



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



DIREZIONE CENTRALE INFRASTRUTTURE E TERRITORIO

Servizio porti e navigazione interna

CONSORZIO DI SVILUPPO
ECONOMICO DEL MONFALCONESE

ASFALTATURA - TORRE FARO E IMPIANTI TECNOLOGICI
PRESSO IL FASCIO BINARI VARCO N.2 PORTO DI MONFALCONE

PROGETTO ESECUTIVO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
dott. Giampaolo Fontana

PROGETTISTA:

SERIN S.r.l.
SERVIZI - INGEGNERIA - INFORMATICA
Via Duino 1/1 - 33100 Udine (UD) - Italia -
Tel. +39 0432 511556
Fax +39 0432 511592
e-mail: info@serinsrl.com



Direttore Tecnico, progettista e integratore delle progettazioni specialistiche:
dott. Ing Andrea Cocetta

Relazione Geologica:
dott. geologo Fulvio Iadarola

Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione:
dott. Ing Andrea Cocetta

Progettazione specialistica:
dott. Ing. Simone Driutti
dott. Ing. Eugenio Zito
dott. ing. Edy Agnolin

Relazione Geologica

CODICE OPERA:
OP 191

CODICE CUP:
E41H17000060002

ARCHIVIATO:
TECNICO/OPERE/OP191

NUMERO ELABORATO:
ESE-RG

REVISIONE

SCALA
-

REVISIONE	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Emissione	agosto 2017		AC	DIR

1. PREMESSA

Per conto del Consorzio per lo Sviluppo Industriale di Monfalcone è stato eseguito uno studio geologico, sismico e geotecnico per il progetto di realizzazione di una torre faro e di una piattaforma stradale presso il varco doganale n. 2 del Porto di Monfalcone, in località Lisert (OP.188).

Lo studio è stato eseguito ai sensi del D.M. 4/01/2008 (*Nuove norme Tecniche per le costruzioni*) al fine di contribuire alla conoscenza del modello geologico e geotecnico locale ai fini progettuali.

Nell'ambito della classificazione sismica del territorio regionale, di cui alla Delibera G.R. 845 del 6/05/2010, il Comune di Monfalcone è classificato in Zona 3 (bassa sismicità).

Sulla base delle indicazioni progettuali, di quelle geologiche generali dell'area e delle condizioni logistiche del sito, è stato predisposto un piano di lavoro che è consistito nella raccolta dei dati geognostici disponibili nelle immediate adiacenze con particolare riferimento ai seguenti elaborati:

- Relazione geologica e geotecnica per il progetto di costruzione di una garritta con sistemazioni esterne in ambito demaniale in località Lisert a Monfalcone (CSIM; 2005 - dott. geol. F. Iadarola)
- Relazione geologico-tecnica per il progetto di costruzione del raccordo ferroviario via Timavo-porto (dott. geol. M. Cuttini, 1990)
- Studio geologico e geotecnico per il progetto di realizzazione di un piazzale intermodale in località Lisert a Monfalcone (CSIM, 2003; dott. geol. F. Iadarola)
- Relazione geologica per il PRGC (Amministrazione Comunale, 2006 - dott. geol. F. Iadarola)
- Lavori d'indagine geognostica con messa in opera di piezometro nell'area demaniale del Lisert - Zona 3. Relazione tecnica (Az. Spec. Porto - GeoAlpina, 2014)
- Progetto per la realizzazione di un nuovo binario di collegamento alla pesa ferroviaria presso il varco n. 2 del Porto di Monfalcone. Relazione geologica, geotecnica, sismica (CSIM, 2016 - dott. geol. Fulvio Iadarola)
- Asfaltatura dell'area demaniale in ambito portuale presso il varco n. 2 del Porto di Monfalcone (OP 188). Progetto definitivo-esecutivo. Relazione geologica. (CSIM, sett. 2016 - dott. F. Iadarola)

La zona è rappresentata nell'elemento n. 109031 "Foci del Timavo" della C.T.R. in scala 1:5000 ed. 2003.

L'obiettivo della presente relazione è la definizione del modello litostratigrafico e geotecnico del sottosuolo d'interesse progettuale per la scelta ottimale delle opere di fondazione.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **D.M. 14 gennaio 2008.** *Nuove norme Tecniche per le costruzioni.*
- **Ordinanza n. 3274** della Presidenza del Consiglio " *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica*"
- **Ordinanza n. 3274** della Presidenza del Consiglio " *Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni*"
- **UNI ENV 1977-1 - EUROCODICE n° 7:** *Progettazione geotecnica*
- **EN 1998-1, EN-1998-5 - EUROCODICE n° 8:** *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica*

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'area in oggetto si sviluppa nel settore meridionale della zona industriale e portuale del Lisert, in corrispondenza delle casse di colmata (fig. 1).

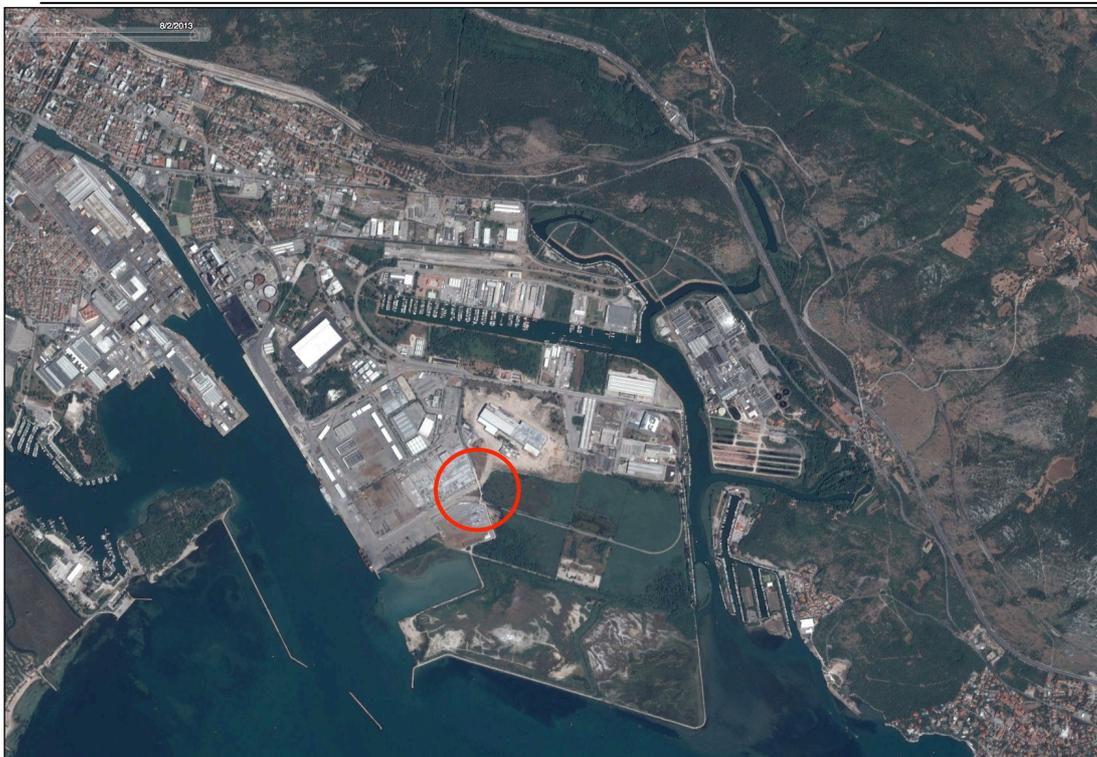


Figura 1- Corografia

In generale, l'area del Lisert è caratterizzata dalla prevalente presenza di depositi quaternari di origine alluvionale e marina con classi granulometriche prevalentemente fini (sabbie-limi-argille) nella parte superficiale del sottosuolo mentre prevalgono litotipi grossolani (ghiaie e sabbie) in profondità. I depositi quaternari appartengono alla *Unità di Grado* (Olocene 9500 anni a.C.-attuale), geneticamente legati al bacino del fiume Isonzo.

Nella prima metà del XX secolo, l'area del Lisert è stata sottoposta a bonifica idraulica al fine di recuperare i terreni allora paludosi all'attività industriale; oltre allo scavo dell'attuale canale Est-Ovest e al ritombamento dei precedenti corsi d'acqua (es. fiume dei Bagni) nel settore settentrionale, sono stati progressivamente demoliti i due originari rilievi calcarei (*Isole Clarae* costituite dal Monte S. Antonio a Ovest e Monte della Punta a Est, sui resti del quale sorge il sito in esame) che chiudevano a Sud la palude del Lisert ed è stato recuperato al mare il settore più meridionale mediante il metodo delle casse di colmata. Il terreno originario è stato ricoperto con materiale di riporto a granulometria eterogenea, con spessori minimi compresi tra 1,0 e 4,0 m (pattern retinato in fig. 2).

La formazione rocciosa è di natura carbonatica ed affiora sui rilievi carsici e nella zona centrale del Lisert, dove costituisce una dorsale ad asse Ovest-Est, coincidente indicativamente con la via Timavo. I calcari presenti nel Lisert appartengono alla formazione dei *Calcari di Aurisina*, di età Cenomaniana sup. e inf. (100-75 mln anni B.P.), caratterizzati da calcari grigio chiari a stratificazione metrica, ricchi di radiolariti e ippuriti immersi in matrice finemente bioclastica che nella parte sommitale lasciano il passo alle facies a rudiste. La formazione rocciosa si approfondisce al di sotto delle alluvioni sia verso Nord sia verso Sud; raggiunge la massima profondità (valutata attorno a 24-25 m dal p.c.) in corrispondenza del canale Est-Ovest per poi risalire e affiorare a Nord presso le alture carsiche. A valle della via Timavo, il substrato si approfondisce fino ad una trentina di metri dal p.c. al margine dell'area industriale (zona Adriastrade)

per poi scende ulteriormente a oltre 100 m di profondità in corrispondenza delle casse di colmata.

La formazione rocciosa locale è inoltre interessata da alcune dislocazioni tettoniche di importanza locale, ad andamento sia NordOvest-SudEst sia Nord-Sud. L'assetto strutturale è monoclinale con direzione generalmente E-W e immersione verso Sud, con inclinazioni in genere superiori a 35°.

La classificazione geologica del territorio comunale allegata al PRGC inserisce l'area in esame nella "Litofacies E" (colore rosso; *alluvioni limose argillose e sabbiose con torba, di spessore superiore a 7,5 m*; fig. 2). La formazione rocciosa calcarea affiora in corrispondenza dei corpi industriali a valle della via Timavo.

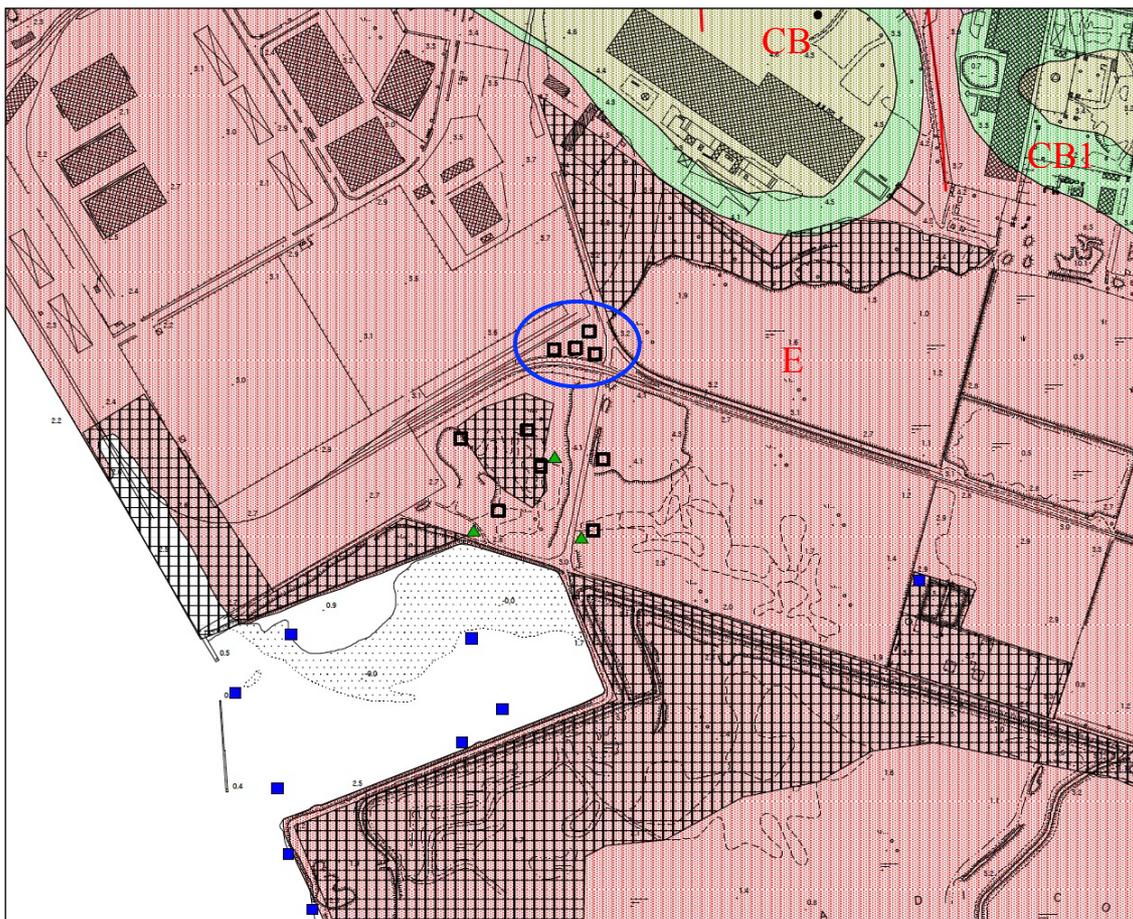


Figura 2 - Estratto dalla Carta geologica allegata al PRGC (2006). CB: calcare affiorante/subaffiorante; CBI: calcare a profondità 2-5 m con copertura limoso argillosa; E, alluvioni limo argillose e sabbiose. La linea blu indica l'area di progetto.

Dal punto di vista idrogeologico, il Lisert risulta essere il bacino recettore delle acque di origine carsica del sistema idrografico Lago di Doberdò-Pietrarossa-Sablici nonché delle acque del fiume Timavo nell'estremo settore orientale dell'area; si tratta in prevalenza di acque dolci con temperatura media di 10-12°C che si mescolano ad acqua marina che periodicamente risale nei canali "naturali" e di bonifica presenti. Anche la formazione calcarea, a causa della sua intensa fratturazione, risulta ricca d'acqua.

La profondità del livello idrico è molto ridotto potendosi rinvenire a 1,0-3,0 m dal p.c. in rapporto alla quota topografica; esso è correlabile al livello marino ed è influenzato alle escursioni di marea.

Le attuali conoscenze litostratigrafiche del sito specifico sono riconducibili ad alcune indagini geognostiche estratte dallo Studio Geologico per il vigente PRGC 2006 e posizionate come indicato nella **fig. 3**, di seguito descritte:

- 1- n. 4 trincee esplorative (fonte: *Relazione geologica e geotecnica per il progetto di costruzione di una garritta con sistemazioni esterne in ambito demaniale in località Lisert a Monfalcone* (CSIM; 2005 - dott. geol. F. Iadarola) realizzate nel sito medesimo dell'attuale progetto
- 2- n. 1 Sondaggio meccanico SM (fonte: *Lavori d'indagine geognostica con messa in opera di piezometro nell'area demaniale del Lisert - Zona 3. Relazione tecnica*, Az. Spec. Porto - GeoAlpina, 2014)
- 3- n. 6 trincee esplorative e n. 3 CPT (prove penetrometriche statiche) (fonte: *Studio geologico e geotecnico per il progetto di realizzazione di un piazzale intermodale in località Lisert a Monfalcone*, CSIM, 2003; dott. geol. F. Iadarola)
- 4- n. 1 indagine geofisica MASW e n. 2 misure di microtremore a stazione singola (fonte: *Progetto per la realizzazione di un nuovo binario di collegamento alla pesa ferroviaria presso il varco n. 2 del Porto di Monfalcone. Relazione geologica, geotecnica, sismica* (CSIM, 2016 - dott. geol. Fulvio Iadarola).

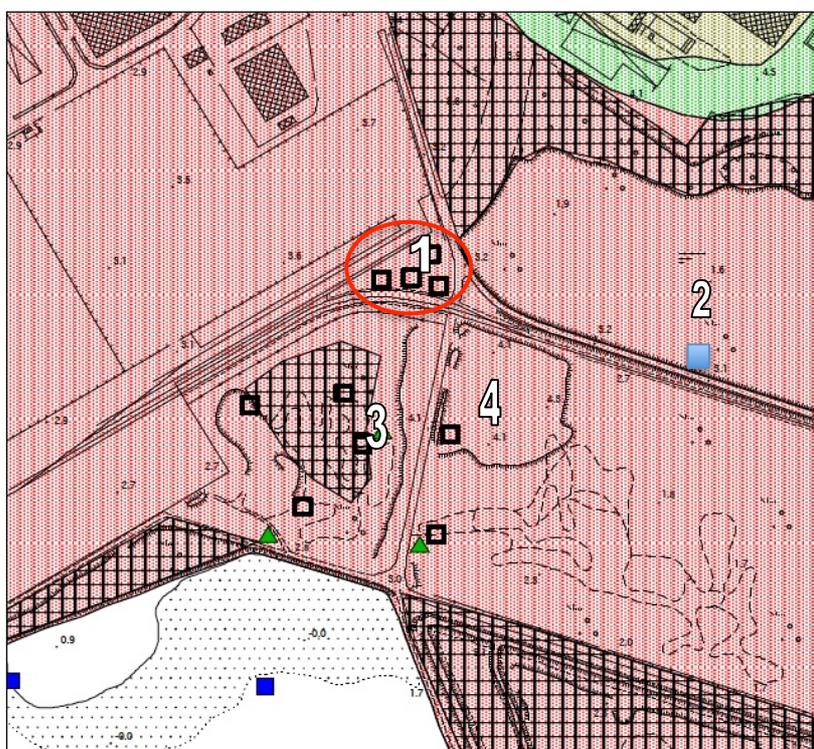


Figura 3 - Localizzazione delle indagini geognostiche pregresse (PRGC, 1995)
La numerazione si riferisce ai gruppi di indagini descritte nel testo.

Le trincee esplorative (punto 1) eseguite nel 2005 nel sito d'interesse per la realizzazione di una garritta hanno evidenziato:

- 0,0-1,5: livello di materiale eterogeneo a pezzatura grossolana, di riporto antropico, compattato;
- 1,5- 2,9: orizzonte sabbioso e sabbioso limoso, di colore grigio, saturo;
- 2,9-4,5: orizzonte limoso argilloso grigio, plastico (da CPT 1 e 2, progetto piazzale intermodale 2003).

La descrizione di dettaglio della natura dei terreni intercettati con le trincee è riportata nel paragrafo successivo.

Il sondaggio meccanico (punto 2) è stato realizzato per scopi idrogeologici fino a 6 m di profondità intercettando materiale di riporto fino a 1,8 m dal p.c., di cui 0,7 m di ceneri nella parte centrale e materiale grossolano al tetto e alla base; seguono sabbie e limi fino a 4,8 m e, a seguire, sabbie fino a fondo foro. Si allega di seguito la descrizione litologica (fig. 4).

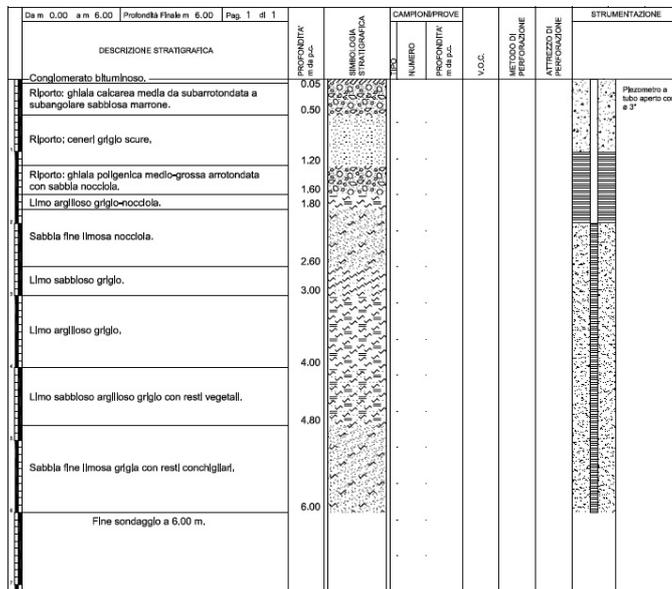


Figura 4 - Profilo litologico del sondaggio meccanico (2014)

Le indagini di cui al punto 3, realizzate a Sud del sito, hanno consentito la verifica della natura dei terreni mediante n. 6 scavi spinti fino a profondità comprese fra 1.4 m e 3.2 m dal p.c. e la caratterizzazione litologica e geotecnica fino a profondità comprese fra 12.0 m e 15.0 m mediante n. 3 prove penetrometriche statiche CPT. Gli scavi hanno individuato nei primi 50-100 cm di sottosuolo materiale grossolano di riporto, con dimensioni granulometriche comprese tra le ghiaie e le sabbie, seguiti da sabbie limose/limi sabbiosi grigi. Le CPT hanno permesso la definizione di una sequenza di livelli limoso sabbiosi e limoso argillosi al di sotto di 2,5 m dal p.c. fino a 15 m di profondità; in particolare sono ben correlati sull'intera area i livelli limoso argillosi posti tra 3 e 6 m e tra 8 e 11 m di profondità.

Le indagini geofisiche di cui al punto 4, realizzate poche decine di metri a Sud del sito in esame (fig. 5), hanno evidenziato:

- una sismostratigrafia in cui i primi 12 m di sottosuolo sono caratterizzati da velocità sismiche inferiori a 200 m/s con evidenti inversioni di velocità. Da circa 12 m di profondità la velocità delle onde aumentano a 450 m/s, con un ulteriore brusco incremento a 25 m di profondità dove le velocità sono risultate superiori a 850 m/s. La velocità media nei primi 30 m risulta pari a $V_{s30} = 256 \text{ m/s}$ tale da fare inserire il sito nella **Categoria C** (*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s*) ai sensi del punto 3.2.2 del DM 4/01/2008;
- una **frequenza di risonanza di:**
 - TR1= 1,44 Hz e ampiezza 7,1, con secondo picco a 1,85 Hz e ampiezza 5,1
 - TR2= 1,42 Hz e ampiezza 7,8, con secondo picco a 2,24 e ampiezza 3,6

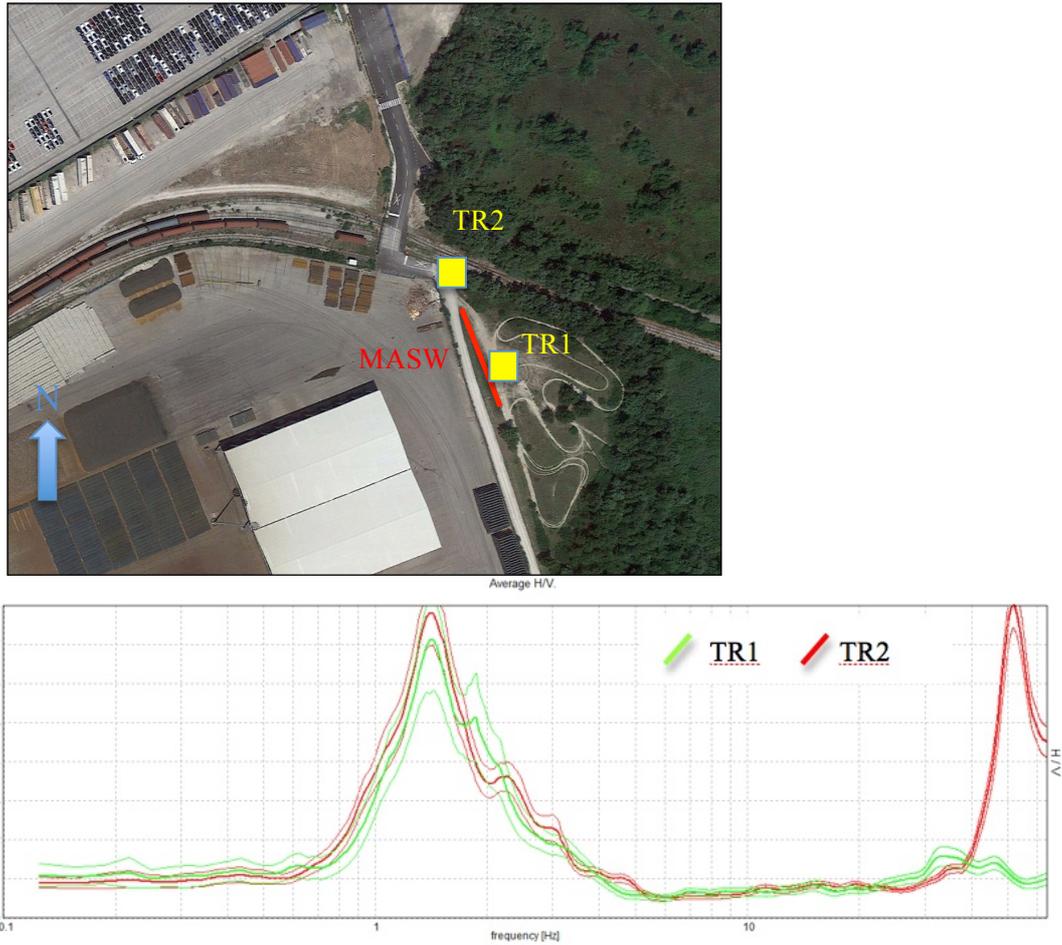


Figura 5 - Indagini geognostiche eseguite nel 2016; in alto: localizzazione, in rosso, base sismica MASW; in giallo, misura del microtremore; in basso: a confronto Curve H/V medie delle due prove

L'area in oggetto si sviluppa in piano alla quota topografica di circa 3,2 m s.l.m.m., dedotta dal CTRN regionale in scala 1:5000 (fig. 6).



Figura 6 - Estratto CTRN 109031 ed. 2003 scala orig. 1:5000 sovrapposto all'ortofoto 2003

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE DI SITO

Come indicato in precedenza, nel 2005 sono state eseguite alcune trincee esplorative nel sito al fine di valutare la sequenza litologica nel terreno superficiale nel sito in esame; le trincee, numerate da SGR1 a SGR4, sono state disposte secondo la posizione indicata nella planimetria di fig. 7 in modo da caratterizzare il primo sottosuolo sull'intera superficie interessata.

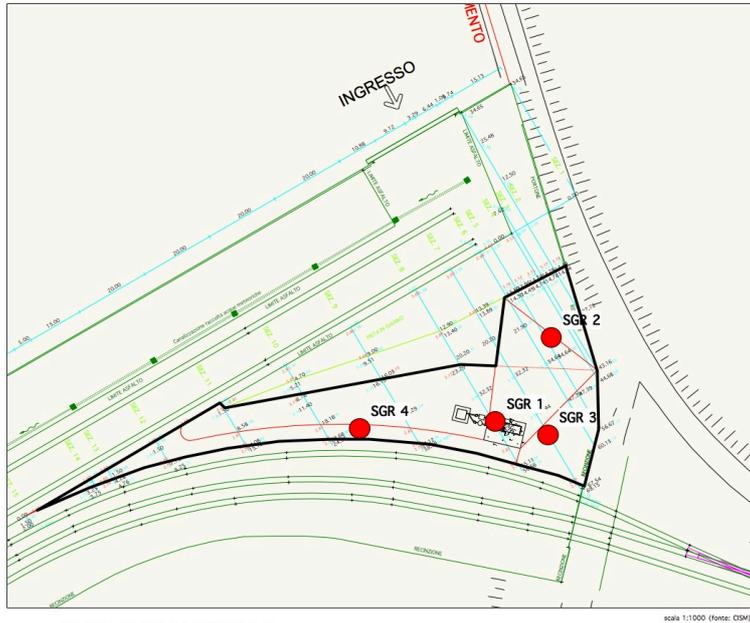


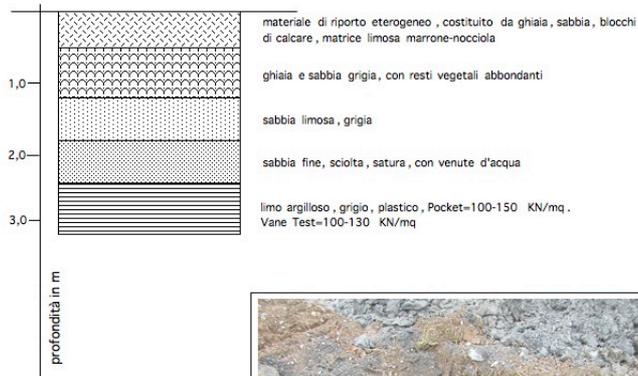
Figura 7 - Localizzazione delle trincee esplorative del 2005

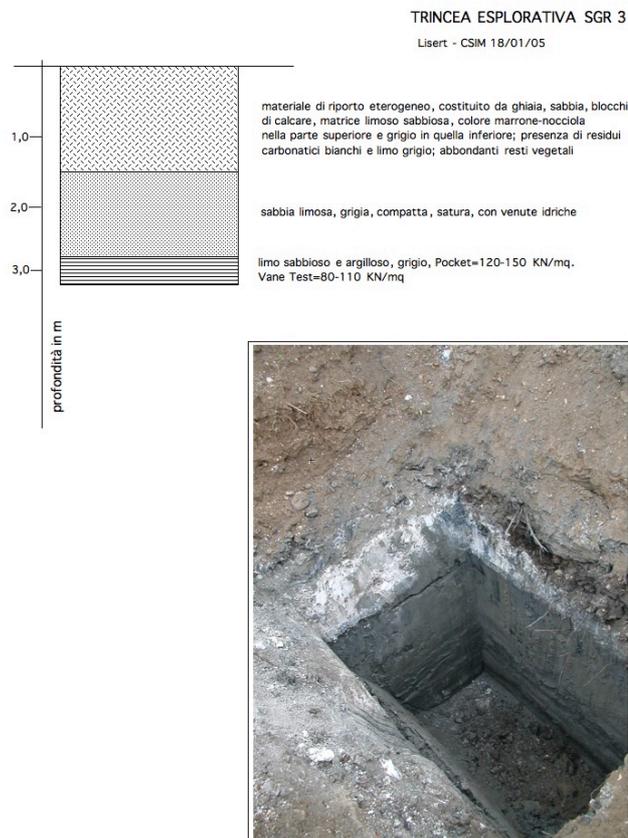
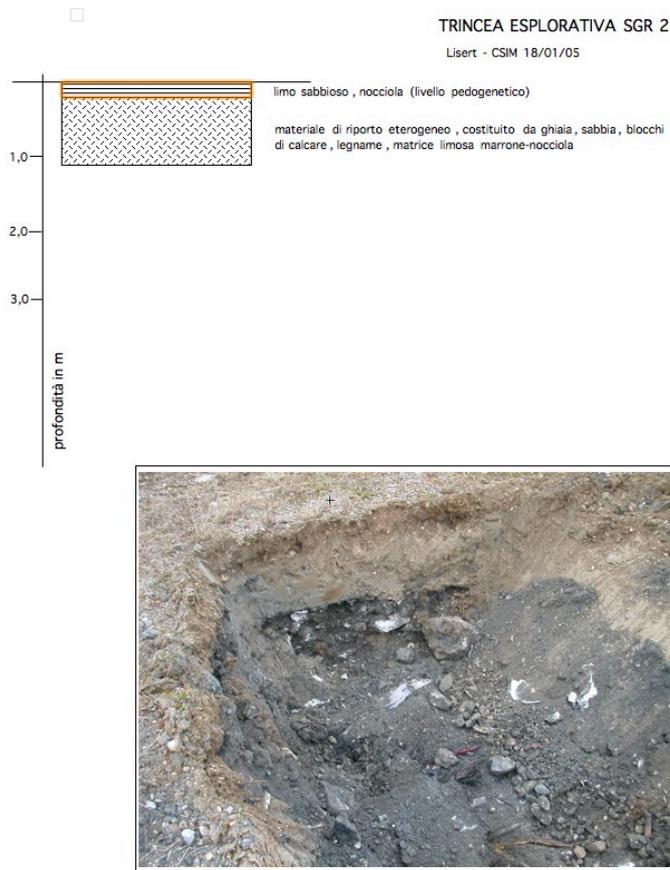
PLANIMETRIA DI PROGETTO con localizzazione delle trincee esplorative

Le profondità sono state condizionate dall'instabilità delle pareti, causata dalla presenza di materiale saturo e collassabile in profondità e dal grado di addensamento elevato dei terreni di riporto superficiali; infatti le trincee SGR2 e SGR4 sono state approfondite fino a 1,1-1,4 m dal p.c.. Si riportano di seguito le descrizioni di dettaglio delle singole trincee.

□

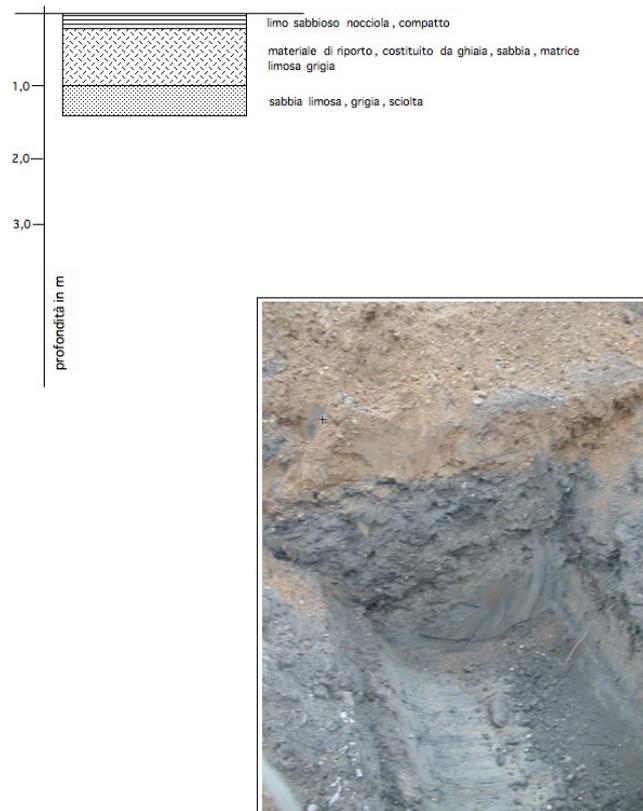
TRINCEA ESPLORATIVA SGR 1
Lisert - CSIM 18/01/05





TRINCEA ESPLORATIVA SGR 4

Lisert - CSIM 18/01/05



Le trincee esplorative hanno evidenziato la presenza di materiale di riporto superficiale, prevalentemente a pezzatura grossolana, dalle ghiaie ai blocchi calcarei, in una matrice sabbiosa e limosa con colorazione da marrone a grigia; tali materiali sono presenti fino a circa 1,0-1,4 m di profondità. A tale profondità compaiono resti vegetali, a testimonianza del livello pedologico originale, con sedimenti sabbioso limosi; seguono, fino a 2,5-2,8 m dal p.c. depositi sabbiosi, variamente limosi, con granulometrie mediamente fini, entro le quali è posizionata la falda idrica. Ad iniziare da 2,5-2,8 m di profondità dal p.c. compare il primo orizzonte limoso argilloso, il cui spessore non è stato determinato nelle trincee per il collasso delle pareti.

Pertanto il modello litostratigrafico locale è il seguente:

- 1- livello di materiale eterogeneo a pezzatura grossolana, di riporto antropico, compatto, con spessore di circa 1,1-1,5 m;
- 2- orizzonte sabbioso e sabbioso limoso, di colore grigio, saturo, con spessore di circa 1,4 m;
- 3- orizzonte limoso argilloso grigio, plastico, di spessore di circa 1,6 m (da CPT 1 e 2, progetto piazzale intermodale 2003).

3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI NUOVA REALIZZAZIONE (2017)

Nell'ambito del presente incarico sono state eseguite ulteriori indagini geognostiche nel sito in funzione della nuova proposta progettuale. Gli scopi sono stati:

1. definire il grado di permeabilità del terreno più superficiale (fino a 1,5 m dal p.c. attuale) in funzione della dispersione nel suolo delle acque meteoriche del piazzale;
2. definire le caratteristiche di portanza del materiale in posto al fine di valutarne l'idoneità come pavimentazione stradale;
3. definire il profilo litostratigrafico verticale del sito e le caratteristiche geotecniche degli strati in funzione della realizzazione della nuova torre faro.

A tale scopo è stata condivisa con la Committenza e realizzata la seguente campagna di indagini geologiche e geotecniche:

1. esecuzione di un foro fino a 1,5 m di profondità dal p.c. ed esecuzione di una prova di permeabilità tipo Lefranc;
2. realizzazione di n. 5 prove di carico su piastra da 30 cm per la verifica dell'idoneità dell'attuale materiale presente come pavimentazione stradale;
3. esecuzione di un sondaggio meccanico a carotaggio continuo spinto fino a 20 m dal p.c. con realizzazione di prove SPT (Standard Penetration Test) per la caratterizzazione geotecnica dei depositi.

e prove sono state ubicate come da allegata planimetria, riportata per comodità anche nella **fig. 8**.



Figura 8 - Localizzazione delle indagini geognostiche. In rosso, prove di carico su piastra PLT; S, sondaggio meccanico; LS, prova di permeabilità in foro

3.1.1 PROVA DI PERMEABILITA'

La prova di permeabilità è stata eseguita ricorrendo alla modalità Lefranc in foro di sondaggio, realizzato allo scopo nel sito di interesse progettuale. Lo scopo è la verifica dell'assorbimento del terreno per la realizzazione di una trincea drenante per la dispersione delle acque meteoriche dei tratti stradali prospicienti.

Sono stati attraversati depositi di materiale grossolano di ricoprimento, come indicato nel report della prova che si riporta di seguito (fig. XX).

Da m 0.00 a m 1.50		Profondità Finale m 1.50	Pag. 1 di 1	CAMPIONI/PROVE		STRUMENTAZIONE					
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA				PROFONDITA' m da p.c.	SIMBOLOGIA STRATIGRAFICA	TIPO	NUMERO	PROFONDITA' m da p.c.	V.O.C.	METODO DI PERFORAZIONE	ATTREZZO DI PERFORAZIONE
Riporto: ghiaia calcarea grossolana angolare con poca matrice limosa sabbiosa marrone-rossastra. Fine sondaggio a 1.50 m.				1.50		L1		1.00		CAROTTAGGIO CONTINUO A SECCO	RIVESTIMENTO ø 127 MM
								1.50			

L'elaborazione della prova ha fornito un valore di **permeabilità pari a $9,2 \times 10^{-4}$ m/s**; durante l'esecuzione l'immissione di 300 l d'acqua non è stato sufficiente a riempire completamente il foro. La ripetizione della prova a titolo di confronto nel secondo foro realizzato a poca distanza ha fornito un valore confrontabile pari a $5,2 \times 10^{-4}$ m/s. Per quanto osservato, tale valore può essere considerato come valore minimo.

I report della prova sono riportati nell'ALLEG. X.

3.1.2 PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Le caratteristiche di portanza del terreno di fondazione sono state determinate mediante l'esecuzione di n. 5 prove di carico (PLT) usando una piastra con diametro pari a 0,30 m ed incrementando il carico applicato fino a 0,45 N/mm².

L'ubicazione delle prove è riportata nella planimetria allegata; tutte le prove sono state eseguite in superficie.

I valori dei moduli di compressione Md misurati fra 0,25N/mm² e 0,35N/mm² vengono di seguito riportati insieme al valore del cedimento residuo a 0,05 N/mm² ed ai valori del modulo elastico statico calcolati con la relazione : $E = 0,785 \cdot (1 - \nu^2) \cdot M_d$

dove $\nu = 0,30$ è il rapporto di Poisson.

Numero	Md N/mm ²	Cedimento residuo mm	E MPa
1	120,0	1,24	85,7
2	81,1	1,87	57,9
3	76,9	1,79	54,9
4	56,6	2,42	40,4
5	147,5	1,60	105,3

Le caratteristiche di portanza del sottofondo non sono uniformi e risultano variabili fra valori alti, Md = 147,5 N/mm² a valori più bassi, Md = 56,6 N/mm², ma superiori a quelli minimi ri-

4. PAVIMENTAZIONE

Le aree sottoposte a test di carico su piastra hanno confermato la presenza di materiali molto addensati come strato di copertura (riporto) di spessore minimo 1,5 m. I parametri geomeccanici per tale strato sono di seguito indicati, come già relazionato per i progetti limitrofi.

Gli strati naturali sottostanti sono indicati nel successivo paragrafo facendo riferimento alla perforazione realizzata in corrispondenza della prevista torre faro e alle indagini geognostiche citate al paragrafo 2.

0,0 m ÷ 1,5 m

$D_r > 80 \%$

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

$\phi = 36^\circ$

$E > 49.000 \text{ kPa}$

ghiaia e sabbia addensati

densità relativa;

peso di volume saturo;

angolo d'attrito;

modulo di deformazione in condizioni drenate.

Il progetto prevede l'ampliamento della sede viaria attuale per consentire il transito di mezzi pesanti; le prove di carico su piastra sono state realizzate in corrispondenza delle zone interessate dal futuro passaggio dei mezzi.

La variabilità dei valori di M_d derivati dalle prove PLT sono legate alla natura eterogenea del terreno più superficiale di riporto che richiede, al fine di garantire l'assenza di deformazioni dovute al passaggio di mezzi pesanti, elevate caratteristiche geomeccaniche e la presenza di ghiaia e sabbia o altro materiale inerte similare.

Il terreno di fondazione sottostante al manto di conglomerato bituminoso deve appartenere al gruppo delle terre A1a o A1b della classificazione AASHTO secondo le norme CNR - UNI 10006. Lo spessore finito dello strato di fondazione deve essere raggiunto stendendo il materiale per spessori non superiori a cm 30 e costipandolo con mezzi adeguati fino a raggiungere valori non minori del 95% della densità AASHTO Modificata misurata in laboratorio. Il grado di costipamento del materiale, controllato mediante prove con piastra, deve raggiungere valori del modulo M_d superiori a 1000 kg/cm^2 , che nell'area indagata sono stati raggiunti in due punti (siti n. 1 e 5) mentre in altri due (siti n. 2 e 3) i valori sono prossimi. Nel sito n. 4 i valori M_d risultano la metà del valore richiesto.

Pertanto, nella sua configurazione ideale, per la realizzazione della viabilità si dovrà procedere all'eventuale rinterro e al costipamento del terreno più superficiale.

5. TORRE FARO

Il progetto di sistemazione dell'area prevede la costruzione di una torre faro, alta circa 35 m, realizzata in carpenteria metallica, che sarà impostata su un plinto con piano di posa ubicato ad una profondità non superiore a 2.0 m – 3.0 m dal piano campagna attuale.

Il sedime di fondazione superficiale, costituito prevalentemente da sabbie limose sciolte/limi sabbiosi e argillosi, ha scadenti caratteristiche geotecniche, e quindi è opportuno trasmettere il peso del plinto e della struttura in elevazione a strati più profondi del terreno mediante fondazioni indirette.

Nonostante il peso elevato della struttura, stimato in circa 1000 kN - 1500 kN, si ritiene consigliabile l'impiego di micropali che possono essere realizzati con normali attrezzature di perforazione, come già applicato per altre identiche opere nell'area portuale (*Relazione geotecnica per il progetto di realizzazione di un piazzale intermodale in area di sviluppo del porto di Monfalcone*, CCIAA Azienda Porto, dott. Iadarola e ing. Meriggi, 2003).

5.1 Caratteristiche geotecniche del terreno

Facendo riferimento alle nuove indagini geognostiche e geotecniche eseguite nonché quelle precedenti già citate e in particolare le CPT eseguite nel settore confinante meridionale, è possibile sintetizzare il modello geotecnico del terreno come segue.

0,0 m ÷ 1,5 m

Dr= 50 %
 $\gamma_s=18$ kN/mc
 $\phi= 30^\circ$
 E= 3.000 kPa

Materiali di riporto (ghiaia e sabbia)

densità relativa;
 peso di volume saturo;
 angolo d'attrito;
 modulo di deformazione in condizioni drenate.

1,5 m ÷ 3,0 m

Dr= 40 %
 $\gamma_s=18$ kN/mc
 $\phi= 30^\circ$
 E= 5.000 kPa

Sabbie fini sciolte

densità relativa;
 peso di volume saturo;
 angolo d'attrito;
 modulo di deformazione in condizioni drenate.

3,0 m ÷ 4,8 m

$\gamma_s = 18$ kN/mc
 $c_u = 15$ kPa
 $\phi = 27^\circ$

Limi argillosi e sabbiosi sciolti

peso di volume saturo;
 coesione non drenata;
 angolo d'attrito in condizioni drenate

4,8 m ÷ 7,5 m

Dr = 40 %
 $\gamma_s = 18$ kN/mc
 $\phi = 30^\circ$
 E = 5000 kPa

sabbie fini/medie sciolte

densità relativa;
 peso di volume saturo;
 angolo d'attrito;
 modulo di deformazione in condizioni drenate

7,5 m ÷ 8,5 m

Dr = 50 %
 $\gamma_s = 18$ kN/mc
 $\phi = 29^\circ$
 E = 4.000 kPa

limi sabbiosi poco addensati

densità relativa;
 peso di volume saturo;
 angolo d'attrito;
 modulo di deformazione in condizioni drenate

8,5 m ÷ 11,3

Dr = 45 %
 $\gamma_s = 19$ kN/mc
 $\phi = 30^\circ$
 E = 5500 kPa

Sabbie fini poco addensate

densità relativa;
 peso di volume saturo;
 angolo d'attrito;
 modulo di deformazione in condizioni drenate

11,3 m ÷ 13,7 m

Dr = 20 %
 $\gamma_s = 18$ kN/mc
 $\phi = 29^\circ$
 E = 4000 kPa

Limi sabbiosi molli e sabbie fini molto sciolte

densità relativa;
 peso di volume saturo;
 angolo d'attrito;
 modulo di deformazione in condizioni drenate

13,7 m ÷ 14,9 m

$\gamma_s = 18$ kN/mc
 $c_u = 20$ kPa
 $\phi = 27^\circ$

Limi argillosi poco consistenti

peso di volume saturo;
 coesione non drenata;
 angolo d'attrito in condizioni drenate

14,9 m ÷ 20,0

Dr = 78 %
 $\gamma_s = 20$ kN/mc
 $\phi = 37^\circ$
 E = 33000 kPa

Ghiaia e Sabbie addensate

densità relativa;
 peso di volume saturo;
 angolo d'attrito;
 modulo di deformazione in condizioni drenate

Il livello massimo dell'acqua sotterranea si assume pari a circa 1,5 m dal piano campagna.

5.2 Micropali di fondazione

Pur lasciando alla fase progettuale la valutazione sulla tipologia e dimensionamento del palo, si suggerisce l'uso di pali trivellati di piccolo diametro che possono essere realizzati mediante un'unica iniezione di miscela cementizia a bassa pressione ed armati con un tubolare in acciaio con caratteristiche e dimensioni indicate dal calcolo strutturale. La perforazione, realizzata con un diametro minimo pari a $\Phi = 250$ mm, potrà essere spinta fino alla profondità di circa 15,5-16,0 m dal piano campagna attuale in modo da immergersi per 0,5-1,0 m nello strato ghiaioso. Solo a questa profondità nel sottosuolo vi è uno strato con elevate caratteristiche portanti in modo che la portata del micropalo possa essere sviluppata prevalentemente per punta e in parte per attrito laterale.

6. PERICOLOSITA' IDRAULICA

L'area interessata dall'intervento è adiacente ma esterna alle aree assoggettate al rischio idraulico per inondazione marina di livello P1 (basso grado) come perimetrata dal P.A.I.R. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico regionale, adottato dalla Giunta regionale con delibera 2278 di data 28/11/2014 e in vigore dal 18/12/2014 (fig. 10). Lo spessore della lama d'acqua previsto in caso di inondazione è inferiore a 50 cm.



Figura 10 - Estratto dal PAIR.
In verde, aree a rischio idraulico P1 (basso grado)

7. SISMICITA'

Il sito è posto nella pianura goriziana caratterizzata da sismicità modesta, nella quale si hanno risentimenti sismici legati agli eventi che avvengono in corrispondenza delle sorgenti sismogenetiche che orlano i rilievi prealpini della regione. Nella zona del Goriziano, le sorgenti sismogenetiche sono la SICS005 *Cividale-Nova Gorica* e la ITCS065 *Medea* (INGV-BDMI04, 2004) (fig. 9), a cui sono associati eventi sismici di intensità massima di 5,5 e 6,4 Mw rispettivamente. Entrambe sono lineamenti tettonici con orientazione NW-SE e WNW-ESE, immersione verso NW o NNE con media inclinazione e profondità massima di 9 km. La loro sismicità è legata a movimenti prevalentemente trascorrenti. Recentemente sono state evidenziate due strutture tettoniche nel Golfo di Trieste che sono identificate con ITCS100 (*Northern Trieste Gulf*) e con ITCS101 (*Southern Trieste Gulf*), entrambi sovrascorrimenti cui è associata una magnitudo Mw pari a 6,5.

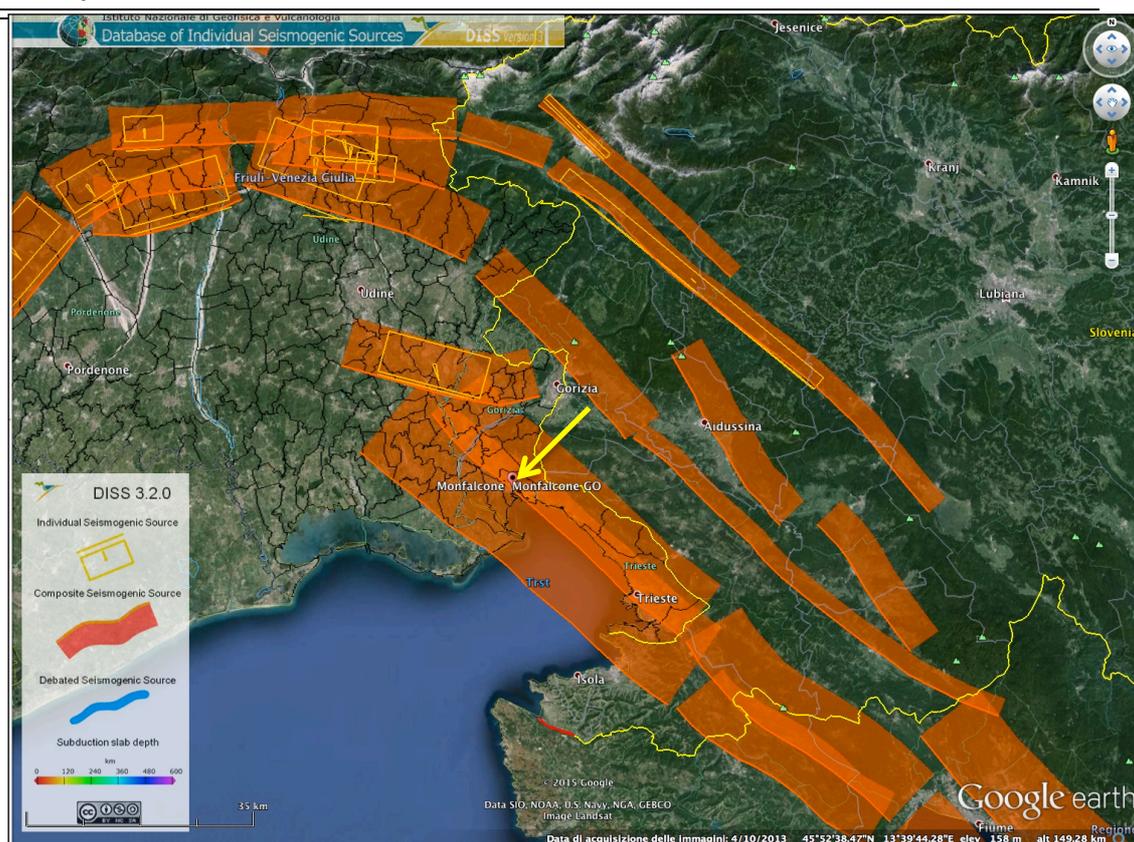


Figura 11 - Sorgenti sismogenetiche vicine (INGV-BDMI04, 2004). La freccia indica il sito in oggetto.

La storia sismica del territorio comunale può essere riassunta attraverso le intensità sismiche osservate a Monfalcone in seguito ai terremoti recenti avvenuti nelle aree limitrofe; gli effetti locali sono stati pari a 6 MCS per l'evento del Friuli 1976 e di 5 MCS per quello sloveno (Bovec-Alpi Giulie) del 1998.

Con Delibera G.R. 845 del 6/05/2010, che prevede la nuova classificazione sismica del territorio regionale, il Comune di Monfalcone è classificato in Zona 3 (zona di bassa sismicità).

7.1 Pericolosità sismica di base

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/08 l'azione sismica è determinata mediante un approccio "sito dipendente" che prevede la stima dei parametri spettrali di progetto. In assenza di studi sito specifici di risposta sismica locale, si può fare ricorso alla procedura semplificata con le informazioni derivanti dalla Tab.1 dell'Allegato B del D.M. medesimo, relative al "reticolo di riferimento".

La procedura di valutazione prevede:

- l'identificazione delle coordinate geografiche del sito
- l'identificazione dei 4 nodi della griglia di riferimento più vicini al sito
- la determinazione dei parametri spettrali (a_g , F_0 , T^*c) propri del sito in esame.

Pertanto:

- a. coordinate sito specifiche (ED50): latitudine=45,786902 longitudine=13,565418
- b. i quattro punti del reticolo sono :

sito	ID	Latitudine	Longitudine	Distanza (m)
1	11212	45,784940	13,561170	395,1
2	11213	45,784880	13,632720	5223,4
3	10991	45,834880	13,632860	7468,8
4	10990	45,834940	13,561240	5351,3

- c. la media pesata dei punti permette di ottenere i seguenti parametri spettrali per:
 - categoria di suolo è di tipo C (su base geofisica)

- condizioni topografiche di tipo T1 (Tab. 3.2.IV del D.M.) per superfici pianeggianti
- Classe d'uso 2, con presenza normale di persone, da cui $C_u=1,0$ (Tab. 2.4. II del DM)
- Vita nominale $V_N = \geq 50$ anni (Tab. 2.4.I del DM)
- Periodo di riferimento $V_R = V_N \times C_u = 50 \times 1,0 = 50$ anni

Pertanto:

	Psup (%)	Tr (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
SLO	81	30	0,039	2,507	0,221
SLD	63	50	0,051	2,529	0,251
SLV	10	475	0,135	2,485	0,333
SLC	5	975	0,175	2,538	0,345

Operatività (SLO); Danno (SLD); Salvaguardia della vita (SLV); Prevenzione dal collasso (SLC):

Sono considerate le probabilità di superamento nella vita di riferimento (SLV) che consentono il mantenimento operativo della struttura e non il suo collasso.

7.2 Amplificazione stratigrafica e topografica

Per il suolo di categoria D, i fattori correttivi relativi allo stato limite di vulnerabilità (SLV) assumono i seguenti valori:

$$S_S = 1,5$$

$$S_T = 1,0$$

L'accelerazione massima attesa al suolo è quindi pari a:

$$a_{\max} = S_S \times S_T \times a_g = 1,5 \times 1,0 \times 0,135g = 0,202g = 1,98 \text{ m/s}^2$$

8. CONCLUSIONI

Il presente studio ha avuto lo scopo di definire le caratteristiche stratigrafiche, sismiche e geotecniche del terreno relativamente al progetto di realizzazione di una torre faro e di una piattaforma stradale presso il varco doganale n. 2 del Porto di Monfalcone, in località Lisert (OP.188).

Il sottosuolo è costituito superficialmente da materiale superficiale formato da ghiaie e sabbie di riporto, seguito da alternanze di livelli sabbiosi e limoso sabbiosi e argillosi fino a circa 15 m di profondità dal p.c.; a tale quota è stato intercettato un banco ghiaioso fino a fondo foro cioè 20 m dal p.c..

La profondità del livello freatico è stata verificata a 1,5 m dal p.c., variabile in relazione alle maree.

Il sottosuolo rientra nella **Categoria C** (*depositi di terreni a grana grossa mediamente adensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s*) ai sensi del punto 3.2.2 del DM 4/01/2008. La frequenza fondamentale di sito è pari a 1,44 Hz.

Il progetto prevede l'ampliamento della sede viaria attuale per consentire il transito di mezzi pesanti; le prove di carico su piastra sono state realizzate in corrispondenza delle zone interessate dal futuro passaggio dei mezzi. I valori del modulo di deformazione M_d ricavate con prove di carico su piastra hanno indicato valori superiori a 40 MPa mentre valori superiori a 100 MPa sono stati rilevati solo in due siti. Pertanto, nella sua configurazione ideale, per la realizzazione della viabilità si dovrà procedere all'eventuale rinterro e al costipamento del terreno più superficiale in modo da ottenere una distribuzione omogenea dei valori più elevati.

Il progetto di sistemazione dell'area prevede la costruzione di una torre faro, alta circa 35 m, realizzata in carpenteria metallica, che sarà impostata su un plinto con piano di posa ubicato ad una profondità non superiore a 2.0 m – 3.0 m dal piano campagna attuale. Nonostante il peso elevato della struttura, stimato in circa 1000 kN - 1500 kN, si ritiene consigliabile l'impiego di micropali di diametro 250 mm che possono essere realizzati con normali attrezzature di perforazione, come già applicato per altre identiche opere nell'area portuale, di lunghezza di 14-15 m in modo da ottenere l'immorsamento nel banco ghiaioso rilevato a 15 m di profondità.

L'intervento di progetto è compatibile con le condizioni geologiche e geotecniche dei terreni di fondazione. Si evidenzia la necessità, in fase di cantiere per la sistemazione stradale, di verificare la rispondenza dei terreni della pavimentazione stradale ai requisiti di cui alle norme CNR - UNI 10006.

Gradisca d'Isonzo, marzo 2016

dott. geol. Fulvio Iadarola