

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J74H16000230001

U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ

INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO

Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5)

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

-

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

I Z O C 0 0 F 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 | L. Magnani | Luglio 2019 | S. Giugliano | Luglio 2019 | S. Lo Presti | Luglio 2019 | F. Marchese Luglio. 2019 |
| | | R. Galbiati | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ITALFERR S.p.A.
Dot. Giorgio Francesco MARCHESI
Resp. UO GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

File: IZ0C00F69RGGE0001001A.doc

n. Elab:

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | PREMESSA | 4 |
| 2 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 5 |
| 3 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO..... | 6 |
| 3.1 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO | 8 |
| 3.1.1 | <i>Assetto strutturale</i> | 8 |
| 3.1.2 | <i>Assetto stratigrafico</i> | 9 |
| 3.2 | INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO | 15 |
| 3.2.1 | <i>Geomorfologia dell'area</i> | 15 |
| 4 | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO | 18 |
| 5 | ANALISI DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO | 20 |
| 6 | INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE | 22 |
| 7 | PROFILO STRATIGRAFICO LOCALE | 25 |
| 8 | INQUADRAMENTO SISMICO..... | 27 |
| 8.1 | PREMESSA | 27 |
| 8.2 | STRUTTURE TETTONICHE E AREE SISMOGENETICHE..... | 28 |
| 8.3 | DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO DA NTC2018 | 33 |
| 8.4 | ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE | 38 |
| 9 | CONCLUSIONI | 41 |
| 10 | BIBLIOGRAFIA | 43 |
| | APPENDICE..... | 46 |

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ0C

00

F 69 RG

GE0001 001

A

3 di 60

TAVOLE DI RIFERIMENTO

| Id | Scala | Codifiche | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico | 1:1000 – 1:500 | I | Z | 0 | C | 0 | 0 | F | 6 | 9 | N | Z | G | E | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | A |
| Carta idrogeologica con elementi di geomorfologia e profilo idrogeologico | 1:1000 – 1:500 | I | Z | 0 | C | 0 | 0 | F | 6 | 9 | N | Z | G | E | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | A |

ELABORATI DI RIFERIMENTO

| Id | Scala | Codifiche | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sondaggi e stratigrafie | - | I | Z | 0 | C | 0 | 0 | F | 6 | 9 | S | G | G | E | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | A |
| Indagini geofisiche | - | I | Z | 0 | C | 0 | 0 | F | 6 | 9 | I | G | G | E | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | A |
| Prove di laboratorio | - | I | Z | 0 | C | 0 | 0 | F | 6 | 9 | P | R | G | E | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | A |

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZOC | LOTTO 00 | CODIFICA F 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 4 di 60 |

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica redatta nell'ambito del progetto di fattibilità tecnico-economica degli interventi ferroviari per il potenziamento della stazione di Trieste Campo Marzio, attraverso il collegamento diretto tra il fascio arrivi e partenze e il molo VII del porto (Varco 5).

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti sia da fonti bibliografiche (il sondaggio BH1 recuperato dal "Progetto Definitivo del Nuovo ACC di Trieste Campo Marzio", redatto da Italferr nell'anno 2018) sia da indagini geognostiche eseguite in questa fase progettuale (cfr. cap. 6), e comprendenti:

- n°3 sondaggi geognostici realizzati sino alla profondità di 30 m dal p.c. (S2, S3 ed S4);
- n°2 sondaggi orizzontali/suborizzontali realizzati con carotatore elettrico (C1 e C2);
- n°1 prova geofisica Down-Hole eseguita nel sondaggio S3;
- n°2 prove MASW e Re.Mi. eseguite nell'intorno del sondaggio S4 e parallelamente al piano del ferro attuale;
- n°1 tomografia sismica 2D di tipo Cross-Hole eseguita tra i sondaggi S2 ed S3;
- n°1 prospezione geotomografica eseguita tra il sondaggio S2 ed a cavallo del piano attuale del ferro attuale.

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

1. Inquadramento geografico;
2. Inquadramento generale dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici;
3. Descrizione delle indagini geognostiche eseguite;
4. Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ0C | LOTTO 00 | CODIFICA F 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 5 di 60 |

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".
- D.M. 14/01/2008, “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”.
- 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.
- 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).

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area d'interesse è ubicata nel Comune di Trieste, capoluogo della regione Friuli Venezia Giulia, Nord-Est Italia.

Con riferimento alla Carta Tecnica Regionale (CTR 110144 Trieste Sud-Ovest) della regione Friuli Venezia Giulia, e con l'utilizzo delle immagini aeree, l'area relativa al nuovo binario in progetto, che prevede il collegamento al Varco 5, è individuabile nelle Figure 3-1 (stralcio CTR 110144) e 3-2. In Figura 3-2 si può osservare in dettaglio da satellite la zona che sarà interessata dai lavori. In particolare, il tracciato, deviando verso sud-est dalla linea storica, interseca il tratto sopraelevato della SS202 e lo svincolo di raccordo con quest'ultima dalla zona portuale.

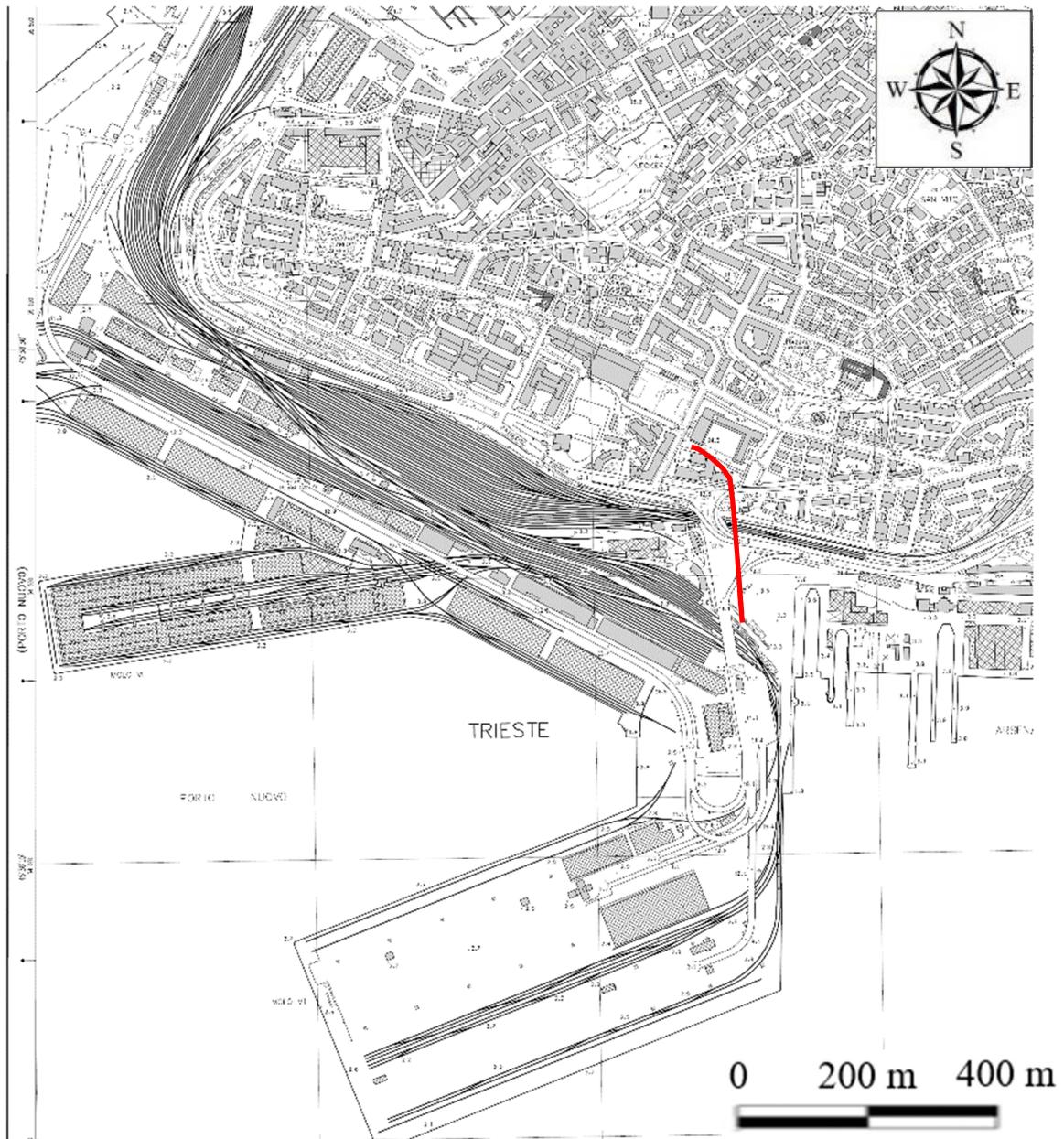


Figura 3-1 – Localizzazione dell'area di progetto su CTR 110144 (anno 2003), in rosso il nuovo binario.

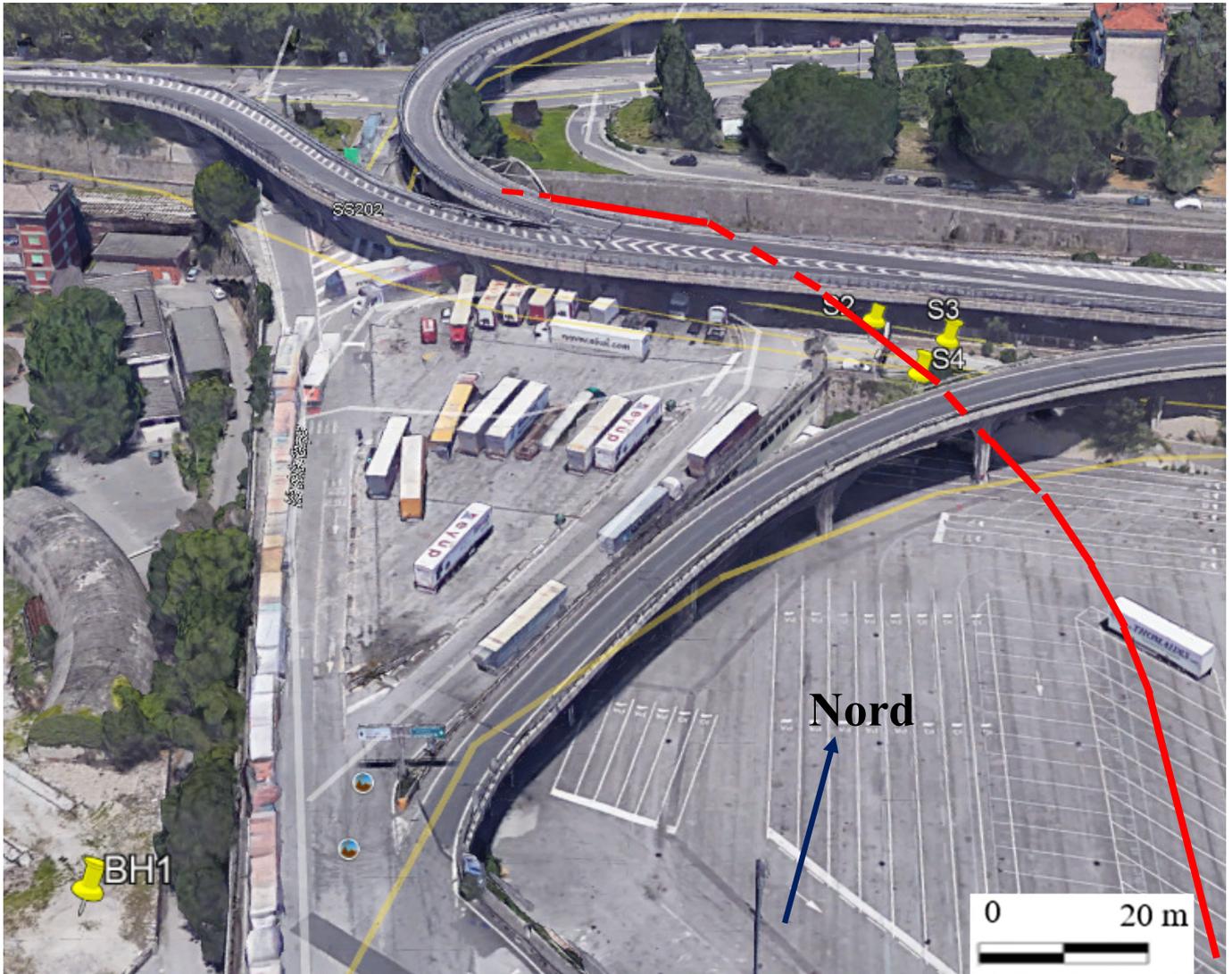


Figura 3-2 Immagine aerea dell'area di Trieste Campo Marzio con le posizioni dei sondaggi geognostici verticali di riferimento e del nuovo binario in progetto (in rosso).

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ0C | LOTTO 00 | CODIFICA F 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 8 di 60 |

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1.1 Assetto strutturale

Da un punto di vista geologico-strutturale l'area del Comune di Trieste presenta terreni riconducibili essenzialmente a cinque tipologie:

- la sequenza carbonatica cretaceo-eocenica su cui si sviluppa l'altopiano carsico;
- il Flysch eocenico che costituisce le alture minori, tutto il sottosuolo del centro città di Trieste e la maggior parte della base del versante marittimo a N di Barcola;
- i sottili livelli di calcari marnosi e marne interposti stratigraficamente tra i due termini precedenti;
- l'olistostroma di Miramare;
- i depositi quaternari costituiti dai lembi detritici superficiali di varie caratteristiche, di età pleistocenica e olocenica, presenti un po' ovunque, alluvioni e depositi eluvio-colluviali.

L'assetto strutturale dell'area è fortemente condizionato dalla diversa reazione alle sollecitazioni tettoniche dei due gruppi di terreni principali: le rocce carbonatiche e quelle torbiditiche. Le marne degli strati transizionali e quelle interposte alle arenarie, per quanto apparentemente poco rilevanti, hanno un ruolo importante, in termini tettonici, come livello di scollamento tra i due complessi litologici dominanti. Il motivo strutturale più evidente è costituito dall'ampia anticlinale su cui si imposta l'altopiano carsico. Essa rappresenta la piega di rampa di un importante thrust (sovrascorrimento) a basso angolo, il più avanzato delle Dinaridi esterne settentrionali tra quelli che dislocano l'originaria piattaforma carbonatica. La rampa stessa si impenna verso mare causando forti accentuazioni della deformazione dei livelli calcarei e coinvolge nella deformazione anche parte del Flysch, che si viene a trovare in due situazioni distinte:

- in parte resta solidale con la sequenza carbonatica, venendo coinvolto nelle deformazioni frontali del thrust, subendo a tratti dislocazioni per retroscorrimento all'accentuarsi della piegatura del fronte, complici i livelli marnosi;
- in massima parte sottostà strutturalmente al sovrascorrimento, venendo interessato da diffrazioni della rampa e da strutture di trascinamento, dando luogo sostanzialmente a thrust minori "satelliti" del precedente.

Altro fattore importante dell'assetto strutturale in esame è che il fronte del thrust carsico si sviluppa in direzione rigorosamente dinarica a N di Barcola, per poi deviare verso SE, riprendendo un andamento francamente dinarico solo all'altezza di Conconello. Nel tratto settentrionale il fianco marittimo dell'anticlinale di rampa è verticalizzato e talvolta tende al rovesciamento, mentre negli altri settori la deformazione è un poco più blanda. I thrust minori seguono l'andamento descritto e nella zona di deviazione del fronte assumono un andamento "a festoni", distanziando i loro fronti. Grande importanza nella geometria dell'area collinare assumono le faglie trasverse al fronte dei thrust, altrimenti dette *tear-fault*, a cinematica trascorrente, che ne influenzano significativamente la morfologia. Gran parte del Flysch che costituisce l'area urbana è strutturato da un'altra serie di thrust minori di orientamento dinarico o, localmente, NW-SE che si collegano, sia pure con alcune discontinuità, alla Struttura detta della Ciceria, ben descritta dai geologi sloveni e croati. Si tratta appunto di una serie di piccoli thrust formati per sottoscorrimento (*subthrusting belt*) della Zolla Adriatica sotto le Dinaridi esterne nel Miocene. In territorio istriano la Struttura mantiene una estensione trasversale ridotta, mentre verso N tende ad ampliarsi, interessando gran parte dell'area urbana e spingendosi anche entro il Golfo. L'assetto acclive e rettilineo della zona costiera a N di Barcola è quindi imputabile sia alla verticalizzazione dei livelli calcarei sul fronte del Thrust del Carso, sia alla presenza di thrust minori sottoscorrenti con fronti molto ravvicinati. L'unico aggetto, il promontorio di Miramare, è costituito da un olistostroma con grossi corpi carbonatici entro il Flysch, più resistenti all'erosione, portato a giorno dall'attività dei

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ0C | LOTTO 00 | CODIFICA F 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 9 di 60 |

citati thrust minori. I dati gravimetrici di dettaglio indicano, nell'area di pertinenza, un notevole ispessimento del Flysch. Mentre a N gran parte della massa della formazione si raccoglie nel sottofondo del Golfo, a S di Barcola l'arretramento del fronte del Thrust carsico e il relativo innalzamento di tutte le strutture dinariche, consentono ad una vasta parte del Flysch di emergere, costituendo il substrato dell'area urbana. Anche nella "città bassa" i dettagli morfologici sono condizionati dai fronti dei thrust minori e dalle *tear fault* relative. Nel Flysch di Trieste sono sovente osservabili testimonianze di fasi tettoniche precedenti la messa in posto delle unità strutturali descritte. Si tratta di due tipi di deformazioni entrambi riferibili a tettonica gravitativa. Frequenti sono gli orizzonti di slumping che sfumano in olistostromi intraformazionali. Come per l'olistostroma di Miramare, si tratta verosimilmente di materiale proveniente dalla parte esterna della avanfossa in cui si depositava il Flysch di Trieste. Altre strutture, più recenti delle precedenti, in quanto coinvolte nella deformazione, sono pieghe isoclinali o pieghe concentriche ad alta curvatura e piano assiale a giacitura variabile, ma generalmente vergente verso il mare. Anche in questo caso si pensa, come già intuito dai primi Autori interessati alla zona, che si tratti di prodotti di una tettonica gravitativa operante sul Flysch, scollato a livello delle Marne basali, al momento della individuazione della anticlinale del Carso, sul suo fianco SE.

3.1.2 Assetto stratigrafico

3.1.2.1 Successione litoide prequaternaria

In sintesi, nel territorio del Comune di Trieste, affiorano quattro importanti Unità crono-litostratigrafiche:

- i Calcari di Aurisina (CA),
- i Calcari della Formazione Liburnica (che in carta sono stati suddivisi in base all'età, cretacea CLC e terziaria CLT),
- i Calcari ad Alveoline e Nummuliti (CT),
- il Flysch di Trieste (FT).

Le prime tre unità fanno parte della *successione di piattaforma carbonatica del Carso* compresa nel Gruppo dei Calcari del Carso Triestino che comprende i Calcari di Monte Coste, la Formazione di Monrupino, i Calcari di Aurisina, la Formazione Liburnica ed i Calcari ad Alveoline e Nummuliti. Il Flysch di Trieste fa invece parte della *Successione Torbiditica*.

Si riportano qui di seguito alcuni dettagli in sintesi delle Unità facenti parte della Successione di piattaforma carbonatica. Tuttavia, tale successione non risulta presente nell'area oggetto del presente studio.

Successione di piattaforma carbonatica

Calcari di Aurisina (CA, età: Cenomaniano superiore - Campaniano basale): nella parte inferiore *wackestone* e *packstone* grigio chiari seguiti da calcari prevalentemente micritici con ridotto contenuto fossilifero e da *wackestone-packstone* a ricchissima frazione fossile, caratterizzata soprattutto da Rudiste. Spessore di circa 1000 m. (Caffau et al., 1995 e 1998).

Formazione Liburnica (CLC e CLT, età: Campaniano superiore p.p. - Thanetiano p.p.): *mudstone* e *wackestone* ad intraclasti, *wackestone* fossiliferi grigio chiari, seguiti da *mudstone-wackestone* fossiliferi con alcuni livelli di breccia, associati a fenomeni pedogenetici. Lo spessore è di circa 280 metri (Burelli et al., 2008).

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZOC | LOTTO 00 | CODIFICA F 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 10 di 60 |

Calccare ad Alveoline e Nummuliti (CT, età: Thanetiano superiore (?) - Ilerdiano (?) - Cuisiano medio): nella parte bassa calcari grigi molto fossiliferi, seguiti, nella parte alta, da *wackestone/packstone*. Lo spessore della formazione è di circa 200 metri. (Pugliese et alii, 1995 e Cousin, 1981).

Successione torbiditica

Come anticipato l'area di progetto è dominata dalla presenza dei materiali afferenti al **Flysch di Trieste** (successione torbiditica), del quale si riporta di seguito la descrizione dettagliata.

Flysch Di Trieste (Ft, Età: Luteziano P.P.)

Alla successione carbonatica succede quella torbiditica. La sedimentazione carbonatica si esaurì nell'Eocene inferiore, con l'annegamento della piattaforma carbonatica. Si forma l'avanfossa che inizia ad essere interessata da apporti terrigeni in facies torbiditica (Mutti et al., 2003). Per un certo tratto facies pelitiche, già presenti negli ultimi livelli della successione carbonatica si intercalano talvolta alle prime torbiditi (strati transizionali, *transitional beds*). Nel passaggio tra gli strati della piattaforma carbonatica a quelli della formazione terrigena troviamo localmente depositi di calcari argilloso-marnosi, marne calcaree e marne. Il livello è stato cartografato nelle zone dove l'areale di affioramento è significativo e gli strati sono stati chiamati informalmente "Strati transizionali". Per quanto riguarda i depositi terrigeni veri e propri si è scelto di adottare in via informale il nome di "Flysch di Trieste". La Formazione è costituita da un'alternanza di livelli di marne siltose ed arenarie con spessori variabili. La potenza delle marne è estremamente variabile e va da millimetrica a decimetrica mentre quella delle arenarie va da centimetrica a metrica. Le arenarie solitamente predominano, sono discretamente classate con dimensione media dei granuli di 0.1-0.2 mm circa. In parte trattasi di arenarie ibride a cemento carbonatico con rari feldspati, miche, minerali pesanti (Cr-spinello e granato) e pirite definibili come grovacche spesso di tipo litico, ma sono frequenti anche vere e proprie arenarie litiche con significativa presenza di clasti carbonatici. Quest'ultime sembrano prevalere nel Flysch arenaceo - marnoso e marnoso - arenaceo. Risultano mediamente composte per il 50% almeno di ossido di silicio (sotto forma di quarzo per il 43-53% e di selce per il 6-11%) e per il resto da feldspati (18-26%) fra cui predominano i plagioclasti, miche (4-6%) con clorite e muscovite predominanti sulla biotite, carbonati (16-20% tanto come cemento quanto come clasti, spesso notevolmente alterati) e da una serie di minerali accessori in minima quantità (Cr-spinello, ossidi di ferro, glauconite, tormalina, granati, zircone, rutilo, per percentuali cumulative da 1% a 3%). Le marne, dalla tipica composizione mineralogica data da micrite, argilla e una percentuale variabile di silt, sono talvolta ricche di Foraminiferi planctonici del tipo Globigerine. All'interno della formazione sono state riconosciute facies arenacee (FTa), arenaceo - marnose (FT) e facies prevalentemente pelitiche (FTb). Agli strati transizionali è stata attribuita la sigla FTc. All'interno delle facies prevalentemente arenacee è spesso possibile distinguere due sottotipi:

- facies a strati arenacei con spessori pluridecimetrici (da 1/2 metro ad anche 2 metri) che spesso in passato venivano sfruttati come materiale da costruzione;
- facies a strati sempre prevalentemente arenacei, ma con spessori più ridotti, da centimetrici a 20 cm.

Anche nelle facies più ricche di livelli arenacei potenti, raramente si osservano sequenze di Bouma complete. Rarissimi sono gli intervalli gradati, di gran lunga più frequenti gli intervalli laminati. Molti livelli marno-siltosi rappresentano l'intervallo pelitico della torbidite (Bensi et al., 2007).

Rapporti stratigrafici

Il limite inferiore è posto in corrispondenza dell'inizio della sedimentazione degli strati transizionali ovvero, dove non sono presenti, degli strati inferiori della successione torbiditica. Il contatto superiore non affiora nell'area di studio.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ0C | LOTTO 00 | CODIFICA F 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 11 di 60 |

3.1.2.2 Successione quaternaria

Per quanto concerne i sedimenti sciolti (o in genere i sedimenti non litificati) si rappresentano le Unità litologiche rappresentative del primo metro di sottosuolo, le quali, dal punto di vista geologico, crono e litostratigrafico, sono rappresentate da depositi di età quaternaria, continentali e marini.

Le principali unità riconosciute sono:

- i **sedimenti prevalentemente olocenici** costituiti da depositi alluvionali, depositi eluvio-colluviali e sedimenti marini differenziati nella carta geolitologica in base alla granulometria secondo il grafico ternario riportato sopra (GM, M, MG, MS, MSG, SMG);
- il **detrito di falda** (DF);
- le **terre rosse** (TR, età Pleistocene);
- il **detrito di versante** cementato con paleosuoli (DV, età Pleistocene).

I **depositi alluvionali** (GM, MG, MSG) sono costituiti da depositi di ghiaie prevalentemente arenacee, localmente arenacee-calcaree, miste ad argille e limi, con livelli di sabbie di origine alluvionale dei corsi d'acqua della fascia collinare del Flysch. Questi depositi sono generalmente massivi, mal classati con clasti subangolosi. Si tratta di depositi torrentizi, legati a fasi di trasporto solido elevato del corso d'acqua.

Le **coperture eluvio-colluviali** (MS, MSG, SMG) comprendono i prodotti della degradazione superficiale del substrato pre-quaternario e dei depositi quaternari. I depositi possono essersi evoluti in posto o aver subito trasporto lungo i versanti principalmente per mezzo di acque ruscellanti. Sono molto diffusi in corrispondenza delle zone vallive e di versante del Flysch. Si tratta di prodotti prevalentemente a supporto di matrice, con matrice argilloso-limosa e sabbiosa, clasti arenacei e, in minor misura calcarei, eterometrici da angolosi a subarrotondati. Lo spessore è variabile, da decimetrico a metrico sui versanti, può essere plurimetrico alla base dei versanti.

I sedimenti marini sono prevalentemente costituiti da argille limose (M) di colore grigio scuro-nerastro, neri, grigio-cenere, azzurrognolo, molli, semifluidi, più o meno organici, localmente con livelletti a maggior frazione limosa, o di rado sabbiosa. I **depositi di detrito di falda** (DF) sono costituiti da ghiaie grossolane mal classate, angolose a tessitura aperta; i clasti hanno litologia omogenea (rocce carbonatiche e/o arenarie) sono sciolti e a volte con matrice limo sabbiosa proveniente dall'alterazione dei litotipi locali. Per quanto riguarda il **detrito di versante pleistocenico** (DV), si tratta di ghiaie grossolane mal classate, angolose, a litologia costituita da clasti carbonatici, da addensate a cementate, localmente anche carsificate. Il deposito affiora in una fascia lungo il contatto tra le successioni carbonatiche e quelle torbiditiche. Le **terre rosse** (TR) sono depositi essenzialmente franco limosi-argillosi rossastri il cui spessore può variare dal metro fino a raggiungere profondità di gran lunga superiori (decine di metri) all'interno delle doline. Si tratta di suoli a composizione siltoso-argillosa e subordinatamente sabbiosa, principalmente costituita da quarzo, illite, clorite, caolinite, feldspati e con minerali accessori rutilo, tormalina, spinello, ossidi ed idrossidi di ferro e, occasionalmente, granato e corindone.

Nei depositi quaternari sono da annoverare anche i **riporti** (R) che vengono definiti come accumulo artificiale di materiale detritico e/o inerte. Un importante spessore di materiale di riporto è presente nell'area oggetto del presente studio, costituente la colmata dell'area portuale ove è collocata anche la ferrovia.

Dove è stato cartografato riporto antropico si deve avere la consapevolezza che ci si muove all'interno di coperture sedimentarie con materiali eterogenei, su substrato costituito per la gran parte da "fanghi marini", geomeccanicamente molto scadenti, con una soggiacenza idrica spesso molto superficiale.

In Figura 3-3 viene riportato uno stralcio della carta geologica del Carso Classico (scala 1:50.000, progetto GEO-CGT, anno 2013 – legenda nelle figure 3-4A e 3-4B) in cui si può osservare come, nell'area interessata dal presente studio vi sia un'ampia fascia di **riporti antropici**.

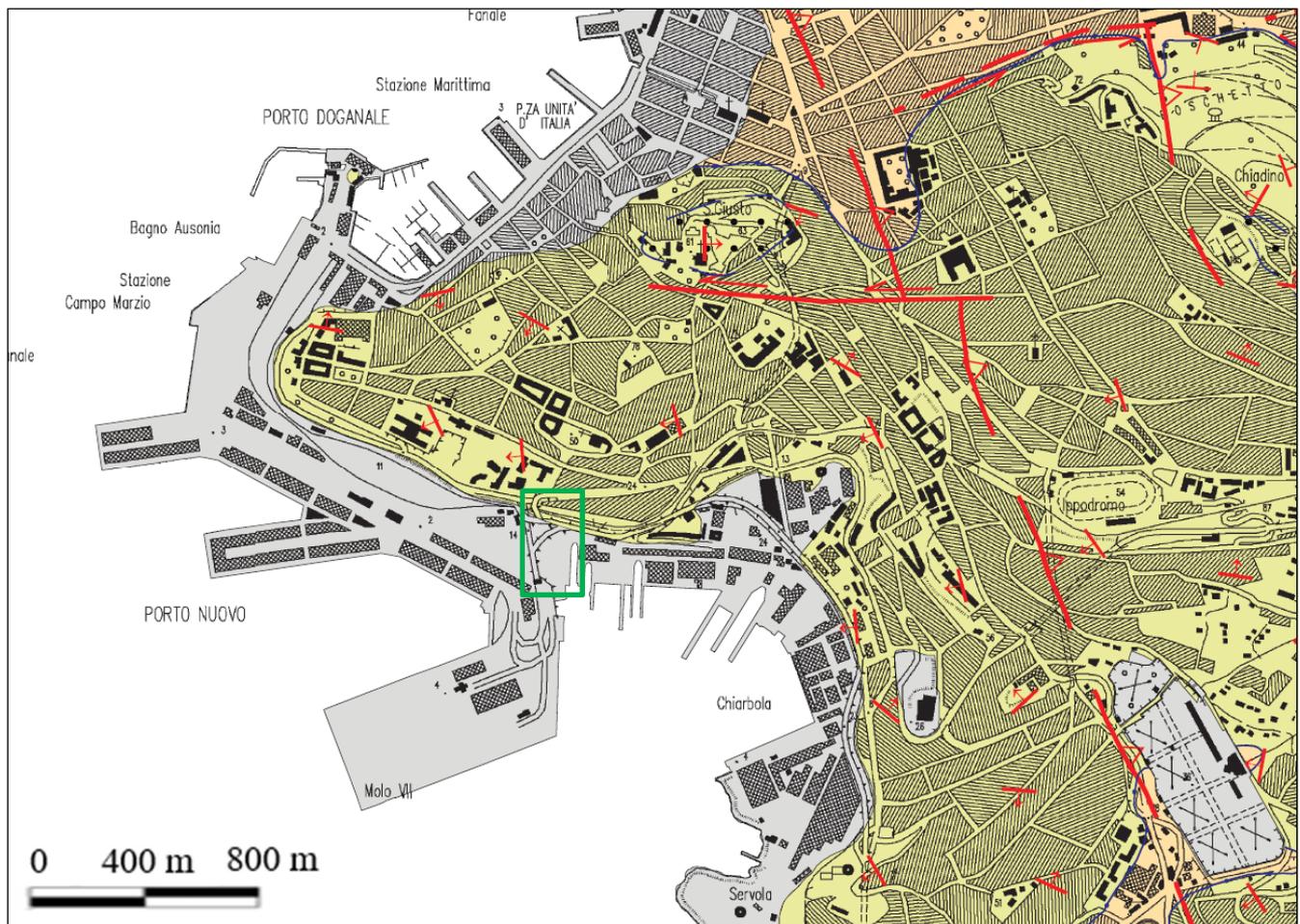


Figura 3-3 Stralcio, non in scala, della Carta del Carso classico (scala originale 1:50.000, anno 2013). In verde è evidenziata l'area di progetto.

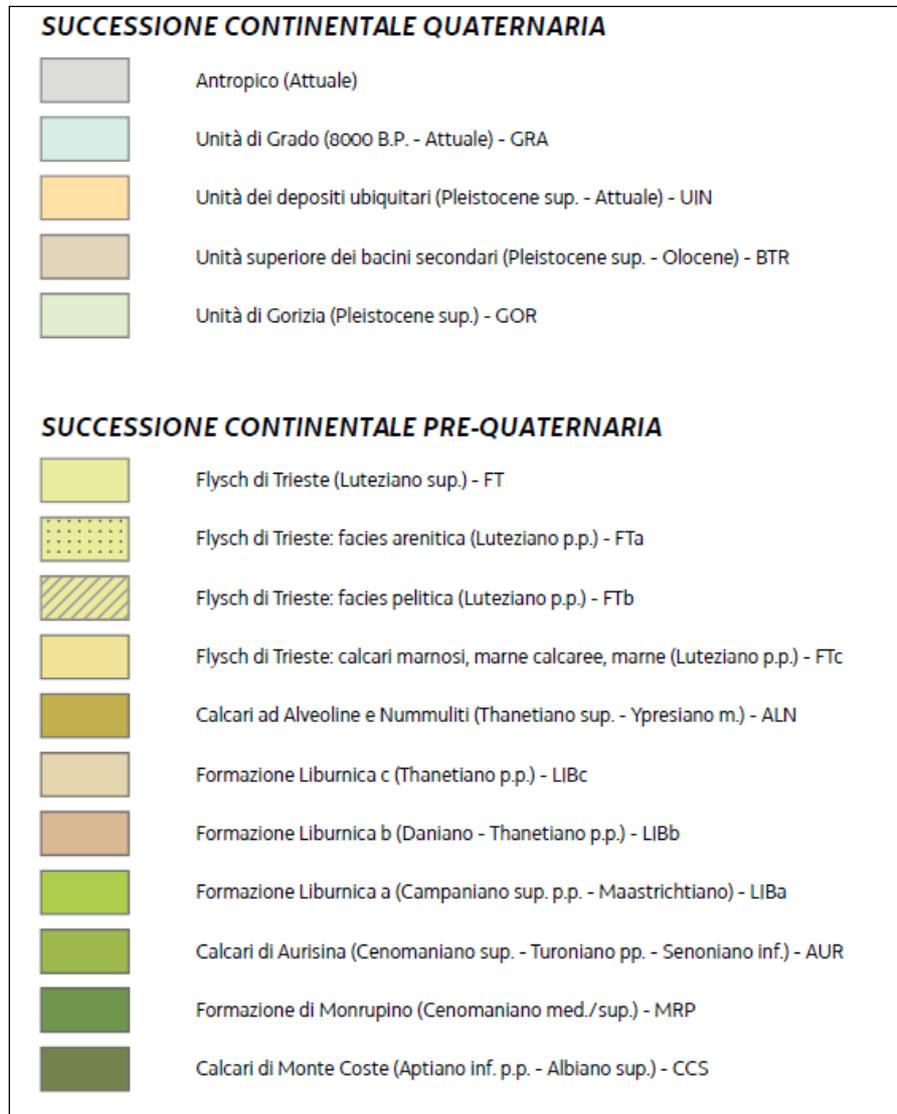


Figura 3-4A- Legenda della carta geologica del Carso Classico 1:50.000 (anno 2013).

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 14 di 60 |

SIMBOLOGIA

| | |
|---|--|
|  | stratificazione inclinata |
|  | stratificazione inclinata rovesciata |
|  | stratificazione orizzontale |
|  | stratificazione verticale con indicazione della polarità |
|  | stratificazione verticale a polarità sconosciuta |
|  | stratificazione a polarità sconosciuta |
|  | contatto stratigrafico e/o litologico |
|  | contatto stratigrafico e/o litologico incerto o sepolto |
|  | contatto con area non rilevabile (mare, lago, ghiacciaio, strutture antropiche, ecc.) |
|  | contatto stratigrafico inconforme |
|  | contatto stratigrafico inconforme incerto o sepolto |
|  | faglia certa |
|  | faglia incerta o sepolta |
|  | faglia diretta |
|  | faglia diretta incerta o sepolta |
|  | faglia inversa |
|  | faglia inversa incerta o sepolta |
|  | faglia con prevalente componente trascorrente destra |
|  | faglia con prevalente componente trascorrente destra incerta o sepolta |
|  | faglia con prevalente componente trascorrente sinistra |
|  | faglia con prevalente componente trascorrente sinistra incerta o sepolta |
|  | faglia con prevalente componente trascorrente con senso di movimento non det. |
|  | faglia con prevalente componente trascorrente con senso di movimento non det., incerta o sepolta |
|  | faglia transtensiva (diretta trascorrente) destra |
|  | faglia transtensiva destra incerta o sepolta |
|  | faglia transtensiva sinistra incerta o sepolta |
|  | faglia transpressiva (diretta trascorrente) destra |
|  | faglia transpressiva sinistra incerta o sepolta |
|  | sovrascorrimento |
|  | sovrascorrimento incerto o sepolto |
|  | sovrascorrimento di importanza minore |
|  | sovrascorrimento di importanza minore incerto o sepolto |

Figura 3-4B Legenda simbolica della carta geologica del Carso Classico 1:50.000 (anno 2013).

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 15 di 60 |

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

3.2.1 Geomorfologia dell'area

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio del Comune di Trieste presenta elementi geomorfologici fortemente condizionati dalla litologia, in quanto le unità litologiche (descritte nella caratterizzazione geologica) mostrano risposte e comportamenti diversi nei confronti dei fattori geodinamici, erosivi e dissolutivi. Si riconoscono diverse macroaree: l'altopiano carsico collinare con prevalenza di litotipi carbonatici, l'area costiera ad alta acclività caratterizzata da pareti carbonatiche con alla base il Flysch, l'area collinare nell'ambito urbanizzato e nei dintorni della città di Trieste costituita dai terreni marnoso arenacei in facies di Flysch, ed infine parte della piana alluvionale del torrente Rosandra e degli altri rii minori che per la gran parte è interessata da riporti antropici. La morfologia del territorio inoltre è stata in buona parte rimodellata dalle attività antropiche, ad esempio, le aree agricole ed urbanizzate lungo il versante costiero sono caratterizzate da diffusi interventi di terrazzamento, in particolare sui depositi terrigeni, mentre l'area portuale ed il lungomare sono stati interessati da importanti lavori di ripascimento, di bonifica e da terrapieni che hanno modificato l'andamento originale della costa bassa.

3.2.1.1 L'altopiano carsico

L'area comprende l'intero plateau calcareo, carsico, praticamente privo di idrografia superficiale, che occupa una fascia altitudinale con quote che vanno da circa 150 m s.l.m. in corrispondenza di Aurisina ad oltre 400 m s.l.m. nell'area di Basovizza. L'altopiano carsico triestino fa parte del più esteso Carso Classico, ed è assimilabile ad un plateau debolmente inclinato verso NW limitato da due dorsali collinari a direzione NW – SE. L'altopiano è interamente composto da rocce carbonatiche, sulle quali gli agenti atmosferici operano da alcuni milioni di anni, generando tutte le morfologie epigee ed ipogee legate al carsismo. Anche se sono tutte forme legate allo stesso processo, tra le morfologie carsiche si distinguono le forme carsiche epigee, o superficiali, dalle carsiche ipogee, o profonde.

Morfologie carsiche epigee

Le acque scorrenti in superficie vengono catturate in punti idrovori o in inghiottitoi e convogliate all'interno della massa rocciosa carsificata da morfologie epigee. La macroforma tipica di questo paesaggio è la dolina, depressione chiusa, a corona subcircolare o subellittica, solitamente più larga che profonda. Le dimensioni sono variabili da pochi metri ad alcune centinaia di metri di larghezza, per profondità da pochi metri ad alcune decine di metri. Il fondo può essere coperto da depositi fini (le cosiddette "terre rosse" talora frammiste a frammenti di roccia, residuo di quanto non disciolto o di quanto "intrappolato" nella dolina) e/o da materiale grossolano (frammenti di roccia mobilizzati e franati dai fianchi). I fianchi hanno acclività e morfologia collegate alle caratteristiche litologico-strutturali del substrato roccioso. Dimensioni, fondo e fianchi, definiscono forme la cui genesi è legata ad assorbimento localizzato (praticamente puntiforme o da punti vicini e concentrati) di acque, con un successivo allargamento radiale per corrosione accelerata. Particolari macromorfotipi sono le doline di crollo, depressioni che si generano per fenomeni di collassamento dei soffitti di cavità prossime alla superficie. Hanno forma solitamente circolare a pozzo, pareti subverticali e possono naturalmente evolvere nel tempo verso forme più ampie e dai fianchi meno acclivi, sul cui fondo si rinvergono depositi grossolani di crollo (Andriani et al., 2001). La presenza delle doline incide notevolmente sulla pianificazione territoriale, specie in base alle dimensioni ed alla morfologia.

Morfologie carsiche ipogee

Nel territorio comunale sono state catastate, fino alla data del 15 gennaio 2009, 782 grotte e 790 ingressi di cavità, evidenziando un'alta densità di cavità comunicanti con la superficie.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 16 di 60 |

Gli ingressi delle cavità sono stati inseriti nella Carta geomorfologica con un simbolo ed il codice identificativo del Catasto regionale delle grotte. I dati specifici relativi alle cavità del comprensorio in argomento sono reperibili presso il Servizio Geologico della Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia e il Catasto Regionale delle grotte del Friuli Venezia Giulia (Cucchi et al., 1993).

3.2.1.2 *L'area costiera*

La linea di costa viene condizionata dalla morfologia collinare legata alla compagine arenaceo marnosa del Flysch di Trieste, dai riporti antropici e dai depositi alluvionali. I versanti, specie quelli più acclivi, sono interessati da diversi fenomeni di dissesto geostatico (segnati nella Carta geomorfologica) quali crolli e ribaltamenti, in particolare dalle pareti calcaree, scivolamenti delle coltri detritiche e scivolamenti traslativi e/o rotazionali delle parti di alterazione del Flysch.

3.2.1.3 *L'area collinare nel Flysch di Trieste*

L'area collinare impostata nelle rocce marnoso arenacee del Flysch di Trieste dalla quota circa 200 m s.l.m verso Sud-Est fino alla fascia altitudinale oltre la quota 250 m s.l.m.. Le pendenze dei versanti presentano valori abbastanza costanti (15-30%); valori più elevati si riscontrano nella stretta fascia tra l'altopiano carsico e la costa a Nord di Trieste e più in generale nelle parti basse dei rilievi interessate dai solchi torrentizi.

Le rocce marnoso arenacee sono incise da un reticolo idrografico spiccatamente erosivo, che ha formato valli a V e le cui aste torrentizie presentano materassi alluvionali solo nella parte inferiore.

3.2.1.4 *Le piane alluvionali ed i riporti*

Nel territorio sono presenti limitate piane alluvionali tra il territorio collinare e lo sbocco a mare. Bonifiche e interramenti eseguiti nei secoli scorsi modificarono profondamente la morfologia dell'area costiera. Nel 1788 venne recuperata un'ampia zona di mare da Piazza dell'Unita d'Italia a Campo Marzio, negli anni successivi al 1855, soprattutto dal 1868 al 1883, venne recuperata a mare l'area dell'attuale Porto Franco Vecchio, prelevando il materiale dal Colle di Greta e dalle cave di Sistiana. Successivamente furono colmate l'area del Porto Franco Nuovo e successivamente le altre zone litoranee. Nella Carta geomorfologica sono state campite le aree di ripascimento e tombamento riconosciute lungo tutta l'area portuale e costiera.

Nella Figura 3-5 è riportato lo stralcio della carta geomorfologica allegata al PRGC del Comune di Trieste (anno 2008) che mostra le principali caratteristiche della zona interessata dalle opere in progetto. In particolar modo evidenzia come tutta l'area di Campo Marzio sia frutto di una grande opera di recupero di terreno dal mare attraverso terrapieni. Si nota inoltre la presenza di opere di difesa antropiche tra la ferrovia e le prime case.

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 17 di 60 |

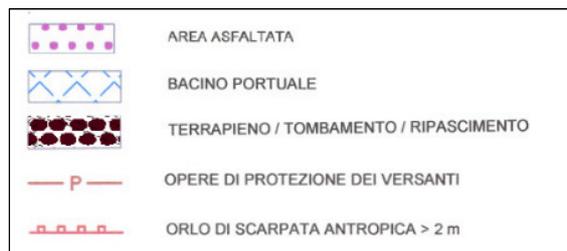
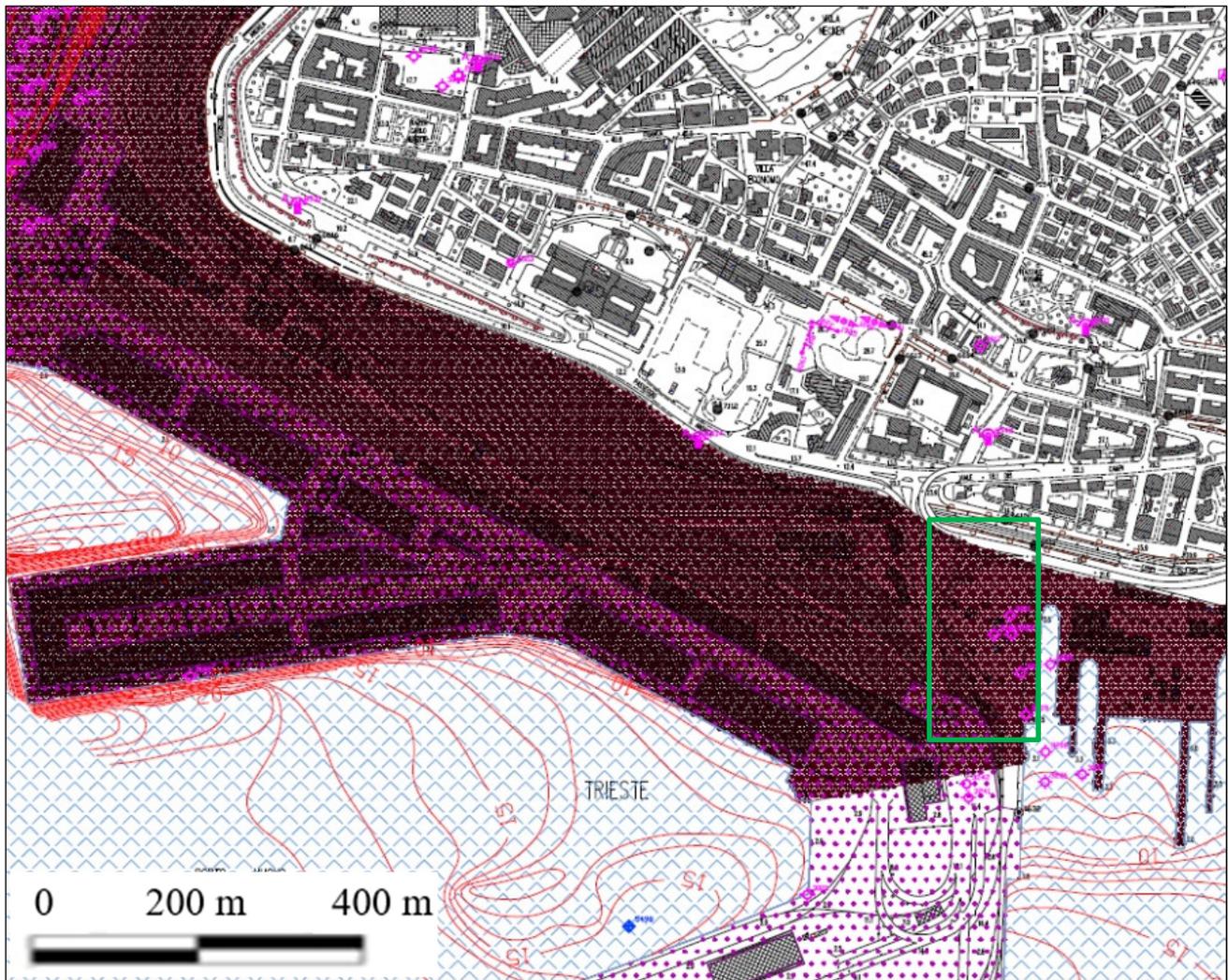


Figura 3-5 – Stralcio, non in scala, della carta geomorfologica del Comune di Trieste (scala originale 1:5.000, anno 2008) con legenda. In verde l'area di progetto.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 18 di 60 |

4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nel territorio carsico maturo di Trieste si riconosce sviluppata all'interno della massa rocciosa una rete eterogenea e non uniforme di vuoti collegati composta da una "rete a dreni dominanti" cui fanno capo localmente alcuni "dreni interdipendenti". Ne consegue la presenza di numerose vie di drenaggio con una circolazione semidispersiva nella rete di condotti e fratture con tratti anche sifonanti e più zone saturate interdipendenti. Si possono tuttavia distinguere in linea di principio tre zone idrogeologiche diverse, una sottostante detta "zona satura" i cui vuoti comunicanti sono tutti completamente riempiti d'acqua, una intermedia detta "zona di oscillazione" i cui vuoti sono riempiti d'acqua solamente per il tempo necessario a smaltire le acque entrate nell'idrostruttura, una superiore detta "zona vadosa" interessata prevalentemente da acque di percolazione. In sintesi, la zona satura, o meglio la superficie piezometrica della falda durante i periodi di magra o di normalità, è posizionata nel Carso triestino competente al Comune di Trieste a quote che vanno dai 2-5 m s.l.m. in corrispondenza del settore di Aurisina ai 12-13 metri nel settore di Prosecco - Opicina - Trebiciano. La superficie non è naturalmente continua, numerosi sono i volumi praticamente asciutti in cui i piani di discontinuità non sono sufficientemente aperti e persistenti da consentire la presenza di acqua in movimento. La disomogeneità è anzi notevole, l'organizzazione e le dimensioni del reticolo decisamente "casuali". Nel settore nord occidentale del Carso la quota della superficie freatica in condizioni di normale impingimento è posizionata a quote variabili da 2.0 a 5.0 metri s.l.m. e lo spessore della zona di oscillazione è di circa 3-4 metri durante le piene normali, 6-7 durante le piene eccezionali (Ballarin et al., 2000). Acque di falda sono presenti anche nella compagine in Flysch e nei depositi sciolti più recenti. Nelle aree a substrato non carbonatico, nelle zone superficiali di copertura terroso detritica, di alterazione e negli spessori scompaginati ed alterati della successione arenaceo marnosa, le acque sono generalmente presenti con uno spessore limitato ed a circolazione lenta. Il loro spessore, l'andamento della superficie piezometrica, le direzioni di deflusso, le velocità di deflusso dipendono naturalmente dalla permeabilità complessiva dell'acquifero oltre che dalla morfologia dell'*acquitarzo* o dell'*acquiclude*. Anche orizzonti arenacei fratturati possono divenire acquiferi di una certa importanza: sono solitamente comunque limitati in spessore ed ampiezza, specie per la complessità del quadro geologico strutturale. Possono però dar luogo a piccole sorgenti, solitamente temporanee. Data l'alta antropizzazione e la generica superficialità si tratta comunque di acque ad alta vulnerabilità e dalla qualità spesso compromessa. Esse tuttavia, vista l'influenza che hanno sulle caratteristiche geotecniche dei materiali di copertura e degli orizzonti marnosi del Flysch, costituiscono con la loro presenza un parametro da tenere in debita considerazione. I bacini idrografici del reticolo in Flysch hanno spesso lo spartiacque superiore nei terreni calcarei, il che determina talora incongruenze tra gli spartiacque superficiali e gli spartiacque sotterranei. I torrenti coperti sono talora soggetti a ostruzioni per sovralluvionamento da parte di materiali prevalentemente sabbiosi trasportati e depositi nelle parti terminali, in prossimità del mare.

Dal punto di vista idrogeologico è possibile individuare nell'area comunale triestina la presenza di tre complessi principali e precisamente:

- rocce sciolte permeabili per porosità (ghiaie, sabbie e argille delle serie alluvionali, colluviali ed eluviali e sedimenti marini) a permeabilità variabile a seconda della granulometria. Mentre per le ghiaie alluvionali si può parlare di veri e propri acquiferi, per i materiali più fini si può parlare di falda fermo restando che per alcuni di essi, come i sedimenti marini, la trasmissività è molto ridotta;
- rocce lapidee permeabili per fessurazione (rocce marnoso-arenacee a ridotta o scarsa permeabilità) interessate dalla presenza di acque sotterranee la cui circolazione è strettamente legata alle caratteristiche geologiche e perciò diversa tra la facies arenacea (più permeabile) e quella marnosa (meno permeabile);
- rocce lapidee permeabili per carsismo (successione carbonatica di alta permeabilità) caratterizzate da un regime idraulico di tipo carsico.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 19 di 60 |

L'assetto idrogeologico dell'area è sostanzialmente rappresentato da corpi idrici che defluiscono verso mare dai versanti collinari e che, nella maggior parte dei casi, sono ubicati al contatto tra gli strati argilloso-limosi impermeabili ed i sovrastanti terreni di riporto. L'analisi dei dati esistenti per il comprensorio triestino, ha consentito di evidenziare che l'escursione della falda è alquanto modesta, se non inesistente e ciò consente di affermare che il livello piezometrico è omogeneo ed uniforme, con un assetto idraulico di raccordo della falda verso la linea di costa. Pertanto, l'assetto idrogeologico dell'area è sostanzialmente determinato dall'apporto delle acque superficiali intercettate dai versanti collinari posti a Est/Nord-Est dell'area di studio, le quali si infiltrano nel sottosuolo lungo le discontinuità e le fratturazioni presenti nei primi metri di terreno, per poi defluire verso valle con modeste portate e velocità all'interno dei terreni antropici di riporto ben permeabili, dove raggiungono il loro equilibrio piezometrico entrando a contatto con le acque marine salmastre. Questo assetto idrogeologico generale in corrispondenza delle aree urbanizzate ed edificate è stato antropicamente modificato, poiché attualmente il deflusso delle acque meteoriche, anche in occasione di precipitazioni intense, avviene attraverso le opere di dreno, raccolta e canalizzazione con loro successivo smaltimento nella rete fognaria esistente. L'idrogeologia dell'area è, pertanto, rappresentata piuttosto che da una vera e propria falda freatica, da un corpo idrico limitato, non sempre continuo, posto ad una quota piezometrica prossima al piano campagna, che nell'area in esame è pari all'incirca a quella del livello marino e di cui segue le oscillazioni di marea con una ricarica ridotta e direttamente correlata alle precipitazioni meteoriche.

E' da considerarsi dunque un'interazione diretta tra tale corpo idrico e le acque marine. Sull'elaborato carta geologica e profilo geologico (codifica IZ0C00F69NZGE0001001A) è riportata la linea di limite superiore della zona soggetta a verifica altimetrica di sicurezza nei confronti dell'ingressione marina. Questa linea, che è ripresa dalla carta della Zonizzazione Geologico Tecnica redatta, nel 2013, per il Piano Regolatore Generale Comunale avente come fonte bibliografica la cartografia redatta nel 1996 dall'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università degli Studi di Trieste. (L.R. 27/88), definisce l'area soggetta ad allagamenti per innalzamento del livello marino.

La linea di limite superiore della zona soggetta a verifica altimetrica di sicurezza nei confronti dell'ingressione marina si attesta all'altitudine di +2.5 m.s.l.m. e divide la porzione nord del tracciato, comprendente la galleria in progetto situata al di sopra di questa linea, dalla porzione sud che è invece al di sotto di essa, e risulterebbe dunque a rischio ingressione marina. Ciò detto, è possibile notare come:

- La parte di tracciato sino alla p.k. 0+125, comprendente dunque la galleria in progetto che si sviluppa tra quote comprese tra 5,00 m s.l.m. e 3,60 m s.l.m. risulta al di fuori dell'area potenzialmente soggetta ad innalzamento marino, e pertanto le opere non sono interessate dalla potenziale interazione con acqua marina;
- La parte di tracciato dalla p.k. 0+125 a fine tracciato, risulterebbe invece potenzialmente coinvolta da tale fenomeno. Considerato però che il tracciato si sviluppa interamente in rilevato a quote comprese tra m 3,60 s.l.m. e 3,25 s.l.m., si può ragionevolmente escludere un'interazione tra l'opera e l'ingressione marina.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 20 di 60 |

5 ANALISI DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO

Per quanto concerne i rischi di natura geologico-geomorfologica si fa riferimento al “PAIR”, Piano stralcio per l’assetto Idrogeologico dei bacini di interesse regionale (bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, ivi compresa la laguna medesima, del torrente Slizza e del levante) predisposto dalla Regione Friuli Venezia Giulia, secondo quanto previsto dalla L.R. 3 luglio 2002 n.16 e s.m.i. “Disposizioni relative al riassetto organizzativo e funzionale in materia di difesa del suolo e di demanio idrico”, così come modificata dalla L.R. 29 aprile 2015 n. 11 ed in ottemperanza al D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 “Norme in materia ambientale”, di perimetrazione e classificazione dei bacini di competenza regionale relativamente alla pericolosità idraulica e geologica.

La Relazione Tecnica di piano (settembre 2016) esplicita che “il Piano ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, tecnico operativo e normativo che:

- individua e perimetra le aree fluviali e quelle di pericolosità geologica ed idraulica;
- stabilisce direttive sulla tipologia e la programmazione preliminare degli interventi di mitigazione o di eliminazione delle condizioni di pericolosità;
- detta prescrizioni per le aree di pericolosità e per gli elementi a rischio classificati secondo diversi gradi;”

L’Articolo 4 definisce le classi di Pericolosità e Rischio idrogeologico:

1. Il Piano, sulla base delle conoscenze acquisite e dei principi generali contenuti nella normativa vigente, classifica i territori in funzione delle diverse condizioni di pericolosità, nonché classifica gli elementi a rischio, nelle seguenti classi:

pericolosità

P4 (pericolosità molto elevata)

P3 (pericolosità elevata);

P2 (pericolosità media);

P1 (pericolosità moderata);

elementi a rischio

R4 (rischio molto elevato);

R3 (rischio elevato);

R2 (rischio medio);

R1 (rischio moderato).

2. Le classi di pericolosità identificano il regime dei vincoli alle attività di trasformazione urbanistica ed edilizia di cui al titolo II delle presenti norme di attuazione; le classi degli elementi a rischio, ove definite, costituiscono elementi di riferimento prioritari per la programmazione degli interventi di mitigazione e per le misure di protezione civile.
3. Agli elementi a rischio si applica la stessa disciplina della corrispondente classe di pericolosità.
4. Nel caso in cui all’interno di un’area classificata pericolosa siano presenti elementi a rischio classificati di grado diverso si applica la disciplina della corrispondente classe di rischio.
5. Le limitazioni e i vincoli posti dal Piano a carico di soggetti pubblici e privati rispondono all’interesse generale della tutela e della protezione degli ambiti territoriali considerati e della riduzione delle situazioni di rischio e pericolo, non hanno natura espropriativa e non comportano corresponsione di indennizzi.”

Si riporta di seguito uno stralcio della Tavola 06 (scala 1:5.000), Allegato 37 al PAIR, la quale riporta le aree a Pericolosità e Rischio Idrogeologici per il Comune di Trieste (aggiornamento del 2016). Analizzando dunque la cartografia, il tracciato in progetto (localizzato all'interno del rettangolo rosso in Figura 5-1) non risulta intersecare alcuna fascia classificata a pericolosità o elementi classificati a rischio idrogeologico.

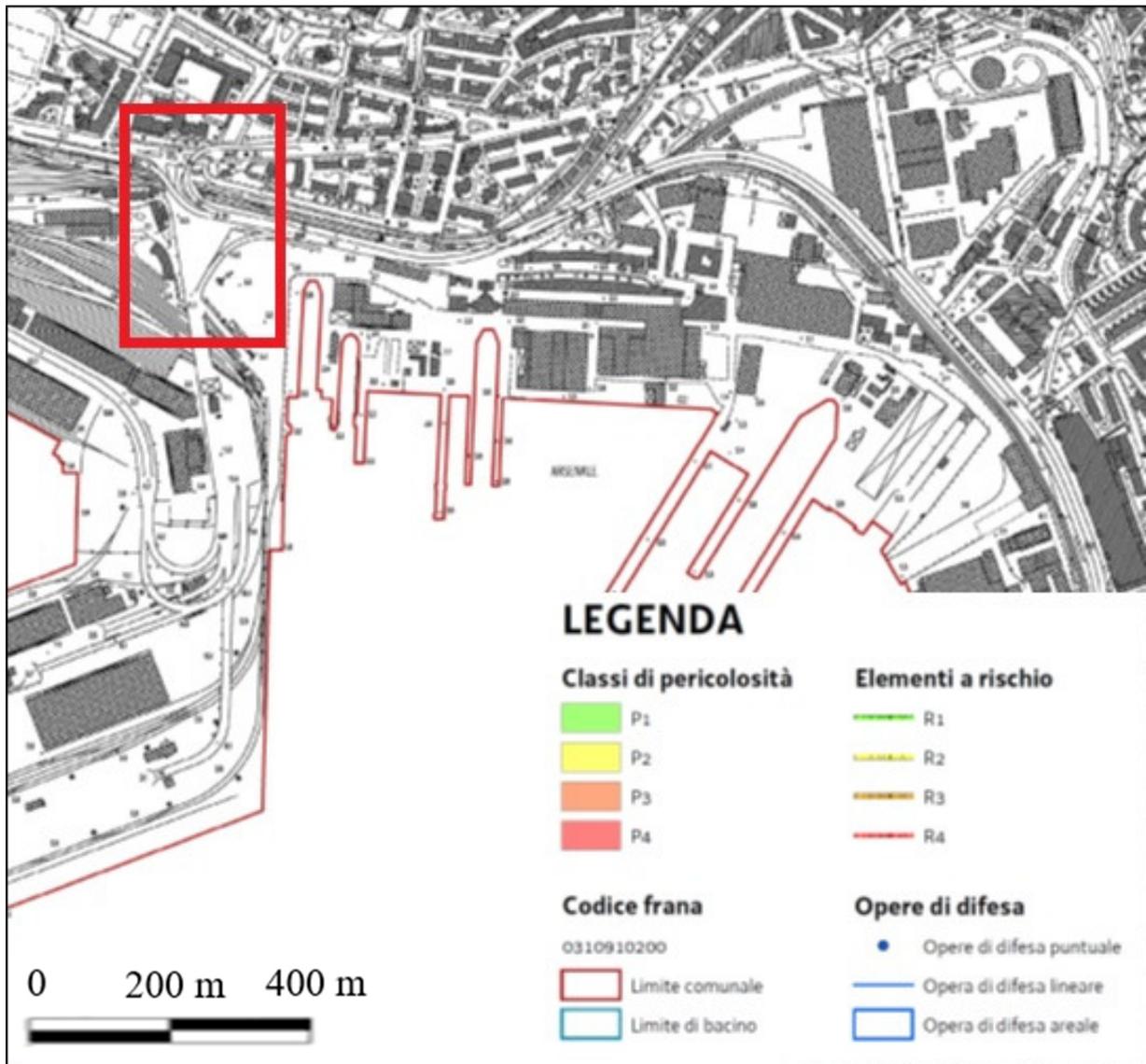


Figura 5-1 – Stralcio, non in scala, della Tavola 06 allegata al PSAI dei bacini di interesse regionale (scala originale 1:5.000, Direzione centrale ambiente ed energia - Servizio geologico Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, settembre 2016). In rosso si delimita l'area ove è ubicato il tracciato in progetto.

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

I dati stratigrafici a supporto del presente studio provengono da una campagna di indagini in sito eseguita nella presente fase e comprendente:

- n°3 sondaggi geognostici realizzati sino alla profondità di 30 m dal p.c. (S2, S3 ed S4);
- n°2 sondaggi orizzontali/suborizzontali realizzati con carotatore elettrico (C1 e C2);
- n°1 prova geofisica Downhole eseguita nel sondaggio S3;
- n°2 prove MASW e Re.Mi. eseguite nell'intorno del sondaggio S4 e parallelamente al piano del ferro attuale;
- n°1 tomografia sismica 2D di tipo Cross-Hole eseguita tra i sondaggi S2 ed S3;
- n°1 prospezione geotomografica eseguita tra il sondaggio S2 ed a cavallo del piano attuale del ferro attuale.

In figura 6-1 è riportata una planimetria con l'ubicazione delle suddette indagini.

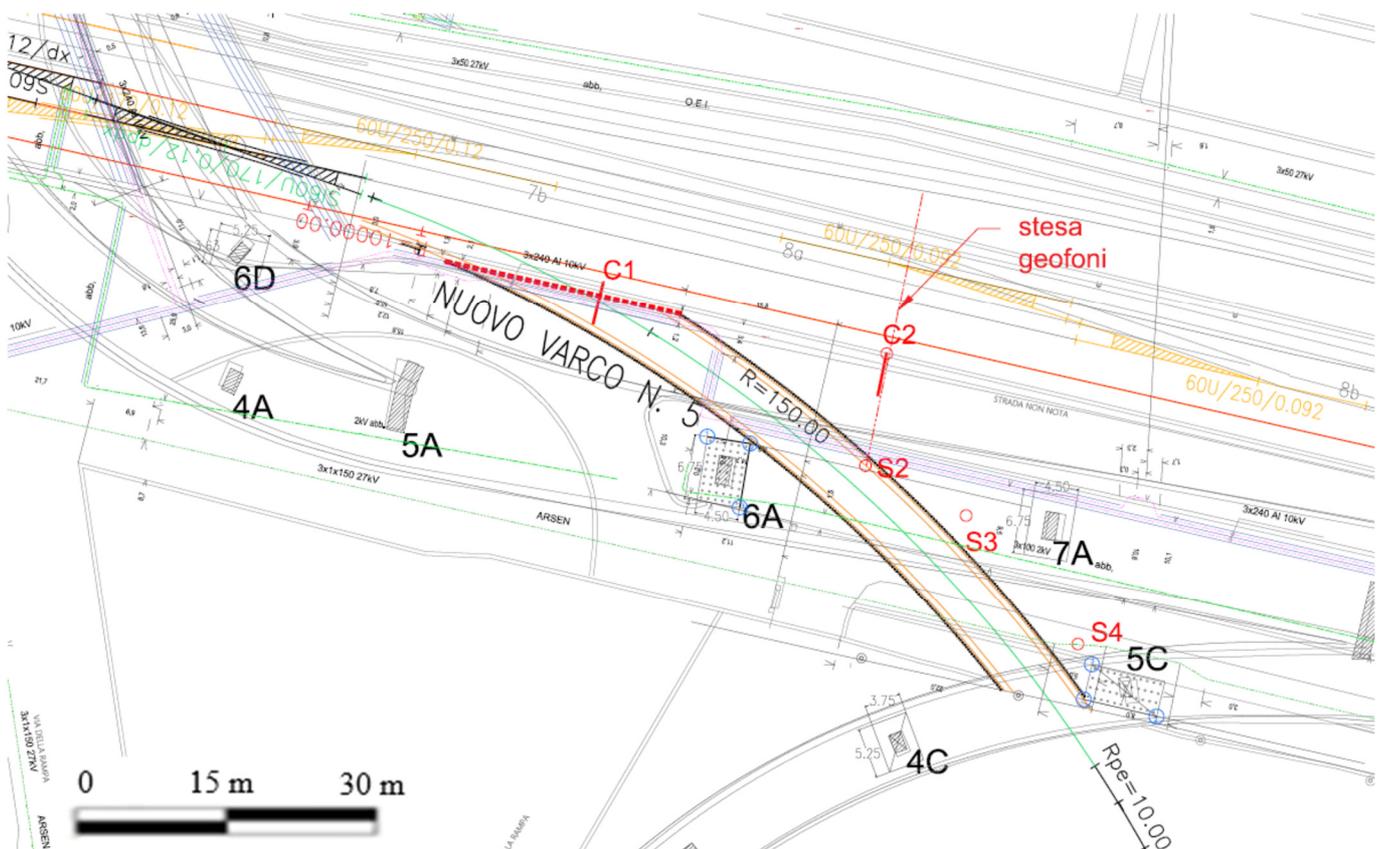


Figura 6-1 Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche eseguite.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| | Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A |

I sondaggi sono stati eseguiti con raccolta di campioni, esecuzione di prove SPT ed esecuzione di prove di permeabilità Lefranc e Lugeon.

Inoltre, sono stati utilizzati i dati provenienti da un sondaggio a carotaggio continuo, il BH1, eseguito nell'anno 2018 nell'ambito del progetto definitivo del "Nuovo ACC di Trieste Campo Marzio" realizzato in un'area adiacente a quella in oggetto (cfr. elaborato "carta geologica con elementi geomorfologici e profilo geologico" con codifica IZ0C00F69NZGE0001001A). In appendice al presente elaborato è riportato il certificato stratigrafico, i risultati delle prove in foro, delle indagini geofisiche eseguite nell'intorno ed una tabella di sintesi delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nel corso della perforazione del sondaggio.

In Tabella 6-1 sono riportate la profondità dei sondaggi eseguiti, la data di esecuzione, la quota e le coordinate in sistema di riferimento Gauss-Boaga. Nella Tabella 6-2 sono riportate le prove LeFranc e nella Tabella 6-3 le prove Lugeon effettuate nei diversi fori di sondaggio, corredate di profondità di esecuzione e valore di permeabilità ottenuti (in m/s). In Tabella 6-4 sono riportate le prove geofisiche eseguite.

Tabella 6-1 - Ubicazione dei sondaggi effettuati

| SONDAGGI | | | | | |
|-----------|-----------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|--------------|
| SONDAGGIO | PROFONDITA' (m dal p.c.) | DATA ESECUZIONE | Quota (m s.l.m.) | Coordinate Gauss-Boaga | |
| | | | | E | N |
| BH1 | 30 | 2018 | 2.91 | 2423698.6985 | 5054443.4518 |
| S2 | 30 | 2018 | 12.50 | 2423783.733 | 5054560.485 |
| S3 | 30 | 2018 | 12.50 | 2423796.196 | 5054553.325 |
| S4 | 30 | 2018 | 10.20 | 2423813.398 | 5054540.100 |
| C1 | 2 | 2018 | / | 2423764.052 | 5054578.328 |
| C2 | 2.3 | 2018 | / | 2423786.151 | 5054572.197 |

Tabella 6-2 - Risultati delle prove Lefranc eseguite nei fori di sondaggio

| Sondaggio | Prova | Permeabilità |
|-----------|-----------------------|--------------|
| BH1 | 4.5-5.00 m da p.c. | 2.19E-04 m/s |
| BH1 | 13.00-13.50 m da p.c. | 3.06E-08 m/s |
| S2 | 7.50-9.00 m da p.c. | 7.13E-08 m/s |
| S3 | 4.50-6.00 m da p.c. | 2.38E-07 m/s |
| S4 | 6.00-7.50 m da p.c. | 6.38E-08 m/s |

Tabella 6-3 - Risultati delle prove Lugeon eseguite nei fori di sondaggio

| Sondaggio | Prova | Permeabilità |
|-----------|-----------------------|--------------|
| S2 | 16.00-21.00 m da p.c. | 3.3E-07 m/s |
| S3 | 15.00-20.00 m da p.c. | 5.8E-07 m/s |
| S4 | 16.00-21.00 m da p.c. | 1.9E-07 m/s |

Tabella 6-4 - Prove geofisiche effettuate (cfr. Figura 6-1)

| PROVE GEOFISICHE | | | |
|------------------|--------------------------|--|-----------------|
| PROVA | PROFONDITA' (m dal p.c.) | Tipologia di prova | DATA ESECUZIONE |
| CH-1 | 30 | Tomografia sismica 2-d (tra i sondaggi S2 ed S3) | 2019 |
| CH-2 | 30 | Prospezione geotomografica (tra il sondaggio S2 ed i geofoni G1-G12) | 2019 |
| DH-3 | 30 | Prova down-hole (nel sondaggio S3) | 2019 |
| R1 | - | Prova Re.Mi/MASW | 2019 |
| R2 | - | Prova Re.Mi/MASW | 2019 |

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 25 di 60 |

7 PROFILO STRATIGRAFICO LOCALE

I sondaggi S2, S3 ed S4 mostrano la stratigrafia sino alla profondità di 30 metri dal piano campagna nella zona nella quale è in progetto la galleria al di sotto dei viadotti. Due sondaggi eseguiti con carotatore elettrico a mano, C1 e C2, mostrano la stratigrafia sub orizzontale attraverso il muro di sostegno all'imbocco della nuova galleria. Inoltre, i dati del sondaggio BH1 sono di riferimento per il rilevato dalla p.k. 0+125 a fine tracciato in quanto il bocca foro è alla stessa quota altimetrica.

I dati stratigrafici ottenuti dai quattro sondaggi verticali sono sostanzialmente concordanti e sono stati utilizzati per la ricostruzione di un profilo geologico ed idrogeologico lungo la traccia del binario in progetto (cfr. carta geologica e profilo geologico, elaborato con codifica IZ0C00F69NZGE0001001A; carta idrogeologica e profilo idrogeologico, elaborato con codifica IZ0C00F69NZGE0002001A).

Il tracciato si sviluppa per una lunghezza di circa 400m ed evidenzia la presenza di almeno 2 metri di asfalto e terreni di riporto vari in superficie per tutto il suo sviluppo.

I terreni di riporto utilizzati per creare il terrapieno artificiale su cui sorge l'interscambio di Trieste Campo Marzio sono composti prevalentemente da sabbia e ghiaia limoso argillosa, frammenti di ballast e frammenti di laterizi.

Al di sotto della colmata antropica i sondaggi identificano terreni prevalentemente limosi e corpi sabbioso ghiaiosi spesso alternati a livelli litoidi marnosi e marnoso-arenacei. Questi terreni sono presenti, con alcune differenze principalmente legate all'abbondanza di frazione fine, in tutti i sondaggi eseguiti in spessori variabili tra 3 e circa 13m. I terreni limosi, presenti al tetto delle successioni, sono da probabilmente legati a deposizione lagunare a bassa energia precedente alla realizzazione della colmata. I corpi sabbioso ghiaiosi e le litologie sciolte alternate a livelli litoidi costituiscono probabilmente la zona di alterazione dei sottostanti Flysch di Trieste; la variabilità di spessore è da attribuire all'esistenza di tasche di alterazione più pronunciata in alcune zone e meno accentuata in altre. Data la variabilità dello stato di alterazione superficiale non è possibile definire con certezza assoluta gli spessori in ogni punto della sezione con i sondaggi disponibili.

Al di sotto dei terreni sopra descritti si trova fino alle quote massime investigate dai sondaggi (30m dal piano campagna), il bedrock litoide costituito da alternanze tra livelli marnosi e livelli arenacei che può essere correlato tra tutti i sondaggi e che appartiene alla formazione dei Flysch di Trieste FT descritti nel Paragrafo 3.1.2. Sulla base degli RQD misurati durante l'esecuzione dei sondaggi è possibile affermare che l'ammasso roccioso risulta, nel sondaggio BH1, di qualità da scarsa a discreta (da 40 a 80%) sino a 26 m da p.c. e buono da 26 m sino a 30 m da p.c. (da 80 a 90%), mentre nei 3 sondaggi S2, S3, S4 l'ammasso roccioso risulta essere di buona qualità con RQD% sempre superiori ad 80.

Il livello di falda, rilevato durante la realizzazione delle perforazioni, si trova rispettivamente a 9,30 m in S2, 10,70 m in S3 e a 6,80 m in S4. Durante la realizzazione del sondaggio BH1 la soggiacenza individuata era di 2,8 m. Questi valori sono congruenti gli uni con gli altri e mostrano una risalita del livello di falda dal mare verso l'entroterra. Nella porzione di zona di progetto più all'interno della SS202 il livello di falda si trova a circa 3 m.s.l.m. mentre verso mare si attesta intorno agli 0 m.s.l.m.

A seguito della realizzazione dei piezometri è iniziato un monitoraggio piezometrico nei punti S4 e BH1, al fine di valutare la soggiacenza della falda nell'area e le sue oscillazioni. Le letture attualmente disponibili sono relative al 30-04-2019 ed al 13-06-2019. Si riporta dunque in Tabella 7-1 i valori di soggiacenza (m da p.c.) e quota falda (m s.l.m.) relativi a tali letture:

| | | | | | | |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 26 di 60 |

Tabella 7-1 – Monitoraggio piezometrico 2019 nei piezometri BH1 ed S4

| | 30/04/2019 | | 13/06/2019 | |
|------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | soggiacenza (m da p.c.) | quota (m s.l.m.) | soggiacenza (m da p.c.) | quota (m s.l.m.) |
| BH1 | -2,5 | 0,5 | -2,64 | 0,36 |
| S4 | -7,74 | 0,26 | -6,79 | 1,21 |

Come è possibile osservare, i valori di soggiacenza risultano coerenti con quelli registrati in fase di perforazione; si fa notare comunque come il valore registrato in S4 si sia abbassato di 0.94 m rispetto a quanto rilevato in fase di perforazione.

Per quanto concerne la permeabilità dei materiali individuati dai sondaggi, essa è stata indagata tramite prove di permeabilità di tipo Lefranc (in terreno sciolto) e Lugeon (in roccia). In particolare, sono state eseguite 2 prove in ogni sondaggio (tra LeFranc e Lugeon). Analizzando i risultati ottenuti da tali prove si può notare come la prova eseguita a 4.5 m di profondità nel sondaggio BH1 interessi i materiali di riporto, in particolare mostrando un valore di permeabilità medio-elevato ($2.19E-04$ m/s) abbastanza coerente con la natura sabbiosa di tali materiali. Le restanti prove effettuate sia in roccia che in terreno sciolto evidenziano permeabilità basse dell'ordine di $10^{-7} - 10^{-8}$ m/s. Questi valori di permeabilità sono coerenti con le unità limose e la fratturazione della roccia presente ma non concordano con la presenza di lenti principalmente sabbioso ghiaiose che dovrebbero presentare una permeabilità maggiore, dell'ordine di $10^{-4} - 10^{-5}$ m/s. E' pertanto necessario ricordare come queste prove di permeabilità abbiano valore locale. Dai dati ottenuti è comunque possibile affermare che, al di sotto dello strato superficiale di terreni di riporto, la permeabilità generale lungo la sezione in oggetto risulta essere mediamente bassa. Nella Carta e profilo idrogeologico (elaborato con codifica IZ0C00F69NZGE0002001A) allegata al presente studio sono state assegnate classi di permeabilità ai materiali riconducibili a terreni (medio-bassa e bassa), mentre per quanto concerne i riporti non è stato assegnato un range di permeabilità vista la natura variabile di tali materiali, si ritiene comunque che essa sia ipotizzabile come medio-elevata. Infine, per quanto concerne i materiali lapidei del Flysch di Trieste la permeabilità è governata principalmente dalla fratturazione, risulta dunque anche in questo caso difficoltoso assegnare un range data la variabilità di tale caratteristica, si può comunque dedurre dagli RQD e dalle carote ottenute dai sondaggi che il grado di fratturazione risulta essere limitata già intorno ai 20 metri di profondità e si osservano rare zone di fratturazione intensa.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 27 di 60 |

8 INQUADRAMENTO SISMICO

8.1 PREMESSA

Nel seguito si fornisce un inquadramento dell'area di progetto dal punto di vista della sismicità locale, a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e degli effetti macrosismici registrati al sito nel corso di terremoti storici. Successivamente, per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, si farà diretto riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018) sulla base del periodo di ritorno del terremoto di progetto e dei relativi valori di pericolosità sismica. Con riferimento alle indicazioni normative verrà definita una accelerazione di progetto in funzione delle coordinate geografiche e della vita nominale delle opere. Ai sensi delle NTC2018, l'azione sismica deve essere innanzitutto determinata in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1), facendo riferimento alle tabelle in allegato in allegato alla edizione 2008 delle NTC; tali tabelle elencano i valori di accelerazione massima al suolo e i parametri spettrali in corrispondenza dei punti di una griglia di apertura 5x5 km a coprire il territorio nazionale (vedasi il dettaglio dell'area del Comune di Trieste in Tabella 8.1).

Per la localizzazione delle opere in progetto, può essere fatto riferimento alla Figura 8-2 dove vengono altresì indicati i punti sede di indagini geofisiche e geotecniche.

Sulla base dei parametri indicati dalle NTC2018 si definiranno nei paragrafi successivi i valori di pericolosità sismica di progetto per definite probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento dell'azione sismica in relazione ai diversi Stati Limite considerati.

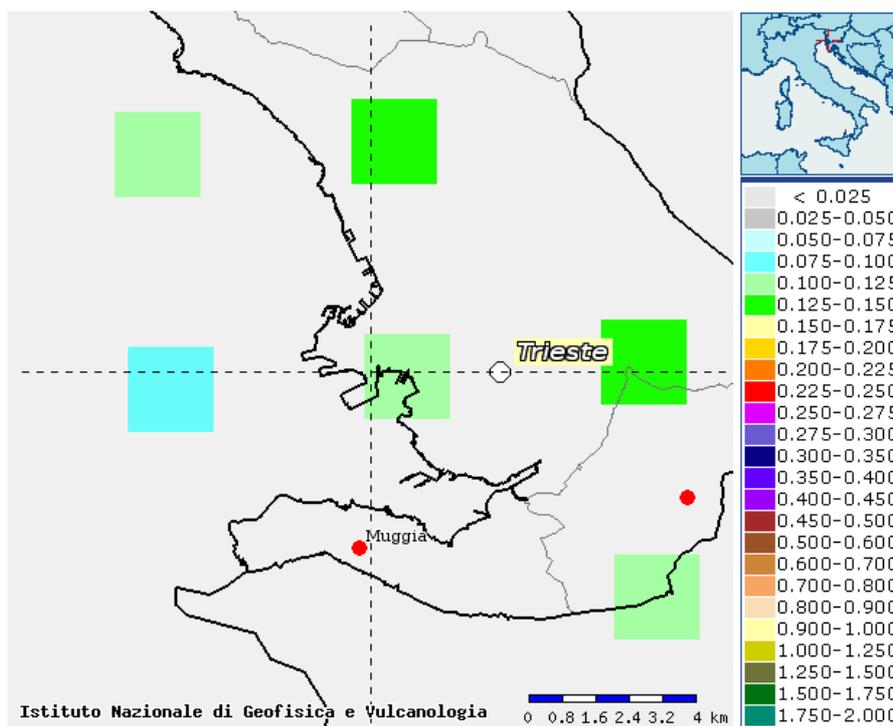


Figura 8-1 - Valori di pericolosità sismica nell'intorno dell'area di progetto da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

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

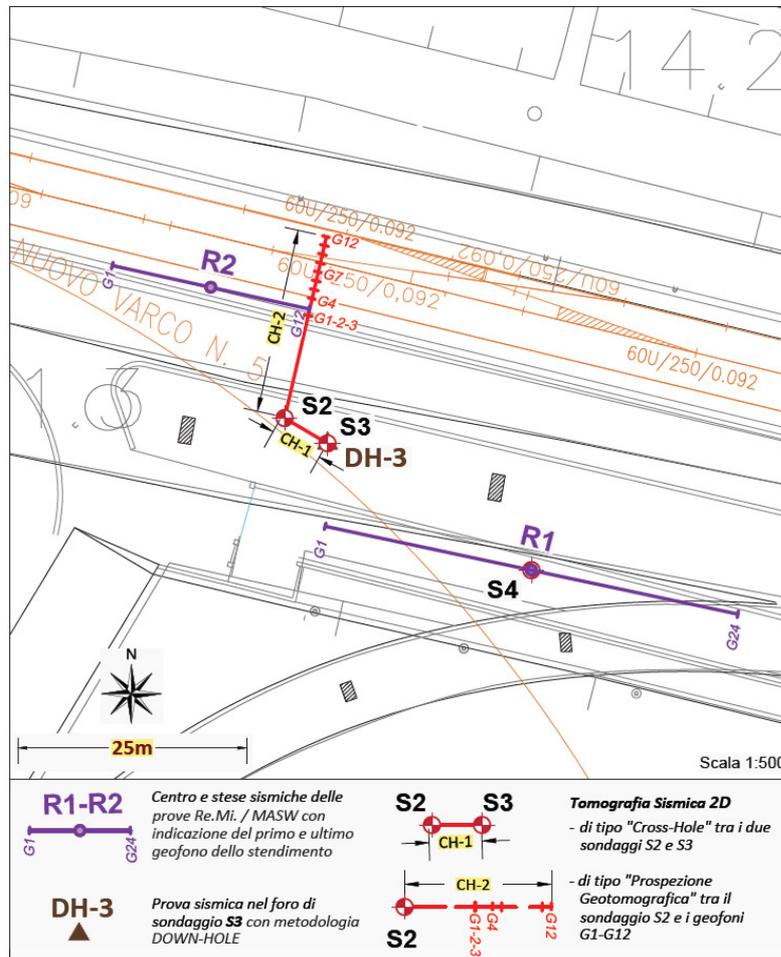


Figura 8-2 – Planimetria delle opere in progetto con la localizzazione dei sondaggi eseguiti.

8.2 STRUTTURE TETTONICHE E AREE SISMOGENETICHE

Trieste è situata nel dominio geologico-strutturale delle Dinaridi, all'angolo nord-orientale della zona di collisione tra microzolla adriatica (Adria) ed Europa. La microzolla adriatica è un blocco di litosfera continentale che comprende il bacino dell'Adriatico, relativamente stabile (pianura padana, mare Adriatico, e Apulia), circondato rispettivamente ai margini orientale, settentrionale, e occidentale dalle Dinaridi (e Albanidi), Alpi orientali ed Appennini (Figura 8-3). Nel seguito, verrà dapprima tratteggiato il ruolo della microzolla adriatica nel contesto sismo tettonico regionale, spostando successivamente l'attenzione sull'area delle Dinaridi, un sistema strutturale complesso risultante dalla collisione e dallo scorrimento della microzolla adriatica al di sotto della crosta continentale europea, in direzione N-NE.

La microzolla adriatica

L'evoluzione tettonica del Mediterraneo centrale è stata profondamente influenzata dalla microzolla adriatica. Secondo Oldow et al. (2002), le rocce della catena delle Dinaridi si staccarono dal basamento adriatico e subirono una contrazione diretta verso ovest, a partire dal Cretacico. A Nord, la porzione della zolla adriatica, a costituire la falda Austro-Alpina, ha sovra-scorsato il margine continentale europeo per essere poi, dal Paleocene all'Olocene viene schiacciata dalla compressione diretta verso Sud. La porzione occidentale della microzolla adriatica rimase indeformata sino al Neogene, quando la rotazione in senso antiorario del blocco sardo-corso staccatosi dalla Francia

ha dato luogo alla collisione del Miocene antico ed all'inizio dell'orogenesi peri-Tirrenica sulla terraferma italiana e in Sicilia. Si noti che la tettonica dell'Adriatico non è ben vincolata e la sua cinematica rimane controversa (Mantovani et al., 1990). I meccanismi focali dai terremoti recenti e le misure geodetiche mostrano deformazioni su faglie inverse e trascorrenti tali da causare un accorciamento in direzione NE-SO lungo la costa orientale dell'Adriatico (Anderson & Jackson, 7 1987).

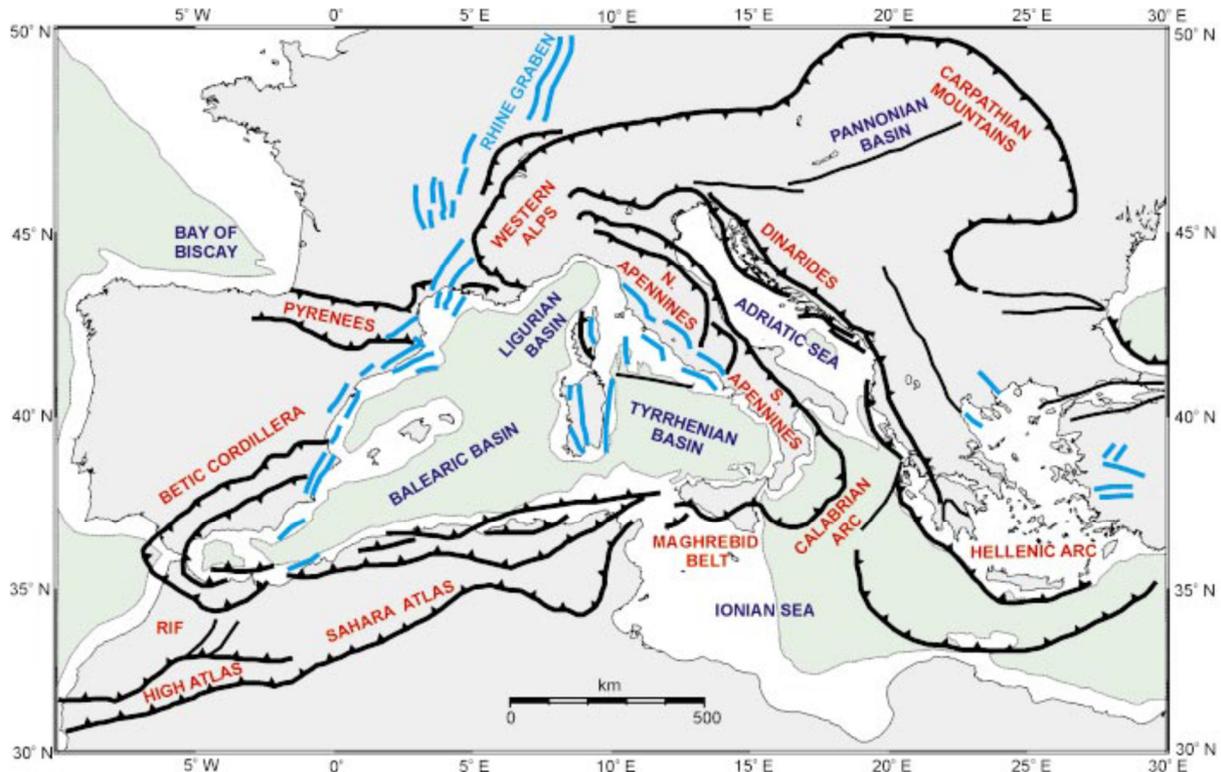


Figura 8-3 - Contesto tettonico del Mediterraneo occidentale e centrale. I sistemi di faglie inverse (thrust) sono indicati mediante linee nere aventi i dentini sulla zolla continentale superiore, le faglie trascorrenti da linee nere semplici, le faglie distensive da linee blu. Profondità dei fondali marini da 0 a 1000 m per le zone in bianco e > 1000 per le zone in verde. Da Oldow et al. (2002).

Regione di Trieste, all'angolo NE della zona di collisione Adria-Europa

L'interpretazione dell'assetto geologico e tettonico della regione delle Dinaridi, comprendente la Croazia nord-occidentale, la Slovenia e le zone vicine, tra cui la porzione più orientale della Venezia Giulia, è in rapida evoluzione. Viene riportato nel seguito, ed utilizzato in questo studio ai fini di inquadramento, un tentativo recente di omogeneizzare la classificazione di 184 sorgenti sismogenetiche nella regione dei Balcani effettuato all'interno del progetto europeo SHARE (Kastelic et al., 2012; Basili et al., 2011).

In termini strettamente sismologici, la Figura 8-4 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti storici e di quelli rilevati strumentalmente inclusi nel catalogo di SHARE (accessibile da <http://www.efehr.org:8080/jetspeed/portal/hazard.psml>, v. Giardini et al. 2013), unito al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida, 2011). Gli epicentri sono sovrapposti alle zone sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 e NTC2018), ed alle zone sismogenetiche del progetto SHARE (Giardini et al., 2013) per la parte di Austria, Slovenia e Croazia. Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) e sistemi di faglie

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 30 di 60 |

composite (CSS) tratti dal progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura geologica, sia derivate dalla sismicità storica.

Sulla base della zonazione sismogenetica denominata ZS9 (Meletti et al., 2008) realizzata dall'INGV, la sismicità dell'area Veneto Orientale Friulana è governata dalle aree sismogenetiche identificate come 904, 905 e 906 (Figura 8-4) e legate all'interazione Adria-Europa. Tali zone sono caratterizzate dalla massima convergenza tra le placche adriatica ed europea, oltre che caratterizzate dalle strutture a pieghe Sud-vergenti del Sud Alpino Orientale e faglie inverse associate (Zanferrari et al., 2002; Slejko et al., 1989; Valensise e Pantosti, 2001 e Galandini et al., 2002) e, nelle aree ad Est del confine friulano, da faglie trascorrenti destre con direzione NW-SE (trend dinarico).

La ZS904, zona più prossima al sito di progetto, rappresenta il fronte transpressivo della regione delle Dinaridi, mentre la zona SIAS196 raccoglie la sismicità medio-bassa della Slovenia centrale.

A Sud-Est del sito di progetto, la zona SIAS193, copre la ZS904 ed include gli eventi storici con magnitudo media aventi epicentro a Nord della Croazia. L'evento con magnitudo maggiore è rappresentato dal terremoto di Rijeka del 1721 ($M_w=6.41$).

La ZS905 è caratterizzata dall'elevata sismicità delle spinte alpine più attive in Veneto e Friuli, e dalla sismicità mista (alpina e dinarica) dell'area di confine tra Italia e Slovenia. In questa zona le caratteristiche di sismicità in termini di magnitudo massima (~ 6.5) e frequenza degli eventi sono nettamente superiori rispetto alle altre, come evidente dalla distribuzione degli epicentri di Figura 8-4. Fra gli eventi più significativi della storia recente in quest'area, si ricorda il terremoto dei Friuli del 1976. I terremoti di questa regione, sono ben vincolati e associati, in letteratura, a specifiche sorgenti sismiche sulla base di dati geologici affidabili ed il valore di M_w massima è di 6.66.

Procedendo verso O, la zona 906 include terremoti di media magnitudo legati alle spinte della cintura sub-alpina dal Veneto centrale al Lago di Garda. Questa zona presenta caratteristiche sismiche nettamente diverse dall'adiacente zona 905. Essa include terremoti originati nella pianura del Po i cui dati sono sicuramente più scarsi e di affidabilità incerta, come ad esempio l'evento del Veronese del 1117 di $M_w \sim 6.5$, la cui sorgente non è stata ancora definita in letteratura (Galandini et al., 2001) e del Bresciano del 1222, $M_w \sim 6$, il quale ha interessato una porzione della provincia di Brescia in cui è presente un sistema di faglie inverse. In questa zona gli ipocentri sono localizzati a profondità comprese tra 5 e 8 km; sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori $M_{max} = 6.60$.

Le potenziali strutture di faglia più vicine all'area di progetto, riportate in Figura 8-5 dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2.1 (DISS Working Group 2018), sono costituite da sistemi di faglie composite (CSS), all'interno delle quali vengono classificate alcune sorgenti individuali (ISS). Le faglie più prossime sono la ITCS100 (Northern Trieste Gulf) e la ITCS101 (Southern Trieste Gulf) con $M_{max} = 6.5$. Nell'area di Croazia e Slovenia, le faglie più vicine sono HRCS032 (Trstenik), HRCS029 (Lupoglav) e SICS004 (Branik-Ilirska Bistrica) con magnitudo massima rispettivamente pari a 6, 6 e 6.5.

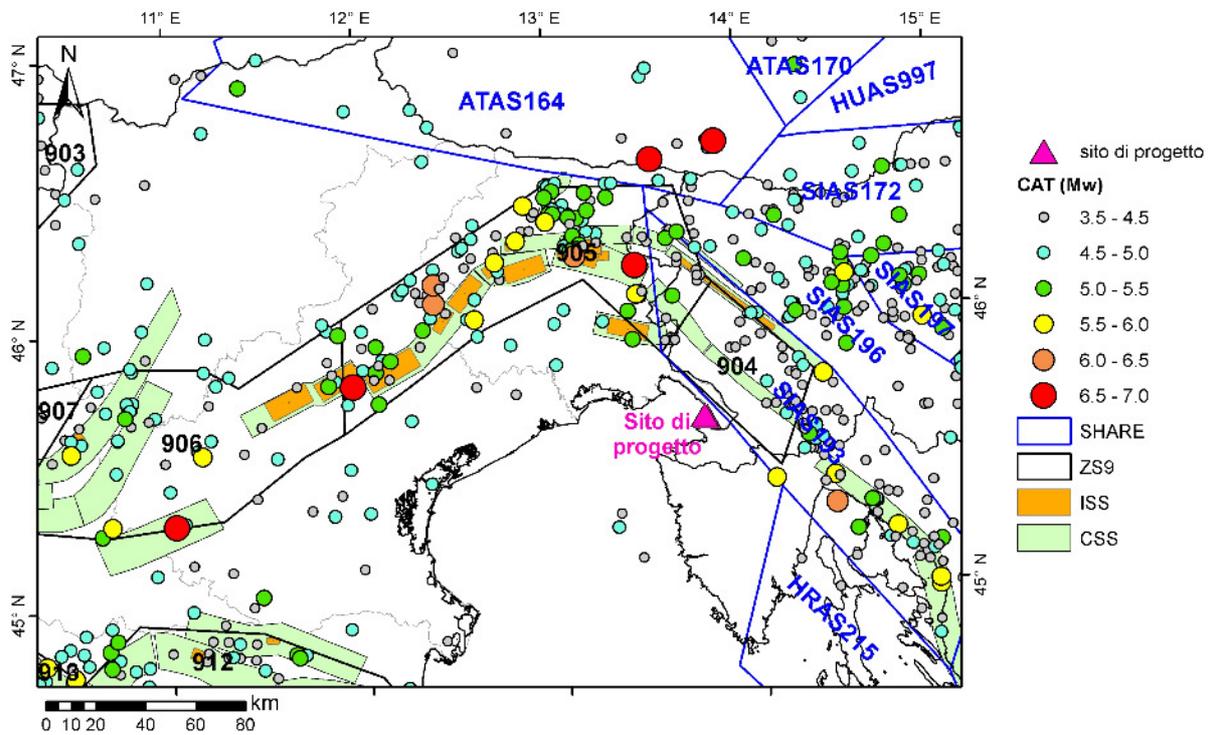


Figura 8-4 - Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno del sito di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i poligoni in blu rappresentano le aree sismogenetiche del modello SHARE (Giardini et al. 2013), i cerchi colorati identificano gli epicentri dei terremoti 1000-2006 del catalogo SHEECv3.3 (<http://www.efehr.org:8080/jetspeed/portal/hazard.psm1>) integrato con il catalogo CPTI11 e Iside fino al 2012 con le associate magnitudo momento. I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.

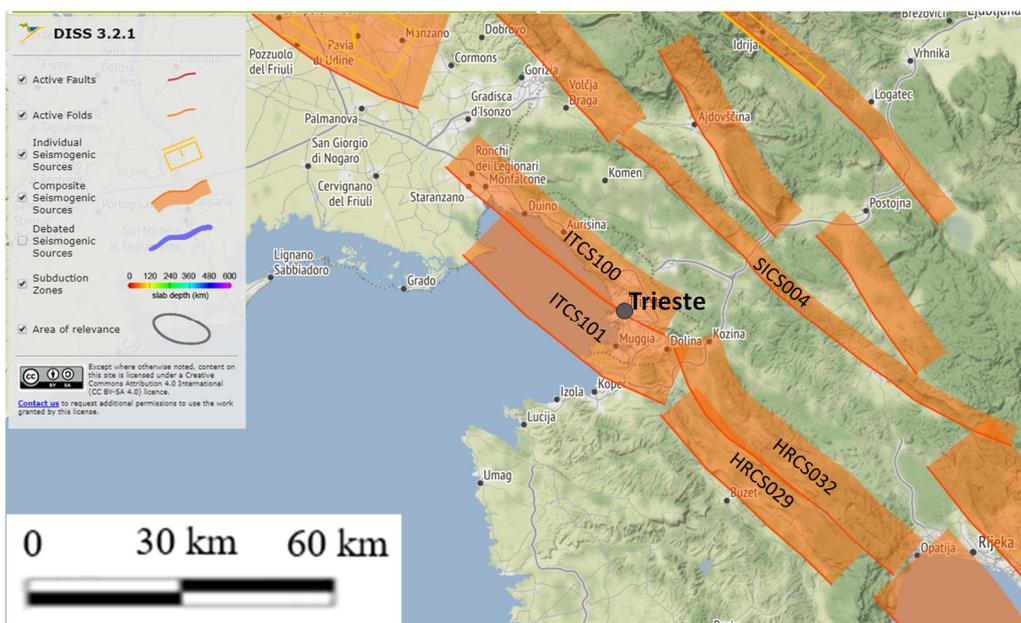


Figura 8-5 - Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal "Database of Individual Seismogenic Sources" (DISS 3.2) rilevanti per l'area in oggetto (cerchio grigio).

Per avere 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 osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014. In particolare, la Figura 8-6 mostra la storia sismica del comune di Trieste (TS) in termini di intensità macrosismica. Si nota come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al sito sia significativa, e che le intensità sismiche massime avvertite siano dell'ordine 6-7. Tra gli eventi più significativi in termini di intensità percepita nell'area vanno inclusi i terremoti del 1511 di Friuli-Slovenia ($M_w=6.32$), della Carnia 1926 ($M_w=5.72$) e del 1976 in Friuli ($M_w=5.95$). Fra gli altri eventi storici più significativi ($I=6$) si ricordano:

- 1690 Carinthia, Villach, $M_w=6.16$
- 1794 Prealpi Friulane, $M_w=5.96$
- 1873 Alpago Cansiglio, $M_w=6.29$
- 1964 Carso, $M_w=4.36$
- 1976 Friuli, $M_w=6.45$ (maggio)
- 1976 Friuli, $M_w=5.60$ (settembre).

Da quanto sopra si evince come sia associabile alla tratta di progetto una sismicità media.

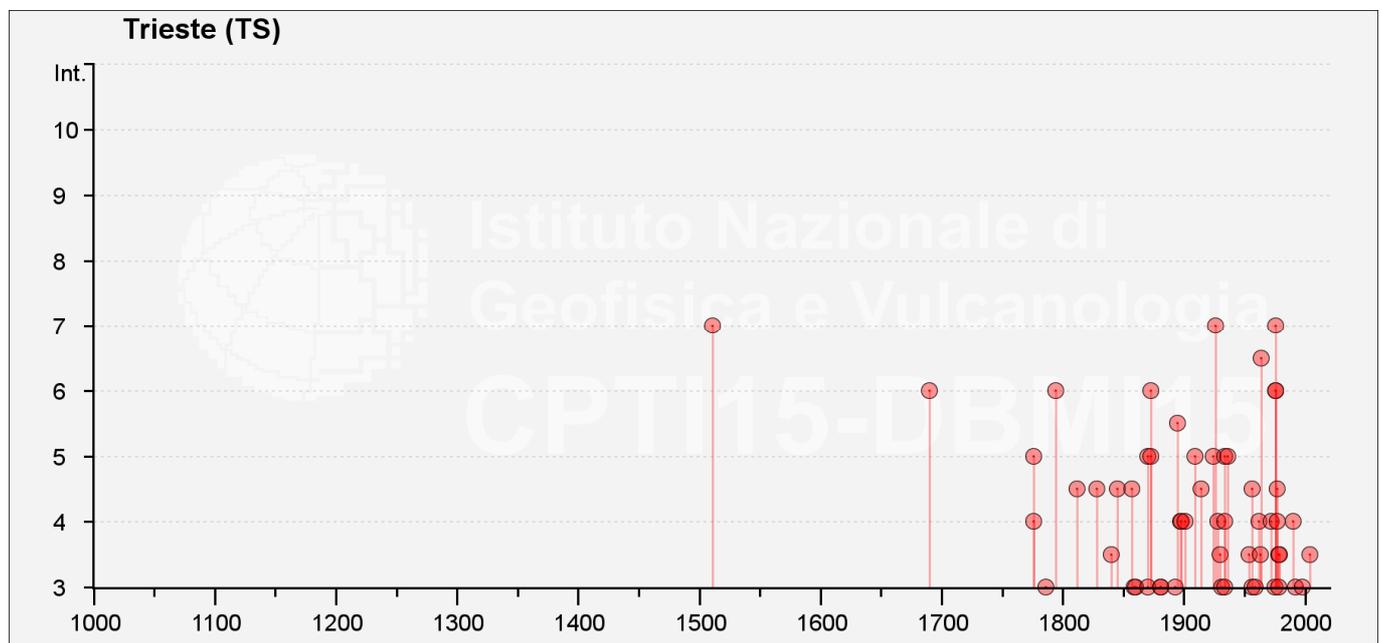


Figura 8-6 - Storia macrosismica del Comune di Trieste dal catalogo DBMI 2015 (Locati et al., 2016).

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 33 di 60 |

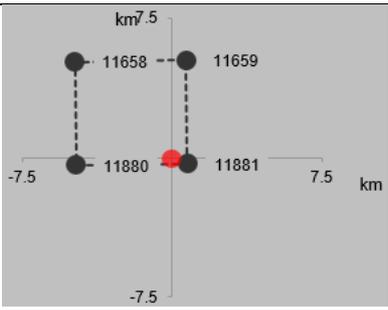
8.3 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO DA NTC2018

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC 2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (Stati Limite di Esercizio – SLE e Ultimi - SLU) deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta espressa 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.

In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, i valori dei suddetti parametri sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. Per definire il valore della pericolosità sismica di base, è stato scelto come punto di riferimento il luogo del sondaggio S2 (vedi Figura 8-2), baricentrico rispetto alle opere. In Tabella 8-1 si riporta l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

Tabella 8-1 - Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno del sito di progetto. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.

| ID Punto | Longitudine | Latitudine | Localizzazione punti di griglia |
|----------|-------------|------------|--|
| S2 | 13.765406° | 45.637708° |  |

La Vita Nominale V_N di un'opera va 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. Da 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.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 34 di 60 |

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

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

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.

Nel caso in esame, sulla base delle indicazioni dei progettisti, le opere appartengono alla Classe d'Uso III, ossia:

“Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.”

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d'Uso III corrisponde un coefficiente d'uso C_U pari a:

$$C_U = 1.5$$

L'azione sismica di verifica delle opere viene quindi definita in relazione ad un periodo di riferimento V_R ottenuto, per ciascun tipo di opera, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 75 \times 1.5 = 112.5 \text{ anni}$$

L'azione sismica di progetto va determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle 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.
 - 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:

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

I valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite, sono indicati in Tabella 8-2.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 35 di 60 |

I valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione lungo il tratto orizzontale) e T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sono riportati nella citata Tabella 8-2.

Tabella 8-2 - Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 112.5$ anni.

| SL | T_R (anni) | a_g (g) | F_0 (-) | T_c^* (s) |
|-----|--------------|-----------|-----------|-------------|
| SLO | 68 | 0.047 | 2.605 | 0.246 |
| SLD | 113 | 0.060 | 2.577 | 0.267 |
| SLV | 1068 | 0.142 | 2.587 | 0.340 |
| SLC | 2193 | 0.178 | 2.605 | 0.354 |

Risposta sismica locale

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

$$S = S_s \cdot S_T$$

La classificazione del sottosuolo si conduce qui in base alle condizioni stratigrafiche ed al 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 geognostiche eseguite nel tratto di interesse ha compreso l'esecuzione di n° 3 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di prove in foro di tipo SPT (S2, S3 e S4 in Figura 8-2), una prova Down-Hole (sondaggio S3), due prove MASW (R1 e R2 nella Figura 8-2) e due tomografie sismiche 2D di tipo crosshole (CH-1 e CH-2 nella Figura 8-2). Inoltre, si può far riferimento ad una prova MASW eseguita presso il sondaggio BH1.

Le indagini Down-Hole e MASW-R1 restituiscono un valore di $V_{s,eq}$ pari a 343 e 356 m/s rispettivamente (**suolo tipo E**, cfr. Tabella 8-3). Invece la prova MASW-R2 ha restituito un valore $V_{s,eq} = 803$ m/s (**suolo tipo A**).

La prova MASW eseguita nei pressi del sondaggio BH1 ha restituito un valore di $V_{s,eq} = 532$ m/s (**suolo tipo B**).

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 36 di 60 |

Nel tratto in rilevato, il dato stratigrafico mostra la presenza nei primi 7-9 m di profondità di sedimenti prevalentemente limosi e sabbiosi; oltre i 9 m di profondità è stato localizzato uno strato marne calcaree, a struttura compatta, poco alterate, da tenere a medio dure. Il substrato caratterizzato da $V_s > 800$ m/s, sovrastato da terreni con V_s caratteristica di profili di tipo C (cfr. Tabella 8-3) e spessore non superiore a 30m. Le sezioni sismiche tomografiche 2D mostrano il cambiamento significativo di velocità di onde P per profondità maggiore di 8-9 m che conferma la presenza di un substrato roccioso. Quanto sopra porta il sito di progetto per il tratto in rilevato a rientrare nella Categoria E ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Il coefficiente S_S per la categoria di sottosuolo E si ottiene 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, il sito di progetto si colloca 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). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

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 8-4 (tratto in galleria) e Tabella 8-5 (tratto in rilevato). Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 8-3 - 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. |

Tabella 8-4 – Tratto in galleria. Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) 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, CSLLPP (2009)) per $V_R = 112.5$ anni.

| SL | T_R (anni) | a_g (g) | S (-) | a_{max} (g) |
|-----|--------------|-----------|-------|---------------|
| SLO | 68 | 0.047 | 1.0 | 0.075 |
| SLD | 113 | 0.060 | 1.0 | 0.096 |
| SLV | 1068 | 0.142 | 1.0 | 0.226 |
| SLC | 2193 | 0.178 | 1.0 | 0.265 |

Tabella 8-5 – Tratto in rilevato. Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) 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, CSLLPP (2009)) per $V_R = 112.5$ anni.

| SL | T_R (anni) | a_g (g) | S (-) | a_{max} (g) |
|-----|--------------|-----------|-------|---------------|
| SLO | 68 | 0.047 | 1.6 | 0.075 |
| SLD | 113 | 0.060 | 1.6 | 0.096 |
| SLV | 1068 | 0.142 | 1.597 | 0.226 |
| SLC | 2193 | 0.178 | 1.489 | 0.265 |

8.4 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 quando 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 $qc_{1N} > 180$ 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_{1N} 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 rappresentate in Figura 8-7 (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$) e Figura 8-8 (coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

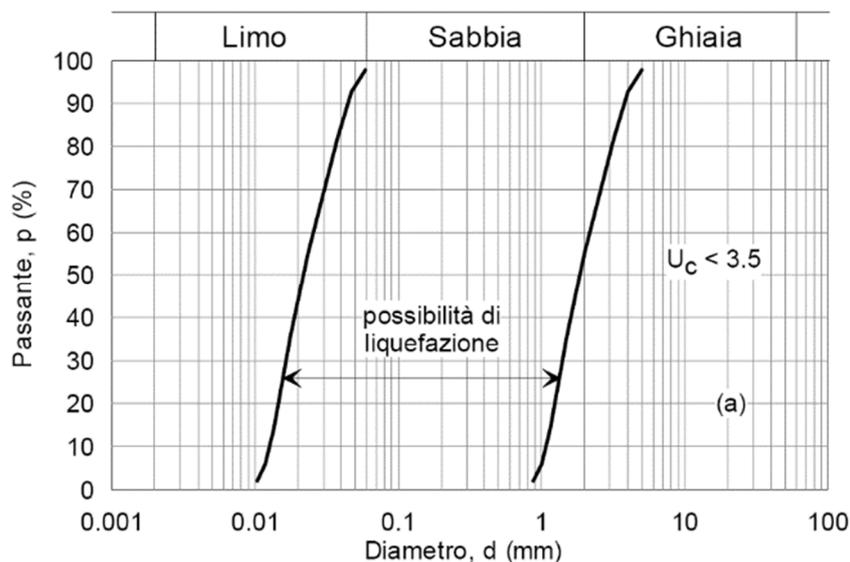


Figura 8-7 - Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ($U_c < 3.5$).

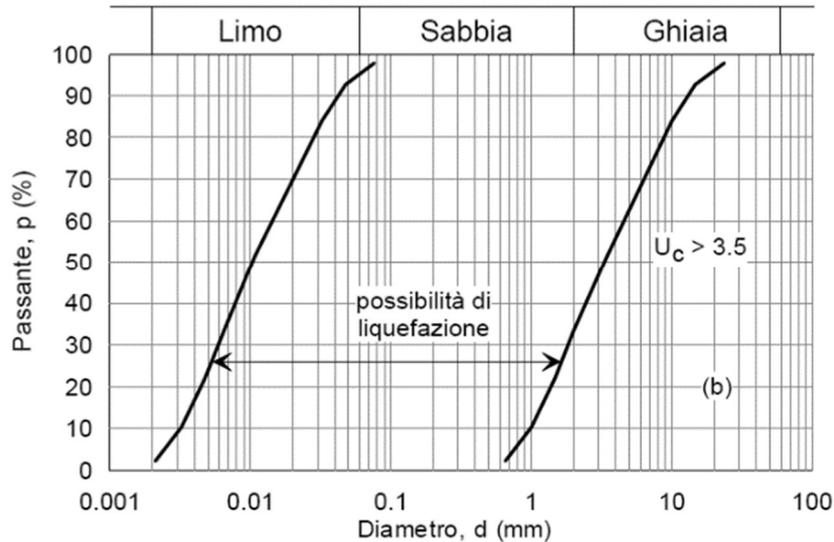


Figura 8-8 - Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ($U_c > 3.5$).

Per quanto riguarda il tratto in galleria, il tracciato si muove all'interno di formazioni ragionevolmente non liquefacibili, con valori delle prove SPT elevati (cfr. tabella 8-6), ovvero tra i terreni prevalentemente limosi e sabbioso ghiaiosi (spesso alternati a livelli litoidi marnosi e marnoso-arenacei) sottostanti il riporto antropico, la fascia di alterazione del substrato ed il substrato stesso. Per quanto riguarda il tratto in rilevato, il sondaggio bibliografico BH1, con boccaforo pressochè coincidente con il piano di calpestio attuale, indica per gli strati superficiali di riporto antropico valori a rifiuto delle prove SPT (resistenza normalizzata $(N_1)_{60} > 30$). Pertanto, anche per quest'ultimo tratto, si può ragionevolmente escludere il pericolo di liquefazione.

Tabella 8-6 – Sintesi dei risultati delle prove SPT condotte nei sondaggi e profondità di falda.

| Sondaggio | Profondità | NSPT (blow/30 cm) |
|-----------------------------|------------|----------------------|
| S2 (Prof. falda = 9.30) | 1.5 | 9 |
| | 3.0 | 21 |
| | 4.5 | 35 |
| | 6.0 | 87 |
| | 7.5 | 40 |
| | 9.0 | RIF |
| S3 (Prof. falda = 10.70) | 1.8 | 14 |
| | 3.0 | 8 |
| | 4.5 | 33 |
| | 6.0 | 41 |
| | 7.5 | 88 |
| S4 Prof. falda = 6.80 | 1.5 | 10 |
| | 3.0 | 60 |
| | 4.5 | 86 |
| | 6.0 | RIF |
| | 7.5 | RIF |
| BH1 (Prof. Falda = 2,80) | 3.0 | RIF |
| | 6.0 | RIF |
| | 9.0 | RIF |
| | 12.0 | RIF |

| | | | | | | |
|--|---|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5) | | | | | |
| Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica | COMMESSA IZ06 | LOTTO 00 | CODIFICA D 69 RG | DOCUMENTO GE0001 001 | REV. A | FOGLIO 41 di 60 |

9 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- Dal punto di vista geologico e stratigrafico nell'area d'intervento sono presenti materiali di riporto antropico, i quali sovrastano una formazione litoide composta da marne e subordinate arenarie e che presenta al tetto orizzonti di alterazione, denominata **Flysch di Trieste** nella Carta del Carso Classico e datata al Luteziano. La città di Trieste poggia in gran parte sulla formazione dei Flysch di Trieste, i quali sono composti principalmente da marne, una litologia terrigeno-carbonatica tettonicamente duttile. L'accrezione della catena Alpina (e più precisamente la collisione di Adria con il continente Europeo) ha generato in questa zona una tettonica "thrust and folds" (a pieghe e sovrascorrimenti) che ha dapprima generato le pieghe di cui fa parte l'anticlinale del Carso e che ha successivamente generato i thrust a basso angolo sfruttando la debolezza degli orizzonti flyshoidi, dislocando le pieghe precedenti. Ne risulta che la formazione dei Flysch di Trieste (FT) si trovi smembrata e suddivisa da molte faglie a basso angolo che ne hanno determinato un raddoppio o triplicamento o, in alcuni casi, quadruplicamento stratigrafico. Il coinvolgimento di una formazione geologica così duttile in un regime tettonico così intenso ne determina solitamente una estrema fratturazione a causa della tensione strutturale, oltre ad un livello di deformazione importante. Oltre alla condizione generale della roccia sono sicuramente presenti zone di cataclasi e/o milonitizzazione in corrispondenza dei thrust principali. Ne consegue che la roccia su cui poggia la città di Trieste e che sottostà al **riporto antropico** nella zona di progetto possiede caratteristiche geotecniche fortemente variabili con zone di roccia poco fratturata e zone intensamente tettonizzate. La sezione elaborata a partire dai sondaggi nella zona di progetto evidenzia come al di sotto del terreno di riporto antropico siano presenti orizzonti di alterazione dei Flysch di Trieste uniti a prodotti di sedimentazione marina (principalmente limo). Al di sotto di questi livelli di terreno prevalentemente limoso si trova la formazione litoide FT; sulla base degli RQD misurati durante l'esecuzione dei sondaggi è possibile affermare che l'ammasso roccioso risulta, nel sondaggio BH1, di qualità da scarsa a discreta (da 40 a 80%) sino a 26 m da p.c. e buono da 26 m sino a 30 m da p.c. (da 80 a 90%), mentre nei 3 sondaggi S2, S3, S4 l'ammasso roccioso risulta essere di buona qualità con RQD% sempre superiori ad 80.
- Analizzando la Cartografia della Pericolosità e del Rischio idrogeologico (Tav. 06, Comune di Trieste), redatta nell'ambito del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini di interesse regionale (bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, ivi compresa la laguna medesima, del torrente Slizza e del levante) da parte della Regione Friuli Venezia Giulia (2016), è possibile affermare che il tracciato in progetto non ricade in alcuna area soggetta a pericolosità, né intersechi alcun elemento classificato a rischio idrogeologico.
- Da un punto di vista idrogeologico, nel Comune di Trieste, si possono distinguere in linea di principio tre zone idrogeologiche diverse, una sottostante detta "zona satura", una intermedia detta "zona di oscillazione", una superiore detta "zona vadosa" interessata prevalentemente da acque di percolazione. La zona satura, o meglio la superficie piezometrica della falda durante i periodi di magra o di normalità, è posizionata nel Carso triestino competente al Comune di Trieste a quote che vanno dai 2-5 m s.l.m. Nella zona di progetto la "falda" osservata nei sondaggi è stata interpretata come quota del livello del mare all'interno del terreno di riporto della colmata mentre procedendo verso l'entroterra e superando il terrapieno della SS202 questo livello si alza di circa 3m (3 m.s.l.m.). In questa zona si può parlare di una falda più propriamente detta che non sia ascrivibile ad acque marine. I sondaggi hanno individuato al di sotto dell'area di progetto un primo strato di riporti a permeabilità variabile in base alla composizione (la prova di permeabilità eseguita in tali materiali ha restituito un valore di $2.19 \cdot 10^{-4}$), seguiti da livelli principalmente limoso-argillosi a permeabilità bassa (valori stimati da bibliografia di $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-7}$ m/s, le prove di permeabilità eseguite in tali depositi hanno restituito un valore di k dell'ordine di 10^{-07} m/s). Al di sotto di essi è presente il corpo litoide marnoso e marnoso-arenaceo a permeabilità secondaria dipendente dalla fratturazione dell'ammasso roccioso (le prove di permeabilità eseguite hanno restituito valori di k dell'ordine di 10^{-8} m/s). Localmente si osservano

piccoli orizzonti sabbioso-ghiaiosi a permeabilità media (ipotizzabile a circa $1 \cdot 10^{-4}$ m/s). I livelli di falda, rilevati prima durante la realizzazione delle perforazioni, e poi tramite monitoraggio piezometrico effettuato tra maggio e giugno 2019, sono congruenti gli uni con gli altri e mostrano una risalita del livello di falda dal mare verso l'entroterra. Nella porzione di zona di progetto più all'interno della SS202 il livello di falda si trova a circa 3 m.s.l.m. mentre verso mare si attesta intorno agli 0 m.s.l.m.

La linea di limite superiore della zona soggetta a verifica altimetrica di sicurezza nei confronti dell'ingressione marina si attesta all'altitudine di +2.5 m.s.l.m. e divide la porzione nord del tracciato, comprendente la galleria in progetto situata al di sopra di questa linea, dalla porzione sud che è invece al di sotto di essa, e risulterebbe dunque a rischio ingressione marina. Ciò detto, è possibile notare come:

- La parte di tracciato sino alla p.k. 0+125, comprendente dunque la galleria in progetto che si sviluppa tra quote comprese tra 5,00 m s.l.m. e 3,60 m s.l.m. risulta al di fuori dell'area potenzialmente soggetta ad innalzamento marino, e pertanto le opere non sono interessate dalla potenziale interazione con acqua marina;
 - La parte di tracciato dalla p.k. 0+125 a fine tracciato, risulterebbe invece potenzialmente coinvolta da tale fenomeno. Considerato però che il tracciato si sviluppa interamente in rilevato a quote comprese tra m 3,60 s.l.m. e 3,25 s.l.m., si può ragionevolmente escludere un'interazione tra l'opera e l'ingressione marina.
- Dal punto di vista sismico (Paragrafo 8), sulla base dei risultati delle indagini geofisiche, il sito di progetto è classificato in differenti categorie di suolo (A, B ed E).
 - Per quanto riguarda la liquefazione dei terreni, il sito di progetto è da ritenersi stabile rispetto a tale fenomeno.

| | | | | | | |
|--|--|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------|
|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5)</p> | | | | | |
| <p>Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica</p> | <p>COMMESSA IZ06</p> | <p>LOTTO 00</p> | <p>CODIFICA D 69 RG</p> | <p>DOCUMENTO GE0001 001</p> | <p>REV. A</p> | <p>FOGLIO 43 di 60</p> |

10 BIBLIOGRAFIA

- Anderson H. and Jackson J. (1987). Active tectonics of the Adriatic region, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 91, 937 – 983.
- Andriani F., Cucchi F., Marinetti E., Zini L. (2001). Doline di crollo e doline di dissoluzione nel Carso triestino. Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica, v. 77 (2000), pp. 119-126, Trento 2001
- Anderson, H., and J. Jackson (1987). Active tectonics of the Adriatic region, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 91, 937 – 983.
- Ballarin L., D'amelio L., Forti F., Gentili V., Piselli S., Raponi A., Semeraro R., Vanon R. (2000). The karstic aquifer in the region of the "Carso": review of hydrogeology and geochemistry. *Ipogea* n.3, pp. 13-32
- Basili, R., and V. Kastelic (2011). D3.4 – Database of active faults and seismogenic sources, SHARE, 31.05.2011.
- Bensi S., Fanucci F., Pavšič J., Tunis G. & Cucchi F., (2007). Nuovi dati biostratigrafici, sedimentologici e tettonici sul Flysch di Trieste. *Rend. Soc. Geol. It.*, 4 (2007), Nuova Serie, 145
- Burelli G., Biolchi S., Furlani S., Masetti D., Bensi S. (2008). New data on the drowning sequence of the Paleogene carbonate ramp (Trieste Karst, Italy). 33 IGC, Oslo, August 2008, HPS01
- Burelli G., Masetti D., Furlani S., Biolchi S., Bensi S., Cucchi F., Piano C. (2008). The drowning sequence of the Paleogenic carbonate ramp outcropping in the Trieste Karst. *Geitalia*, Rimini, EGU General Assembly, Geophysical Research Abstract, 10, EGU2008-A-09713
- Caffau M. & Pleničar M. (1995). Santonian-Campanian rudist fauna from the area of Basovizza/ Basovica (Northeastern Trieste Karst): systematic and paleoecological aspects.- *Razprave* 36: 223-275
- Caffau M., Pleničar M., Pugliese N., Drobne K. (1998). Late Maastrichtian rudists and microfossils in the Karst region (NE Italy and Slovenia). *Géobios, Mém. spec.*, 22: 37-46
- 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). <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- Cucchi F., Panzica La Manna M. (1993). Morfologie ipogee. In "Morfologie carsiche e speleogenesi - slides & text" a cura di P. Forti, Ed. CAI-SSI: 26-37, 6 dia
- 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/>.
- Cucchi, F., Piano, C. (2013) Brevi note illustrative della Carta Geologica del Carso Classico Italiano
- Cucchi, F., Piano, C. (2013) Carta Geologica del Carso Classico in scala 1:50.000
- Cucchi, F., Piano, C. (2013) Carta Geologica del Carso Classico in scala 1:50.000
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M5.5 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.

|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>INTERVENTI FERROVIARI PER IL POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TRIESTE CAMPO MARZIO Collegamento diretto fra il fascio arrivi e partenze di Trieste Campo Marzio ed il Molo VII del Porto di Trieste (Varco 5)</p> | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|------------|---|----------|
| <p>Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IZ06</td> <td>00</td> <td>D 69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>44 di 60</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 44 di 60 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 44 di 60 | | | | | | | | |

- Galadini F., Poli M. E. e Zanferrari A. (2002). Sorgenti sismo geniche responsabili di terremoti distruttivi nell'Italia nord-orientale. 21° Convegno Nazionale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma (Italy), 19-21 Novembre 2002, volume degli abstract, 27-30.
- Giardini D., Woessner J., Danciu L., Valensise G., Grünthal G., Cotton F., Akkar S., Basili R., Stucchi M., Rovida A., Stromeyer D., Arvidsson R., Meletti F., Musson R., Sesetyan K., Demircioglu M.B., Crowley H., Pinho R., Ptilakis K., Douglas J., Fonseca J., Erdik M., Campos-Costa A., Glavatovic B., Makropoulos K., Lindholm C., Cameelbeeck T. (2013). Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource, <http://portal.share-eu.org:8080/jetspeed/portal/>, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE, 2013.
- Haller K. M.m and Basili R. (2011). Developing seismogenic source models based on geologic fault data. *Seismol. Res. Lett.*, 82, 519-525.
- Kastelic, V. P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, M. M. Tiberti, G. Valensise (2012). Seismogenic sources in the Adriatic Domain, *Marine and Petroleum Geology* (2012) 1-23.
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di) (2011). DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI11>
- Lunne, T., Robertson, P., & Powel, J. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. New York: Blackie Academic/Routledge Publishing.
- Mantovani E., Babbucci D., Albarello D., Mucciarelli M. (1990). Deformation pattern in the central Mediterranean and behavior of the African-Adriatic promontory. *Tectonophysics*, 179, 63-79, rnMantovani E., La previsione della pericolosità sismica in Italia. *Le Scienze*, 257, 16-25, 1990
- 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
- Mongelli, F., Zito, G., Della Vedova, B., Pellis, G., Squarci, P. and Taft, L. (1991). Geothermal regime of Italy and surrounding seas, in *Exploration of the deep continental crust*, V. Cermak and L. Rybach eds. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mutti E., Tinterri R., Benevelli G., Di Biase D., Cavanna G. (2003). Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. *Marine and Petroleum Geology* 20 pp. 733-755
- Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018 – Supplemento Ordinario n. 8.
- Oldow, J. S., L. Ferranti, D. S. Lewis, J. K. Campbell, B. D'Argenio, R. Catalano, G. Pappone, L. Carmignani, P. Conti, and C. Aiken (2002). Active fragmentation of Adria, the north Africa promontory, central Mediterranean orogen, *Geology*, 30, 779 – 782
- Otoničar B.. (2007). Upper Cretaceous to Paleogene forebulge unconformity associated with foreland basin evolution (Kras, Matarsko Podolje and Istria; SW Slovenia and NW Croatia). *Acta Carsologica*, 36/1: pp. 101-120
- Regione Friuli venezia Giulia (2016) - Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini di interesse regionale (bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, ivi compresa la laguna medesima, del torrente Slizza e del levante), Relazione Tecnica.

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 45 di 60 |

- Rovida, A., Camassi, R., Gasperini P. e Stucchi, M. (a cura di) (2011). CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.
- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Iliceto V., Semenza E. and Zanolla C. (1989). Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: a review. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 31, 109-136.
- Tagliapietra, G. (2009). Relazione geologica del PRGC del Comune di Trieste
- Valensise, G. and Pantosti, D. (a cura di) (2001). Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy (DISS version 2.0). *Ann. Geofis.* 44, Suppl. 1, con CD-ROM.
- Zanferrari A., Poli M.E. and Rogledi S. (2003). The external thrust-belt of the Eastern Southern Alps in Friuli (NE Italy). *Mem. Sc. Geol.*, special issue 54, 159-162.

APPENDICE

- Certificato stratigrafico del sondaggio BH1, eseguito nell'anno 2018 e nell'ambito del progetto definitivo del "Nuovo ACC di Trieste Campo Marzio";
- Certificato prova MASW eseguita nell'intorno del sondaggio BH1;
- Tabella di sintesi delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nel corso della perforazione del sondaggio BH1.

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 49 di 60 |



EUROGEO S.r.l.
Via Santirone, 10
20037 Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.91084897
Fax. 02.99108919
C.G.I.A.A. Milano n° 1531438
P.IVA 02576190966
Cap. Sociale int. vers. € 100.000,00

STRATIGRAFIA

| | |
|--|------------------------------|
| Riferimento: ITALFERR | Sondaggio: BH1 |
| Località: TRIESTE | Quota: 3 m |
| Impresa esecutrice: EUROGEO s.r.l. | Data: 26-06/28-06-2018 |
| Coordinate: 45°38'12.36"N, 13°45'51.59"E | Redattore: GIUSEPPE CARLETTA |
| Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO | |



BH1 POSTAZIONE

STRATIGRAFIA

| | |
|--|------------------------------|
| Riferimento: ITALFERR | Sondaggio: BH1 |
| Località: TRIESTE | Quota: 3 m |
| Impresa esecutrice: EUROGEO s.r.l. | Data: 26-06/28-06-2018 |
| Coordinate: 45°38'12.36"N, 13°45'51.59"E | Redattore: GIUSEPPE CARLETTA |
| Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO | |



Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 51 di 60 |



EUROGEO S.r.l.
Via Sestrono, 10
20037 Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.91094691
Fax 02.99108919
C.C.I.A.A. Milano n° 1531438
P.IVA. 02576150965
Cap. Sociale int. vers. € 100.000,00

STRATIGRAFIA

| | |
|--|------------------------------|
| Riferimento: ITALFERR | Sondaggio: BH1 |
| Località: TRIESTE | Quota: 3 m |
| Impresa esecutrice: EUROGEO s.r.l. | Data: 26-06/28-06-2018 |
| Coordinate: 45°38'12.36"N, 13°45'51.59"E | Redattore: GIUSEPPE CARLETTA |
| Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO | |



BH1_CASSA 3 – 10.00- 15.00 m



BH1_CASSA 4 – 15.00- 18.00 m

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 52 di 60 |



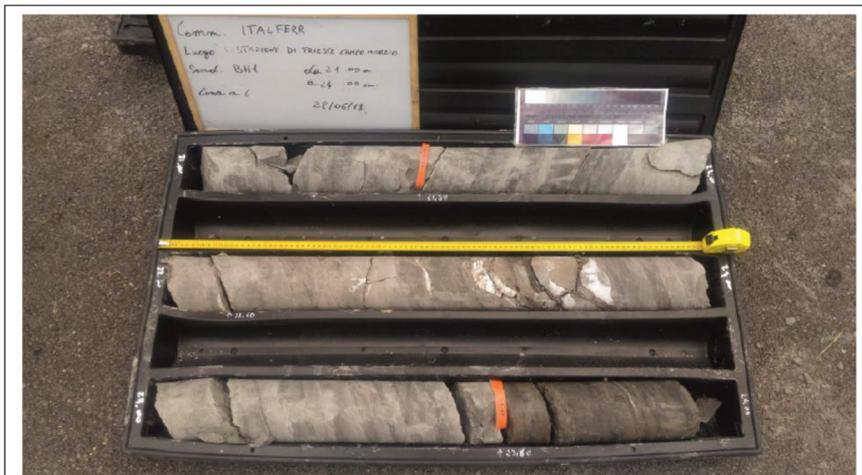
EUROGEO S.r.l.
Via Sentirone, 10
20037 Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.91094691
Fax 02.99108919
C.C.I.A.A. Milano n° 1531438
P.IVA 02576190966
Cap. Sociale int. vers. € 100.000,00

STRATIGRAFIA

| | |
|--|------------------------------|
| Riferimento: ITALFERR | Sondaggio: BH1 |
| Località: TRIESTE | Quota: 3 m |
| Impresa esecutrice: EUROGEO s.r.l. | Data: 26-06/28-06-2018 |
| Coordinate: 45°38'12.36"N, 13°45'51.59"E | Redattore: GIUSEPPE CARLETTA |
| Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO | |



BH1 CASSA 5 – 18.00- 21.00 m



BH1 CASSA 6 – 21.00- 24.00 m

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 53 di 60 |



EUROGEO S.r.l.
Via Sottrono, 10
20037 Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.91094691
Fax. 02.99108919
C.C.I.A.A. Milano n° 1531438
P.IVA 02676190966
Cap. Sociale int. vers. € 100.000,00

STRATIGRAFIA

| | |
|--|------------------------------|
| Riferimento: ITAFERR | Sondaggio: BH1 |
| Località: TRIESTE | Quota: 3 m |
| Impresa esecutrice: EUROGEO s.r.l. | Data: 26-06/28-06-2018 |
| Coordinate: 45°38'12.36"N, 13°45'51.59"E | Redattore: GIUSEPPE CARLETTA |
| Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO | |



BH1_CASSA 7 – 24.00- 27.00 m



BH1_CASSA 8 – 27.00- 30.00 m

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 54 di 60 |

COMMITTENTE: ITALFERR SPA

CANTIERE: TRIESTE - CAMPO MARZIO

SONDAGGIO: BH1

DAL 26/06/18 AL 28/06/18

PERFORAZIONE: C.C. 152/131mm (fino a 13,50m) - T6 (fino a 30m) - rivestimento fino 13,50m

STRATIGRAFIA GEOMECCANICA SONDAGGIO BH1

| MANOVRA | TIPO | INCLINAZIONE | SCABREZZA | ALTERAZIONE | GRADO FESSURAZIONE | RIEMPIMENTO | RQD |
|----------------|------|----------------|-----------|-------------|--------------------|-------------|--------|
| 13,50 - 15,50m | FR | 30-35° | 8-10 | 2-3 | 3 | OX | 49,41% |
| 15,20 - 16,94m | FR | 30-35° | 6-8 | 2 | 2-3 | OX | 70,68% |
| 16,94-18,60m | FR | 30-35° | 8-10 | 2-3 | 2-3 | OX | 75,90% |
| 18,60 - 20,00m | FR | 30-35° | 8-10 | 2-3 | 3-4 | OX | 49,28% |
| 20,00 - 21,50m | FR | 30-35°/ 35-40° | 8-10 | 2 | 2-3 | OX | 80,68% |
| 21,50 - 22,10m | FR | 30-35°/ 35-40° | 8-10 | 2 | 2 | OX | 81,68% |
| 22,10 - 23,60m | FR | 30-35° | 8-10 | 2 | 2-3 | OX - CALC | 59,33% |
| 23,60 - 25,22m | FR | 30-35° | 8-10 | 2 | 2 | OX | 74,07% |
| 25,22 - 26,90m | FR | 30-35° | 8-10 | 2 | 2 | OX | 70,83% |
| 26,90 - 28,63m | FR | 30-35° | 8-10 | 2 | 2 | OX | 82,65% |
| 28,63 - 30,00m | FR | 30-35° | 8-10 | 2 | 2 | OX | 85,40% |



| | |
|-------------|----------------------|
| COMMITTENTE | ITALFERR |
| LOCALITA' | TRIESTE-CAMPO MARZIO |
| DATA | 26/06/2018 |
| SONDAGGIO | BH1 |

PROVA DI PERMEABILITA' 1 (LIVELLO COSTANTE)

| | | |
|--|----|---------|
| PROFONDITA' FORO DA P.C.: | m | 5,00 |
| PROFONDITA' RIVESTIMENTO DA P.C.: | m | 4,50 |
| SPORGENZA TUBO RIVESTIMENTO DA P.C.: | m | 0,50 |
| LIVELLO BASE DI MISURA DA P.C.: | -m | 2,80 |
| LIVELLO DINAMICO DURANTE LA PROVA DA P.C.: | .m | 0,60 |
| DIAMETRO DEL TRATTO DI FORO IN PROVA: | mm | 152 |
| COEFFICIENTE DI FORMA "C": | cm | 160,834 |

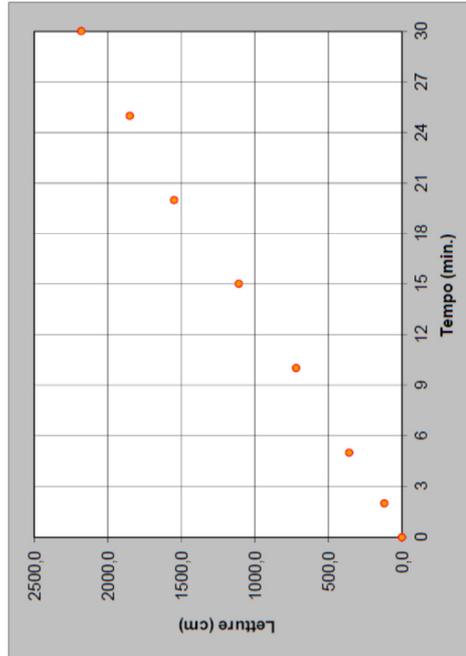
(funzione della "tasca" di prova, in particolare del rapporto Diametro/Lunghezza)

TABELLA DEI VALORI DI CAMPAGNA ED ELABORAZIONI

| Tempo (m) | Letture (l) | Differ. (l) | Portate (l/sec) | K (cm/sec) |
|-----------|-------------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 0,0 | | | |
| 2 | 120,0 | 120,0 | 1,0000 | 0,0183 |
| 5 | 360,0 | 240,0 | 1,3333 | 0,0244 |
| 10 | 720,0 | 360,0 | 1,2000 | 0,0219 |
| 15 | 1110,0 | 390,0 | 1,3000 | 0,0238 |
| 20 | 1550,0 | 440,0 | 1,4667 | 0,0268 |
| 25 | 1850,0 | 300,0 | 1,0000 | 0,0183 |
| 30 | 2180,0 | 330,0 | 1,1000 | 0,0201 |

Letture rispetto alla testa del rivestimento
Dati scaricati

0,0219444550



Coefficiente di permeabilità relativo alla singola misurazione e calcolato mediante la formula $k=Q/C^2h$, ove h rappresenta il carico idraulico a regime

VALORE DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' RICAVATO DALLA MEDIA ARITMETICA DEI VALORI RITENUTI ATTENDIBILI

$$K \text{ (cm/s)} = 2,19E-02$$



UNI EN ISO 9001:2008

| | |
|-------------|----------------------|
| COMMITTENTE | ITALFERR |
| LOCALITA' | TRIESTE-CAMPO MARZIO |
| DATA | 27/06/2018 |
| SONDAGGIO | BH1 |

PROVA DI PERMEABILITA' 2 (LIVELLO VARIABILE)

| | | |
|--|----|---------|
| PROFONDITA' FORO DA P.C.: | m | 13,50 |
| PROFONDITA' RIVESTIMENTO DA P.C.: | m | 13,00 |
| SPORGENZA TUBO RIVESTIMENTO DA P.C.: | m | 0,50 |
| LIVELLO BASE DI MISURA DA P.C.: | -m | 2,80 |
| LIVELLO DINAMICO DURANTE LA PROVA DA P.C.: | +m | 0,10 |
| DIAMETRO DEL TRATTO DI FORO IN PROVA: | mm | 152 |
| COEFFICIENTE DI FORMA "C": | cm | 160,834 |

TABELLA DEI VALORI DI CAMPAGNA ED ELABORAZIONI

| Tempo (m) | Letture (cm) | Differenze (cm) | K (cm/sec) |
|-----------|--------------|-----------------|------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0,4 | 0,4 | 0,00002278 |
| 2 | 0,45 | 0,05 | 0,00000285 |
| 3 | 0,5 | 0,05 | 0,00000324 |
| 4 | 0,55 | 0,05 | 0,00000285 |
| 6 | 0,6 | 0,05 | 0,00000143 |
| 8 | 0,65 | 0,05 | 0,00000174 |
| 10 | 0,7 | 0,05 | 0,00000142 |
| 12 | 0,75 | 0,05 | 0,00000142 |
| 15 | 0,8 | 0,05 | 0,00000095 |
| 20 | 1 | 0,2 | 0,00000228 |
| 25 | 1,1 | 0,1 | 0,00000114 |
| 30 | 1,2 | 0,1 | 0,00000114 |

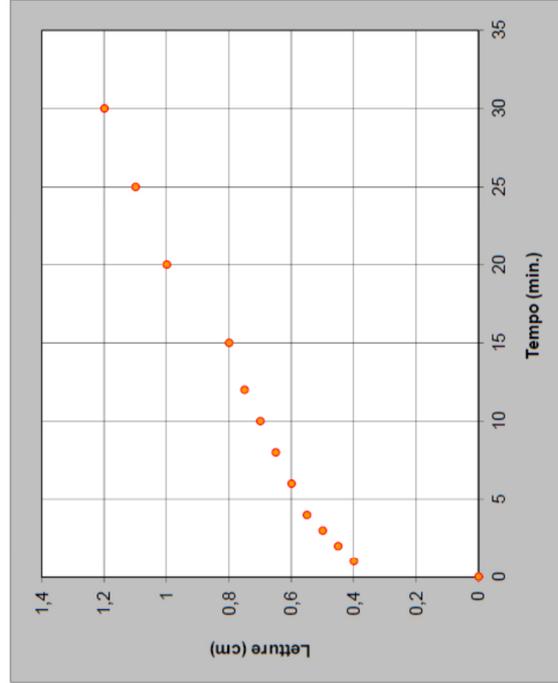
Letture rispetto alla testa del rivestimento
Dati scartati

0,0000036030

Coefficiente di permeabilità relativo alla singola misurazione e calcolato mediante la formula $k = A \cdot X \cdot DH / (C \cdot Dt \cdot h)$; A rappresenta l'area di base della tasca filtrante, DH differenza di carico idraulico, Dt l'intervallo di tempo corrispondente a DH, h il carico idraulico corrispondente al tempo medio.

VALORE DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' RICAVATO DALLA MEDIA ARITMETICA DEI VALORI RITENUTI ATTENDIBILI

K (cm/s)= 3,60E-06



EUROGEO S.R.L. - INDAGINI GEOGNOSTICHE

Via Sentirone, 10 - 20037 Paderno Dugnano (MI) - Tel. 02 91084691 - Fax 02 99108919
P.IVA/Cod. Fisc. 02676190966 - C.C.I.A.A. Milano n° 1531438 - Cap. Sociale int. vers. € 100.000,00
Web site: www.eurogeosrl.it - Email: info@eurogeosrl.it

MASW BH1

L'indagine di sismica superficiale eseguita, ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative allo spettro di dispersione velocità frequenza, , e del modello di velocità che ne deriva previa inversione dei dati con il picking del modo fondamentale ed il modo 1. L'errore quadratico medio è stato pari al 1,21%.

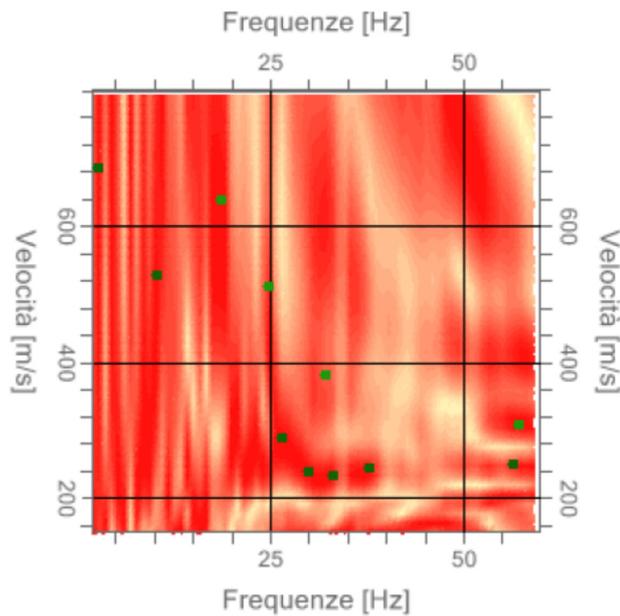


Fig. 3 – SPETTRO FREQUENZA VELOCITA', PICKING E MODI INDIVIDUATI

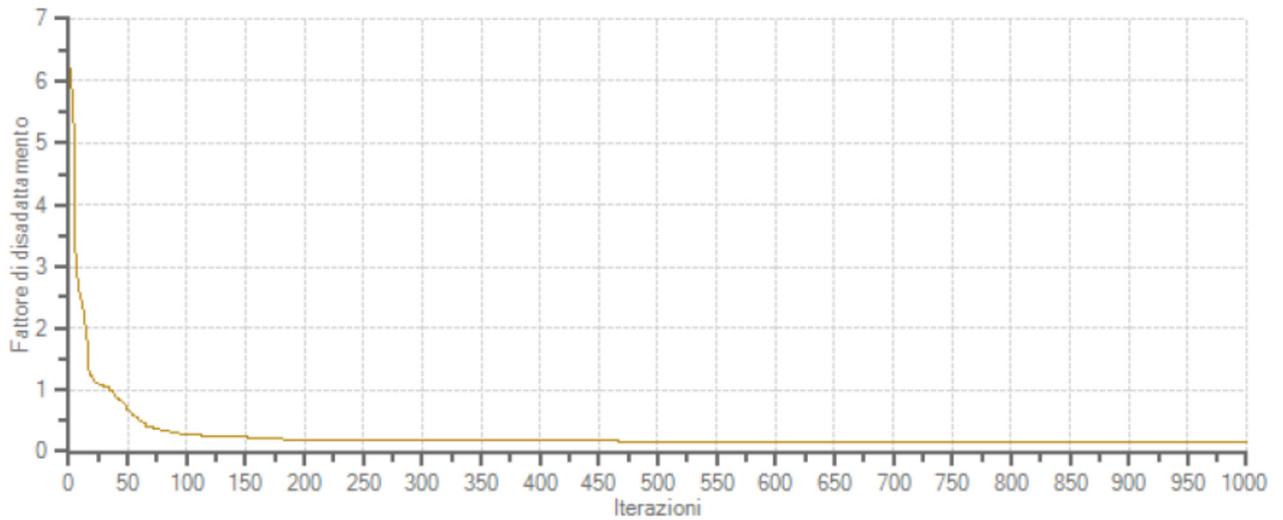


Fig. 4 – ANDAMENTO FATTORE DI DISADATTAMENTO

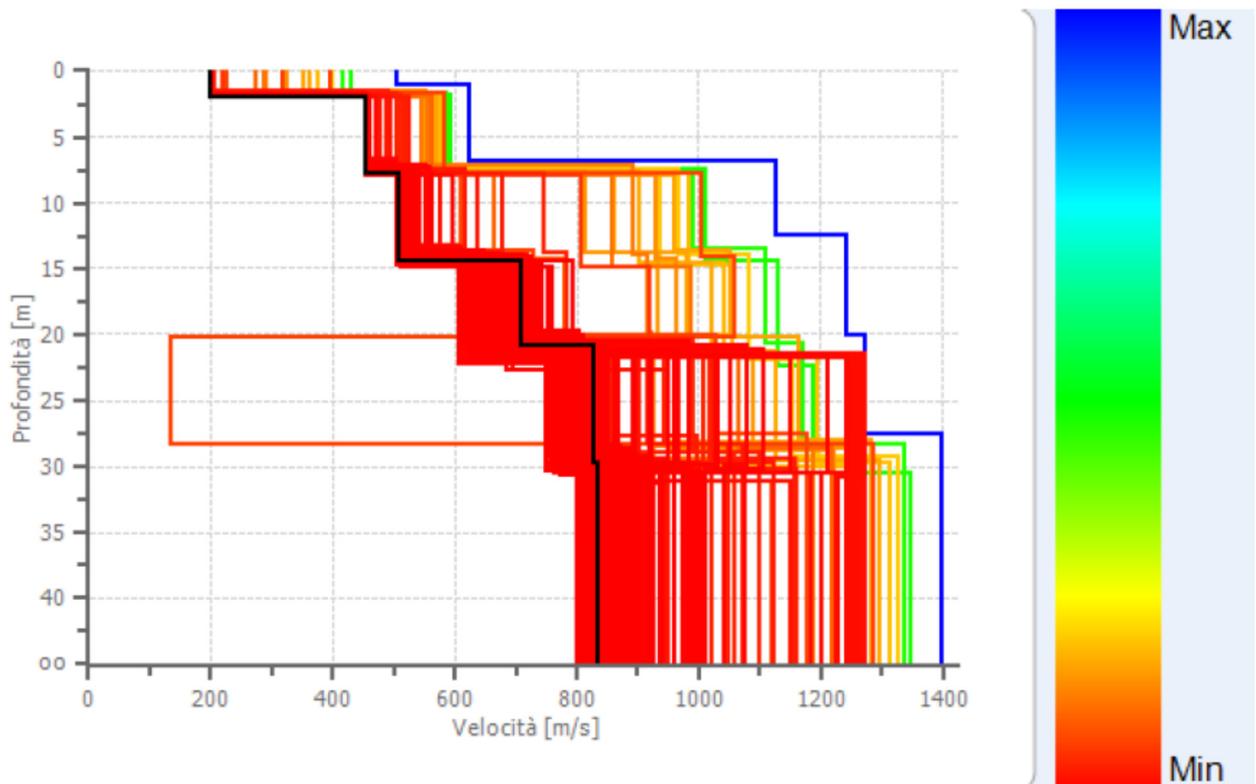


Fig. 5 - MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 59 di 60 |

La V_s eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

| n. | Profondità [m] | V_s [m/sec] |
|----|----------------|---------------|
| 1 | 2 | 200 |
| 2 | 7.8 | 452.2 |
| 3 | 14.51 | 506.5 |
| 4 | 20.79 | 706.77 |
| 5 | 29.79 | 828.05 |
| 6 | ∞ | 834.3 |

Profondità piano di posa [m] 0.00

V_{seq} [m/sec] 532,28

Categoria del suolo B

Relazione geologica, geomorfologica idrogeologica e sismica

| | | | | | |
|----------|-------|----------|------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IZ06 | 00 | D 69 RG | GE0001 001 | A | 60 di 60 |

 VICENZETTO S.r.l. - Via Marconi 8 - 35040 Villa Estense (PD) - Tel. 0429-91798 - Fax 0429-91200 - info@vicenzetto.it - P.IVA 01391790282
 Laboratorio in concessione e certificazione di prove geotecniche di laboratorio (sett.a) DPR 380/01 - CIRC. n. 7618/STC/2010

| vicenzetto | | | Riepilogo dei risultati delle prove di laboratorio | | | | | | COMM. 053CM18 R. OO | | |
|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|------|-------|------------------|---------------------------|-------|---------------------|--|--|
| | | | PAG 1 DI 1 | | | | | | | | |
| Committente ITALFERR S.p.A. | | | | | | | | | | | |
| Progetto ACC Trieste Campo Marzio | | | | | | | | | | | |
| Sondaggio | | | BH1 | BH1 | BH1 | BH1 | BH1 | BH1 | | | |
| Campione | | | 1 | 2 | 3 | A | B | C | | | |
| Profondità | da m | | 2,50 | 8,00 | 11,00 | 14,67 | 16,45 | 24,20 | | | |
| | a m | | 3,00 | 8,50 | 11,50 | 14,95 | 16,65 | 24,50 | | | |
| Consistenza | Pen. | kPa | | | | | | | | | |
| | Tor. | kPa | | | | | | | | | |
| Contenuto naturale d'acqua | Wn | % | | | | | | | | | |
| Peso dell'unità di volume | γ | Mg/m ³ | | | | | | | | | |
| Peso specifico | Gs | Mg/m ³ | | | | | | | | | |
| Limite di liquidità | Wl | % | | 34,9 | 38,8 | | | | | | |
| Limite di plasticità | Wp | % | | 20,0 | 21,0 | | | | | | |
| Indice di plasticità | Ip | | | 14,9 | 17,8 | | | | | | |
| Indice di consistenza | Ic | | | | | | | | | | |
| Limite di ritiro | Wr | % | | | | | | | | | |
| Sostanze organiche | | | | | | | | | | | |
| Indice di gruppo | Ig | | 0 | 9 | 4 | | | | | | |
| Classificazione USCS | | | GM | CL | GM | | | | | | |
| Classificazione CNR UNI 10006 | | | A1a | A6 | A2-6 | | | | | | |
| Analisi granulometrica | % ciottoli + massi | | | | | | | | | | |
| | % Ghiaia | | 46 | 18 | 54 | | | | | | |
| | % Sabbia | | 22 | 12 | 6 | | | | | | |
| | % Limo | | 12 | 59 | 30 | | | | | | |
| | % Argilla | | | 10 | 10 | | | | | | |
| Prova Edometrica | C _v (σ 200 kPa) | m ² /s x10 ⁻⁶ | | | | | | | | | |
| | C _v (σ 400 kPa) | m ² /s x10 ⁻⁶ | | | | | | | | | |
| | C _v (σ 800 kPa) | m ² /s x10 ⁻⁶ | | | | | | | | | |
| | K (σ 200 kPa) | m/s x10 ⁻⁹ | | | | | | | | | |
| | K (σ 400 kPa) | m/s x10 ⁻⁹ | | | | | | | | | |
| | K (σ 800 kPa) | m/s x10 ⁻⁹ | | | | | | | | | |
| Cc | | | | | | | | | | | |
| Pressione di Rigonfiamento | σ'_s | kPa | | | | | | | | | |
| Deformazione di Rigonfiamento | σ'_v | kPa | | | | | | | | | |
| | % def. | % | | | | | | | | | |
| Prova di taglio diretto (DS) | ϕ' | (°) | | 25 | 27 | | | | | | |
| | c' | kPa | | 31 | 34 | | | | | | |
| | ϕ_v | (°) | | | | | | | | | |
| | c _r | kPa | | | | | | | | | |
| Resistenza a compres. monoassiale | Mpa | | | | 74,99 | | | | | | |
| Peso di volume | Mg/m ³ | | | | 2,62 | 2,55 | 2,57 | | | | |
| Velocità onde longitudinali Vp | m/s | | | | 3710 | | | | | | |
| Velocità onde trasversali Vs | m/s | | | | 1856 | | | | | | |
| Point Load | Is(50) // | m/s | | | | 0,29 | 0,23 | | | | |
| | Is(50) ⊥ | m/s | | | | 0,95 | 0,38 | | | | |
| Data | lug-18 | Sperimentatore | Dott. Geol. P. Greggio | | | Direttore | Dott. Geol. T. Vicenzetto | | | | |

