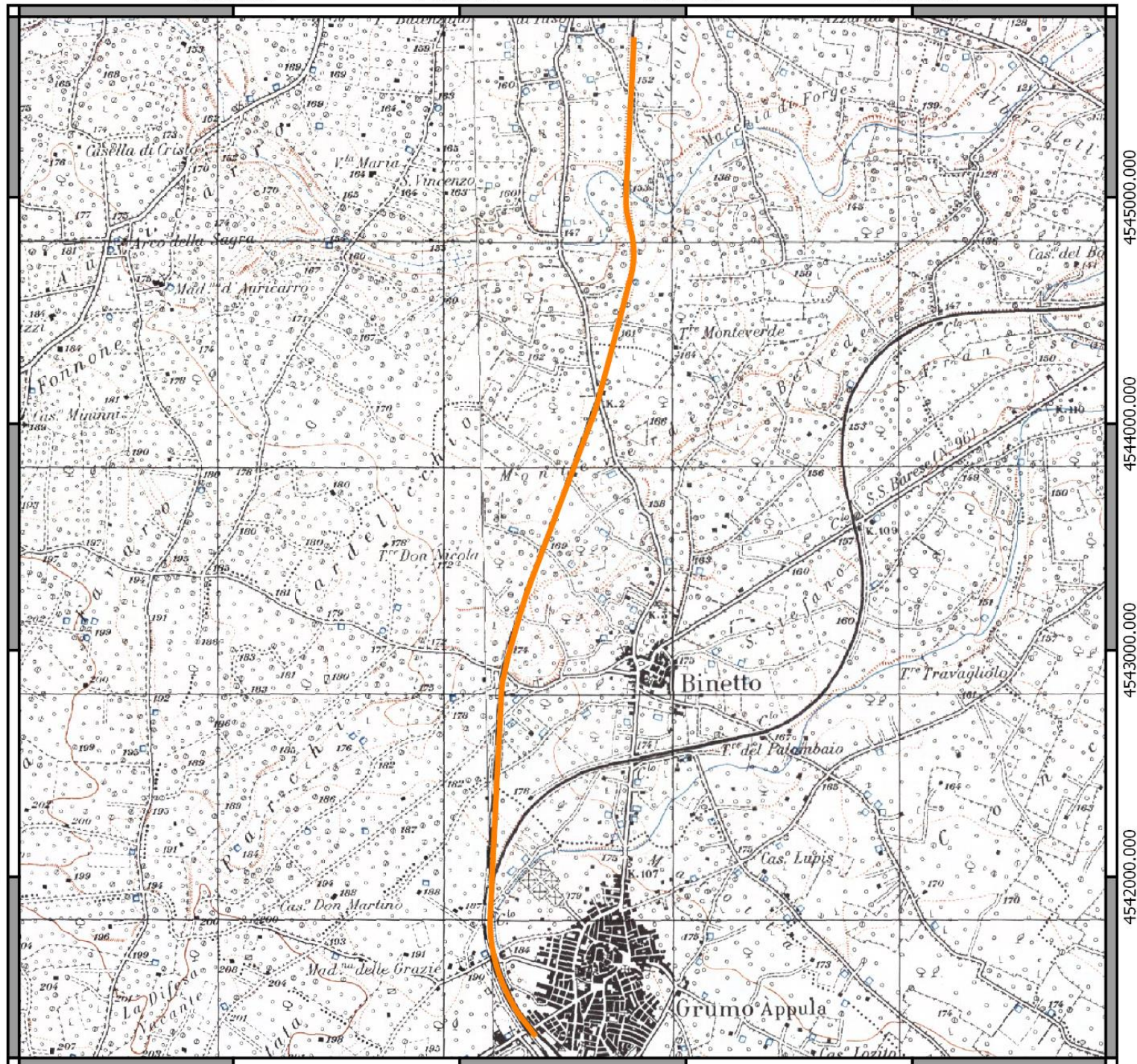
Pertanto di seguito si dettaglia e descrive la stratigrafia del sottosuolo della zona interessata dalle opere e si riportano i parametri meccanici e sismici in ottemperanza alla Normativa vigente.

642000.000

643000.000

644000.000

645000.000



250 0 250 500 750 1000 m



CARTA IGM SCALA 1: 25000

Legenda

— tracciato di progetto

Caratteri geostrutturali e tettonici del territorio interessato dal tracciato ferroviario Palo del Colle-Grumo Appula

Le caratteristiche geologiche del territorio interessato dalla linea ferroviaria di progetto, vanno inquadrare nel contesto stratigrafico e strutturale di un tratto della *Placca adriatica*. Da un punto di vista geologico regionale la Puglia costituisce la più estesa area di *avampaese* in Italia.

Gli eventi che hanno caratterizzato l'evoluzione sedimentaria, tettonica e morfologica del territorio pugliese, più in generale, possono essere ritenuti connessi alla geodinamica di un esteso tratto crostale dell'area mediterranea coinvolto dapprima nella collisione con la zolla Eurasiatica e successivamente nella tettonogenesi appenninico-dinarica che ha deformato in distinti domini strutturali la parte meridionale di tale tratto crostale.

Procedendo dal Tirreno all'Adriatico tali domini corrispondono alla Catena appenninica (Monti della Daunia), all'Avanfossa adriatica (Fossa bradanica - Tavoliere delle Puglie), all'Avampaese Apulo (Gargano, Murge, Salento) ed ai mari Adriatico e Ionio settentrionale (fig. 1).

Le Murge, insieme al Gargano, rappresentano la parte più esterna della piattaforma carbonatica mesozoico-paleogenica, costituente il basamento e l'ossatura dell'intera Puglia, ed appartengono in particolare alla cosiddetta Microplacca apula. Essa presenta una struttura uniforme costituita da un basamento di crosta continentale di età paleozoica (Verrucano) su cui è presente una spessa copertura sedimentaria prevalentemente carbonatica costituita da calcari dolomitici, dolomie e calcari compatti di età mesozoico-paleogenica.

I modelli deposizionali delle unità carbonatiche giurassico-cretacee fanno riferimento ad un sistema di piattaforma carbonatica, scarpata e bacino caratterizzata da margini tettonicamente instabili e dalla locale presenza lungo gli stessi margini di scogliere.

A partire dal Miocene, con la tettonogenesi appenninico-dinarica, la Piastra Apula assume il ruolo di avampaese. Le sue parti estreme, a causa delle fasi di accavallamento delle unità appenniniche verso est, vengono progressivamente coinvolte in una segmentazione secondo l'allineamento NO-SE formando un esteso semigraben.

In questa area si forma l'Avanfossa appenninica. L'Avampaese, invece, si trasforma in un lungo horst con direzione appenninica la cui estremità nord, il promontorio del Gargano, in seguito a rotazione antioraria si dispone con direzione E-O (INCORONATO & NARDI, 1989). La continuità dell'avampaese è interrotta a nord del Gargano dalla faglia Tremiti-Volturno e da un graben, con orientazione antiappenninica (RICHETTI et al., 1988), che si interpone fra Murge e Gargano.

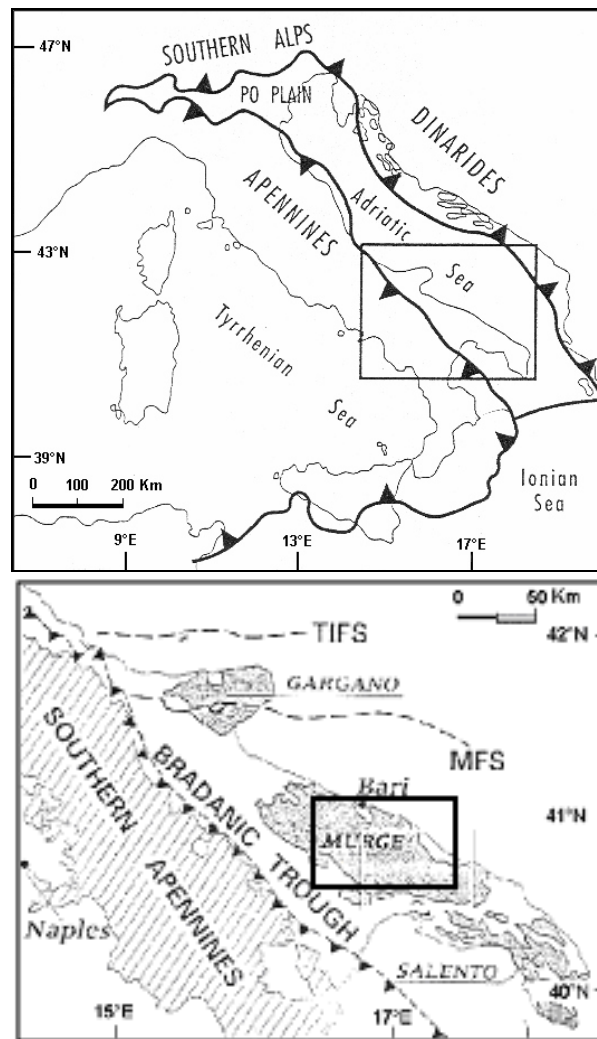


Fig. 1 – A. Scenario geodinamico della penisola italiana e delle aree circostanti indicante i fronti di spinta delle cinture orogeniche circostanti il blocco adriatico; B. schema geologico-strutturale dell'Italia meridionale. TIFS= faglia delle Isole Tremiti; MFS=faglia di Mattinata; (modificato da CHILOVI et al., 2000; GUERRICCHIO & PIERRI, 1998)

La struttura generale delle Murge è data da una monoclinale con prevalente immersione degli strati verso SW. Tale struttura risulta poi interessata da faglie e pieghe piuttosto blande con gli assi disposti prevalentemente in direzione appenninica e di conseguenza, la presenza di fratture favorendo l'infiltrazione delle acque di ruscellamento superficiale, ha consentito l'instaurarsi di diffusi fenomeni di dissoluzione carsica.

Il principale sistema di fratture segue una direzione WNW-ESE ed a questo si associa un sistema minore di fratture con orientazione opposta.

Nel territorio delle Murge sud orientali i sistemi di fratturazione sopra indicati assumono un aspetto rilevante.

Nel territorio interessato, sono state individuate diverse blande pieghe che presentano gli assi paralleli e disposti in direzione NW-SE (Carta Geologica delle Murge e del Salento - N.Ciaranfi , P.Pieri, G.Ricchetti).

Questo sistema di pieghe (come accade anche per tutto il territorio murgiano) è inoltre interessato da ulteriori ondulazioni di modesta entità.

Caratteri geomorfologici e litologici del territorio interessato dal tracciato ferroviario

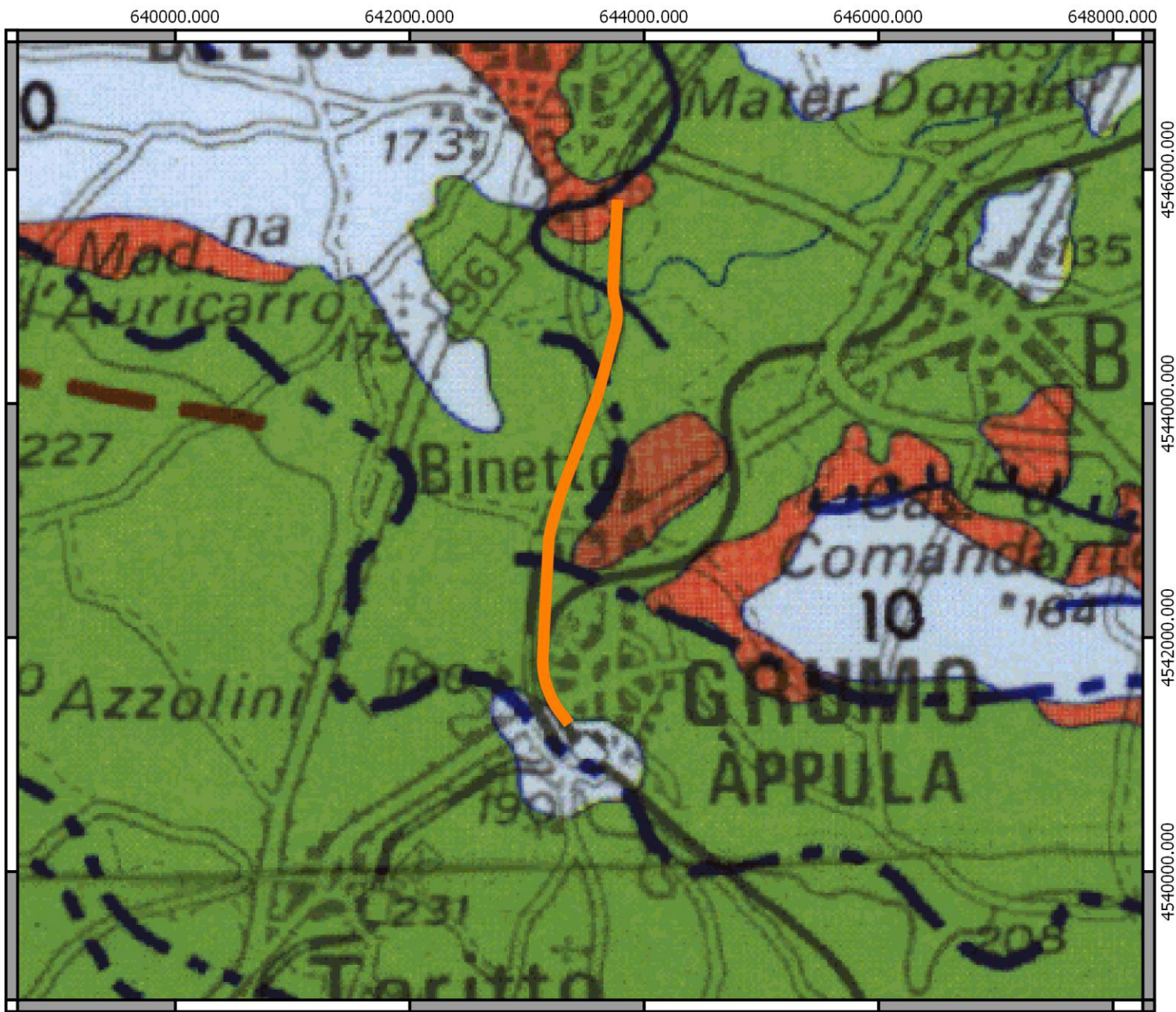
Le Murge si estendono dalla bassa valle dell'Ofanto alla "Soglia Messapica" (rappresentata dalla trasversale Taranto–Brindisi). Sotto l'aspetto morfologico le Murge rappresentano un altopiano poco elevato che si allunga in direzione WNW-ESE e sono delimitate da alte scarpate e ripiani poco estesi sia verso ovest che verso nord, mentre a sud verso il Salento, degradano più dolcemente con ampi pianori e scarpate ridotte. L'altopiano murgiano è inoltre disseminato di forme carsiche superficiali che spesso sono connesse con evidenze carsiche ipogee. Si possono osservare numerose doline e depressioni carsiche così come voragini ed inghiottitoi. Il territorio interessato dal tracciato ferroviario è situato nella parte centrale dell'altopiano murgiano che occupa una vasta porzione della regione pugliese. La morfologia del territorio è strettamente legata sia alla tettonica sviluppatasi nel corso delle ere geologiche, sia agli eventi paleogeografici che lo hanno interessato nel quaternario. La struttura geologica delle Murge è costituita da una potente serie di rocce carbonatiche la cui sedimentazione ebbe luogo a partire dal Cretaceo Inf. (circa 130 milioni di anni fa). Le rocce prevalenti sono calcari e calcari dolomitici e subordinatamente dolomie che si sono depositi in fondali marini piuttosto ampi e poco profondi.

Sulla base dei rilievi di superficie e dei dati di profondità si desume uno spessore complessivo della serie carbonatica cretacea pari a circa 3000 mt.

Dal punto di vista litostratigrafico il tracciato ferroviario si sviluppa prevalentemente in corrispondenza della formazione geologica del "Calcere di Bari" riferibile al Cretaceo inferiore e medio-superiore e subordinatamente in corrispondenza della formazione geologica arealmente poco estesa ma non per questo meno importante e di età più recente dei "Depositi Marini terrazzati" riferibili al Pleistocene medio-superiore.

Il Calcere di Bari, che costituisce la parte bassa e media della sequenza stratigrafica è rappresentato da alternanze di calcari e dolomie scarsamente fossiliferi se non in alcuni orizzonti che rappresentano quindi dei livelli caratteristici.

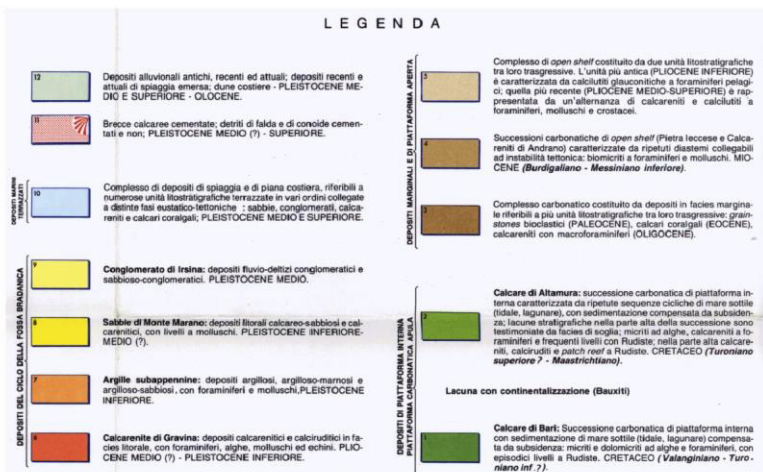
Questa formazione affiora estesamente lungo il percorso ferroviario di progetto che con direzione NNE_SSW si sviluppa dall'abitato di Grumo Appula a quello di Palo del Colle.



CARTA GEOLOGICA SCALA 1: 50000

Legenda

— tracciato di progetto



Principali unità geologiche e caratteristiche litostratigrafiche di dettaglio.

Nell'area interessata le principali formazioni presenti sono di età riferibile dal Pleistocene al Cretaceo.

La successione stratigrafica riscontrata nel territorio può essere pertanto così schematizzata a partire dai litotipi più vecchi a quelli più recenti:

- Calcare di Bari (Cretaceo)
- Calcareniti di Gravina (Pleistocene inferiore)
- Sintema di Costa San Giovanni (Pleistocene superiore)
- Depositi alluvionali recenti ed attuali (Pleistocene superiore-Olocene)

Di seguito vengono descritte più in dettaglio le formazioni interessate dall'intervento di progetto.

Formazione Calcare di Bari (Cretaceo)

I calcari di Bari corrispondono a dei calcari bianchi e grigio chiari in strati e banchi di spessore decimetrico e metrico.

Sono costituiti da litofacies a tessitura prevalentemente fango-sostenuto e subordinatamente granulo-sostenuta. A luoghi sono interessati da diagenesi meteorica e/o da pedogenesi, con frequenti intercalazioni di calcari dolomitici e di dolomie grigie.

Possono presentare una notevole carsificazione con cavità molto spesso riempite di terra rossa.

Il Calcare di Bari rappresenta il substrato sedimentario su cui poggiano in discordanza tutte le unità più recenti.

Il tracciato ferroviario interessato dal presente progetto, si sviluppa nella quasi totalità in corrispondenza di questa formazione geologica.

Formazione Calcareniti di Gravina (Pleistocene inferiore)

Le Calcareniti di Gravina corrispondono a dei depositi calcarenitico-calciruditici di ambiente litorale più o meno profondo costituito da detrito calcareo soprattutto di origine bioclastica e in minor misura di natura litoclastica.

Questi ultimi litotipi hanno una età riferibile al Pliocene superiore-Pleistocene inferiore e giacciono sulla formazione del Calcare di Bari con un contatto trasgressivo che evidenzia un'ampia lacuna stratigrafica.

Il tracciato ferroviario interessato dal presente progetto, non intercetta questa formazione geologica.

Sintema di Costa San Giovanni (Pleistocene superiore)

Corrispondono a dei litotipi costituiti da ghiaie a luoghi cementate composte da ciottoli calcarei in matrice siltoso-sabbiosa di colore bruno-rossastro.

L'ambiente di sedimentazione è di tipo alluvionale con il limite inferiore inconforme sulla formazione dei Calcari di Bari.

Lo spessore massimo di questi litotipi è pari a circa 2-3 metri.

Si rinvencono marginalmente nella porzione settentrionale del tracciato ferroviario di progetto in corrispondenza del viadotto a cinque campate.

Depositi alluvionali recenti ed attuali (Pleistocene superiore-Olocene)

Rappresentano le ghiaie composte da ciottoli calcarei in matrice siltoso-terrosa di colore bruno-rossastro che si rinvencono nelle zone di impluvio e rappresentano un ambiente di sedimentazione alluvionale.

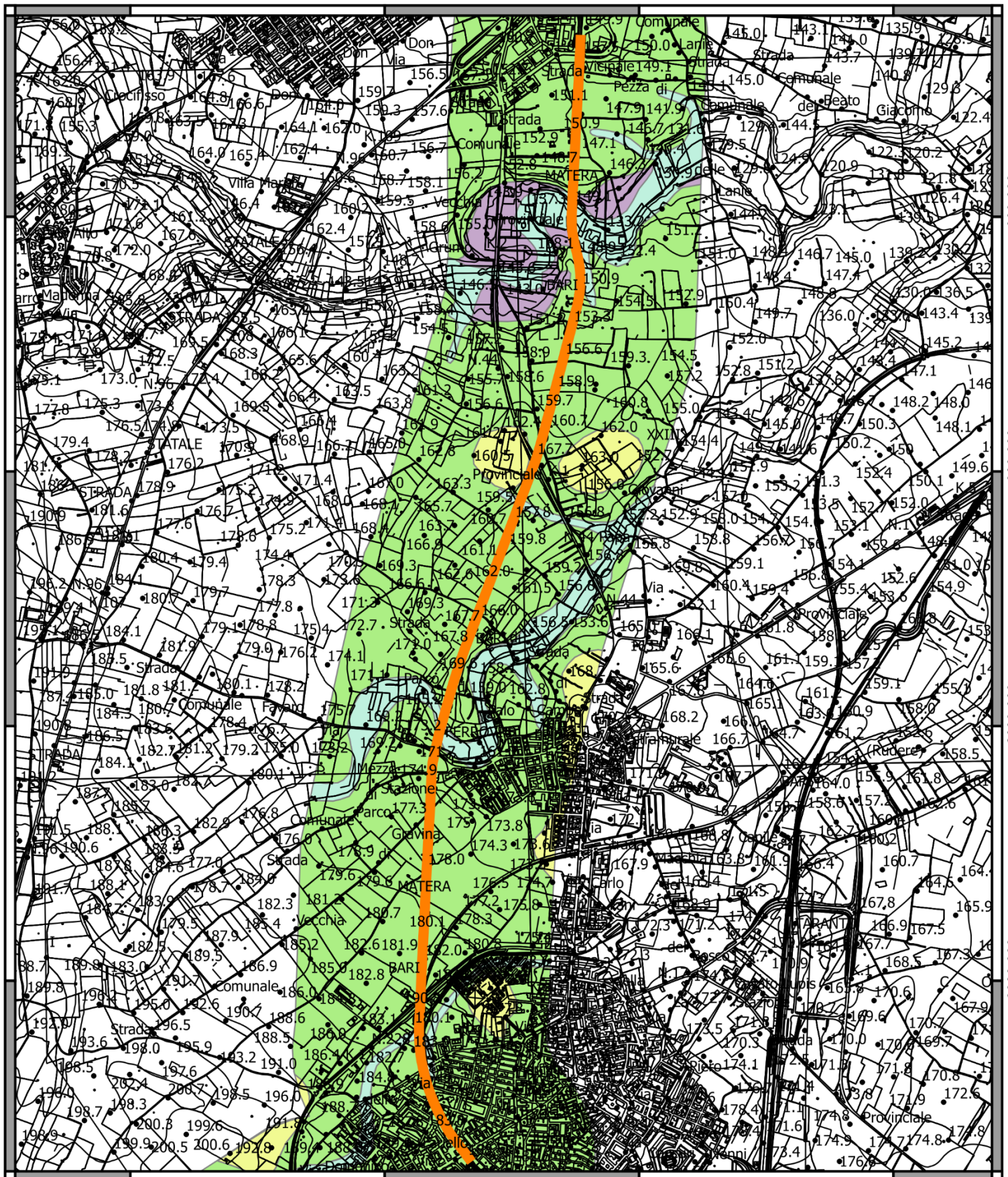
Nella pagina seguente viene riportato uno stralcio della Carta Geologica pubblicata dall'Ispra in scala 1 a 50.000 e modificata in scala 1: 20.000 su cui è riportato il tracciato ferroviario interessato dall'intervento di progetto.

642000.000

643000.000

644000.000





645000.000



250 0 250 500 750 1000 m

Legenda

 tracciato di progetto LITOLOGIA

-  Deposito alluvionale recente ed attuale (Pleist. super.-Olocene)
-  Sintema di Costa San Giovanni (Pleist. sup.)
-  Calcareni di Gravina (Pleist. inf.)
-  Calcari di Bari (Cretaceo)

CARTA GEOLOGICA

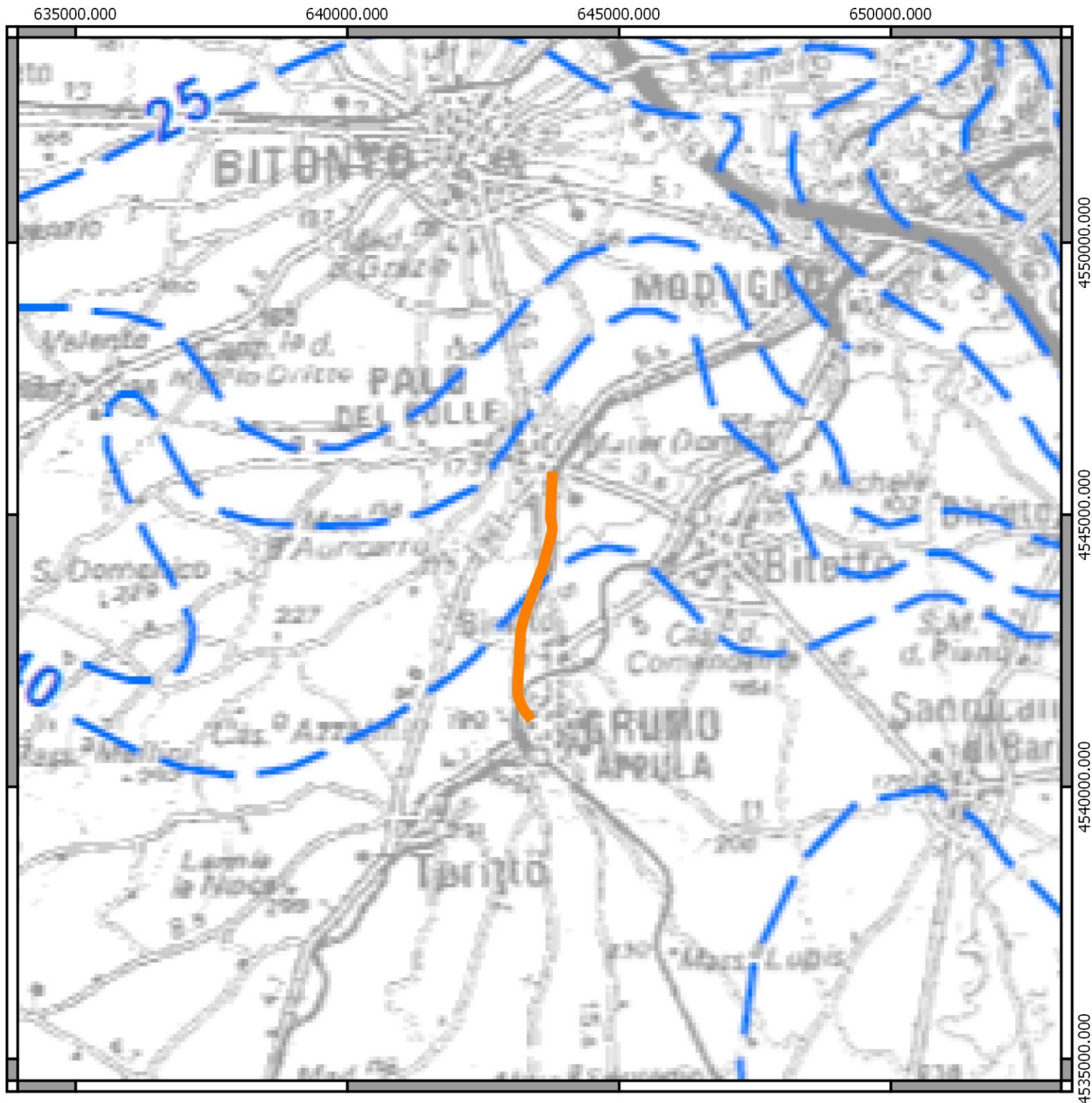
SCALA 1: 20000

Caratteri idrogeologici del territorio su cui si sviluppa il tracciato ferroviario

Le caratteristiche litostratigrafiche delle rocce che costituiscono il sottosuolo del territorio in studio rappresentate prevalentemente da calcari, spesso sottilmente stratificati ed interessati da fitte fratture e fessure che proseguono nel sottosuolo per diverse centinaia di metri, e subordinatamente da calcareniti e ghiaie, impediscono la formazione di falde acquifere superficiali consentendo la presenza di una sola falda corrispondente a quella cosiddetta profonda posta ad altezze differenti s.l.m. in funzione della quota topografica i cui carichi piezometrici sono riportati nello stralcio sottostante riferito alla Tav. 6.2 del Piano di Tutela Acque Puglia.

Nel territorio oggetto dell'intervento, pertanto, la falda si incontra ad una profondità tale da non interagire con le opere in progetto.

Più in dettaglio si può notare come essa si rinvenga a profondità superiori ai 120 metri dal piano campagna e comunque variabile in funzione dell'andamento topografico.



1 0 1 2 3 4 km



Legenda

— tracciato di progetto

--- isopiezica (m s.l.m.)

EMERGENZE CENSITE DA S.I.M. DI BARI

● Portata < 10 l/s

Portata > 10 l/s

EMERGENZE CENSITE DA INFRAROSSO TERMICO

^ Gruppo di efflussi a mare probabilmente coincidenti con sorgenti

^ Concentrazione di più efflussi di limitato contrasto termico

(Singolo efflusso a mare probabilmente coincidente con una sorgente

(Singolo efflusso a mare di limitate dimensioni e modesta anomalia termica

(Singolo efflusso a mare di rilevanti dimensioni ed elevata anomalia termica

TAV. 6.2 P.T.A. PUGLIA
SCALA 1: 100000

Pericolosità geologica dell'area

La pericolosità geologica consiste nella probabilità che un dato evento (portatore/causa di effetti negativi per l'uomo e/o l'ambiente) si verifichi con una certa intensità in una data area e in un determinato intervallo di tempo.

In base alla collocazione geografica e alle caratteristiche geomorfologiche e litostratigrafiche dell'ambito territoriale studiato, si focalizza l'attenzione su:

- pericolosità sismica
- pericolosità idraulica
- pericolosità geomorfologica.

Pericolosità sismica di base

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 –Norme Tecniche per le Costruzioni–, e con l'ultimo aggiornamento delle stesse (2018), la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “sito dipendente”. L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica. Il primo passo consiste nella determinazione di a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido). Tali valori sono forniti dall'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV) in base agli studi del Gruppo di Lavoro MPS (2004), che ha provveduto alla redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 riportata nel Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.



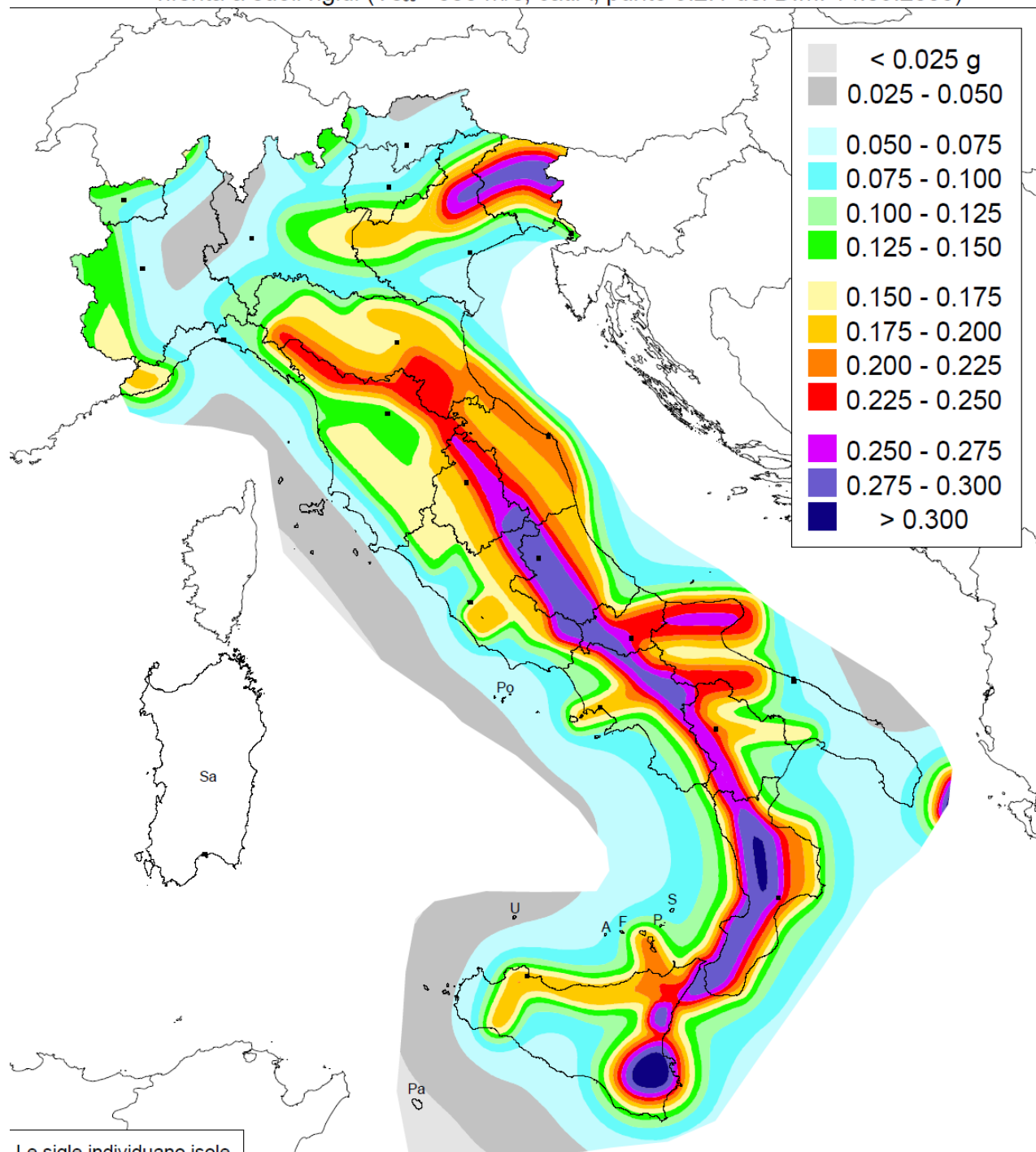
Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale - 84^{mo} percentile

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)





ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

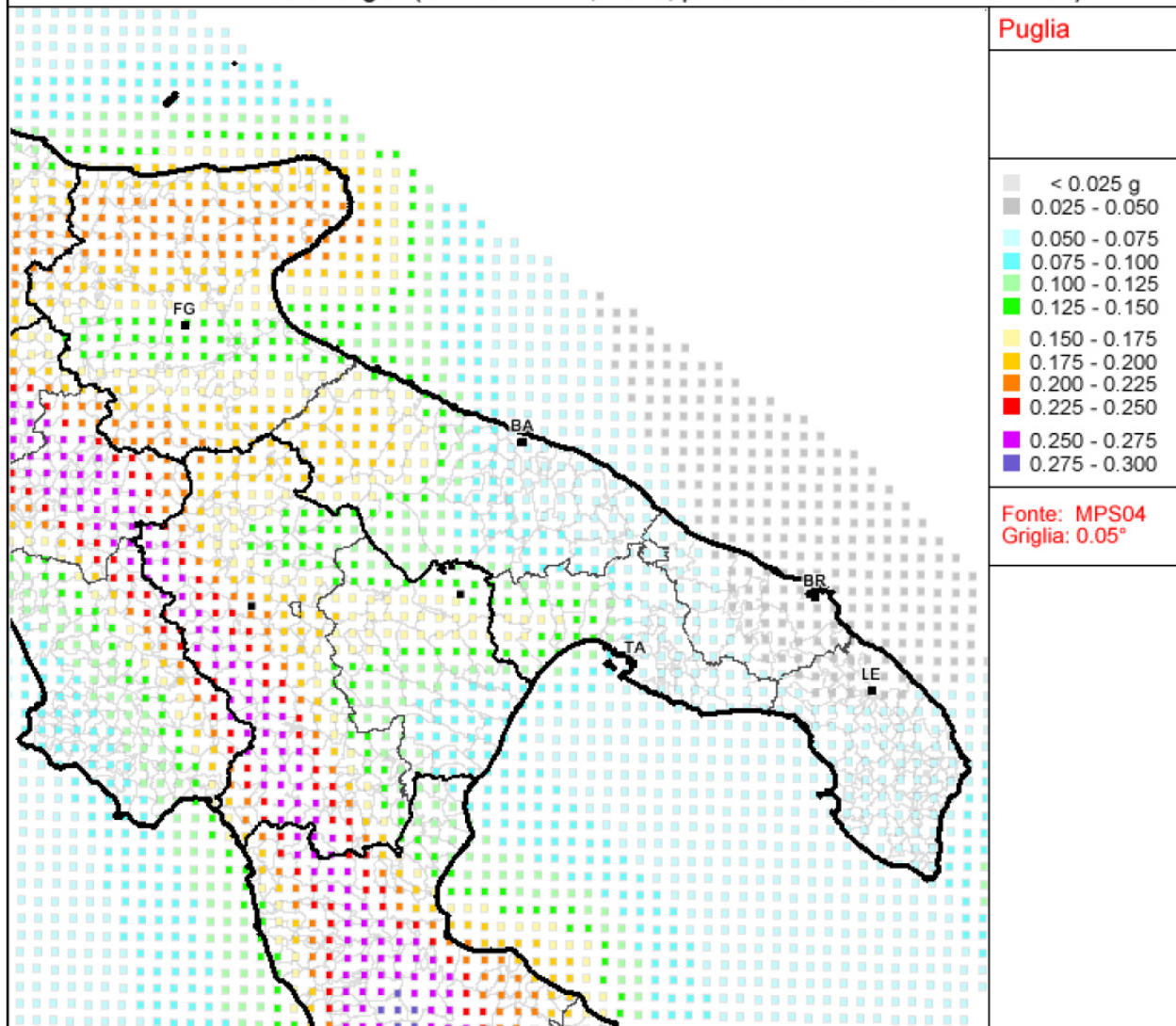
Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressi in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)



Per la determinazione dei parametri di scuotimento è necessario conoscere le coordinate geografiche dell'opera da verificare. Si determina quindi, la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del

sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- F_0 e T_c^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione,
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle NTC.

Il Ministero dei LL. PP. ha reso disponibile un foglio di calcolo che permette di calcolare agevolmente i parametri sismici richiesti dalle NTC in base al Comune o, in maniera più precisa, alle coordinate geografiche dell'opera da realizzare. Da tale foglio di calcolo sono ricavati per i siti esaminati i grafici riportati successivamente per ciascun sito.

Come accennato in precedenza, tali parametri di base, sono modificati in funzione della Stratigrafia (Categorie di Suolo) e della morfologia (Condizioni topografiche) del sito, giungendo a definire la

“Risposta sismica locale”. La scelta del tempo di ritorno è invece funzione del tipo e della classe dell’opera da realizzare, mentre altre modifiche sono indotte dalla tipologia strutturale.

CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tali categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell’azione sismica se di altezza maggiore di 30,00 metri.

Nel caso in esame la categoria topografica è la T1 (pendii con inclinazione media $i \leq 15^\circ$).

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VSeq (in m/s), definita dall’espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

h_i spessore dell’i-esimo strato;
 $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
 N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VSeq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Le indagini geofisiche eseguite e riportate in dettaglio in Allegato nella Relazione delle Indagini in situ, indicano per le aree indagate categorie di suolo di tipo "A".

Nelle pagine seguenti si riportano i parametri della pericolosità sismica di base riferita alle coordinate del punto medio del percorso.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE
16,70409
 LATITUDINE
41,02543

☐ Ricerca per comune
 REGIONE
Puglia
 PROVINCIA
Bari
 COMUNE
Palo del Colle

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

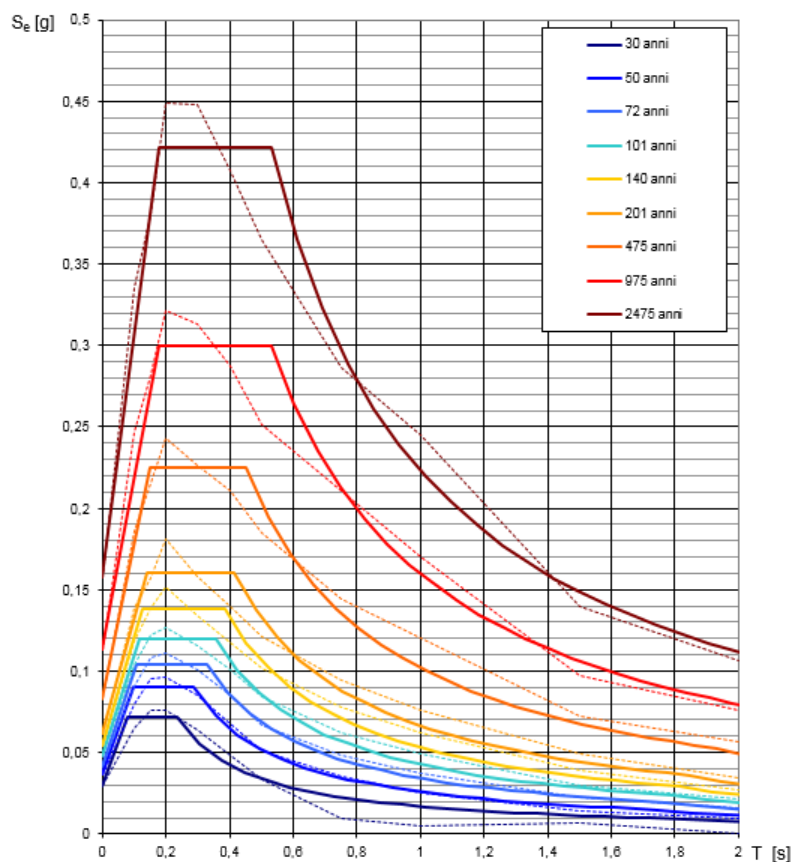
Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
☒ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 3 nodi
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione
 media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate (STAT) del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

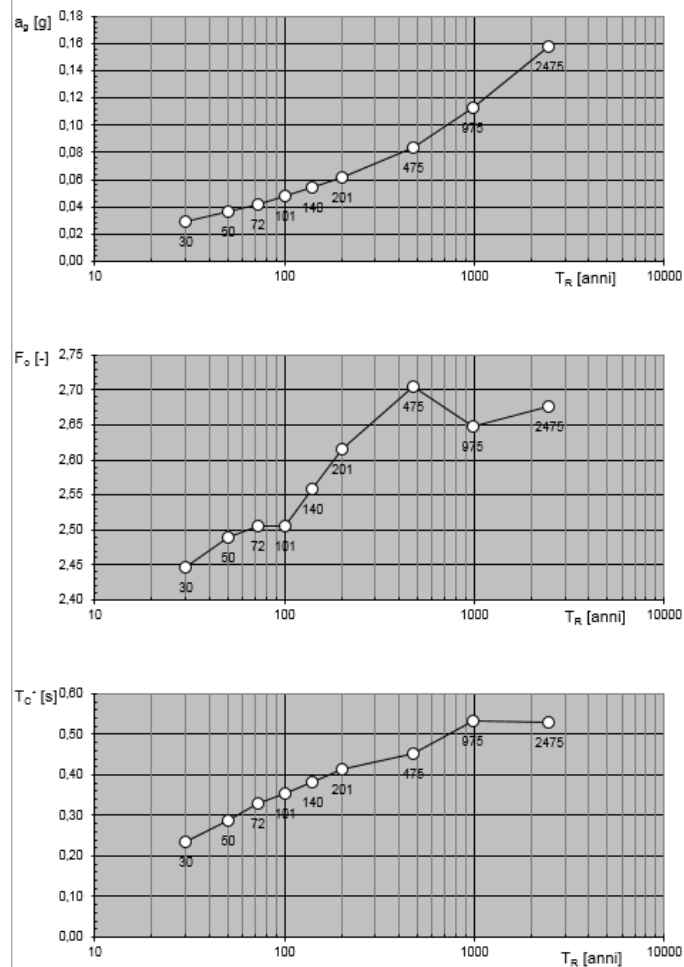
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,029	2,446	0,236
50	0,036	2,489	0,286
72	0,042	2,506	0,328
101	0,048	2,506	0,355
140	0,054	2,558	0,383
201	0,061	2,616	0,414
475	0,083	2,705	0,451
975	0,113	2,648	0,532
2475	0,157	2,677	0,529

Rischio Idraulico e geomorfologico

L'autorità di Bacino della Regione Puglia ha perimetrato le diverse aree del territorio regionale a pericolosità idraulica suddividendole come segue in relazione al tempo di ritorno dei possibili eventi dannosi:

- AP aree ad alta probabilità di inondazione
- MP aree a moderata probabilità di inondazione
- BP aree a bassa probabilità di inondazione

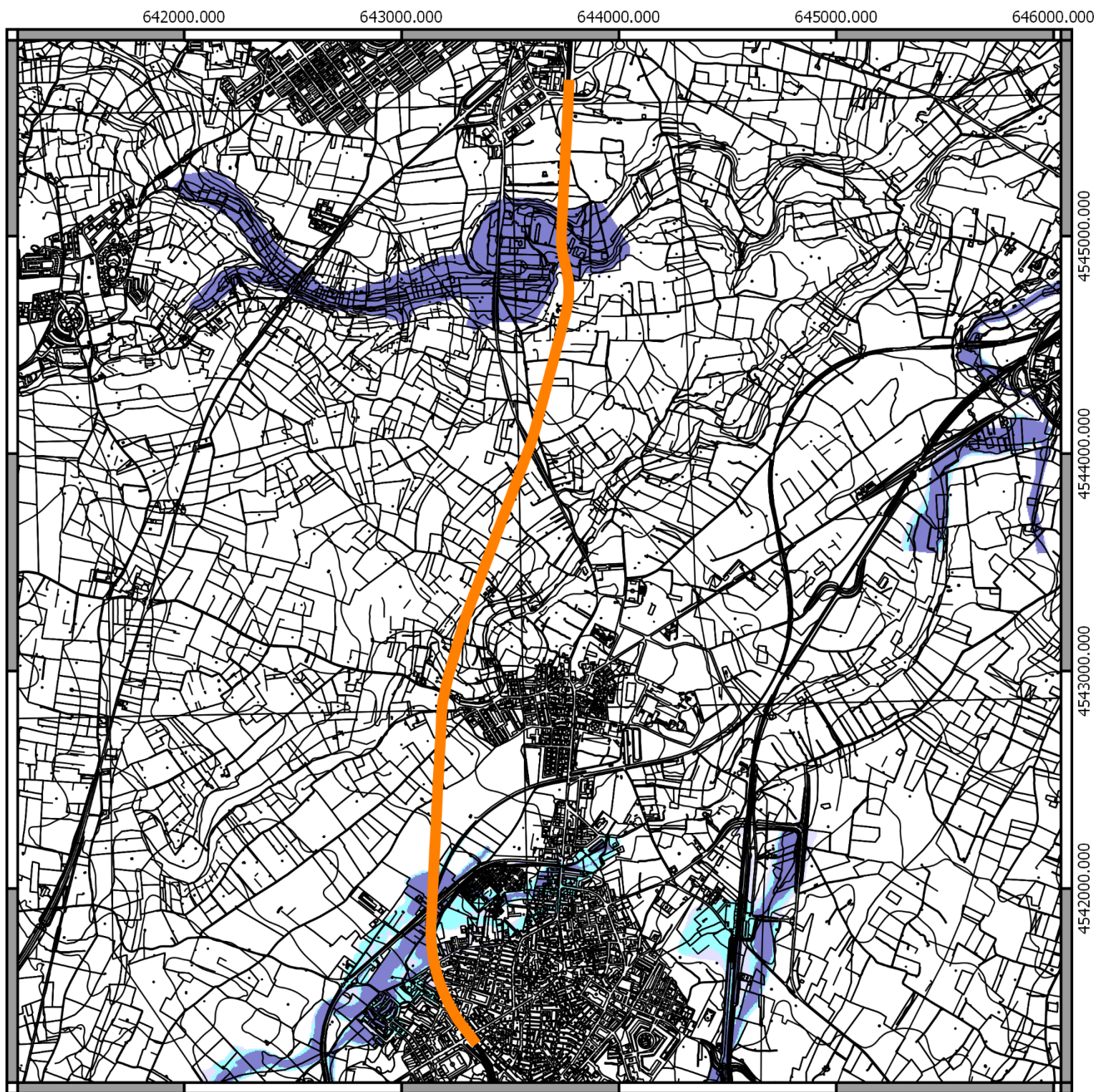
Il tracciamento delle aree inondabili avviene sulla base dei livelli di piena stimati, per i reticoli idrografici, e sulla base dell'altezza idrica raggiunta all'interno delle depressioni morfologiche, per i recapiti endoreici; riferendosi alle risultanze delle modellazioni idrologiche ed idrauliche per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni e corrispondenti alle perimetrazioni di tipo AP (Alta Pericolosità), MP (Media Pericolosità) e BP (Bassa Pericolosità) rispettivamente.

La zona dell'intervento progettuale è interessata da perimetrazioni di tipo MP e AP nelle porzioni settentrionali e meridionali del tracciato ferroviario.

L'Autorità di Bacino della Regione Puglia ha perimetrato inoltre le diverse aree del territorio regionale a pericolosità geomorfologica suddividendole come segue:

- PG3 aree a pericolosità da frana molto elevata
- PG2 aree a pericolosità da frana elevata
- PG1 aree a pericolosità da frana media e moderata

La zona non ricade in aree a pericolosità geomorfologica.




250 0 250 500 750 1000 m




CARTA PERICOLOSITA' IDRAULICA DA ADB PUGLIA SCALA 1: 25000

Legenda

 tracciato di progetto

 bassa (BP)

 media (MP)

 alta (AP)

Indagini in situ

Dalla Ditta Geoprove S.R.L. con sede a Ruffano (LE), nei mesi di gennaio e febbraio 2010 è stata condotta una campagna di indagini dirette costituite da n. 13 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di profondità pari ciascuno a 20 metri e realizzati in 7 aree distinte e più precisamente in numero di 2 per ciascuna area (1,4,5,6,7,8) ad esclusione di un'area (9) in cui è stato realizzato un unico sondaggio geognostico.

In corrispondenza di ciascun sondaggio ad esclusione del sondaggio 9, sono stati prelevati 2 campioni per un totale di 24 su cui sono state effettuate delle analisi di laboratorio.

Sono stati eseguite anche delle indagini indirette consistenti in n. 8 sondaggi sismici a rifrazione in corrispondenza dei quali è stata effettuata anche una indagine sismica superficiale con metodologia Masw per il calcolo delle V_{seq} .

Infine, sempre in riferimento ad indagini indirette, in corrispondenza di 4 delle aree oggetto di indagine, sono state eseguite delle prospezioni geoelettriche.

I risultati delle indagini e delle analisi di laboratorio sono riportati nell'allegato "GE0002 RELAZIONE SULLE INDAGINI".

I dati ricavati attraverso le indagini, unitamente ai rilievi di campagna ed ai dati bibliografici disponibili, hanno permesso di ricostruire la successione stratigrafica delle zone interessate dalle opere d'arte e dei parametri geotecnici dei litotipi presenti.

Di seguito si riportano per ciascuna zona le relative stratigrafie con i parametri geotecnici.

Caratteristiche litologiche dei litotipi presenti in corrispondenza delle opere d'arte

Nelle aree interessate dagli interventi di progetto, sono state eseguite delle indagini di dettaglio finalizzate a caratterizzare dal punto di vista geotecnico gli ammassi rocciosi e i terreni presenti. In particolare, il Piano delle Indagini approvate prevedeva:

- n. 13 Sondaggi a carotaggio continuo, con prelievo di campioni;
- n. 10 Pozzetti geognostici/ambientali;
- n. 8 Indagini geofisiche sismiche per la determinazione di V_p e V_s ;
- n. 5 Indagini geoelettriche per la verifica di cavità;
- Analisi di laboratorio geotecnico;

Il Report contenente tali indagini è oggetto di altro elaborato progettuale.

Nell'area di intervento progettuale, si rinvennero diffusamente rocce di natura calcarea della formazione dei Calcari di Altamura. Queste rocce, sotto il profilo geotecnico, offrono in generale delle ottime caratteristiche meccaniche -in termini di resistenza e deformabilità- che consentono in prima approssimazione di assegnare loro, nelle situazioni più favorevoli, valori elevati di resistenza. Possono essere classificate, in base alla loro resistenza alla compressione monoassiale, in un intervallo compreso tra rocce Mediamente resistenti ed estremamente resistenti.

Secondo quanto riportato dal Canadian Foundation Engineering Manual (1985) e di seguito riportato:

Grado di classificazione	Range di resistenza alla compressione (MPa)
R0 <i>Estremamente debole</i>	< 1
R1 <i>Molto debole</i>	$1 \div 5$
R2 <i>Debole</i>	$5 \div 25$
R3 <i>Mediamente resistente</i>	$25 \div 50$
R4 <i>Resistente</i>	$50 \div 100$
R5 <i>Molto resistente</i>	$100 \div 250$
R6 <i>Estremamente resistente</i>	> 250

Le prove di laboratorio eseguite, hanno restituito valori di resistenza alla compressione monoassiale compresi tra 39 e 175 MPa, ciò induce a classificare le rocce in esame da “*mediamente resistenti*” a “*molto resistenti*”.

Ai fini della caratterizzazione tecnica delle rocce, bisogna porre in evidenza che esiste una sostanziale differenza tra quella dell'ammasso roccioso ed il provino di laboratorio.

Infatti le caratteristiche d'insieme e la qualità di un ammasso roccioso dipendono anche e soprattutto da: spaziatura, apertura, ruvidità e materiale di riempimento delle discontinuità e dall'orientamento delle stesse, secondo le raccomandazioni della Società Internazionale di Meccanica delle Rocce (Brown, 1981). Pertanto, per la definizione del modello geotecnico, sono stati elaborati i dati derivanti dalle prove sismiche, privilegiando le correlazioni più cautelative disponibili in letteratura. Le correlazioni tra i parametri sismici e i parametri geotecnici, devono essere utilizzate con spirito critico, avendo presente il loro carattere empirico, per cui non si può prescindere da una conoscenza delle caratteristiche geo-litologiche e del comportamento geotecnico dei terreni. Consentono comunque di ottenere la determinazione di valori medi e non puntuali dei parametri geotecnici, riferendoli al loro stato iniziale e a volumi di terreno rappresentativi dei caratteri megastrutturali dei depositi. Per le unità geologiche-geotecniche litoidi le caratteristiche meccaniche sono state ricavate in base alle correlazioni proposte da N. Barton in -Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy, 2006; e modificato per le calcareniti da Carozzo et Al. . Conoscendo il valore della velocità V_p , è possibile una stima dell'indice Q_c ($Q_c = Q$ normalizzato rispetto ad una resistenza a compressione monoassiale. Le relazioni utilizzate sono:

$$\text{calcari: } Q_c = 10(V_p^{-3.5})$$

$$\text{calcareniti: } Q_c = 10(V_p^{-1.212})$$

L'indice di Barton così ottenuto consente una classificazione qualitativa dell'ammasso (vedi Tab. I.a), ma non quantitativa perché non è possibile scinderlo nei termini principali, attritivo e coesivo, che lo costituiscono. Utilizzando le correlazioni che legano Q al Geological Strength Index (GSI) di Hoek & Brown, è possibile stimare i parametri di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso.

Tab. I.a

Q	0.001-0.01	0.01-0.1	0.1-1
Classe	IX	VIII	VII
Descrizione	Eccez. scadente.	Estrem. scadente	Molto scadente
Q	1-4	4-10	10-40
Classe	VI	V	IV
Descrizione	scadente.	mediocre	buona
Q	40-100	100-400	400-1000
Classe	III	II	I
Descrizione	Molto buona.	Estrem. buona	Ottima

Il criterio generalizzato di rottura di Hoek-Brown:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

dove

m_b è il valore ridotto della costante di Hoek-Brown per l'ammasso considerato, pari a :

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

s ed a sono costanti dell'ammasso date dalle seguenti relazioni:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

σ_1' e σ_3' sono il minimo e il massimo sforzo efficace alla rottura;

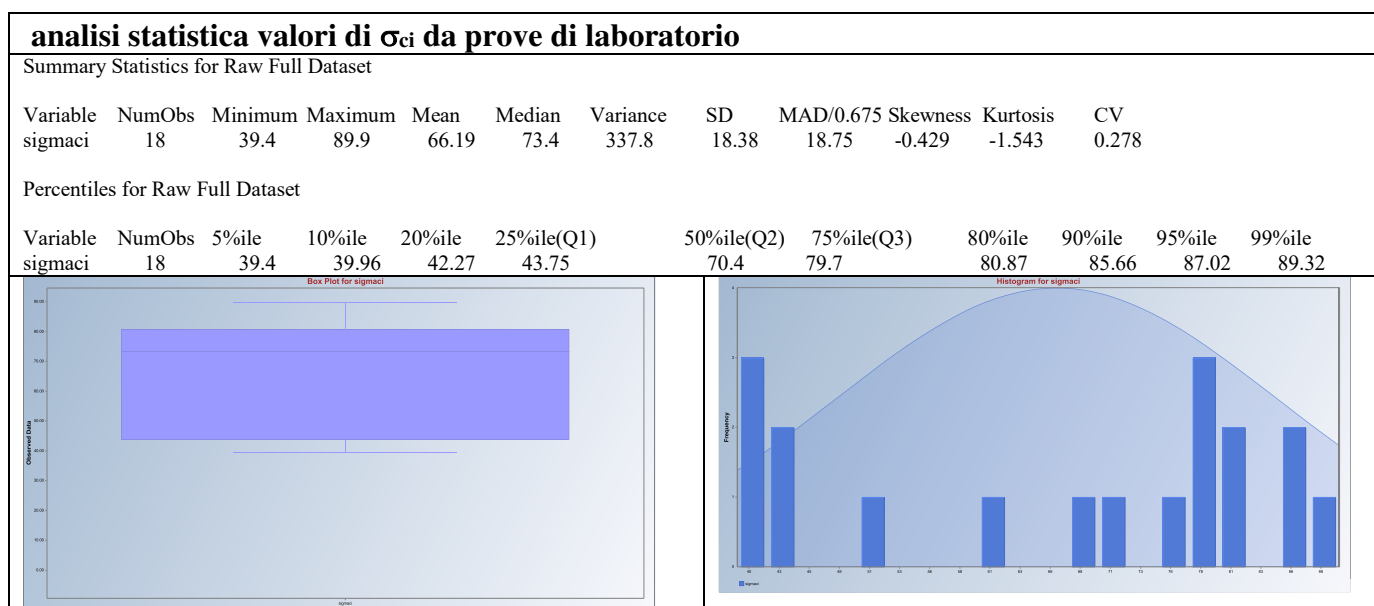
σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;

D è un fattore che dipende dal grado di disturbo dell'ammasso, variabile tra 0

(ammasso in posto indisturbato) a 1 (ammasso scavato con esplosivo). Per utilizzare tale criterio onde stimare le caratteristiche di resistenza e deformabilità, è necessario e sufficiente valutare i seguenti tre parametri:

- 1) La resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta (σ_{ci});
- 2) Il valore della costante di Hoek-Brown per la roccia intatta (m_i);
- 3) Il valore del "Geological Strength Index" GSI per l'ammasso roccioso.

La resistenza a compressione monoassiale della roccia è stata ricavata con l'elaborazione statistica dei risultati delle prove di laboratorio (vedi tabella). In corrispondenza del 5%ile risulta $\sigma_{ci} \approx 39$ MPa:



Il valore della costante m_i è stato ricavato dalla tabella di H&B riportata alla pagina seguente (Tab. I.b).

Il GSI permette di stimare la riduzione di resistenza dell'ammasso roccioso in base alle diverse situazioni geologiche, e può essere ricavato dall'esame visivo degli ammassi rocciosi esposti (ad es. lungo pareti rocciose o scavi) come indicato nella tabella I.d. oppure, come nel nostro caso attraverso correlazione con le velocità sismiche.

Per quanto riguarda i terreni, le migliori correlazioni riguardano le velocità delle onde di taglio (S), e permettono di stimare i principali parametri geotecnici. Sono infatti numerose nella letteratura specializzata più recente, le correlazioni:

$V_s - \gamma$ (peso di volume)

$V_s - NSpt$ (ad es. Jafari et Al.)

$V_s - c', cu, \phi'$ (ad es. Prakoso)

$V_s - E, G, M$ (moduli di deformazione)





Esse sono state quindi utilizzate per ricavare i parametri geotecnici.

Tab. 1b

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerate (22)	Sandstone 19 —— Greywacke —— (18)	Siltstone 9	Claystone 4
	Non-Clastic	Organic	Chalk 7 —— Coal —— (8-21)			
		Carbonate	Breccia (20)	Sparitic Limestone (10)	Micritic Limestone 8	
		Chemical	Gypstone 16		Anhydrite 13	
	METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9	Hornfels (19)	Quartzite 24
Slightly foliated		Migmatite (30)	Amphibolite 25 - 31	Mylonites (6)		
Foliated*		Gneiss 33	Schists 4 - 8	Phyllites (10)	Slate 9	
IGNEOUS	Light		Granite 33		Rhyolite (16)	Obsidian (19)
	Dark		Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalt (17)	
			Norite 22			
Extrusive pyroclastic type		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)		

* These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

Tab. 1c

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		SURFACE CONDITIONS					
<p>From the letter codes describing the structure and surface conditions of the rock mass (from Table 4), pick the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index (GSI) from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI = 38.</p>		<p>VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces</p> <p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p> <p>FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces</p> <p>POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments</p> <p>VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p>					
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY					
 <p>BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets</p>		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES	80				
			70				
			60				
			50				
 <p>VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets</p>				40			
				30			
 <p>BLOCKY/DISTURBED- folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets</p>					20		
					10		
 <p>DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces</p>							

Valutazione preliminare della resistenza ultima e di progetto

In letteratura esistono diverse relazioni per valutare la capacità portante ultima dell'ammasso roccioso a partire dai parametri di Hoek & Brown, la più cautelativa è quella proposta da Kulhawy & Carter¹ :

$$q_u = \sigma_{ci} (s^a + (m_b s^a + s)^a)$$

A tale valore deve essere applicato un coefficiente di sicurezza almeno pari a FS = 5 come consigliato dagli Autori:

$$q_{sic} = q_u / 5$$

In sede di Relazione Geotecnica, se si utilizzeranno relazioni per il calcolo della resistenza basate sul criterio di Mohr Coulomb, è bene tenere presente che queste sovrastimano la resistenza ultima dell'ammasso (Merifield et al.2).

Modulo di deformazione e costanti di sottofondazione


Il modulo di deformazione può essere stimato con la relazione proposta da Hoek & Brown e risulta, mentre per valutare le costanti di sottofondo alla Winkler si fa ricorso alla relazione semplificata proposta da Bowles:

$$k_z = E/B(1-\mu^2) \approx E/B$$

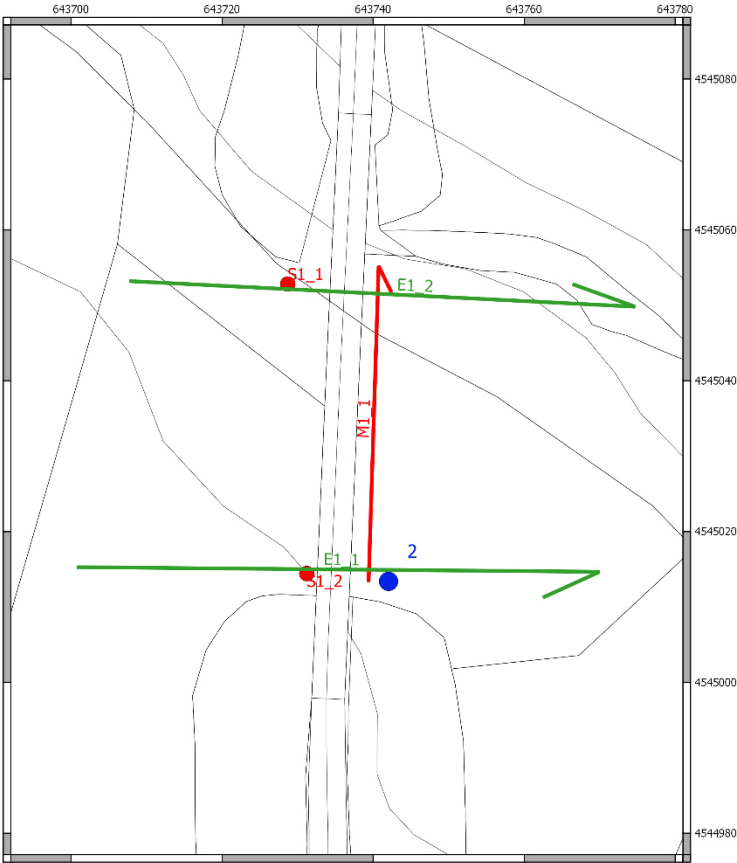
dove E è il modulo elastico, B è il lato della fondazione e μ il coefficiente di Poisson risulta poi, sempre secondo Bowles :

$$k_x = k_y = 0.12 k_z$$

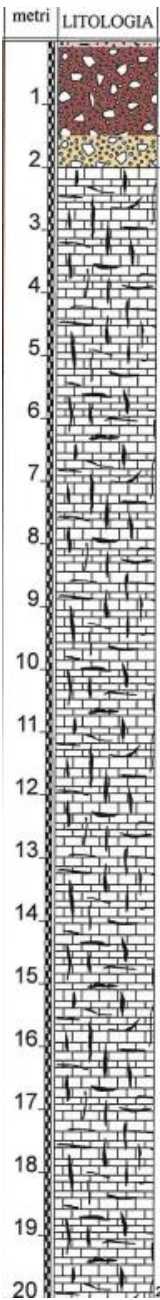
¹ Kulhawy FH, Carter JP (1992) Settlement and bearing capacity of foundations on rock masses and socketed foundations in rock masses. In: Bell FG (ed) Engineering in rock masses. Butterworth – Heinemann, Oxford, pp 231–245

² R.S. Merifield, A.V. Lyaminb, S.W. Sloan: Limit analysis solutions for the bearing capacity of rock masses using the generalised Hoek–Brown criterion  International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43 (2006) 920–937

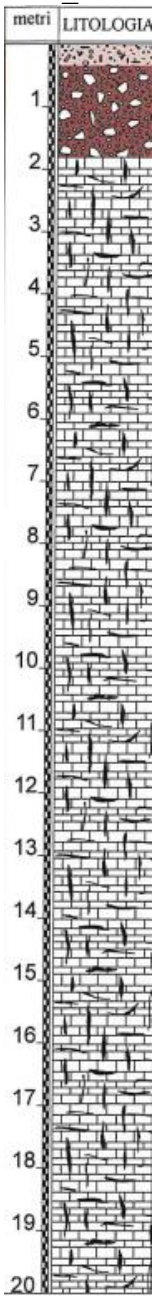
RADDOPPIO VIADOTTO A CINQUE ARCHI S1 1



RADDOPPIO VIADOTTO A CINQUE ARCHI



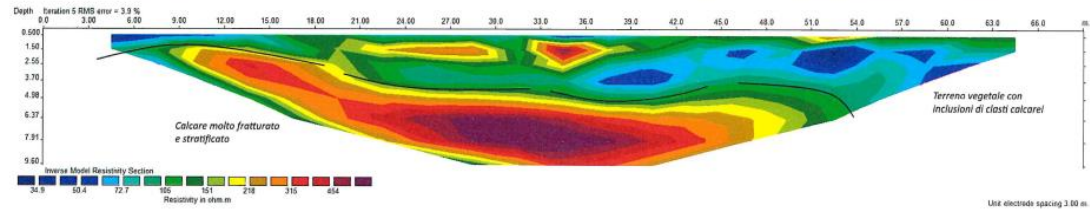
S1 2



E1 1

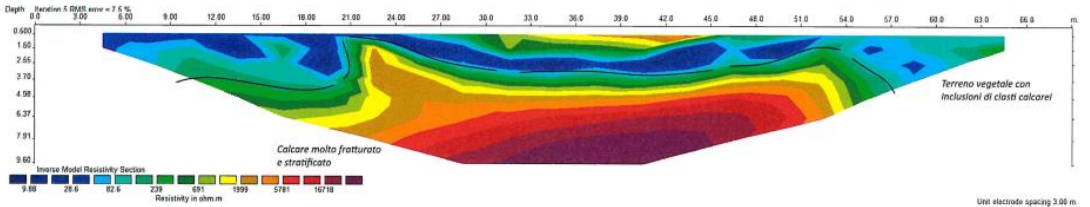
Profilo geoelettrico Tomografico E1_1

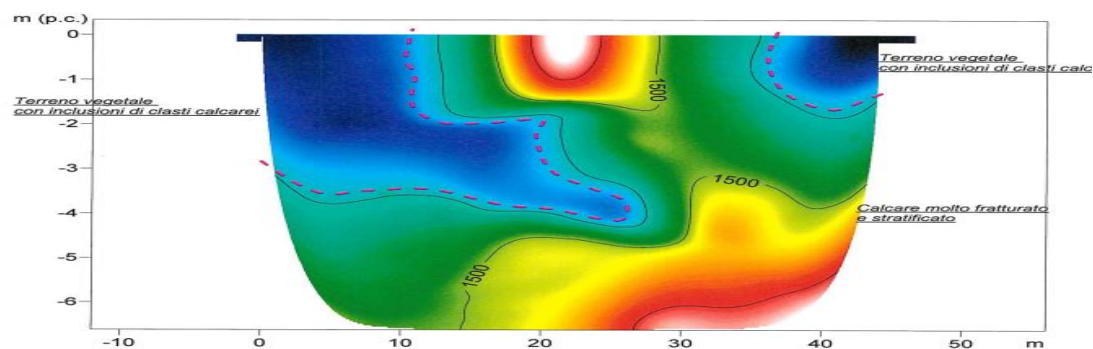
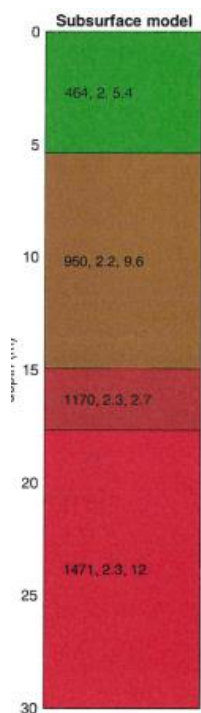
Riferimento: Ferrovie Appulo-Lucane, Tratta Palo del Colle-Grumo Appula



Profilo geoelettrico Tomografico E1_2

Riferimento: Ferrovie Appulo-Lucane, Tratta Palo del Colle-Grumo Appula





In corrispondenza della zona d'intervento sono stati realizzati n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (S1_1 e S1_2), n. 1 prospezione sismica a rifrazione e masw (M1_1), n 2 ERT (E1_1 E1_2) . Sono state inoltre svolte delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi. E' pertanto possibile, coerentemente con quanto esposto all'inizio del capitolo, ricostruire la successione stratigrafica di dettaglio e valutare i parametri geotecnici alla scala dell'ammasso, cioè redigere per il sito in esame, un valido :

Modello Geologico-Geotecnico

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) R

da 0.0 a 2.0 metri: Terreno vegetale, terra rossa

$V_p = 700$ m/s

$V_s = 400$ m/s

$\gamma = 16$ KN/mc

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) Ca1

da 2.0 a sino alla profondità di interesse

calcare molto fratturato e stratificato,
carsificato

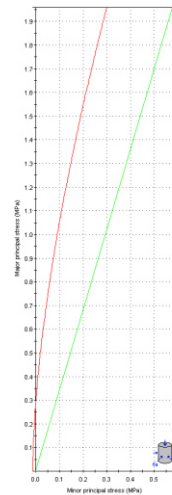
$V_p = 1600$ m/s

$V_s = 900$ m/s

$\gamma = 21$ KN/mc

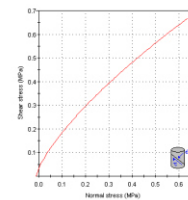
$\sigma_{ci} = 39$ MPa

$Q_c = 0.032$ da cui $GSI \approx 19$



Analysis of Rock Strength using RockLab

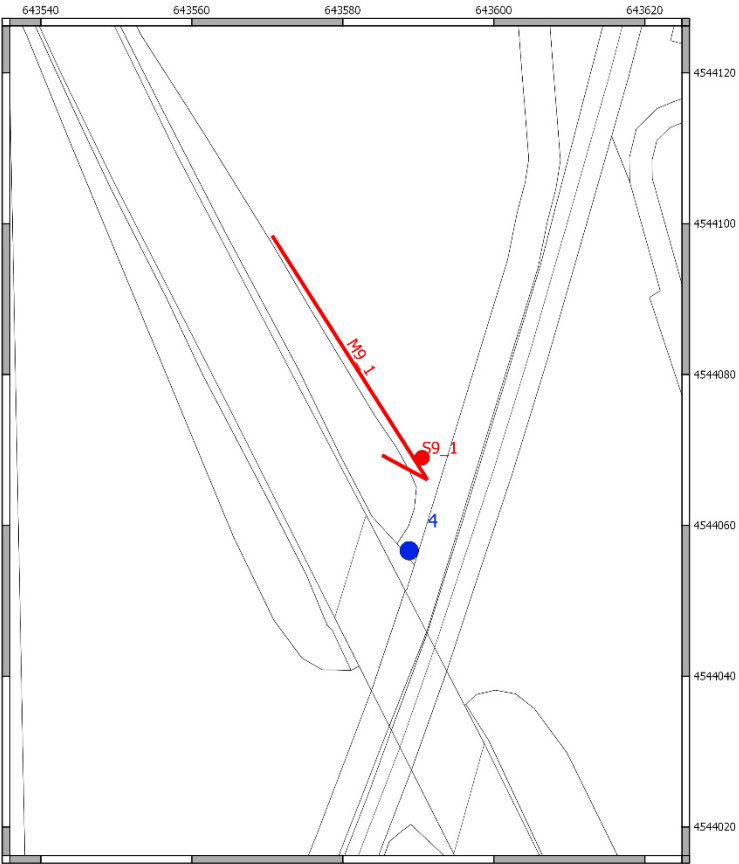
Rock-Brown Classification
 Rock uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 39 MPa
 GSI = 19 $\rho_u = 2$ Disturbance factor (D) = 0
 intact rock $\sigma_{ci} = 39.00$ MPa
Rock-Brown Criteria
 $m = 0.392$ $n = 0.0001$ $a = 0.547$
Mohr-Coulomb fit
 cohesion = 0.094 MPa friction angle = 43.53 deg
Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.022 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.204 MPa
 global strength = 2.515 MPa
 deformation modulus = 1653.74 MPa



GSI	mi	mb	s	a	E(MPa)	σ_{3max}	c(MPa)	ϕ	$K_w v^3$ Kg/cm ³	$K_w o$ Kg/cm ³
19	7	0.388	0.0001	0.547	1653	0.3	0.094	44°	16530/B	1984/B
qult=2.1 MPa qsic= 0.42 MPa (Kulhawy & Carter)										

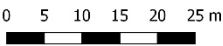
³ B= lato fondazione o diametro palo in cm, $K_w o = k_w v^3 \cdot 0.12$ (k_w = coefficiente di Winkler)

SOVRAPPASSO SP44



SOVRAPPASSO SP 44

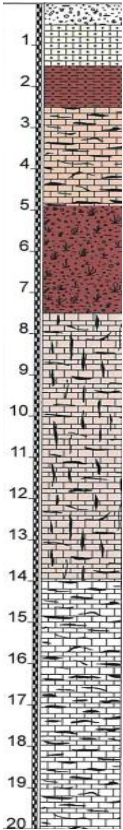
- sondaggi_progetto
- pozzetti_ambientali_progetto
- sismica-progetto
- geoelettrica progetto



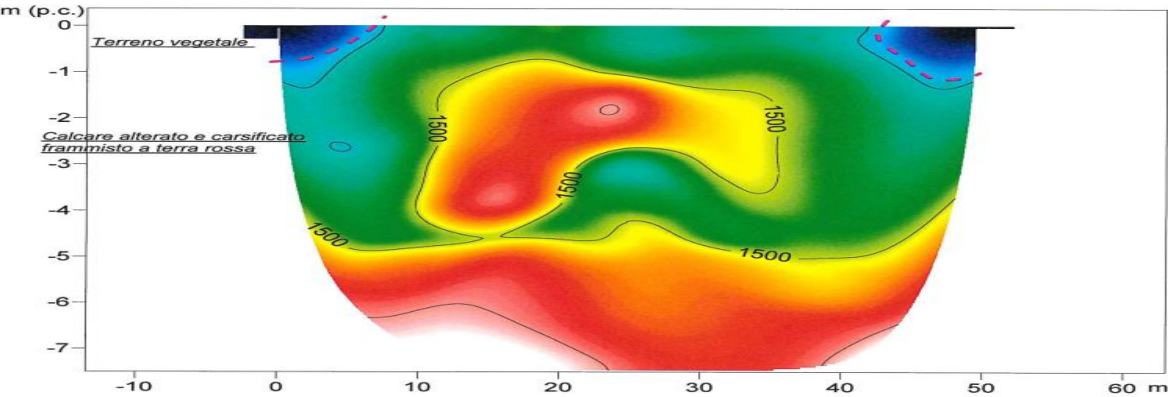
masw9_1



S9_1



M9_1



Modello Geologico-Geotecnico

da 0.0 a 2.5 metri: materiale di riporto passante a calcarenite alterata e terra rossa

 $V_s = 350 \text{ m/s}$ **UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) Ca1a**

calcare molto carsificato misto a terra rossa

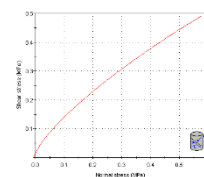
 $V_s = 550 \text{ m/s}$
$$\sigma_{ci} = 39 \text{ MPa}$$


Rock Brown Classification
 uniaxial compressive strength (avg) = 36 MPa
 $\phi = 11^\circ$ $m = 7$ cohesion factor (C) = 0
 axial modulus (E) = 200.3 GPa

Rock Brown Criterion
 $m = 0.292$ $a = 0.062$ $b = 0.560$

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.650 kPa friction angle = 37.57 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.362 MPa
 or mean compressive strength = 1.26 MPa
 global strength = 1.267 MPa



⁴ B= lato fondazione o diametro palo in cm, Kwo=k_wv*0.12 (k_w= coefficiente di Winkler)

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) Ca1b

da 8.0 metri

calcare molto fratturato e stratificato, carsificato

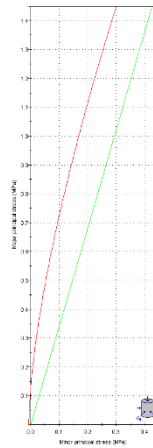
$$V_p = 1500 \text{ m/s}$$

$$V_s = 1000 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 20 \text{ KN/mc}$$

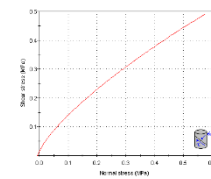
$$\sigma_{ci} = 39 \text{ MPa}$$

$$Q_c = 0.026 \text{ da cui GSI} \approx 16$$



Analysis of Rock Strength using Hoek-B

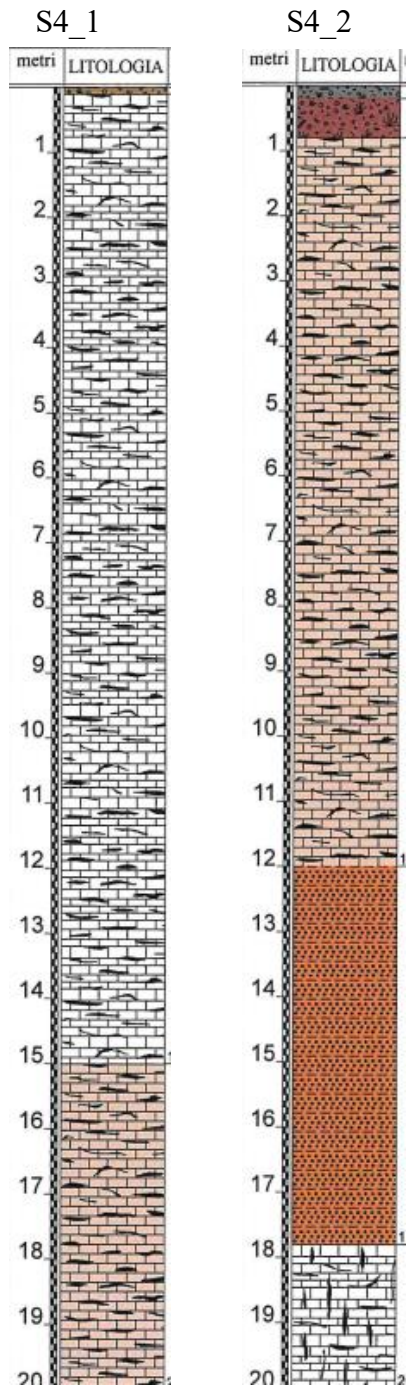
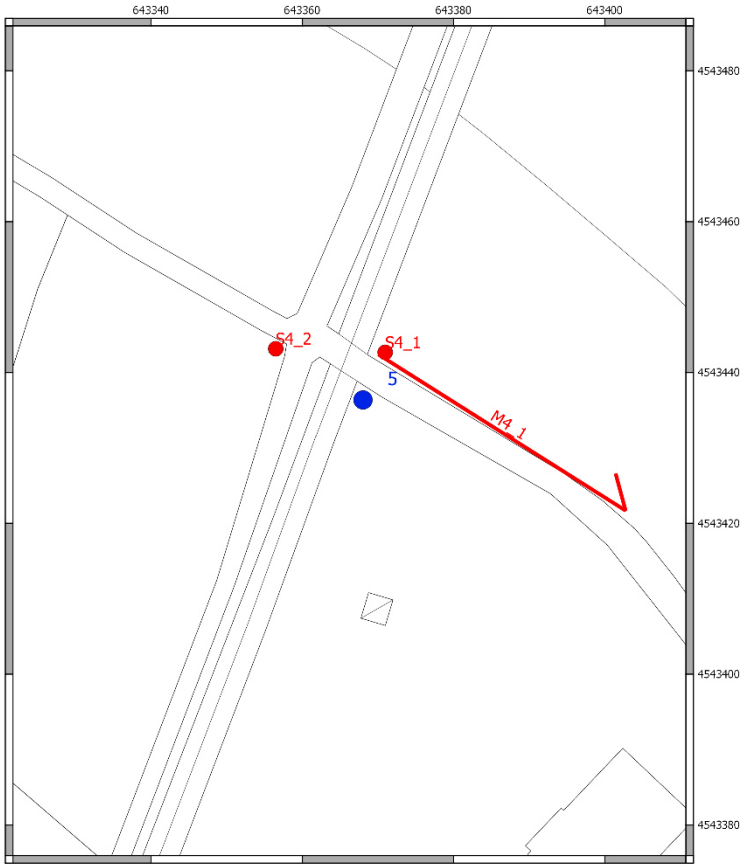
Rock Stress Classification
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00
Rock Stress Classification
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00
Rock Stress Classification
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00
 Hoek-Brown Stress Classification (GSI) = 16.00



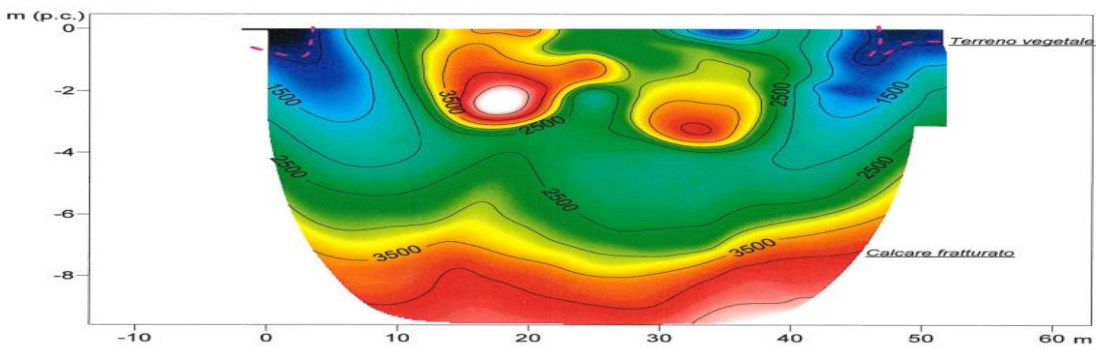
GSI	mi	mb	s	a	E(MPa)	σ_{3max}	c(MPa)	ϕ	K_{wv}^5 Kg/cm ³	K_{wo} Kg/cm ³
16	7	0.349	0.0001	0.557	1443	0.3	0.082	41°	14430/B	1732/B
qult = 1.8 MPa qsic= 0.36 MPa (Kulhawy & Carter)										

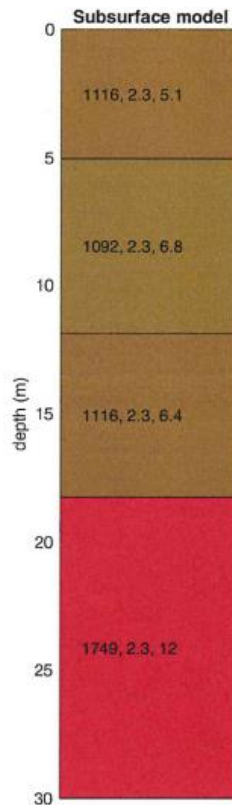
⁵ B= lato fondazione o diametro palo in cm, $K_{wo}=k_{wv} \cdot 0.12$ (k_{wv} = coefficiente di Winkler)

CAVALCAFERROVIA



M4_1





In corrispondenza della zona d'intervento sono stati realizzati n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (S4_1 e S4_2), n. 1 prospezione sismica a rifrazione e masw (M4_1). Sono state inoltre svolte delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi. E' pertanto possibile, coerentemente con quanto esposto all'inizio del capitolo, ricostruire la successione stratigrafica di dettaglio e valutare i parametri geotecnici alla scala dell'ammasso, cioè redigere per il sito in esame, un valido :

Modello Geologico-Geotecnico

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) Ca2

da 0.0 metri: sino alla profondità di interesse
calcare fratturato, carsificato con possibili sacche
di forte alterazione

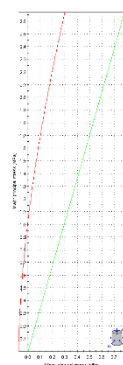
$$V_p = 2500 \text{ m/s}$$

$$V_s = 1000 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 21 \text{ KN/mc}$$

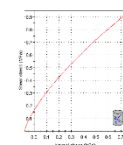
$$\sigma_{ci} = 39 \text{ MPa}$$

$$Q_c = 0.256 \text{ da cui GSI} \approx 34$$



Analisi di dati sismici (M4_1)

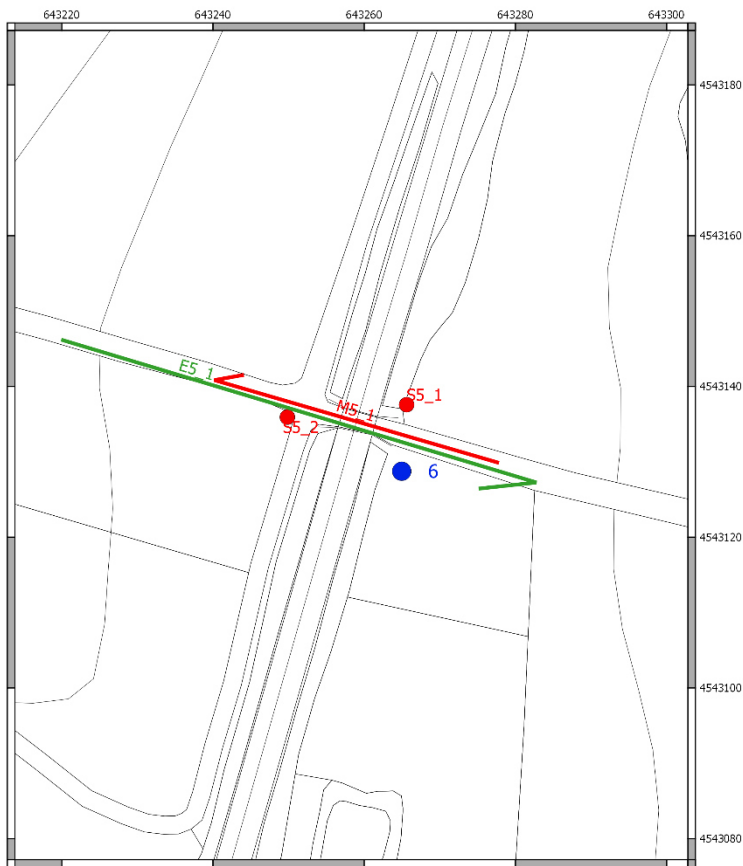
Modello Geologico-Geotecnico
Unità Geologica-Geotecnica (UG) Ca2
da 0.0 metri: sino alla profondità di interesse
calcare fratturato, carsificato con possibili sacche
di forte alterazione



GSI	mi	mb	s	a	E(MPa)	σ_{3max}	c(MPa)	ϕ	K_{wv}^6 Kg/cm ³	Kwo Kg/cm ³
34	7	0.6638	0.0007	0.517	4028	0.3	0.171	50°	40280/B	4834/B
qult = 5.9 MPa qsic= 1.17 MPa (Kulhawy & Carter)										

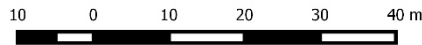
⁶ B= lato fondazione o diametro palo in cm, Kwo=k_{wv}*0.12 (k_w= coefficiente di Winkler)

RIFACIMENTO PONTICELLO

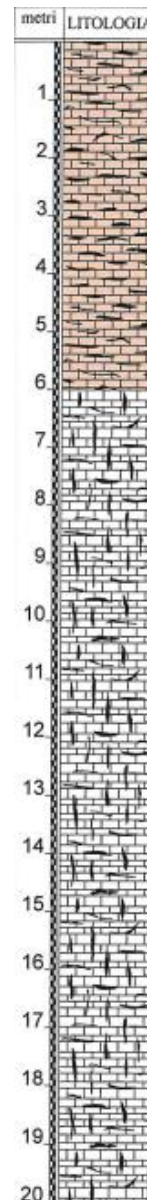


RIFACIMENTO PONTICELLO C.A. -POZZ. AMB. N. 6

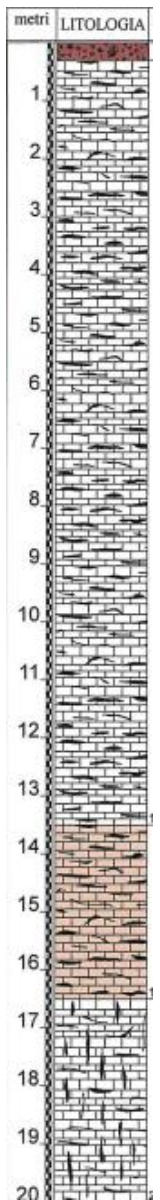
- sondaggi_progetto
- pozzetti_ambientali_progetto
- sismica-progetto
- geoelettrica progetto



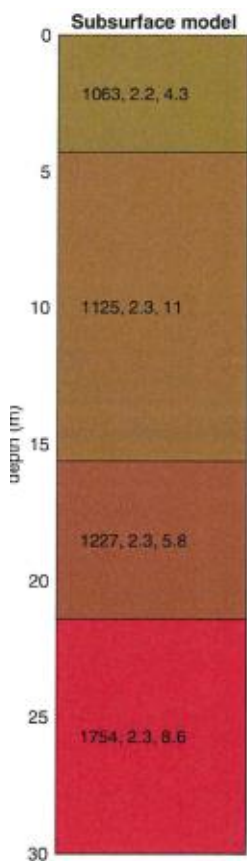
S5_1



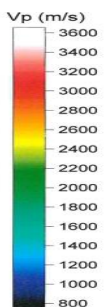
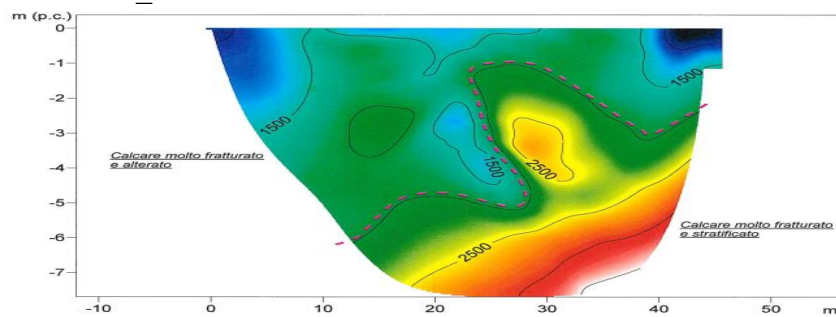
S5_2



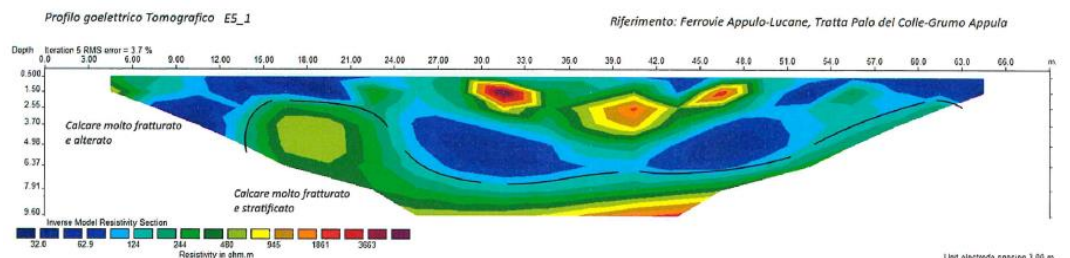
M5_1



M5_1



E5_1



Unit electrode spacing 3.00 m

In corrispondenza della zona d'intervento sono stati realizzati n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (S5_1 e S5_2), n. 1 prospezione sismica a rifrazione e masw (M5_1), e n. 1 sondaggio ERT (E5_1). Sono state inoltre svolte delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi. E' pertanto possibile, coerentemente con quanto esposto all'inizio del capitolo, ricostruire la successione stratigrafica di dettaglio e valutare i parametri geotecnici alla scala dell'ammasso, cioè redigere per il sito in esame, un valido :

Modello Geologico-Geotecnico

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) Ca1

da 0.0 a 3÷6 metri

calcare molto fratturato e stratificato,

carsificato

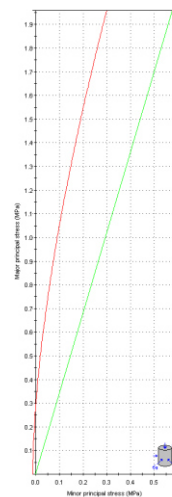
$V_p = 1600$ m/s

$V_s = 900$ m/s

$\gamma = 21$ KN/mc

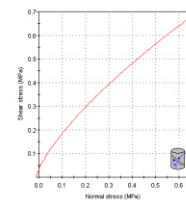
$\sigma_{ci} = 39$ MPa

$Q_c = 0.032$ da cui $GSI \approx 19$



Analysis of Rock Strength using Rock4

Rock Strength Classification
 FRACTURE: strength (log) = 39 MPa
 GSI = 19 $\alpha = 1$ Discontinuity factor (D) = 0
 FRACTURE: strength (log) = 39 MPa
Rock Strength Criteria
 $\alpha = 0.388$ $\beta = 0.0001$ $\alpha = 0.547$
Rock Strength Parameters
 cohesion = 0.094 MPa friction angle = 43.53 deg
Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.252 MPa
 uniaxial compressive strength = 39.00 MPa
 global strength = 2.515 MPa
 deformation modulus = 1552.74 MPa



GSI	mi	mb	s	a	E(MPa)	σ_{3max}	c(MPa)	ϕ	K_{wv}^7 Kg/cm ³	K_{wo} Kg/cm ³
19	7	0.388	0.0001	0.547	1653	0.3	0.094	44°	16530/B	1984/B
qult=2.1 MPa qsic= 0.42 MPa (Kulhawy & Carter)										

⁷ B= lato fondazione o diametro palo in cm, $K_{wo} = k_{wv} \cdot 0.12$ (k_{wv} = coefficiente di Winkler)

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) Ca2

da 3÷6 metri sino alla profondità di interesse

calcare fratturato, carsificato

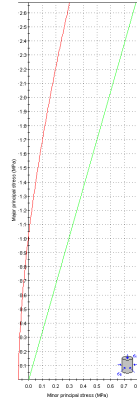
$$V_p = 2500 \text{ m/s}$$

$$V_s = 1000 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 21 \text{ KN/mc}$$

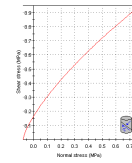
$$\sigma_{ci} = 39 \text{ MPa}$$

$$Q_c = 0.256 \text{ da cui GSI} \approx 34$$



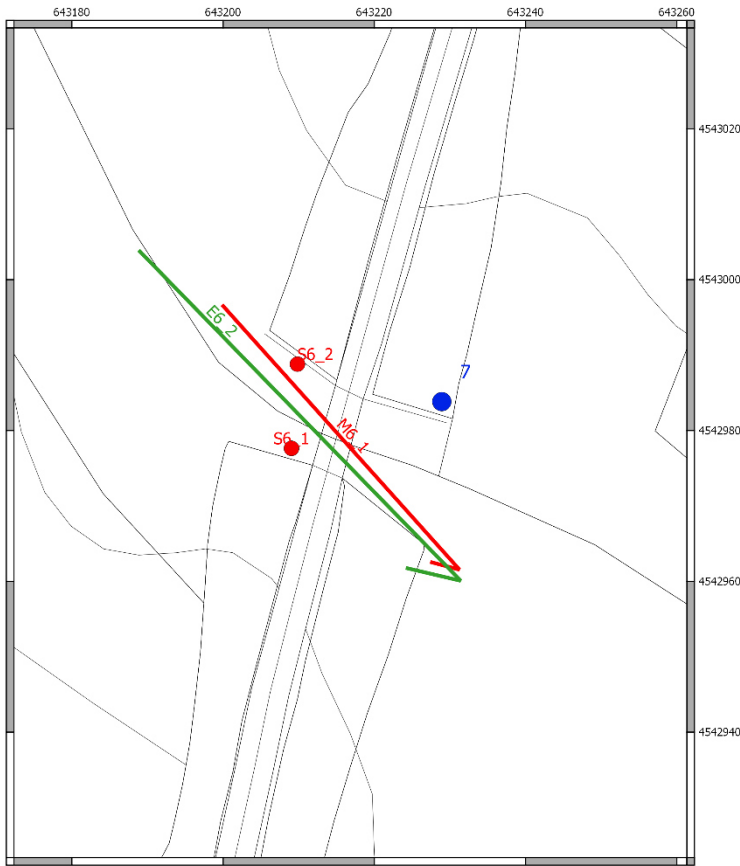
Analysis of Rock Strength using RocLab

Rock Stress Classification
 Rock strength: strength (MPa) = 40 MPa
 GSI = 34, RMR = 40, Rockmass Rating (20) = 40
 Rockmass Rating (20) = 40
Rock Stress Classification
 RMR = 40, RMR = 40, RMR = 40
Rock Stress Classification
 RMR = 40, RMR = 40, RMR = 40
Rock Stress Classification
 RMR = 40, RMR = 40, RMR = 40



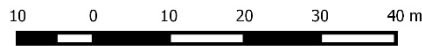
GSI	mi	mb	s	a	E(MPa)	σ_{3max}	c(MPa)	ϕ	Kwv Kg/cm ³	Kwo Kg/cm ³
34	7	0.6638	0.0007	0.517	4028	0.3	0.171	50°	40280/B	4834/B
qult = 5.9 MPa qsic= 1.17 MPa (Kulhawy & Carter)										

RADDOPPIO PONTE A 1 ARCO

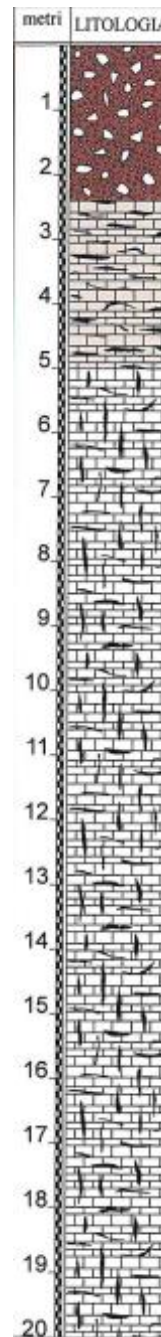


RADDOPPIO PONTE A 1 ARCO

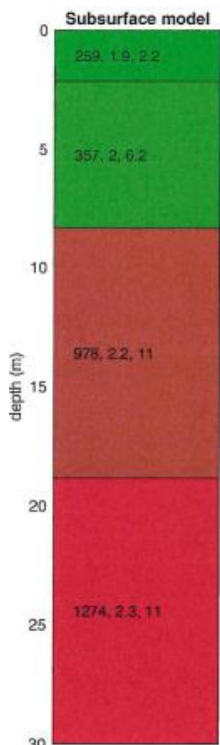
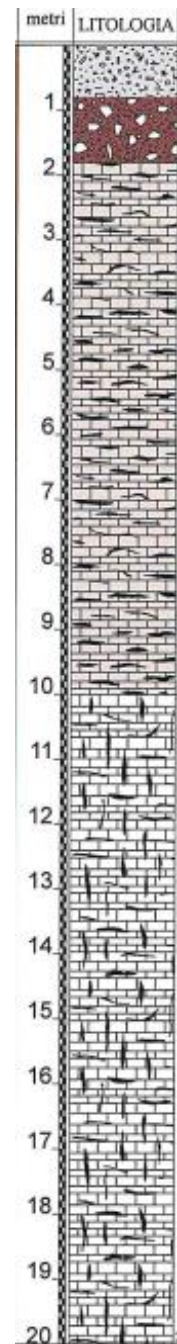
- sondaggi_progetto
- pozzetti_ambientali_progetto
- sismica-progetto
- geoelettrica progetto



S6_1

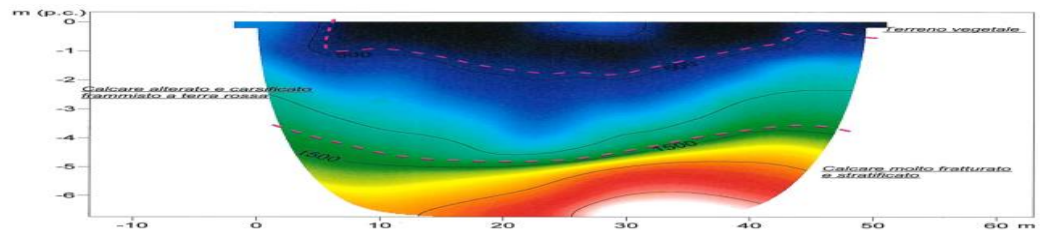


S6_2

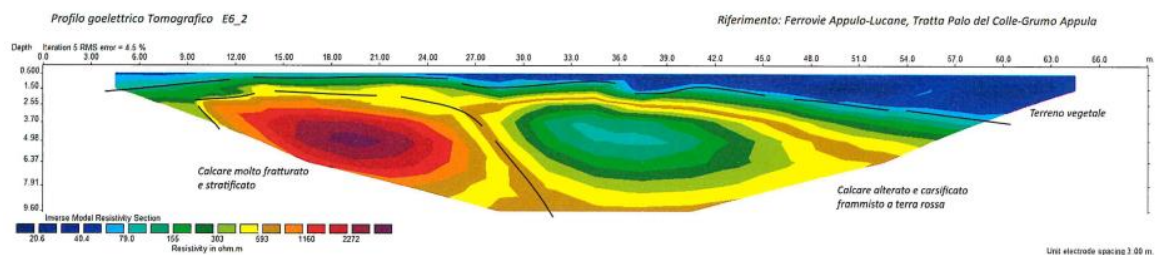


M6_1

M6_1



E6_1



In corrispondenza della zona d'intervento sono stati realizzati n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (S6_1 e S6_2), n. 1 prospezione sismica a rifrazione e masw (M6_1), e n. 1 sondaggio ERT (E6_2). Sono state inoltre svolte delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi. E' pertanto possibile, coerentemente con quanto esposto all'inizio del capitolo, ricostruire la successione stratigrafica di dettaglio e valutare i parametri geotecnici alla scala dell'ammasso, cioè redigere per il sito in esame, un valido :

Modello Geologico-Geotecnico

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) R

da 0.0 a 2.0÷2.5 metri: Terreno vegetale, terra rossa

$$V_p = 550 \text{ m/s}$$

$$V_s = 260 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 16 \text{ KN/mc}$$

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) Ca1

da 2.0÷2.5 a 5.0 metri

calcare molto carsificato misto a terra rossa

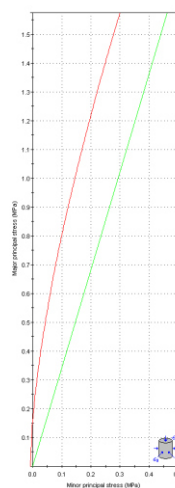
$$V_p = 1000 \text{ m/s}$$

$$V_s = 360 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 19 \text{ KN/mc}$$

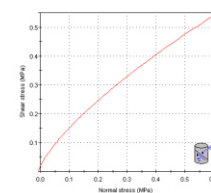
$$\sigma_{ci} = 39 \text{ MPa}$$

$$Q_c = 0.008 \text{ da cui GSI} \approx 13$$



Analysis of Rock Strength using RocLab

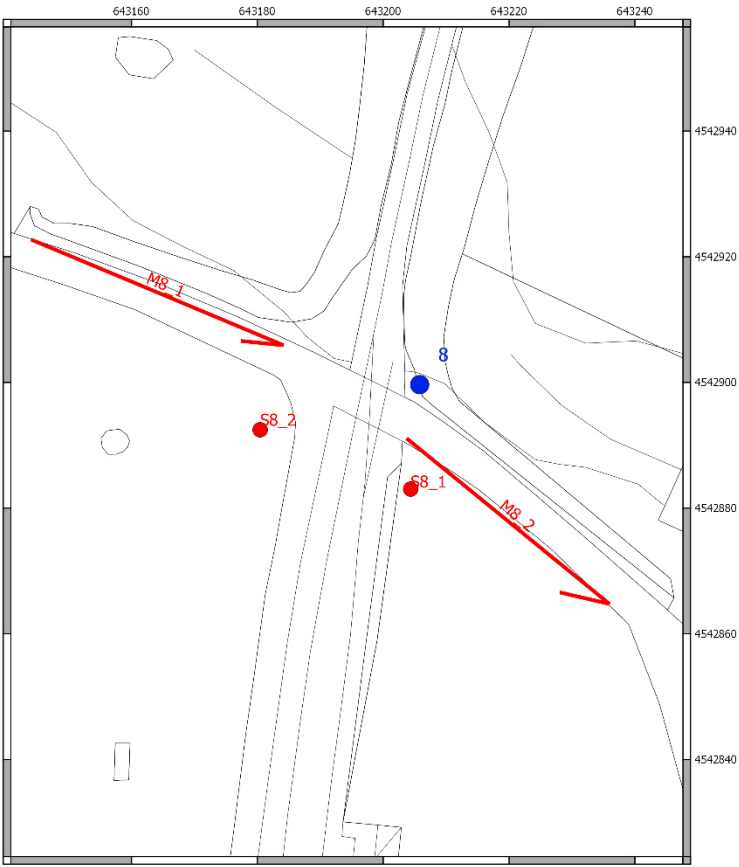
Rock Strength Classification
 1) Best uniaxial comp. strength (logical) = 39 MPa
 GSI = 13 mi = 7 Fracture surface factor (S) = 0
 intact modulus (Ei) = 10000 MPa
Rock Strength Criterion
 mb = 0.313 s = 0.0001 a = 0.570
Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.071 MPa friction angle = 39.57 deg
Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.008 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.155 MPa
 shear strength = 0.155 MPa
 deformation modulus = 1283.57 MPa



GSI	mi	mb	s	a	E(MPa)	σ_{3max}	c(MPa)	ϕ	K_{wv}^8 Kg/cm ³	Kwo Kg/cm ³
13	7	0.313	0.0001	0.570	1283	0.3	0.071	39°	12830/B	1540/B
qult = 0.72 MPa qsic = 0.14 MPa (Kulhawy & Carter)										

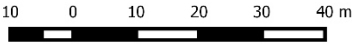
⁸ B= lato fondazione o diametro palo in cm, Kwo=k_{wv}*0.12 (k_w= coefficiente di Winkler)

SOTTOPASSO VIA FAVARO



SOTTOPASSO VIA FAVARO

- sondaggi_progetto
- pozzetti_ambientali_progetto
- sismica-progetto
- geoelettrica progetto



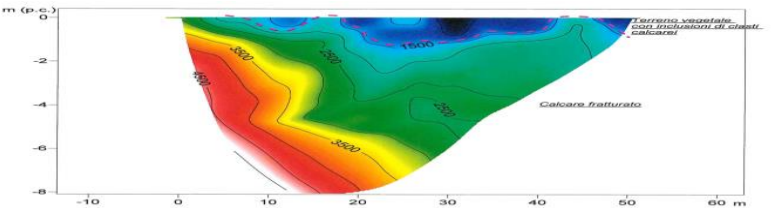
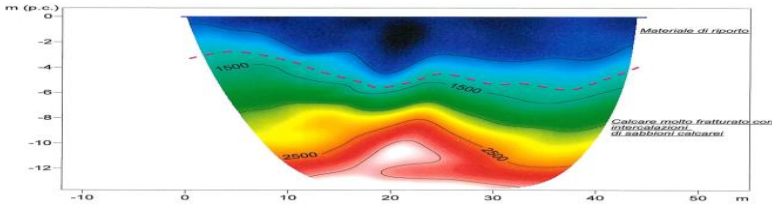
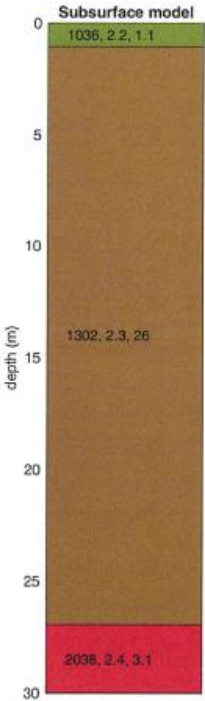
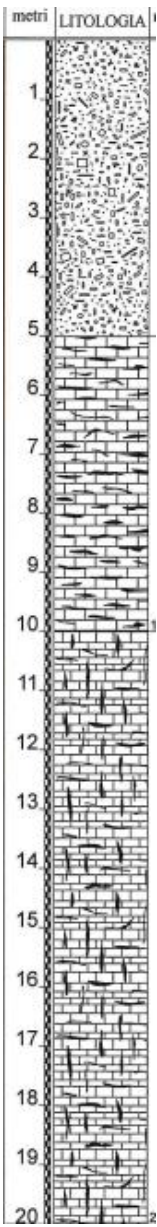
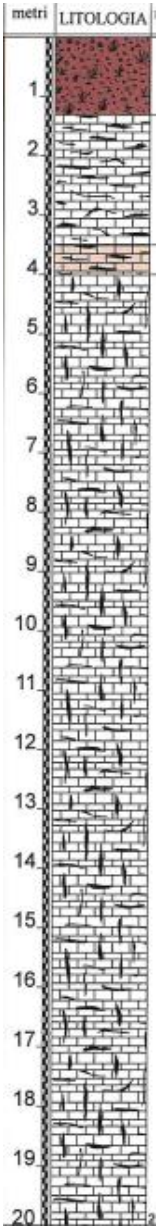
M8_2

M8_1

M8_2

S8_1

S8_2



In corrispondenza della zona d'intervento sono stati realizzati n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (S8_1 e S8_2), n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione e masw (M8_1 M8_2. Sono state inoltre svolte delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi. E' pertanto possibile, coerentemente con quanto esposto all'inizio del capitolo, ricostruire la successione stratigrafica di dettaglio e valutare i parametri geotecnici alla scala dell'ammasso, cioè redigere per il sito in esame, un valido :

Modello Geologico-Geotecnico

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) R

da 0.0 a 0.5÷5 metri: riporto o terreno vegetale

$$V_p = 900 \text{ m/s}$$

$$V_s = 215 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 16 \text{ KN/mc}$$

UNITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA (UG) Ca1

da 0.5÷5.0 a 10.0 metri

calcare molto fratturato con intercalazioni di sabbioni calcarei

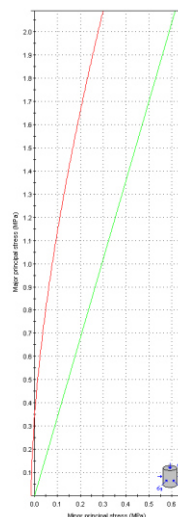
$$V_p = 1800 \text{ m/s}$$

$$V_s = 900 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 21 \text{ KN/mc}$$

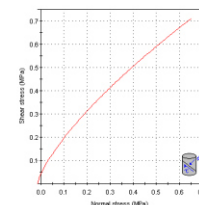
$$\sigma_{ci} = 39 \text{ MPa}$$

$$Q_c = 0.051 \text{ da cui GSI} \approx 21$$



Analysis of Rock Strength using RocLab

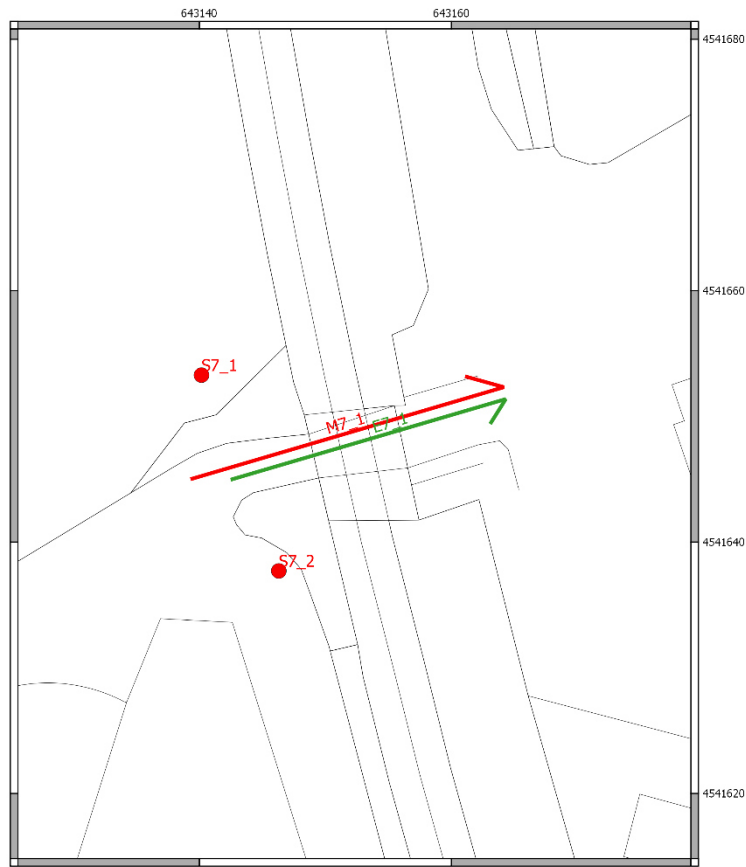
Rock Strength Classification
 intact uniaxial compressive strength (σ_{ci}) = 39 MPa
 GSI = 21 m = 7 disturbance factor (D) = 0
 intact modulus (E) = 30000 MPa
Rock Strength Classification
 m = 0.417 s = 0.0002 a = 0.541
Moisture Content
 cohesion = 0.102 MPa friction angle = 44.62 deg
Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.014 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.220 MPa
 global strength = 2.707 MPa
 deformation modulus = 1525.76 MPa



GSI	mi	mb	s	a	E(MPa)	σ _{3max}	c(MPa)	φ	K _{wv} ⁹ Kg/cm ³	K _{w0} Kg/cm ³
21	7	0.417	0.0002	0.541	1825	0.3	0.102	44°	18250/B	2190/B
q _{ult} = 3.0 MPa q _{sic} = 0.6 MPa (Kulhawy & Carter)										

⁹ B= lato fondazione o diametro palo in cm, K_{w0}=k_{wv}*0.12 (k_w= coefficiente di Winkler)

RIFACIMENTO SOTTOVIA S. PERTINI

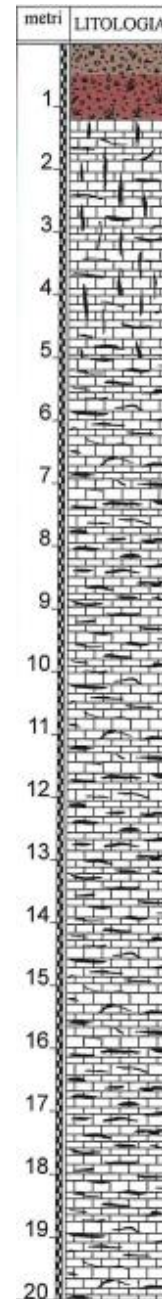


RIFACIMENTO SOTTOVIA S. PERTINI

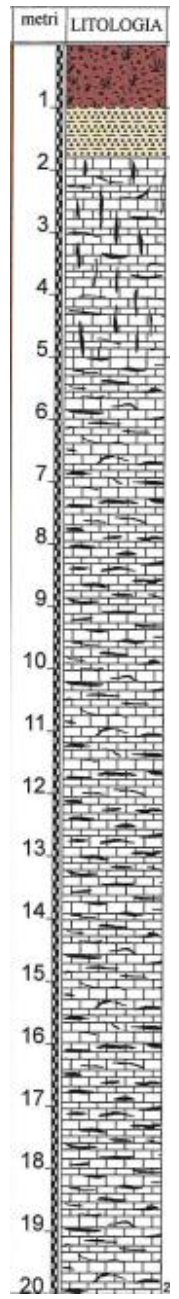
- sondaggi_progetto
- pozzetti_ambientali_progetto
- sismica-progetto
- geoelettrica progetto



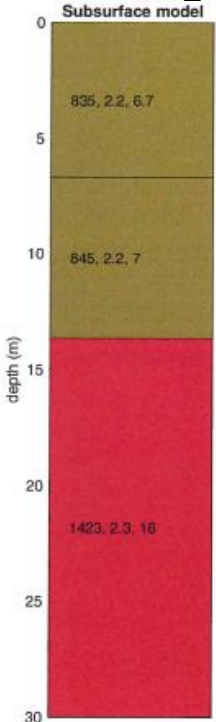
S7_1



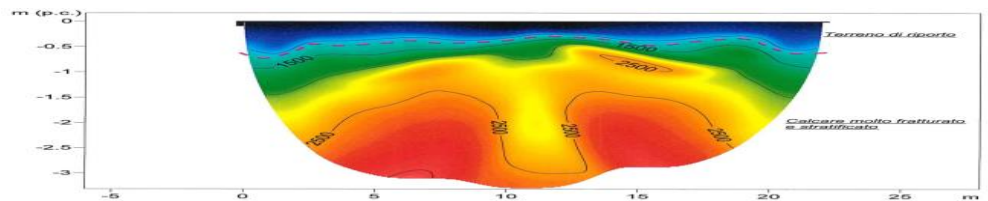
S7_2



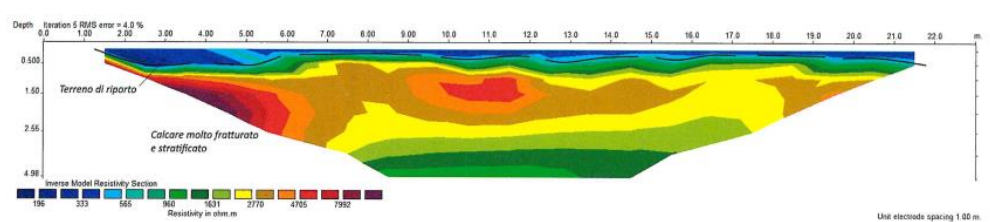
M7_1



M7_1



E7_1



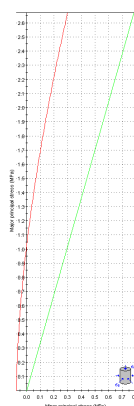
Modello Geologico-Geotecnico

da 0.0 a 1.0-2.0 metri: Terreno vegetale, terra rossa

$$\gamma = 16 \text{ KN/mc}$$

da 1.0-2.0 metri sino alla profondità di interesse

$Q_c = 0.256$ da cui $GSI \approx 34$

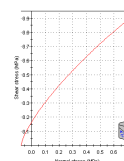


Rock-Brown Classification
 Intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 80 MPa
 GSI = 70 \pm 40 Disturbance factor (D) = 0
 Intact modulus (E) = 50000 MPa

Rock-Brown Criterion
 $m = 0.328 \quad a = 0.8004 \quad b = 0.522$

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.196 MPa friction angle = 46.05 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -3.077 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.832 MPa
 gissal strength = 4.523 MPa

52