

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 1 di 28	Rev. 0

**ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE
 CENTRALE COMPRESSIONE GAS DI MALBORGHETTO
 COLLEGAMENTO METANODOTTO
 DN 1200 (48"), DP 75 bar**

Verifiche di stabilità della scogliera esistente e delle opere temporanee

Relazione tecnica e verifiche di stabilità

SAIPEM SPA
 Il Progettista
 Dott. Ing. A. PARLATO iscritto all'ordine
 degli ingegneri della Provincia di Avellino al n. 2095
 Tel. 0721.1686481 - Fax 0721.1682019
 C.F. e P. IVA 00825790157



0	EMISSIONE PER ENTI	De Cicco	Morgante	Parlato	Set. '20
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 2 di 28	Rev. 0

I N D I C E

1.	GENERALITÀ	3
1.1	Inquadramento territoriale del sito di progetto	3
1.2	Caratteristiche del progetto	4
1.3	Scopo del documento	7
1.4	Normativa di riferimento	7
1.5	Documenti di progetto di riferimento	8
1.6	Sistema di qualità	8
2.	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA	9
2.1	Inquadramento geologico	9
2.2	Indagine geognostica	10
2.3	Interpretazione delle indagini	12
3.	MODELLO DI CALCOLO	15
3.1	Modello geometrico	15
3.2	Modello geotecnico	17
4.	AZIONI DI PROGETTO	19
5.	CRITERI DI VERIFICA E COMBINAZIONI DI CARICO	20
6.	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	23
7.	CONCLUSIONI	25
8.	ALLEGATO 1 - FASCICOLO DEI CALCOLI	26
9.	ALLEGATO 2 – ELABORATO 00-CA-E-94001 – RELAZIONE GEOLOGICA	27
10.	ALLEGATO 3 – ELABORATO 00-CI-E-10001 – RELAZIONE GEOTECNICA	28

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO		Fg. 3 di 28	Rev. 0

1. GENERALITÀ

1.1 Inquadramento territoriale del sito di progetto

L'area oggetto d'interesse è ubicata nel comune di Malborghetto Valbruna (UD), circa 1,0 km a Ovest del capoluogo, in destra del fiume Fella (Figura 1.1.1).



Figura 1.1.1: Corografia dell'area di intervento (dalla carta "OpenStreetMap" – riproduzione non in scala)

Altri riferimenti cartografici sono:

- la Carta Tecnica Numerica Regionale della Regione Autonoma Friuli – Venezia Giulia – 033050 "LAGLÈSIE SAN LEOPOLDO", scala 1:10000, riprodotta in stralcio (nella Figura 1.1.2);
- immagine da satellite dell'area tratta da Google Earth, riprodotta nella Figura 1.1.3.

Altimetricamente l'area di interesse si trova ad una quota media di circa 680 m s.l.m.

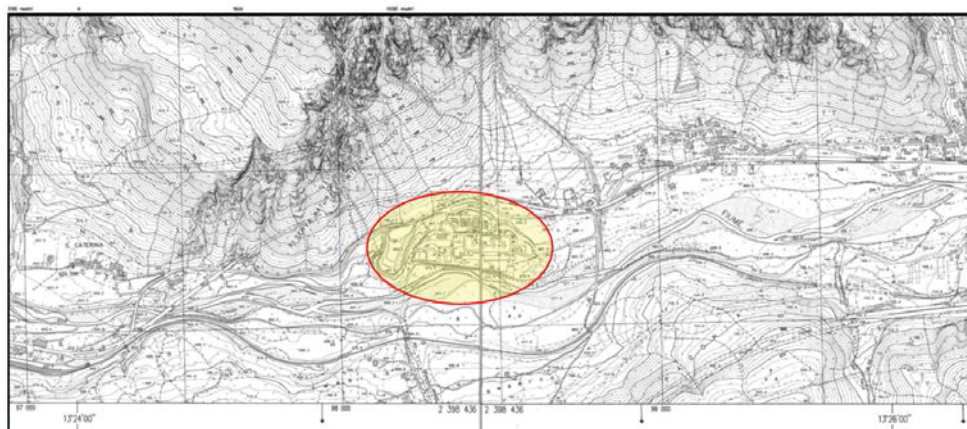


Figura 1.1.2: Corografia dell'area di intervento (dalla carta Tecnica Numerica Regionale della Regione Autonoma Friuli – Venezia Giulia – 033050 "LAGLÈSIE SAN LEOPOLDO" unita a 03360 "MALBORGHETTO", scala 1:10000 – riproduzione non in scala)

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 4 di 28	Rev. 0



Figura: 1.1.3: Immagine satellitare dell'area di intervento (da Google Earth - riproduzione non in scala)

1.2 Caratteristiche del progetto

L'area dell'impianto della Centrale di Compressione di Malborghetto, gestito da Snam nell'ambito del sistema "Importazione Gas dalla Russia", è ubicata nel territorio Comunale di Malborghetto – Valbruna ed è inquadrata nel Foglio Catastale F9.

La centrale occupa un ampio terrazzo costituito da alluvioni grossolane, in sponda destra idrografica del Fiume Fella, ed è provvista, in lato fiume, di una lunga scogliera in massi naturali, non cementati, e di pezzatura non inferiore a 0,7 m³.

Il progetto di "Adeguamento Impianto di Compressione Gas di Malborghetto (UD) Fase 01", previsto per la Centrale di Compressione di Malborghetto, prevede lavori da realizzare per gran parte all'interno dell'area della Centrale stessa.

In particolare, è prevista la realizzazione di un tratto in variante di "Collegamento tra il Metanodotto Tarvisio – Malborghetto e il Potenziamento Importazione da CSI Malborghetto – Bordano, DN 1200 (48"), DP 75 bar" di lunghezza di circa 436 m, che, a causa della mancanza di disponibilità di spazio all'interno della recinzione, dovrà essere costruito per una lunghezza di 195 m, all'esterno dell'Area della Centrale, in adiacenza della recinzione. Quest'ultimo tratto è stato ubicato nel tratto lato Fiume, nel sedime della strada di servizio, tra la recinzione della Centrale e la scogliera in massi esistenti. In tale tratto, lo spazio trasversale tra il coronamento della scogliera e la recinzione della Centrale limitato a soli 6 – 8 metri (cfr, Figure 1.2.3 e 1.2.4), richiede l'adozione di un metodo di costruzione "non standard" (per la costruzione con metodi standard di un metanodotto 48" sono richiesti al minimo 18 metri di larghezza della pista di lavoro). Per eseguire i lavori di costruzione del metanodotto in variante è necessario quindi, costruire un rilevato temporaneo addossato alla scogliera, con le caratteristiche dimensionali schematizzate in Figura 1.2.4.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO		Fg. 5 di 28	Rev. 0

Tale rilevato, ricade nell'ambito dell'alveo attivo del Fiume Fella e avrà la stessa durata programmata per i lavori, e cioè per un massimo di 3 mesi.

La Figura 1.2.1 mostra lo stralcio della Planimetria Catastale dell'area della Centrale; le campiture colorate indicano le aree temporanee di lavoro.

La Figura 1.2.2 mostra lo stralcio della planimetria di progetto allegata, con evidenziato in rosso, il tracciato in variante del DN 1200 e in arancione l'ingombro del rilevato temporaneo la cui lunghezza è prevista per circa 260 m.

La Figura 1.2.3 mostra la sezione trasversale, rappresentativa del tratto, sia nella situazione pre-esistente ai lavori che in quella post- intervento.

La Figura 1.2.4 mostra la sezione trasversale, rappresentativa del tratto durante i lavori di costruzione.

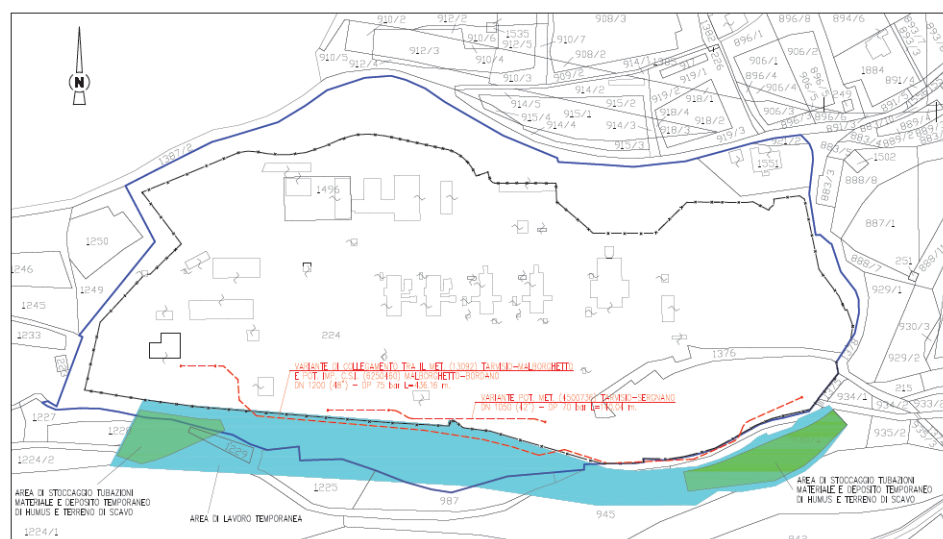


Figura 1.2.1 – Stralcio della Planimetria Catastale dell'area della Centrale di Malborghetto Comune di Malborghetto – Val Bruna Foglio 9.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO		Fg. 6 di 28	Rev. 0

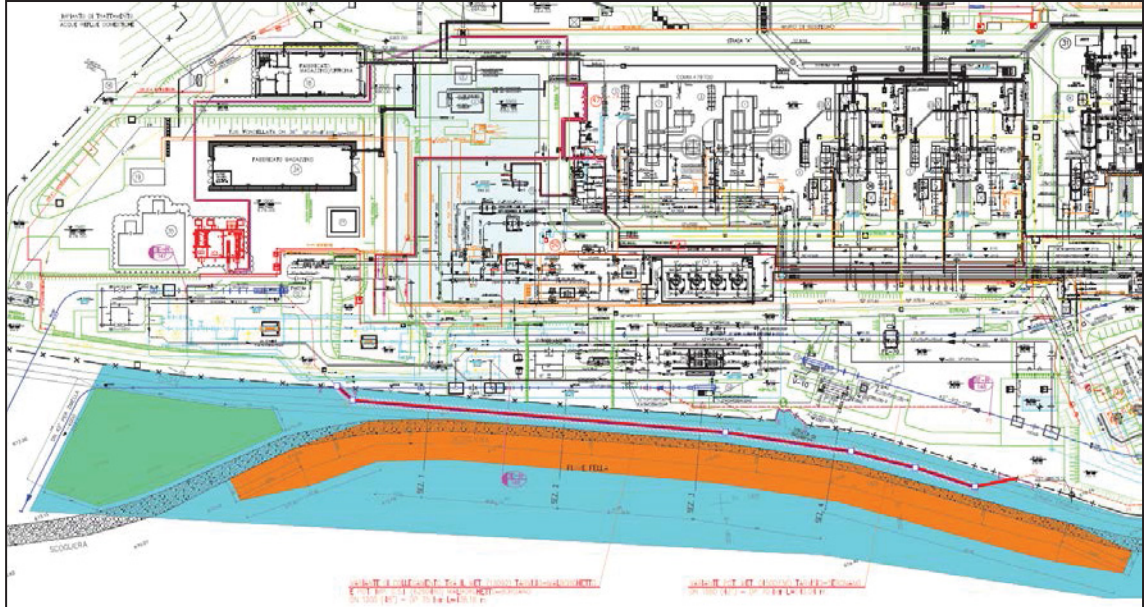


Figura 1.2.2 – Stralcio della Planimetria di progetto con occupazione delle aree temporanee di lavoro.

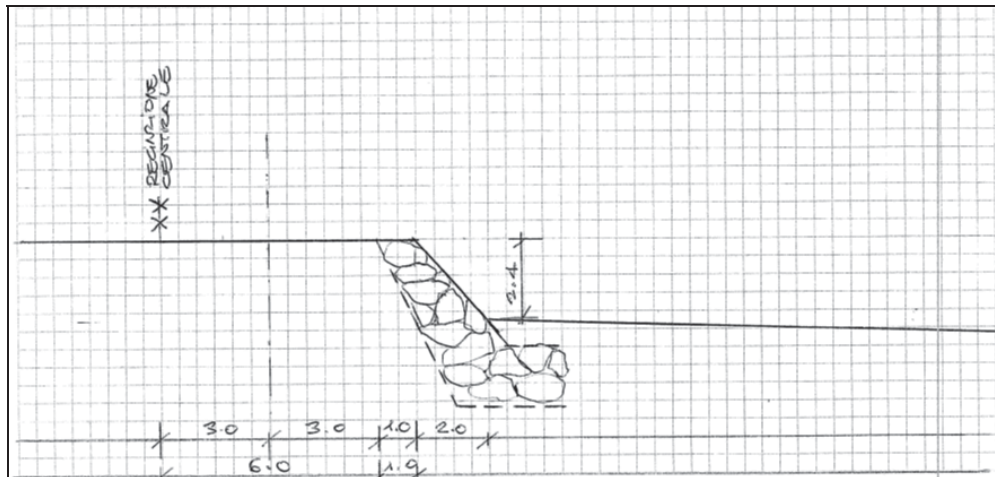


Figura 1.2.3 – Sezione trasversale tipo rappresentativa del tratto

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 7 di 28	Rev. 0

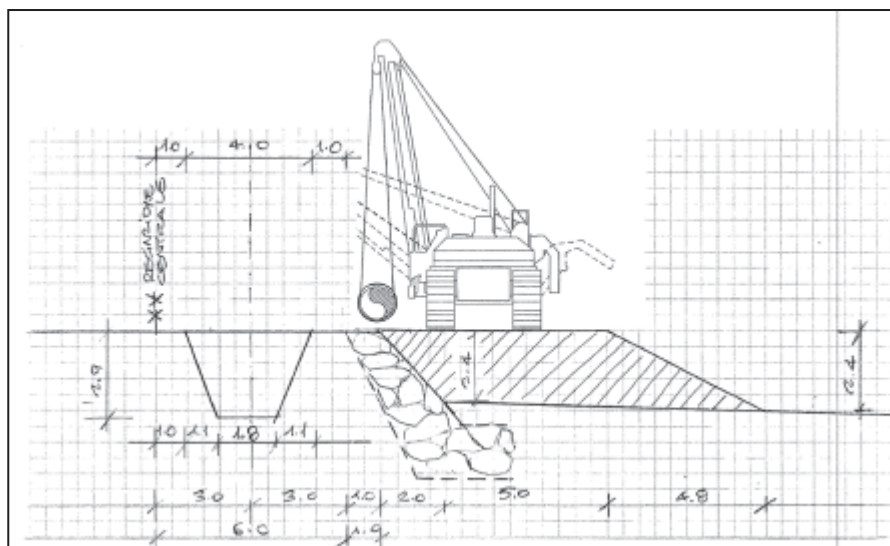


Figura 1.2.4 – Sezione trasversale tipo, rappresentativa del tratto durante i lavori di costruzione

1.3 Scopo del documento

Oggetto della presente relazione tecnica sono le verifiche di stabilità del sistema scogliera-rilevato da realizzare per far fronte alla limitata disponibilità di spazi necessari alle operazioni di posa del metanodotto di collegamento DN 48”.

Il rilevato ha carattere di opera temporanea e verrà rimosso a fine lavori; mentre la scogliera in massi pre-esistente ai lavori, è un’opera di difesa idraulica a carattere permanente, quindi deve conservare le caratteristiche di integrità e stabilità pre-esistenti ai lavori.

1.4 Normativa di riferimento

La presente relazione è redatta in conformità alle disposizioni delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito “NTC18”), emesse con Decreto Ministro delle Infrastrutture del 17 gennaio 2018, di concerto con il Ministro dell’interno e con il Capo del Dipartimento della Protezione Civile, ai sensi delle leggi 05/11/1971, n. 1086, e 02/02/1974, n. 64, così come riunite nel “Testo Unico per l’Edilizia” di cui al D.P.R. 06/06/2001, n. 380, e dell’art. 5 del Decreto Legge 28/05/2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall’art. 1 della legge 27/07/2004, n. 186 e ss.mm.ii.

Essa ha inoltre riferimento, sia in linea generale sia nel dettaglio, nei seguenti strumenti di normazione e documenti tecnici:

- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 21 gennaio 2019, n. 7, recante “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 8 di 28	Rev. 0

norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018” (di seguito “Istruzioni”);

- Eurocodice 7, “progettazione geotecnica”.

1.5 Documenti di progetto di riferimento

Per la caratterizzazione geologico-geotecnica del sito di esecuzione, nonché per i risultati ottenuti dalle indagini geognostiche condotte, si fa riferimento agli elaborati sviluppati per l'intervento di adeguamento dell'impianto di Compressione Gas di Malborghetto, e allegati alla presente relazione tecnica:

Allegato 2: Relazione geologica 00-CA-E-94001;

Comprensivo di:

- Indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche per la caratterizzazione litostratigrafica e sismica del sottosuolo. Indagini per la caratterizzazione ambientale dei terreni;
- Certificati analisi laboratorio geotecnico;

Allegato 3: Relazione geotecnica 00-CI-E-10001;

A tali elaborati si rimanda per quanto non espressamente descritto nella presente relazione e per ogni correlato approfondimento.

1.6 Sistema di qualità

Le attività relative al presente studio sono sviluppate seguendo quanto stabilito dalle procedure ed istruzioni di lavoro applicabili nell'ambito del sistema di qualità aziendale SAIPEM S.p.A., certificato dal TUV NORD ai sensi UNI EN ISO 9001:2015 (Certificate No: 44 100 16410143-002 – Original approval: 08/12/1994).

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 9 di 28	Rev. 0

2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geologica e geotecnica del sito di progetto si è fatto riferimento agli studi e alle indagini geognostiche condotte per l'intervento di adeguamento dell'Impianto di Compressione Gas di Malborghetto.

2.1 Inquadramento geologico

Come si osserva dallo stralcio della Carta Geologica del Friuli – Venezia Giulia, riprodotto in Figura 2.1.1, l'area di intervento risulta caratterizzata dalla presenza di detriti di falda recenti e attuali: sono localizzati ai piedi di pareti sub-verticali o lungo i pendii, e sono composti in prevalenza da ciottoli, ghiaia e sabbie, in scarsa matrice limoso-sabbiosa.

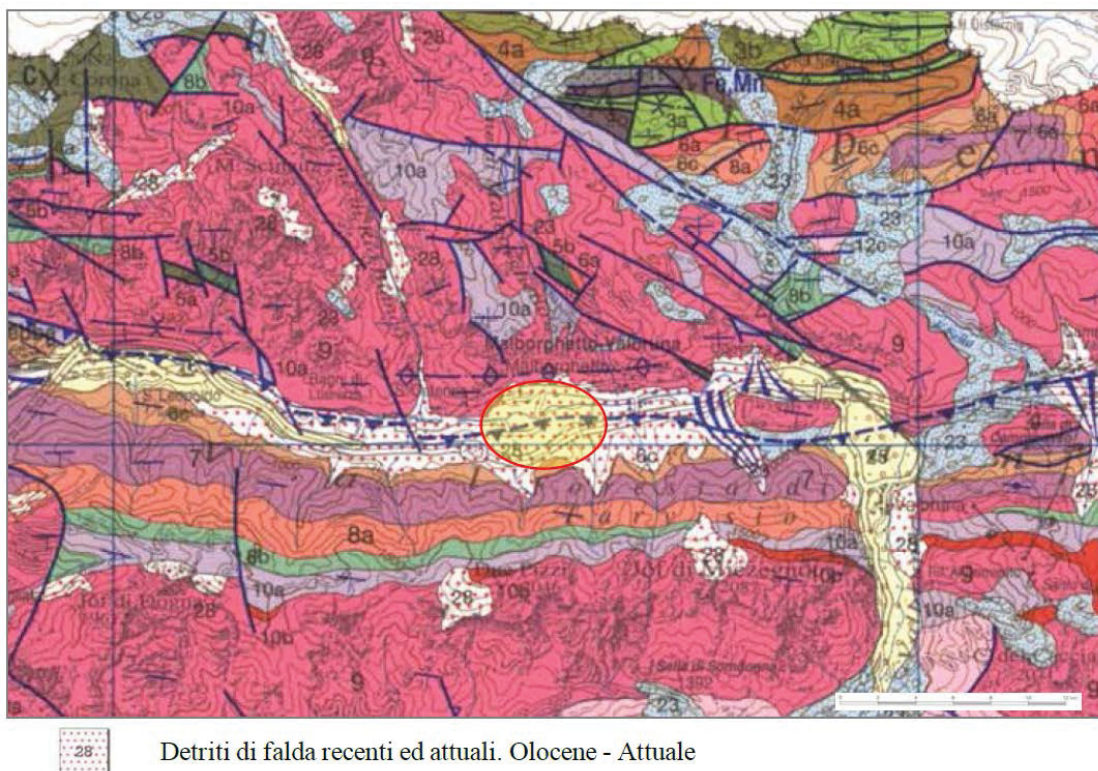


Figura: 2.1.1: Stralcio della Carta Geologica del Friuli – Venezia Giulia (*riproduzione non in scala*)

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 10 di 28	Rev. 0

2.2 Indagine geognostica

Nell'ambito dell'intervento di adeguamento dell'Impianto di Compressione Gas di Malborghetto (UD) è stata eseguita un'ampia campagna d'indagini volta a definire le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni presenti nell'area d'impianto.

I risultati ottenuti da suddette indagini sono stati considerati per la definizione di un modello geotecnico di sottosuolo utile a verificare la stabilità delle opere provvisorie in progetto.

Nello stralcio planimetrico riportato in Figura 2.2.1 si evidenzia la posizione delle verticali indagate e l'ubicazione delle prove condotte in sito dall'Impresa Geotecnica Veneta durante i mesi di ottobre e novembre 2019.

In particolare, le indagini eseguite consistono in:

- N. 12 sondaggi geognostici, a carotaggio continuo, nell'area d'impianto SRG, denominati BH1÷BH12, spinti a una profondità variabile da 20 m a 30 m dal p.c. esistente;
- N. 4 sondaggi geognostici, a carotaggio continuo, nell'area delle flow line interrato fuori Centrale, denominati BH13÷BH16, spinti a una profondità di 20 m dal p.c. esistente;
- N. 4 prove sismiche di tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

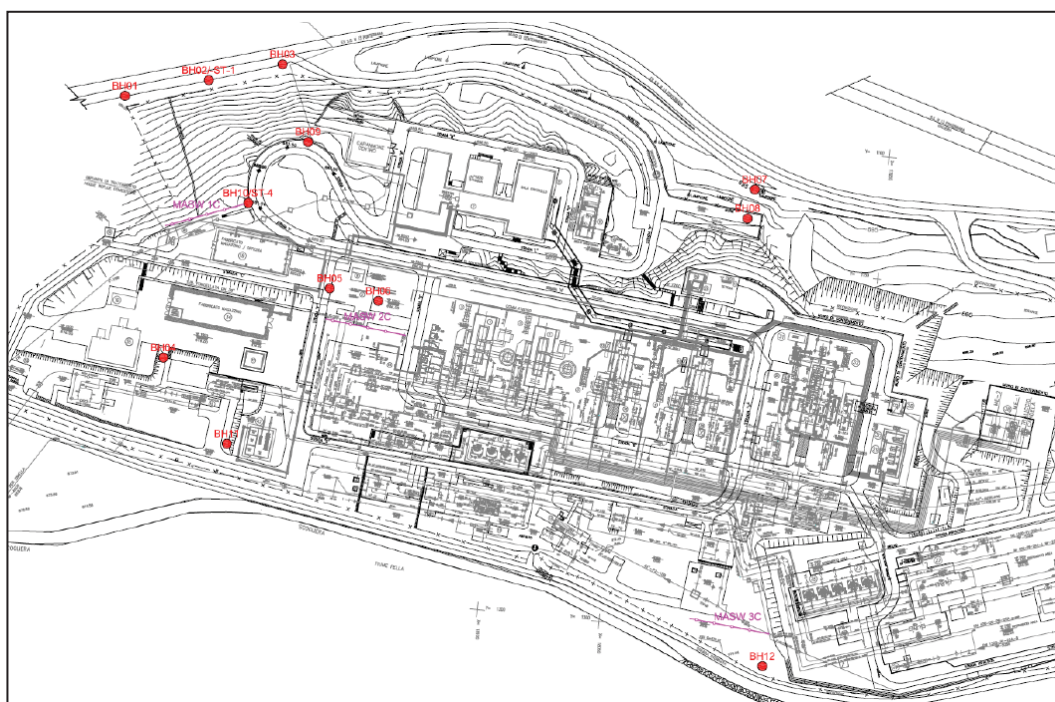


Figura: 2.2.1: Stralcio planimetrico con ubicazione delle indagini svolte

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 11 di 28	Rev. 0

I sondaggi geognostico-geotecnici sono stati eseguiti a rotazione con carotaggio integrale a secco del terreno, secondo le modalità previste dalle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" AGI (giugno 1977), con percentuali di recupero sempre superiori all'85%.

Nel corso dei sondaggi, oltre alla descrizione dei terreni e all'esecuzione di prove speditive di resistenza con Pocket Penetrometer e Torvane in presenza dei rari livelli coesivi presenti, sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche standard in foro (Standard Penetration Test, SPT) in corrispondenza dei livelli granulari per la determinazione del grado di addensamento e della resistenza dei materiali granulari e prove di permeabilità tipo Lefranc per la determinazione dei coefficienti di permeabilità dei terreni.

Nel corso delle prove penetrometriche standard (SPT) sono stati prelevati campioni mediante il campionatore Raymond e, quando eseguite con la punta conica chiusa, mediante successivo carotaggio. I campioni rimaneggiati sono stati prelevati in accordo alla specifica ASTM D1587. Negli strati di terreni incoerenti e granulari, le prove penetrometriche dinamiche standard (SPT) in foro, sono state eseguite in accordo con la specifica ASTM D1586 così come il contemporaneo campionamento del terreno mediante campionatore Raymond. Quando le prove SPT sono state eseguite con la punta conica chiusa, per la presenza di granuli grossolani, il campionamento del terreno, su cui era stata eseguita la prova, è stato eseguito mediante successivo carotaggio.

I campioni (indisturbati e rimaneggiati) prelevati nel corso dei sondaggi sono stati conservati e spediti al laboratorio geotecnico "Laboratorio Geomeccanico Orazi S.A.S." di Pesaro, incaricato di eseguire le prove di laboratorio.

Su tutti i campioni rimaneggiati sono state eseguite prove di classificazione, con caratterizzazione delle proprietà indici e granulometriche.

Come anticipato nel paragrafo relativo alla documentazione di riferimento, nell'Allegato 1 alla relazione geologica (ref. Doc. 00-CA-E-94001) sono riportati i risultati dell'indagine geognostica e geotecnica in situ, mentre nell'Allegato 2 sono riportati i risultati delle prove di laboratorio geotecnico.

Si precisa che ai fini della presente relazione si sono considerate le sole verticali d'indagine denominate BH11 e BH12, rappresentative dei terreni presenti tra la recinzione dell'impianto e l'opera di difesa spondale.

Sudette verticali risultano caratterizzate dalla presenza di depositi incoerenti: ghiaia medio grossolana calcarea a clasti sub-angolari in una matrice sabbiosa o sabbioso limosa. Inoltre, si è rilevata la presenza di venute idriche per la sola verticale denominata BH11, a una profondità di circa 6,7 m dal p.c. esistente.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 12 di 28	Rev. 0

2.3 Interpretazione delle indagini

Dalla relazione geotecnica redatta per l'intervento di adeguamento dell'Impianto di Compressione Gas di Malborghetto (ref. Doc. 00-CI-E-10001) si evince quanto segue:

Vista la natura generalmente granulare e incoerente dei terreni interessati, sono risultate utili le interpretazioni, mediante accreditate correlazioni di letteratura tecnica internazionale, delle prove penetrometriche dinamiche standard (SPT) e delle prove di laboratorio, i cui risultati e le cui interpretazioni hanno consentito di definire i parametri fisico-meccanici dei terreni presenti nell'area di intervento.

Pertanto, al fine di ricavare le informazioni utili a caratterizzare il comportamento meccanico dei terreni presenti nel sito di interesse, si è fatto particolare riferimento alle correlazioni utilizzate per determinare l'angolo di attrito dei terreni granulari, φ' , attraverso il numero dei colpi della prova SPT, N_{SPT} .

Di seguito si riportano alcuni dei risultati ottenuti.

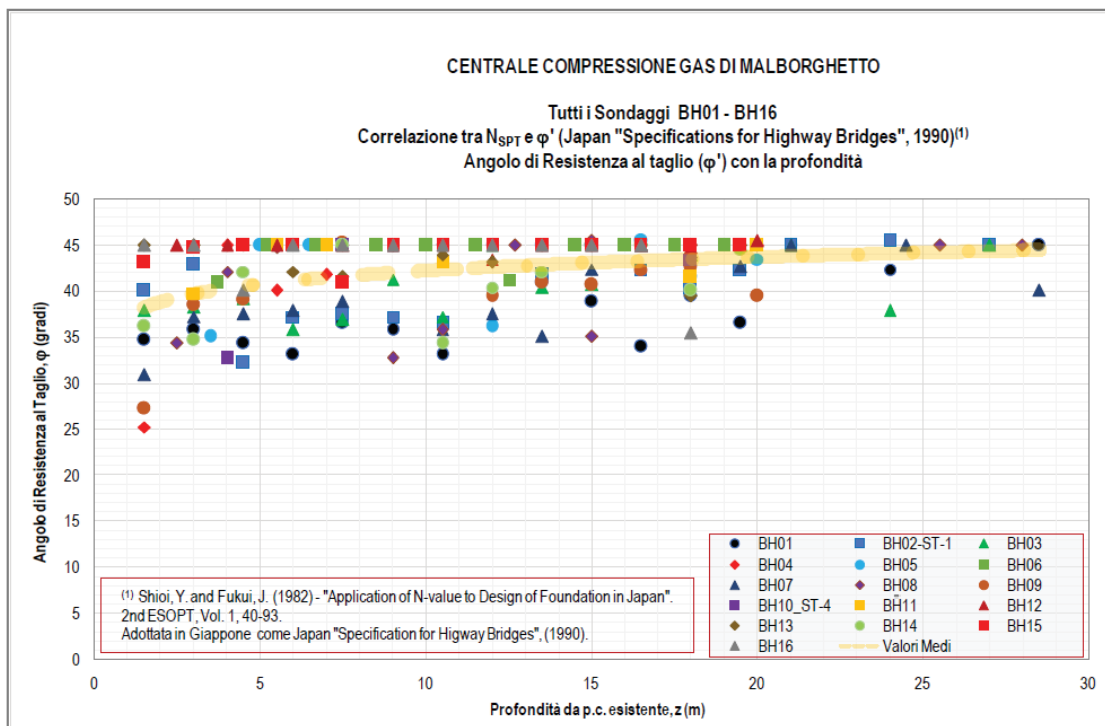


Figura: 2.3.1: Correlazione Japan "Specifications for Highway Bridges" – Andamento di φ con la profondità dal p.c.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO		Fg. 13 di 28	Rev. 0

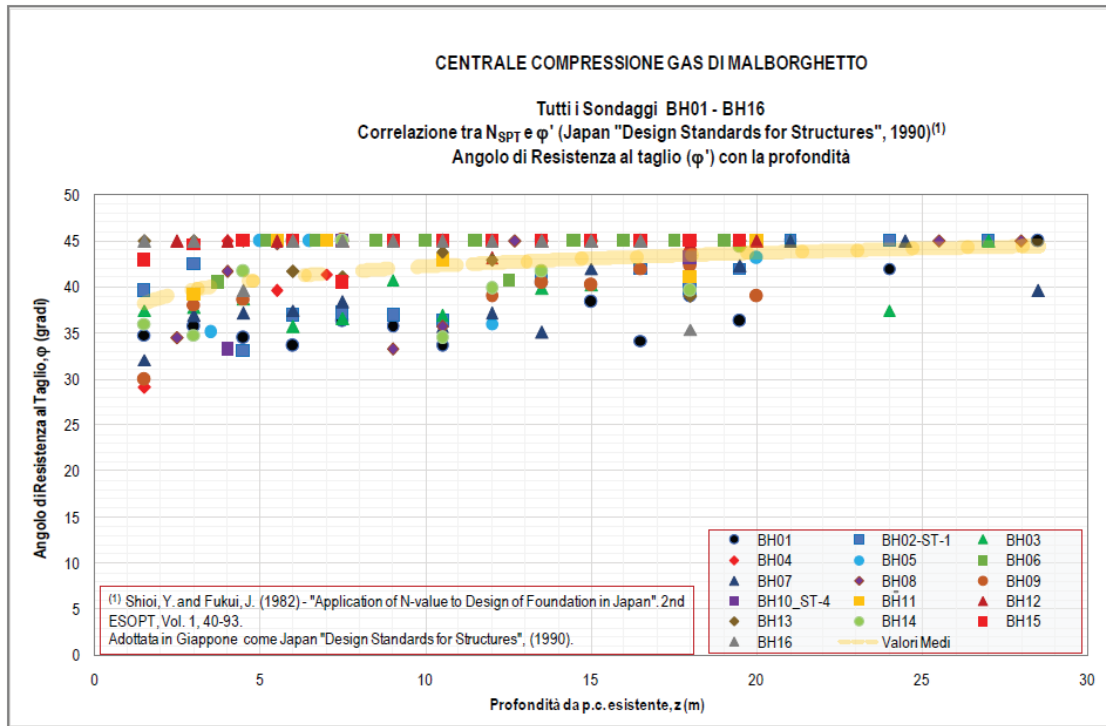


Figura: 2.3.2: Correlazione Japan "Design Standards for Structures" – Andamento di φ con la profondità dal p.c.

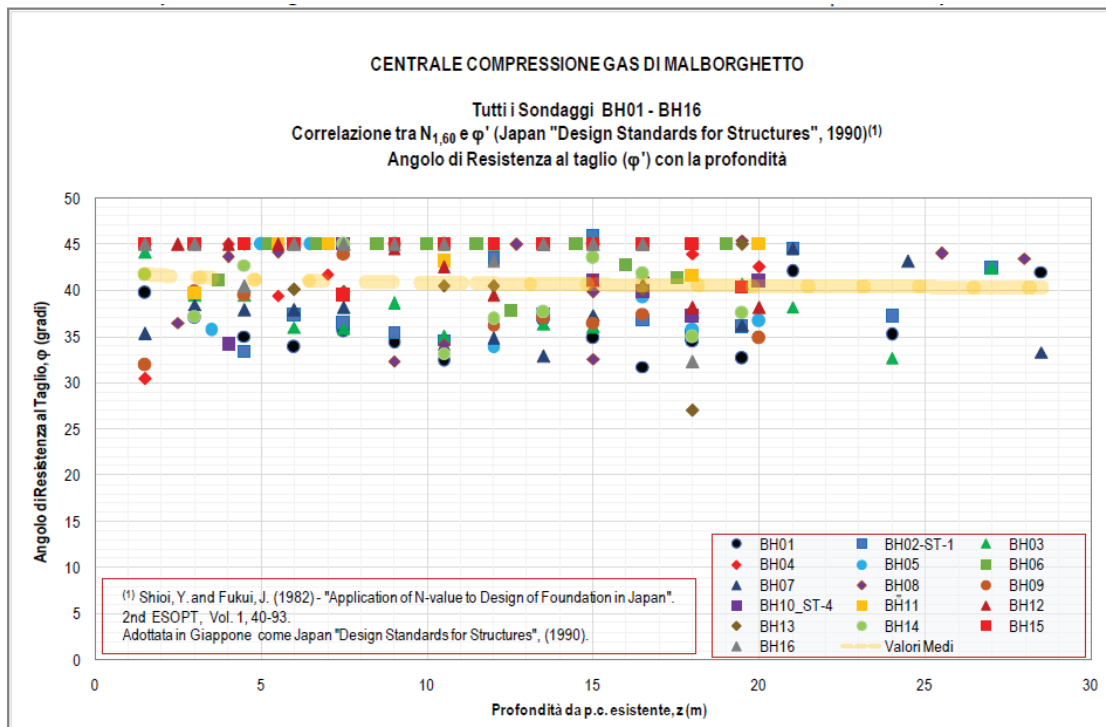


Figura: 2.3.3: Correlazione Japan "Design Standards for Structures" con $N_{1,60}$ – Andamento di φ con la profondità dal p.c.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 14 di 28	Rev. 0

Dai risultati disponibili, per le verticali denominate BH11 e BH12 si osservano dei valori dell'angolo di resistenza al taglio efficace variabili tra 40° e 45° all'aumentare della profondità dal p.c. esistente.

Pertanto, sulla base di quanto definito nella relazione geotecnica redatta per l'intervento di adeguamento dell'Impianto di Compressione Gas di Malborghetto, ai fini pratici di calcolo, per i terreni presenti nell'area di intervento si sono considerati i seguenti parametri geotecnici:

Sabbia e ghiaia, con scarsa frazione fina limoso-argillosa non plastica o poco plastica, generalmente molto addensata.

- valore caratteristico del peso di volume naturale, γ_k = 20 kN/m³
- valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio, φ'_k = 40 °
- modulo di deformazione confinato, M_0 ≥ 40-45 MN/m²
- valore caratteristico della coesione efficace, c'_k = 5,0 kPa

Si precisa che i dati geotecnici indicati sono stati desunti da sondaggi eseguiti in aree limitrofe al sito di interesse. Inoltre, il presente studio non ha carattere di progetto per la definizione della geometria della trincea del metanodotto, che sarà soggetta a successive verifiche attraverso apposita relazione di stabilità dei fronti di scavo, redatta da professionista abilitato per conto dell'impresa esecutrice. Pertanto, in fase di esecuzione dei lavori, qualora le condizioni rilevate dovessero differire da quanto ipotizzato in fase di progetto (in termini di angolo di attrito, ecc.), sarà necessario prevedere adeguati sistemi di contenimento delle pareti dello scavo.

Per quanto non espressamente descritto nella presente relazione, e per ogni correlato approfondimento, si rimanda agli elaborati di progetto citati nel paragrafo relativo alla documentazione di riferimento.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 15 di 28	Rev. 0

3. MODELLO DI CALCOLO

Per far fronte alla limitata disponibilità di spazi necessari alle operazioni di posa del metanodotto di collegamento DN 48" è prevista la costruzione di un rilevato temporaneo, addossato al paramento esterno della scogliera, e atto a consentire il transito dei mezzi di posa del metanodotto durante le diverse fasi di lavoro.

Pertanto, sebbene la determinazione dei parametri geotecnici ricavati dalle prove in sito e di laboratorio, nonché l'interpretazione dei profili stratigrafici indagati, ha permesso di definire le caratteristiche fisico-meccaniche proprie dei terreni presenti nel sito di progetto, per la definizione di un modello che risulti rappresentativo della situazione in progetto è necessario considerare anche le caratteristiche dei materiali che compongono il sistema scogliera-rilevato, unitamente alle caratteristiche geometriche della sezione di verifica.

3.1 Modello geometrico

Il sistema di difesa spondale si presenta geometricamente omogeneo lungo il suo intero sviluppo. Pertanto, ai fini della modellazione, si è scelta la sezione caratterizzata da un'altezza maggiore del rilevato provvisorio (Sez. 1).

Di seguito si riporta uno stralcio della planimetria di progetto (Figura 3.1.1) con l'individuazione della sezione di verifica (Figura 3.1.2).

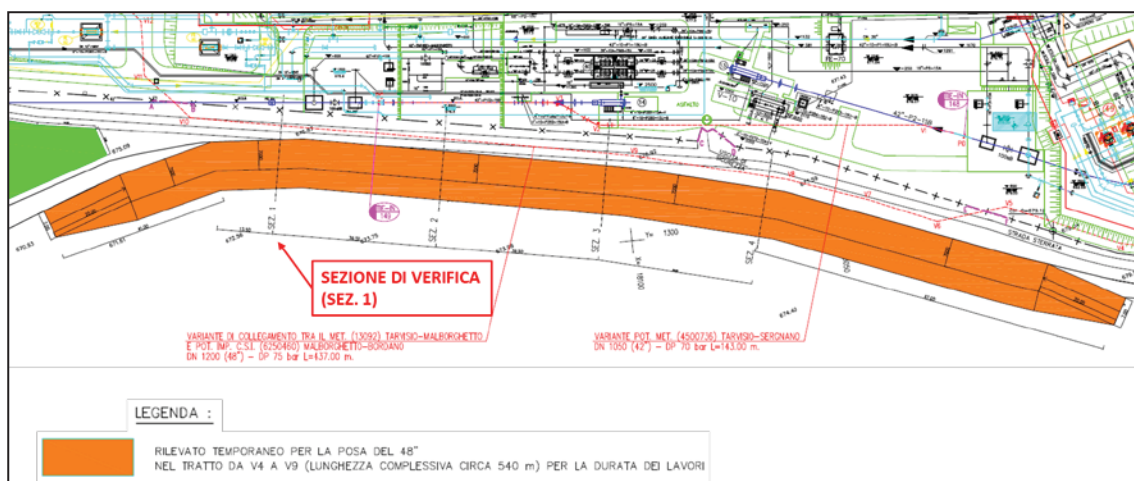


Figura: 3.1.1: Stralcio della planimetria di progetto

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO		Fg. 16 di 28	Rev. 0

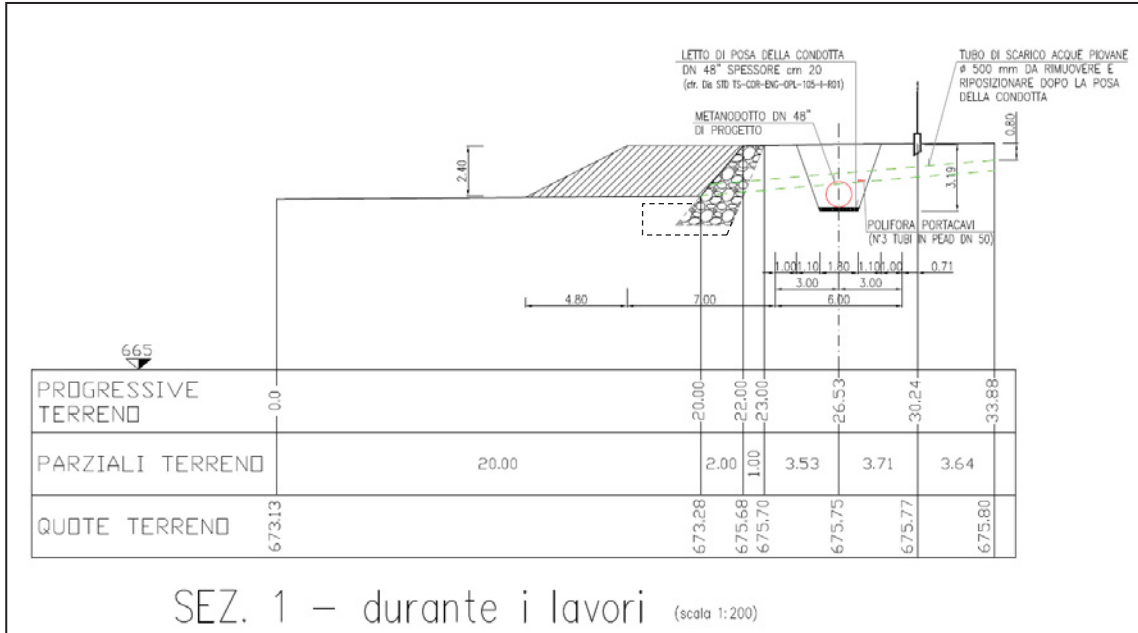


Figura:3.1.2: Sezione di verifica

Sulla base delle condizioni topografiche rilevate si è quindi definito un modello geometrico bidimensionale rappresentativo della situazione in progetto (Figura 3.1.3).

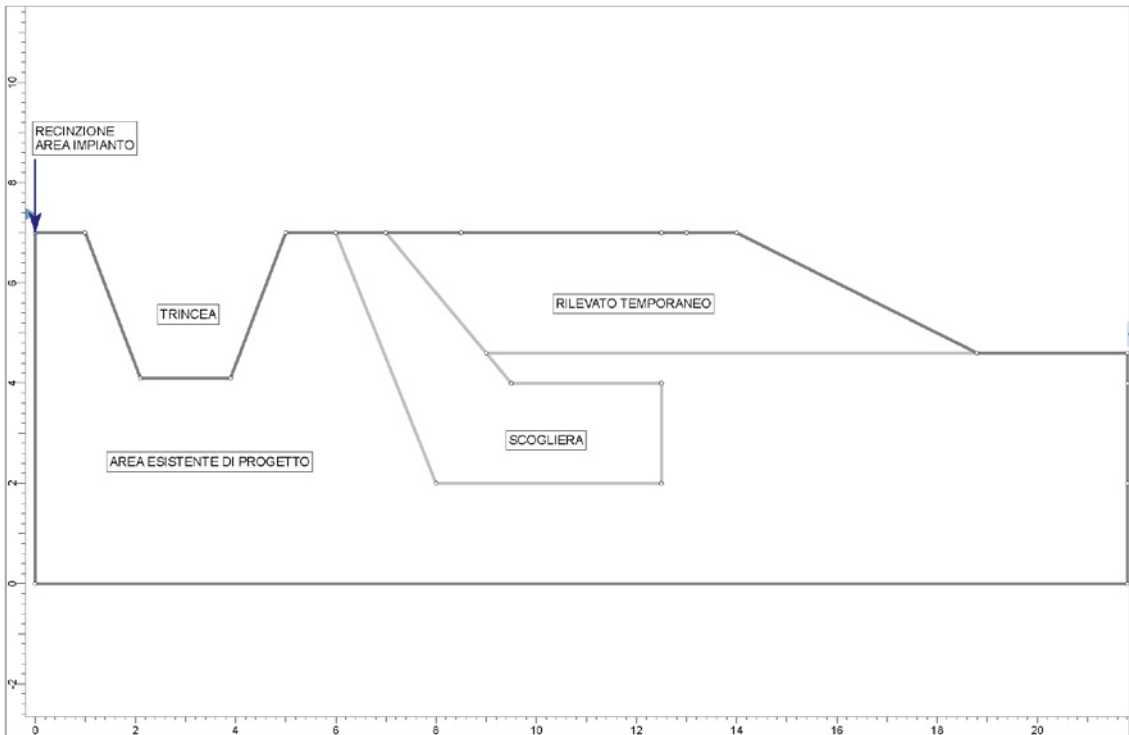


Figura:3.1.3: Modello geometrico

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 17 di 28	Rev. 0

3.2 Modello geotecnico

I risultati ottenuti dalla campagna geognostica condotta, unitamente all'analisi di studi di letteratura e conoscenze pregresse su depositi detritici aventi caratteristiche simili a quelle rilevate in sito, hanno portato alla definizione di un modello geotecnico rappresentativo del sistema scogliera-rilevato (inteso come schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e dei caratteri fisico-meccanici dei terreni compresi nel volume significativo), finalizzato all'analisi quantitativa degli specifici aspetti geotecnici trattati.

Si osservi che, per la modellazione della scogliera in massi nella sezione di verifica, il codice di calcolo richiede l'individuazione di un setto invalicabile da parte delle superfici di scorrimento o l'assunzione di parametri geotecnici tali da impedire la formazione di superfici di scivolamento che coinvolgono lo stesso sistema di difesa spondale. Pertanto, ai fini della modellazione, si è scelto di adottare un valore della coesione efficace tale da evitare la formazione di piani di scorrimento all'interno della scogliera.

Ai fini pratici di calcolo, per ciascuna unità geotecnica definita nel modello, si sono considerati i seguenti valori dei principali parametri fisico-meccanici:

Sabbia e ghiaia presente in sito

- valore caratteristico del peso di volume naturale, γ_k = 20 kN/m³
- valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio, φ'_k = 40 °
- valore caratteristico della coesione efficace, c'_k = 0,0 kPa

Scogliera in massi

- valore caratteristico del peso di volume naturale, γ_k = 20 kN/m³
- valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio, φ'_k = 50 °
- valore caratteristico della coesione efficace, c'_k = 100,0 kPa

Rilevato temporaneo in ghiaia

- valore caratteristico del peso di volume naturale, γ_k = 20 kN/m³
- valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio, φ'_k = 45 °
- valore caratteristico della coesione efficace, c'_k = 0,0 kPa

Inoltre, vista la natura dell'opera: rilevato in ghiaia temporaneo, dove le condizioni di progetto permarranno per un tempo limitato alle sole operazioni di posa del metanodotto, e avendo riscontrato la presenza di venute idriche unicamente per la verticale denominata BH11, a una profondità di circa 6,7 m dal p.c. esistente, si è scelto di considerare la falda assente durante le fasi di verifica delle opere in progetto. Avendo considerato una profondità del modello di calcolo di circa 7 m, la posizione della falda risulterebbe infatti poco significativa ai fini della verifica stessa.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 18 di 28	Rev. 0

Tuttavia, nel caso in cui si dovesse rilevare la presenza di venute idriche sul fondo della trincea, al fine di favorire le operazioni di posa del metanodotto, sarà onere dell'impresa esecutrice dei lavori procedere con il drenaggio delle acque presenti nello scavo. Si precisa che le operazioni di drenaggio dovranno essere compatibili con l'eventuale consolidazione del terreno, ponendo particolare attenzione al caso in esame, caratterizzato dalla presenza di manufatti non suscettibili di cedimenti nei terreni di fondazione (argini, strutture murarie, ecc.). L'intercettazione di eventuali venute idriche può avvenire o direttamente nello scavo o prima che quest'ultimo venga interessato dalle risalite d'acqua. Nel primo caso potranno essere utilizzate motopompe con bocca aspirante di numero e prevalenza tali da gestire le portate da emungere. Nel secondo caso, invece, potranno essere realizzati dei sistemi wellpoint o pozzi verticali associati a pompe aspiranti, con interasse, profondità ed ubicazione che dipendono dal regime di filtrazione di sub-alveo (permeabilità dei terreni, caratteristiche del deflusso, ecc.). In particolare, nei terreni caratterizzati da una permeabilità medio-bassa (argille e limi con frazioni sabbiose variabili), si è soliti prevedere l'utilizzo di sistemi tipo wellpoint, basati sull'accelerazione del flusso di falda in direzione di elementi filtranti verticali messi in depressione da una pompa ad alto grado di vuoto. Per i terreni ad elevata permeabilità (sabbie e ghiaie), invece, si prevede l'utilizzo di pozzi associati a pompe aspiranti. Tali pozzi sono generalmente ubicati in adiacenza allo scavo, e vengono realizzati con diametri fino a 60 cm, per poi essere rivestiti con elementi ad anello prefabbricati, prevedendo, inoltre, appositi sistemi volti a evitare l'asportazione del materiale interstiziale.

Nel complesso, quanto finora dettagliato risulta sufficiente a individuare il modello geotecnico di sottosuolo riportato in Figura 3.2.1.

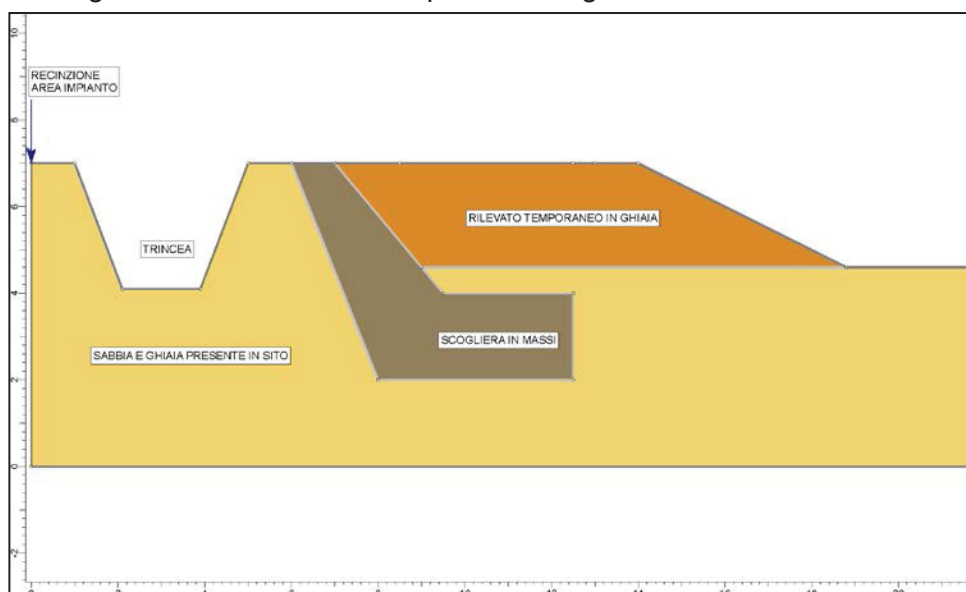


Figura:3.2.1: Modello geotecnico

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 19 di 28	Rev. 0

4. AZIONI DI PROGETTO

Per la determinazione dei carichi permanenti strutturali e non strutturali, agenti sull'opera in esame, si è fatto riferimento alla geometria di progetto, considerando i pesi specifici dei materiali ivi definiti. Per le azioni connesse ai carichi variabili, invece, data la particolare natura del manufatto in progetto, che non consente di avere carichi variabili legati alle tipologie d'utilizzo delle costruzioni previste dalle NTC18, si è fatto riferimento alla condizione di progetto ritenuta maggiormente gravosa, che vede il passaggio dei mezzi di cantiere durante le operazioni di sollevamento e posa del tubo nella trincea.

Di seguito si riportano le condizioni di carico considerate in fase di calcolo:

- Carichi permanenti strutturali

I carichi permanenti strutturali sono dati dai pesi propri delle strutture e vengono implementati automaticamente dal software di calcolo.

- Carichi permanenti non strutturali

Sulla scogliera non insistono carichi permanenti non strutturali, se non la spinta attiva del terreno stesso di cui sono riportati i parametri geotecnici al paragrafo 3.2 della presente relazione.

- Carichi variabili

Per la determinazione dei carichi variabili si è considerato il peso dei mezzi posatubi a pieno carico (CPX-94/CAT 594H) durante le operazioni di posa. Dalla curva di carico della scheda tecnica del mezzo posatubi CPX-94/CAT 594H si è ricavato un peso operativo di 56000 kg e una capacità massima di sollevamento di 45000 kg, distribuiti su un'area di impronta di circa 68000 cm². Si è determinato, così, un valore del carico variabile pari a 1,50 kg/cm².

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 20 di 28	Rev. 0

5. CRITERI DI VERIFICA E COMBINAZIONI DI CARICO

La compatibilità del sistema scogliera-rilevato con i carichi previsti per le operazioni di posa del metanodotto è stata verificata attraverso l'esecuzione di opportune analisi di stabilità, considerando diverse condizioni principali di verifica, e definendo, così, un fattore di sicurezza minimo rispetto alla stabilità dei manufatti durante le operazioni di posa. Per la verifica delle opere in progetto, infatti, si è considerata la fase più gravosa, ossia trincea aperta e carico sul rilevato dovuto alla presenza dei mezzi impegnati durante le operazioni di posa del tubo.

Pertanto, in funzione della posizione dei mezzi, si sono definite due condizioni principali di verifica.

Condizione 1

Verifica di stabilità del sistema scogliera-rilevato soggetto alla spinta esercitata da un carico variabile posto a una distanza di 1,5 m dal bordo del rilevato, e dovuto al passaggio dei mezzi impegnati nelle operazioni di sollevamento e posa del tubo all'interno della trincea.

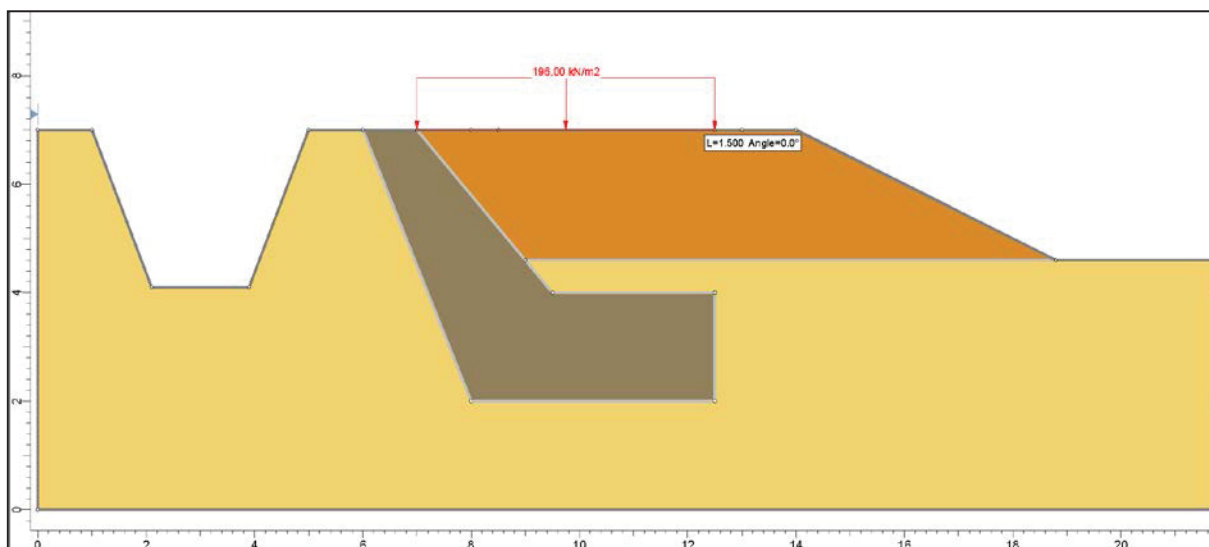


Figura:5.1: Condizione 1: schema di carico

Condizione 2

Verifica del sistema scogliera-rilevato con carico variabile posto a una distanza di 1,0 m dal bordo del rilevato.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO		Fg. 21 di 28	Rev. 0

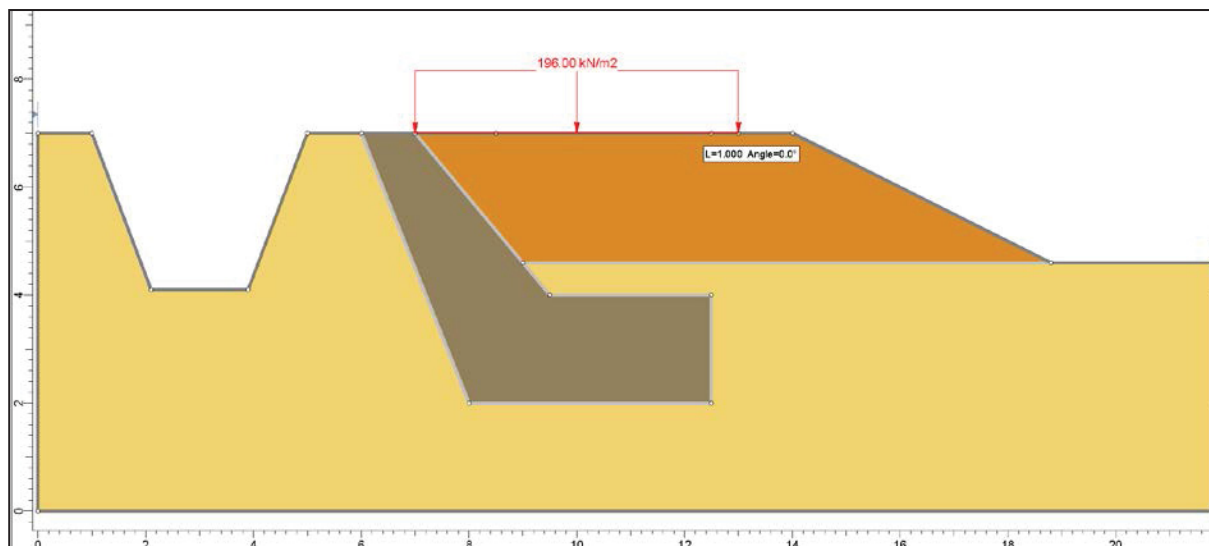


Figura:5.2: Condizione 2: schema di carico

Conformemente alle disposizioni delle nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC18, § 6.8), le verifiche di stabilità sono state effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e per i parametri geotecnici, e nella Tabella 6.8.I per le resistenze globali. Di seguito si riporta un estratto di suddette tabelle.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 22 di 28	Rev. 0

Inoltre, come previsto al paragrafo 2.4 delle NTC18, rientrando nel caso di “costruzione temporanea e/o provvisoria”, dove le condizioni di progetto permarranno per un tempo inferiore ai 2 anni, si sono eseguite le verifiche di stabilità in assenza di sisma, considerando come unica combinazione delle azioni quella fondamentale allo SLU.

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki})$$

Le verifiche di stabilità sono state eseguite adottando i metodi dell'equilibrio limite, per le quali è stato utilizzato il codice di calcolo Slide v.7.010 (Rocscience Inc.); software che ha consentito l'implementazione del metodo GLE-Morgenstern & Price (soluzione Generale dell'Equilibrio Limite). Sulla base delle condizioni topografiche rilevate e dei risultati della campagna geognostica, è stato definito un modello geometrico e geotecnico (modello del sottosuolo 2D) rappresentativo della situazione di progetto. Il comportamento meccanico di ciascuna unità geotecnica definita nel modello è stato modellato assegnando un criterio di rottura alla Mohr-Coulomb e implementando i relativi parametri fisico-meccanici, ottenuti dai risultati delle prove condotte in situ.

Per tutte le condizioni dettagliate in precedenza è stata definita una maglia dei centri sufficientemente fitta, calcolando, così, il coefficiente di sicurezza relativo alle superfici di scorrimento cinematicamente ammissibili e determinando la superficie caratterizzata dal minimo fattore di sicurezza.

Ai fini dell'analisi sono state considerate non critiche le superfici con fattore di sicurezza $F_s > 1.10$.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 23 di 28	Rev. 0

6. PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Per ciascuna condizione di verifica, l'esito delle elaborazioni è rappresentato nelle analisi e negli schemi grafici di seguito riportati. Si osservi che i valori dei parametri fisico-meccanici dei materiali, nonché delle azioni agenti sul sistema in esame, tengono conto dei coefficienti parziali definiti in normativa per la Combinazione 2 dell'Approccio 1.

Inoltre, in allegato si riporta il fascicolo dei calcoli correlato alla presente relazione (Allegato 1), che costituisce l'illustrazione dei risultati numerici, in una sintesi completa ed efficace, fornendo per ogni elaborazione il dettaglio numerico relativo. In particolare, nel fascicolo sono descritti tutti i dati di input relativi alla modellazione, alle caratteristiche dei materiali, alle modalità di applicazione dei carichi, coerentemente con quanto contenuto nella presente relazione.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, si precisa che il presente studio non ha carattere di progetto per la definizione della geometria della trincea, che sarà soggetta a successive verifiche attraverso apposita relazione di stabilità dei fronti di scavo, redatta da professionista abilitato per conto dell'impresa esecutrice. Inoltre, si è precisato che i dati geotecnici indicati sono stati desunti da sondaggi eseguiti in aree limitrofe al sito di interesse; pertanto, qualora le condizioni rilevate in sito dovessero differire da quanto ipotizzato in fase di progetto (in termini di angolo di attrito, ecc.), sarà necessario prevedere adeguati sistemi di contenimento delle pareti dello scavo.

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni condotte per le due condizioni di progetto (Figura 6.1 e Figura 6.2):

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO		Fg. 24 di 28	Rev. 0

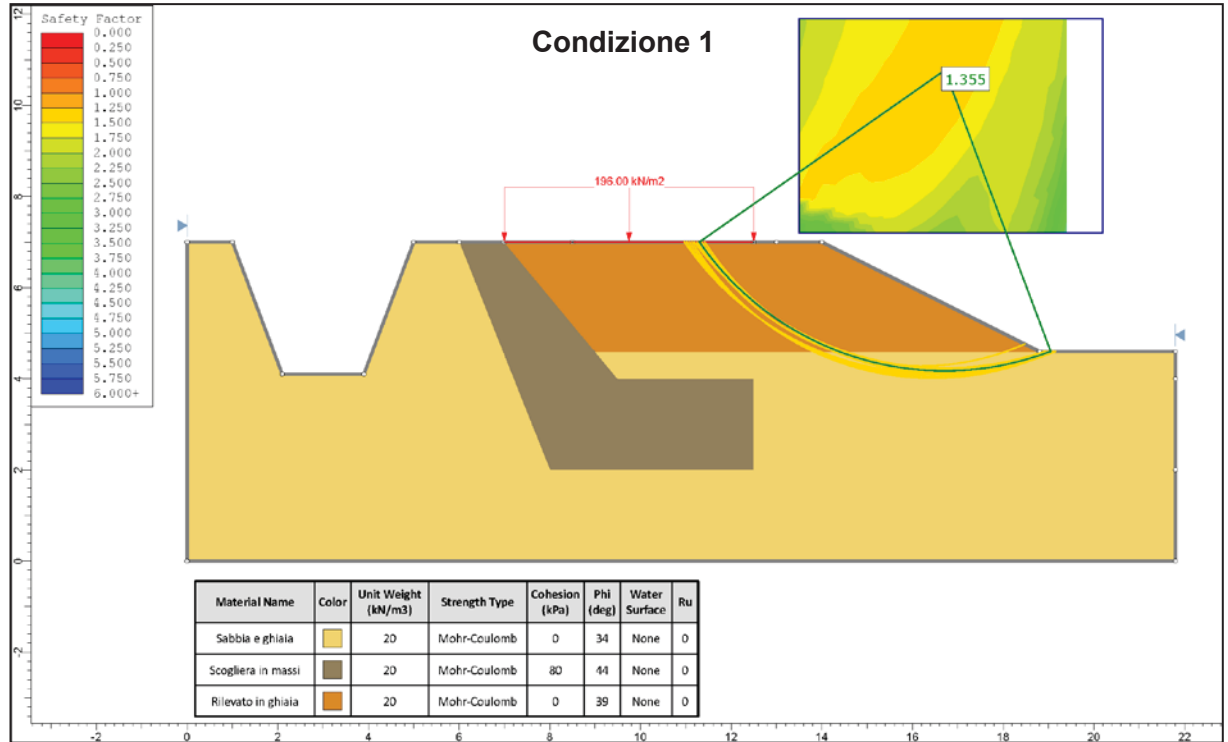


Figura:6.1: Condizione 1: verifica di stabilità del sistema scogliera-rilevato ($F_s = 1,355$)

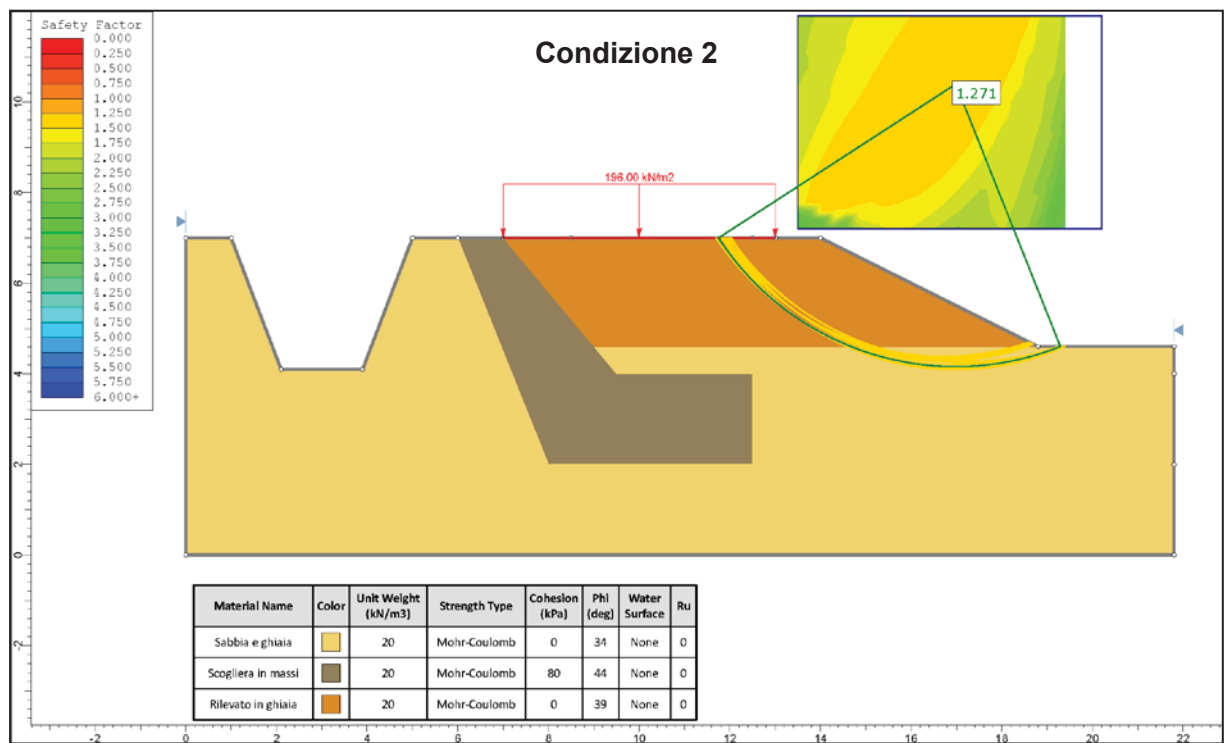


Figura:6.2: Condizione 2: verifica di stabilità del sistema scogliera-rilevato ($F_s = 1,271$)

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 25 di 28	Rev. 0

7. CONCLUSIONI

Le verifiche sono state effettuate in accordo con i requisiti delle nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC18).

Sul rilevato oggetto delle verifiche agisce il carico variabile dovuto al passaggio dei mezzi impegnati nelle operazioni di sollevamento e posa del tubo all'interno della trincea, pari a 196,00 kN/m². Tale valore corrisponde al carico massimo previsto per i mezzi d'opera.

L'insieme del "rilevato temporaneo/scogliera in massi esistente" è stato verificato nelle seguenti due condizioni di carico più severe:

Condizione 1 (Figura 6.1) finalizzata alla verifica del sistema "scogliera-rilevato":
 La trincea per l'alloggiamento del gasdotto è aperta. Il rilevato è soggetto al carico dovuto al passaggio dei mezzi impegnati nelle operazioni di sollevamento e posa del tubo all'interno della trincea. Ipotizzando una determinata posizione dei mezzi in opera, il carico variabile è posto a una distanza di 1,5 m dal bordo del rilevato.

La superficie di scorrimento più critica nel corpo del rilevato presenta coefficiente di sicurezza di 1,355 > 1,10. Il rilevato sovraccaricato è stabile e la superficie di scorrimento non interessa il corpo della scogliera.

Condizione 2 (Figura 6.2) finalizzata alla verifica del sistema "scogliera-rilevato":
 stessa condizione precedente, ma con carico variabile posto a una distanza di 1,0 m dal bordo del rilevato.

La superficie di scorrimento più critica nel corpo del rilevato presenta coefficiente di sicurezza di 1,271 > 1,10. Il rilevato sovraccaricato è stabile e la superficie di scorrimento non interessa il corpo della scogliera.

I risultati ottenuti permettono di affermare che in tutte le fasi di lavoro per la posa del gasdotto, il rilevato e la scogliera in massi sono in condizione di stabilità soddisfacente.

La condizione pre-esistente ai lavori (scogliera senza rilevato) non è stata verificata in quanto più cautelativa rispetto alle due condizioni analizzate.

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 26 di 28	Rev. 0

8. ALLEGATO 1 - FASCICOLO DEI CALCOLI

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 27 di 28	Rev. 0

9. ALLEGATO 2 – ELABORATO 00-CA-E-94001 – RELAZIONE GEOLOGICA

Comprensivo di:

- Indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche per la caratterizzazione litostratigrafica e sismica del sottosuolo. Indagini per la caratterizzazione ambientale dei terreni;
- Certificati analisi laboratorio geotecnico;

CLIENTE: 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 023093	UNITÀ 10
	LOCALITÀ: Regione Friuli	SPC. LA-E-80402	
	PROGETTO / IMPIANTO: ADEGUAMENTO IMPIANTO DI COMPRESSIONE CENTRALE DI MALBORGHETTO	Fg. 28 di 28	Rev. 0

10. ALLEGATO 3 – ELABORATO 00-CI-E-10001 – RELAZIONE GEOTECNICA