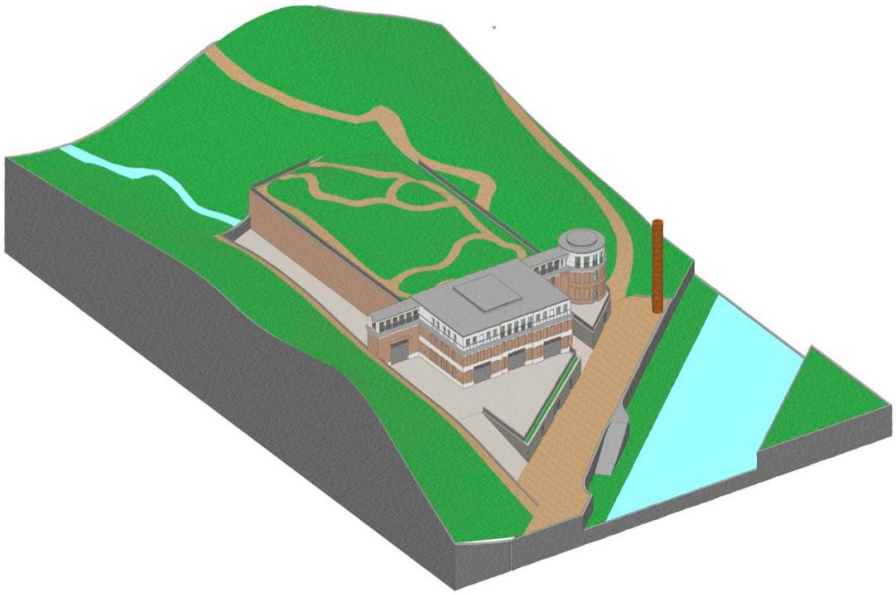
A.T.O. PROVINCIA DI GENOVA

Comune di Rapallo

# Comune di Rapallo
## Opere di completamento del depuratore acque reflue

## ANALISI DI STABILITÀ E VERIFICA DI NON INTERFERENZA DELLE STRUTTURE PREVISTE DALLA PROPOSTA PROGETTUALE E DEL CAMINO CON LE ARGINATURE DEL TORRENTE BOATE




Coordinamento del progetto per Mediterranea delle Acque S.p.a.:
**Ing. Gianluca Fontana**


Data emissione**: Novembre 2011**


Preparato da**:**
**Dr.Geol**
**Carlo Baracco**

Controllato da :
**Dr. Geol.**
**Luciano Minetti**

**Sommario:**


1. **Premessa.**

2. **Modello litostratigrafico preliminare**

3. **Modello geotecnico preliminare**

   **3.1 Classificazione dei materiali sciolti**

   **3.2 Caratteristiche di resistenza al taglio e deformabilità dei terreni di copertura**

   **3.2.2 Parametri di deformabilità**

   **3.2.1 Resistenza al taglio**

   **3.3 Proprietà dell'ammasso roccioso**

4. **Caratterizzazione sismica del sito**

5. **Analisi di stabilità**

   **5.1 Conclusioni**

6. **Verifica della non interferenza del camino con la stabilità dell'argine**

   **6.1 Conclusioni**

## 1. Premessa.

A seguito delle osservazioni pervenute dalla Provincia di Genova (Direzione Pianificazione Generale e di Bacino- Servizio Controllo e Gestione del Territorio, Dr.Geol. A.Ramella) è stata realizzata una serie di verifiche di stabilità di non interferenza delle strutture previste dalla proposta progettuale con le opere spondali/arginature.

I dati di definizione delle caratteristiche riportati qui di seguito sono raccolti integralmente nella "Relazione Geologica e delle indagini geognostiche" All.1 della Relazione di Screening.

## 2. Modello litostratigrafico preliminare

Le indicazione dei sondaggi e dei profili sismostratigrafici è possibile formulare una prima elaborazione dell'assetto stratigrafico del sito.
La sequenza stratigrafica tipica risulta sostanzialmente uniforme e semplice: si individua infatti un sistema a 2/3 strati che, dall'alto verso il basso, presentano le seguenti caratteristiche di composizione.

Strato R — Terreno di riporto, e' presente nel sondaggio S1 per uno spessore di circa 3.0 - 3.5m, è costituito da ghiaia, frammenti di laterizi, asfalto, ecc. in matrice limo - argillosa

Strato C: — E' costituito da terreni di coltre eluvio-colluviale nei quali prevale nettamente la componente limo-argillosa, fine e plastica rispetto allo scheletro grossolano è costituito da clasti di calcare marnoso materiali di riporto, di natura essenzialmente granulare, eterometrica, lo spessore in corrispondenza del sondaggio S2 è di 6,50m

Strato S — Substrato roccioso costituito in prevalenza da calcari marnosi appartenenti al flysch dell'Unità di Monte Antola, la roccia si presenta alterata al tetto e diffusamente fratturata lungo tutto il tratto carotato.

Questa sequenza stratigrafica è rappresentata nella sezione A-A di Figura 18 seguente.
In linea generale questo assetto è confermato anche dai profili sismo stratigrafici (si vede Annesso 2 della "Relazione Geologica e delle indagini geognostiche" All.1 della relazione di screening) nei quali si evidenziano quattro strati a velocità crescente delle onde P:

| Strato | Vp (m/s) | Spessore m (min. - max) | Litologia |
|---|---|---|---|
| 1 | <700 | 2-4 | coltre/riporti poco/med. densi o consist. |
| 2 | 700-1700 | 1-6 | coltre densa o consistente/capp.substrato |
| 3 | 2000-2500 | 1-3 | substrato alterato molto fratturato |
| 4 | >2500 | ? | substrato poco alterato, med. fratturato |

Qui di seguito nelle Fig. 1 e 2 sono riportati l'ubicazione dell'impianto e delle indagini e la sezione litostratigrafica relativa

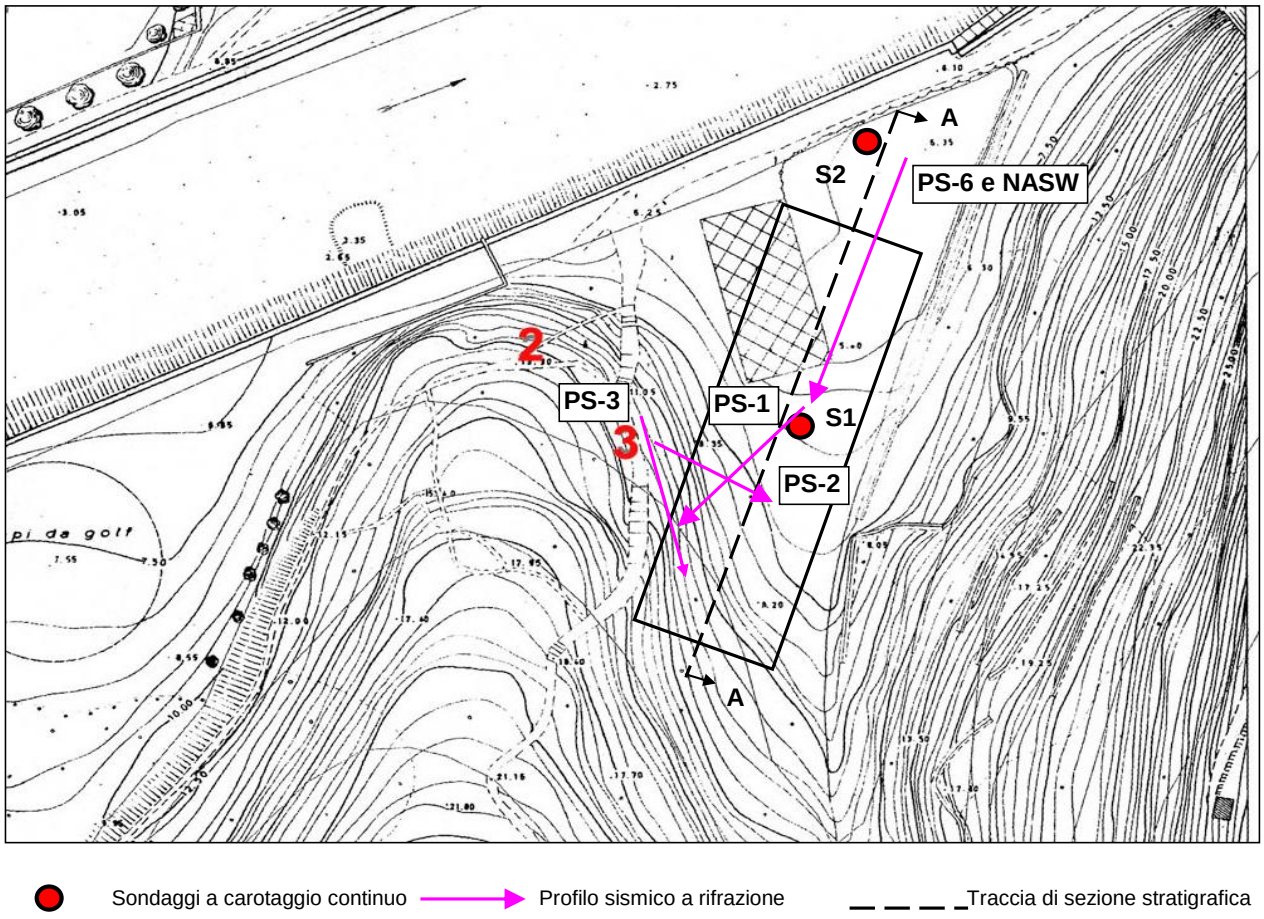



**Figura 1 – Ubicazione delle indagini geognostiche e della sezione litostratigrafica**

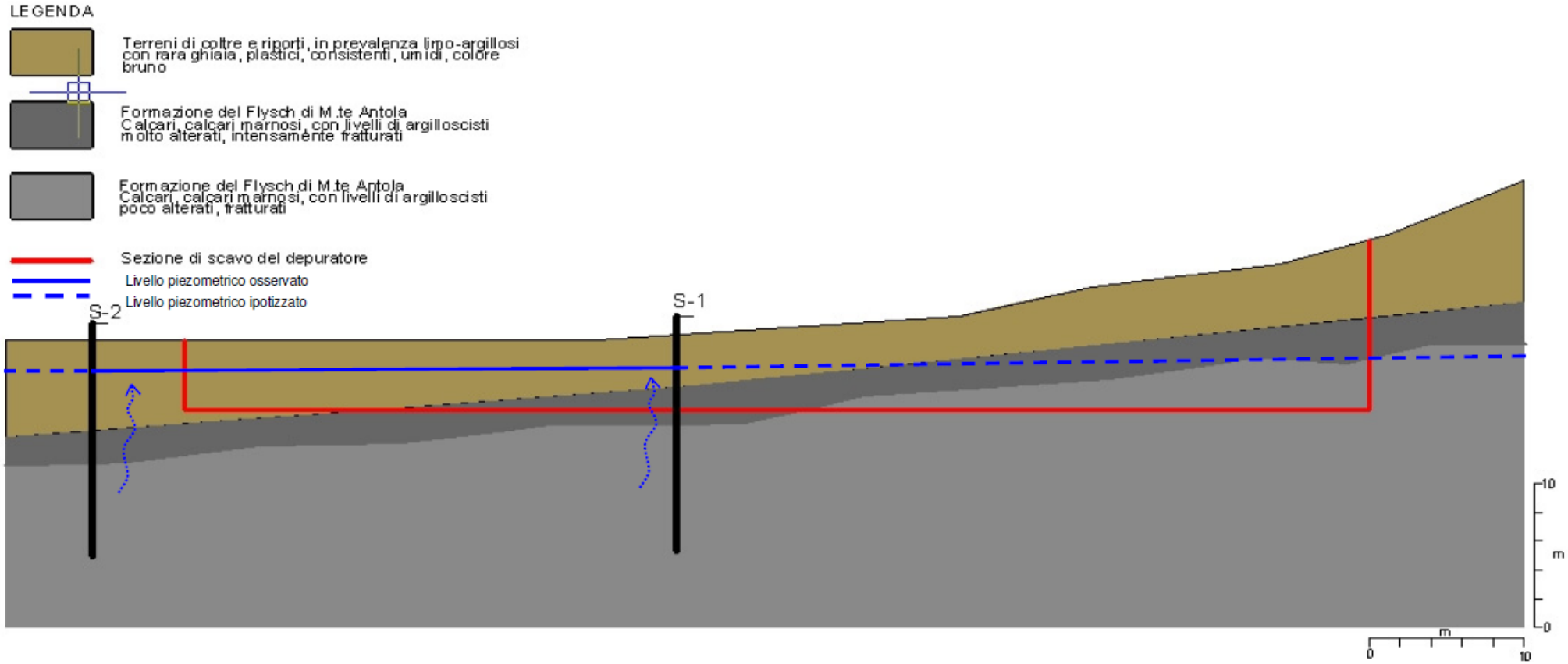



**Figura 2 – Sezione litostratigrafia A-A**

## 3. Modello geotecnico preliminare

Sulla base dei risultati delle prove in foro eseguite nei sondaggi e delle prove di laboratorio è possibile tracciare un quadro preliminare relativo alle proprietà geotecniche di terreni che saranno interessati dallo scavo e dalla realizzazione delle strutture dell'impianto.
Le caratterizzazioni formulate in questo capitolo sono suscettibili di variazioni in relazione ai risultati di ulteriori indagini e prove che saranno eseguite per il progetto definitivo.

Nel corso dei sondaggi sono state eseguite 3 prove di penetrazione dinamica tipo Standard Penetration Test (nel seguito SPT), mentre sono stati prelevati 5 campioni rimaneggiati, 2 campioni indisturbati dei terreni di copertura e 5 spezzoni di carote della roccia del substrato calcareo

### 3.1 Classificazione dei materiali sciolti

Dei campioni rimaneggiati sono state determinate le seguenti proprietà:

la massa volumica
la curva di distribuzione granulometrica,
le caratteristiche di plasticità (Limiti di Atterberg)

Dei campioni indisturbati sono state determinate le seguenti proprietà

Determinazione del contenuto in acqua naturale, Wn
Determinazione della massa volumica, $\gamma_v$
Determinazione del peso specifico assoluto, GS
Curva di distribuzione granulometrica
Determinazione della % di frazione argillosa mediante areometria
Limiti di consistenza, LL-LP-IP
Prova di taglio diretto tipo TD-CD per la determinazione dei parameri di resistenza al taglio in termini di tensioni effettive (coesione c' e angolo di attrito φ')
Prova triassiale tipo UU (Non consolidata – Non drenata) con restituzione dei parametri di resistenza al taglio in termini di tensioni totali (cu)

I risultati delle prove di classificazione e di resistenza ad oggi disponibili, sono riassunti nella Tabella 1 seguente

## Tabella 1

| TABELLA RIASSUNTIVA RISULTATI PROVE DI LABORATORIO | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sond. | Camp. | Prof. (m) | Um.nat. Wn% | Fraz. fine % | Massa vol. kg/mc | Lim. Liq. LL% | Ind. Plas. IP | Ind. cons. Ic | Res.non dren. cu kN/m2 | Ang.att.eff. deg. | Coes. eff. c' kN/m2 | Res.comp. Co (Mpa) | Mod.def. E (Mpa) |
| S1 | CR-1 | 1.0-2.0 | 32.04 | 75.10 | | 44 | 15 | 0.66 | | | | | |
| S1 | CR-2 | 2.0-3.0 | 24.46 | 60.38 | 18.96 | | | 1.17 | | | | | |
| S1 | CR3 | 3.0-3.5 | 21.07 | 56.39 | 17.55 | 43 | 16 | 1.39 | | | | | |
| S1 | CAR-1 | 3.7-4.0 | | | 26.80 | | | | | | | 149 | |
| S1 | CAR-3 | 13.0-13.4 | | | 26.39 | | | | | | | 31 | |
| S2 | CR-1 | 1.0-2.0 | 21.07 | 79.40 | | | | 1.39 | | | | | |
| S2 | CR-2 | 3.0-4.0 | 29.55 | 69.70 | | | | 0.73 | | | | | |
| S2 | CR-3 | 4.0-5.0 | 24.52 | 75.60 | | | | 1.16 | | | | | |
| S2 | CI-1 | 1.4-2.0 | 26.22 | 75.94 | | 42 | 15 | 1.05 | 83 | 30 | 3.2 | | |
| S2 | CI-2 | 5.4-6.0 | 30.55 | 58.60 | | 40 | 14 | 0.77 | | | | | |
| S2 | CAR-1 | 7.0-7.5 | | | 26.24 | | | | | | | 66 | 37.3 |
| S2 | CAR-2 | 8.0-8.6 | | | 26.26 | | | | | | | 61 | |
| S2 | CAR-3 | 12.3-12.7 | | | 26.26 | | | | | | | 76 | |

I terreni della copertura sono delle argille inorganiche di media plasticità, limoso – sabbiose (CL o ML).

La frazione fine (particelle di dimensioni minori di 0,075mm) è compresa tra 60% e 80%, il valore medio è 69%.

La massa volumica media è di 1825 Mg/m$^3$.

Il limite liquido LL è compreso tra 40% e 44%, il valore medio è 42%
Il limite plastico LP è compreso tra 26% e 29%, il valore medio è 27,3%
Pertanto l'Indice Plastico IP varia tra 14 e 16 con valore medio di 15.

## 3.2 Caratteristiche di resistenza al taglio e deformabilità dei terreni di copertura

### 3.2.1 Resistenza al taglio

Da prove SPT

Le prove SPT eseguite in foro hanno dato i seguenti risultati

| Prof.(m) | N |
|---|---|
| 2,00-2,45 | 12 – 16, media 14 |
| 4,00-4,45 | 17 |

La prova SPT nei terreni coesivi fornisce valori molto approssimati della $c_u$ e, in genere, non utilizzabile per la progettazione, se non per stime largamente preliminari ed approssimate,

con la relazione generale (EPRI, 1990):

$c_u/p_a = 0,06N$

si calcola:

Per profondità di 2m, N=14 $c_u$ = 84kPa
Per profondità di 4m, N=17 $c_u$ = 102kPa

Da prove triassiali UU

E' stato possibile eseguire una sola prova triassiale UU (sondaggio S2, campione Ci1, profondità 1,50-2,00m) l valore di cu calcolato è risultato di 83kPa.

Da proprietà indici

Una stima del valore della resistenza non drenata cu può essere effettuata dall'Indice di Liquidità *($I_L = W_n – LP / IP$)* utilizzando la relazione:

$c_u/p_a = 1{,}7exp^{(-4{,}6IL)}$

Il confronto tra i valori di cu calcolati nei modi suddetti è illustrato nel grafico che segue (Figura 19) su grafico è anche riportata curva di crescita della cu per un terreno argilloso NC

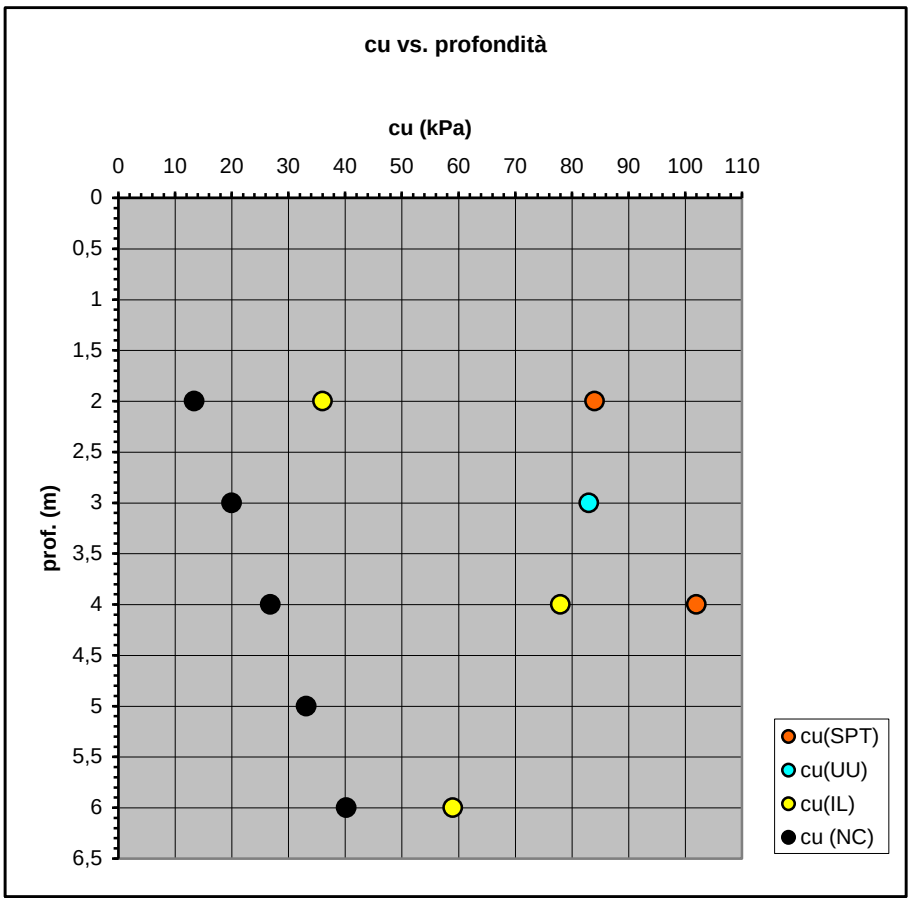



**Figura 3**

Dal grafico si osserva che i terreni sono consistenti anche per profondi modeste, quindi sovraconsolidati, il grado di sovraconsolidazione (OCR) è calcolato mediante la relazione seguente:

$c_u / \sigma'_{vo}(OC) / c_u / \sigma'_{vo}(NC) = OCR^{0,8}$

si calcola:

| prof. (m) | OCR |
|---|---|
| 2 | 10 |
| 3 | 6 |
| 4 | 3,8 |
| 6 | 1,6 |

Si tratta molto probabilmente di sovraconsolidazione meccanica per essiccamento.

Per quanto riguarda la resistenza a taglio in termini efficaci ($\phi$', c'), questa è stata determinata mediante la prova di taglio diretto lenta (consolidata – drenata) che ha fornito i seguenti risultati:

angolo di attrito effettivo $\phi$' = 30°
coesione efficace c' = 3,2kPa

### 3.2.2 Parametri di deformabilità

Deformabilità in condizioni non drenate

Il parametro $E_u$ può essere stimato dalla relazione che lega il rapporto $E_u/c_u$ in funzione di OCR e IP (Duncan&Buchignani):

| OCR | IP | $E_u/c_u$ | $c_u$(kPa) | $E_u$(MPa) |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 15 | 400 | 80 | 32 |
| 6 | 15 | 400 | 80 | 32 |
| 4 | 15 | 500 | 78 | 39 |
| 1 | 15 | 600 | 59 | 35,4 |

Deformabilità in condizioni drenate

L'indice di ricompressione (scarico – ricarico) $C_r$ e di compressione vergine $C_c$ possono essere stimati dalla relazione con IP (EPRI, 1990):

$C_r$ = IP/370 = 15/370 = 0,040

$C_c$ = IP/74 = 15/74 = 0,20

### 3.3 Proprieta' dell'ammasso roccioso

Le proprietà della roccia in ammasso superficiale sono definite in base alle seguenti assunzioni:

Resistenza della roccia integra $\sigma_{c(i)}$ 68MPa
Modulo di deformabilità della roccia integra $E_{(i)}$ 37GPa
Valore del Geological Strenght Index (GSI, Hoek, 2002) stimato da osservazione degli affioramenti 30(min.) – 40(max)
mi= 8

Si calcolano i seguenti parametri riferiti all'ammasso roccioso

Criterio di rottura di Hoek&Brown

Per GSI = 30

$\sigma_{c(m)}$ 6.6MPa
$\sigma_{t(m)}$ -0.04MPa
$E_{(m)}$ 3GPa

Per GSI = 40

$\sigma_{c(m)}$ 8.5MPa
$\sigma_{t(m)}$ -0.09MPa
$E_{(m)}$ 6GPa

Criterio di rottura di Mohr-Coulomb

GSI = 30, $\phi$ = 22,8° c = 2,2MPa
GSI = 40 $\phi$ = 25,8° c = 2,7MPa

Questi valori hanno valore preliminare, dovranno essere riconsiderati a seguito di rilievi e indagini di maggior dettaglio.

## 4. Caratterizzazione sismica del sito

Una prima caratterizzazione sismica dell'area è condotta in base ai risultati dell'indagine NASW eseguita secondo il profilo 6 (si vedano le Figure 20 e 21 che seguono) che permette di calcolare il valore di Vs.

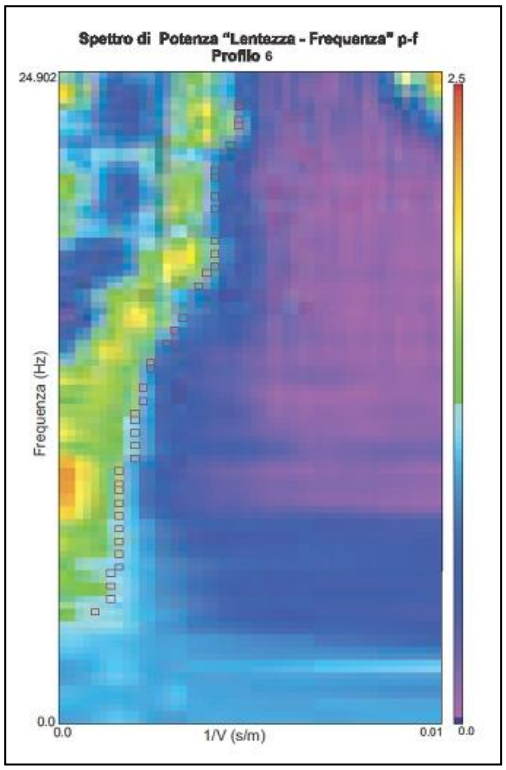



**Figura 4**

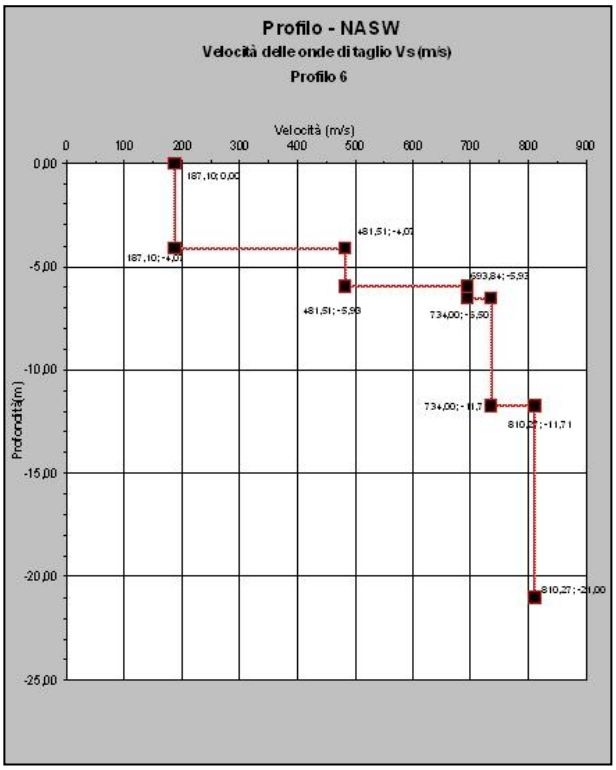



**Figura 5**

Il valore di $V_{s(30)}$ è 560m/s, tale valore può essere sottostimato in quanto la Vs è stata definita solo fino alla profondità di 21m e il valore ultimo determinato è stato considerato costante fino alla profondità di 30m.

Il valore di Vs(30) = 560m/s identifica un sottosuolo di Categoria B (NTC, 2008):
"*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità*"

I parametri sismici del sito, assumendo una classe d'uso II, sono riportati nella Tabella 2 alla pagina che segue.

## Tabella 2

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| **Cat.suolo** | | B | | | |
| **Classe uso** | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0,031 | 0,038 | 0,090 | 0,119 |
| $F_o$ | | 2,505 | 2,553 | 2,529 | 2,491 |
| $T_c$ | s | 0,202 | 0,219 | 0,286 | 0,292 |
| $S_s$ | | 1,20 | | | |
| $C_c$ | | 1,52 | 1,49 | 1,41 | |
| $S_t$ | | 1,00 | | | |
| **kh** | | 0,007 | 0,009 | 0,022 | 0,034 |
| **kv** | | 0,004 | 0,005 | 0,011 | 0,017 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0,365 | 0,449 | 1,063 | 1,404 |
| β | | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,240 |

| Significato dei simboli | |
|---|---|
| $V_N$ | vita nominale della struttura |
| $C_u$ | coefficiente che dipende dalla classe d'uso |
| $V_R$ | periodo di riferimento dell'azione sismica |
| $P_{VR}$ | periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica |
| $T_R$ | tempo di ritorno |
| $a_g$ | accelerazione orizzontale di riferimento massima su suolo rigido (Cat. A) |
| $F_o$ | fattore di amplificazione spettrale massima su suolo rigido |
| $T_c$ | periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro |
| $S_s$ | coefficiente di amplificazione stratigrafica |
| $C_c$ | coefficiente correttivo del periodo Tc |
| $S_t$ | coefficiente di correzione topografica |
| **kh** | coefficiente sismico orizzontale |
| **kv** | coefficiente sismico verticale |
| $a_{max}$ | accelerazione orizzontale massima attesa al sito |
| β | coeffciente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito |

,

## 5. Analisi di stabilità

Il riferimento stratigrafico è quello riportato nell'allegato 1 della Relazione di Screening a titolo "Relazione geologica e delle indagini geognostiche"

Al fine di valutare l'eventuale influenza delle variazioni tensionali indotte nel sottosuolo a seguito della costruzione del depuratore sulla stabilità del muro d'argine del T. Boate sono state condotte specifiche analisi. Le analisi sono state eseguite utilizzando il codice SLIDE 5.01 (Rocscience inc, 2009) che utilizza il criterio dell'equilibrio limite, i valori del Fattore di Sicurezza sono stati determinati utilizzando i seguenti metodi:

Bishop semplificato
Janbu corretto
General Limit Equilibrium (equivalente al metodo di Morgenstern-Price)
La sezione presa a riferimento per la geometria di analisi è la Sezione longitudinale tipo C (si veda la Tavola 5).

Sono state esaminate le condizioni critiche riconducibili sia a superfici di forma circolare sia non circolare in presenza della falda alla profondità di equilibrio evidenziata nel corso delle indagini, sono state ripetute le analisi in presenza di sisma con intensità del coefficiente sismico orizzontale corrispondente alle condizioni SLV.
Ai parametri di resistenza del terreno e del substrato sono stati applicati i coefficienti riduttivi previsti dalle NTC (D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008).
Le caratteristiche generali delle analisi sono illustrate nelle schede 6 e 6b
I risultati delle analisi (vedere le tavole grafiche da 1 a 5 allegate) dimostrano che la costruzione della struttura del depuratore non influisce sulla stabilità del muro di argine.
Le suddette analisi sono da considerarsi preliminari per i seguenti motivi:

- I valori delle tensioni trasmesse al terreno dalla struttura sono ipotizzati in modo cautelativo.
- La sezione stratigrafica presa riferimento è stata ricostruita sulla base degli esiti delle indagini geognostiche preliminari, così come i parametri geotecnici dei terreni di copertura e del substrato roccioso derivano da risultati di prove geotecniche preliminari eseguite su di un numero limitato di campioni.

### 5.1 Conclusioni

I risultati delle analisi (si vedano le tavole grafiche da 1 a 5) rilevano il fattore di sicurezza minimo, in caso di sisma, par a 1.102; tutti gli altri valori sono compresi tra 1.38 e 1.43, dimostrando che la costruzione della struttura del depuratore non influisce sulla stabilità del sistema d'arginatura del boate.

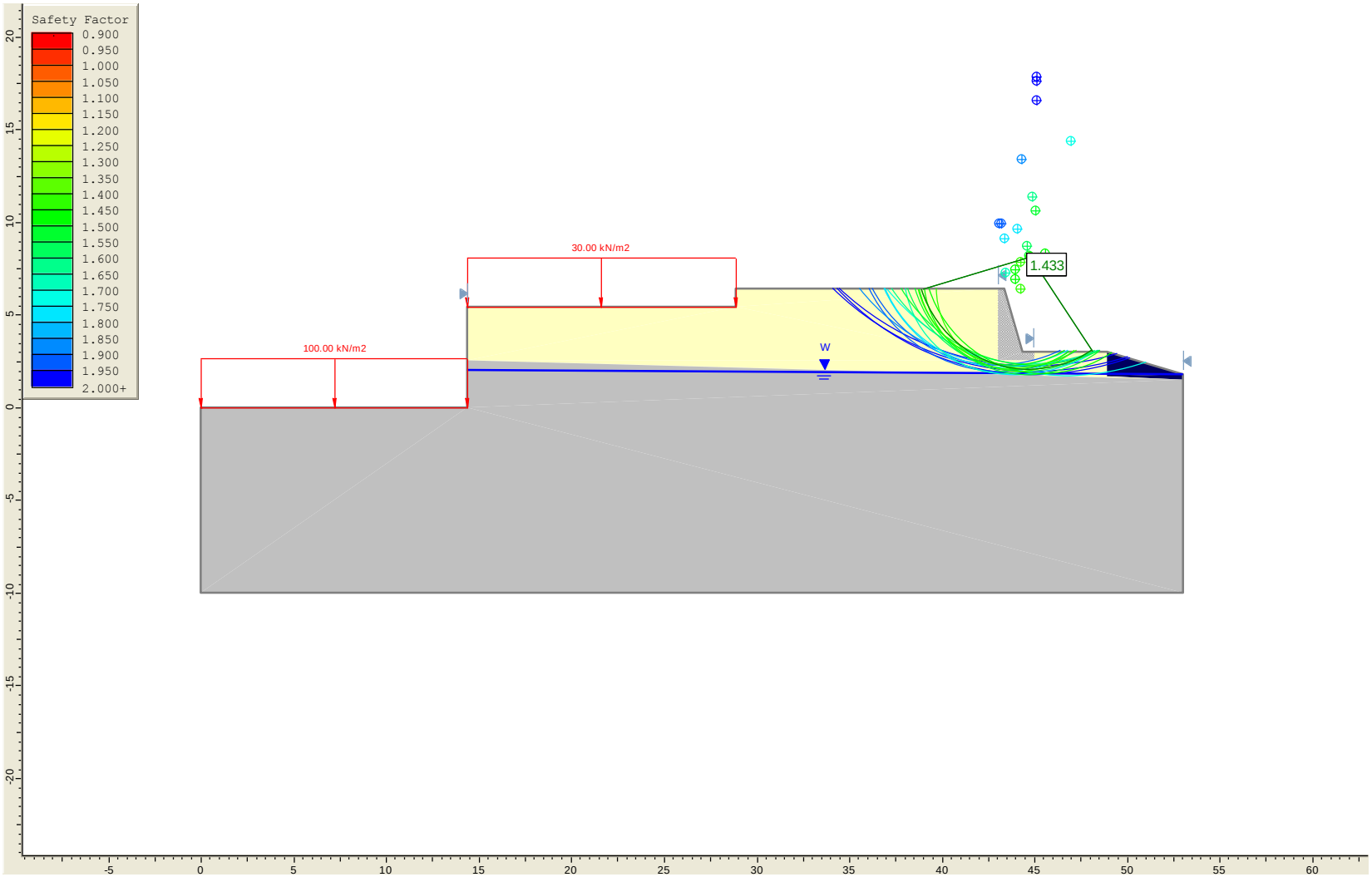



**Tavola 1**
**Analisi di stabilita' con superfici critiche circolari - sono indicate le 20 superfici a minor fattore di sicurezza secondo il metodo di janbu corretto**

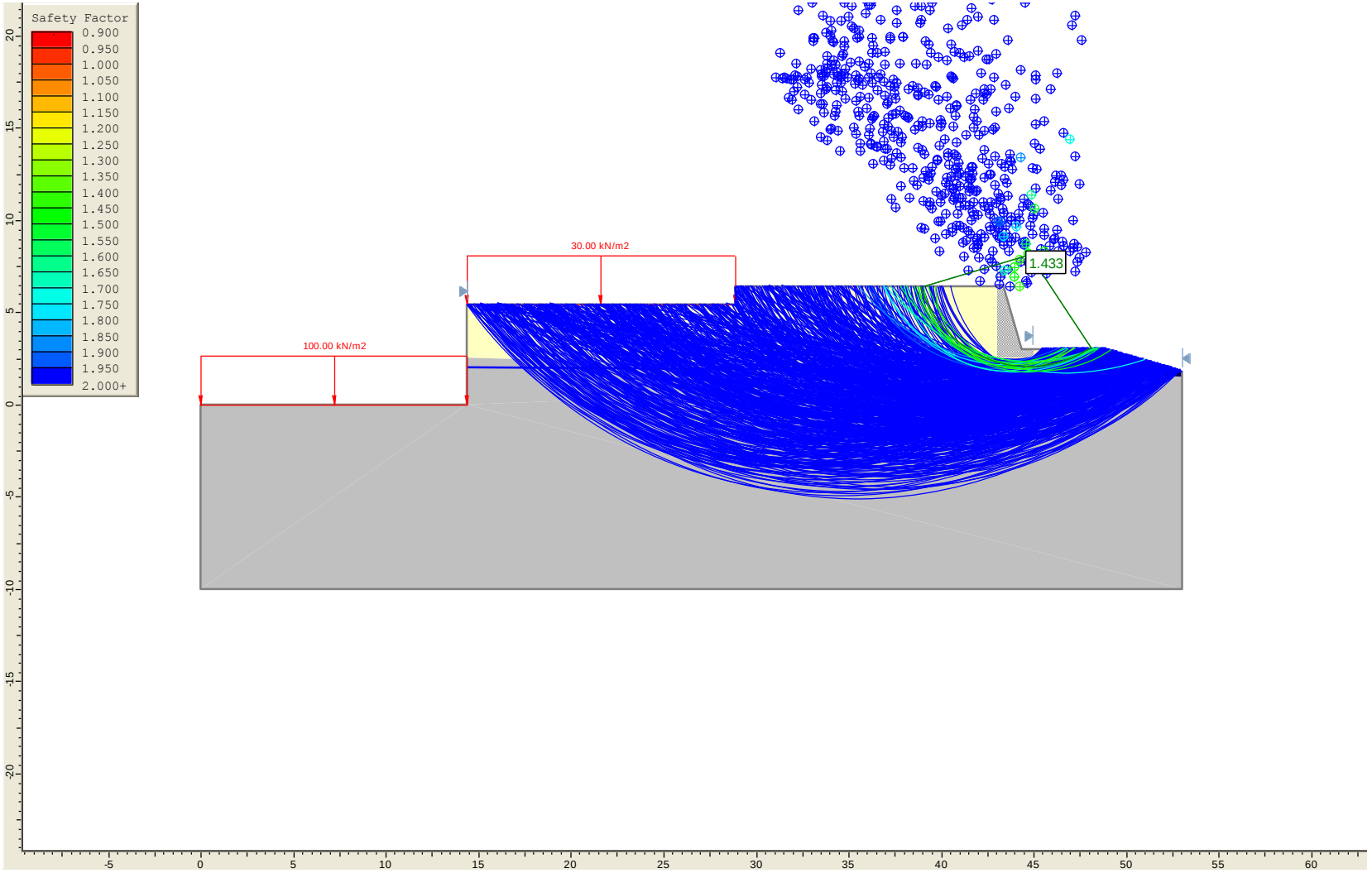



**Tavola 2**
**Analisi di stabilita'  con superfici critiche circolari - sono indicate tutte le superfici con fattore di sicurezza secondo il metodo di janbu corretto minore di 2**

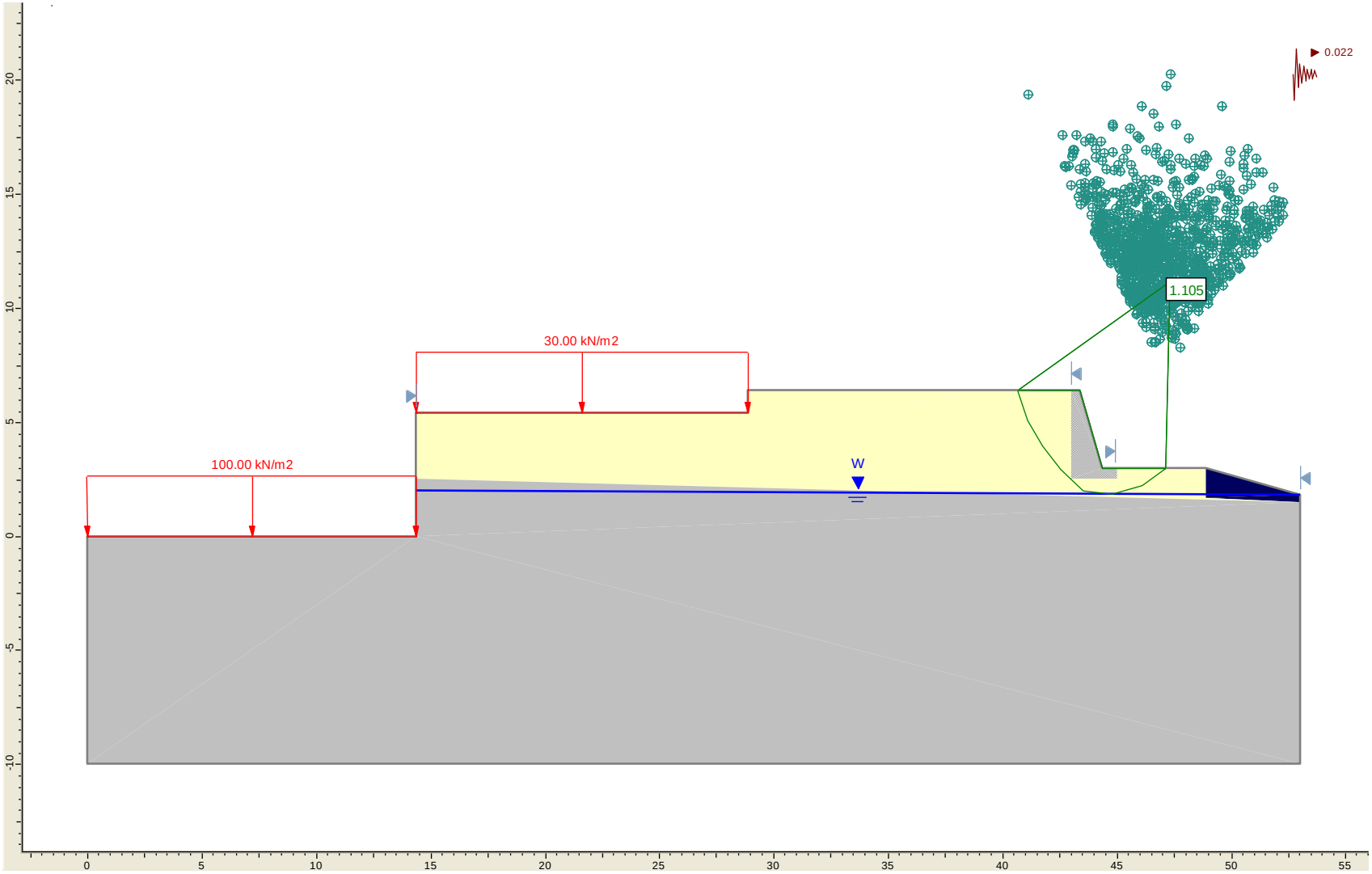



**Tavola 3**
**Fattore di sicurezza minimo con sisma - superfici di forma qualsiasi - metodo di janbu corretto**

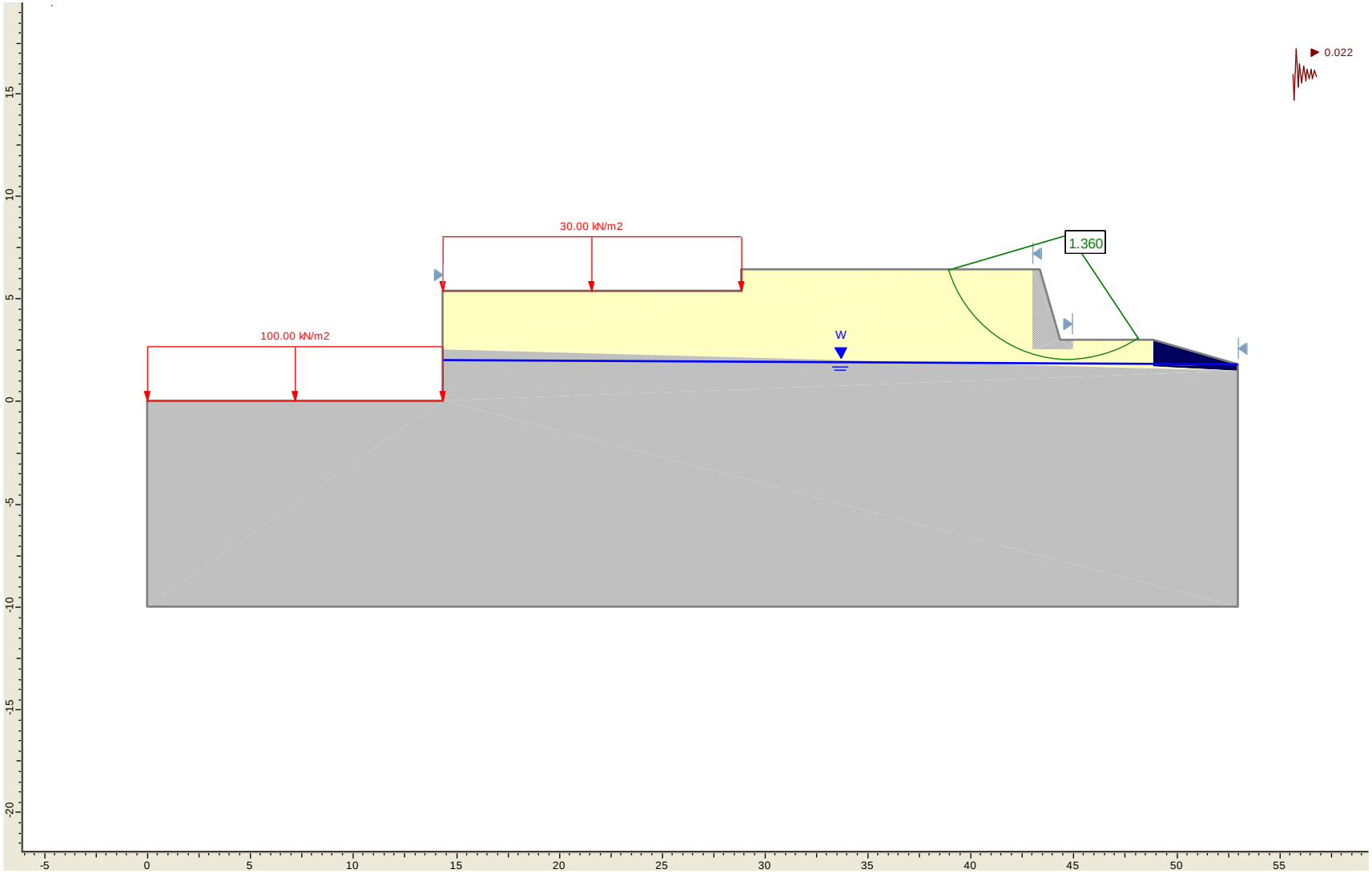



**Tavola 4**
**Fattore di sicurezza minimo con sisma - superfici di forma circolare - metodo di janbu corretto**

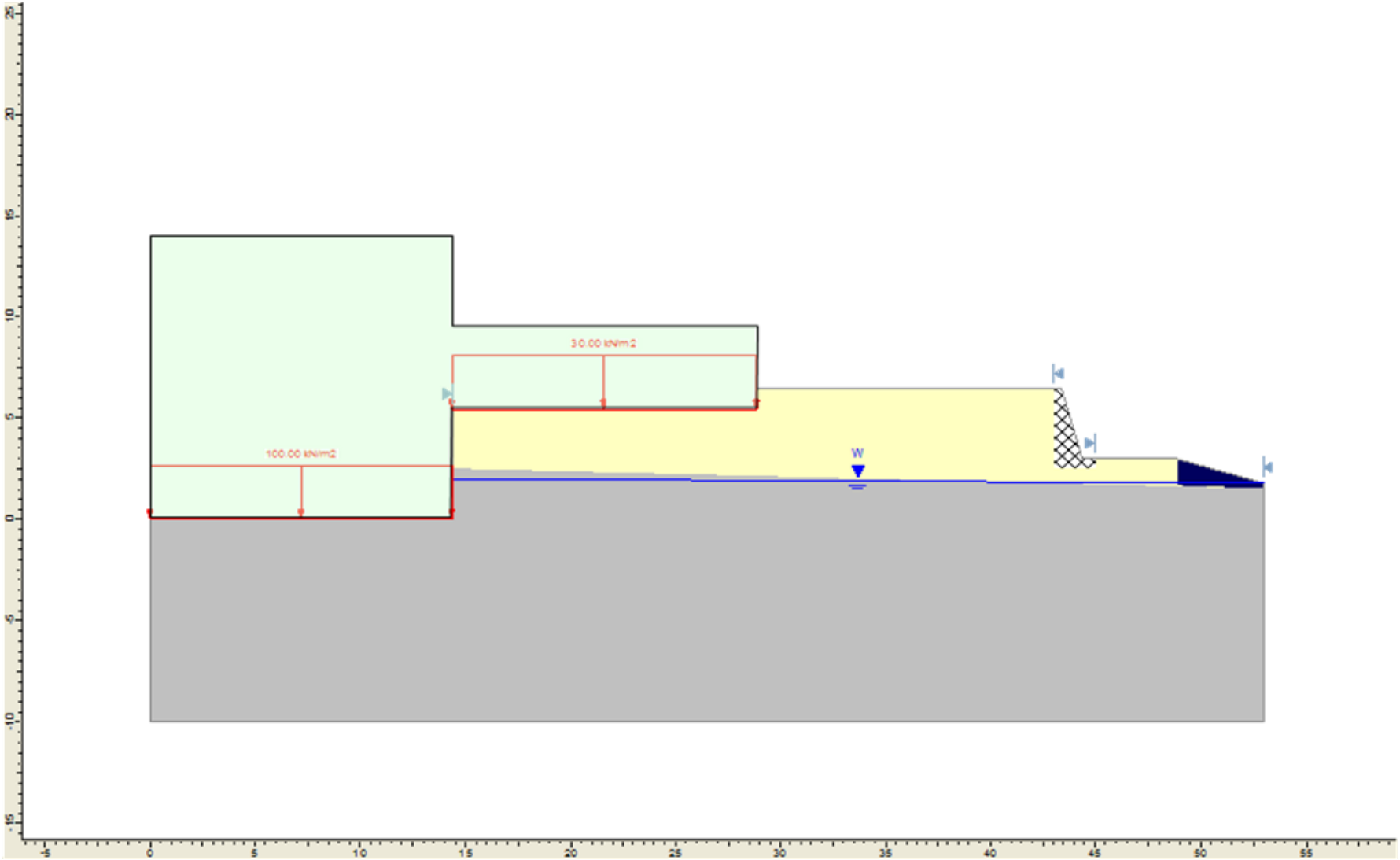



**Tavola 5**
**Schema stratigrafico secondo sezionec**

(La sagoma dell'edificio è indicativa, i carichi sono un'ipotesi cautelativa)

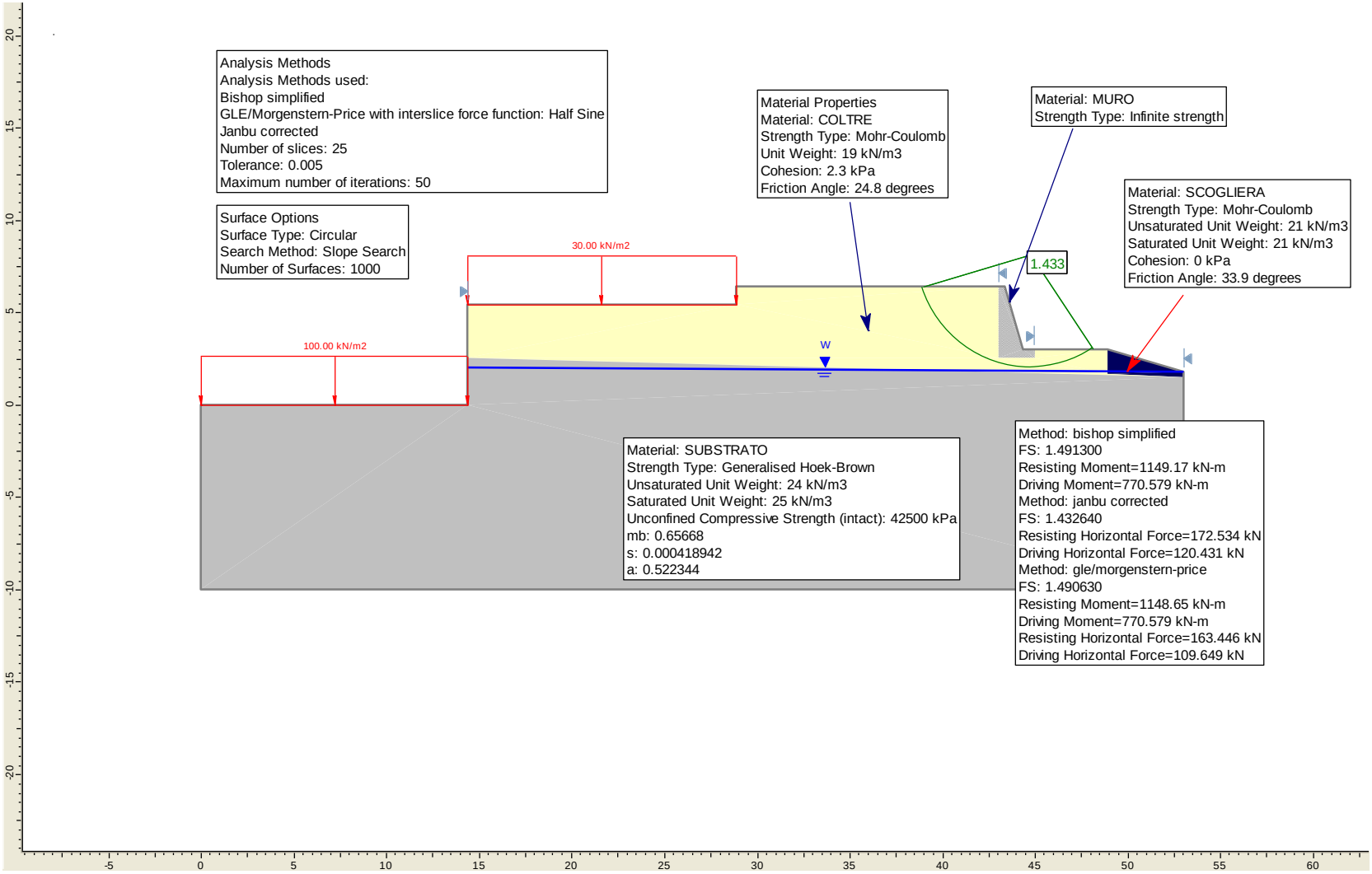



**Tavola 6**
**Parametri generali di analisi e riassunto risultati per superfici critiche circolari**

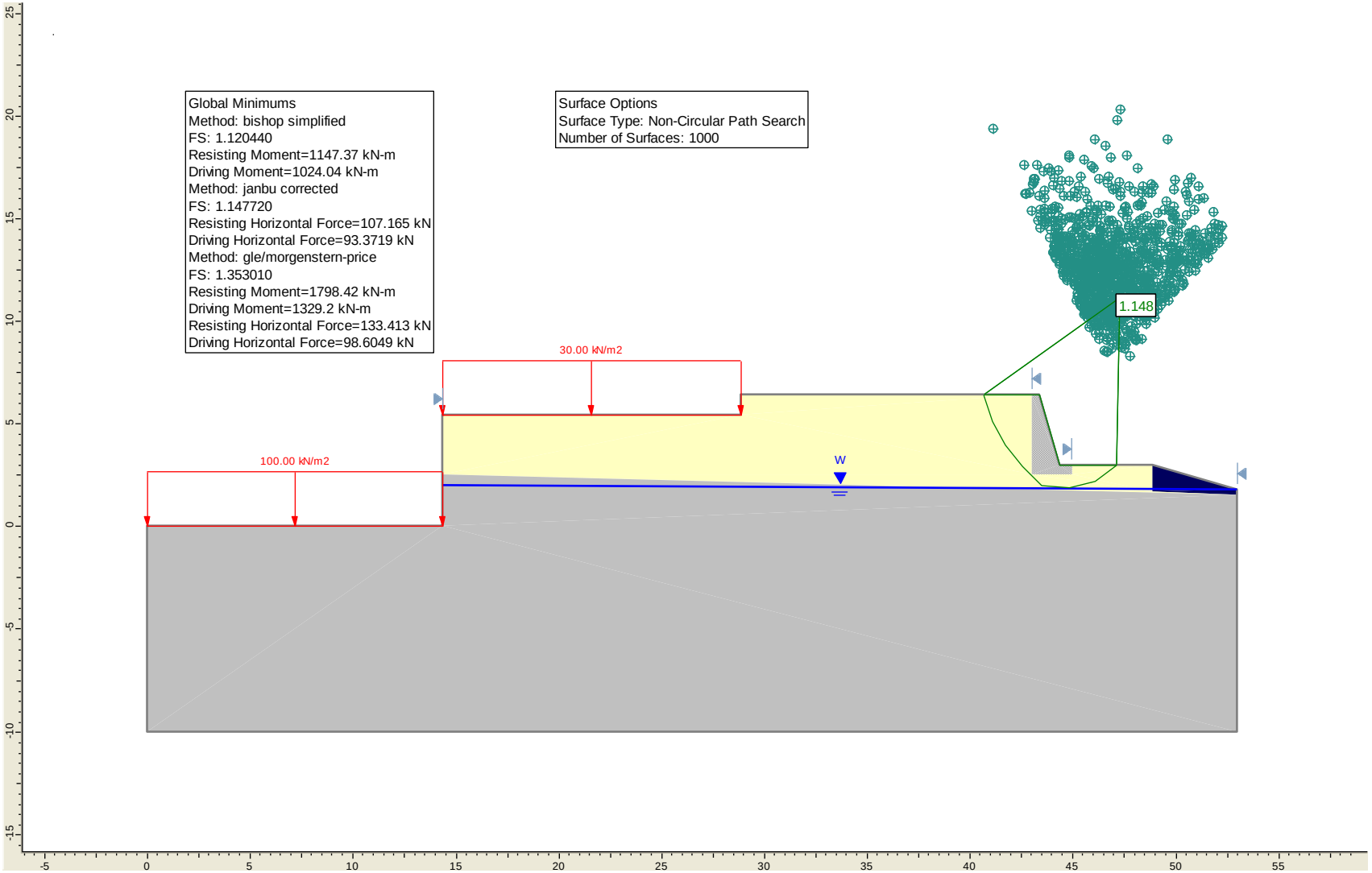



**Tavola 6b**
**Risultati per analisi di superfici critiche di forma non circolare**

## 6. Verifica dell non interferenza del camino con la stabilità dell'argine

Le fondazioni del camino prevedono la realizzazione di una piastra in calcestruzzo rigida (con spessore di oltre 1 m, si veda Fig. 7 seguente; in Fig.8 la posizione del camino) che trasferisca i carichi attraverso pali ad essa vincolati all'ammasso roccioso costituito da calcari della formazione del Monte Antola; questa soluzione svincola la struttura del camino dall'argine del torrente Boate.

Si potrà optare su pali trivellati di medio diametro (400-600mm) o su micropali incastrati nella'ammasso roccioso per non meno di 5 m.

Per la realizzazione di questo sistema è prevista la demolizione dell'argine in questo tratto che sarà ricostruito con caratteristiche di resistenza migliori dell'attuale rispettando le geometrie e l'aspetto esterno esistenti.

La proposta progettuale è ovviamente di carattere preliminare, in fase di progetto definitivo saranno realizzate delle indagini geotecniche di dettaglio anche sulle fondazioni del camino attraverso le quali sarà possibile determinare i parametri che consentiranno un dimensionamento adeguato.

E' verosimile ipotizzate che l'entità delle azioni normali sia ridotta e che il parametro dimensionante sia rappresentato soprattutto dalle azioni orizzontali (tagli e momento) trasmesse dal camino ai pali e quindi alle litologie presenti in fondazione.

### 6.1 Conclusioni

Il camino con le fondazioni proposte non interferirà negativamente sulla stabilità dell'arginatura del Torrente Boate.

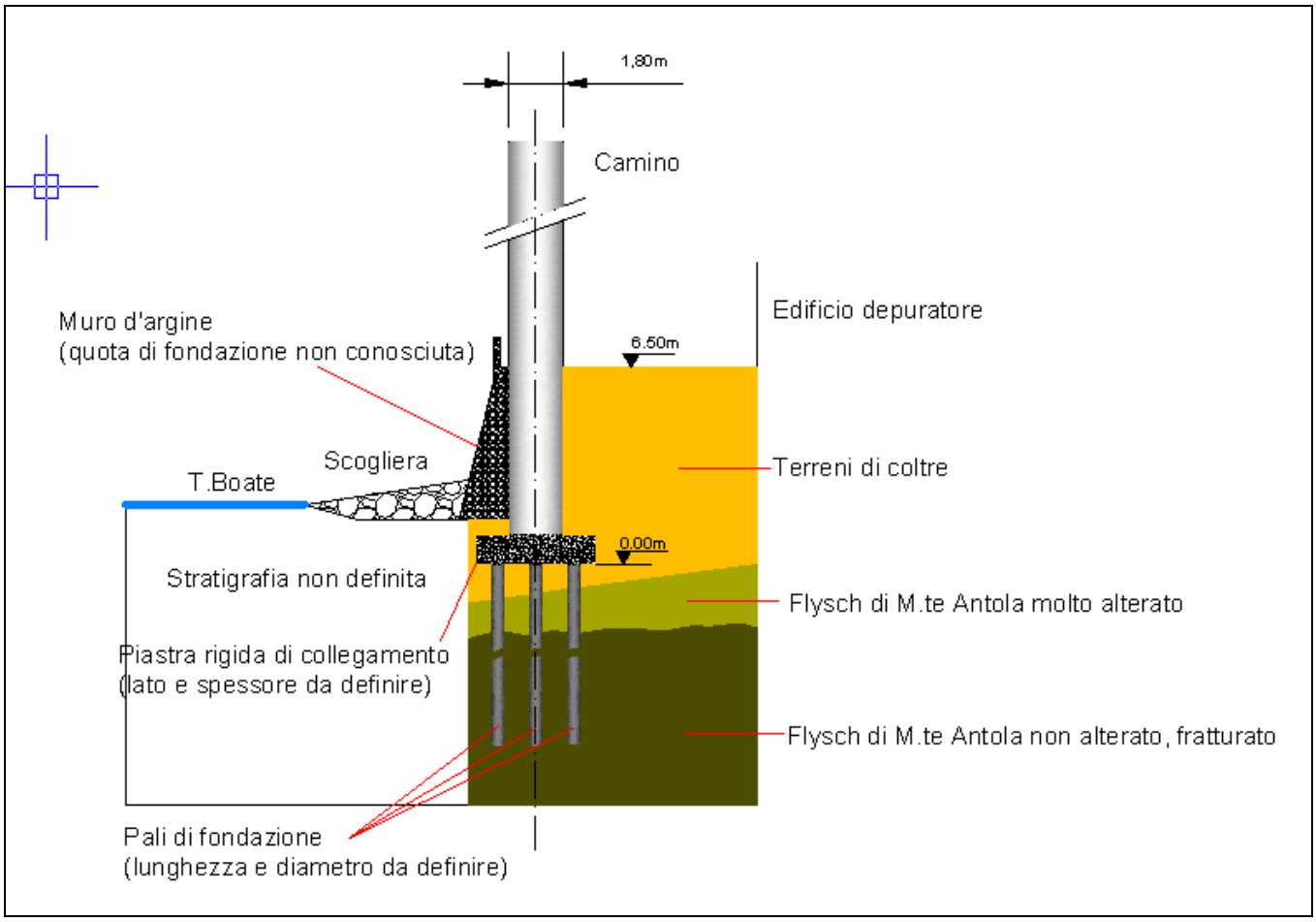



**Figura .7 - Il camino e sue fondazioni**

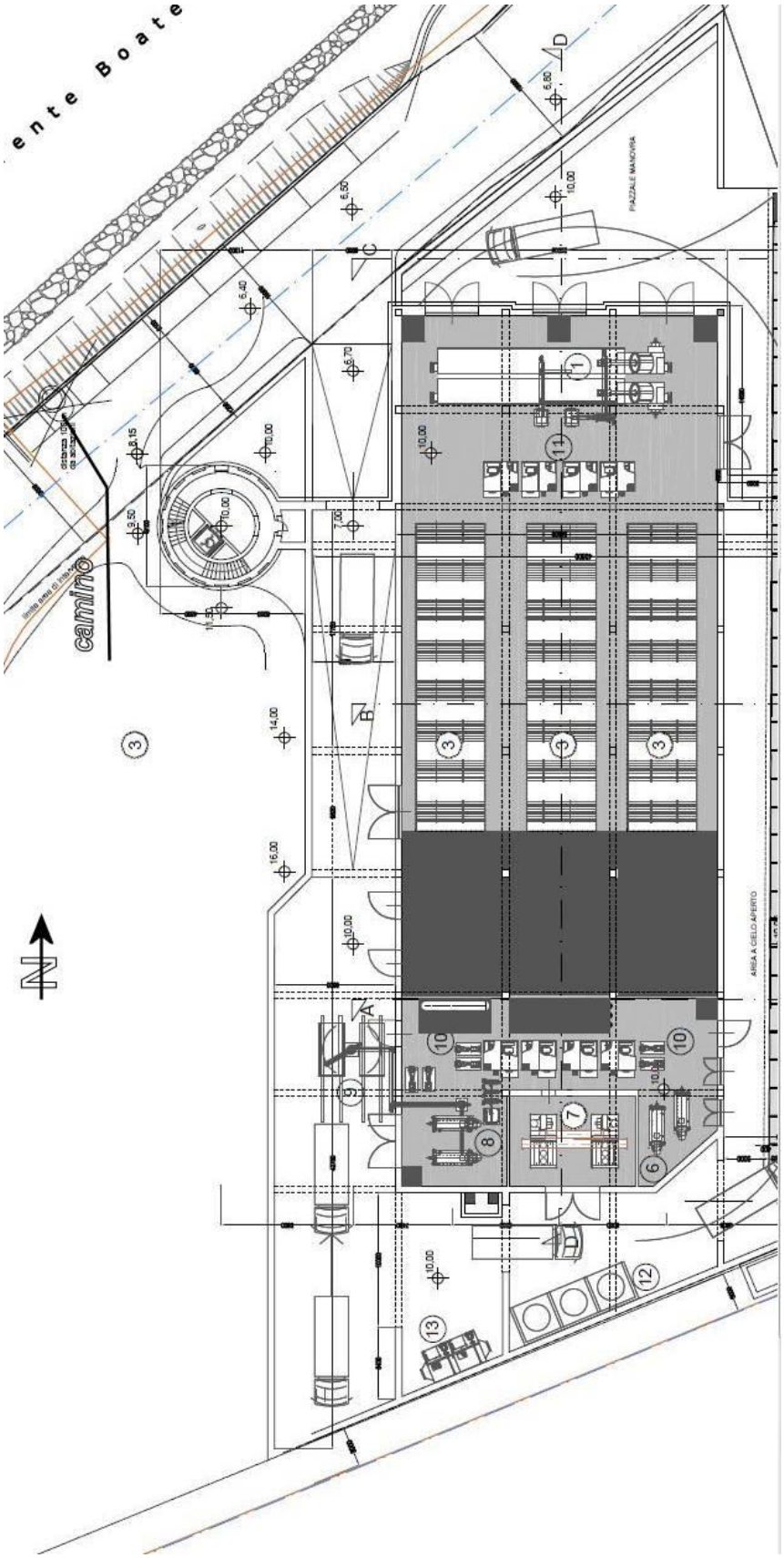



**Figura .8 - Posizione camino**