UNIONE EUROPEA
P.O. FESR Puglia 2007-2013

REGIONE PUGLIA
Assessorato alle Infrastrutture
Strategiche e Mobilità

www.ferrovienordbarese.it

FERROTRAMVIARIA S.p.A.

REGIONE PUGLIA - ASSESSORATO ALLE INFRASTRUTTURE STRATEGICHE E MOBILITA'

Delibera G.R. n°744 del 13/05/2008

Decisione UE (C) 2012 n.2740 del 27/04/2012

GRANDE PROGETTO: "ADEGUAMENTO FERROVIARIO DELL'AREA METROPOLITANA NORD-BARESE" (D.G.R. PUGLIA DEL 12/02/2008, N.146)

LINEA BARI - BARLETTA: OPERE DI RADDOPPIO, VELOCIZZAZIONE E POTENZIAMENTO NELLA TRATTA CORATO - BARLETTA, CON L'INTERRAMENTO DEL TRACCIATO FERROVIARIO NELL'ABITATO DI ANDRIA E L'INTERCONNESSIONE CON RFI NELLA STAZIONE RFI DI BARLETTA E BARI

PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione e Coordinamento

FERROTRAMVIARIA *engineering*

FERROTRAMVIARIA ENGINEERING SPA
00162 ROMA P. WINCKELMANN 12
70123 BARI VIA NAPOLI 161
P.IVA 00898931001
DIRETTORE TECNICO
ING. BERNARDO GRILLI

RESPONSABILE TECNICO
ING. ANTONIO DI LEO

BARLETTA C.LE - BARLETTA SCALO

GEOTECNICA ED IDROGEOLOGIA

Stazioni FNB

Relazione Geologica ed Idrogeologica

SCALA

REV.	DATA E AGGIORNAMENTI
0	29/10/2014

GE 01

FILES: GE 01.doc

REDAZIONE geol. Claudia de Bari

DATA EMISSIONE 29/10/14

PROGETTO DEFINITIVO

GRANDE PROGETTO: "ADEGUAMENTO FERROVIARIO DELL'AREA METROPOLITANA NORD-BARESE" (D.G.R. PUGLIA DEL 12/02/2008, N. 146)

SOTTOPASSO STAZIONE CENTRALE BARLETTA
SOTTOPASSO STAZIONE BARLETTA SCALO

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

4					
3					
2					
1					
0	29/10/2014		DE BARI	DI LEO	GRILLI
	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

1. GENERALITA' 3

2. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI 5

3. CARATTERI IDROGEOLOGICI 8

4. REGIME VINCOLISTICO DELL'AREA 10

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE 11

5.1 SONDAGGI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO 11

5.2 PROVE DOWN HOLE 13

5.3 PROVE PENETROMETRICHE 14

5.3.1 Prove penetrometriche statiche (CPT) 14

5.3.2 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) 15

5.4 PROVE DI LABORATORIO 16

6. CORRELAZIONI TRA INDAGINI E OPERE IN PROGETTO 18

6.1 CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA 18

6.2 MODELLO GEOLOGICO 21

6.2.1 Modello geologico Sottopasso Barletta Centrale 22

6.2.2 Modello geologico Sottopasso Barletta Scalo 23

6.3 CONSIDERAZIONI SUI LITOTIPI PRESENTI IN RAPPORTO ALLO SCAVO 24

7. CONCLUSIONI 25

RIFERIMENTI CARTOGRAFICI E DOCUMENTALI

Planimetria ubicazione indagini geognostiche (GE-GT01)

Rapporto indagini geognostiche (GE-GT02)

Certificati prove geotecniche di laboratorio (GE-GT03)

Planimetria stralcio PAI (IP 03)

ALLEGATI

Allegato 1 – Stralcio cartografia PPTR (fonte: sito www.paesaggio.regione.puglia.it)

1. GENERALITA'

La presente relazione rientra nel "Grande Progetto": "Adeguamento ferroviario dell'area metropolitana Nord-Barese" (D.G.R. Puglia del 12/02/2008, n. 146) "Linea BARI-BARLETTA: opere di raddoppio, velocizzazione e potenziamento nella tratta Corato-Barletta, con l'interramento del tracciato ferroviario nell'abitato di Andria e l'interconnessione con RFI nella stazione RFI di Barletta e Bari."

Il presente studio di fattibilità geologica, geomeccanica, idrogeologica e sismica è stato redatto ai sensi del D.M. 11/03/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno, delle terre e delle opere di fondazione" e del D.M. 14/01/08 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successive circolari e disposizioni. Il progetto in esame si compone di due interventi, rispettivamente in corrispondenza delle fermate ferroviarie delle Ferrovie Nord Baresi a Barletta Scalo e Barletta Centrale. Nella fattispecie:

- ✓ miglioramento dell'accessibilità a Barletta Scalo: realizzazione di un sottopasso pedonale e realizzazione di una scalinata in corrispondenza della testata del marciapiede del terzo binario di stazione;
- ✓ prolungamento del sottopasso pedonale a Barletta Centrale.

Per la formulazione del modello concettuale geologico, stratigrafico e sismico si è proceduto ad effettuare:

- rilievi geologici in situ, nell'area di studio e nell'area vasta che la comprende;
- studio geomorfologico;
- interpretazione dei sondaggi meccanici a carotaggio continuo (n.4 sondaggi);
- interpretazione delle prove Down Hole (n.2 prove);
- interpretazione prove di laboratorio su campioni indisturbati e rimaneggiati;
- classificazione sismica dei terreni;
- caratterizzazione geomeccanica dei litotipi di scavo;
- modellazione geologica in corrispondenza degli interventi.

I riferimenti rispetto alla cartografia ufficiale sono:

* Foglio 176 "Barletta" della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1 : 100.000.

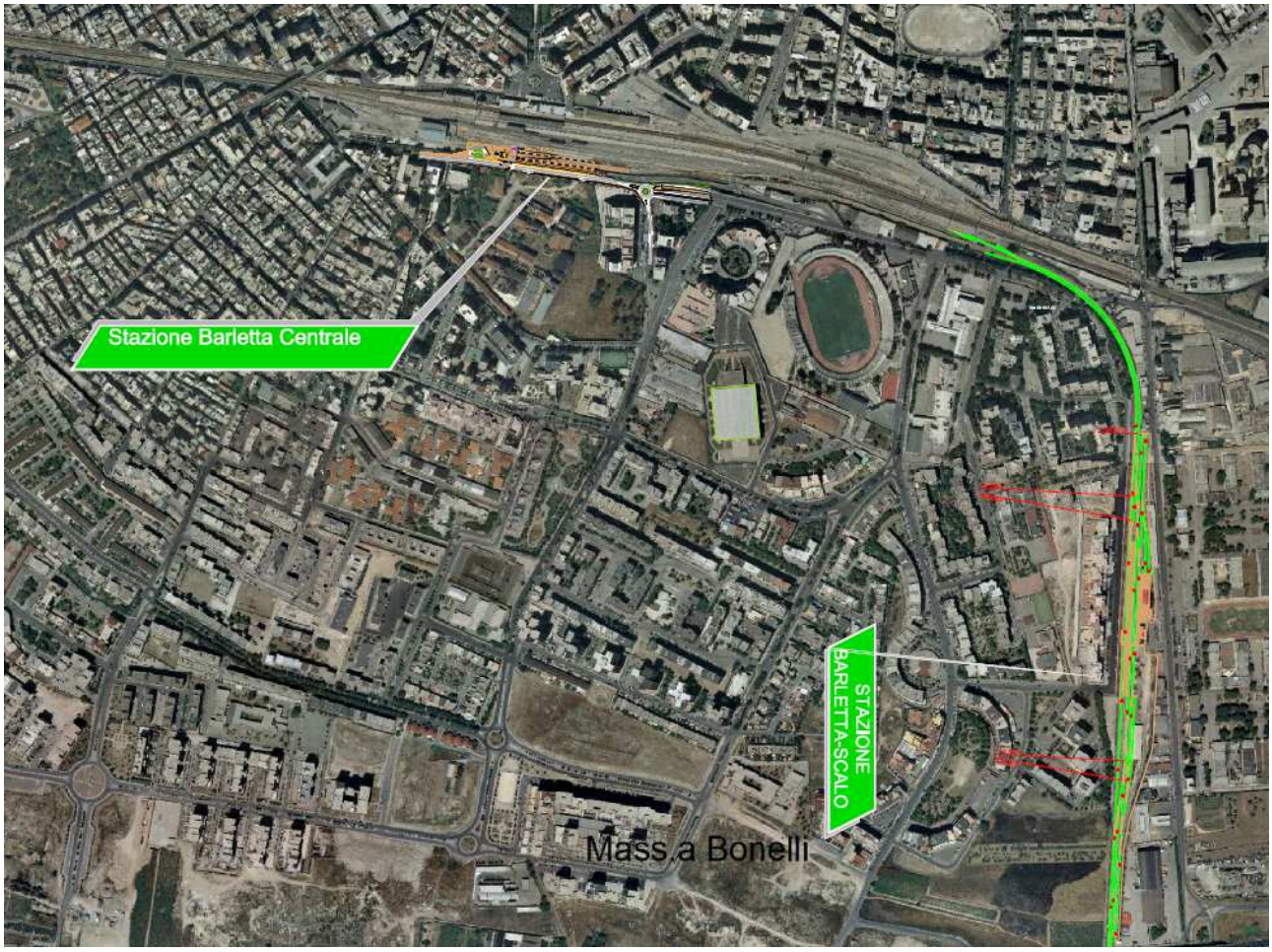


Fig 1.1 Individuazione su ortofoto delle aree d'intervento di Barletta Centrale e Barletta Scalo.

2. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Le caratteristiche geologiche e idrogeologiche del territorio interessato dagli interventi si inquadrano nel contesto stratigrafico e strutturale del settore adriatico delle Murge settentrionali a cui si sovrappongono i terreni del ciclo bradanico. In particolare, in riferimento all'area oggetto di studio, il quadro geologico stratigrafico è facilmente ricavabile dalla consultazione della cartografia ufficiale, la quale fornisce uno schema geologico del territorio di Barletta sia pure generale (Carta Geologica d'Italia Foglio 176 "Barletta") il cui stralcio è mostrato in Fig. 2.1.

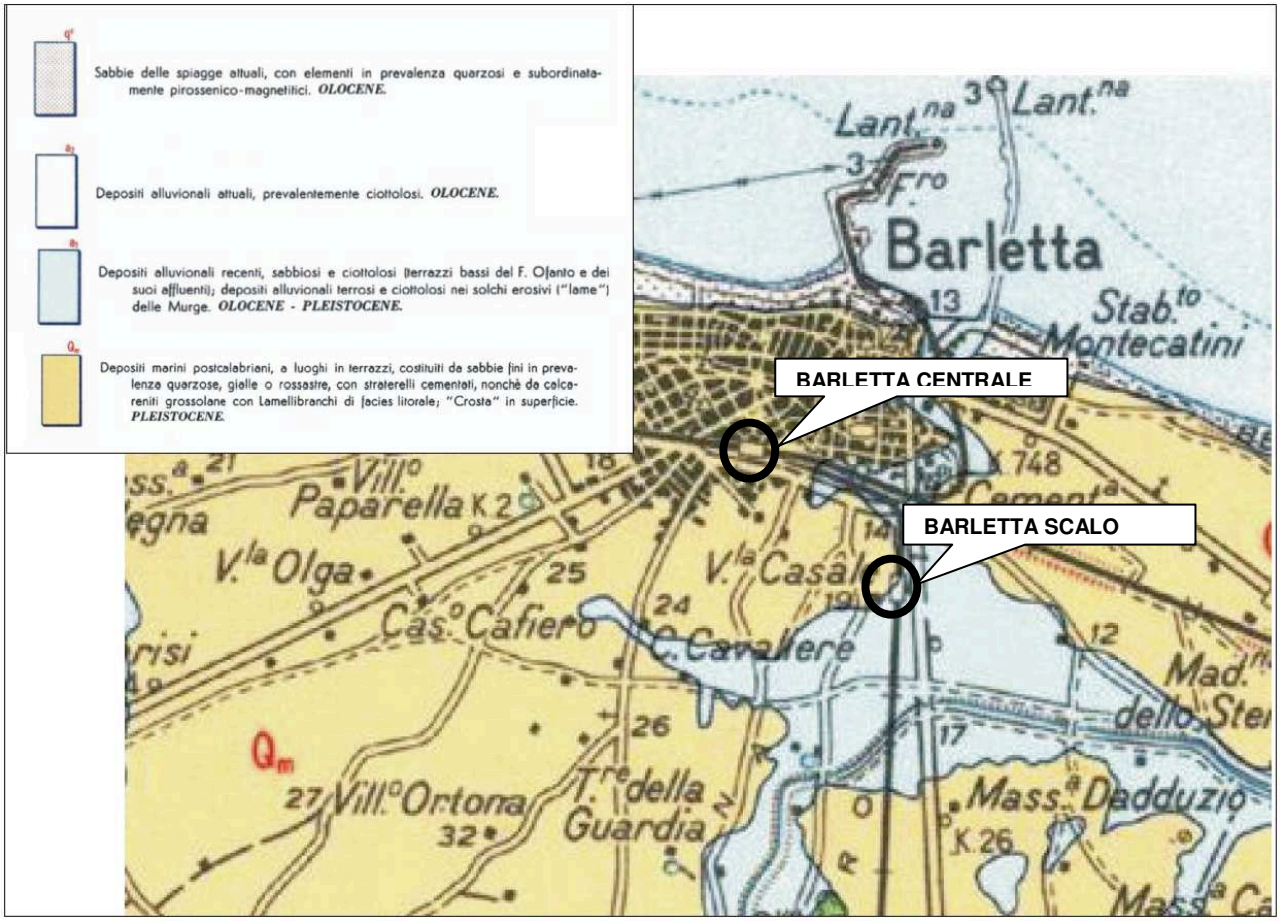


Fig 2.1 : Stralcio Carta Geologica d'Italia Foglio 176 "Barletta".

Le unità affioranti nell'area in esame a partire dalla più antica, sono:

- *Depositi Marini Terrazzati (Pleistocene Medio E Superiore):* fanno riferimento ad una formazione sabbioso argillosa di età Plio-pleistocenica, rinvenibile in corrispondenza del centro abitato di Barletta e nelle zone immediatamente a sud e sud-ovest dello stesso. Tra la formazione sabbioso-argillosa ed il bedrock calcareo sono presenti spessori variabili di terra rossa residuale e delle cosiddette "terre nere", il cui colore bruno è attribuibile alla consistente presenza di humus saturo (Cherubini & Romanazzi, 2005). I depositi marini terrazzati poggiano in trasgressione sui

Conglomerati di Irsina formando ripiani leggermente digradanti verso mare attraverso piccole scarpate. Tali scarpate sono poco visibili a causa della forte antropizzazione dell'area in esame. La stratigrafia dei depositi plio-pleistocenici, per l'area in esame, si riassume in sabbie bianco-giallastre quarzose e sabbie calcarifere, sovrapposte ad argille sabbiose grigio-verdastre. Le sabbie, a stratificazione incrociata e granulometria variabile, appaiono eteropiche con livelli calcarenitici centimetrici piuttosto tenaci. La frazione superiore dei depositi è interessata, generalmente, da concrezioni carbonatiche più competenti, formatesi a causa della risalita di fluidi ricchi in CaCO3 (Minieri, 1955). Nella parte inferiore della formazione, invece, si rinvengono argille sabbiose di colore grigio–verde, mediamente consistenti. Lo spessore parziale dei termini della sequenza non risulta costante; analogamente, anche lo spessore complessivo della formazione appare variabile da zona a zona, variando da pochi metri sino a poche decine di metri. I maggiori spessori si ritrovano nelle zone a sud-ovest del centro abitato di Barletta ed in corrispondenza dei toponimi Torre della Guardia e Villa Ortona posizionati entrambi a sud della città di Barletta. La città di Barletta è insediata, nella sua quasi totalità, sui Depositi Marini Terrazzati;

- *Depositi Alluvionali (Pleistocene sup. – Olocene):* fanno riferimento a depositi alluvionali del Pleistocene sup.-Olocene, osservabili sul fondo e sui fianchi di solchi erosivi, costituiti da ciottolame calcareo e da materiale terroso derivante da disgregazione e dilavamento dei Calcari di Bari e dei Tufi delle Murge. I depositi alluvionali affiorano a est del centro abitato di Barletta, in corrispondenza dell'alveo del Canale Camaggi;
- *Sabbie delle spiagge attuali:* fanno riferimento alle spiagge sciolte, costituite, in gran parte, da elementi quarzosi e, subordinatamente, pirossenico-magnetitici. Queste sabbie presentano spessori che variano da pochi metri sino ad oltre dieci metri in corrispondenza dei cordoni di dune. Le sabbie delle spiagge attuali affiorano a nord del centro abitato di Barletta.

Come già detto, dal punto di vista morfologico l'area oggetto di studio possiede le caratteristiche morfologico-strutturali che identificano la zona di transizione Murge – Fossa Bradanica. Tale zona è caratterizzata dalla presenza della copertura plio-pleistocenica (DEPOSITI MARINI TERRAZZATI) che maschera, in gran parte, la tettonica ed i piegamenti associati alle diverse fasi di sollevamento dell'avampaese apulo. Risultano altresì obliterate dalla presenza dei depositi marini terrazzati, tutte le forme carsiche che caratterizzano così ampiamente gli ammassi rocciosi dello stesso avampaese.

Tali territori, però, sono caratterizzati da una successione di superfici pianeggianti variamente estese, digradanti verso mare tramite piccoli gradini a quote topografiche diverse, con andamento uniforme e sub parallelo alla linea di costa. Tutto ciò risulta comunque poco visibile nelle zone oggetto di studio, a causa della fortissima urbanizzazione dell'area. Ciò viene altresì confermato dall'analisi di foto aeree e da prospezione geomorfologica di superficie, in cui risulta estremamente difficoltoso riconoscere tali orli di scarpate. Poco diffusi sono, inoltre, le importanti linee di impluvio note come "lame" che si riconoscono solo nella parte meridionale del territorio comunale. Le lame, sono corsi d'acqua a regime del tutto torrentizio

lungo i quali, solo in occasione di precipitazioni di particolare intensità, si raccolgono e defluiscono le acque di ruscellamento. Morfologicamente tali solchi sono contraddistinti da fondo piatto e fianchi mediamente acclivi. La costituzione di questi brevi e rapidi deflussi è dovuta principalmente all'intasamento ed ostruzione delle numerose fratture e fessure che interessano la roccia calcare e che, come detto, risultano essere facili vie d'accesso delle acque in profondità. Qunindi, in riferimento all'area oggetto di studio, è possibile specificare quanto segue.

L'abitato di Barletta, risulta possedere i caratteri geomorfologici tipici di un sistema litorale. Risultano poco diffusi, invece, quei solchi erosivi localmente noti come lame, presenti solamente nelle aree immediatamente a sud dello stesso centro abitato. Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame va subito detto che la peculiarità dei depositi affioranti, precedentemente descritti, e la variabilità estrema delle facies sia in senso verticale che laterale, è dovuta alla diversa energia dell'ambiente di sedimentazione, agli effetti differenziati della diagenesi e della successiva degradazione. In tali terreni è possibile la presenza di falde idriche superficiali di varia natura anche stratificate. Al di sotto di tali falde superficiali, si rinviene in profondità l'acquifero profondo localizzato nei Calcari delle Murge, tipici dell'Avampaese Apulo.

3. CARATTERI IDROGEOLOGICI

L'unità idrogeologica della Murgia, risulta essere delimitata a sud dall'allineamento ideale Taranto-Brindisi e a nord dal fiume Ofanto. Essa inoltre, come mostra la sezione idrogeologica generale della figura seguente, è a contatto sul lato adriatico con acqua marina di intrusione continentale, e con argille pliopleistoceniche sul lato bradanico (Maggiore e Pagliarulo, 2004).

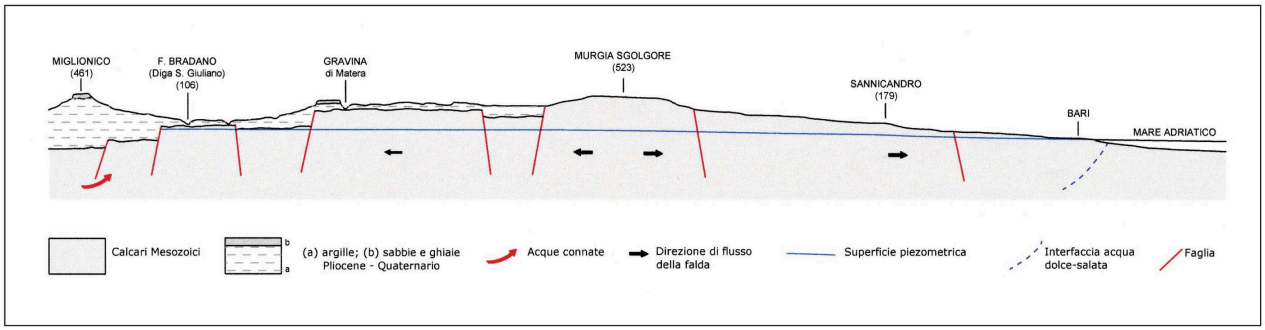


Fig. 3.1. -Sezione idrogeologica attraverso le Murge (da Maggiore M. & Pagliarulo P.,2004)

L'acquifero murgiano carsico è, quindi, da considerarsi di tipo "costiero" in cui l'acqua di mare rappresenta la "base" su cui galleggiano le acque dolci a causa della minore densità di queste ultime. Tale Unità costituisce una idrostruttura di elevata capacità e potenzialità idrica, dove le acque sotterranee circolano secondo livelli idrici preferenziali, irregolarmente distribuiti nello spazio, in accordo con il forte grado di anisotropia che caratterizza l'acquifero.

La natura carsica dei terreni che contraddistingue il territorio murgiano, solo parzialmente ricoperto per trasgressione da sedimenti quaternari di natura sabbioso-argillosa e calcarenitici, condiziona le modalità di alimentazione/deflusso delle acque sotterranee ed i lineamenti dell'idrografia superficiale. Le modalità di infiltrazione e ruscellamento delle acque meteoriche sono quindi legate sia all'intensità e distribuzione delle discontinuità e cavità che interessano il substrato calcareo, sia all'eventuale presenza in queste, di materiale di riempimento che costituisce un ostacolo al libero drenaggio e deflusso delle acque in profondità.

In generale, la principale ricarica dell'acquifero murgiano avviene, ad opera di una serie di bacini imbriferi di tipo endoreico posti nelle parti più interne e topograficamente più elevate, che raccolgono le acque degli eventi meteorici convogliandole, mediante inghiottitoi, verso il sistema dei reticoli carsici sotterranei (Maggiore e Pagliarulo, 2004). La falda idrica si muove, quindi, sotto un carico piezometrico elevato e tende a dirigersi verso mare in maniera diffusa attraverso la rete carsica disarticolata da faglie e fratture. L'idrografia superficiale del territorio di Barletta appare irregolare e poco sviluppata. Si riconoscono una serie di reticoli idrografici superficiali ("lame") che si estendono principalmente in senso N-S ed E-W, rispetto al centro abitato confluenti verso la linea di costa.

I comune di Barletta si trova a circa 5 km a SE dalla foce dell'Ofanto. Dall'analisi delle isopieze si può notare come nel territorio di Barletta (Fig.3.1) la quota piezometrica oscilli tra i 3 e i 5 m. s.l.m. e quindi la profondità

di rinvenimento della falda la si colloca a circa 10 metri dal piano campagna; ciò ovviamente deve essere tenuto in considerazione in fase progettuale (I triangoli di colore rosso, lungo la linea di costa, indicano la presenza di pozzi che hanno portate d'acqua maggiori di 10 L/S in corrispondenza delle località "Ariscianne" e "Boccadoro" principali emergenze del potente acquifero carbonatico costiero delle Murge Nord - Occidentali).

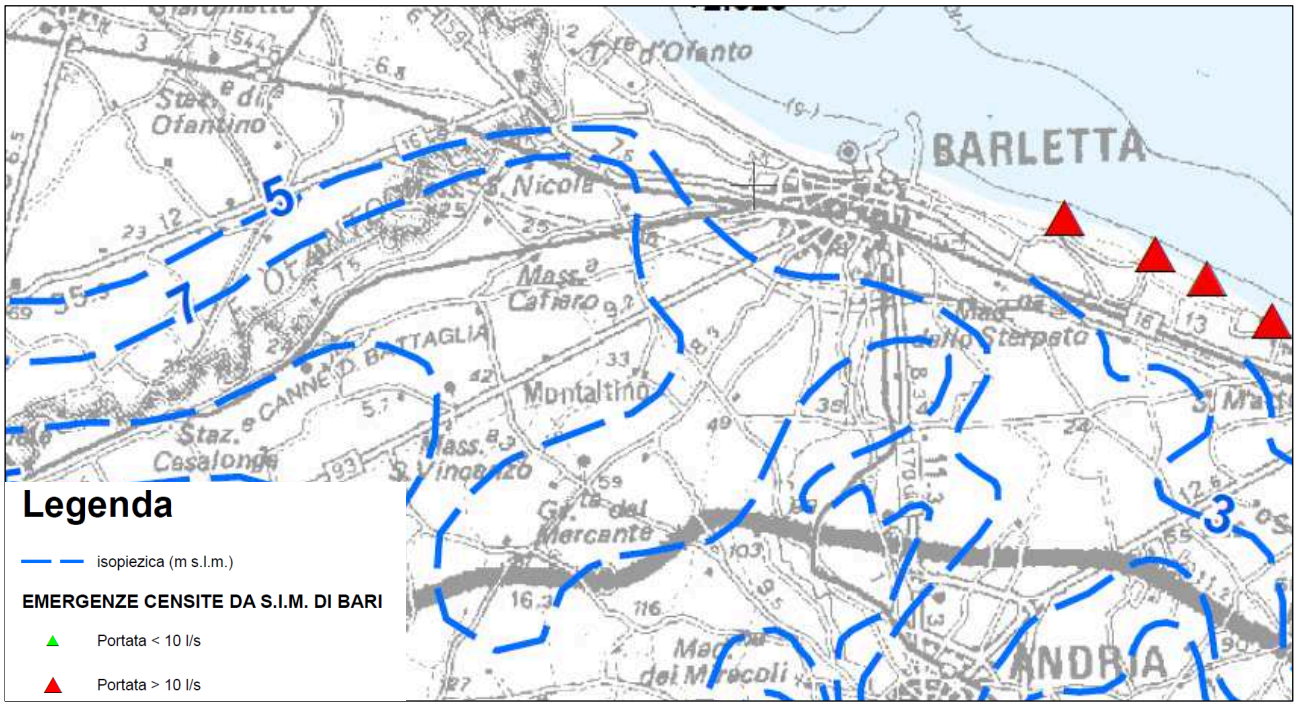


Fig 3.2: Stralcio carta "Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi della Murgia" contenuta negli allegati del Piano di Tutela delle Acque – Regione Puglia.

4. REGIME VINCOLISTICO DELL'AREA

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia (P.A.I.), adottato in data 15.12.2004 dalla Regione Puglia e regolarmente approvato, ai sensi dell'articolo 17 comma 6 ter della legge 18 maggio 1989, n.183, ha valore di piano territoriale di settore.

Secondo il PAI vigente, l'area su cui verrà a realizzarsi il sottopasso di Barletta centrale non è perimetrato come zona a pericolosità o rischio idraulico, mentre il sottopasso di Barletta Scalo rientra in ambiti perimetrati come zone a pericolosità e rischio idraulico. L'area estesa è interessata dalla presenza di un "corso d'acqua" di carattere episodico (Ciappetta - Camaggi), che corrisponde, da mappatura, ad una zona ad alta pericolosità idraulica e ad alto rischio idrogeologico, di cui al reticolo idrografico elaborato dall'A.d.B. Puglia.

Il canale in questione, a partire dalla sezione circa 600 m a monte dell'intersezione con la linea ferroviaria, risulta perimetrato dal PAI per una vasta area a valle che arriva a Nord della stazione ferroviaria del Comune di Barletta comprendendo parte del centro abitato e a Est fino a Via Callano per terminare in località "Fondischiavi" come area AP e MP, ovvero Alta e Media pericolosità idraulica.

In particolare, l'area relativa al sottopasso di Barletta scalo, risulta perimetrata come Area a rischio idraulico R4 (area a rischio molto elevato).

L'area oggetto d'intervento non rientra in alcuno negli ambiti perimetrati dal piano paesaggistico PPTR adottato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1435 del 02/08/2013, così come si evince dallo stralcio riportato nell'Allegato 1 alla presente relazione.

- stralcio del PPTR (Allegato 1 in calce alla presente);
- Planimetria stralcio del PAI (IP 03);

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

La campagna di indagini geognostiche, condotta dalla *Sondag srl*, è consistita nella realizzazione di:

- indagini in situ: 4 sondaggi a rotazione compresi tra i 15 e i 30 m (ad estrazione di nucleo), 2 prove Down Hole, 1 prova penetrometrica statica (CPT), 4 prove penetrometriche dinamiche continue a punta conica (SCPT) (Riferimento: GE –GT 02);
- indagini di laboratorio: prove geotecniche su campioni indisturbati e rimaneggiati (Riferimento: GE – GT 03).

5.1 Sondaggi meccanici a carotaggio continuo

L'ubicazione dei sondaggi si è concentrata in corrispondenza delle opere d'arte principali (ovvero i sottopassaggi pedonali in entrambe le fermate ferroviarie oggetto di studio).

I risultati vengono illustrati attraverso la descrizione stratigrafica di ciascun sondaggio e con l'ausilio delle foto delle cassette catalogatrici.

Per un migliore recupero delle carote via via estratte è stato utilizzato, dove necessario, il carotiere doppio.

L'attrezzatura utilizzata nelle operazioni di perforazione è costituita da una macchina perforatrice MASSENZA mod. MI4, costituita da un veicolo cingolato in grado di eseguire perforazioni con il sistema della rotazione a carotaggio continuo per diametri di 101 mm, avente le seguenti caratteristiche:

*potenza di Cv 90; potenza di coppia 1000 kg*m; antenna con lunghezza di 6,50 m; morse idrauliche semplificate con diametro max di 270 mm; argano in dotazione; pompa scarotatrice a bordo; stabilizzatori idraulici n° 4; spostamento laterale "rotare" consentito; forza di spinta e estrazione regolabili.*

E' stato reso disponibile il corredo completo di tutti gli accessori necessari per l'esecuzione dei lavori a norma specifica e degli utensili per la riparazione dei guasti di ordinaria entità. Sono stati resi disponibili in particolare carotieri semplici (diametri 101-146mm, lunghezza utile 100-300cm), carotieri doppi (T2) con estrattore, corone di perforazione in widia e diamantate, aste di perforazione con filettatura tronco conica, campionatori per prelievo di campioni rimaneggiati e indisturbati. Le perforazioni hanno attraversato, al di sotto dello strato di terreno di riporto, uno spessore variabile di formazioni sabbioso argillose e limose.

Le stratigrafie di dettaglio rilevate durante le perforazioni sono riportate nelle schede allegate, assieme alle percentuali di carotaggio ottenute.

Nei sondaggi si sono rinvenute, con spessori e talvolta rapporti di giacitura diversi, le seguenti unità litostratigrafiche:

- **Terreno di riporto**: costituito da suolo agrario misto a materiali da riempimento edilizio a formare uno strato disomogeneo, nella fattispecie, di spessore variabile tra 1 e 2 m;
- **Depositi di origine alluvionale**: sono depositi alluvionali in evoluzione dell'alveo comprendenti il letto e le aree golenali. Essi vengono sommersi completamente e variamenti

rimaneggiati durante i periodi di morbida fluviale che nel caso specifico sono legati ai periodi di piena della lame che hanno carattere episodico.

Si tratta di ghiaie eterometriche, sabbie e limi nocciola laminati depositati lungo una fascia molto ristretta (larga fino a un paio di metri) e quindi non fedelmente cartografabile in scala 1:10.000. Inoltre tali sedimenti sono discontinui: per esempio potrebbe affiorare il substrato pre-quaternario entro la fascia delle alluvioni attive;

- **Depositi marini terazzati**: sono costituiti da sabbie fini, calcareniti, silts ed argille in facies di spiaggia e di barra litorale spesso in eteropia con facies di transizione tipicamente lagunari, palustri e continentali (dune e depositi alluvionali);
- **Terre rosse**: si rinvengono al tetto o intercalate alle rocce calcareo-dolomitiche, costituenti il riempimento di cavità e depressioni carsiche. Nei sondaggi effettuati in corrispondenza delle lame, talvolta la loro presenza è associata a spessori notevoli, dovuti ad un ambiente idrograficamente attivo. Si tratta di terreni residuali a granulometria prevalentemente siltosa a luoghi accompagnata dalla presenza di ghiaie calcaree.

5.2 Prove Down Hole

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta locale.

In corrispondenza delle opere di carattere strategico previste in questo progetto sono state realizzate indagini *in situ* specifiche per il riconoscimento e la caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione (cfr. GE – GT 04). In particolare, sono state eseguite 2 prove Down Hole in 2 sondaggi (S1-DH1 ed S4-DH2 rispettivamente per Barletta Scalo e Barletta Centrale sino alla profondità di 40.00 m dal piano campagna) effettuati in corrispondenza delle aree destinate alla realizzazione dei sottopassaggi pedonali, interpretando i risultati alla luce delle caratteristiche strutturali.

La tecnica Down - Hole consiste nel misurare i tempi di arrivo delle onde sismiche, generate in superficie, ad un geofono posto in un foro di sondaggio ad una determinata profondità. In particolare il geofono utilizzato in questa metodologia registra gli impulsi su tre canali provenienti da sensori orientati secondo le tre direzioni spaziali, due orizzontali ed una verticale.

Tale tecnica è quella maggiormente affidabile nella identificazione, nell'ambito della microzonazione sismica, delle categorie di suolo così come indicato nella normativa di riferimento del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (D.M. Infrastrutture, Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/01/08, Circolare 02 febbraio 2009 n° 617/C.S.L.L.PP.).

Dai sismogrammi registrati sono stati determinati i tempi di arrivo delle onde P e i tempi di arrivo delle onde SH. I tempi di arrivo sono stati corretti con l'aggiunta di un valore, che rappresenta il termine di correzione necessario affinchè, posta una distanza non trascurabile dall'asse del perforo (in questo caso di 3 m), il percorso dei raggi sismici possa essere considerato verticale. Il tempo verticale o corretto tV , cioè il tempo di propagazione dell'onda elastica secondo l'asse del perforo, sarà uguale a: tV = t cos a.

Attraverso i dati acquisiti con l'indagine down–hole è stato possibile elaborare le velocità delle onde V_S relative ai singoli intervalli di profondità acquisiti.

Il valore della V_{S30} è stato poi calcolato applicando la seguente relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

L'analisi dei tempi di arrivo delle onde identificati attraverso i sismogrammi ha evidenziato la presenza di differenti sismo zone, identificate e poi tarate grazie ai sondaggi effettuati. Riassumendo: in entrambi i Down Hole effettuati, i valori delle Vs (m/sec) crescono proporzionalmente alle profondità investigate,

mantenendosi in un range di velocità relativamente basso (dai 200 ai 570 m/sec). Tali velocità ben si relazionano stratigraficamente con le litologie rinvenute, costituite per lo più da terreni argillosi e sabbioso limosi.

RIEPILOGO RISULTATI PROVE DOHWN-HOLE		
PROVA (profondità)	STRATO DI RIFERIMENTO (m)	V_{S30} (m/sec)
S1 - DH1	da 6.00 m a –36.00 m	**360,18**
S4 – DH2	da 6.00 m a – 36.00 m	**359,81**

Secondo le NTC /08 la **categoria di sottosuolo** attribuibile ai risultati ottenuti da entrambe le elaborazioni sismiche è di **tipo "C".**

Per quello che concerne la modellazione sismica relativa, si rimanda all'allegato GE GT 04.

5.3 Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche si realizzano all' interno dei sondaggi, durante la perforazione, permettendo di ottenere un valore N di resistenza alla penetrazione che può essere messo in relazione con i parametri geotecnici di densità relativa, angolo di attrito, carico ammissibile e cedimenti nei terreni granulari. Possono essere eseguite in pratica su qualsiasi tipo di terreno e su rocce molto alterate o tenere. L'uso delle prove è molto comune nelle sabbie, dove i risultati danno spesso buone indicazioni sulla densità e sulla consistenza dei suoli. Qui di seguito verranno spiegate schematicamente le modalità di indagine, i cui risultati e la cui trattazione viene approfondita negli allegati *"Certificati prove geotecniche di laboratorio" e* Relazione Geotecnica GT 01.

5.3.1 Prove penetrometriche statiche (CPT)

La prova penetrometrica statica C.P.T.(ConePenetrationTest) è un mezzo di indagine molto diffuso in Italia poiché, ad un costo modesto,permette l'identificazione della successione stratigrafica lungo una verticale, e la stima di molti parametri geotecnici sia in terreni a grana fine che in terreni a grana grossa (ghiaie escluse).

La prova è autoperforante, ovvero non richiede l'esecuzione di un foro di sondaggio, e consiste nell'infissione a pressione nel terreno, a partire dal p.c., ed alla velocità costante di 20 mm/sec (con una tolleranza di ± 5mm/sec), di una punta conica avente diametro 35,7 mm e angolo di apertura 60°, collegata al dispositivo di spinta mediante una batteria di tubi.

L'analisi dei risultati di prove C.P.T.consente in primo luogo il riconoscimento litologico dei terreni attraversati e la ricostruzione della successione stratigrafica. Questa prima fase interpretativa è essenziale e necessaria per ogni ulteriore interpretazione geotecnica. Infatti durante la prova vengono misurate le resistenze di punta e di attrito laterale opposte dal terreno nelle condizioni di rottura determinate dalla penetrazione dello

strumento con una velocità imposta e costante di 2 cm/sec. A seconda della permeabilità del terreno attraversato la rottura avviene in condizioni drenate o non drenate. Pertanto il modello interpretativo del fenomeno della rottura, e quindi la successiva deduzione delle caratteristiche meccaniche a partire dalle grandezze misurate, è condizionato dal tipo di terreno cui si riferiscono i dati di resistenza misurati.

In linea generale dai dati di prova possono essere ricavati i seguenti parametri geotecnici:

- terreni prevalentemente non coesivi (sabbie limose e limi sabbiosi):

  φ' (qc, σ'v) Es (qc, OCR) Ed (qc, OCR)
- terreni coesivi (argille limose ed argille):

  cu (qc, σv) Es (qc, OCR) Ed (qc, OCR)

5.3.2 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)

La prova S.P.T.consiste nel far cadere ripetutamente un maglio, del peso di 63,5 kgf, da un'altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato un campionatore di dimensioni standardizzate registrando durante la penetrazione:

- il numero di colpi di maglio N1 necessario a produrre l'infissioneper i primi 15cm (tratto di avviamento) inclusa l'eventuale penetrazione quasi statica per gravità;
- numero di colpi di maglio N2 necessario a produrre l'infissioneper altri 15cm;
- il numero di colpi di maglio N3 necessario a produrre l'infissione per ulteriori 15cm.

Complessivamente, durante la prova, il campionatore sarà infisso di: 15+15+15=45 cm. Si assume quale resistenza alla penetrazione il parametro: NSPT= N2+ N3.

I risultati della prova S.P.T. sono utilizzati soprattutto per la stima indiretta, mediante correlazioni empiriche,della densità relativa e della resistenza al taglio delle sabbie. Meno significative e più incerte sono le correlazioni per la stima della resistenza al taglio non drenata dei terreni a grana fine. Dato il carattere empirico dei metodi di interpretazione dei risultati della prova S.P.T. è assolutamente necessario seguire in modo scrupoloso la procedura di riferimento (ISSMFE, 1988). I risultati della prova sono infatti influenzati:

- dalle caratteristiche del campionatore;
- dalle dimensioni delle aste;
- dal sistema di battitura;
- dalla tecnica di perforazione;
- dalle dimensioni del foro.

Con la successiva introduzione delle prove penetrometriche dinamiche continue, usualmente denominate SCPT (Standard Cone Penetration Test), si pone il problema di passare dal dato misurato con tali prove (NSCPT) al valore di NSPT, in modo da poter continuare ad utilizzare le correlazioni già disponibili, senza le

quali la prova SCPT non avrebbe alcuna utilità. Il legame tra NSCPT ed NSPT viene fatto sulla base delle energie specifiche delle due prove:

$$N_{SPT} = \beta_t N_{SCPT} \qquad \text{dove:} \qquad \beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q e Q_{SPT} rappresentano l'energia specifica rispettivamente della prova SCPT ed SPT, data da:

$$Q = \frac{M^2 H}{A\delta(M + M')} \qquad \text{ove:}$$

M = peso massa battente;
M' = peso aste
H = altezza di caduta
A = area base punta conica
δ = passo di avanzamento

5.4 Prove di laboratorio

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati, poi sottoposti a prove geotecniche di laboratorio come indicato nel prospetto sottostante:

CAMPIONI INDISTURBATI							
UBICAZIONE	SONDAGGIO	CAMPIONE	Quota di prelievo	Riconoscimento generale	E.L.L.	TAGLIO DIRETTO C.D.	EDOMETRICA
Barletta Scalo	S1 – DH1	S1 – C1	9.50 ÷ 10.00 m	❑	❑	❑	❑
	S2	S2 – C1	6.20 ÷ 6.60 m	❑		❑	
Barletta Stazione	S4 – DH2	S4 – C1	7.50 ÷ 8.00 m	❑	❑	❑	
		S4 – C2	14.50 ÷ 15.00 m	❑	❑		❑

Dalle carote estratte e deposte nelle cassette catalogatrici sono stati inoltre prelevati dei campioni rimaneggiati di cui al prospetto sottostante, sui quali sono state eseguite le prove di riconoscimento generale (granulometria e limiti di Atterberg).

UBICAZIONE	SONDAGGIO	CAMPIONI RIMANEGGIATI	
		SIGLA	Quota di prelievo
Barletta Scalo	S2	S2 – R1	7.00 ÷ 7.40 m
	S3	S3 – R1	10.00 ÷ 10.40 m
Barletta Stazione	S4 - DH2	S4 – R1	9.60 ÷ 10.00 m

Le prove sono state eseguite presso il laboratorio ISPEC PUGLIA di Barletta, ed i relativi certificati di prova costituiscono l'elaborato *"Certificati prove geotecniche di laboratorio"*, mentre un compendio dei risultati è riportato in TAB. 5.4.

TABELLA 5.4 : RIEPILOGO DEI RISULTATI DELLE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO										E.L.L	TAGLIO DIRETTO		EDOMETRICA		
CAMPIONE	QUOTA PRELIEVO (relativa)	QUOTA ASSOLUTA DEL CAMPIONE (m. slm)	GRANULOMETRIA	γ (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	S (%)	WL (%)	WP (%)	IP (%)	c_u (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	C_c -	C_r -	C_v cm^2/sec
S1-C1	9.50÷10.00	7.25÷6.75	Limo con argilla, sabbioso	19.49	20.36	93%	41.99	31.27	10.72	31.32	22°	32	0.08	0.01	$1.1*10^{-4}$
S2-C1	6.20÷6.60	13.02÷12.62	Limo con argilla, ghiaioso-sabbioso	17.45	18.79	71%	33.74	16.25	17.49	-	35°	8	--	--	--
S4-C1	7.50÷8.00	11.93÷11.43	Limo con argilla, debolmente sabbioso	18.56	19.45	77%	37.63	26.05	11.58	57.25	23°	12	--	--	--
S4-C2	14.50÷15.00	4.93÷4.43	Argilla con limo	18.82	19.00	97%	75.30	41.36	33.94	89.22	-	-	0.16	0.04	$1.0*10^{-4}$
S2-R1	7.00÷7.40	12.22÷11.82	Limo con argilla, debolmente sabbioso	--	--	--	51.82	43.77	8.05	--	--	--	--	--	--
S3-R1	10.00÷10.40	9.29÷8.89	Limo con argilla, debolmente sabbioso	--	--	--	44.82	33.44	11.38	--	--	--	--	--	--
S4-R1	9.60÷10.00	9.83÷9.43	Sabbia con argilla limosa	--	--	--	30.00	33.44	6.56	--	--	--	--	--	--

6. CORRELAZIONI TRA INDAGINI E OPERE IN PROGETTO

I risultati delle stratigrafie dei sondaggi meccanici a carotaggio continuo realizzati in entrambe le aree oggetto di studio, hanno evidenziato la presenza di sedimenti appartenenti a più cicli sedimentari marini riferibili alle numerose unità litostratigrafiche dei Depositi Marini Terazzati. Al tetto di tali depositi in continuità stratigrafica si ritrovano, solo nel caso della Fermata di Barletta Scalo, i termini più recenti di deposizione riferibili a sedimenti di tipo alluvionale, in quanto ricadenti all'interno dell'alveo fluviale del torrente Ciappetta - Camaggi.

6.1 Criteri di caratterizzazione geomeccanica

Le opere in progetto, nell'insieme costituite dalla realizzazione di due sottopassi pedonali in entrambe le fermate, ricadono in base alla Carta Geologica d'Italia, in un'area estesa in cui affiorano le unità litologiche dei Depositi Marini Terrazzati e dei Depositi Alluvionali, stratigraficamente sedimentatesi sul bedrock calcareo costituito dai Calcari di Bari, non affioranti nell'area in esame e non rinvenuti sino alle profondità investigate.

Come già indicato nel par 2, l'area di intervento è caratterizzata dalla più antica alla più recente dalle seguenti formazioni:

- Depositi marini terrazzati (Pliocene Medio e Superiore)
- Depositi Alluvionali (Olocene)

✓ **Depositi Marini Terrazzati**: Con questo nome sono indicate diverse unità litistratigrafiche che includono alcune formazioni riferibili a distinte fasi sedimentarie costituite da calcareniti, conglomerati, ghiaie e sabbie, sedimentate durante brevi cicli trasgressivo-regressivi e rinvenibili in corrispondenza delle zone topograficamente più depresse dell'area in esame.

La stratigrafia dei depositi plio-pleistocenici si riassume in sabbie bianco-giallastre sovrapposte ad argille sabbiose grigio-verdastre. Nella parte inferiore della formazione, invece, si rinvengono argille sabbiose di colore grigio–verde, mediamente consistenti.

Lo spessore è in funzione dell'andamento del profilo del substrato calcareo e della maggiore o minore intensità con cui si sono sviluppati nel tempo i processi erosivi. Questi depositi sono caratterizzati da una permeabilità per porosità con grado variabile in relazione alle discontinuità presenti, alla granulometria, al grado di cementazione ecc.

Sono nel complesso tenere, porose e mediamente durevoli. Nei livelli superiori, il deposito è caratterizzato dalla presenza di un crostone piuttosto tenace e compatto da conferirgli una consistenza lapidea.

Le caratteristiche geomeccaniche di tale formazione, nel caso in esame, sono ampiamente condizionate dai fenomeni di sovralzamento della falda freatica (Cherubini & Romanazzi, 2005). Senza voler entrare nel

merito della questione, risulta comunque opportuno sottolineare come la presenza di acqua e di conseguenza l'imbibizione di sedimenti sabbioso-argilloso, non possa che peggiorare le condizioni geomeccaniche degli stessi materiali. Partendo da questo presupposto, si specifica quanto segue: I cedimenti del terreno, in formazioni di questo tipo, sono strettamente legati a fenomeni che si instaurano all'interno dell'acquifero o negli acquitardi adiacenti. Infatti, tali cedimenti si verificano a causa della diminuzione della quota piezometrica nonché a causa del corrispondente incremento della pressione intergranulare che agisce sulla parte solida della formazione. Gli interventi da effettuarsi per ovviare a problematiche di questo tipo si traducono nella riduzione della porosità e del volume complessivo del terreno stesso, attraverso il metodo della consolidazione edometrica.

La permeabilità, per porosità e in subordine per fessurazione, risulta media a causa della presenza di componenti fini. Si possono rinvenire presenze idriche stagionali, variabili come portata e durata, aventi come base gli strati impermeabili argillosi. I valori della porosità hanno un range variabile tra un minimo di 45.0% e un massimo di 50.6 %. I valori di angolo di attrito interno variano dai 20° ai 30°; presenta bassi valori della coesione.

Generalmente gli ammassi rocciosi calcarenitici presentano un livello di fratturazione piuttosto scarso. E' da considerare che nelle calcareniti rientrano materiali assai vari per genesi, caratteri strutturali e proprietà. Non è possibile definire univocamente valori medi dell'indice RQD.

Nella tabella Tab. 6.1 sono riportati i valori medi, da letteratura, delle caratteristiche geomeccaniche della formazione calcarenitica dei "Depositi Marini Terrazzati" in riferimento a depositi calcarenitici compatti con spessori almeno superiori agli 1,5 – 2 metri. Tale condizione non si è presentata nell'area di studio, dove le calcareniti qualora rilevate hanno raggiunto spessori massimi inferiori al metro; di conseguenza i valori su menzionati sono puramente indicativi.

STRATO	Coefficiente di Poisson (μ)	γ Peso di volume g/cm^3	E Modulo Elastico statico (Kg/cm^2)	Coesione kg/cm^2	Angolo di attrito(ψ) (°)
DEPOSITI MARINI TERRAZZATI	0,25 – 0,35	1,69 – 1,89	1200 – 10.000	0,2 - 0,4	20°-30°

Tab 6.1

✓ **Depositi alluvionali:** fanno riferimento a depositi alluvionali dell'Olocene, osservabili sul fondo e sui fianchi di solchi erosivi. Sono costituiti da ciottolame calcareo e da materiale terroso derivante da disgregazione e dilavamento dei Calcari di Bari e dei depositi pleistocenici.

Per tali sedimenti, si specificano nella Tab. 6.2, i valori geomeccanici medi ottenuti da dati di letteratura.

STRATO	Coefficiente di Poisson (μ)	γ Peso di volume g/cm^3	E Modulo Elastico statico (Kg/cm^2)	Coesione kg/cm^2	Angolo di attrito(ψ) (°)
DEPOSITI ALLUVIONALI	0,30 – 0,40	1,5 – 2,0	200 – 800	0	15° - 30°

Tab 6.2

6.2 Modello geologico

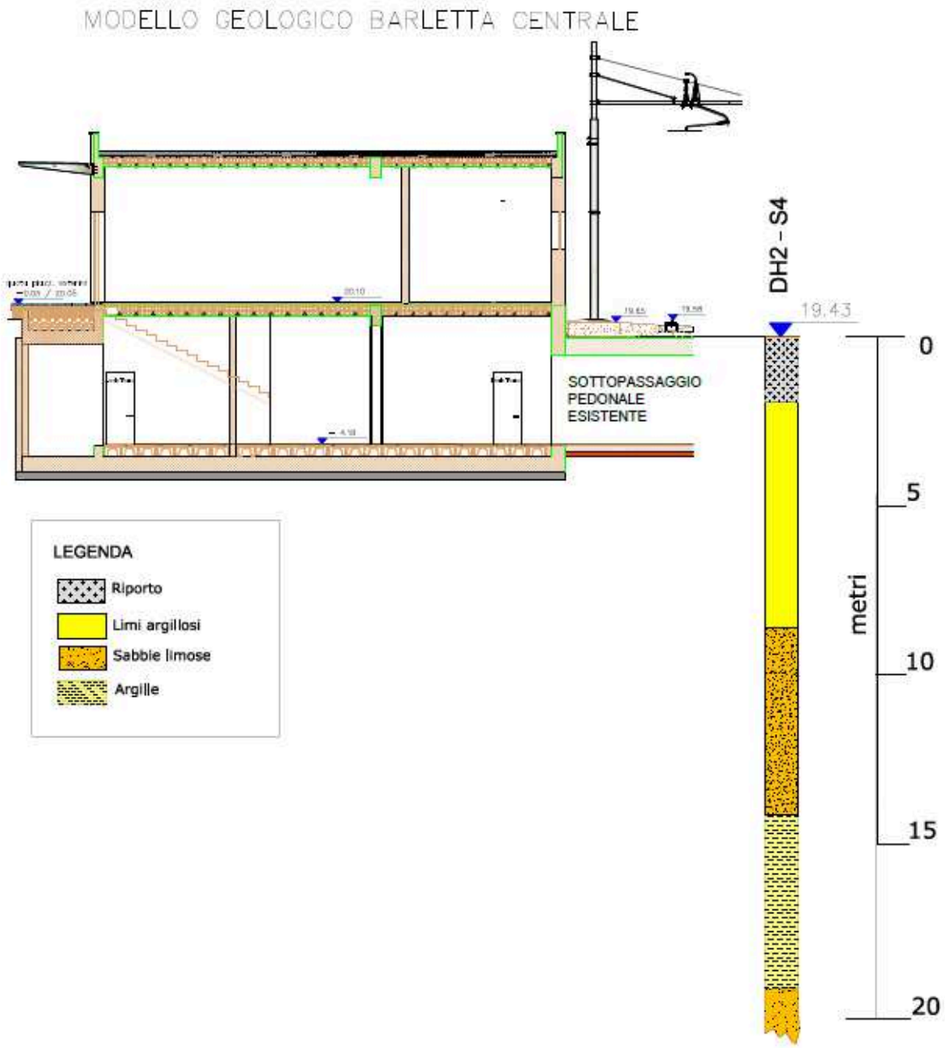
Dalle stratigrafie è stato possibile ricostruire un modello geologico che ben si integra nel contesto stratigrafico del settore murgiano interessato dalla realizzazione dell'opera.

L'area di Barletta, difatti, può considerarsi una zona di transizione fra due importanti domini paleo-geografici e strutturali: quello dell'Avampaese Apulo (Piattaforma Carbonatica Apula p.p.) a SSE e quello dell'Avanfossa appenninica (Fossa Bradanica s.s.) a NNO e SSE. Per tali ragioni l'area in esame è stata interessata da sedimentazione sia terrigena che carbonatica con movimenti tettonici recenti (Olocene) fino a poco tempo fa del tutto sconosciuti (Caldara M. et al., 1996 e 2005). In generale, nel sottosuolo di Barletta, sulle unità più antiche della piattaforma carbonatica apula ("Calcare di Bari", Cretaceo, Valanginiano-Hauteriviano), poggiano i depositi del primo ciclo trasgressivo della Fossa Bradanica, in zona riferibili al Pleistocene inferiore, rappresentati dalle "Calcareniti di Gravina" e dalle "Argille Subappennine".

Al di sopra si rinvengono, sia in affioramento che in perforazloni profonde (pozzi idrologici Acquedotto Pugliese, Ente Irrigazione di Bari, Consorzio di Bonifica Apulo-Lucano, Cementeria di Barletta, ecc.) sedimenti appartenenti a più cicli sedimentari marini che rappresentano il risultato combinato dei movimenti tettonici verticali, cominciati all'inizio del Pleistocene Medio e delle oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino. Tali sedimenti appartengono alle numerose unità litostratigrafiche riferibili ai Depositi Marini Terrazzati (Salvemini, 1984; Ciaranfi et al., 1988; Caldara et al., 1996) costituiti da sabbie fini, calcareniti, silts ed argille in facies di spiaggia e di barra litorale spesso in eteropia con facies di transizione tipicamente lagunari, palustri e continentali (dune e depositi alluvionali).

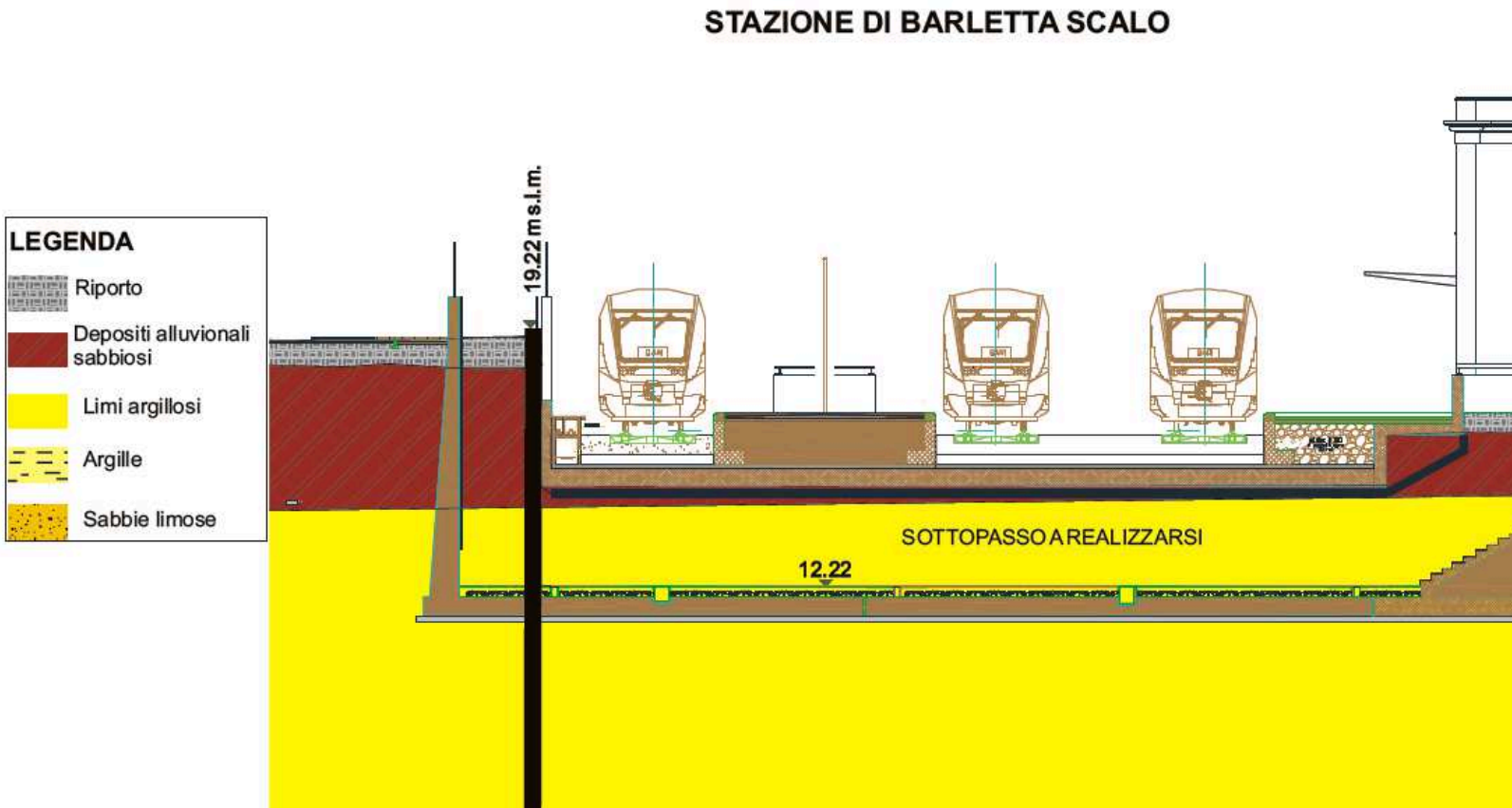
6.2.1 Modello geologico Sottopasso Barletta Centrale

Il sottopasso da realizzare come prolungamento dell'esistente, fonderà ad una profondità di 4.60 m dal p.c. I dati stratigrafici consistenti in un sondaggio meccanico S4 (40.00 m dal p.c.) hanno evidenziato la presenza a circa 2 metri dal p.c. di limi argillosi, seguiti da sabbie con percentuali variabili di argilla. Lo scavo, previsto per la realizzazione del sottopasso coinvolgerà certamente i depositi limoso argillosi su menzionati sui quali si potrà realizzare una fondazione diretta o su pali a seconda dei risultati delle verifiche geotecniche. I risultati dell'indagine Down Hole hanno evidenziato in base alle velocità risultatnti delle Vs30 una **categoria di suolo di tipo C**.



6.2.2 Modello geologico Sottopasso Barletta Scalo

Sono state realizzate indagini geognostiche in sito consistenti in tre sondaggi meccanici ad estrazione di nucleo (S1 = 40 m, S2 = 20 m ed S3 = 15 m) e di una prova Down Hol
riporto di circa 1 metro poggianti su depositi sciolti di natura sabbioso limosa di colore rossastro, seguiti a maggiore profondità da limi e argille alternati a livelli sabbiosi non
realizzazione del sottopasso coinvolgerà certamente i depositi su menzionati sui quali si potrà realizzare una fondazione diretta o su pali a seconda dei risultati delle verifiche
base alle velocità risultatnti delle Vs30 una **categoria di suolo di tipo C.**



6.3 Considerazioni sui litotipi presenti in rapporto allo scavo

In base ai dati acquisiti da rilevamento geomorfologico e dall'interpretazione puntuale delle stratigrafie dei sondaggi è stato possibile ricostruire, dal punto di vista litostratigrafico il sottosuolo. Entrambi i sottopassi, raggiungendo una profondità massima dal p.c. di 5 m, coinvolgeranno per lo più depositi sedimentari sciolti consistenti in limi sabbie e argille. Ai fini del progetto è bene precisare che in base alle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi, gli scavi saranno costituiti da una classe principale:

- **Scavo in terra**: i terreni che corrispondono a questa classe sono costituiti da terre rosse, materiale di riporto, sabbie limose e argille, oltre che da quelle calcareniti più superficiali che risultano più tenere o poco cementate. Questi litotipi, per i quali potrebbe non essere necessario l'uso di mezzi meccanici, costituiscono un 90% del materiale interessato dagli scavi in quanto rappresentano i litotipi affioranti nelle aree interessate dagli scavi.

Sulla base delle indagini e della profondità massima di scavo, sarà possibile riscontrare le tipologie di seguito descritte, ricordando che i risultati delle stratigrafie dei sondaggi effettuati, riportano la presenza di terreno di riporto, sabbie limi e argille e che il bedrock calcareo non è stato riscontrato in nessuno dei carotaggi fino a fondo foro. Ciò detto si potrebbero riscontrare in fase esecutiva, le tipologie: TIPO A e B.

Terreni areati sciolti

Si intendono i litotipi come Terreni di riporto, agrari e Terre rosse. Si tratta di terreni nei quali lo scavo risulta piuttosto semplice e può essere eseguito manualmente con vanga o con ricorso saltuario ad altri attrezzi di impiego manuale. Dato l'esiguo spessore di questi litotipi (max 1 o 2 metri) durante gli scavi sono necessarie sbatacchiature. Tale situazione potrà essere ricorrente anche nel caso di presenza di terra rossa.

Terreni coesivi e non coesivi

Si intendono i litotipi identificati come sabbie, limi e argille. In questi litotipi lo scavo può essere effettuato con qualsiasi escavatore meccanico o con ricorso saltuario ad altri attrezzi di impiego manuale. Necessita di armature durante lo scavo in quanto le scadenti caratteristiche geomeccaniche di questi terreni, anche in caso di pioggia, potrebbero determinare locali franamenti.

TIPOLOGIE DEI PROFILI STRATIGRAFICI
LUNGO IL TRACCIATO FERROVIARIO

7. CONCLUSIONI

Dall'insieme dei dati acquisiti dalle indagini geognostiche eseguite *in situ* e attraverso il rilevamento geologico e geomorfologico di superficie nel territorio interessato dalla realizzazione del sottopasso nella Stazione Centrale FNB del Comune di Barletta e nella Fermata FNB di Barletta Scalo, è possibile evidenziare quanto segue:

- Per quanto riguarda le condizioni di stabilità morfologica, l'area in esame presenta pendenze del tutto trascurabili, compatibili con le opere in progetto;
- L'area in esame nel caso del sottopasso di Barletta Scalo, dall'interpretazione delle indagini geognostiche in situ, presenta stratigraficamente dal piano campagna: uno spessore variabile di circa 1 m di riporto seguito da depositi alluvionali fino ad un massimo di 5 metri dal p.c., poggianti su limi argillosi contenenti una percentuale di sabbie;
- L'area in esame nel caso del raccordo di sottopasso nella stazione di Barletta Centrale, dall'interpretazione delle indagini geognostiche *in situ*, presenta stratigraficamente dal piano campagna: uno spessore variabile di circa 2 m di riporto, poggianti su limi argillosi contenenti una percentuale di sabbie;
- Nel territorio di Barletta, secondo il Piano di Tutela delle Acque, la profondità di rinvenimento della falda profonda si colloca a circa 10 metri dal piano campagna, ciò detto la falda non interferisce con le opere in progetto;
- Dall'analisi delle perimetrazioni P.A.I. elaborate e pubblicate dall'Autorità di Bacino della Puglia, l'area destinatata ad ospitare il sottopasso di Barletta Centrale non è situata in zone perimetrate a pericolosità e rischio idraulico;
- Dall'analisi delle perimetrazioni P.A.I. elaborate e pubblicate dall'Autorità di Bacino della Puglia, l'area destinata ad ospitare il sottopasso di Barletta Scalo è sottoposta a rischio idraulico di tipo R4 e sottoposta altresì a vincoli idrogeologici;
- Il suolo di fondazione, secondo quanto espresso dalle Norme tecniche sulle Costruzioni del 14/01/2008, in base alle indagini eseguite *in situ*, si classifica in Categoria "C" per entrambe le opere d'arte in progetto.

Ciò detto, viste le condizioni generali di stabilità del territorio, la situazione idrogeologica del sottosuolo e l'assenza di particolari situazioni strutturali o litologiche che possano rappresentare superfici di scorrimento preferenziali, non si evidenzia alcuna limitazione all'esecuzione delle opere in progetto.

In fede