

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## NODO DI BARI

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO PRELIMINARE

## NODO DI BARI

## BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A 7 X 0 0 R 6 9 R G G E 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F.Ravasi	Giugno 2021	A.D'Arcangelo	Giugno 2021	G. DIMAGGIO	Giugno 2021	M. COMEDINI Giugno 2021
		G.Romanelli		<i>Redatto</i>		<i>Giuseppe Dimaggio</i>		 <i>Manuel...</i>

File: IA7X00R69RGGE0001001A.doc

n. Elab.:

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA .....</b>	<b>10</b>
4.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE GENERALE .....	10
4.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO LUNGO LA TRATTA.....	15
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>22</b>
6.1	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO .....	22
6.2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	25
6.2.1	<i>Dati piezometrici dell'area di studio.....</i>	<i>28</i>
<b>7</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>30</b>
7.1	PREMESSA .....	30
7.2	CAMPAGNA INDAGINI 2008 .....	30
7.3	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2020-2021 .....	30
7.3.1	<i>Permeabilità dei calcari da prove Lugeon.....</i>	<i>34</i>
<b>8</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO TECNICO.....</b>	<b>45</b>
8.1	CALCARI DI BARI.....	47
8.2	CALCARENITI DI GRAVINA .....	47
8.3	CAVITÀ CARSCICHE NEI CALCARI DI BARI.....	48

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	3 di 83

<b>9</b>	<b>ANALISI DELLE CRITICITA' DI CARATTERE GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>50</b>
9.1	PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	50
9.2	ANALISI DELLA CARTOGRAFIA DEI FENOMENI FRANOSI E DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA.....	50
9.3	ANALISI DELLA CARTOGRAFIA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA .....	52
9.4	ANALISI DELLA CARTOGRAFIA DEL RISCHIO.....	54
9.5	ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ ORIGINATA DAL CARSIAMO.....	56
<b>10</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO.....</b>	<b>59</b>
10.1	PREMESSA .....	59
10.2	AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE .....	61
10.3	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	66
	<i>10.3.1 Generalità .....</i>	<i>66</i>
	<i>10.3.2 Vita utile e classe d'uso .....</i>	<i>67</i>
	<i>10.3.3 Stati limite e probabilità di superamento .....</i>	<i>68</i>
	<i>10.3.4 Accelerazione di riferimento su suolo rigido ag.....</i>	<i>70</i>
	<i>10.3.5 Risposta sismica locale .....</i>	<i>73</i>
10.4	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE .....	76
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>77</b>
<b>12</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>81</b>

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	4 di 83

**TAVOLE ALLEGATE**

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
		I	A	7	X	0	0	R	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica e profilo geologico	1:10.000	I	A	7	X	0	0	R	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta idrogeologica e profilo idrogeologico	1:10.000	I	A	7	X	0	0	R	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A

**DOCUMENTI ALLEGATI**

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
		I	A	7	X	0	0	R	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini geognostiche	-	I	A	7	X	0	0	R	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini geofisiche	-	I	A	7	X	0	0	R	6	9	I	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Schede di rilevamento degli stop geologici e geomeccanici	-	I	A	7	X	0	0	R	6	9	R	H	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini geognostiche pregresse	-	I	A	7	X	0	0	R	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	2	A
Monitoraggio piezometrico	-	I	A	7	X	0	0	R	6	9	R	H	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 5 di 83

## 1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica redatto nell'ambito della progettazione preliminare del Nodo di Bari Nord (Variante Santo Spirito – Palese) lungo la tratta ferroviaria Foggia -Bari.

Lo studio raccoglie e sintetizza sia i dati di indagini pregresse sia le informazioni delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite da Italferr per il presente progetto da dicembre 2020 a febbraio 2021.

Le indagini pregresse sono così costituite:

- n.1 sondaggio geognostico con esecuzione di prove di permeabilità Lefranc e di una prova penetrometrica spt tratto dal progetto preliminare del Riassetto del Nodo di Bari del 2008;
- n.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo eseguiti nel 2017 per il progetto definitivo RFI della realizzazione di opere sostitutive dei PL km 638+461, 638+772, 639+069 e 640+122 della linea Foggia-Bari.

Durante la campagna indagine di Italferr per il presente progetto sono state eseguite le seguenti indagini:

- n. 11 sondaggi geognostici spinti sino alla profondità massima di 40.0 m dal p.c., con esecuzione di prove in foro SPT, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, prove dilatometriche, installazione di piezometri a “tubo aperto” per il monitoraggio della falda e di tubi in PVC per l'esecuzione di prove geofisiche di tipo Down-Hole;
- n. 2 prove geofisiche MASW 2D, n.2 sezioni sismiche a rifrazione, n.2 sezioni sismiche a riflessione, n.2 sezioni Georadar e n.12 Tomografie Elettriche.

In sintesi, nei paragrafi seguenti, verranno approfondite le seguenti tematiche:

- Inquadramento geografico;
- Inquadramento dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici generali dell'area di intervento e di un suo congruo intorno significativo;
- Descrizione delle indagini geognostiche realizzate a supporto del progetto;
- Modello geologico generale lungo la linea;
- Modello geologico di riferimento per ciascuna delle aree di approfondimento;

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	6 di 83

- Analisi del rischio geomorfologico generale lungo la linea e per le aree di approfondimento;
- Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>7 di 83</b>

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.
- RFI DTC SI AG MA IFS 002 A del Dic. 2018: Manuale di progettazione delle Opere Civili – Parte II – Sezione 7 – Geologia.
- Tariffa IG di RFI in vigore nel 2018.
- RFI DTC SI SP IFS 001 B del 22-12-2018 “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Sez. 3 – Rilievi geologici e indagini geognostiche”.
- D.M. 11.03.1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle opere di fondazione”. (DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 artt. 52-53).

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>8 di 83</b>

### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La linea ferroviaria oggetto di studio è ubicata nella regione Puglia, lungo la tratta ferroviaria Bari – Foggia, a nord della città di Bari, in prossimità del quartiere Palese (stazione ferroviaria Bari Palese). La porzione di tratta in esame si estende per una lunghezza di circa 11 km, da Bari in direzione NO. Dopo un primo tratto parallelo alla linea di costa, la tratta devia, descrive una curva di circa 1 km verso l’entroterra per poi reimpostarsi parallelo alla costa (Figura 3-1 e Figura 3-2).

Il tracciato oggetto di studio del presente elaborato è individuabile, evidenziato in rosso, su immagine aerea in Figura 3-1 e sulla carta stradale in Figura 3-2.



Figura 3-1 – Immagine aerea dell’area oggetto di studio. Il tracciato oggetto di intervento è evidenziato in rosso.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	9 di 83

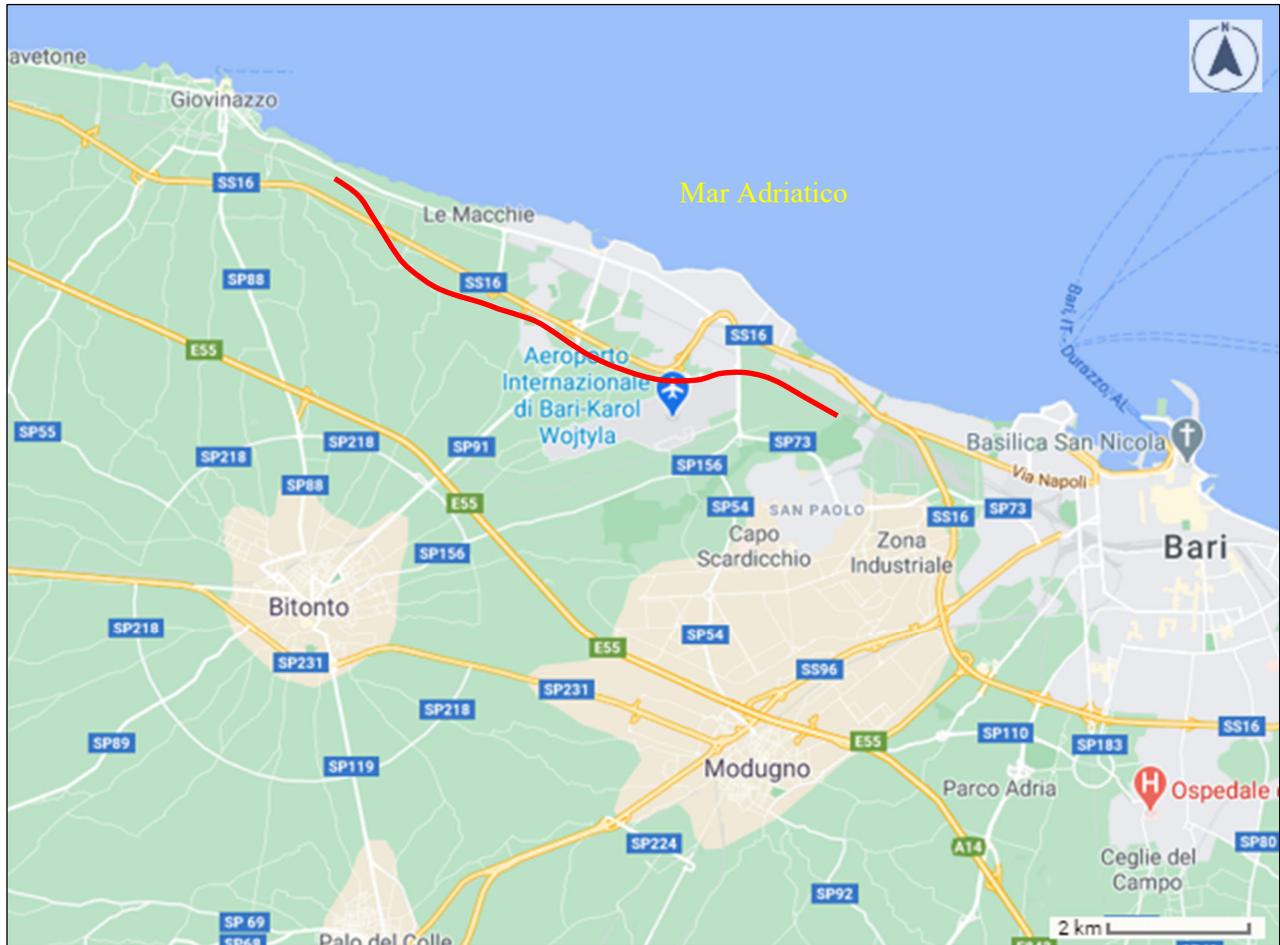


Figura 3-2 – Carta stradale dell’area oggetto di studio. Il tracciato oggetto di intervento è evidenziato in rosso.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>

## 4 ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA

Nei paragrafi seguenti si riporta l'inquadramento geologico-strutturale regionale, l'inquadramento geomorfologico e l'inquadramento idrogeologico dell'area in cui ricade il tracciato della linea ferroviaria oggetto di studio.

### 4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE GENERALE

Il territorio interessato dal presente lavoro (collocati nell'area riquadrata in rosso in

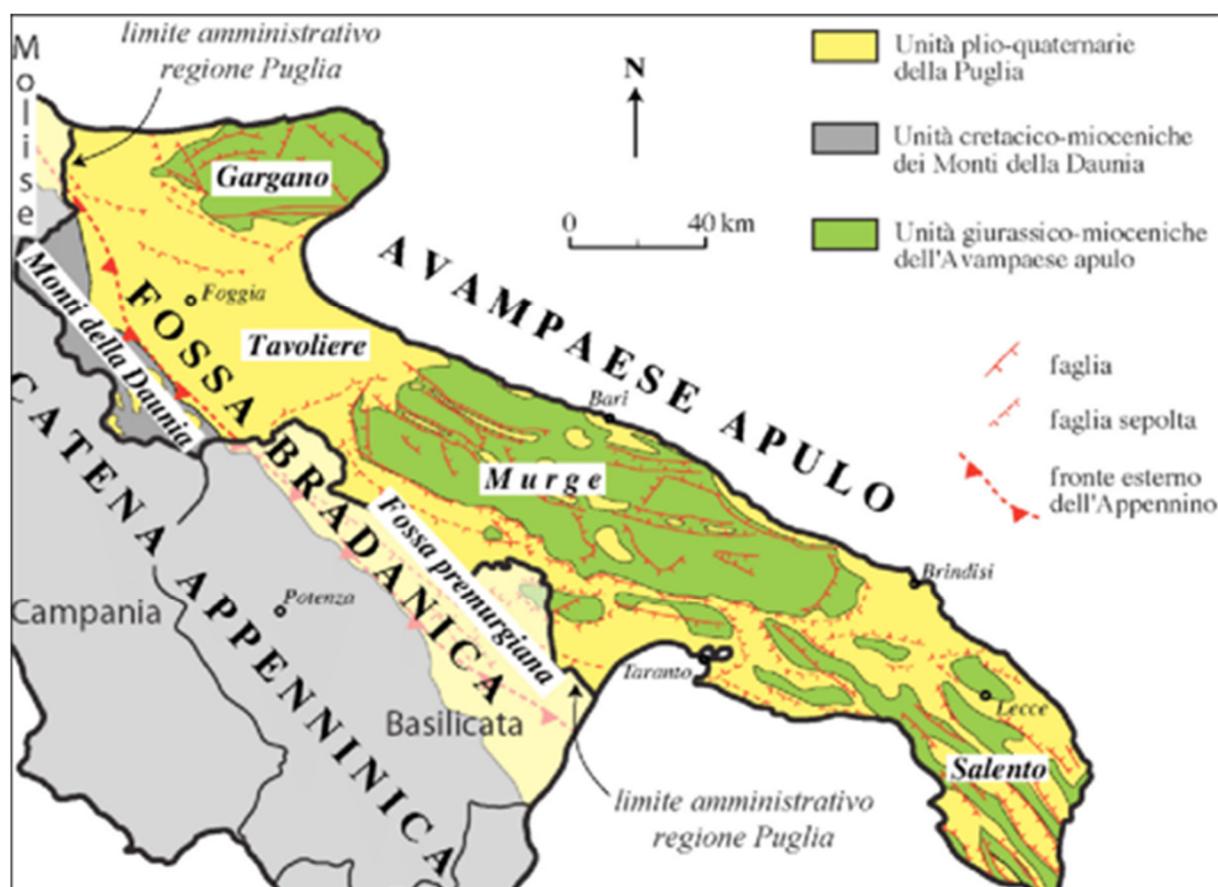


Figura 4-1 e Figura 4-2) si inquadra in un ampio contesto geomorfologico, geologico, strutturale ed idrogeologico sul versante adriatico dell'altopiano delle Murge centro-settentrionali. L'assetto strutturale generale della successione carbonatica mesozoica delle Murge è determinato da un'ampia piega anticlinale, debolmente vergente a NE, interessata da un sistema di faglie dirette, che sbloccano la struttura dando origine ad un esteso horst asimmetrico (Ricchetti, 1980). Quest'area, allungata in direzione ONO-ESE, è costituita da strati e banchi di calcari disposti con assetto monoclinale, con inclinazioni variabili da 5° a 15°, e percorsa da faglie dirette, che si sviluppano lungo la stessa direzione di allungamento originando i principali lineamenti morfologici del territorio

murgiano. Le faglie più importanti delimitano strette e lunghe depressioni morfostrutturali (Figura 4-2) che prendono il nome di “Graben delle Murge alte” e “Graben delle Murge basse” (Pieri et al., 1997).

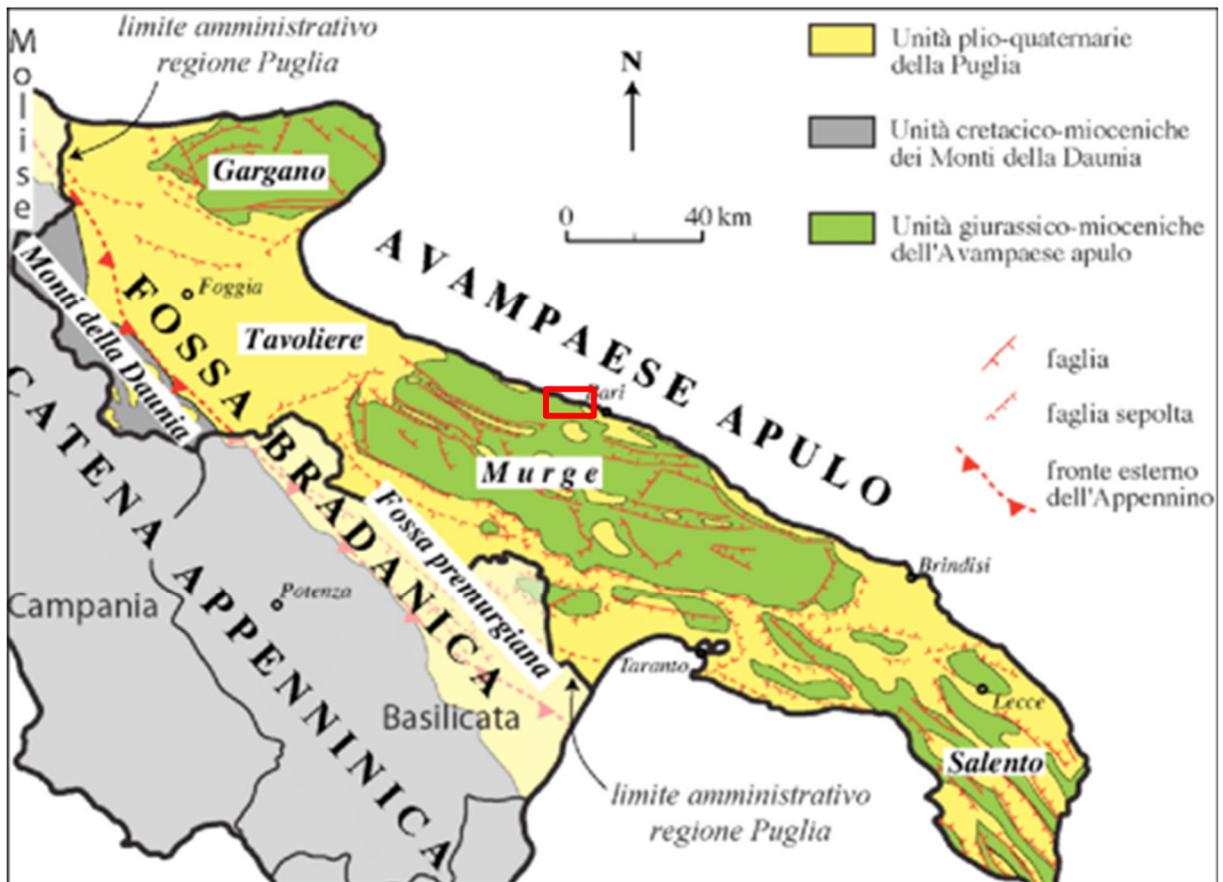


Figura 4-1 – Carta geologica schematica della Puglia (Pieri et al., 1997). L’area oggetto di intervento è evidenziata in rosso

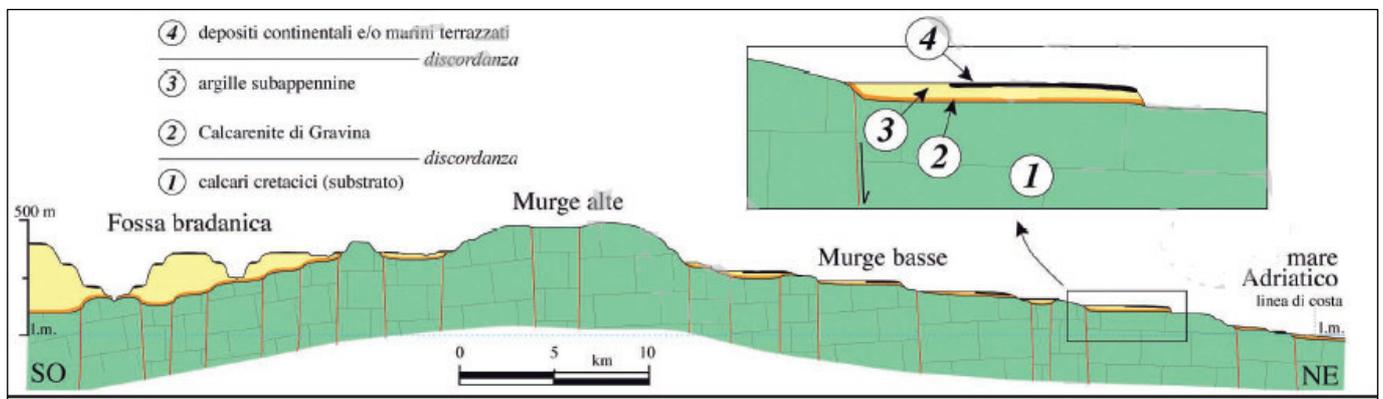


Figura 4-2 - Sezione geologica dell’altopiano delle Murge proposta da Tropeana e Sabato (2000).

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>12 di 83</b>

L’altopiano, generalmente poco elevato, è caratterizzato da due ambienti morfologici distinti: il primo, che costituisce la porzione nord-occidentale del territorio delle Murge, è rappresentato da alte scarpate e ripiani poco estesi, mentre il secondo, che occupa il settore sud-occidentale, è caratterizzato da più vasti ripiani separati da scarpate alte al massimo poche decine di metri.

Tutti gli elementi morfologici principali che caratterizzano le Murge, si sviluppano preferenzialmente secondo le direttrici dei massimi lineamenti tettonici (WNW-ESE o E-W); le stesse scarpate rappresentano, infatti, il prodotto di fenomeni erosivi agenti su originari piani di faglia, mentre i terrazzi morfologici corrispondono ad antiche superfici di abrasione o accumulo.

Durante il Pliocene inferiore-medio le Murge costituivano un settore stabile che risentiva in maniera blanda delle sollecitazioni tettoniche appenniniche. La subsidenza del settore di avanfossa ha fatto risentire i suoi effetti sull’area delle Murge anch’essa in subsidenza. Dal Pleistocene all’attuale si è verificata un’inversione di tendenza che ha portato al graduale sollevamento dell’area con il ritiro del mare, in modo discontinuo, portando la sedimentazione dei “depositi marini terrazzati”. Gli sforzi tensionali che si sono registrati nel contesto generale di sollevamento dell’avampaese hanno agito anche nel più recente contesto di sollevamento regionale (Pieri et al., 1997). Quest’ultimo, attivo dal Pleistocene medio, è stato addebitato a una progressiva attenuazione delle spinte tettonogenetiche con effetti di ritorno elastico della Piastra apula e di compensazione isostatica del sistema Catena-Avanfossa-Avampaese.

Nel contesto geologico regionale, la Puglia e, in parte, l’altopiano delle Murge costituiscono la più vasta area di avampaese “africano” in Italia che, sviluppatosi nel Terziario durante l’orogenesi appenninico-dinarica, è rappresentato da una regione carbonatica autoctona relativamente poco deformata che si sviluppa in aree emerse e sommerse. L’altopiano delle Murge risulta, quindi, costituito da un potente basamento calcareo di età cretacea formato da calcari, calcari dolomitici e subordinatamente da dolomie, a testimonianza di un ambiente di piattaforma, riferibili al Gruppo dei “Calcari delle Murge” suddivise in ulteriori due unità formazionali: il “Calcario di Bari” (Barremiano-Turoniano) ed il “Calcario di Altamura” (Senoniano-Maastrichtiano). In trasgressione sulla sequenza calcarea di età cretacea, si trovano i depositi della successione plio-pleistocenica dell’avanfossa bradanica (Figura 4-2).

Quest’ultima affiora estesamente lungo il margine ofantino e bradanico ed è costituita, dal basso verso l’alto, dalle formazioni della “Calcarenite di Gravina”, delle “Argille del Bradano” (anche note come formazione delle Argille Subappennine), dalle “Calcareniti di Monte Castiglione”, eteropiche con le “Sabbie di Monte Marano”, e dal Conglomerato di Irsina; tutti i termini rappresentano depositi marini di ambiente costiero e di piattaforma, nonché

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	13 di 83

depositi continentali di piana costiera. Tali terreni sono distribuiti soprattutto lungo il bordo dell'altopiano murgiano e nelle aree contigue, ove costituiscono un ciclo sedimentario completo, nel quale la Calcarenite di Gravina rappresenta il termine trasgressivo, mentre le Calcarenite di Monte Castiglione o le Sabbie di Monte Marano, nonché il Conglomerato di Irsina, rappresentano i termini regressivi. Depositi marini terrazzati del Pleistocene medio-superiore si trovano in trasgressione sia sulle formazioni di avanfossa che su quelle di avampaese. Essi rappresentano depositi terrigeni e/o carbonatici di esiguo spessore, ubicati a quote variabili e ascrivibili al Siciliano (quelli più elevati), gli altri al Tirreniano (Figura 4-3).

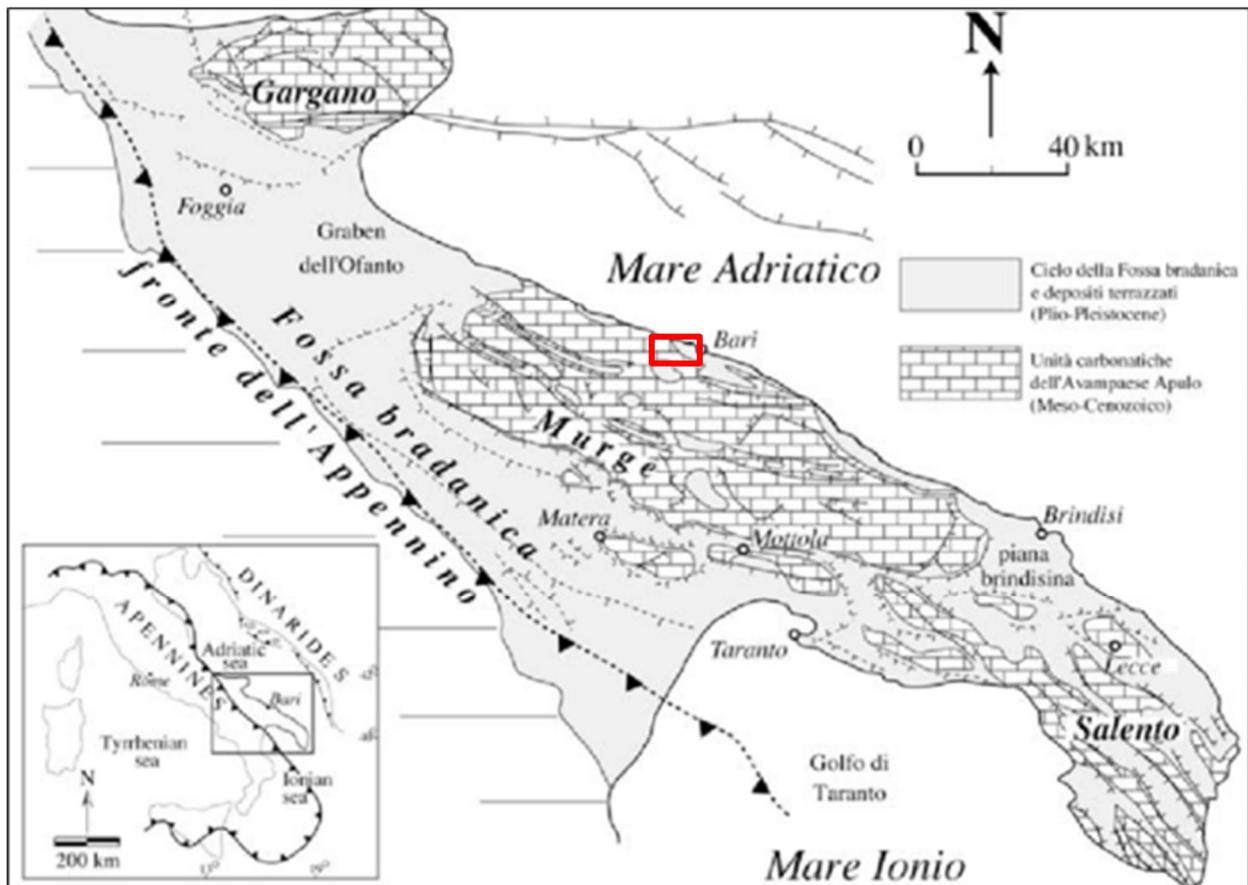
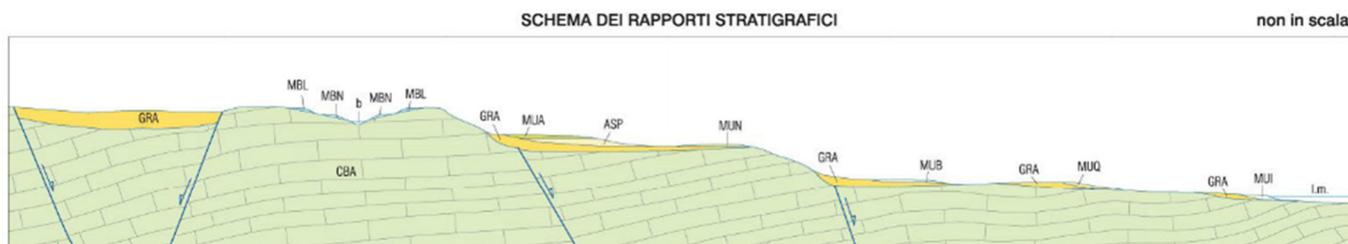


Figura 4-2 – Carta geologico-strutturale dell'Avampaese Apulo emerso (modificato da Pieri et al., 1997). L'area oggetto di intervento è evidenziata in rosso.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	14 di 83



**Figura 4-3 - Schema dei rapporti stratigrafici tra le unità presenti nel Foglio 438 “Bari” (non in scala), (Pieri et al., 2011)**

Le unità litostratigrafiche affioranti nel territorio delle Murge possono essere suddivise in quattro gruppi fondamentali, in base alle differenti facies in cui esse si sono deposte e in relazione all’evoluzione geodinamica dell’intera area pugliese dal Cretacico ad oggi.

Il primo gruppo può essere identificato nelle formazioni costituite dai depositi di piattaforma carbonatica interna che affiorano estesamente e in modo continuo su quasi tutto l’altopiano della Murge, più limitatamente sul margine Bradanico e sono rappresentati dal Gruppo dei Calcari delle Murge, costituito dalle formazioni del Calcare di Bari e del Calcare di Altamura. Il Calcare di Bari (Valanginiano-Turoniano inf.) è costituito da calcari micritici microfossiliferi e calcari dolomitici stratificati in sequenze cicliche nei quali si evidenziano, distribuiti in tutto il dominio di piattaforma, livelli di calcare a Rudiste. Dal punto di vista paleoambientale, la successione dei Calcari di Bari è rappresentativa di un ambiente deposizionale tipico di piattaforma carbonatica, in leggera subsidenza, compensata dalla sedimentazione di sequenze cicliche tidali, durante le quali si sviluppano facies organogene a Rudiste che costituiscono dei precisi livelli guida. Il Calcare di Altamura (Turoniano sup.-Maastrichtiano) è separato dal precedente da una lacuna stratigrafica, evidenziata da una marcata discordanza angolare, associata localmente a depositi continentali bauxitici. Esso è costituito da calcari micritici microfossiliferi e da calcari a Rudiste in sequenze cicliche. L’ambiente deposizionale di questa formazione è abbastanza simile a quello del Calcare di Bari: persiste infatti un ambiente tipico di piattaforma interna, con indizi di variazione del livello del mare, evidenziati da facies organogene al letto della formazione, cui si sostituiscono, al tetto, i calcari micritici laminati e con visibili strutture da disseccamento.

Il secondo gruppo è rappresentato da depositi terziari di margine e di piattaforma aperta, quindi di ambienti più aperti e più o meno profondi, non rappresentati nella zona oggetto di studio, ma riscontrati in affioramento esclusivamente nella penisola salentina.

Il terzo gruppo rappresenta un ciclo sedimentario completo che si sviluppa tra il Pliocene medio e il Pleistocene inferiore ed è completamente affiorante solo lungo il margine ofantino e bradanico.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>15 di 83</b>

L'unità di apertura del ciclo è costituita dalla Calcarenite di Gravina (Pliocene medio- Pleistocene inf.), rappresentata da biocalcareni e biocalciruditi che affiorano preferenzialmente all'interno di aree più depresse. Contemporaneamente nelle zone più interne dell'altopiano murgiano si depositano, in lembi residui su piattaforme di abrasione calcari-arenacei-argillosi più o meno cementati, a luoghi sabbie calcaree bianco-giallastre, e marne argillose (Acquaviva delle Fonti), che rappresentano la formazione dei Tufi delle Murge ascrivibili al Pliocene medio-Pleistocene inferiore.

Il termine regressivo marino della successione è rappresentato dalle Calcarenite di Monte Castiglione (Pleistocene inferiore medio) costituite prevalentemente da calcarenite grossolane compatte o friabili, con intercalazioni di brecce calcaree. Il ciclo sedimentario è chiuso dal termine regressivo continentale rappresentato dal Conglomerato di Irsina (Pleistocene medio), costituito da conglomerati poligenici disposti in bancate più o meno spesse.

L'ultimo gruppo, ascrivibile al Pleistocene medio-superiore, è costituito da un insieme di unità litostratigrafiche tipiche di ambienti costieri, di transizione e continentali; ad esse corrispondono fasi di sedimentazione distinte, verificatesi tra il Pleistocene medio e il Pleistocene superiore e poggiano, orizzontalmente e in trasgressione, al di sopra di superfici di abrasione, disposte a diverse quote e rese evidenti dalla presenza di terre rosse.

## 4.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO LUNGO LA TRATTA

Il territorio ove si colloca il progetto occupa circa 11 km della costa adriatica, attraversando il territorio delle Murge. La tratta si estende quasi totalmente sul calcare di Bari (CBA); il primo tratto a sud est intercetta la calcarenite di Gravina (GRA); nell'area di progetto sono presenti depositi alluvionali recenti (b) non interessanti direttamente il tracciato. Queste litologie verranno esaminate di seguito e sono state riassunte dalla più recente alla più antica, seguendo le descrizioni riportate nelle note illustrative del Foglio 438 "Bari" (Pieri et al., 2011). Per quanto concerne la cartografia geologica di riferimento, è stata utilizzata la carta geologica d'Italia, Foglio 438 "Bari", CARG in scala 1: 50.000 (Figura 4-4).

### Depositi recenti:

- *Deposito alluvionale recente e attuale (b):* Si tratta di sedimenti di origine alluvionale che occupano il fondo di numerosi solchi erosivi e ampie aree a ridosso del sistema di San Pasquale e del sistema di San Girolamo. Sono costituiti da ghiaie formate da clasti calcarei subarrotondati in matrice siltoso-terrosa rossastra, con rare intercalazioni di silt argillosi. Il loro spessore varia notevolmente da luogo a luogo, raggiungendo nelle zone più prossime al mare i 10 m. L'età è riferibile al Pleistocene superiore-Olocene.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 16 di 83

#### Unità della Fossa Bradanica

- *Calcarenite di Gravina (GRA)*: la calcarenite di Gravina affiora in lembi più o meno estesi sia nella fascia costiera che nelle zone più elevate del foglio. Lo spessore massimo affiorante è molto variabile, da pochi decimetri fino a un massimo di circa 20 m. Comprende calcareniti bianche o giallastre, più o meno cementate, con frammenti di Coralli, Echini, Ostreidi e Pettinidi. Il termine Calcarenite di Gravina, formalizzato da Azzaroli (1968) per i depositi calcarenitici di età calabriana affioranti lungo il bordo bradanico delle Murge, è stato successivamente esteso da Iannone & Pieri (1979) ai depositi calcarenitici del tutto simili per posizione stratigrafica, età e significato paleoambientale, presenti sul versante adriatico delle Murge. Le facies tipiche della Calcarenite di Gravina sono costituite da calcareniti e calciruditi lito-biostatiche che, tranne eccezioni rappresentate da sedimenti siltoso-sabbiosi a luoghi presenti alla base, poggiano direttamente sui calcari cretaci. In questo caso il contatto è rappresentato da una superficie di abrasione marina, frequentemente marcata da discordanza angolare, interpretata come una superficie di *ravinement* di lungo periodo (Tropeano e Sabato, 2000) e più genericamente come una superficie di trasgressione diacrona a livello regionale (Pieri, 1980). Il contatto trasgressivo è ovunque ben evidente per il contrasto litologico fra i sottostanti calcari micritici del Cretacico e la soprastante unità calcarenitica, dovuto ai diversi caratteri tessiturali e al diverso grado di cementazione. Dal punto di vista tessutturale si tratta in prevalenza di *packstone*, e/o di *packstone-grainstone*, costituiti esclusivamente da bioclasti, rari litoclasti cretaci e scarso cemento intergranulare. Lo spessore massimo affiorante è di circa 20 m. Nelle carte geologiche della precedente edizione della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000, questa formazione è riportata con i termini "tufi delle Murge" o "tufo". (Pleistocene inferiore).

#### Unità della Piattaforma carbonatica apula

- *Calcare di Bari (CBA)*: la successione del Calcare di Bari affiora estesamente in tutta l'area del Foglio 438 "Bari" e rappresenta il substrato sedimentari su cui poggiano tutte le unità più recenti. È rappresentata da calcari detritici a grana fine, di colore bianco o nocciola, generalmente in strati o in banchi. Il Calcare di Bari è costituito da calcari microfossiliferi bianchi e grigio chiari in strati di spessore decimetrico e metrico costituiti da litofacies a tessitura prevalentemente fango-sostenuta (*mudstone/wackestone* biopeloidali e *bindstone* stromatolitici) e subordinatamente granulo-sostenuta (*packstone/grainstone* bioclastici e biopeloidali) a luoghi interessati da diagenesi meteorica e/o da pedogenesi (*floatstone/rudstone* intraclastici in matrice argillosa residuale) con frequenti intercalazioni di calcari dolomitici e di dolomie grigie. Nella parte inferiore ed intermedia della successione si intercalano bancate massive di calcari dolomitici grigi e di dolomie grigio scuro con tessitura dolomicritica e dolosparitica. Inoltre, nella parte inferiore e superiore del

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	17 di 83

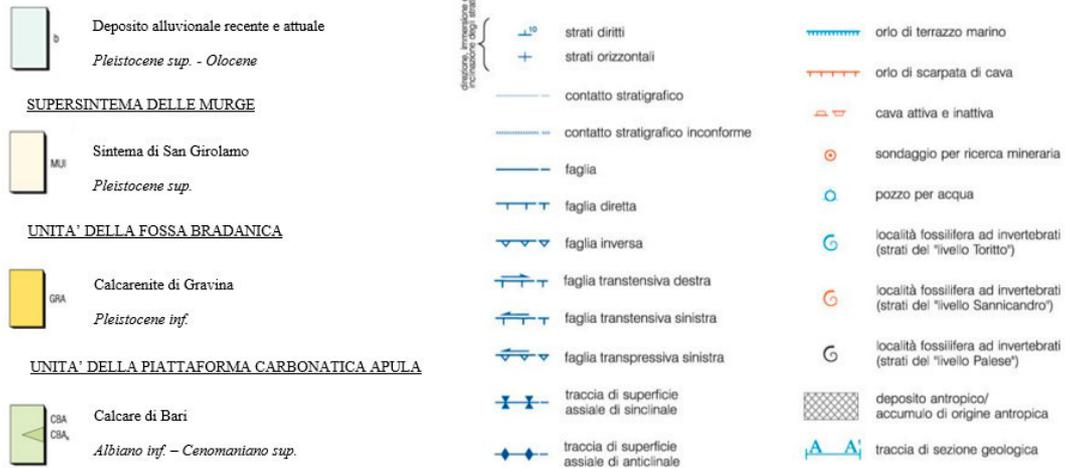
Calcarea di Bari, sono stati riconosciuti calcari macrofossiliferi a molluschi (prevalentemente rudiste); si tratta di gruppi di strati costituiti da accumuli conchigliari autoctoni o paraautoctoni con tessitura prevalente di tipo *floatstone/rudstone*, corrispondenti, dal più antico al più recente, al “livello Palese”, al “livello Sannicandro” e al “livello Toritto”. Tali livelli rappresentano alcuni dei noti “livelli guida” dell’intera successione del Calcarea di Bari affiorante nel territorio delle Murge e sono da intendersi, più propriamente, come gruppi di strati in cui la medesima litofacies (*floatstone/rudstone* a rudiste) si ripete, mostrando continuamente gli stessi caratteri e la stessa associazione di specie, per spessori variabili da pochi metri a poche decine di metri intercalandosi anche ciclicamente ad altre facies carbonatiche di piattaforma. L’assetto generale degli strati del calcarea di Bari è quello di una monoclinale complicata da faglie e pieghe che immerge verso i quadranti meridionali. (Cretacico superiore).



Figura 4-5: Stralcio del Foglio 438 “Bari” (Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000, Pieri et al., 2011). Il tracciato oggetto di intervento è evidenziato in rosso.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	18 di 83



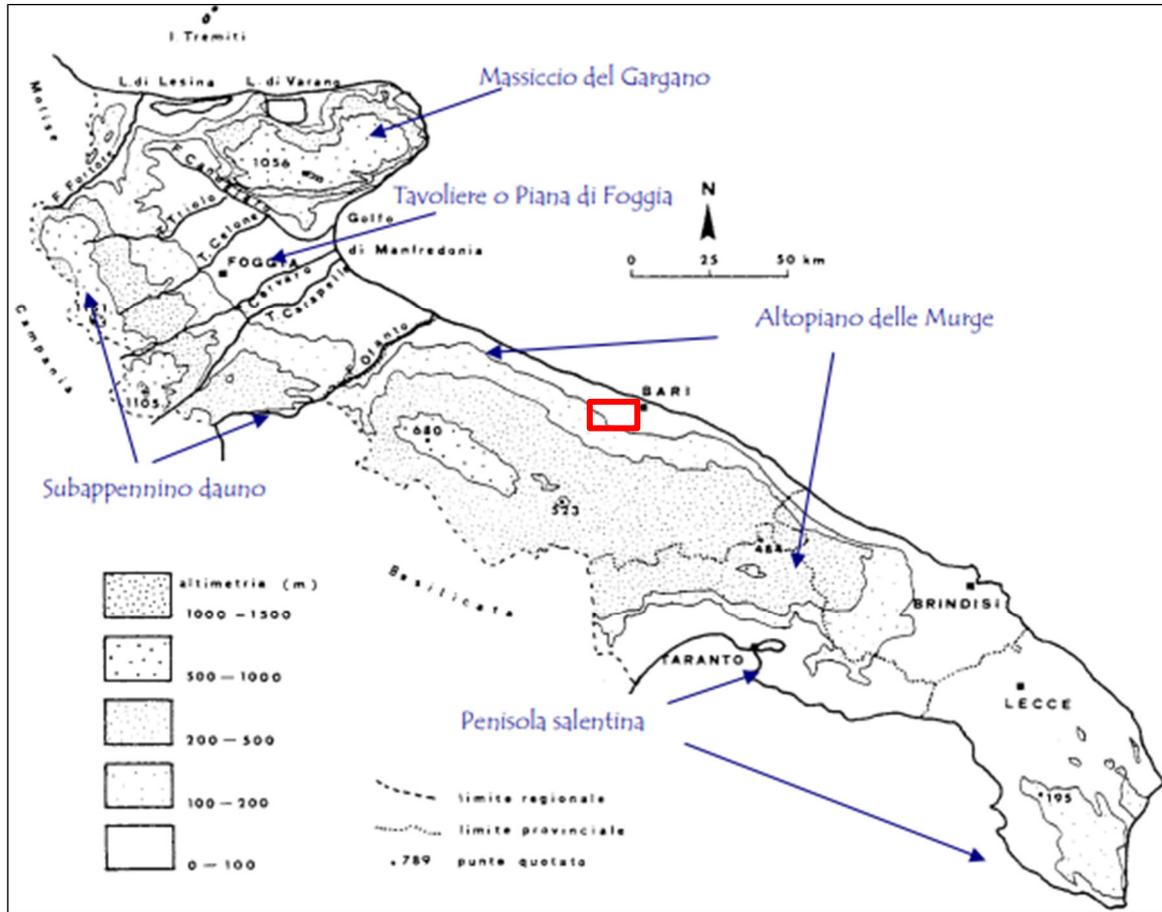
**Figura 4-4 - Legenda delle unità affioranti nella carta geologica Foglio 438 "Bari" (Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Pieri et al., 2011).**

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 19 di 83

## 5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio pugliese è caratterizzato da rilievi di modesta entità, infatti solo l'1,4% (pari a circa 290 kmq) ha quote superiori a 700 m s.l.m., il 45.2% (8760 kmq) può considerarsi area collinare ed il rimanente 53.7% (10300 km) è costituito da pianura.

In Puglia si individuano almeno cinque subregioni naturali (Figura 5-1): il Subappennino Dauno, il Tavoliere, il Gargano, le Murge ed il Salento, ciascuna caratterizzata da peculiari caratteri geomorfologici. L'area di progetto si trova nella regione dell'altopiano delle Murge, la cui sommità mostra lembi di una superficie di spianamento modificata da fattori erosivi, è delimitato a sud-ovest e a nord-est da scarpate di piani di faglia. L'altopiano è bordato, parallelamente al mare Adriatico ed al mar Ionio, da una serie di terrazzi marini, i più elevati dei quali sono ubicati, in media, sui 300 metri di quota ed i più bassi sui 4-5 metri. Questi terrazzi, creati dal graduale sollevamento delle Murge nel corso del Quaternario, sono delimitati da scarpate molto elevate, corrispondenti a ripe d'abrasione o a piani di faglia rielaborati dall'azione del mare. Questo territorio verrà analizzato dettagliatamente nel paragrafo seguente poiché in questa regione si sviluppa la tratta ferroviaria oggetto dello studio.



**Figura 5-1 – Subregioni della regione Puglia. L’area oggetto di intervento è evidenziata in rosso.**

I siti di progetto si sviluppano lungo la tratta ferroviaria che costeggia i primi 11 km di costa adriatica da Bari Barletta. L’area in questione fa parte dell’altopiano murgiano e più precisamente del settore delle Murge Basse. Nel suo complesso l’area presenta un aspetto collinare con vaste aree pianeggianti dalla quali si elevano modesti rilievi. In questo luogo sono presenti una serie di ripiani allungati, parallelamente alla costa, posti via via a quote più basse procedendo dall’interno verso il mare, delimitati da scarpate. I ripiani e le scarpate sono rivolti verso l’Adriatico e rappresentano una serie di terrazzamenti marini definiti da superfici pianeggianti e da gradini incisi nei depositi quaternari o nel substrato carbonatico. Questi gradini sono stati interpretati come antiche linee di costa formatesi durante il sollevamento dell’intera area murgiana durante il Pleistocene medio-superiore. Le aree calcaree presentano morfologie più marcate in corrispondenza di dossi allungati in direzione EO, quest’ultimi sono delimitati da scarpate di origine tettonica rivolte verso l’entroterra (che corrispondono ai segmenti del Graben delle Murge basse). Le aree calcaree sono incise da numerosi corsi d’acqua, delimitati da pareti subverticali e in alcuni casi si sono sviluppate vere e proprie forre che conferiscono alla regione un aspetto molto aspro. I calcari sono

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 21 di 83

inoltre oggetto di alterazione chimico-fisica che si manifesta con un processo carsico creando cavità, condotti e zone di collasso. Le aree occupate dai terreni quaternari mostrano un paesaggio più morbido dato da basse colline con versanti a bassissimo gradiente: ciò dipende dall'alto grado di erodibilità di questi terreni sabbioso-limosi poco cementati.

I caratteri dell'area costiera sono rappresentati da una costa rocciosa frastagliata, con coste in erosione e falesie alte fino a 7-8 m, intervallate da piccole insenature lungo le quali si costituiscono le spiagge con ciottoli calcarei. Spianate e scarpate sono dovute generalmente all'abrasione prodottasi nel corso di fasi di stazionamento relativo del livello del mare, a partire dal Pleistocene medio. Il litorale metropolitano di Bari è fortemente modificato dalla presenza di opere artificiali e ha un carattere a basso profilo con spiagge in parte preservate.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 22 di 83

## 6 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

### 6.1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il paesaggio pugliese è dominato quasi dovunque dal calcare che può essere affiorante, coperto da formazioni rocciose o da strati più o meno sottili di terreno agrario. La notevole presenza di affioramenti calcarei fessurati e carsificati, fortemente permeabili all'acqua, non ha consentito lo sviluppo di una vera e propria idrografia superficiale (Figura 6-1). La natura prevalentemente carsica del territorio, eccezione fatta per il Tavoliere (Figura 6-1), rende la regione estremamente povera di risorse idriche superficiali. Allo stesso tempo, il territorio è dotato di risorse idriche sotterranee anche notevoli. Priva di montagne, la Puglia è dunque povera di corsi d'acqua: la "protezione" appenninica da Ovest e la sua esposizione ad Est la rendono, inoltre, soggetta a scarse precipitazioni che il terreno, quasi tutto di natura carsica, assorbe copiosamente.

In particolare, nel territorio delle Murge, nelle aree calcaree, sono presenti numerosi corsi d'acqua incisi nella roccia, che localmente vengono detti "lame": sono caratterizzate da pareti subverticali e da brusche deviazioni e tratti a sviluppo rettilineo. Tali corsi d'acqua hanno origine sulle Murge alte, si sviluppano in regolare successione parallela da Nord-Ovest a Sud-Est sempre perpendicolare alla costa e arrivano fino al mare con una singolare confluenza nella cosiddetta Conca di Bari (si può osservare parzialmente in figura 6-2). Le lame sono così d'acqua non perenni, a fondo piatto e pareti verticali, che molto verosimilmente si sono incassati fino nel substrato calcareo per processi di sovrapposizione. Si sarebbero sviluppati, talora anche con andamenti meandriformi, su aree subpianeggianti coperte da depositi quaternari facilmente erodibili, e in seguito approfonditi nei sottostanti calcari. Hanno un regime torrentizio, attivandosi solo in occasione di periodi di piogge particolarmente abbondanti. Il corso delle lame è stato condizionato anche dalla tettonica come è dimostrato dai tratti ad andamento rettilineo in corrispondenza di zone di faglia o intensa fratturazione (Pieri et al., 2011).

Il tracciato ferroviario in progetto attraversa cinque di questi corsi d'acqua detti "lame" che in cartografia regionale del "Sit Puglia" vengono definiti come corsi d'acqua episodici. Tuttavia, la tratta non intercetta nessun corso d'acqua attivo.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	23 di 83



Figura 6-1 – Stralcio non in scala del reticolo idrografico del Territorio Regione Puglia. Scala originale 1: 300.000. In rosso è evidenziata la zona oggetto di studio. Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, sito web: [http://www.ildistrettoidrograficodellappenninomeridionale.it/dam\\_045.htm](http://www.ildistrettoidrograficodellappenninomeridionale.it/dam_045.htm)

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	24 di 83



**Figura 6-2: Reticolo idrografico della zona di Bari, interesse del nostro studio (tracciato evidenziato in rosso). Con relativa legenda dove i corsi d'acqua episodici si riferiscono alle "lame" sopra descritte.**  
[http://www.sit.puglia.it/portal/portale\\_cartografie\\_tecniche\\_tematiche/Download/Cartografie/CartografiaPerFoglioWindow?action=e&windowstate=normal&idfoglio\\_select=16&mode=view](http://www.sit.puglia.it/portal/portale_cartografie_tecniche_tematiche/Download/Cartografie/CartografiaPerFoglioWindow?action=e&windowstate=normal&idfoglio_select=16&mode=view)

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 25 di 83

## 6.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Le caratteristiche geologiche, strutturali e morfologiche della regione Puglia hanno consentito la formazione di cospicui corpi idrici sotterranei, contenuti fondamentalmente nelle successioni carbonatiche mesozoiche e, solo in subordine, mioceniche e quaternarie. Le successioni mesozoiche costituiscono l'ossatura del sistema idrogeologico pugliese e ne contengono le maggiori riserve idriche.

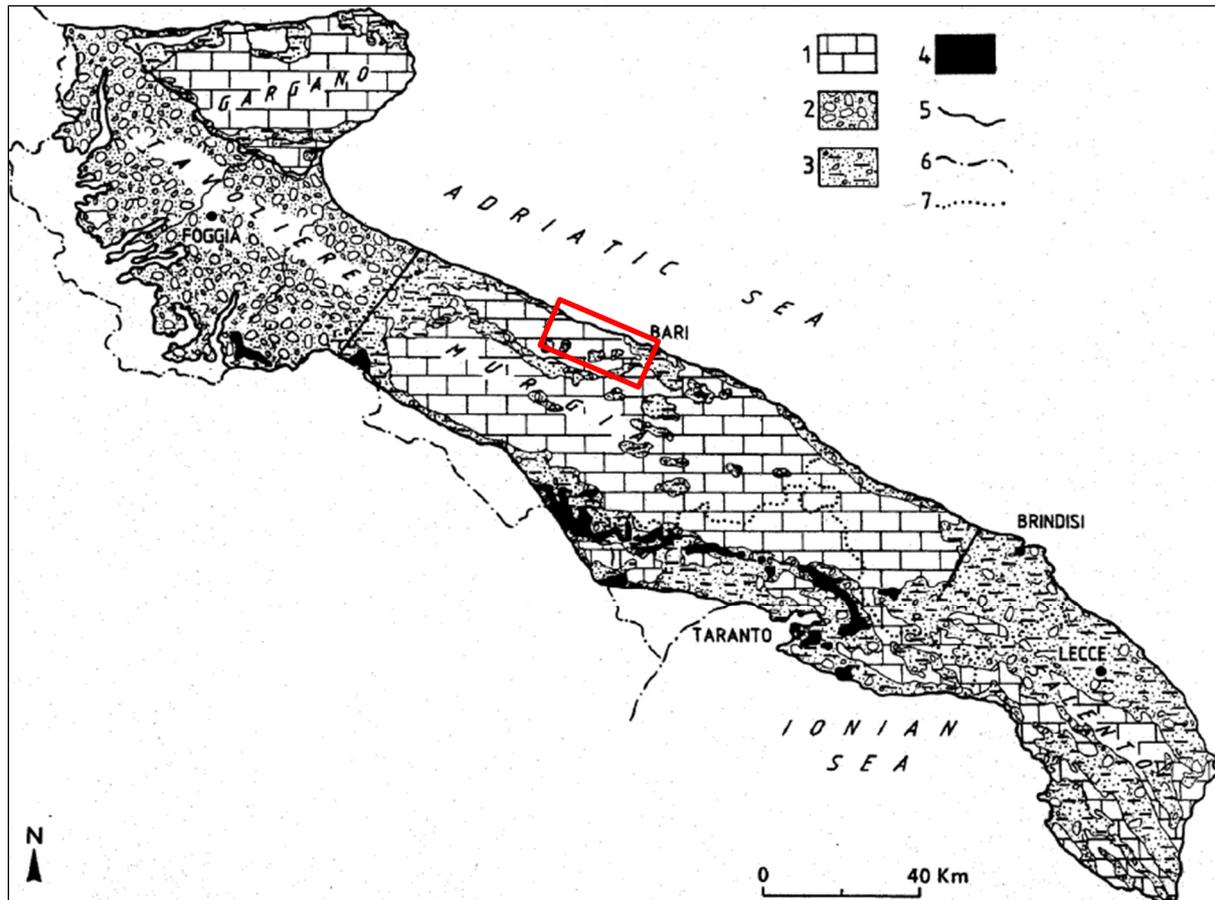
La circolazione idrica sotterranea varia localmente: nelle Murge, le acque della falda idrica profonda si muovono in pressione ed a profondità decrescente procedendo verso la costa. L'efflusso a mare della falda profonda avviene spesso in punti distanti dalla linea di costa, stante la presenza della copertura argillosa impermeabile lungo la fascia costiera e sui fondali marini prossimi alla linea di costa

In Puglia possono essere individuate quattro unità idrogeologiche principali (Figura 6-2): Gargano, Tavoliere, Murge e Salento. Le aree oggetto di studio, si collocano principalmente nel territorio delle Murge.

L'area idrogeologica della murgia coincide sostanzialmente con l'Altopiano murgiano, che impegna gran parte della piattaforma carbonatica apula e si estende dal fiume Ofanto sino alla Soglia messapica a Sud, mentre ad Est e ad Ovest è delimitata rispettivamente dal mar Adriatico e dalla Fossa Bradanica. L'unità idrogeologica, che la caratterizza, è costituita da un ampio e potente acquifero con sede nelle rocce calcaree e/o calcareo dolomitiche del Mesozoico; tuttavia, la presenza di locali orizzonti impermeabili alla base della formazione delle Calcareniti di Gravina, associata a particolari condizioni giaciture del substrato, possono generare la presenza di locali falde sospese. L'acquifero principale, interessato da fenomeni carsici, presenta un grado di fratturazione variabile nelle tre dimensioni e mostra, a luoghi, elevata permeabilità. Valori di permeabilità, ricavati dall'interpretazione di alcune prove idrauliche in pozzi presenti in aree contermini, risultano mediamente elevati e nell'ordine di  $10^{-3} - 10^{-4}$  m/s (Uggeri, 1998). L'alimentazione della falda, nella zona oggetto del nostro studio, si realizza nelle zone più interne e topograficamente più elevate, fino a 40 km dalla costa, dove i calcari affiorano con continuità e la presenza di forme carsiche superficiali come doline, favorisce una rapida infiltrazione dell'acqua di pioggia. La falda defluisce direttamente in mare, in maniera diffusa, e la zona di emergenza risulta essere pressoché coincidente con la linea di costa che rappresenta il livello di base della circolazione idrica sotterranea. La falda è in contatto con l'acqua marina di intrusione continentale su cui poggia per la minore densità. All'interfaccia di intrusione continentale si realizzano fenomeni di miscelamento che generano una zona di diffusione di spessore e di salinità progressivamente crescente sia dall'alto verso il basso che verso l'entroterra (Pieri et al., 2011).

L'acquifero murgiano costituisce un serbatoio d'acqua suscettibile per l'impiego in agricoltura e in alcune zone la qualità dell'acqua è talmente elevata da consentirne l'uso potabile; la presenza di numerosi pozzi comporta un

abbassamento della falda e favorisce l'estensione del cuneo salino nel sottosuolo (Fidelibus et al., 2002), alcuni di questi pozzi sono stati riportati sulla carta idrogeologica dell'elaborato IA7X00R69NZGE0002001A. Allo stesso tempo la natura carsica del sottosuolo rende tale risorsa molto vulnerabile alle forme di inquinamento antropico.



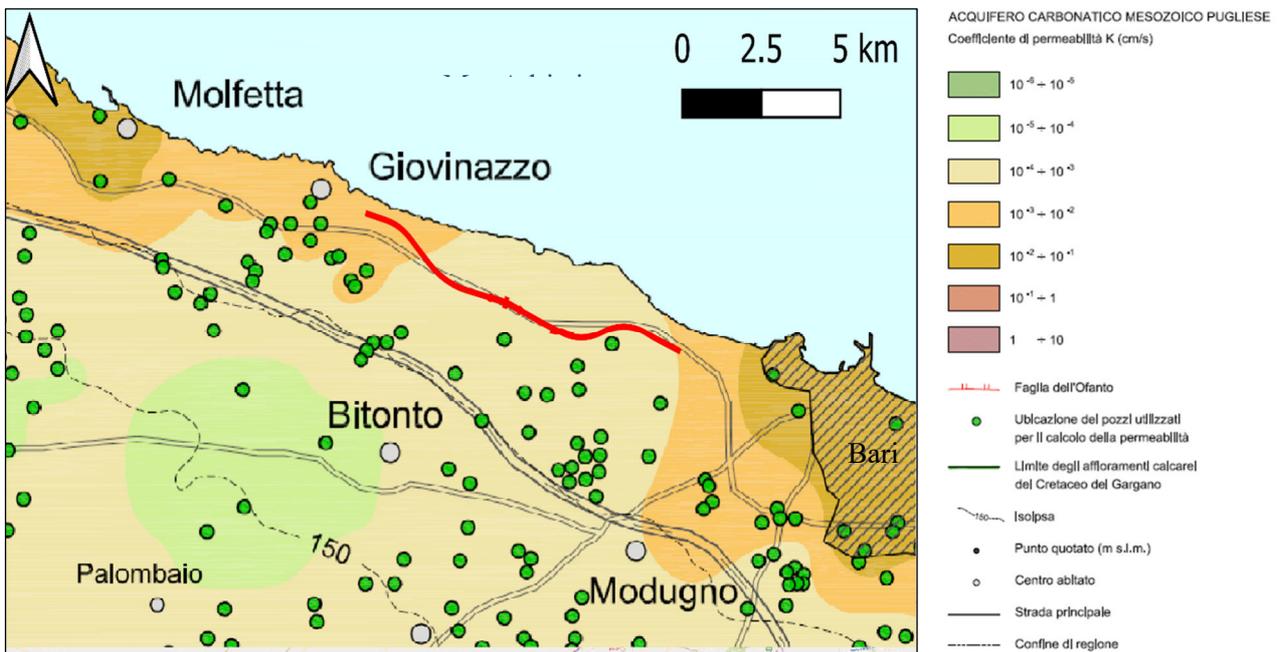
**Figura 6-2** Unità idrogeologiche della Puglia. **Legenda:** 1) Rocce carbonatiche affioranti nel Gargano, nelle Murge e nel Salento; 2) Unità idrogeologica del Tavoliere, principalmente costituita da conglomerati e sabbie; 3) Acquiferi superficiali e litotipi permeabili, calcareniti, sabbie argillose, sabbie, ghiaie o conglomerati; 4) Litotipi poco permeabili, argille e argille marnose; 5) Limite delle unità idrogeologiche (incerto dove tratteggiato); 6) Confine regionale; 7) Confine provinciale. In rosso è evidenziata l'area oggetto di studio.

In Figura 6-3 e Figura 6-4 sono stati riportati degli stralci della Carta Idrogeologica della Regione Puglia (scala 1:300.00) in cui in rosso è presente la tratta di interesse a nord di Bari. Si può osservare come le rocce carbonatiche mesozoiche presenti lungo la tratta abbiano un acquifero con coefficienti di permeabilità medi, con valori compresi tra  $10^{-2} \div 10^{-4}$  (Figura 6-3), e una concentrazione di salinità media nel tratto di falda con valori medio bassi, compresi tra  $0.5 \div 1$  (Figura 6-4). La permeabilità delle Calcareniti di Gravina è stata analizzata con una prova Lefranc, dalla quale si è ottenuto un valore di coefficiente di permeabilità (k) pari a  $1,62 \times 10^{-3}$ .

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

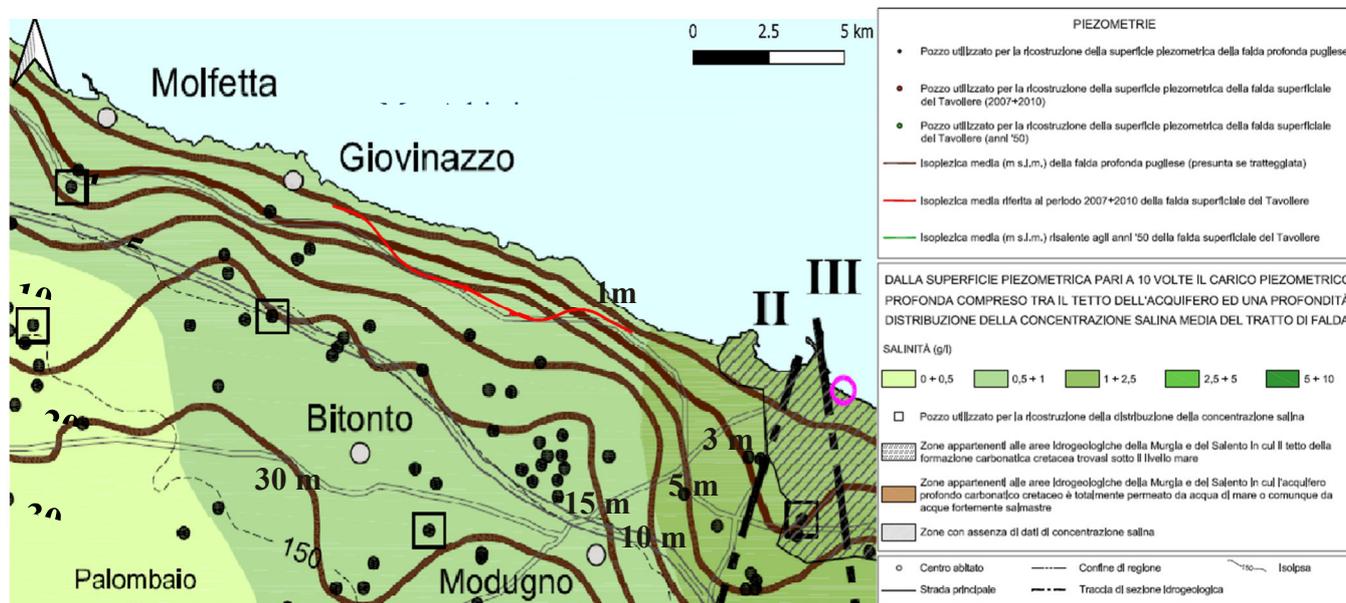
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	27 di 83

La permeabilità dei Calcari di Bari è stata misurata mediante 23 prove Lugeon eseguite in foro lungo la tratta in progetto. I valori ottenuti da tali prove sono compresi tra  $7,0 \times 10^{-7}$  e  $8,4 \times 10^{-5}$ , tali valori sono più bassi di quelli riportati sulla Carta Idrogeologica della Regione Puglia. Le prove di permeabilità in foro hanno carattere puntuale e sono rappresentative soltanto di uno spessore limitato di ammasso roccioso, la presenza di numerose fratture e di cavità carsiche porta ad attribuire al Calcare di Bari valori di permeabilità complessivamente più bassi di quelli ottenuti con le prove Lugeon, ipotizzando valori di coefficiente di permeabilità variabili da  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  m/s.



**Figura 6-3 – Stralcio della Carta Idrogeologica della Regione Puglia, valori della permeabilità degli acquiferi carbonatici mesozoici. Scala originale 1: 300.000. In rosso è evidenziata la tratta in esame.**

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>



**Figura 6-4 – Stralcio della Carta Idrogeologica della Regione Puglia, valori della distribuzione della concentrazione salina e rappresentazione delle piezometrie negli acquiferi carbonatici mesozoici. Scala originale 1: 300.000. In rosso è evidenziata la tratta in esame.**

### 6.2.1 Dati piezometrici dell'area di studio

Nell'ambito del presente studio sono stati eseguiti n. 11 sondaggi a carotaggio continuo, 7 dei quali attrezzati, a fine perforazione, con piezometro a tubo aperto. Successivamente all'installazione dei piezometri, sono state eseguite, da novembre 2020 a giugno 2021, delle misure di soggiacenza del livello di falda; le misure sono state fatte anche nei due piezometri S4 e S9 già esistenti (installati nel 2017) e distanti circa 1 km dalla linea in progetto.

La soggiacenza della falda è stata riportata, in m da p.c., in Tabella 6-1; in tutti i piezometri la falda è risultata trovarsi a circa 0 m s.l.m. I valori di soggiacenza mostrati in tabella corrispondono alla misurazione minima registrata durante il periodo di monitoraggio.

**Tabella 6-1 – Misure del livello di falda**

ID	Data installazione piezometro	Data misura soggiacenza	Tratto fenestrato [m da p.c.]	Quota piezometro [m s.l.m.]	Soggiacenza falda freatica [m da p.c.]
GA02	19/11/2020	05/02/2021	24.00-30.00	30.076	28.75
TR01	18/11/2020	05/02/2021	8.00-20.00	9.613	9.62
GA04	09/11/2020	06/05/2021	31.00-40.00	38.75	38.59
TR08	05/11/2020	05/02/2021	7.00-20.00	11.269	11.22

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	29 di 83

ID	Data installazione piezometro	Data misura soggiacenza	Tratto fenestrato [m da p.c.]	Quota piezometro [m s.l.m.]	Soggiacenza falda freatica [m da p.c.]
GA05_2	02/11/2020	05/02/2021	12.00-30.00	13.959	13.75
GA01	01/12/2020	06/05/2021	15.00-25.00	20.437	21.06
TR04_3	02/12/2020	05/02/2021	10.00-20.00	14.384	14.19
S4	2017-	05/02/2021	-	15	14.67
S9	2017-	05/02/2021	-	23	22.65

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>

## 7 INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 7.1 PREMESSA

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti sia da un'indagine pregressa, realizzata per il progetto preliminare del Riassetto del Nodo di Bari nel 2008 (cfr. elaborato indagini geognostiche pregresse IA7X00R69SGGE0005002A), sia da indagini geognostiche e geofisiche eseguite da Italferr nel 2020-2021 a supporto del presente studio di fattibilità tecnico ed economica per la 2<sup>a</sup> Fase Bari Nord Santo Spirito-Palese (cfr. elaborato indagini geognostiche IA7X00R69SGGE0005001A ed elaborato indagini geofisiche IA7X00R69IGGE0005001A).

I dati stratigrafici a supporto del presente studio derivano dalla campagna indagini in sito eseguita da Italferr nel 2020, durante la quale sono stati realizzati n. 11 sondaggi a carotaggio continuo, con installazione di piezometri a tubo aperto per il monitoraggio del livello di falda e di tubi in pvc per esecuzione di prove sismiche Down Hole.

### 7.2 CAMPAGNA INDAGINI 2008

Nel 2008 è stato realizzato il sondaggio XIA32D003 per il Riassetto del Nodo di Bari. Di seguito si riporta l'ubicazione del sondaggio (Tabella 7-1) e i risultati delle prove di permeabilità Lefranc eseguite in foro (Tabella 7-2). Nel sondaggio è stata eseguita anche una prova penetrometrica ad una profondità compresa tra 1.50 e m 1.95; la prova ha restituito un valore di  $N_{spt}$  di 19.

**Tabella 7-1 - Ubicazione sondaggi (2008)**

ID	Profondità (m dal p.c.)	Data esecuzione	Coordinate UTM	
			E	N
XIA32D003	23	2008	650856.00	4555782.00

**Tabella 7-2 - Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio**

ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
1	3.0-4.0	$2.95 \times 10^{-5}$
2	8.0-9.0	$2.4 \times 10^{-4}$

### 7.3 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2020-2021

A supporto del presente studio sono stati eseguiti n. 11 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino alla profondità massima di 40 m da p.c. con esecuzione di prove SPT, prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon ed installazione

di verticali piezometriche (nei sondaggi GA01, GA02 e GA04, GA05\_2, TR01, TR04\_3, TR08) e di tubazioni per realizzare prove geofisiche di tipo Down-Hole (nei sondaggi GA03, GA05\_1, TR04\_1). In Tabella 7-3 è riportato l'identificativo del sondaggio, la profondità, la data di esecuzione, la quota, le coordinate UTM e l'attrezzatura dei sondaggi. In Tabella 7-4, Tabella 7-5, Tabella 7-6 si riportano i risultati delle prove SPT eseguite nei sondaggi GA05\_1 e GA05\_2, i risultati delle prove dilatometriche eseguite, i campioni prelevati durante la perforazione e le prove sismiche eseguite. Per il presente progetto è stata realizzata anche una campagna geofisica comprendente la realizzazione di n.2 prove sismiche MASW, n. 2 prove sismiche a rifrazione, n.2 prove geofisiche a riflessione, n. 2 prove georadar e n. 12 tomografie elettriche; l'ubicazione di tali prove è riportata in Tabella 7-7.

La Tabella 7-8 riporta la profondità dell'intervallo di prova ed il valore della conducibilità idraulica ottenuto dalla prova di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile eseguita nel sondaggio GA05\_1 all'interno delle Calcareniti di Gravina. Nel paragrafo 7.3.1 si riportano i valori di permeabilità dei calcari ottenuti tramite prove Lugeon nei sondaggi GA01, GA02, GA03, GA04, GA05\_1, GA05\_2, TR01, TR04\_1, TR07 e TR08.

**Tabella 7-3 – Ubicazione sondaggi (Italferr 2020)**

SONDAGGI						
ID	Profondità (m dal p.c.)	Data esecuzione	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM		Attrezzatura
				E	N	
GA01	25	25-30/11/2020	20.437	642975.630	4558674.350	Tubo Aperto 3''
GA02	30	12-18/11/2020	30.076	645351.749	4557394.067	Tubo Aperto 2.5''
GA03	30	10-12/11/2020	33.811	645905.063	4557148.099	Down Hole
GA04	40	02-09/11/2020	38.750	646478.406	4556884.914	Tubo Aperto 3''
GA05_1	30	06-11/11/2020	29.097	649034.288	4556411.277	Down Hole
GA05_2	30	28/10/2020 - 02/11/2020	13.959	649977.094	4556302.513	Tubo Aperto 2.5''
TR01	20	16-18/11/2020	9.613	642370.092	4559432.172	Tubo Aperto 3''
TR04_1	30	19-25/12/2020	22.395	643516.099	4558299.569	Down Hole
TR04_3	20	01-02/12/2020	14.384	645206.062	4558468.483	Tubo Aperto 2.5''
TR07	14	27-30/10/2020	39.071	647032.160	4556529.306	-
TR08	20	02-05/11/2020	11.269	650080.728	4556288.870	Tubo Aperto 2.5''

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	32 di 83

**Tabella 7-4 – Valori di Nspt registrati nei sondaggi (Italferr 2020)**

Profondità (m da p.c.)	GA05_1 (Nspt)	GA05_2 (Nspt)
1.5		R
2.0	52	

**Tabella 7-5 – Risultati delle prove dilatometriche eseguite nei sondaggi (Italferr 2020)**

ID_Prova	Profondità (m da p.c.)	EG (MPa)	E (MPa)	Pl (kPa)
TR01	4,0	342	2839	5349
GA01	7,5	630	5274	6062
TR04_1	8.5	112	709	3916
GA_02	8.0	1172	5000	6078
GA_03	8.0	1751	3805	5829
GA_04	11.5	1526	5261	5982
TR07	8.0	1323	2880	5437
GA05_1.1	9.0	3701	11111	6202
GA05_1.2	16.0	1916	14170	6066
GA05_2.1	6.0	2025	7172	5259
GA05_2.2	12.0	103	573	4457
TR08	4.5	429	7974	6082

**Tabella 7-6 – Campioni prelevati durante i sondaggi (Italferr 2020)**

SONDAGGIO	TIPOLOGIA CAMPIONE
TR01	4 campioni litoidi
GA01	4 campioni litoidi
TR04_1	5 campioni litoidi e 1 campione rimaneggiato
GA02	4 campioni litoidi
GA03	4 campioni litoidi

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	33 di 83

SONDAGGIO	TIPOLOGIA CAMPIONE
GA04	6 campioni litoidi
TR07	4 campioni litoidi
GA05_1	2 campioni rimaneggiati e 5 campioni litoidi
GA05_2	1 campione rimaneggiato e 7 campioni litoidi
TR08	7 campioni litoidi

**Tabella 7-7 – Prove Geofisiche (Italferr 2020-2021)**

ID	Profondità (m dal p.c.)	Lunghezza stendimento (m)	Data esecuzione	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM	
					E	N
DH_GA03	31	-	Dic. 2020	33.443	645905.063	4557148.099
DH_GA05_1	31	-	Dic. 2020	28.732	649034.288	4556411.277
DH_TR04_1	30	-	Dic. 2020	22.034	643516.099	4558299.569
MASW_2D_GA01	30	35	Dic. 2020	21	642971.390	4558671.590
MASW_2D_TR04	30	80	Dic. 2020	22	643516.099	4558299.569
Rifr GA01_L1	20	95.0	Dic. 2020	-	642971.39	4558671.59
Rifr TR04_L1	20	117.5	Dic. 2020	-	643515.00	4558302.25
Rifl GA01_L1	20	35.5	Dic. 2020	-	642971.39	4558671.59
Rifl TR04_L1	20	35.5	Dic. 2020	-	643515.00	4558302.25
Georadar GA01_L1	7.5	23.0	Dic. 2020	-	642971.39	4558671.59
Georadar TR04_L1	10	26.0	Dic. 2020	-	643515.00	4558302.25
ERT1_GA01	15	95.0	Marzo 2021	-	642971.39	4558671.59
ERT1_TR04	20	117.5	Marzo 2021	-	643515.00	4558302.25
TE01	35	213.0	Marzo 2021	-	642988.65	4558843.61
TE02	30	192.0	Marzo 2021	-	643193.19	4558607.23
TE03	40	285.0	Marzo 2021	-	643497.31	4558272.45
TE04	30	213.0	Marzo 2021	-	643921.25	4557920.76

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	34 di 83

ID	Profondità (m dal p.c.)	Lunghezza	Data esecuzione	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM	
TE05	35	213.0	Marzo 2021	-	644906.05	4557511.52
TE06	35	141.0	Marzo 2021	-	645499.88	4557352.52
TE07	35	213.0	Marzo 2021	-	645920.82	4557171.72
TE08	35	201.0	Marzo 2021	-	646319.77	4556960.12
TE09	35	429.0	Marzo 2021	-	648415.22	4556246.03
TE10	35	213.0	Marzo 2021	-	649779.07	4556337.36

**Tabella 7-8 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio**

ID	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
GA05_1	1.5-3.0	1.62x10 <sup>-3</sup>

### 7.3.1 Permeabilità dei calcari da prove Lugeon

Per quanto riguarda la permeabilità dei calcari micritici appartenenti alla formazione del Calcare di Bari, sono state eseguite n. 23 prove di permeabilità Lugeon in roccia a diverse profondità nei sondaggi descritti nel precedente paragrafo.

L'interpretazione delle prove di permeabilità Lugeon viene effettuata utilizzando il calcolo delle Unità Lugeon tramite l'equazione:

$$L = \frac{10 \times Q}{P}$$

dove:

L: unità Lugeon;

Q: portata di immissione dell'acqua in foro per ciascun gradino di pressione (l/min/m)

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b></p> <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>IA7X</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>R 69 RG</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>GE0001 001</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p>35 di 83</p>

P: pressione di immissione (bar).

I risultanti valori di Unità Lugeon calcolati per ciascuno step di prova vengono plottati nel relativo diagramma che mette in correlazione l'andamento dei valori di Unità Lugeon corrispondenti a ciascun gradino di portata e pressione misurate durante la prova. I trend tipici dei diagrammi Lugeon vengono associati alle tipologie di flusso caratteristiche dell'ammasso (Houlsby, 1976) e quindi utilizzati per determinare il valore di Unità Lugeon caratteristico di tale condizione (Quiñones-Rozo, 2010), (Figura 7-1).

Behaviour	Lugeon Pattern	Flow vs. Pressure Pattern	Representative Lugeon Value
Laminar Flow			Average of Lugeon values for all steps
Turbulent Flow			Lugeon value corresponding to the highest water pressure (3rd step)
Dilation			Lowest Lugeon value recorded, corresponding either to low or medium water pressures (1st, 2nd, 4th, 5th step)
Wash-out			Highest Lugeon value recorded (5th step)
Void Filling			Final Lugeon value (5th step)

**Figura 7-1 – Correlazione tra tipologia di flusso e unità Lugeon (Houlsby, 1976) e correlazione tra tipologia di flusso e diagramma pressioni (Quiñones-Rozo, 2010)**

Houlsby (1976) definisce come segue le diverse condizioni dell'ammasso associate ai diagrammi Lugeon:

- Flusso laminare: la conducibilità idraulica dell'ammasso è indipendente dalle pressioni utilizzate durante la prova. Questo comportamento è caratteristico di ammassi aventi bassa conducibilità idraulica, ove le velocità di infiltrazione sono modeste (meno di 4 unità Lugeon);
- Flusso turbolento: la conducibilità idraulica dell'ammasso decresce al crescere della pressione dell'acqua. Questo comportamento è caratteristico di ammassi aventi sistemi di fratture da parzialmente a moderatamente aperte.
- Dilatazione: conducibilità idrauliche simili osservate a pressioni basse e medie; valori di conducibilità molto superiori alla massima pressione. Questo comportamento, talvolta osservato anche a pressioni medie, avviene quando la pressione applicata è più grande dello stress principale minimo dell'ammasso, tale per cui si causa una dilatazione temporanea delle fessure dell'ammasso stesso. La dilatazione causa un incremento della sezione utile di flusso, e perciò un incremento della conducibilità idraulica.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b></p> <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>IA7X</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>R 69 RG</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>GE0001 001</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p><b>FOGLIO</b></p> <p>36 di 83</p>

- Dilavamento: la conducibilità idraulica aumenta al procedere della prova, indipendentemente dalle variazioni di pressione. Tale comportamento indica che l'infiltrazione induce danni permanenti ed irreversibili all'ammasso roccioso, solitamente a causa di dilavamento dei riempimenti o di movimenti in roccia permanenti.
- Riempimento dei vuoti: la conducibilità idraulica decresce al procedere della prova, indipendentemente dalle variazioni di pressione. Tale comportamento indica sia che l'acqua progressivamente riempie discontinuità isolate o non persistenti, o che materiale fine fluisce lentamente nelle discontinuità riempiendole e chiudendole.

In Figura 7-2 viene infine riportata la tabella che descrive le condizioni dell'ammasso roccioso tipicamente associate ai range di Unità Lugeon ed ai range di conducibilità idraulica.

Lugeon Range	Classification	Hydraulic Conductivity Range (cm/sec)	Condition of Rock Mass Discontinuities	Reporting Precision (Lugeons)
<1	Very Low	$< 1 \times 10^{-5}$	Very tight	<1
1-5	Low	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Tight	$\pm 0$
5-15	Moderate	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Few partly open	$\pm 1$
15-50	Medium	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	Some open	$\pm 5$
50-100	High	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	Many open	$\pm 10$
>100	Very High	$> 1 \times 10^{-3}$	Open closely spaced or voids	>100

**Figura 7-2 – Condizioni dell'ammasso roccioso correlate alla conducibilità idraulica ed alle unità Lugeon (Quiñones-Rozo, 2010)**

• **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO GA01**

Nel sondaggio GA01 sono state eseguite due prove Lugeon, la prima prova realizzata tra 5.5 e 7.0 m di profondità da p.c. e la seconda tra 10 e 11.5 m da p.c. La prima prova è stata interrotta al secondo gradino di carico per fuoriuscita di acqua sopra al paker; la seconda prova ha invece permesso di realizzare il diagramma pressione-portata, riportato in Figura 7-3, da tale grafico si deduce un comportamento dilatante dell'ammasso roccioso. Considerando dunque la media dei valori delle Unità Lugeon per i gradini di pressione più bassi (1°, 2°, 4° e 5°) si ottiene un valore rappresentativo in unità Lugeon di 8,83 UL, che corrisponde ad una permeabilità di  $7,97 \times 10^{-7}$  (m/s).

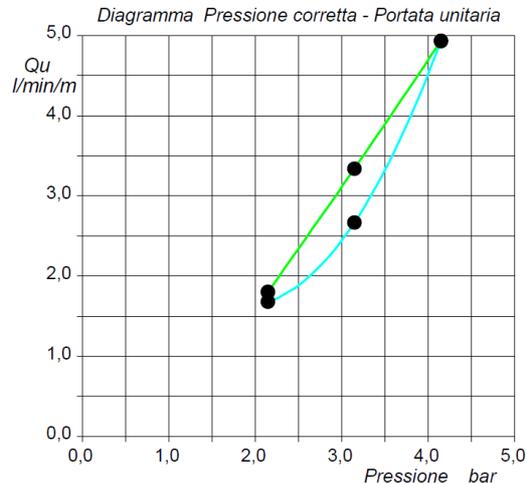


Figura 7-3 – Diagramma portata-pressioni per la prova 2

• **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO GA02**

Nel sondaggio GA02 sono state eseguite tre prove Lugeon, a profondità di 3,50; 7,00 e 12,00 m di profondità da p.c. Tra le tre prove solo la terza (Lugeon 3) ha permesso di identificare sul grafico pressione – portata (Figura 7-4) un dilavamento dell'ammasso roccioso. Considerando dunque il valore dell'Unità Lugeon più elevato come valore rappresentativo, ottiene un valore di permeabilità in unità Lugeon di 191,49 UL, che corrisponde ad una permeabilità di  $1,5 \times 10^{-5}$  (m/s).

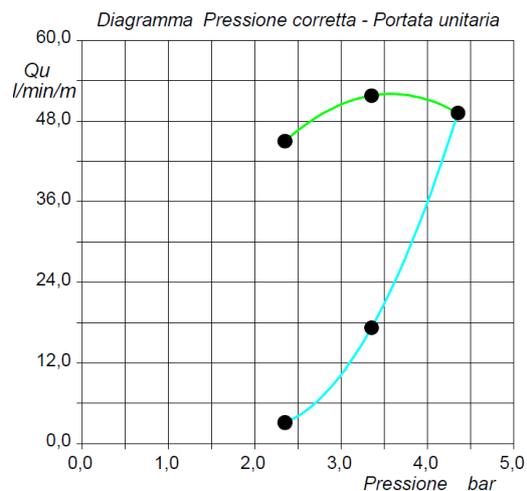


Figura 7-4 – Diagramma portata-pressioni per la prova 3

• **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO GA03**

Nel sondaggio GA03 sono state eseguite tre prove Lugeon, a profondità di 4,00; 10,00 e 15,00 m di profondità da p.c. La prima prova (Lugeon 1) è stata interrotta dopo il primo gradino per gli eccessivi assorbimenti; la seconda e la terza prova (Lugeon 2,3) hanno permesso di identificare sul grafico pressione – portata (Figura 7-5, Figura 7-6) un dilavamento dell’ammasso roccioso. Considerando dunque i valori dell’Unità Lugeon più elevati come valori rappresentativi, ottiene un valore di permeabilità in unità Lugeon di 44,81 e 115,24 UL, che corrispondono a permeabilità di  $3,5 \times 10^{-6}$  e  $9,1 \times 10^{-6}$  (m/s).

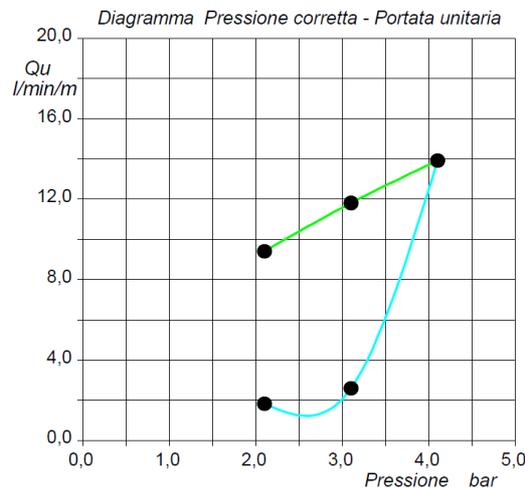


Figura 7-5 – Diagramma portata-pressioni per la prova 2

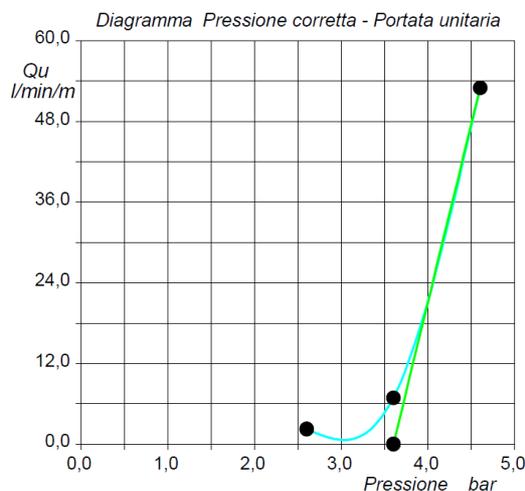


Figura 7-6 – Diagramma portata-pressioni per la prova 3

• **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO GA04**

Nel sondaggio GA04 sono state eseguite tre prove Lugeon, a profondità di 4,00; 11,00 e 21,00 m di profondità da p.c. La prima prova (Lugeon 1) è stata interrotta dopo il primo gradino per gli eccessivi assorbimenti; la seconda e la terza prova (Lugeon 2,3) hanno permesso di identificare sul grafico pressione – portata (Figura 7-7, Figura 7-8) un dilavamento dell’ammasso roccioso. Considerando dunque i valori dell’Unità Lugeon più elevati come valori rappresentativi, ottiene un valore di permeabilità in unità Lugeon di 134,44 e 45,96 UL, che corrispondono a permeabilità di  $1,3 \times 10^{-5}$  e  $3,6 \times 10^{-6}$  (m/s).

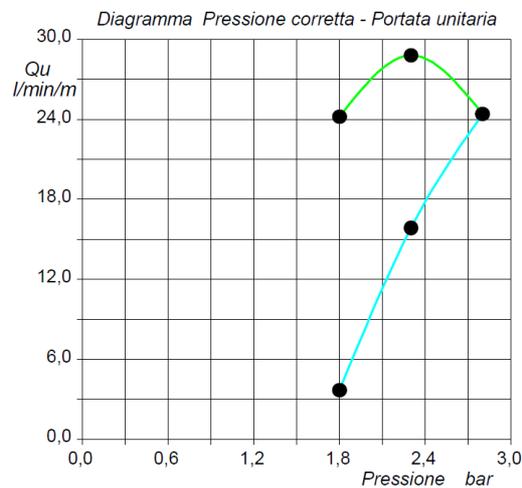


Figura 7-7 – Diagramma portata-pressioni per la prova 3

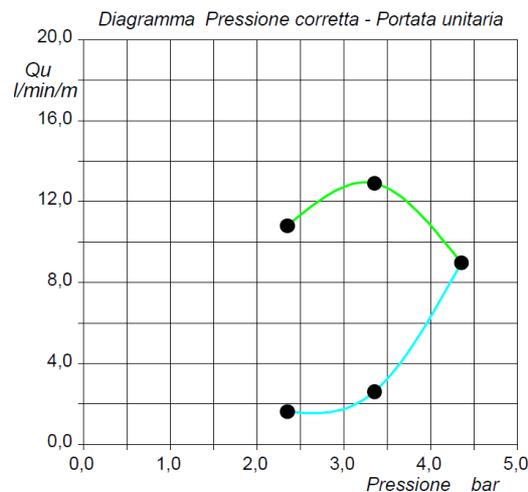


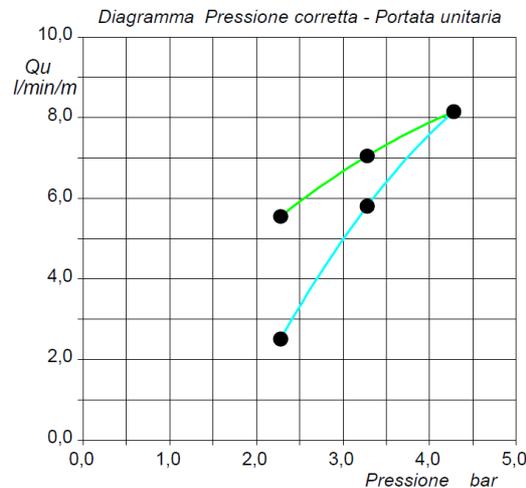
Figura 7-8 – Diagramma portata-pressioni per la prova 3

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

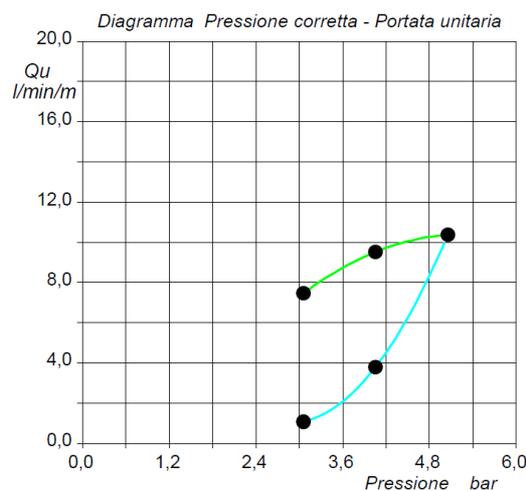
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	40 di 83

• **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO GA05\_1**

Nel sondaggio GA05\_1 sono state eseguite due prove Lugeon, a profondità di 10,00 e 18,00 di profondità da p.c. Entrambe le prove hanno permesso di identificare sul grafico pressione – portata (Figura 7-9, Figura 7-10) un dilavamento dell'ammasso roccioso. Considerando dunque i valori dell'Unità Lugeon più elevati come valori rappresentativi, ottiene un valore di permeabilità in unità Lugeon di 24,34 e 24,41 UL, che corrispondono a permeabilità di  $2,8 \times 10^{-6}$  e  $2,7 \times 10^{-6}$  (m/s).



**Figura 7-9 – Diagramma portata-pressioni per la prova 1**



**Figura 7-10 – Diagramma portata-pressioni per la prova 2**

• **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO GA05\_2**

Nel sondaggio GA05\_2 sono state eseguite due prove Lugeon, a profondità di 3,00 e 6,00 di profondità da p.c. Entrambe le prove hanno permesso di identificare sul grafico pressione – portata (Figura 7-11, Figura 7-12) un dilavamento dell'ammasso roccioso. Considerando dunque i valori dell'Unità Lugeon più elevati come valori rappresentativi, ottiene un valore di permeabilità in unità Lugeon di 9,13 e 29,33 UL, che corrispondono a permeabilità di  $9,9 \times 10^{-7}$  e  $3,2 \times 10^{-6}$  (m/s).

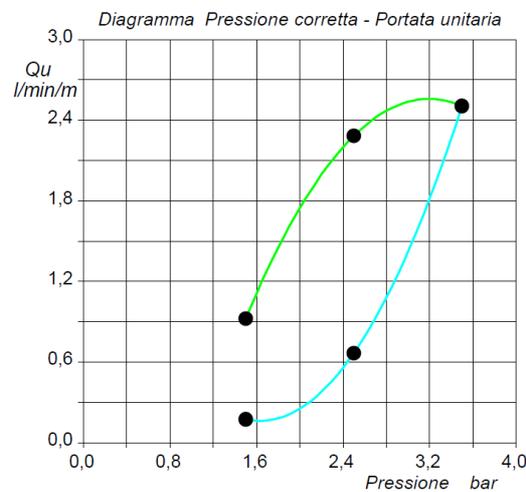


Figura 7-11 – Diagramma portata-pressioni per la prova 1

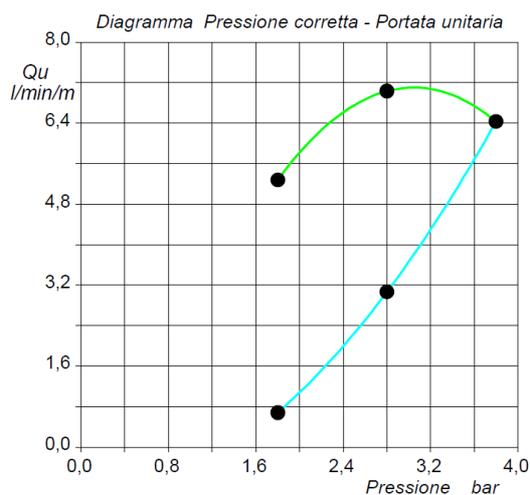


Figura 7-12 – Diagramma portata-pressioni per la prova 2

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 42 di 83

- **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO TR01**

Nel sondaggio TR01 sono state eseguite due prove Lugeon, a profondità di 3,00 e 6,00 m di profondità da p.c. La prima prova (Lugeon 1) ha permesso di ottenere un grafico pressione – portata per il quale non è stato interpretato il comportamento dell’ammasso roccioso, i risultati di permeabilità variano tra 2,87 e 57,01 UL, che in m/s corrispondono a  $1,2 \times 10^{-6}$  e  $5,2 \times 10^{-6}$  m/s. La seconda prova (Lugeon 2) è stata interrotta al secondo gradino di portata per gli eccessivi assorbimenti che impedivano di mantenere la pressione.

- **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO TR04\_1**

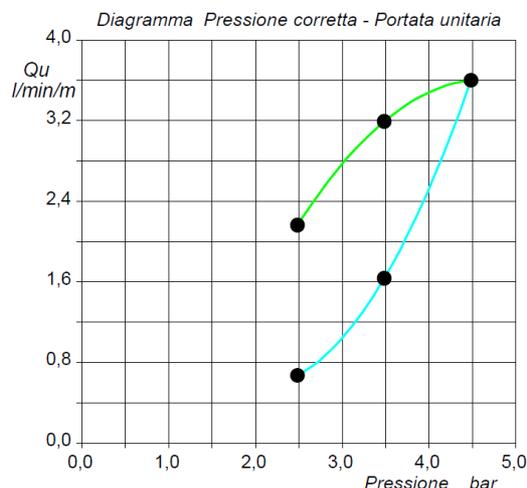
Nel sondaggio TR01 sono state eseguite due prove Lugeon, a profondità di 6,00 e 12,00 m di profondità da p.c. Entrambe le prove sono state interrotte al primo gradino di portata a causa degli eccessi assorbimenti che impedivano di mantenere le pressioni necessarie per la prova.

- **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO TR07**

Nel sondaggio TR07 sono state eseguite due prove Lugeon, eseguite a profondità di 5,00 e 13,00 m da p.c. Entrambe le prove non hanno permesso di identificare sul grafico pressione – portata un comportamento dell’ammasso roccioso. I valori di permeabilità in unità Lugeon è di 100,95 - 137,14 UL e 41,43 - 121,90 UL, che corrispondono a valori in m/s di  $8,0 \times 10^{-6}$  –  $1,1 \times 10^{-5}$  e  $3,3 \times 10^{-6}$  –  $9,7 \times 10^{-6}$  (m/s).

- **PROVE LUGEON ESEGUITE NEL SONDAGGIO TR08**

Nel sondaggio TR08 sono state eseguite due prove Lugeon, eseguite a profondità di 4,60 e 12,00 m da p.c. La prima prova ha permesso di identificare sul grafico pressione – portata un comportamento dilatante dell’ammasso roccioso. I valori di permeabilità in unità Lugeon della prima prova è di 4,87 – 12,23 UL, che corrispondono a valori in m/s di  $1,1 \times 10^{-6}$  –  $4,3 \times 10^{-7}$  (m/s). La seconda prova ha restituito un grafico che mostra dilavamento (Figura 7-13). I valori rappresentativi di permeabilità in unità Lugeon della seconda prova sono di 9,16 UL, che corrispondono a permeabilità di  $1,1 \times 10^{-6}$  (m/s).


**Figura 7-13 – Diagramma portata-pressioni per la prova 13**

Le prove di permeabilità in foro hanno carattere puntuale e sono rappresentative soltanto di uno spessore limitato di ammasso roccioso. La permeabilità della formazione del Calcarea di Bari calcolata nei sondaggi realizzati nel presente progetto è risultata compresa tra  $7,0 \times 10^{-7}$  e  $8,4 \times 10^{-5}$ , tali valori sono più bassi di quelli riportati sulla Carta Idrogeologica della Regione Puglia e questa differenza può essere causata dalla presenza di cavità carsiche presenti nei Calcari di Bari, che non possono essere prese in considerazione con le prove Lugeon. Inoltre, alcune prove non sono state completate poiché l'apertura delle fratture non ha permesso di aumentare la pressione. La presenza di numerose fratture e di cavità carsiche permette quindi di attribuire al Calcarea di Bari valori di permeabilità complessivamente più bassi di quelli ottenuti con le prove Lugeon, attribuendo valori di coefficiente di permeabilità variabili da  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$  m/s.

**Tabella 7-9 Tratto di prova delle prove Lugeon e permeabilità dell'ammasso roccioso**

ID	Sezione della prova [m da p.c.]	Permeabilità [UL]	Permeabilità [m/s]
GA01	10.00 - 11.50	8.83	$7,97 \times 10^{-7}$
	5.50 - 7.00	-	-
GA02	3.50 - 5.30	41,80 - 88,37	$4,0 \times 10^{-6}$ - $8,4 \times 10^{-5}$
	7.00 - 9.30	31,12 - 131,48	$3,2 \times 10^{-6}$ - $1,3 \times 10^{-5}$
	12.00 - 13.00	191,49	$1,5 \times 10^{-5}$
GA03	4.00 - 6.00	-	-
	10.00 - 11.00	44,81	$3,5 \times 10^{-6}$
	15.00 - 16.00	115,24	$9,1 \times 10^{-6}$
	4.00 - 6.00	-	-

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>IA7X</b>	<b>00</b>	<b>R 69 RG</b>	<b>GE0001 001</b>	<b>A</b>	44 di 83

<b>GA04</b>	11,00 – 13,00	134,44	$1,3 \times 10^{-5}$
	21,00 – 22,00	45,96	$3,6 \times 10^{-6}$
<b>GA05_1</b>	10,00 – 14,00	24,34	$2,8 \times 10^{-6}$
	18,00 – 21,50	24,41	$2,7 \times 10^{-6}$
<b>GA05_2</b>	3,00 – 6,00	9,13	$9,9 \times 10^{-7}$
	6,00 – 9,00	29,33	$3,2 \times 10^{-6}$
<b>TR01</b>	6,00 – 7,60	2,87 - 57,01	$1,2 \times 10^{-6} - 5,2 \times 10^{-6}$
	13,00 – 16,00	-	-
<b>TR04_1</b>	6,00 – 7,00	-	-
	12,00 – 13,50	-	-
<b>TR07</b>	5,00 – 6,00	100,95 - 137,14	$8,0 \times 10^{-6} - 1,1 \times 10^{-5}$
	13,00 – 16,00	41,43 - 121,90	$3,3 \times 10^{-6} - 9,7 \times 10^{-6}$
<b>TR08</b>	4,60 – 6,00	4,87 – 12,23	$1,1 \times 10^{-6} - 4,3 \times 10^{-7}$
	12,00 – 16,00	9,16	$1,1 \times 10^{-6}$

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>45 di 83</b>

## 8 MODELLO GEOLOGICO TECNICO

Le indagini realizzate a supporto del presente progetto (riportate al capitolo 7), hanno consentito di ricostruire il modello geologico tecnico di riferimento per la tratta in progetto. Sono stati quindi elaborati un profilo stratigrafico di riferimento lungo linea, riportato nell' Elaborato IA7X00R69NZGE0001001A, e un profilo idrogeologico di riferimento, riportato nell'Elaborato IA7X00R69NZGE0001001A con la Carta Idrogeologica dell'area di progetto.

Lungo il profilo in tutti i sondaggi eseguiti è stata riscontrata la presenza di materiale di riporto con uno spessore variabile da 0,5 a 1 m di spessore. Oltre il materiale di riporto, nei sondaggi della porzione occidentale del profilo, si riscontrano i calcari detritici a grana fine appartenenti all'unità del Calcare di Bari, presenti sino a fondo foro di tutti i sondaggi. Nella porzione orientale del profilo, nell'intorno della progressiva chilometrica 8+500, è stato eseguito il sondaggio GA05\_1 che, al di sotto di un primo spessore di 0,9 m di materiale di riporto, determina la presenza di 1,7 m di calcarenite (biocostruita fino a 1.40 m di profondità da p.c.) (Calcarenite di Gravina), posizionata al di sopra del Calcare di Bari. Come si evince dalla carta geologica riportata nell'allegato IA7X00R69NZGE0001001A, la calcarenite è presente lungo il profilo per una lunghezza di 230 m. La calcarenite ricompare quindi in prossimità della progressiva 9+062.106 e si ritrova nel sondaggio GA05\_2 con uno spessore di 1,60 m e nei pressi del sondaggio XIA32D003, con spessore di 1 m.

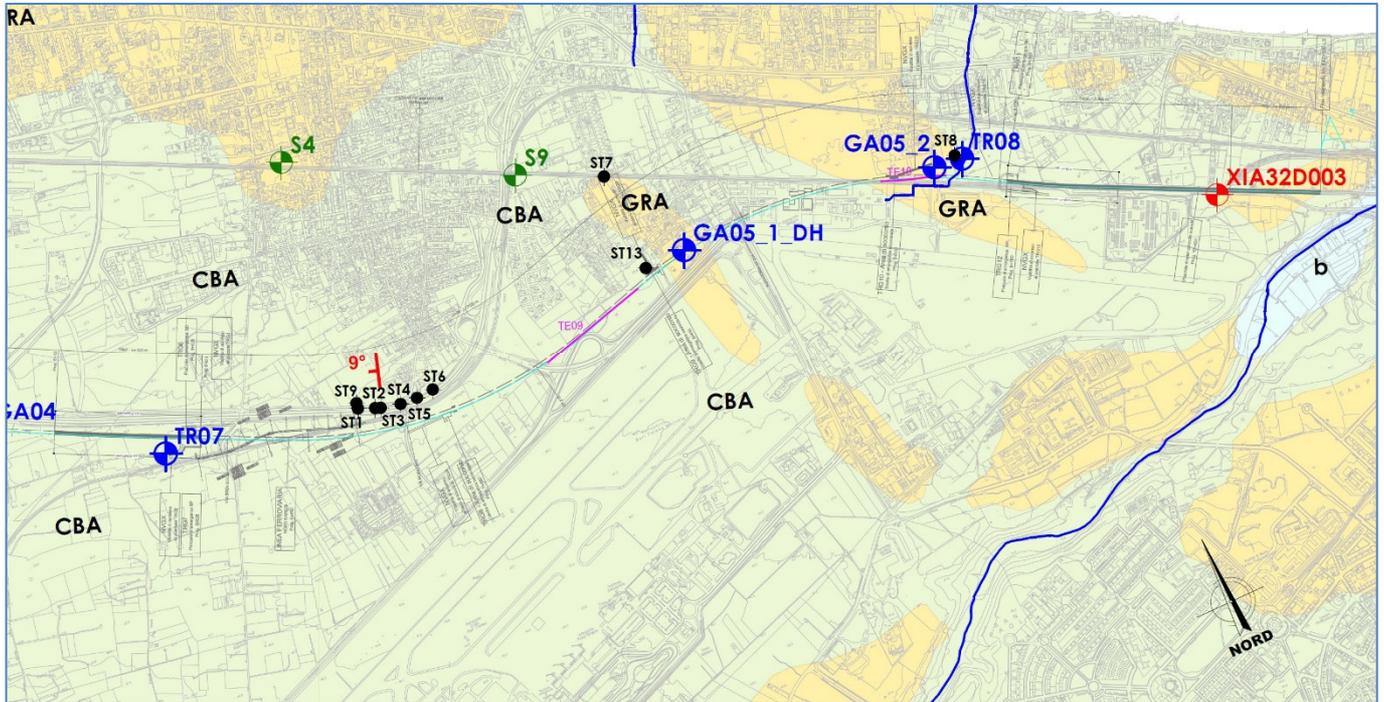
All'interno dei Calcari di Bari è stato rinvenuto in corrispondenza del sondaggio TR04 (alla pk 2+520) un livello limoso argilloso rossastro tra 9.8 e 11.8 m di profondità da p.c.. Tali livelli di riempimento di cavità carsiche sono stati osservati anche in affioramento, pertanto si suppone che possano essere presenti con spessori metrici in altre porzioni del tracciato in esame anche se i sondaggi eseguiti non ne hanno rilevati ulteriori lungo il profilo.

Al fine di ottenere una prima classificazione geomeccanica dei litotipi presenti lungo il profilo della tratta in progetto sono stati analizzati i dati del rilievo geomeccanico eseguito sui log stratigrafici. Inoltre, per una completa caratterizzazione dell'ammasso interessato dagli scavi per la costruzione dell'opera è stato realizzato un rilievo geomeccanico (elaborato IA7X00R69RHGE0005001A) lungo gli affioramenti accessibili, ubicati nelle vicinanze del tracciato; in Figura 8-1 si riporta uno stralcio della Carta geologica redatta per il presente progetto, nell'elaborato IA7X00R69NZGE0001001A, dove è individuata l'ubicazione delle stazioni geomeccaniche eseguite lungo gli affioramenti.

Di seguito si riporta una breve descrizione geomeccanica dei due litotipi presenti lungo il tracciato: i Calcari di Bari e le Calcarenite di Gravina.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	46 di 83



LEGENDA UNITA'

b	Depositi alluvionali recenti e attuali
GRA	Calcarenite di Gravina
CBA	Calcere di Bari

INDAGINI

Campagna indagini geognostiche realizzate per il presente progetto (2020)

- TR04\_3**  
 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo con installazione di piezometri a tubo aperto
- GA03\_DH**  
 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo con realizzazione di prove sismiche Down Hole
- ST7**  
 stazioni geomeccaniche in affioramento

**A A'**  
Profilo geologico

Figura 8-1 – Stralcio non in scala della carta geologica in scala 1:10.000 redatta per il presente studio.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>47 di 83</b>

## 8.1 CALCARI DI BARI

I Calcari di Bari sono stati individuati in tutti i sondaggi lungo il profilo e sono stati studiati in affioramento con sei stazioni geomeccaniche in prossimità del sondaggio TR07, lungo la trincea della Strada Statale SS16 nei pressi del cavalcavia dell'intersezione con via Modugno.

Analizzando le stratigrafie dei sondaggi, i valori degli RQD e la roccia affiorante è possibile osservare come l'ammasso roccioso dei Calcari di Bari risulti eterogeneo, con variazioni dello stato geomeccanico anche a breve distanza, che interessano sia il grado di fratturazione che lo stato di alterazione.

Il calcare di Bari è caratterizzato da porzioni massive con fratture rare o assenti e zone più intensamente fratturate. Facendo riferimento ai sondaggi eseguiti e all'elaborato IA7X00R69SGGE0005001A, i valori di RQD risultano variabili da 40 a 70%. I valori di GSI calcolati tramite la valutazione in campo delle proprietà dell'ammasso affiorante sono compresi tra 50 e 70.

L'ammasso è caratterizzato dalla presenza di zone con forte alterazione/disgregazione, spesso associate a processi di dissoluzione di tipo carsico, che potrebbero raggiungere dimensioni di alcuni metri. Tali zone non hanno una distribuzione o frequenza sistematica e sono stati rinvenuti sia all'interno dei sondaggi che lungo l'affioramento della trincea della SS16, in corrispondenza della stazione geomeccanica ST1. Le porzioni dell'ammasso intensamente fratturate e carsificate hanno RQD<25% e GSI, calcolato in corrispondenza della stazione geomeccanica ST1, uguale a 30.

Le discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso, individuate nei sondaggi, sono di due tipi: discontinuità di stratificazione a basso angolo (0°-30°) e fratture subverticali (45°-95°) in prevalenza aperte e riempite da patine di ossidazione e limo argilloso rossastro. L'analisi stereografica delle discontinuità rilevate lungo gli affioramenti ha permesso di evidenziare la presenza di n.3 principali famiglie di discontinuità, le quali generano nell'ammasso blocchi e cunei che, con determinate direzioni e inclinazioni dello scavo, potrebbero essere suscettibili al distacco/ribaltamento.

## 8.2 CALCARENTI DI GRAVINA

La caratterizzazione geomeccanica delle calcareniti di Gravina è stata eseguita mediante osservazioni e misurazioni in sito su un affioramento lungo una trincea ubicata a circa 400 m a nord del tracciato in progetto. Le calcareniti si trovano al di sotto di un suolo residuale di copertura potente da circa 0,5 a 1 metro.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 48 di 83

L'affioramento evidenzia una stratificazione circa orizzontale, lo stato geomeccanico dell'ammasso può essere definito solo localmente fratturato, roccia mediamente alterata, resistenza da molto blanda a blanda; si evidenziano zone di dissoluzione riempite con terre rosse.

Il valore di GSI risulta tra 55 e 65, la resistenza della roccia sana determinata in affioramento secondo le raccomandazioni ISRM può essere associata alla classe R1-molto blanda, con resistenza a compressione tra 1 e 5 MPa.

### 8.3 CAVITÀ CARSIICHE NEI CALCARI DI BARI

Per analizzare la possibile presenza di cavità all'interno dei calcari micritici della formazione dei Calcari di Bari sono state realizzate lungo la tratta in progetto le seguenti prove geofisiche, descritte nell'elaborato IA7X00R69IGGE0005001A:

- n. 12 tomografie elettriche;
- n. 2 stendimenti di sismica a riflessione;
- n. 2 sezioni georadar.

Le tomografie elettriche, misurando la resistività del sottosuolo hanno permesso di identificare aree maggiormente fratturate o con presenza di carsismo di bassa entità (aree vacuolate) interessate da anomalie con resistività comprese tra 1000 Ohm\*m e 1250 Ohm\*m e possibili cavità riempite da materiali fini derivanti dal disfacimento dei calcari interessate da anomalie a bassa resistività.

In particolare, lo stendimento eseguito in prossimità del sondaggio TR04\_DH (ERT1\_TR04), perpendicolare al tracciato ferroviario, ha identificato un'anomalia a bassa resistività, tra i 9 e i 12 m di profondità da p.c., che corrisponderebbe ad una cavità nel substrato litoide calcareo riempita da materiale sciolto fine di disfacimento (limo argilloso); alla stessa profondità è stato rinvenuto un livello limoso argilloso nel sondaggio TR04\_DH.

Nella medesima sezione si denota anche una fascia a circa 5 m da p.c. con resistività compresa tra 1000 Ohm\*m e 1250 Ohm\*m, che potrebbe essere riferibile ad una lente di calcare micritico vacuolato o ad un calcare interessato da fratturazione aperta così da determinare un incremento della resistività nell'ammasso.

In prossimità del sondaggio TR04, anomalie a bassa resistività potenzialmente attribuibili a cavità nel sottosuolo riempite da materiale sciolto fine sono state individuate anche nella sezione elettrica TE03 tra 9 e 12 m da p.c., parallela al tracciato progettuale.

Spostandosi lungo il tracciato verso sud est si trovano le sezioni elettriche TE04, TE06 e TE08, le prime due mostrano una resistività molto più bassa di quelle registrate nelle altre prove e ciò potrebbe essere dovuto ad una maggiore fratturazione dei calcari con riempimento delle fratture ad opera di sedimenti fini.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 49 di 83

La sezione elettrica TE08, realizzata lungo la tratta in progetto in corrispondenza del sondaggio GA04, presenta una fascia superficiale (tra 2.5 e 5.0 m di profondità da p.c.) a bassa resistività, che potrebbe corrispondere ad una cavità nel substrato calcareo riempita da materiale sciolto.

Muovendosi lungo la linea, in prossimità del sondaggio GA05, è stata realizzata la prova geoelettrica TE09; la sezione elettrica risultante mostra diverse anomalie a resistività elevata (resistività compresa tra 1000 Ohm\*m e 1250 Ohm\*m) attribuibili a zone calcaree vacuolate.

Gli stendimenti di sismica a riflessione e le sezioni georadar hanno confermato la probabile presenza di piccole cavità nei pressi del sondaggio GA01, sia nella porzione superficiale (i primi 5 m da p.c.), sia a profondità più elevate nei calcari micritici.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>50 di 83</b>

## 9 ANALISI DELLE CRITICITÀ DI CARATTERE GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Per quanto concerne i rischi di natura geologico-geomorfologica-idrogeologica è stata analizzata la cartografia tematica resa disponibile dal Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Puglia del 2016, reperibile sul sito web: <https://www.adb.puglia.it/public/page.php?39>, facendo riferimento alle “Norme Tecniche di Attuazione” (novembre 2005), reperibili al sito web <https://www.adb.puglia.it/public/page.php?28>.

Nel PAI sono presi in considerazione i rischi correlati ai fenomeni di versante e i rischi idraulici; la prevalenza di litotipi calcarei nel territorio delle Murge comporta la presenza di una pericolosità per le opere in progetto legata alla presenza di fenomeni carsici ipogei analizzata nel presente capitolo.

### 9.1 PIANO STRALCIO DI BACINO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il Piano di Bacino Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino della Puglia (PAI) è finalizzato al miglioramento delle condizioni della stabilità geomorfologica necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d’uso. Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall’articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d’uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell’Autorità di Bacino della Puglia.

Una volta elaborato e adottato il Piano di Bacino, gli strumenti di pianificazione settoriale e territoriale, indicati all’art. 17, comma 4 della Legge 183/1989 (piani territoriali e programmi regionali - L. 984/1977; piani di risanamento delle acque - L. 319/1976; piani di smaltimento dei rifiuti - D.P.R. 915/1982; piani di disinquinamento; piani di bonifica, etc.) dovranno essere adeguati ad esso.

### 9.2 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA DEI FENOMENI FRANOSI E DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

Per quanto concerne le criticità di carattere geomorfologico vengono analizzate:

- La cartografia tematica dell’Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – IFFI
- la Carta della pericolosità geomorfologica.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 51 di 83

Per quanto riguarda i fenomeni franosi, non è stata riportata la cartografia IFFI poiché non sono stati registrati fenomeni franosi di nessuna tipologia nell'intorno dell'area oggetto dello studio, i più vicini corpi di frana sono ad una distanza maggiore di 40 km e quindi non pertinenti al nostro studio. I territori pianeggianti delle Murge non sono oggetto di movimenti di frana.

Per quanto riguarda la carta della pericolosità geomorfologica si osserva che in prossimità e in corrispondenza della linea ferroviaria oggetto dello studio non sono presenti aree di interesse. La zona a rischio più prossima è presso il centro urbano di Giovinazzo lungo la linea costiera. Rimanendo sulla linea di costa, parallelamente al tratto della ferrovia, e spostandosi verso Bari sono presenti altre due aree soggette a pericolosità geomorfologica elevata e molto elevata ma sono aree circoscritte al limite costiero (figura 9-1).

Con riferimento alle aree sottoposte a tutela per dissesto Idrogeologico individuate, si applicano le disposizioni di cui alle "Norme Tecniche di attuazione" del Piano Stralcio del novembre 2005.

Ai fini del PAI si riporta la classificazione delle pericolosità geomorfologiche.

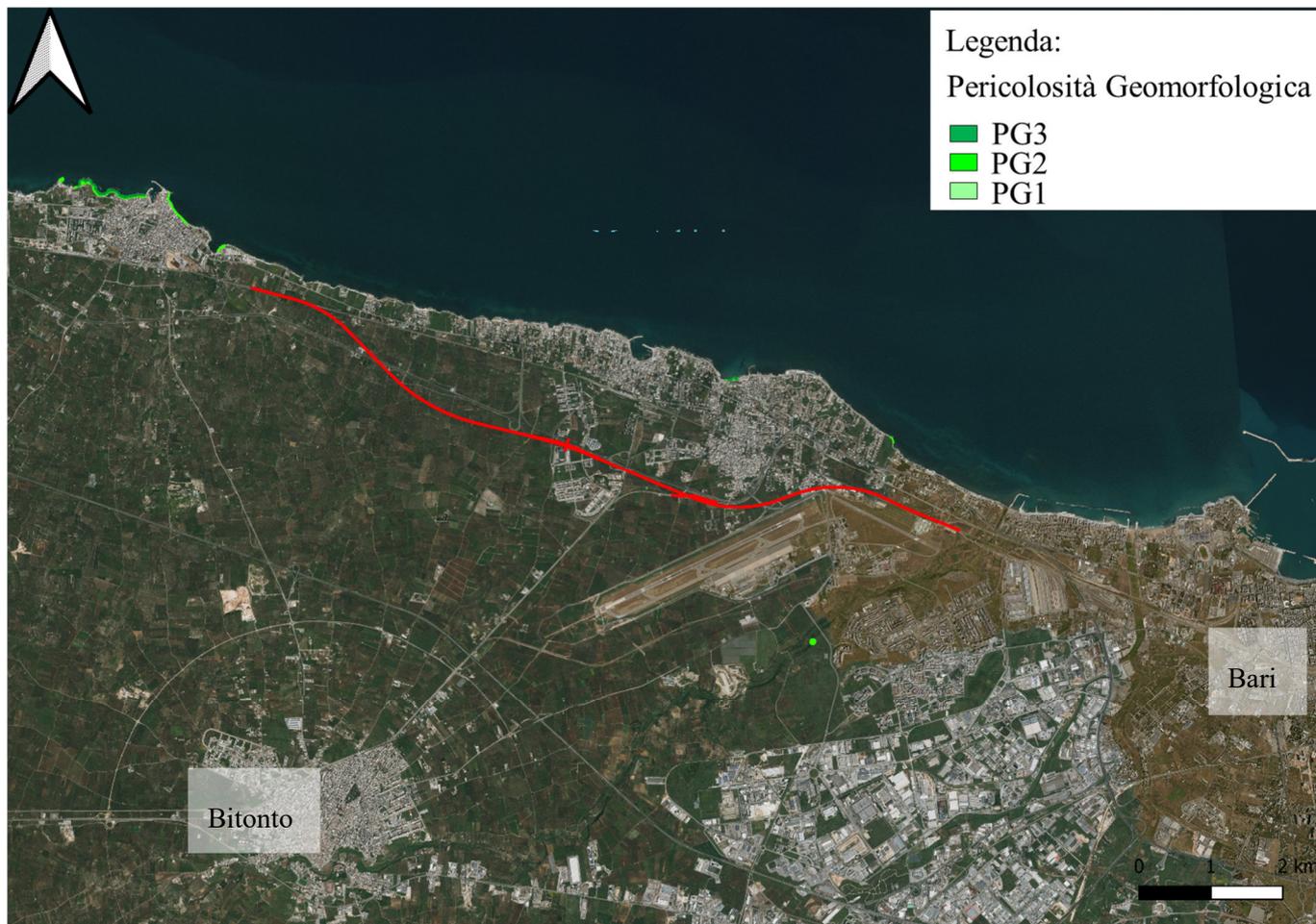
## **TITOLO VII – GLOSSARIO**

### Articolo 36 -Definizioni delle classi di pericolosità geomorfologica:

- *Area a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3): porzione di territorio interessata da fenomeni franosi attivi o quiescenti;*
- *Area a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2): porzione di territorio caratterizzata dalla presenza di due o più fattori geomorfologici predisponenti l'occorrenza di instabilità di versante e/o sede di frana stabilizzata;*
- *Area a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1): porzione di territorio caratterizzata da bassa suscettività geomorfologica all'instabilità.*

Le dimensioni ridotte e la lontananza di tali pericoli permettono di escludere la presenza di rischi di natura franosa e geomorfologica per l'opera in progetto.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>52 di 83</b>



**Figura 9-1 – Immagine aerea dell’area di studio con l’area di progetto evidenziata in rosso e relativa legenda. Gli elementi presenti nelle tonalità di verde costituiscono le aree soggette a pericolosità geomorfologica (QGis 3.10, AdB Regione Puglia).**

### 9.3 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Per quanto concerne le criticità di carattere idraulico viene analizzata la carta delle aree soggette a pericolosità idraulica (figura 9-2). Come si può osservare in figura 9-2 il tracciato ferroviario oggetto dello studio non è a contatto con nessuna zona di pericolosità idraulica. Tuttavia, in prossimità (circa 150 m dall’iniziale del progetto e circa 450 m dal punto finale) sono presenti delle zone con pericolosità idraulica elevata. È necessario quindi segnalare che queste zone sono variabili nel corso degli anni e potrebbero coinvolgere il lavoro in progetto.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 53 di 83

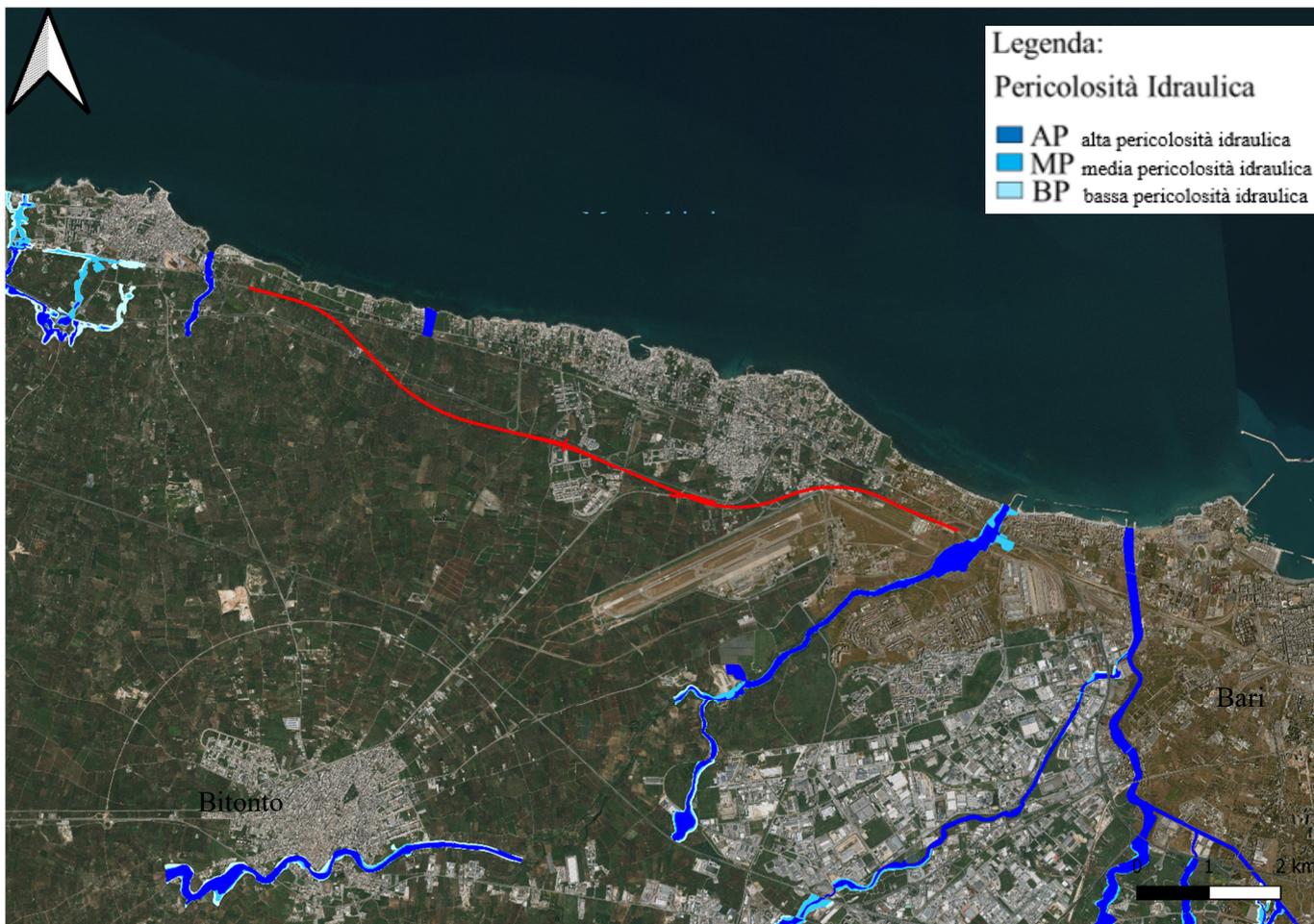
Si fa riferimento, quindi, alle “Norme Tecniche di attuazione” del Piano Stralcio del novembre 2005 e per coerenza espositiva si riportano gli articoli di diretto interesse, si rimanda al testo completo delle Norme Tecniche per una lettura esaustiva.

## **TITOLO VII – GLOSSARIO**

### Articolo 36 -Definizioni delle classi di pericolosità idraulica:

- *Area ad alta pericolosità idraulica (A.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o pari a 30 anni;*
- *Area a media pericolosità idraulica (M.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni;*
- *Area a bassa pericolosità idraulica (B.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni;*

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>				
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b> FOGLIO 54 di 83



**Figura 9-2 – Immagine aerea dell’area di studio con la tratta in progetto evidenziata in rosso e relativa legenda. Gli elementi presenti nelle tonalità di blu costituiscono le aree soggette a pericolosità idraulica (QGIS 3.10, AdB Regione Puglia).**

#### 9.4 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA DEL RISCHIO

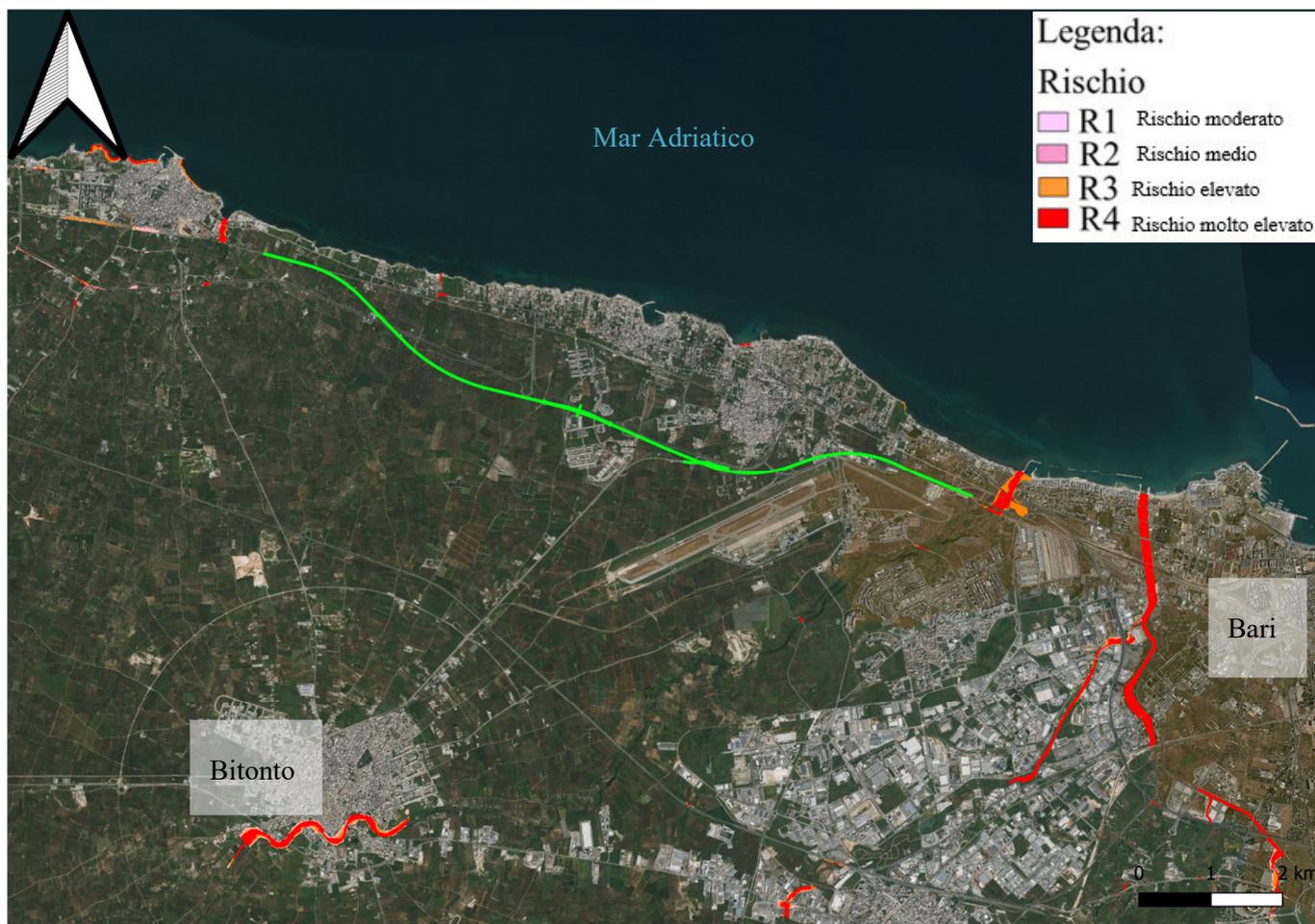
Infine, in figura 9-3 viene riportata la carta rappresentante le zone in cui sono presenti le Classi di Rischio. Come si può dedurre queste sono relative alle zone di pericolosità idraulica. Dove sono presenti zone con pericolosità idraulica elevate sono, sono presenti zone con rischio elevato, poiché il rischio si ricava sovrapponendo le zone soggette a pericolosità con gli elementi a rischio. Il rischio, quindi definito come idrogeologico, è una grandezza che mette in relazione la pericolosità, intesa come caratteristica di un territorio che lo rende vulnerabile a fenomeni di dissesto (frane, alluvioni, ecc.) e la presenza sul territorio di beni in termini di vite umane e di insediamenti urbani, industriali, infrastrutture, beni storici, artistici, ambientali, ecc. I criteri per la definizione e la perimetrazione delle aree a pericolosità idrogeologica si rifanno a specifiche metodologi, nel caso specifico in rapporto a eventi alluvionali. È possibile definire quattro classi di rischio:

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 55 di 83

- Moderato (R1): per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- Medio (R2): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudichino l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- Elevato (R3): per il quale sono possibili problemi per incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- Molto elevato (R4): per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socioeconomiche.

Nel caso oggetto di studio non sono presenti zone di rischio a diretto contatto con l'opera in progetto. Sono presenti, tuttavia, due aree prossime ai punti iniziali e finali della nuova rete ferroviaria che presentano rischio molto elevato, e che fanno riferimento alle aree con pericolosità idraulica molto elevata analizzate nel sottocapitolo precedente. Si rimanda quindi al sottocapitolo 9.3 per approfondimenti sulle norme tecniche di attuazione del piano di stralcio dell'assetto idrogeologico (PAI).

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b></p> <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p>				
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>IA7X</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>R 69 RG</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>GE0001 001</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p> <p>FOGLIO <b>56 di 83</b></p>



**Figura 9-3 – Immagine aerea dell’area di studio con la tratta in progetto evidenziata in verde e relativa legenda. Gli elementi presenti nelle tonalità di rosso costituiscono le aree soggette a rischio (QGis 3.10, AdB Regione Puglia).**

## 9.5 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ ORIGINATA DAL CARSIISMO

La presenza di litotipi in prevalenza calcarei nell’area delle Murge fa sì che questa sia caratterizzata da fenomeni di carsismo. Il carsismo è testimoniato nell’area da una scarsa circolazione idrica superficiale, caratterizzata in prevalenza da brevi corsi d’acqua, descritti al paragrafo 6.1, e da forme carsiche superficiali (doline), spesso riempite negli ultimi decenni da rifiuti antropici solidi e liquidi, con gravi conseguenze per l’ambiente naturale e per la qualità delle acque sotterranee. Per quanto riguarda la presenza di forme carsiche superficiali nell’area in esame, in Figura 9-1 si riportano i risultati del censimento nazionale del Progetto Sinkholes (ISPRA, 2002), su tale carta si può osservare che non sono presenti doline nei pressi dell’area di progetto.

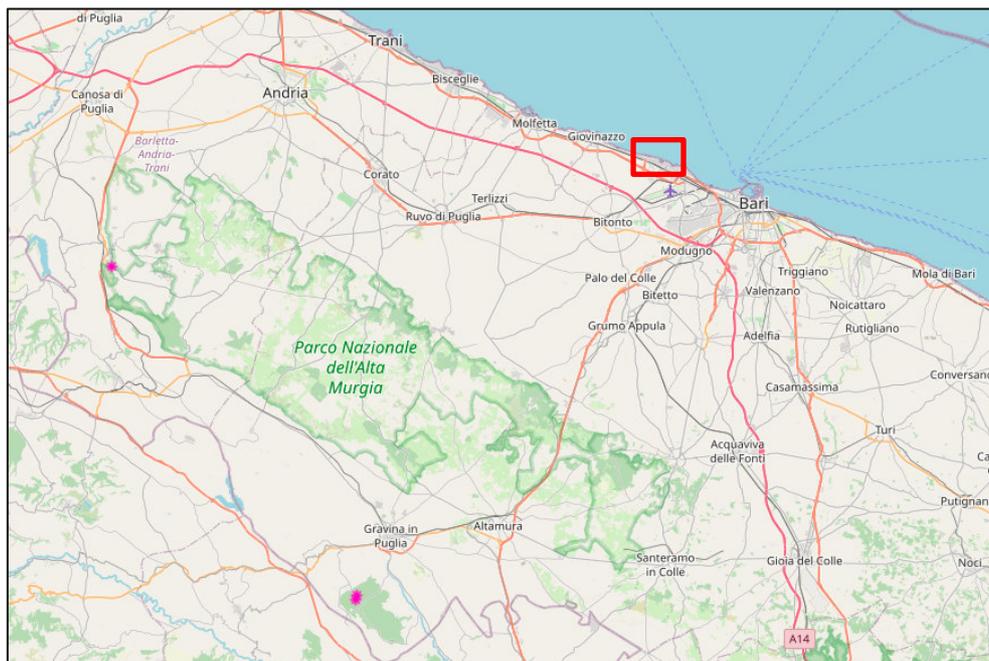
L’assenza di livelli impermeabili superficiali di grande spessore nelle Murge risulta sfavorevole per l’originarsi di un intenso sistema ipogeo, nonostante ciò all’interno dei Calcari di Bari sono presenti diverse cavità naturali,

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	57 di 83

presenti soprattutto nella porzione sud-orientale delle Murge. Oltre alle cavità naturali nell'area del centro abitato di Bari sono presenti diverse cavità artificiali originate dalla presenza di insediamenti antropici fin dall'antichità.

In Figura 9-2 si riporta un'immagine aerea con i dati del Catasto delle grotte e delle cavità artificiali della Puglia (<http://www.catasto.fspuglia.it/>), da questa immagine si può osservare che in prossimità del tracciato in progetto si trova una cavità naturale (circa 600 m a nord) e diverse cavità antropiche (circa 1000 m a sud). La presenza di diverse cavità centimetriche e decimetriche individuate nei Calcari di Bari dai sondaggi eseguiti per il presente progetto e la presenza di cavità ipogee prossime al tracciato non consente di escludere la presenza di cavità più grandi rispetto a quelle rinvenute nei sondaggi lungo la linea in progetto. Per tale ragione sono state eseguite diverse tomografie elettriche lungo la tratta al fine di individuare la presenza di eventuali cavità carsiche aventi maggiori dimensioni, le risultanze di tali indagini sono riportate nel presente elaborato al paragrafo 8.3.



**Figura 9-1 – Carta stradale con i dati del Database Nazionale Sinkholes (ISPRA). In rosso è evidenziata l'area di studio del presente progetto.**

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	58 di 83



**Figura 9-2 – Immagine aerea dell’area di studio con il Catasto delle Grotte e delle Cavità Artificiali della Puglia della Federazione Speleologica Pugliese (aggiornato a gennaio 2021). In verde è riportata la tratta in progetto**

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 59 di 83

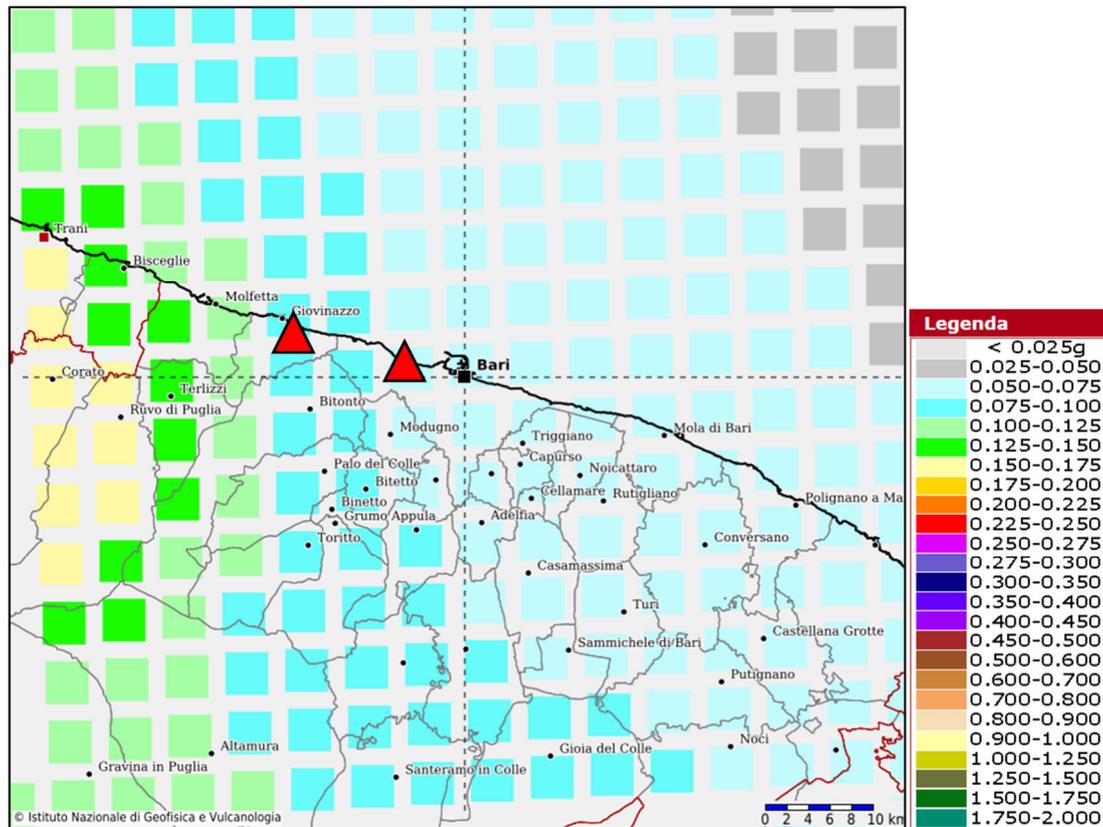
## 10 INQUADRAMENTO SISMICO

### 10.1 PREMESSA

Nel seguito, si fornisce un inquadramento dal punto di vista della sismicità locale, a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e dei risentimenti macrosismici osservati al sito di progetto nel corso di terremoti storici. Successivamente, sulla scorta delle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni<sup>1</sup> (nel seguito NTC2018), verrà definita l'azione sismica funzione delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento basato sulla vita nominale delle opere, la loro classe d'uso, nei diversi Stati Limite considerati. Seguendo sempre le indicazioni normative, l'accelerazione di progetto si definirà in base all'effettiva localizzazione delle opere.

---

<sup>1</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018 – Supplemento Ordinario n. 8.



**Figura 10-1 – Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione di riferimento su suolo rigido (g) nell'intorno dell'area di progetto (gli estremi di progetto con i triangoli rossi), da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).**

Le NTC2018 dispongono che l'azione sismica sia innanzitutto determinata in campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1); allo scopo, le tabelle allegate alla edizione 2008 delle NTC elencano i valori di accelerazione massima al suolo, oltre ai parametri spettrali, nei punti di una griglia di passo 5x5 km a coprire il territorio nazionale (vedasi il dettaglio della zona di progetto in Figura 10-1).

Per la localizzazione delle opere in progetto, può essere fatto riferimento alla Figura 10-2 dove vengono altresì indicati i punti sede di indagini geofisiche e geotecniche di interesse per la definizione di categoria di sottosuolo (vedi nel seguito).

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO 61 di 83



**Figura 10-2 – Localizzazione delle opere in progetto con sondaggi e prove geofisiche di interesse assieme ai punti notevoli lungo il tracciato a delimitare zone a pericolosità sismica costante (P1, P2 e P3). Il tracciato in progetto è evidenziato in rosso.**

## 10.2 AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE

Per illustrare l'attività sismica, la Figura 10-3 mostra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15 (Rovida et al., 2016). Assieme agli epicentri sono riportate le sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano associata alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 e NTC2018). Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) e le faglie composite (CSS) tratte dalla base di dati del progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Si osserva come la definizione delle zone sismogenetiche ZS9 rifletta sia la

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 62 di 83

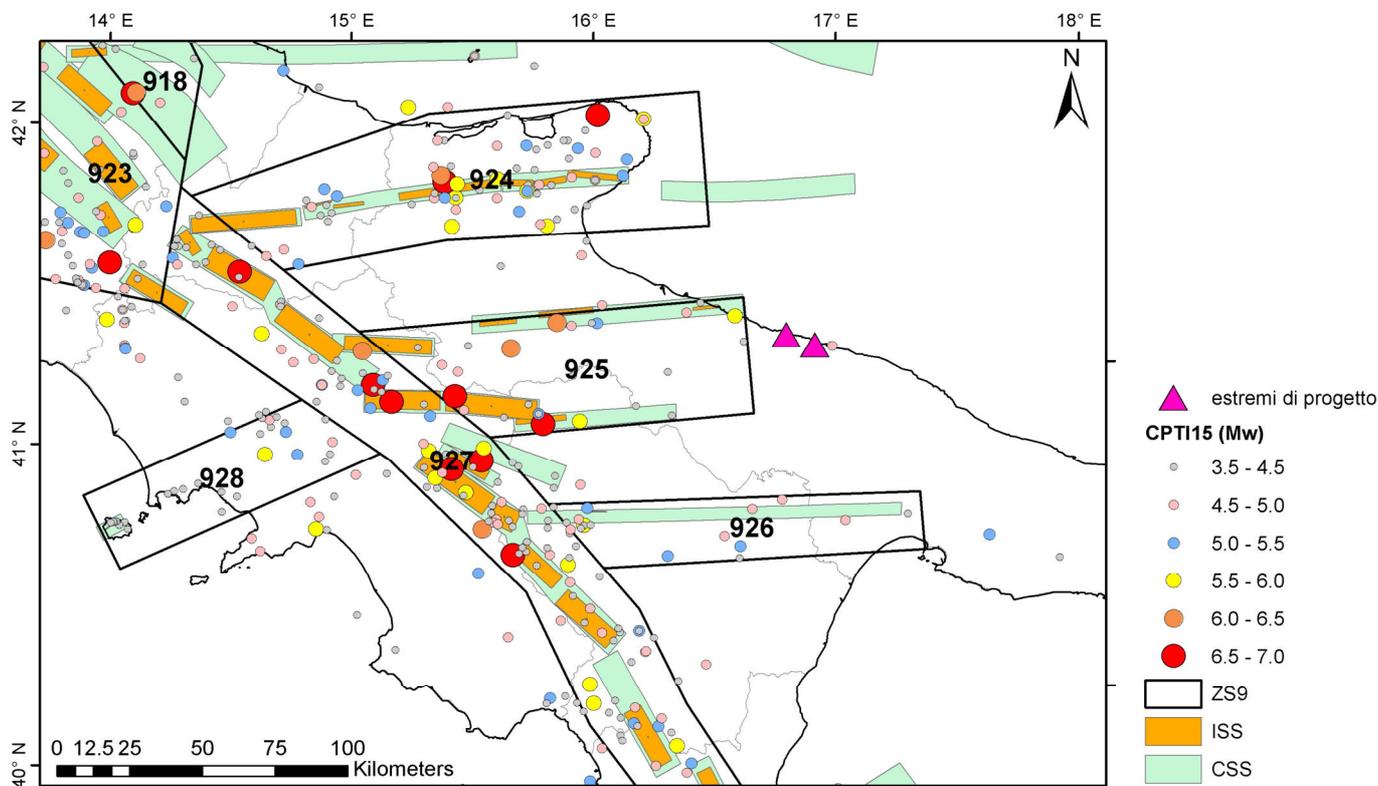
distribuzione delle faglie sul territorio nazionale, come quella degli epicentri dei terremoti. Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura tettonica, sia dettate dalla sismicità storica.

La zona 926 con orientamento E-W, è stata definita in base all'allineamento di terremoti di magnitudo medio-bassa ( $\leq 5.5$ ) come gli eventi di Potenza del 1990 e 1991. Il meccanismo di faglia prevalente in questa zona è trascorrente. Si osserva che le due zone 925 (relativamente prossima al tracciato di interesse) che include la sorgente del terremoto dell'Irpinia del 1930, e 926 con andamento E-W, sono caratterizzate da sismicità relativamente profonda (10-20 km), come mostrano i dati strumentali disponibili per i terremoti di Potenza del 1990-91 e del Molise del 2002 e come suggerito dai piani quotati dell'intensità macrosismica dei principali terremoti storici (es. quello del Foggiano del 1731).

Nell'area garganica, si trova la ZS924 (Molise – Gargano) orientata E-W che include tutta la sismicità dell'area e la faglia di Mattinata, generalmente ritenuta attiva. A sud, lontana dal sito di progetto, è localizzata la ZS931, introdotta per la congruenza del più ampio quadro cinematico di interazione tra la microzolla adriatica e la zolla euroasiatica lungo i fronti compressivi delle strutture dinaridi ed ellenidi (Slejko et al., 1999). Questa zona è definita come causa della pericolosità della penisola salentina, area che storicamente ha risentito del forte terremoto del 1743, localizzato in catalogo proprio nel canale d'Otranto.

Procedendo verso ovest, nell'Appennino meridionale, troviamo la ZS927, zona di dorsale caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione che ha interessato l'Appennino meridionale (es. Patacca et al., 1990) a partire da ca. 0.7 Ma. La ZS927 è sede di alcuni tra i maggiori rilasci di energia della storia sismica italiana, come ad es. quello di Val d'Agri del 1857.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>

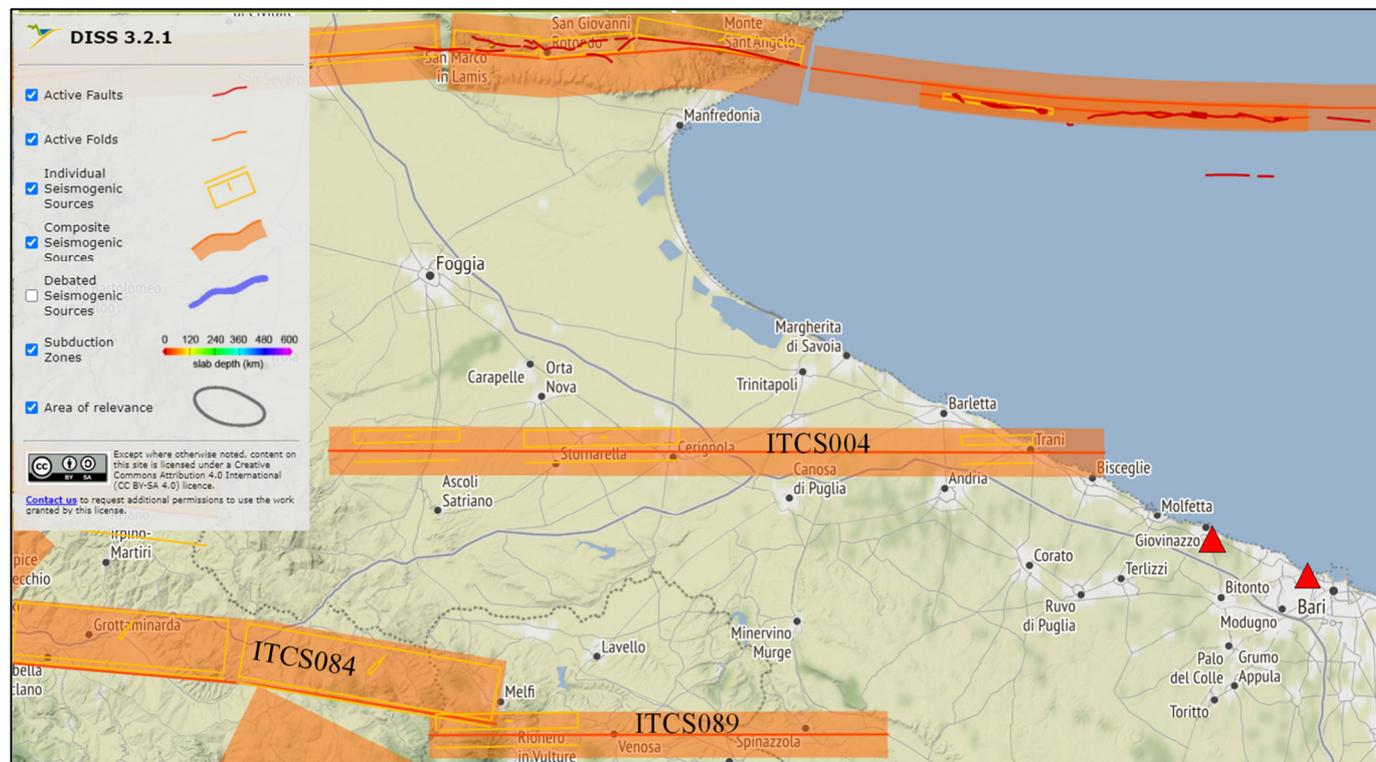


**Figura 10-3 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell’intorno dell’area di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.**

I lineamenti di faglia più prossimi al sito di progetto (vedi l’estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2 riportato nella Figura 10-4) sono costituiti da sistemi di faglie composite (CSS), all’interno dei quali si classificano alcune sorgenti individuali (ISS). Il sistema di faglie composite più prossimo all’area del progetto è il sistema ITCS004 “Castelluccio dei Sauri-Trani” con magnitudo massima 6.3, a cui sono attribuiti i tre eventi distruttivi del 1361 ( $M_w$  6.1, Ascoli Satriano), 1731 ( $M_w$  6.3, Foggiano), e 1560 ( $M_w$  5.7, Barletta-Bisceglie). Inoltre, vicino all’area di progetto (a distanza di circa 60 km), si trova la faglia ITCS089 “Rapolla-Spinazzola” con magnitudo massima 6.3 lungo la quale i cataloghi storici e strumentali (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Guidoboni et al., 2007) mostrano una sismicità da intermedia a scarsa, con l’eccezione del terremoto distruttivo di 14 agosto 1851 ( $M_w$  6.3, Basilicata).

Sulla base delle indicazioni del catalogo delle Faglie Capaci ITHACA, curato da ISPRA, non sono state individuate lineeazioni potenzialmente interagenti con i siti di progetto. (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>).

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>



**Figura 10-4 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2) rilevanti per la zona studiata (i triangoli rossi mostrano gli estremi di progetto).**

Per comporre un quadro completo dei livelli di sismicità dell’area di interesse, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche risentite a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014.

Dall’analisi di questa base dati si deriva come la zona in esame sia stata interessata da uno considerevole numero di eventi sismici significativi; tra quelli più rilevanti ( $I_{MCS} \geq 6$ ) si ricordano i seguenti:

- 1087 Bari  $I_{MCS} = 6-7$ ,  $M_W = 4.86$
- 1456 Appennino centro-meridionale  $I_{MCS} = 6$ ,  $M_W = 7.19$
- 1560 Costa pugliese centrale  $I_{MCS} = 7$ ,  $M_W = 5.66$
- 1694 Irpinia-Basilicata  $I_{MCS} = 6$ ,  $M_W = 6.73$
- 1731 Tavoliere delle Puglie  $I_{MCS} = 6-7$ ,  $M_W = 6.33$
- 1743 Ionio settentrionale  $I_{MCS} = 7$ ,  $M_W = 6.68$
- 1851 Vulture  $I_{MCS} = 6$ ,  $M_W = 6.52$

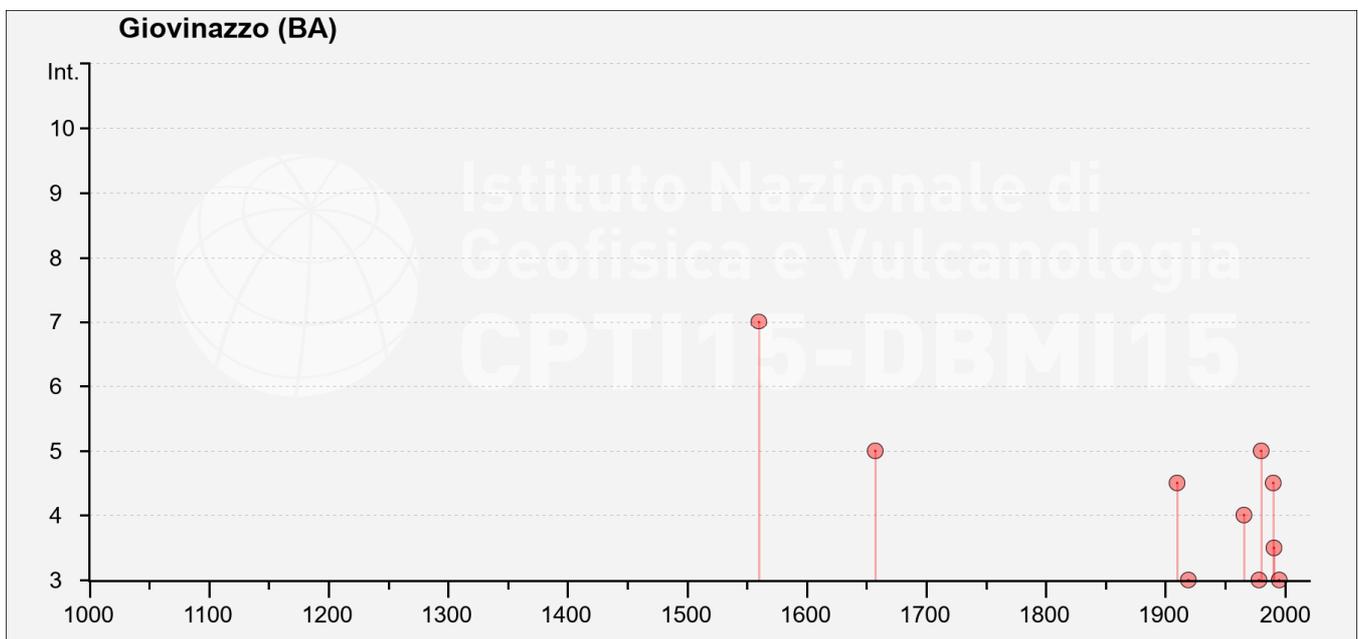
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	65 di 83

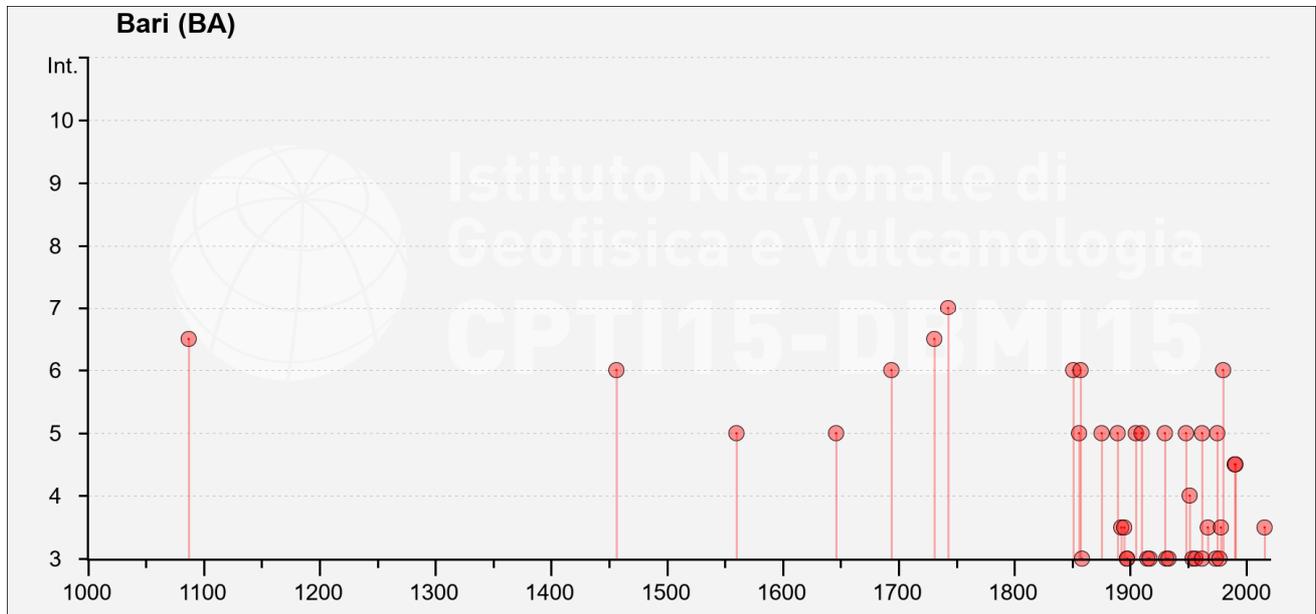
- 1857 Basilicata  $I_{MCS} = 6$ ,  $M_w = 7.12$

Le figure seguenti mostrano la storia sismica in termini di valori di intensità associati ai due principali centri abitati in prossimità dell'area di progetto: Giovinazzo e Bari, per i quali è maggiore la disponibilità di osservazioni. Gli eventi con le massime intensità risentite nei centri abitati più prossimi al tracciato risultano pari a 7.

Da quanto sopra si evince come alla zona interessata dal progetto sia associabile una sismicità moderata.



**Figura 10-5 – Storia sismica del comune di Giovinazzo (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).**



**Figura 10-6 – Storia sismica del comune di Bari (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).**

### 10.3 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

#### 10.3.1 Generalità

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$  con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- $F_0$  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.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 67 di 83

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima determinato il periodo di riferimento per l'azione sismica (par. 10.3.2) sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, nel par. 10.3.3 saranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare determinata a sua volta per suolo rigido ed in corrispondenza dei punti definiti. La determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili sarà oggetto del par. 10.3.5, arrivando a definire, per i diversi stati limite, l'azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.

### 10.3.2 Vita utile e classe d'uso

La Vita Nominale  $V_N$  di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$  anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$  anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$  anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica e per tutte le opere di progetto, si assume:

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso  $C_U=0.7$ .
- Classe II: ... omissis ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... omissis .... Per le quali  $C_U = 1.0$ .

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>68 di 83</b>

- Classe III: ... omissis ... Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... omissis ... Per le quali  $C_U = 1.5$ .
- Classe IV: ... omissis ... Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico ... omissis ... Per le quali  $C_U = 2$ .

Nel caso in esame, si assume:

- Per la linea (eccetto punti singolari specificati successivamente) e il cavalcaferrovia e altre interferenze minori: Classe d'Uso III ( $C_U = 1.5$ );
- Per l'interferenza con SS16 e i fabbricati di pertinenza RFI: Classe d'Uso IV ( $C_U = 2.0$ ).

Il periodo di riferimento  $V_R$  si ottiene moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Nel caso in esame:

- Per la linea (eccetto punti singolari specificati successivamente), il cavalcaferrovia e altre interferenze minori:  $V_R = V_N \times C_U = 75 \times 1.5 = 112.5 \text{ anni}$ ;
- Per l'interferenza con SS16 e i fabbricati di pertinenza RFI:  $V_R = V_N \times C_U = 75 \times 2 = 150 \text{ anni}$ .

### 10.3.3 Stati limite e probabilità di superamento

L'azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica e delle corrispondenti probabilità  $P_{VR}$  di realizzarsi nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
  - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>

- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
  - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
  - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento  $V_R$  ed alla probabilità di superamento  $P_{VR}$  dalla relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica e le probabilità di superamento per i diversi Stati Limite sono mostrati in Tabella 10-1.

**Tabella 10-1 – Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto per i diversi stati limite.**

Stato limite di riferimento		Probabilità di superamento $P_{VR}$	Periodo di ritorno dell'azione sismica $T_R$	
			La linea, il cavalcaferrovia e altre interferenze minori	L'interferenza con SS16 e i fabbricati
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	81%	68	90
	Stato limite di danno (SLD)	63%	113	151
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	1068	1424
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	2193	2475

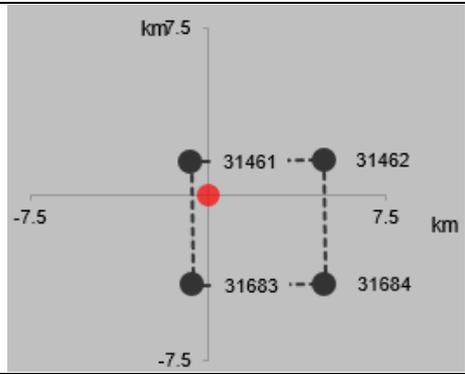
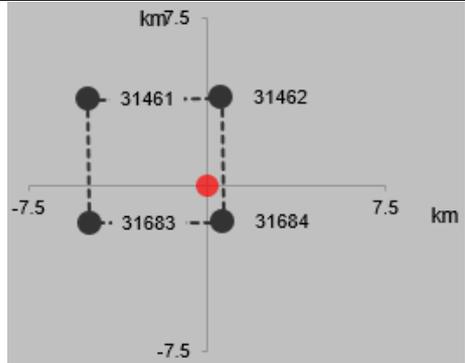
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	70 di 83

### 10.3.4 Accelerazione di riferimento su suolo rigido $a_g$

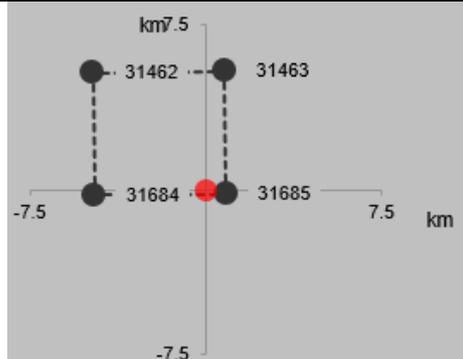
In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (riferita dalle NTC2018) i valori  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_{c*}$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento a coprire il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. Per definire i valori della pericolosità sismica di base, sono stati scelti 3 punti di riferimento in corrispondenza dell'inizio, della metà e della fine dell'intervento (P1, P2 e P3 in Tabella 10-2) aventi le coordinate geografiche riportate in Tabella 10-2, ove altresì viene riportato l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

**Tabella 10-2 – Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno dei tracciati oggetto di studio. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.**

Tratto di interesse	Longitudine	Latitudine	Localizzazione punti di griglia
P1 (inizio del tracciato)	16.687340°	41.176847°	
P2 (metà del tracciato)	16.736656°	41.153669°	

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	71 di 83

Tratto di interesse	Longitudine	Latitudine	Localizzazione punti di griglia
P3 (fine del tracciato)	16.799857°	41.138622°	

Il confronto fra i valori del parametro  $a_g$  calcolato ai diversi punti, per gli stati limite di interesse (Tabella 10-3) mostra come la variabilità dell'input sismico lungo la tratta sede delle opere sia limitata per corti periodi di ritorno, mentre cresce apprezzabilmente per valori del periodo di ritorno più lunghi.

In conclusione, sono stati individuati due sezioni della linea per la definizione della pericolosità sismica di progetto lungo il tracciato:

- Il tratto A1: dal punto P1 (Prog. 631+770 km) al P2 (Prog. 636+770 km) con il punto P1 come il punto di riferimento.
- Il tratto A2: dal punto P2 (Prog. 636+770 km) al P3 (Prog. 641+698 km) con il punto P2 come il punto di riferimento.

Il risultato dell'interpolazione per i parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_{c^*}$  per le due sezioni lungo la linea ferroviaria e per le opere diverse è riportato in Tabella 10-4.

**Tabella 10-3 – Valori di  $a_g$  per punti diversi nel tracciato di interesse (ottenuti mediante il foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLP (2009)) per  $V_R = 112.5$  anni (la linea ferroviaria).**

SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)		
		P1	P2	P3
SLO	68	0.040	0.038	0.037
SLD	113	0.049	0.047	0.044
SLV	1068	0.121	0.111	0.101

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	72 di 83

SL	T <sub>R</sub> (anni)	a <sub>g</sub> (g)		
		P1	P2	P3
SLC	2193	0.160	0.142	0.127

**Tabella 10-4 – Valori dei parametri a<sub>g</sub>, F<sub>o</sub>, T<sub>c</sub>\* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per le due sezioni lungo la linea ferroviaria e per le opere diverse.**

Tratto di interesse	Tipologia di opere	SL	T <sub>R</sub> (anni)	a <sub>g</sub> (g)	F <sub>o</sub> (-)	T <sub>c</sub> * (s)
<b>Tratto A1</b> (Punto di riferimento: P1)	La linea, il cavalferrovia e altre interferenze minori	SLO	68	0.040	2.488	0.317
		SLD	113	0.049	2.517	0.357
		SLV	1068	0.121	2.626	0.521
		SLC	2193	0.160	2.616	0.515
	L'interferenza con SS16 e i fabbricati	SLO	90	0.045	2.486	0.344
		SLD	151	0.055	2.586	0.374
		SLV	1424	0.135	2.622	0.519
		SLC	2475	0.167	2.614	0.515
<b>Tratto A2</b> (Punto di riferimento: P2)	La linea, il cavalferrovia e altre interferenze minori	SLO	68	0.038	2.478	0.316
		SLD	113	0.047	2.485	0.368
		SLV	1068	0.111	2.649	0.539
		SLC	2193	0.142	2.682	0.536
	L'interferenza con SS16 e i fabbricati	SLO	90	0.043	2.492	0.343
		SLD	151	0.053	2.490	0.401
		SLV	1424	0.123	2.662	0.538
		SLC	2475	0.148	2.687	0.535

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 73 di 83

### 10.3.5 Risposta sismica locale

Le NTC2018 definiscono il fattore S di amplificazione di sito come funzione sia della categoria di sottosuolo ( $S_s$ ), che dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente  $S_T$ ):

$$S = S_s \cdot S_T$$

La classificazione del sottosuolo si definisce sulla base delle condizioni stratigrafiche e del valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (in m/s) definito dall'espressione:

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

dove:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  = valore di 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  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

La campagna di indagini geofisiche eseguita nel tratto di interesse ha compreso l'esecuzione di n. 3 indagini sismiche di tipo Downhole (GA03-DH, GA05-DH, TR04-DH), n. 2 indagini di tipo MASW 2D (GA01-MAS, TR04-MAS) e n.2 sezioni sismiche a rifrazione tomografica con lunghezza di circa 95 m e 115 m in corrispondenza dei sondaggi GA01 e TR04, rispettivamente (GA01-L1 e TR04-L2) disposte lungo il tracciato come da Figura 10-2. I risultati delle prove Downhole in corrispondenza dei sondaggi GA03 e GA05 restituiscono un valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$ , compreso nell'intervallo 325-327 m/s con H (spessore delle terre poste al di sopra del substrato di riferimento rigido 800 m/s) pari a 4 m (Categoria E da Tabella 10-5) mentre i risultati della prova Downhole in corrispondenza del sondaggio TR04 fornisce il valore  $V_{s,eq}$  pari a 530 m/s e H pari a 12 m (categoria di suolo B da Figura 10-5). Inoltre, l'allineamento a rifrazione in onde S in corrispondenza del sondaggio TR04 mostra i valori di  $V_{s,eq}$ , compresi nell'intervallo 401-576 m/s e H fra 2-3 m (categoria di suolo A da Tabella 10-5) mentre la sezione sismica a rifrazione tomografica in corrispondenza del sondaggio GA01 illustra i valori di  $V_{s,eq}$ , compresi nell'intervallo 232-442 m/s con H fra 4-5 m (categoria di suolo

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 74 di 83

E e B da Tabella 10-5). Vista l'eterogeneità dei materiali rocciosi lungo il tracciato di interesse e in via cautelativa, tutto il tracciato di interesse viene classificato nella categoria di suolo E.

I coefficienti  $S_S$  per la categoria di sottosuolo E si ottengono dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_S = 1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.60$$

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, tutto il tracciato di progetto giace su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ , in accordo alla Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018), o comunque non attraversa sezioni di cresta o mezza costa. Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

**Tabella 10-5 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).**

Suolo	Descrizione geotecnica
A	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.
B	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.
C	Depositati 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.
D	Depositati 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.
E	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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito  $S$  e dell'azione sismica di progetto  $a_{max} = S \cdot a_g$  per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati in Tabella 10-6.

Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

**Tabella 10-6 – Valori dei parametri  $a_g$  e dei coefficienti di sito  $S$  ( $S_T=1$ ) e accelerazione di progetto  $a_{max}$  per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per le due sezioni lungo la linea ferroviaria e per le opere diverse.**

Tratto di interesse	Tipologia di opere	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$S$ (-)	$a_{max}$ (g)
<b>Tratto A1</b> (Punto di riferimento: P1)	La linea, il cavalferrovia e altre interferenze minori	SLO	68	0.040	1.600	0.064
		SLD	113	0.049	1.600	0.079
		SLV	1068	0.121	1.600	0.194
		SLC	2193	0.160	1.541	0.246
	L'interferenza con SS16 e i fabbricati	SLO	90	0.045	1.600	0.072
		SLD	151	0.055	1.600	0.088
		SLV	1424	0.135	1.600	0.217
		SLC	2475	0.167	1.519	0.254
<b>Tratto A2</b> (Punto di riferimento: P2)	La linea, il cavalferrovia e altre interferenze minori	SLO	68	0.038	1.600	0.061
		SLD	113	0.047	1.600	0.075
		SLV	1068	0.111	1.600	0.177
		SLC	2193	0.142	1.580	0.225
	L'interferenza con SS16 e i fabbricati	SLO	90	0.043	1.600	0.069
		SLD	151	0.053	1.600	0.084
		SLV	1424	0.123	1.600	0.196
		SLC	2475	0.148	1.561	0.232

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 76 di 83

#### 10.4 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa qualora si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{IN} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{IN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve che delimitano il campo di suscettibilità, fornite nelle NTC2018.

Analizzando dunque ciascuna possibile circostanza:

- per tutto il tracciato di progetto, l'accelerazione massima attesa è superiore a 0.1, dunque la condizione non è verificata;
- per quanto riguarda la falda, in tutti i piezometri la falda si colloca intorno a 0 m s.l.m, a profondità variabili tra 38.59 e 9.62 m di profondità da p.c.;
- per quanto riguarda la resistenza penetrometrica, la campagna delle indagini geognostiche realizzate da Italferr nel 2020 a supporto del presente studio comprende solo due prove SPT eseguite nei sondaggi GA05\_1 e GA05\_2 con i valori di  $N_{SPT}$  pari a R (rifiuto) e 52. La verifica a liquefazione può essere omessa poiché il materiale di riporto, rinvenuto nei primi metri del terreno (circa 0-1,0 m) è localizzato ben al di sopra della profondità alla quale è stata rinvenuta la falda.

Pertanto, per il tracciato di progetto, la verifica a liquefazione può essere omessa ed il sito può essere ritenuto stabile rispetto a tale fenomeno.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 77 di 83

## 11 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- dal punto di vista geografico la nuova linea ferroviaria si sviluppa per circa 11 km nella regione Puglia, lungo tratta Bari-Foggia, a pochi chilometri a Nord di Bari, il punto iniziale si trova presso il quartiere di Palese. Percorrendo nei punti iniziali e finali un tratto più prossimo alla linea di costa, si sposta di circa 2 km nell'entroterra sempre con direzione parallela alla costa, nella parte centrale del percorso (che occupa gran parte del tragitto).
- dal punto di vista geologico-strutturale l'area di studio è localizzata nel territorio delle Murge. L'altopiano delle Murge è una struttura allungata WNW-ESE che si estende dalla bassa Valle dell'Ofanto fino alla "Soglia messapica", depressione carsica che divide le subregioni pugliesi della Murgia dal Salento. In particolare, l'area del progetto è ubicata nel "Graben delle Murge basse". Nel contesto geologico regionale l'altopiano delle Murge costituisce la più vasta area di avampaese "africano" in Italia, che è rappresentato da una regione carbonatica autoctona relativamente poco deformata che si sviluppa in aree emerse e sommerse. Depositi marini terrazzati del Pleistocene medio-superiore si trovano in trasgressione sia sulle formazioni di avanfossa che su quelle di avampaese.
- dal punto di vista geologico-stratigrafico la tratta si estende quasi totalmente sul calcare di Bari; il primo tratto più prossimo a Bari intercetta la Calcarenite di Gravina. Il Calcare di Bari (Valanginiano-Turoniano inf.) è costituito da calcari micritici microfossiliferi e calcari dolomitici stratificati in sequenze cicliche (ambiente deposizionale tipico di piattaforma carbonatica). La Calcarenite di Gravina (Pliocene medio-Pleistocene inf.), rappresentata da biocalcareni e biocalciruditi (calcareniti bianche o giallastre, più o meno cementate), affiora preferenzialmente all'interno di aree più depresse. In prossimità della tratta sono presenti anche depositi recenti di origine alluvionale che occupano il fondo di numerosi solchi erosivi, costituiti da ghiaie in matrice siltoso-terrosa rossastra.
- dal punto di vista geomorfologico l'area in questione fa parte della propaggine più estrema dell'altopiano murgiano che prograda verso mare. L'area costiera è caratterizzata dalla presenza di una serie di terrazzi marini delimitati da scarpate alte alcuni metri. Queste scarpate presentano un andamento subparallelo con la linea di costa attuale e rappresentano antiche linee di essa. Spianate e scarpate, in questo tratto costiero, sono dovute generalmente all'abrasione prodottasi nel corso di fasi di stazionamento relativo del livello del mare, a partire dal Pleistocene medio. Le aree calcaree presentano morfologie più marcate in corrispondenza delle scarpate di origine tettonica (che corrispondono ai segmenti del Graben delle Murge

basse). Le aree calcaree sono incise da numerosi corsi d'acqua, delimitati da pareti subverticali e in alcuni casi si sono sviluppate vere e proprie forre. Le aree occupate dai terreni quaternari mostrano un paesaggio più morbido dato da basse colline con versanti a bassissimo gradiente. Il litorale metropolitano di Bari è fortemente modificato dalla presenza di opere artificiali e ha un carattere a basso profilo.

- dal punto di vista idrografico, essendo il paesaggio pugliese dominato quasi dovunque da affioramenti calcarei fessurati e carsificati, non è presente lo sviluppo di una vera e propria idrografia superficiale. Priva di montagne, la Puglia è dunque povera di corsi d'acqua: la "protezione" appenninica da Ovest e la sua esposizione ad Est la rendono, inoltre, soggetta a scarse precipitazioni che il terreno, quasi tutto di natura carsica, assorbe copiosamente. L'idrografia della Murgia risulta essere caratterizzata da una serie cospicua di bacini stretti e di modesto sviluppo che si estendono in senso longitudinale dando così origine ad avvallamenti di breve sviluppo che prendono il nome di "lame" (solchi erosivi che rappresentano i resti di un'antica idrografia superficiale). Le lame si sarebbero sviluppate su aree subpianeggianti coperte da depositi quaternari facilmente erodibili e in seguito approfonditi nei sottostanti calcari; tali corsi d'acqua hanno un regime torrentizio, attivandosi solo in occasione di periodi di piogge particolarmente abbondanti.
- dal punto di vista idrogeologico, le caratteristiche geologiche, strutturali e morfologiche della regione Puglia hanno consentito la formazione di cospicui corpi idrici sotterranei contenuti fondamentalmente nelle successioni carbonatiche mesozoiche, che ne costituiscono l'acquifero principale poiché sono interessate da fenomeni carsici; l'acquifero principale presenta un alto grado di fratturazione ed elevata permeabilità. Nelle Murge le acque della falda idrica profonda si muovono in pressione ed a profondità decrescente procedendo verso la costa. La falda defluisce direttamente in mare. La falda è quindi in contatto con l'acqua marina di intrusione continentale e si realizzano fenomeni di miscelamento che generano zone di diffusione di spessore e di salinità progressivamente crescente. La permeabilità delle unità presenti lungo il profilo è stata analizzata mediante una prova Lefranc all'interno delle calcareniti e 23 prove Lugeon all'interno dei calcari. Le Calcareniti di Gravina hanno restituito un coefficiente di permeabilità (k) pari a  $1,62 \times 10^{-3}$ , mentre i valori ottenuti dalle prove di permeabilità nel Calcare di Bari sono compresi tra  $7,0 \times 10^{-7}$  e  $8,4 \times 10^{-5}$  m/s.
- dal punto di vista geologico tecnico lungo il tracciato di progetto è stata riscontrata la presenza di materiale di riporto con uno spessore variabile da 0,5 a 1 m di spessore. Oltre il materiale di riporto, nei sondaggi della porzione occidentale del profilo, si riscontrano i calcari detritici a grana fine appartenenti all'unità del Calcare di Bari, presenti sino a fondo foro di tutti i sondaggi. Nella porzione orientale del profilo, nell'intorno della progressiva chilometrica 8+500, è stato eseguito il sondaggio GA05\_1 che, al di sotto di

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>79 di 83</b>

un primo spessore di 0,9 m di materiale di riporto, determina la presenza di 1,7 m di calcarenite (Calcarenite di Gravina), posizionata al di sopra del Calcere di Bari. La calcarenite ricompare in prossimità della progressiva chilometrica 9+500, rinvenendosi nel sondaggio GA05\_2 con uno spessore di 1,60 m e nei pressi del sondaggio XIA32D003, con spessore di 1 m.

- dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, è stata analizzata la cartografia della pericolosità aggiornata dal PAI nel 2016, in cui sono riportate le zone dove sono presenti le tre classi di pericolosità geomorfologica. Tuttavia, i fenomeni cartografati non coinvolgono le opere in progetto.
- dal punto di vista della pericolosità idrologica, è stata analizzata la cartografia della pericolosità aggiornata dal PAI nel 2016, in cui sono riportate le zone dove sono presenti le tre classi di pericolosità idrogeologica. Queste aree si riferiscono alla presenza delle “lame”, fiumi non attivi che potrebbero subire eventi di piena in periodi con elevata pioggia. Tuttavia, i fenomeni cartografati non coinvolgono direttamente il tracciato dell’opera in progetto ma sono presenti a 150 e 400 m rispettivamente dalla fine e dall’inizio della tratta. Per approfondimenti sono state analizzate le norme del piano di stralcio dell’assetto idrogeologico della regione Puglia a cui si rimanda per chiarimenti nel capitolo 9.3.
- dal punto di vista del rischio idrogeologico, è stata analizzata la carta del rischio aggiornata dal PAI nel 2016, in cui sono analizzate le aree che presentano rischio. Non esistono aree che coinvolgono l’opera in progetto; zone a rischio molto elevato sono presenti, tuttavia, nelle medesime aree in cui è presente pericolosità idrologica. Per approfondimenti sono state analizzate le norme del piano di stralcio dell’assetto idrogeologico della regione Puglia a cui si rimanda per chiarimenti nel capitolo 9.3.
- Dal punto di vista della pericolosità legata a fenomeni carsici nei Calcari di Bari è stata analizzata la cartografia dei Sinkholes dell’ISPRA e il Catasto delle grotte e delle cavità artificiali della Federazione Speleologica Pugliese. Nei pressi della tratta in progetto sono state individuate alcune cavità sotterranee naturali; la loro presenza congiunta alle diverse cavità centimetriche e decimetriche individuate dai sondaggi nei Calcari di Bari eseguiti per il presente progetto, non consentono di escludere la presenza di cavità di maggiori dimensioni lungo la linea in progetto. Per tale ragione sono state effettuate diverse tomografie elettriche lungo il tracciato progettuale, che hanno messo in evidenza aree maggiormente fratturate o interessate da carsismo di bassa entità (aree vacuolate) con resistività comprese tra 1000 Ohm\*m e 1250 Ohm\*m, e possibili cavità riempite da materiali fini derivanti dal disfacimento dei calcari interessate da anomalie a bassa resistività.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00	R 69 RG	GE0001 001	A	80 di 83

- Dal punto di vista sismico, l'area di progetto risulta caratterizzata da sismicità moderata. Sulla base delle indagini geofisiche, i siti di progetto sono classificabili in categoria di suolo A, B e E. Tuttavia, vista l'eterogeneità dei materiali rocciosi lungo il tracciato, in forma cautelativa, tutto il tracciato è stato classificato uniformemente in Categoria di suolo E. Per quanto riguarda il potenziale di liquefazione dei terreni può essere omessa la verifica di liquefazione, poiché la falda risulta ubicata a profondità elevate ben al di sotto del materiale di riporto.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>81 di 83</b>

## 12 BIBLIOGRAFIA

- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. and Gasperini P. (2000). Catalogue of strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997. *Annals of Geophysics*, 43, 609-858.
- Ciaranfi N., Pieri P., & Ricchetti G., (1992) – *Carta geologica della Puglia, dal F. Ofanto a S. Maria di Leuca*. Mem. Soc. Geo. Ital, 45.
- Carta Geologica d’Italia, scala 1: 50.000 Foglio 438 “Bari”.
- Carta Geologica della Regione Puglia, scala 1: 250.000.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- Cotecchia V., (2014) -Allegato a: Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia, vol XCII – Tav. 3. Carta idrogeologica, valori della permeabilità degli acquiferi carbonatici mesozoici e dell’acquifero alluvionale del tavoliere di Foggia, scala 1:300.000.
- Cotecchia V., Allegato a: Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia, vol XCII – Tav. 4. Carta idrogeologica, sorgenti – piezometrie – distribuzione della concentrazione salina, scala 1:300000.
- Dipartimento per il Servizio Geologico d’Italia (2002). Database Nazionale Sinkhole: <http://sgi.isprambiente.it/sinkholeweb/viewer/index.html>
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Distretto idrografico dell’Appennino Meridionale, Territorio Regione Puglia – *Carta del reticolo idrografico, scala 1: 300.000*
- Federazione Speleologica Pugliese, Regione Puglia (aggiornato al 2021). Catasto delle Grotte e delle Cavità Artificiali: <http://www.catasto.fspuglia.it/df/dati.php>
- Fidelibus, M. D., & Tulipano, L. (2002). Inquinamento salino ed antropico degli acquiferi costieri della Murgia e del Salento: azioni di salvaguardia.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>82 di 83</b>

- Gruppo di Lavoro MPS. (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, Italy, 65 pp. + 5 appendici, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>, last access September 2012.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007.) CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). *INGV-SGA*. <http://storing.ingv.it/cfti4med>
- Haller K. M.m and Basili R. (2011). *Developing seismic source models based on geologic fault data*. *Seismol. Res. Lett.*, 82, 519-525.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*. <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). *A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Norme tecniche di Attuazione (novembre 2005) – sito web: <https://www.adb.puglia.it/public/page.php?28>
- Norme Tecniche per la Costruzione D.M. 20 Febbraio 2018.
- Patacca E., Sartori R. & Scandone P. (1990) – *Tyrrhenian Basin and Apenninic Arcs: kinematics relations since Late Tortonian times*. *Mem. Soc. Geol. it.*, **45**: 425-451.
- Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), (dicembre 2004) – *Relazione di Piano – (Autorità di Bacino della Puglia, AdB Regione Puglia)*.
- Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), (novembre 2005) – *Norme tecniche di attuazione – (Autorità di Bacino della Puglia, AdB Regione Puglia)*.
- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Puglia (2016) – sito web: <https://www.adb.puglia.it/public/page.php?39>
- Pieri P. (1980) – *Principali caratteri geologici e morfologici delle Murge*. *Murgia sotterranea*, **2** (2): 13-19.

	<b>NODO DI BARI – BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA <b>IA7X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 69 RG</b>	DOCUMENTO <b>GE0001 001</b>	REV. <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> 83 di 83

- Pieri et al., (1997) modificata in Tropeano et al., (2009) – *Carta geologica schematica della Regione Puglia*.
- Pieri et al., (1997) – *Carta geologico-strutturale dell’Avampaese Apulo emerso*.
- Pieri P., Spalluto L., Sabato L., Tropeano M., Andriani G. F., Caffau M., ... & Walsh N., (2011) – *Note illustrative della carta geologica d’Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 438 Bari*. ISPRA, Serv. Geol. d’It, 105.
- Ricchetti G., (1980) – Contributo alla conoscenza strutturale della fossa Bradanica e delle Murge. *Boll. Soc. Geol. It.*, 99: 421-430.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), (2016). CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- Slejko, D., Camassi, R., Cecic, I., Herak, D., Herak, M., Kociu, S., Kouskouna, V., Lapajne, J., Makropoulos, K., & Meletti, C. (1999). Seismic hazard assessment for Adria. *Annals of Geophysics*, 42(6). doi:<http://dx.doi.org/10.4401/ag-3771>.
- Tropeano M. & Sabato L., (2000) – *Response of Plio-Pleistocene mixed bioclastic-lithoclastic temperate-water carbonate systems to forced regressions: the Calcarenite di Gravina Formation, Puglia SE Italy*. In: Hunt D. & GAWthorpe R.L. (Eds) *Sedimentary Responses to Forced Regressions*, Geological Society of London, Spec. Publ., **172**: 217-243.